PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA (RH-V)

PROFILL
ENGENHARIA E AMBIENTE S.A.

PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA (RH-V)

PRODUTO 2

ANÁLISE DOS EVENTOS CRÍTICOS E PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA

Janeiro de 2026

Revisão	Data	Descrição breve
R02	12/01/2026	Entrega final
R01	03/12/2025	Entrega revisada
R00	13/10/2025	Entrega inicial

Plano de Gerenciamento de Risco da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-V)

Análise dos Eventos Críticos e Probabilidade de Ocorrência

Elaborado por: Amanda Vasconcelos, Arthur Tschiedel, Karina Agra, Daniel Wiegand, Pedro Pedroso, Matheus Sampaio, Marcelle Gressler e Gabriel Colares.	Supervisionado por: Sidnei Agra e Carlos Bortoli		
Aprovado por: Sidnei Agra	Revisão: 02	Finalidade: 3	Data: 12/01/2026
Legenda Finalidade: [1] Para Informação	[2] Para comentário	[3] Para Aprovação	

PROFILL
ENGENHARIA E AMBIENTE S.A.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE S.A
Av. Iguaçu, 451 – 6º andar
Porto Alegre/RS
Fone: (51) 3211-3944

APRESENTAÇÃO

A Profill Engenharia e Ambiente S.A. apresenta, por meio deste, o **Produto 2 – Análise dos Eventos Críticos e Probabilidade de Ocorrência**, referente à execução dos serviços de contratação de empresa especializada para a elaboração do Plano de Gerenciamento de Risco da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-V).

O contrato foi firmado com a Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) e conta com o acompanhamento do Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH-BG).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 27

2 OBJETIVOS 29

2.1 OBJETIVO GERAL 29

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 29

3 ÁREA DE ABRANGÊNCIA 31

4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE 38

4.1 VULNERABILIDADE SOCIAL 39

4.1.1 Subíndice de Saneamento 42

4.1.2 Perfil Sociodemográfico 50

4.1.3 Índice de Vulnerabilidade Social 59

4.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL 62

4.3 VULNERABILIDADE ECONÔMICA 66

5 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE PERIGO E EXPOSIÇÃO 75

5.1 CHEIAS E INUNDAÇÕES 75

5.1.1 Registros Históricos 78

5.1.2 Mapeamentos Preliminares 89

5.1.3 Metodologia Aplicada 91

5.1.4 Resultados da Simulação Hidrológica 112

5.1.5 Trechos Sujeitos a Cheias 142

5.1.6 Cheias, Inundações e Infraestrutura Hídrica 145

5.1.7 Impacto das Mudanças Climáticas 153

5.2 ESTIAGENS PROLONGADAS 157

5.2.1 Registros Históricos 159

5.2.2 Identificação de Estiagens Históricas: Análises de Chuvas e Vazões 166

5.2.3 Aplicação do NDVI 193

5.2.4 Aplicação do SPI 197

5.2.5 Impacto das Mudanças Climáticas 205

5.2.6 Estiagens Prolongadas e Infraestrutura Hídrica 211

5.2.7 Periculosidade às Estiagens Prolongadas 215

5.3 CONTAMINAÇÃO POR POLUENTES 236
5.3.1 Acidentes e Registros Históricos 239
5.3.2 Dados de Monitoramento de Qualidade da Água (CBH-BG) 245
5.3.3 Diagnóstico Quali-Quantitativo dos Recursos Hídricos 250
5.3.4 Principais Fontes de Contaminação 261
5.3.5 Cursos Hídricos em Exposição 296
5.3.6 Contaminação por Poluentes e Infraestrutura Hídrica 308
5.3.7 Periculosidade à Contaminação por Poluentes 317

5.4 ROMPIMENTO DE BARRAGENS 319
5.4.1 Metodologia para Obtenção das Manchas de Inundação 322
5.4.2 Resultados Obtidos 333

5.5 INTRUSÃO SALINA 349
5.5.1 Registros Históricos e Dados Existentes 352
5.5.2 Periculosidade à Intrusão Salina 363
5.5.3 Validação de Resultados 376
5.5.4 Cenário Futuro 377
5.5.5 Intrusão Salina e Infraestrutura Hídrica 379

5.6 MOVIMENTOS DE MASSA 384
5.6.1 Registros Históricos e Dados Existentes 385
5.6.2 Precipitação e Movimentos de Massa 390
5.6.3 Periculosidade a Movimentos de Massa 398
5.6.4 Movimentos de Massa e Infraestrutura Hídrica 411

6 CONSTITUIÇÃO DA MATRIZ DE RISCO 413

6.1 CHEIAS E INUNDAÇÕES 415
6.1.1 Risco Social 416
6.1.2 Risco Econômico 420
6.1.3 Risco Ambiental 421

6.2 ESTIAGENS PROLONGADAS 423
6.2.1 Risco Social no Cenário Atual 424

6.2.2 Risco Econômico no Cenário Atual 425
6.2.3 Risco Ambiental no Cenário Atual 427
6.2.4 Risco Social no Cenário Futuro 430
6.2.5 Risco Econômico no Cenário Futuro 431
6.2.6 Risco Ambiental no Cenário Futuro 433

6.3 CONTAMINAÇÃO POR POLUENTES 435
6.3.1 Risco Social 436
6.3.2 Risco Econômico 438
6.3.3 Risco Ambiental 440

6.4 ROMPIMENTO DE BARRAGENS 442
6.4.1 Barragens Gericinó (Código SNISB 7018) e Represa Epaminondas Ramos (Código SNISB 27676) 444
6.4.2 Barragens Saracuruna (Código SNISB 1752) e João Pinto (Código SNISB 21621) 447
6.4.3 Barragens A - RJR (Código SNISB 3517) e Convém (Código SNISB 28762) 451
6.4.4 Barragem Açude Camorim - CGQ-40 (Código SNISB 7016) 455
6.4.5 Barragem Açude Grande (Código SNISB 22021) 459
6.4.6 Barragem Cachoeiras do Macacu (Código SNISB 7051) 462
6.4.7 Barragem GLE-12 – ETA Maricá (Código SNISB 7050) 465

6.5 INTRUSÃO SALINA 469
6.5.1 Risco Social no Cenário Atual 469
6.5.2 Risco Econômico no Cenário Atual 472
6.5.3 Risco Ambiental no Cenário Atual 473
6.5.4 Risco Social no Cenário Futuro 476
6.5.5 Risco Econômico no Cenário Futuro 479
6.5.6 Risco Ambiental no Cenário Futuro 481
6.5.7 Análise dos Cenários 483

6.6 MOVIMENTOS DE MASSA 484
6.6.1 Risco Social 485
6.6.2 Risco Econômico 487
6.6.3 Risco Ambiental 490

7 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA 494

8 ANÁLISE DE VULNERABILIDADES E RISCOS INTEGRADOS 505

8.1 CHEIAS E INUNDAÇÕES 507

8.2 ESTIAGENS PROLONGADAS 508

8.2.1 Risco Integrado no Cenário Atual 508

8.2.2 Risco Integrado no Cenário Futuro 509

8.3 CONTAMINAÇÃO POR POLUENTES 511

8.4 ROMPIMENTO DE BARRAGENS 513

8.5 INTRUSÃO SALINA 515

8.5.1 Risco Integrado no Cenário Atual 515

8.5.1 Risco Integrado no Cenário Futuro 516

8.6 Movimentos de massa 518

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 520

10 ANEXOS 521

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 526

LISTA DE QUADROS

Quadro 4-1 - Variáveis que compõem o Subíndice das Condições do Sistema de Esgotamento Sanitário. 43

Quadro 4-2 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária. 44

Quadro 4-3 - Variáveis que compõem o Subíndice das Condições do Sistema de Descarte de Resíduos. 45

Quadro 4-4 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária. 46

Quadro 4-5 - Variáveis que compõem o subíndice das Condições do Sistema de Abastecimento de Água. 47

Quadro 4-6 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária. 47

Quadro 4-7 – Intervalo de classes referentes ao Subíndice de Saneamento (IS). 48

Quadro 4-8 - Variáveis que compõem o Subíndice Perfil Social Crítico. 52

Quadro 4-9 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária. 52

Quadro 4-10 – Distribuição dos salários-mínimos por classe. 55

Quadro 4-11 - Variáveis que compõem o Subíndice Densidade Demográfica. 57

Quadro 4-12 – Classes de uso do solo e sua vulnerabilidade ambiental. 63

Quadro 4-13 – Categorias de pontos conforme o setor econômico. 67

Quadro 4-14 – Classes de vulnerabilidade econômica. 72

Quadro 5-1 – Características dos grupos hidrológicos. 105

Quadro 5-2 – Perigo e probabilidade de ocorrência associado às profundidades e suscetibilidades à inundação na RH-V. 129

Quadro 5-3 – Perigo e probabilidade de ocorrência associado às manchas de inundação na RH-V considerando os efeitos das mudanças climáticas. 157

Quadro 5-4 – Características das estações pluviométricas analisadas. 168

Quadro 5-5 – Diagrama de Gantt com a disponibilidade de dados das estações pluviométricas analisadas. 170

Quadro 5-6 – Características das estações fluviométricas analisadas. 173

Quadro 5-7 - Diagrama de Gantt com a disponibilidade de dados das estações fluviométricas analisadas. 175

Quadro 5-8 – Dias sem chuva nas estações pluviométricas analisadas. 178

Quadro 5-9 – Interpretação qualitativa dos resultados típicos do NDVI. 194

Quadro 5-10 – Classificação qualitativa do SPI conforme McKee *et al.* (1993). 198

Quadro 5-11 – Pontuações atribuídas para o resultado de percentual de anos com chuvas abaixo da média para o período seco na RH-V. 218

Quadro 5-12 – Pontuações atribuídas para o resultado de chuvas anuais médias na RH-V. 221

Quadro 5-13 – Pontuações atribuídas para o resultado de alterações de NDVI na RH-V. 224

Quadro 5-14 – Pontuações atribuídas para o resultado de probabilidade de secas severas na RH-V. 227

Quadro 5-15 – Valores de referência para classificação do IQA. 253

Quadro 5-16 - Maiores percentuais de uso do solo por UHP. 277

Quadro 5-17 – Classificação de perigo à contaminação para cursos hídricos. 298
Quadro 5-18 – Informações das barragens contidas na RH-V segundo o RSB. 321
Quadro 5-19 – Estimativas quanto ao Coeficiente de Manning. 328
Quadro 5-20 – Dados de entrada utilizados nos estudos de rupturas hipotéticas de barragens e demais definições. 330
Quadro 5-21 – Estações com dados associados à salinidade e indicação quanto à intrusão salina. 359
Quadro 5-22 – Probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, com base em Chaves (2024). 392
Quadro 5-23 - Limiares para alertas no município de São João do Meriti, conforme Plano de Contingência Municipal. 396
Quadro 5-24 – Constituição de classes de perigo relacionadas à precipitação média anual. 401
Quadro 5-25 – Constituição de classes de perigo conforme a distribuição do padrão de relevo, com base em Dantas (2024). 404
Quadro 7-1 – Documentos utilizados na elaboração do Produto 2. 495
Quadro 7-2 – Bairros com ocorrência de inundações, segundo os PLANCONs municipais. 497
Quadro 7-3 - Bairros com ocorrência de alagamentos, segundo os PLANCONs municipais. 499
Quadro 7-4 - Bairros com ocorrência de movimentos de massa, segundo os PLANCONs municipais. 502

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 – Distribuição do Subíndice Perfil Social Crítico por classe, por município 53
Tabela 4-2 – Distribuição do Subíndice Densidade Demográfica por classe, por município 57
Tabela 4-3 – Pesos dos Subíndices que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social 60
Tabela 4-4 – Contagem de pontos conforme o setor econômico para cada município da RH-V. 68
Tabela 5-1 – Processos no município de Duque de Caxias, de acordo com o INEA. 82
Tabela 5-2 – Processos no município de Niterói, de acordo com o INEA. 82
Tabela 5-3 – Processos no município de Nilópolis, de acordo com o INEA. 83
Tabela 5-4 – Processos no município de Cachoeiras do Macacu, de acordo com o INEA. 83
Tabela 5-5 – Processos no município de Magé, de acordo com o INEA. 84
Tabela 5-6 – Processos no município de Maricá, de acordo com o INEA. 84
Tabela 5-7 – Processos no município de Maricá, de acordo com o PLACON. 85
Tabela 5-8 – Processos no município de Mesquita, de acordo com o INEA. 85
Tabela 5-9 – Processos no município de Nova Iguaçu, de acordo com o INEA. 86
Tabela 5-10 – Processos no município de Petrópolis, de acordo com o INEA. 86
Tabela 5-11 – Processos no município do Rio de Janeiro, de acordo com o INEA. 87
Tabela 5-12 – Total de surtos e casos notificados nos surtos de doenças por água contaminada (DTHA), 2014-2024 88
Tabela 5-13 – Processos no município de São Gonçalo, de acordo com o INEA. 88
Tabela 5-14 – Processos no município de Belford Roxo, de acordo com o INEA. 89
Tabela 5-15 – Características físicas das bacias hidrográficas simuladas. 102
Tabela 5-16 – Classificação do CN a partir do tipo e uso do solo. 105
Tabela 5-17 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Caceribu adotadas na modelagem hidrológica 113
Tabela 5-18 – Vazões máximas do Rio Caceribu. 114
Tabela 5-19 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Guapimirim adotadas na modelagem hidrológica 116
Tabela 5-20 – Vazões máximas do Rio Guapimirim 117
Tabela 5-21 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Estrela adotadas na modelagem hidrológica 119
Tabela 5-22 – Vazões máximas do Rio Estrela. 120
Tabela 5-23 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu adotadas na modelagem hidrológica 121
Tabela 5-24 – Vazões máximas do Rio Iguaçu. 122
Tabela 5-25 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Pavuna-Meriti adotadas na modelagem hidrológica 124
Tabela 5-26 – Vazões máximas do Rio Pavuna-Meriti. 125
Tabela 5-27 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Guaxindiba adotadas na modelagem hidrológica 126

Tabela 5-28 – Vazões máximas do Rio Guaxindiba. 127

Tabela 5-29 – Quantitativo da análise de sinergia entre áreas de perigo à inundação e infraestruturas hídricas na RH-V. 152

Tabela 5-30 – Diferença entre as vazões de pico considerando o efeito das mudanças climáticas. 155

Tabela 5-31 – Diferença entre os TRs considerando o efeito das mudanças climáticas. 156

Tabela 5-32 - Probabilidade de secas severas conforme o índice SPI: relação entre quantidade de secas e quantidade de secas severas para os anos entre 2007 e 2024. 225

Tabela 5-33 - Quantidade de captações superficiais de acordo com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário atual. 231

Tabela 5-34 - Quantidade de captações superficiais de acordo com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário futuro. 235

Tabela 5-35 – Informações de coleta e tratamento de esgoto dos municípios da RH-V. 237

Tabela 5-36 - Peso dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA. 253

Tabela 5-37 – Outorgas analisadas de uso da água na RH-V. 264

Tabela 5-38 – Número de outorgas associadas à lançamentos na RH-V, por UHP. 265

Tabela 5-39 – Uso do solo por UHP. 276

Tabela 5-40 – Percentual de classes de perigo à contaminação dos cursos hídricos por UHP. 300

Tabela 5-41 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 302

Tabela 5-42 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos na UHP V-a. 303

Tabela 5-43 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos nas UHPs V-d1 e V-d2. 305

Tabela 5-44 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos nas UHPs V-e1 e V-e2. 307

Tabela 5-45 – Pontos de captação de água bruta existentes em trechos suscetíveis à contaminação na RH-V. 309

Tabela 5-46 – Ranqueamento quanto ao perigo de áreas dentro da mancha de inundação. 333

Tabela 5-47 – Classificação da intrusão salina para a RH-V. 373

Tabela 5-48 - Histórico de desastres associados a movimentos de massa nos municípios que compõem a RH-V. 385

Tabela 5-49 - Limiares para acionamento de alertas no município de Mesquita, conforme o Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil Municipal. 394

Tabela 5-50 - Limiares para risco geológico no município de Rio Bonito, conforme o Plano de Contingência de Proteção Municipal. 395

Tabela 5-51 - Limiares para acionamento de sirenes de alertas no município de São Gonçalo, conforme o Plano de Contingência Municipal. 396

Tabela 5-52 - Resumo de limiares para alertas nos municípios analisados. 397

Tabela 5-53 - Ponderação dos pesos das classes e respectivos índices. 408

Tabela 9-1 – Resultados da 40º campanha de qualidade da água para a rede de monitoramento do contrato do CBH-BH. 521

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 – Estrutura do Índice de Vulnerabilidade Social. 40

Figura 4-2 – Etapas do processo de consolidação do Índice de Vulnerabilidade Social. 42

Figura 4-3 – Composição do Índice de Vulnerabilidade Social. 59

Figura 4-4 – Destaque para uma ottobacia nível 7 que se localiza sobre o limite de três municípios. 70

Figura 5-1 – Fluxograma esquemático da metodologia utilizada. 92

Figura 5-2 – Procedimento para calcular a grade HAND. Os quadrados azuis representam pontos da grade pertencentes à rede de drenagem. Apenas as setas pretas são consideradas caminhos de fluxo. 94

Figura 5-3 – Exemplo de seção transversal extraída de um MDE à esquerda. À direita, a mesma seção com o ajuste de x(0) = ymin da seção. 110

Figura 5-4 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Caceribu. 114

Figura 5-5 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Caceribu; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Caceribu. 115

Figura 5-6 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Guapimirim. 117

Figura 5-7 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Guapimirim; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Guapimirim. 118

Figura 5-8 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Estrela. 119

Figura 5-9 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Estrela; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Estrela. 120

Figura 5-10 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Iguaçu. 122

Figura 5-11 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Iguaçu; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Iguaçu. 123

Figura 5-12 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Pavuna-Meriti. 124

Figura 5-13 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Pavuna-Meriti; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Pavuna-Meriti. 125

Figura 5-14 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Guaxindiba. 127

Figura 5-15 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Guaxindiba; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Guaxindiba. 128

Figura 5-16 – *Box-plot* do percentual inundado por sub-bacia do sistema. 133

Figura 5-17 – Estimativas da magnitude da modificação da máxima precipitação diária. 154

Figura 5-18- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Fazenda São João (2242005). 183

Figura 5-19- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Gaviões (2242008). 183

Figura 5-20- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica São Lourenço (2242009). 184

Figura 5-21- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Manuel Ribeiro (2242010). 184

Figura 5-22- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica de bombeamento de Imunana (2242011). 185

Figura 5-23- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Represa do Paraíso (2242012). 185

Figura 5-24- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Fazenda do Carmo (2242013). 186

Figura 5-25- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Japuíba (2242014). 186

Figura 5-26- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Fazenda São Joaquim (2242016). 187

Figura 5-27- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Teodoro de Oliveira (2242024). 187

Figura 5-28- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Cascatinha do Conego (2242025). 188

Figura 5-29- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Itamarati – Se (2243010). 188

Figura 5-30- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Marambaia (A602). 189

Figura 5-31- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Duque de Caxias – Xerem (A603). 189

Figura 5-32- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Pico do Couto (A610). 190

Figura 5-33- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Teresópolis-Parque Nacional (A618). 190

Figura 5-34- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Vila Militar (A621). 191

Figura 5-35 - SPI na estação pluviométrica Fazenda São João (2242005). 200

Figura 5-36 - SPI na estação pluviométrica Gaviões (2242008). 200

Figura 5-37 - SPI na estação pluviométrica São Lourenço (2242009). 200

Figura 5-38 - SPI na estação pluviométrica Manuel Ribeiro (2242010). 201

Figura 5-39 - SPI na estação pluviométrica de Bombeamento de Imunana (2242011). 201

Figura 5-40 - SPI na estação pluviométrica Represa do Paraíso (2242012). 201

Figura 5-41 - SPI na estação pluviométrica Fazenda do Carmo (2242013). 202

Figura 5-42 - SPI na estação pluviométrica Japuíba (2242014). 202

Figura 5-43 - SPI na estação pluviométrica Fazenda São Joaquim (2242016). 202

Figura 5-44 - SPI na estação pluviométrica Teodoro de Oliveira (2242024). 203

Figura 5-45 - SPI na estação pluviométrica Cascatinha do Conego (2242025). 203

Figura 5-46 - SPI na estação pluviométrica Itamarati – Se (2243010). 203

Figura 5-47 - SPI na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Marambaia (A602). 204

Figura 5-48 - SPI na estação pluviométrica Duque de Caxias – Xerem (A603). 204

Figura 5-49 - SPI na estação pluviométrica Pico do Couto (A610). 204

Figura 5-50 - SPI na estação pluviométrica Teresópolis - Parque Nacional (A618). 205

Figura 5-51 - SPI na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Vila Militar (A621). 205

Figura 5-52- Relação do aumento da população carioca com o aumento de matérias sobre poluição na Baía de Guanabara..... 211

Figura 5-53 - Quantidade de captações superficiais localizadas em áreas com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário atual. 230

Figura 5-54- Quantidade de captações superficiais localizadas em áreas com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário futuro. 234

Figura 5-55 – Curvas representativas do Índice de Qualidade das Águas por parâmetro. 252

Figura 5-56 – Gráfico referente aos lançamentos de efluentes na RH-V. 265

Figura 5-57 – Curva de decaimento proposta por USBR (1989) em unidades inglesas. 326

Figura 5-58 – Intrusão salina na Baía de Guanabara. 353

Figura 5-59 – Janela para os meses de março de 2025 e setembro de 2024 da tabua de maré da Estação Ilha Fiscal. 363

Figura 5-60 – Hidrograma da Estação Parque Ribeira (59240000) mostrando a sazonalidade das vazões registradas entre o início da década de 1970 e o ano de 2019. 365

Figura 5-61 – Vazões médias para a Estação Parque Ribeira (59240000). 365

Figura 5-62 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário atual – típico). 368

Figura 5-63 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário atual – típico). 368

Figura 5-64 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário atual – extremo). 369

Figura 5-65 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário atual – extremo). 369

Figura 5-66 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário de 50 anos – típico). 370

Figura 5-67 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário de 50 anos – típico). 370

Figura 5-68 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário de 50 anos – extremo). 371

Figura 5-69 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário de 50 anos – extremo). 371

Figura 5-70 - Esboço metodológico da obtenção do mapa de perigo à movimentos de massa. 399

Figura 5-71 - Esquema ilustrativo da metodologia de obtenção do Índice de Perigo a Movimentos de Massa. 409

Figura 6-1 – Matriz de classificação de risco de probabilidade e impacto. 413

Figura 6-2 – Matriz de classificação de risco de probabilidade e impacto adaptada. 413

LISTA DE MAPAS

Mapa 3-1 - Localização dos subcomitês da RH-V. 33
Mapa 3-2 - Localização das residências da RH-V. 34
Mapa 3-3 - Localização das sub-bacias da RH-V. 35
Mapa 3-4 – Uso e cobertura do solo da RH-V. 36
Mapa 3-5 – UCs contidas na RH-V. 37
Mapa 4-1 - Localização dos setores censitários da área de estudo. 41
Mapa 4-2 – Subíndice de Saneamento na RH-V. 50
Mapa 4-3 – Subíndice Perfil Social Crítico na RH-V. 54
Mapa 4-4 – Subíndice Renda Média Mensal do Responsável na RH-V. 56
Mapa 4-5 – Subíndice Densidade Demográfica na RH-V. 58
Mapa 4-6 – Índice de Vulnerabilidade Social na RH-V. 61
Mapa 4-7 – Índice de Vulnerabilidade Ambiental na RH-V. 65
Mapa 4-8 – Vulnerabilidade Econômica por ottobacias na RH-V. 72
Mapa 4-9 – Índice de Vulnerabilidade Econômica na RH-V. 74
Mapa 5-1 – Cursos hídricos e pontos de registro de inundações, segundo o INEA. 81
Mapa 5-2 – Áreas suscetíveis a inundações na RH-V. 90
Mapa 5-3 – Bacias hidrográficas consideradas no cálculo das probabilidades. 102
Mapa 5-4 – Mapa do tipo de solo na RH-V. 104
Mapa 5-5 – Mapa de CN na RH-V. 107
Mapa 5-6 – Localização das seções transversais estudadas na RH-V. 109
Mapa 5-7 – Periculosidade da RH-V quanto a inundações. 131
Mapa 5-8 – Mapa de perigo com pontos de registros históricos de locais com extravasamentos. 132
Mapa 5-9 – Mapa de perigo a inundações para cada sub-bacia da RH-V. 134
Mapa 5-10 – Mapa de perigo a inundações nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 136
Mapa 5-11 – Mapa de perigo a inundações na UHP V-a. 138
Mapa 5-12 – Mapa de perigo a inundações nas UHPs V-d1 e V-d2. 140
Mapa 5-13 – Mapa de perigo a inundações nas UHPs V-e1 e V-e2. 142
Mapa 5-14 – Áreas de periculosidade para cheias de até 2 anos de TR. 144
Mapa 5-15 – Trechos sujeitos a cheias. 145
Mapa 5-16 – Análise de sinergia entre ETEs e áreas de perigo a inundações. 147
Mapa 5-17 – Análise de sinergia entre pontos de captação de água e áreas de perigo a inundações. 148
Mapa 5-18 – Análise de sinergia entre estações elevatórias de esgoto e áreas de perigo a inundações. 149
Mapa 5-19 – Análise de sinergia entre estações de abastecimento de água e áreas de perigo a inundações. 150

Mapa 5-20 – Análise de sinergia entre pontos de abastecimento de água e áreas de perigo a inundações..... 151

Mapa 5-21 - Resultados de NDVI para o ano mais seco dentre os avaliados – 2014. 196

Mapa 5-22 - Resultados de NDVI para o ano mais chuvoso dentre os avaliados – 2019. 197

Mapa 5-23 – Comparação entre as precipitações totais anuais na RH-V no cenário atual (esquerda) e cenário futuro (direita) considerando as mudanças climáticas. 209

Mapa 5-24– Resultados de percentual de anos com chuvas abaixo da média para o período seco na RH-V. 217

Mapa 5-25– Resultados para o índice de perigo em relação aos anos de chuva abaixo da média no período seco na RH-V. 219

Mapa 5-26– Resultados de chuva média anual na RH-V. 220

Mapa 5-27– Resultados para o índice de perigo em relação à chuva média anual na RH-V. 221

Mapa 5-28– Resultados da diferença de NDVI entre os períodos secos de 2019 e 2014 – classificação entre “melhora” e “piora”. 223

Mapa 5-29– Resultados para o índice de perigo em relação à diferença de NDVI na RH-V. 224

Mapa 5-30– Interpolação do resultado de probabilidade de ocorrência de secas severas na RH-V a partir do índice SPI. 227

Mapa 5-31– Resultados para o índice de perigo em relação à probabilidade de ocorrência de secas severas (percentual de SPI) para a RH-V. 228

Mapa 5-32– Resultado de perigo à ocorrência de secas na RH-V para o cenário atual. 229

Mapa 5-33– Localização das captações superficiais para abastecimento urbano em relação ao índice de perigo às secas para a RH-V no cenário atual. 231

Mapa 5-34– Resultado de perigo à ocorrência de secas na RH-V para o cenário futuro. 233

Mapa 5-35– Localização das captações superficiais para abastecimento urbano em relação ao índice de perigo às secas para a RH-V no cenário futuro. 235

Mapa 5-36 - Localização das estações de monitoramento de qualidade da água na RH-V (CBH-BG) 246

Mapa 5-37 – Concentrações de DBO na RH-V 248

Mapa 5-38 - Localização das estações de monitoramento de qualidade da água na RH-V. 251

Mapa 5-39 - Localização das estações de mensuração de IQA na RH-V. 255

Mapa 5-40 – Registro da criticidade preliminar de cursos hídricos na RH-V. 256

Mapa 5-41 - Registro da qualidade da água com base nos IQAs das UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 258

Mapa 5-42 – Registro da qualidade da água com base no IQA da UHP V-a. 259

Mapa 5-43 – Registro da qualidade da água com base nos IQAs das UHPs V-d1 e V-d2. 261

Mapa 5-44 – Total de outorgas de uso da água na RH-V. 264

Mapa 5-45 – Possíveis fontes de contaminação pontuais na RH-V. 266

Mapa 5-46 – Registro de outorgas e referentes categorias nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 268

Mapa 5-47 – Registro de outorgas e referentes categorias na UHP V-a. 270

Mapa 5-48 – Registro de outorgas e referentes categorias na UHP V-d2. 272

Mapa 5-49 – Registro de outorgas e referentes categorias na UHP V-d1. 273

Mapa 5-50 – Registro de outorgas e referentes categorias nas UHPs V-e1 e V-e2. 274
Mapa 5-51 – Fontes de contaminação por uso do solo nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 278
Mapa 5-52 – Fontes de contaminação por uso do solo na UHP V-a. 279
Mapa 5-53 – Fontes de contaminação por uso do solo na UHP V-d2. 280
Mapa 5-54 – Fontes de contaminação por uso do solo na UHP V-d1. 281
Mapa 5-55 – Fontes de contaminação por uso do solo nas UHPs V-e1 e V-e2. 282
Mapa 5-56 – Fontes de contaminação lineares na RH-V. 284
Mapa 5-57 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e fontes de contaminação lineares (rodovias) na RH-V. 285
Mapa 5-58 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 287
Mapa 5-59 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 288
Mapa 5-60 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis na UHP V-a. 289
Mapa 5-61 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico na UHP V-a 290
Mapa 5-62 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis na UHP V-d2. 291
Mapa 5-63 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico na UHP V-d2. 292
Mapa 5-64 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis na UHP V-d1. 293
Mapa 5-65 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico na UHP V-d1. 294
Mapa 5-66 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis nas UHPs V-e1 e V-e2. 295
Mapa 5-67 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico nas UHPs V-e1 e V-e2. 296
Mapa 5-68 – Mapa de cursos hídricos suscetíveis à contaminação na RH-V. 298
Mapa 5-69 – Classificação do perigo à contaminação dos cursos hídricos na RH-V. 300
Mapa 5-70 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2. 302
Mapa 5-71 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos na UHP V-a. 304
Mapa 5-72 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos nas UHPs V-d1 e V-d2. 306
Mapa 5-73 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos nas UHPs V-e1 e V-e2. 308
Mapa 5-74 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta nas UHPs V-b, V-c1 e Vc-2. 310
Mapa 5-75 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta na UHP V-a. 312
Mapa 5-76 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta na UHP V-d1. 314
Mapa 5-77 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta na UHP V-d2. 316
Mapa 5-78 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta nas UHPs V-e1 e V-e2. 317
Mapa 5-79 – Mapa de perigo da RH-V quanto à contaminação por poluentes. 319
Mapa 5-80 – Localização das barragens cadastradas no SNISB contidas na RH-V. 320
Mapa 5-81 – Mancha de inundação da Barragem A – RJR, código SNISB 3517, presente na RH-V. 335

Mapa 5-82 – Mancha de inundação da Barragem Convém, código SNISB 28762, presente na RH-V. 336

Mapa 5-83 – Mancha de inundação da Barragem Açude Grande, código SNISB 22021, presente na RH-V. 338

Mapa 5-84 – Mancha de inundação da Barragem Saracuruna, código SNISB 1752, e da Barragem João Pinto, código SNISB 21621, presente na RH-V. 340

Mapa 5-85 – Mancha de inundação da Barragem Açude Camorim, código SNISB 7016, presente na RH-V. 342

Mapa 5-86 – Mancha de inundação da Barragem Gericinó, código SNISB 7018, presente na RH-V. 344

Mapa 5-87 – Mancha de inundação da Barragem GLE-12, código SNISB 7050, presente na RH-V.345

Mapa 5-88 – Mancha de inundação da Barragem Cachoeiras do Macacu, código SNISB 7051, presente na RH-V. 347

Mapa 5-89 – Mancha de inundação da represa Epaminondas Ramos, código SNISB 27676, presente na RH-V (em conjunto com mancha de inundação da Barragem Gericinó). 349

Mapa 5-90 – Mapa de concentrações de cloreto nas estações da RH-V. 354

Mapa 5-91 – Mapa de condutividade elétrica nas estações da RH-V. 355

Mapa 5-92 – Mapa de concentrações de SDT nas estações da RH-V. 356

Mapa 5-93 – Mapa de perigo à intrusão salina nos cursos hídricos da RH-V. 375

Mapa 5-94 – Validação da metodologia aplicada para identificação da periculosidade local quanto à intrusão salina. 377

Mapa 5-95 – Expectativa de periculosidade quanto à intrusão salina no cenário futuro para a RH-V. 379

Mapa 5-96 – Mapa de perigo quanto à intrusão salina no cenário presente e infraestrutura hídrica na RH-V. 380

Mapa 5-97 – Mapa de perigo quanto à intrusão salina no cenário futuro e infraestrutura hídrica na RH-V. 383

Mapa 5-98 – Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na RH-V com base no estudo de SGB (2025). 389

Mapa 5-99 – Distribuição espacial da chuva média anual para a RH-V. 400

Mapa 5-100 – Distribuição espacial do Índice Pluviométrico. 402

Mapa 5-101 – Distribuição espacial do Índice Geomorfológico. 405

Mapa 5-102 – Distribuição espacial do Índice de Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa. 407

Mapa 5-103 - Distribuição espacial do Índice de Perigo a Movimentos de Massa. 410

Mapa 5-104 - Distribuição territorial do Índice de Perigo a Movimentos de Massa e Infraestrutura Hídrica na RH-V. 412

Mapa 6-1 – Bacias hidrográficas utilizadas para discretização regional de perigos e riscos, quando aplicável. 415

Mapa 6-2 – Mapa de risco social à inundação na RH-V 418

Mapa 6-3 – Mapa de risco econômico à inundação na RH-V 421

Mapa 6-4 – Mapa de risco ambiental à inundação na RH-V 423

Mapa 6-5 – Mapa de risco social às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V. 425
Mapa 6-6 – Mapa de risco econômico às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V. 427
Mapa 6-7 – Mapa de risco ambiental às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V. 429
Mapa 6-8 – Mapa de risco social às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V. 431
Mapa 6-9 – Mapa de risco econômico às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V. 433
Mapa 6-10 – Mapa de risco ambiental às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V. 435
Mapa 6-11 – Mapa de risco social à contaminação hídrica na RH-V. 437
Mapa 6-12 – Mapa de risco econômico à contaminação hídrica na RH-V 440
Mapa 6-13 – Mapa de risco ambiental à contaminação hídrica na RH-V 442
Mapa 6-14 – Áreas suscetíveis e não suscetíveis à ruptura de barragens na RH-V 443
Mapa 6-15 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Gericinó (código SNISB 7018) e da Represa Epaminondas Ramos (código SNISB 27676) na RH-V. 445
Mapa 6-16 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Gericinó (código SNISB 7018) e da represa Epaminondas Ramos (código SNISB 27676) na RH-V. 446
Mapa 6-17 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Gericinó (código SNISB 7018) e da represa Epaminondas Ramos (código SNISB 27676) na RH-V. 447
Mapa 6-18 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Saracuruna (código SNISB 1752) e da Barragem João Pinto (código SNISB 21621) na RH-V. 449
Mapa 6-19 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Saracuruna (código SNISB 1752) e da Barragem João Pinto (código SNISB 21621) na RH-V. 450
Mapa 6-20 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Saracuruna (código SNISB 1752) e da Barragem João Pinto (código SNISB 21621) na RH-V. 451
Mapa 6-21 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem A – RJR (código SNISB 3517) e da Barragem Convém (código SNISB 28762) na RH-V. 452
Mapa 6-22 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem A – RJR (código SNISB 3517) e da Barragem Convém (código SNISB 28762) na RH-V. 453
Mapa 6-23 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem A – RJR (código SNISB 3517) e da Barragem Convém (código SNISB 28762) na RH-V. 455
Mapa 6-24 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Açude Camorim (código SNISB 7016) na RH-V. 456
Mapa 6-25 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Açude Camorim (código SNISB 7016) na RH-V. 457
Mapa 6-26 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Açude Camorim (código SNISB 7016) na RH-V. 458
Mapa 6-27 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Açude Grande (código SNISB 22021) na RH-V. 460
Mapa 6-28 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Açude Grande (código SNISB 22021) na RH-V. 461
Mapa 6-29 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Açude Grande (código SNISB 22021) na RH-V. 462
Mapa 6-30 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Cachoeiras do Macacu (código SNISB 7051) na RH-V. 463

Mapa 6-31 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Cachoeiras do Macacu (código SNISB 7051) na RH-V. 464

Mapa 6-32 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Cachoeiras do Macacu (código SNISB 7051) na RH-V. 465

Mapa 6-33 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem GLE-12 – ETA Maricá (código SNISB 7050) na RH-V. 466

Mapa 6-34 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem GLE-12 – ETA Maricá (código SNISB 7050) na RH-V. 467

Mapa 6-35 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem GLE-12 – ETA Maricá (código SNISB 7050) na RH-V. 468

Mapa 6-36 – Mapa de risco social à processos de intrusão salina no cenário atual na RH-V. 471

Mapa 6-37 – Mapa de risco econômico à processos de intrusão salina no cenário atual na RH-V... 473

Mapa 6-38 – Mapa de risco ambiental à processos de intrusão salina no cenário atual na RH-V. ... 476

Mapa 6-39 – Mapa de risco social à processos de intrusão salina no cenário futuro na RH-V. 479

Mapa 6-40 – Mapa de risco econômico à processos de intrusão salina no cenário futuro na RH-V. 481

Mapa 6-41 – Mapa de risco ambiental à processos de intrusão salina no cenário futuro na RH-V. .. 483

Mapa 6-42- Mapa de risco social à processos de movimentos de massa na RH-V. 487

Mapa 6-43- Mapa de risco econômico à processos de movimentos de massa na RH-V. 490

Mapa 6-44 - Mapa de risco ambiental à processos de movimentos de massa na RH-V. 493

Mapa 7-1 - Bairros com ocorrências de desastres registrados, segundo os PLANCONs municipais. 496

Mapa 7-2 - Bairros com ocorrências de inundações na RH-V, segundo os PLANCONs municipais. 498

Mapa 7-3 - Bairros com ocorrências de alagamentos na RH-V, segundo os PLANCONs municipais. 501

Mapa 7-4 - Bairros com ocorrências de movimentos de massa na RH-V, segundo os PLANCONs municipais. 504

Mapa 8-1 – Índice de Vulnerabilidade Integrada na RH-V. 506

Mapa 8-2 - Mapa de risco integrado à inundação na RH-V. 508

Mapa 8-3 - Mapa de risco integrado às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V. 509

Mapa 8-4 - Mapa de risco integrado às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V.V. 511

Mapa 8-5 - Mapa de risco integrado à contaminação na RH-V. 513

Mapa 8-6 - Mapa de risco integrado a rompimento de barragens na RH-V. 514

Mapa 8-7 - Mapa de risco integrado à intrusão salina no cenário atual na RH-V. 516

Mapa 8-8 - Mapa de risco integrado à intrusão salina no cenário futuro na RH-V. 517

Mapa 8-9 - Mapa de risco integrado a movimentos de massa na RH-V. 519

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

ADS	Água Disponível no Solo
AHP	*Analytic Hierarchy Process*
AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APA	Área de Proteção Ambiental
AUS	Anomalia de Umidade do Solo
BHO	Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas
CBH-BG	Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá
CCM	Condição de Contorno de Montante
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CN	Parâmetro *Curve Number*
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
CRI	Categoria de Risco
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DDT	Diclorodifeniltricloretano
DIE	Disposição Inadequada de Esgoto
DIL	Disposição Inadequada de Lixo
DPA	Dano Potencial Associado
DPMA	Delegacia de Proteção ao Meio Ambiente
EBAB	Estação de Bombeamento de Água Bruta

ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
EVI	Índice de Vegetação Aprimorado
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
FR	Fossa Rudimentar
FS	Fossa Séptica
GTA	Grupo de Trabalho de Acompanhamento
HAND	*Height Above the Nearest Drainage*
HCH	Hexaclorociclohexano
HEC-RAS	*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*
HTR	Hidrograma Triangular de Ruptura
HU	Hidrograma Unitário
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDD	Índice de Densidade Demográfica
IDF	Curva de Intensidade-Duração-Frequência
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IPP	Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos
IPSC	Índice do Perfil Social Crítico
IQA	Índice de Qualidade da Água
IRM	Índice de Renda Média
IS	Índice de Saneamento
ISS	Índice Integrado de Seca
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
LC	Lixo Coletado
LQ	Lixo Queimado

MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MGB	Modelo de Grandes Bacias
NDVI	Índice por Diferença Normalizada
NFGA	Nota Final do Grupo Rede de Água
NFGE	Nota Final do Grupo Esgoto
NFGRD	Nota Final do Grupo de Resíduos Domésticos
NFPSC	Nota Final do Perfil Social Crítico
NIA	Nota Intermediária de Analfabetos
NIC	Nota Intermediária de Crianças
NIDIE	Nota Intermediária da Disposição Inadequada de Esgoto
NIDIL	Nota Intermediária de Disposição Inadequada do Lixo
NIFR	Nota Intermediária da Fossa Rudimentar
NIFS	Nota Intermediária da Fossa séptica
NII	Nota Intermediária de Idosos
NILC	Nota Intermediária de Lixo Coletado
NILQ	Nota Intermediária de Lixo Queimado
NIRGA	Nota Intermediária da Rede Geral de Água
NIRGE	Nota Intermediária da Rede Geral de Esgoto
NISemRGA	Nota Intermediária Sem Rede Geral de Água
NRCS	*Natural Resources Conservation Service*
OLI	*Operational Land Imager*
PAE	Plano de Ação Emergencial
PAP	Plano de Aplicação Plurianual
PAREA	Proporção de Área Municipal
PCB	Bifenila Policlorada
PGR	Plano de Gerenciamento de Risco
PIB	Produto Interno Bruto
PLANCON	Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica

PVAB	Percentual do Valor Adicionado Bruto
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
RGA	Rede Geral de Abastecimento de Água
RGE	Rede Geral de Esgoto
RH-V	Região Hidrográfica da Baía de Guanabara
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RJ	Rio de Janeiro
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
S2ID	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SCS	*Soil Conservation Service*
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SemRGA	Sem Rede Geral de Abastecimento de Água
SES	Sistema Esgotamento Sanitário
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGA-BG	Sistema Integrado de Gestão das Águas da Baía de Guanabara
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNISB	Sistema Nacional de Segurança de Barragens
SPEI	*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*
SPI	*Standardized Precipitation Index*
SSI	*Standardized Streamflow Index*
TIRS	*Thermal Infrared Sensor*
TR	Tempo de Retorno
UC	Unidade de Conservação
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UHP	Unidade Hidrológica de Planejamento
USACE	*U.S. Army Corps of Engineers*
USBR	*United States Bureau of Reclamation*
VAB	Valor Adicionado Bruto

VHI	*Vegetation Health Index*
VTAB	Valor Total do Valor Adicionado Bruto
ZC	Zona Costeira
ZIC	Zona de Inversão de Correntes
ZM	Zona de Mistura
ZNA	Zona de Oscilação de Níveis de Água
ZR	Zona de Maré do Rio

1 INTRODUÇÃO

Este produto (Produto 2) apresenta, no âmbito da contratação de empresa especializada para a elaboração do Plano de Gerenciamento de Risco (PGR) da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-V), a ˆAnálise dos Eventos Críticos e Probabilidade de Ocorrênciaˆ da referida região. Este é definido pelo diagnóstico da vulnerabilidade, dos perigos e dos riscos associados à ocorrência de eventos críticos e desastres provenientes aos quais a RH-V está submetida.

A iniciativa está alinhada com o Plano de Aplicação Plurianual (PAP) da RH-V para o período de 2024-2027, conforme aprovado pelo Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH-BG), e atende à necessidade de subsidiar tecnicamente as tomadas de decisões para a melhoria da gestão e da qualidade dos recursos hídricos na região.

O presente documento detalha, portanto, um diagnóstico robusto não só de eventos críticos já ocorridos na referida região, mas também das diferentes periculosidades e riscos que distintas áreas da RH-V estão submetidas à ocorrência, considerando-se desastres especificamente associados à: (i) Cheias e Inundações; (ii) Estiagens Prolongadas; (iii) Contaminação por Poluentes; (iv) Rompimento de Barragens; (v) Intrusão Salina e; (vi) Movimentos de Massa.

A organização deste documento segue uma estrutura lógica que facilita a compreensão do escopo e das etapas do estudo desenvolvido. No **Capítulo 2 – Objetivos**, são apresentados os propósitos gerais e específicos deste aqui intitulado Produto 2, enfatizando sua relevância para a gestão de riscos associados à eventos extremos na RH-V. O **Capítulo 3 – Área de Abrangência** delimita o espaço geográfico analisado. O **Capítulo 4 – Metodologia de Avaliação da Vulnerabilidade** concentra o diagnóstico realizado quanto à vulnerabilidade da RH-V, que é espacializado em três eixos: (i) Vulnerabilidade Social; (ii) Vulnerabilidade Ambiental; (iii) Vulnerabilidade Econômica. No **Capítulo 5 – Identificação de Áreas de Perigo e Exposição**, por sua vez, são identificadas e ranqueadas as periculosidades de diferentes áreas da RH-V, sendo definida pelo resultado da interação entre as zonas identificadas

como suscetíveis à ocorrência de desastres, e as probabilidades de ocorrência destes desastres. Já o **Capítulo 6 – Constituição da Matriz de Risco** apresenta a matriz de risco, em formato espacial, desenvolvida neste trabalho considerando os desastres mencionados, a qual é resultado da análise conjunta da periculosidade mapeada no Capítulo 5, com a vulnerabilidade mapeada no Capítulo 4.

O **Capítulo 7 – Documentos de Referência** apresenta a compilação dos documentos referentes à temática que foram consultados ao longo da elaboração deste Produto 2. Ainda, no **Capítulo 8 – Análise de Vulnerabilidades e Riscos Integrados** contém uma avaliação integrada das vulnerabilidades e riscos associados a cada tipologia de evento crítico aqui estudado, visando obter uma análise global para a RH-V, se tratando da junção dos três eixos: social, econômico e ambiental, em complemento ao Capítulo 6 apresentado. Por fim, o **Capítulo 9 – Considerações Finais** apresenta uma síntese dos principais conteúdos abordados neste Produto 2, enquanto o **Capítulo 10 – Anexos** e o **Capítulo 11 – Referências Bibliográficas** reúne a base normativa, científica e técnica que fundamenta as análises e metodologias aqui aplicadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo corresponde ao segundo produto do trabalho cujo objetivo geral é a elaboração do PGR da RH-V. Aqui, cabe salientar que o PGR se constitui como um instrumento de gestão voltado à prevenção e à mitigação de riscos ambientais, hídricos, econômicos e sociais, desenvolvido a partir da identificação de vulnerabilidades e perigos, e da adoção de medidas preventivas e de contingência frente a eventos críticos.

Assim, o objetivo deste Produto 2 é conduzir uma análise detalhada dos riscos associados a diferentes tipos de desastres que podem vir a impactar a RH-V, visando fundamentar discussões futuras e orientar a definição de estratégias para a gestão de situações extremas. O trabalho busca, ainda, promover uma construção participativa, integrando o setor público, a iniciativa privada e a sociedade civil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste Produto 2 são os que seguem:

- **Identificar os eventos críticos**: identificar os eventos críticos já ocorridos na RH-V, com base em registros históricos e mapeamentos preliminares;
- **Avaliar a probabilidade de ocorrência dos eventos críticos**: avaliar de maneira espaço-temporal os eventos críticos que podem vir a impactar a RH-V, identificando áreas potencialmente atingíveis e definindo suas probabilidades de ocorrência;
- **Analisar a influência das mudanças climáticas nos eventos críticos:** analisar o impacto das mudanças climáticas no aumento da intensidade e da frequência de ocorrência dos eventos críticos, quando cabível, identificando alterações nos regimes hidrológicos da RH-V;

- **Definir a matriz de risco dos eventos críticos**: elaborar a matriz de risco, em formato espacial, que associe a periculosidade à ocorrência dos eventos críticos com as vulnerabilidades da RH-V, resultando em uma categorização de risco social, econômico e ambiental, e em uma categorização de risco integrada, obtida a parte da integração dos três eixos de vulnerabilidade;
- **Realizar a análise quali-quantitativa e econômica dos eventos críticos**: analisar os riscos associados aos eventos críticos, abordando os potenciais impactos das suas ocorrências na água, no meio ambiente, na economia e na população da RH-V.

3 ÁREA DE ABRANGÊNCIA

A área de abrangência do estudo é dada pela RH-V, área de atuação do CBH-BG. O estudo abrangerá toda a extensão desta região, que cobre aproximadamente 4.800 km², incluindo o espelho d'água da Baía de Guanabara, com cerca de 380 km², e sua bacia hidrográfica, que compreende total ou parcialmente 17 municípios, sendo eles: Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti, Nilópolis, Maricá, Rio Bonito, Cachoeiras de Macacu, Petrópolis, Nova Iguaçu e Rio de Janeiro.

O estudo será baseado na organização territorial da RH-V, que conta com seis subcomitês responsáveis por promover uma gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos. Assim, além do CBH-BG, a bacia hidrográfica é subdividida nos seguintes subcomitês (Mapa 3-1):

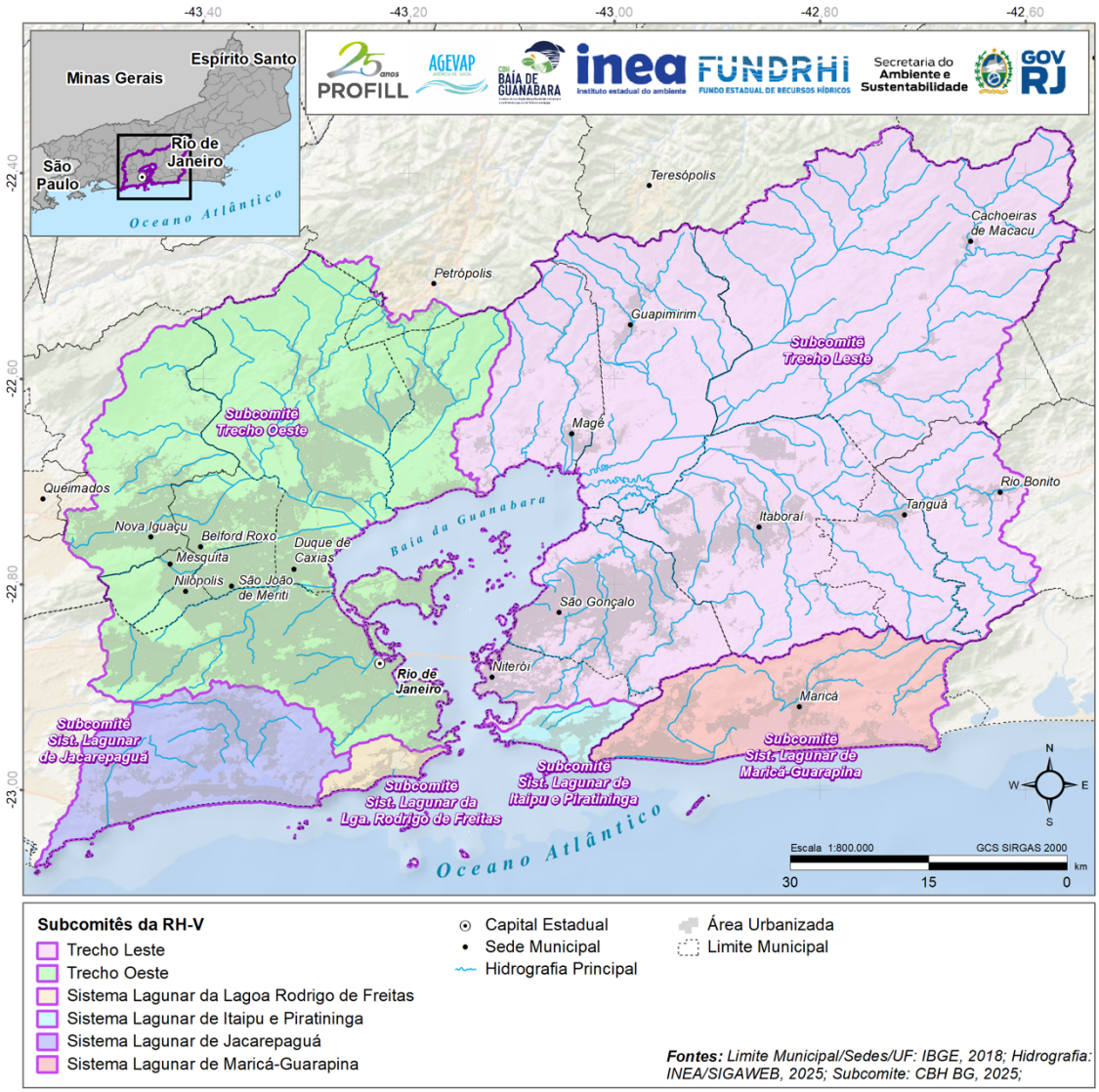
- Subcomitê do Sistema Lagunar Maricá-Guarapina;
- Subcomitê do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga;
- Subcomitê do Sistema Lagunar de Jacarepaguá;
- Subcomitê do Sistema Lagunar da Lagoa Rodrigo de Freitas;
- Subcomitê Trecho Leste;
- Subcomitê Trecho Oeste.

Segundo a AGEVAP (2023), a RH-V abriga a maior parte da população urbana do estado, incluindo mais de 1 milhão de pessoas que vivem em aglomerados subnormais. A população total da região é de aproximadamente 8.385.149 habitantes, correspondendo a 52,23% da população do Estado do Rio de Janeiro, conforme dados preliminares do Censo 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

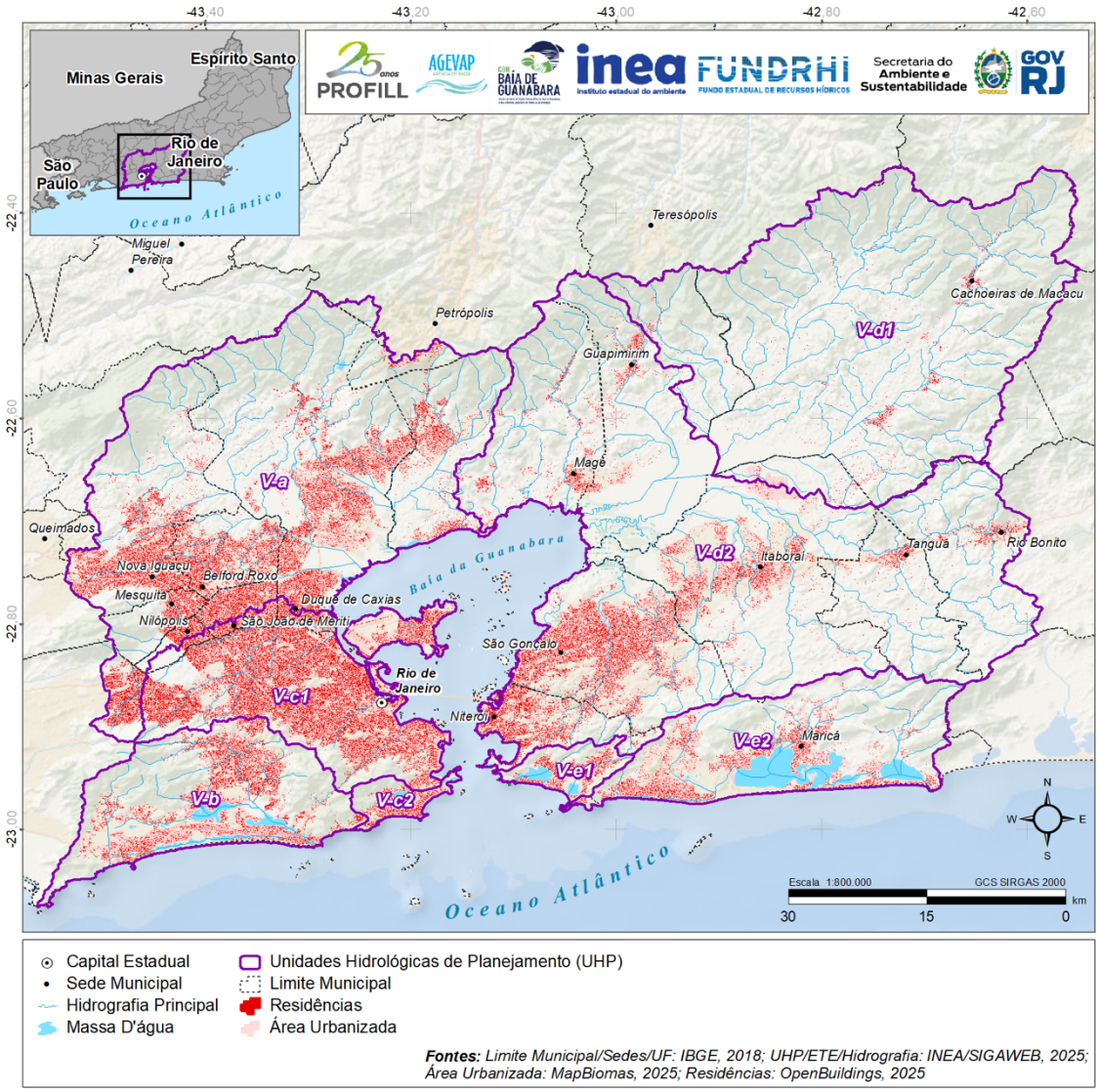
A distribuição das áreas edificadas na RH-V (Mapa 3-2) evidencia o elevado grau de urbanização da região, com maior concentração de ocupação nos setores de baixa altitude e nas áreas próximas aos principais cursos d'água e à Baía de

Guanabara. O mapa destas edificações permite, dessa forma, visualizar a relação entre o adensamento populacional e a organização do território em estudo. Ainda, auxilia na identificação de zonas ou regiões que contenham habitações esparsas ou isoladas, e que possam vir a necessitar de auxílio durante a ocorrência de desastres. Aqui, salienta-se que as residências foram mapeadas a partir do uso da base *Open Buildings*, de Sirko *et al.,* (2021). Este projeto possibilitou o mapeamento de habitações em todo o globo a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto, imagens de alta resolução e de um modelo de *deep learning* treinado para identificação de estruturas urbanas.

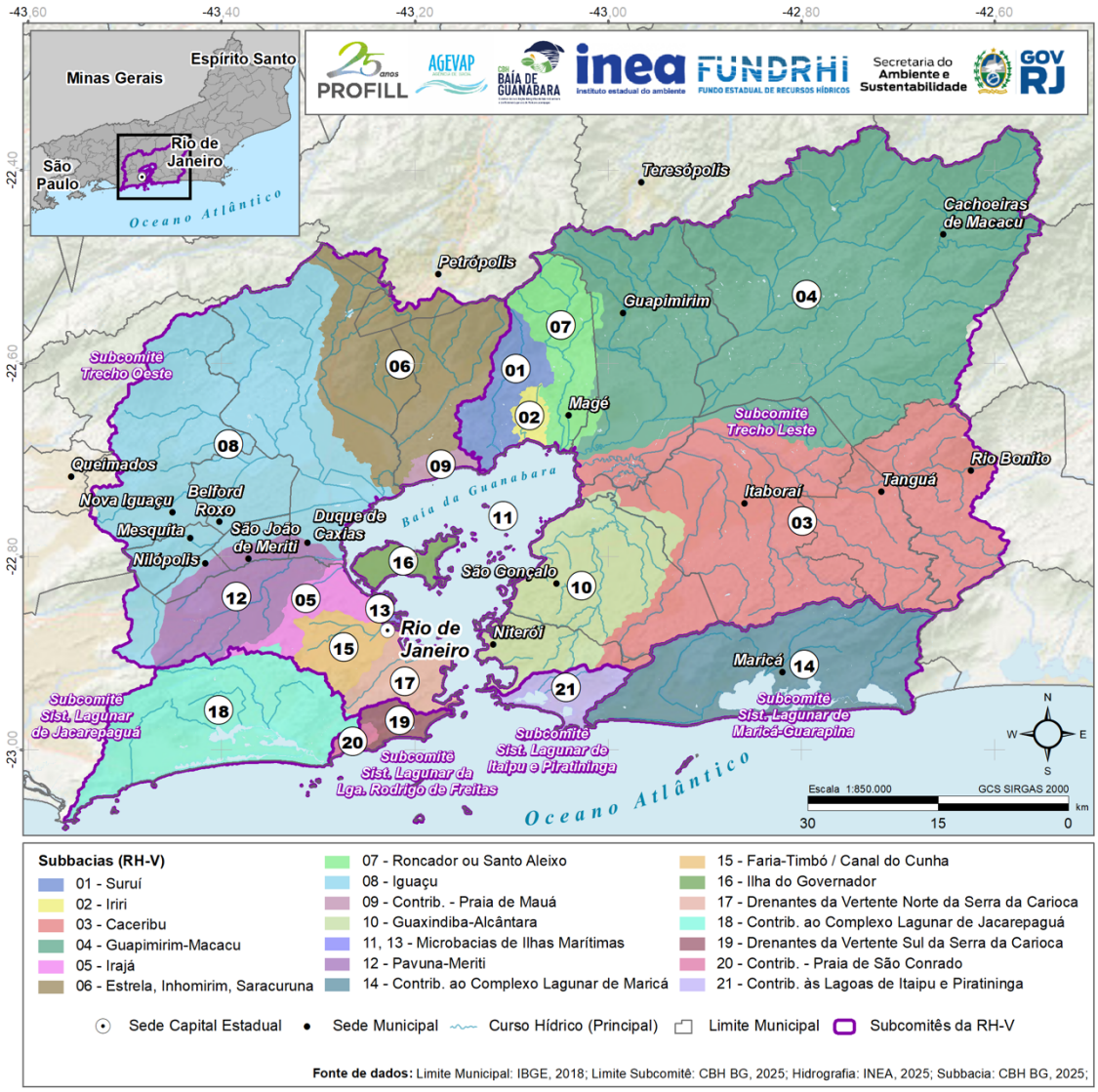
Além disso, a RH-V é dividida em várias sub-bacias, permitindo uma análise detalhada das suas características (Mapa 3-3). Salienta-se a importância também do conhecimento do uso do solo e das unidades de conservação (UCs) presentes na RH-V para a elaboração deste trabalho, os quais são apresentados no Mapa 3-4 e no Mapa 3-5, respectivamente.



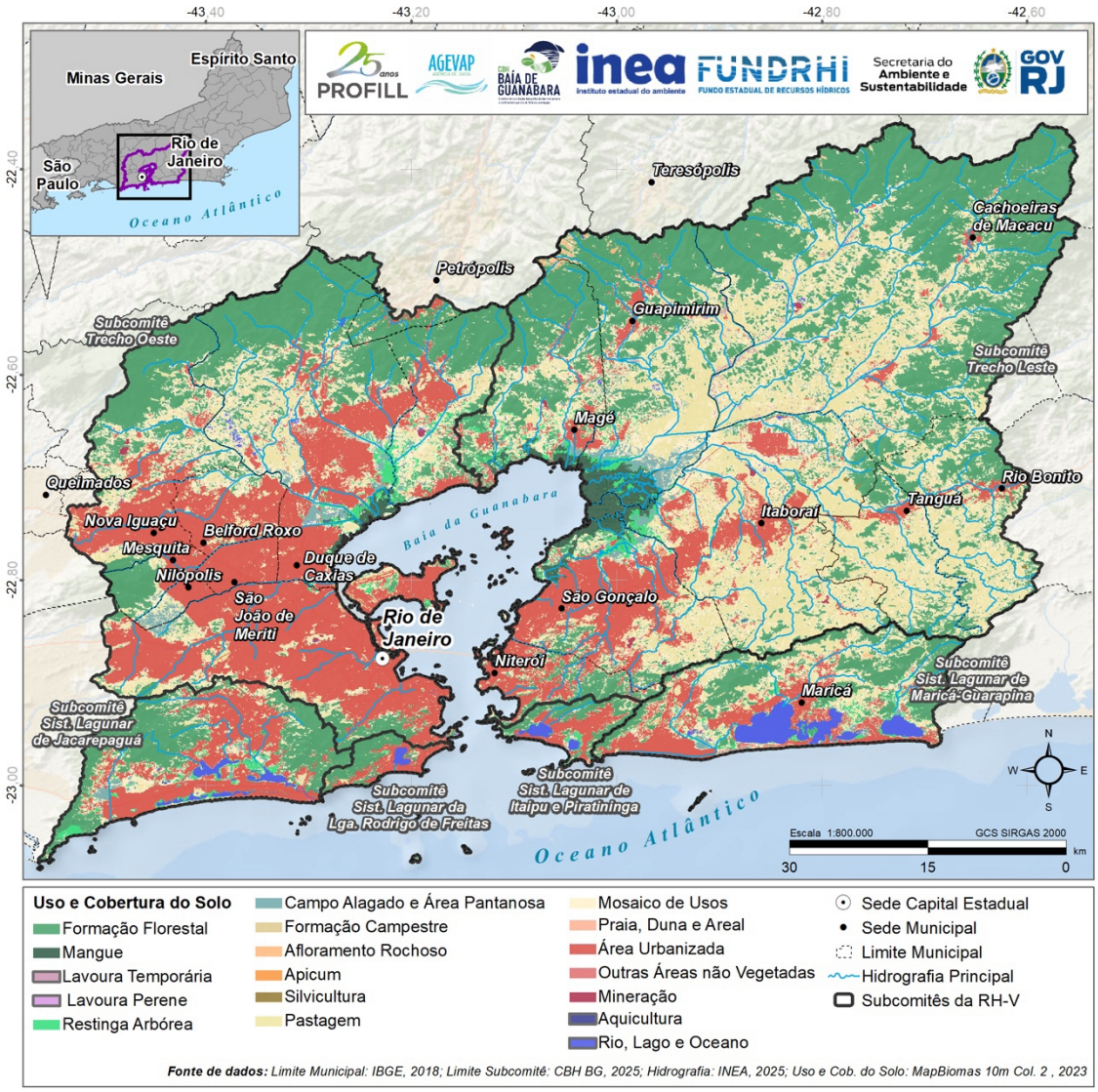
Mapa 3-1 - Localização dos subcomitês da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.



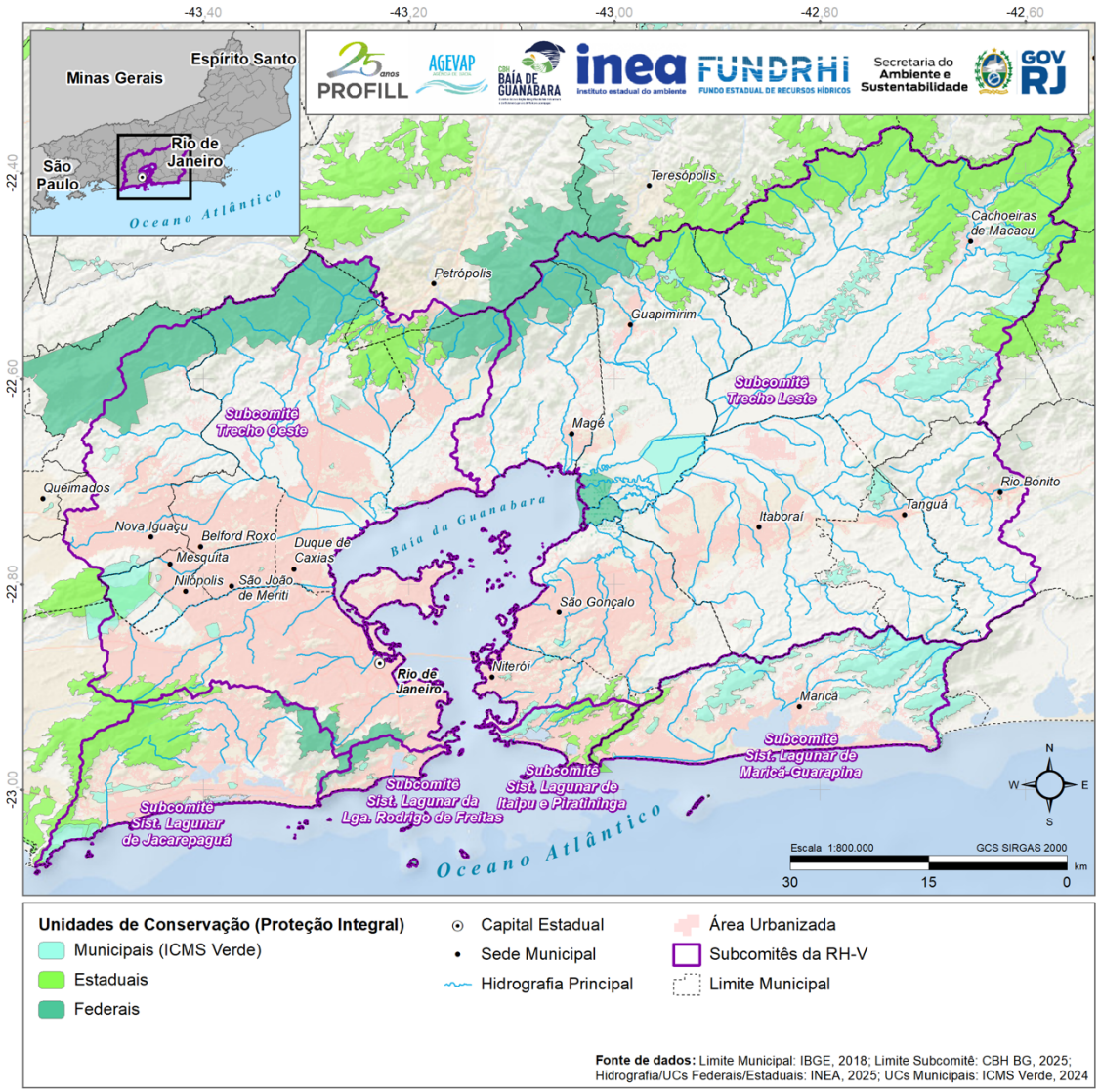
Mapa 3-2 - Localização das residências da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 3-3 - Localização das sub-bacias da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 3-4 – Uso e cobertura do solo da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 3-5 – UCs contidas na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

A ocorrência de eventos extremos vem resultando em desastres que impactam fortemente estruturas sociais, ocasionando danos socioeconômicos de grande relevância. A mensuração da intensidade de um desastre debruça-se na análise desses danos ocasionados, sobretudo, os humanos, sem abstrair-se da quantificação dos danos ambientais e dos prejuízos econômicos.

O desastre é resultante da ocorrência de um fenômeno de origem natural ou antrópico sobre um sistema social, impactando-o direta e indiretamente. A intensidade dependerá da interação entre a magnitude de um evento e o nível de vulnerabilidade da componente socioambiental sobre a qual incide. Conforme World Risk Index (2023), a vulnerabilidade está associada à capacidade de uma população em se recuperar após ser atingida por um desastre, estando diretamente relacionada à organização nas esferas política, institucional, econômica, social e ambiental.

Com a finalidade de mensurar o impacto de diferentes tipos de desastres sobre o sistema socioambiental da RH-V, se desenvolveu uma análise de vulnerabilidade abordada em três diferentes componentes: social, ambiental e econômica. A componente social debruçou-se sobre a análise do perfil populacional e domiciliar, enquanto a ambiental considerou o uso do solo com enfoque nas áreas naturais. Por fim, a componente econômica buscou analisar os diferentes setores e a representação de cada um, considerando o perfil econômico dos municípios da RH-V. Cada uma dessas componentes originou um índice, sendo eles: Índice de Vulnerabilidade Social, Índice de Vulnerabilidade Ambiental e Índice de Vulnerabilidade Econômica.

Para que a mensuração fosse possível, propôs-se a classificação do impacto em cinco diferentes categorias: 1) Muito baixa vulnerabilidade; 2) Baixa vulnerabilidade; 3) Moderada vulnerabilidade; 4) Alta vulnerabilidade e; 5) Muito alta vulnerabilidade. Ressalta-se que a definição das classes foi embasada na metodologia de avaliação de vulnerabilidade para mapeamento de áreas suscetíveis à movimentos de massa e inundações, desenvolvida pela Universidade Federal de Santa Catarina

(UFSC) em parceria com a Secretaria Nacional de Defesa Civil e o Ministério de Integração Nacional. Nos itens a seguir, esses índices são apresentados.

4.1 VULNERABILIDADE SOCIAL

A vulnerabilidade social da RH-V foi determinada a partir do perfil domiciliar de saneamento, representado pelo Índice de Saneamento, e do perfil sociodemográfico, representado pelo Índice Social Crítico, Índice de Renda Média e Índice de Densidade Demográfica. Para tanto, foram utilizadas diferentes variáveis do Censo Demográfico de 2022, aplicadas à escala de setores censitários que é o menor nível de desagregação territorial adotado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para coleta e divulgação do censo.

O conjunto de variáveis buscou mensurar a realidade dos domicílios, com o intuito de analisar as características predominantes de cada setor, medindo-as por meio dos indicadores de condições do sistema de esgotamento sanitário, condições do sistema de descarte de resíduos domésticos e condições do sistema de abastecimento de água, definindo, assim, o Índice de Saneamento. Concomitantemente, foram analisados indicadores sociodemográficos que compuseram os Índices do Perfil Social Crítico, da Renda Média e de Densidade Demográfica possibilitando traçar o Perfil Sociodemográfico. A agregação dos quatro índices (Saneamento, Perfil Social Crítico, Renda Média e Densidade Demográfica) compôs o que se denominou Índice de Vulnerabilidade Social, uma vez que representa as condições domiciliares e os aspectos socioeconômicos da população. A Figura 4-1 ilustra um esquema representativo da estrutura que compõe o Índice de Vulnerabilidade Social.

A metodologia analisou os setores censitários que estão inseridos na RH-V, totalizando 22.741 setores. Contudo, é importante salientar que apenas os setores localizados dentro do limite da referida região é que foram selecionados para análise. Isso gerou um recorte em alguns municípios como Petrópolis, Rio Bonito, Maricá, Rio de Janeiro e Nova Iguaçu conforme identificado no Mapa 4-1.

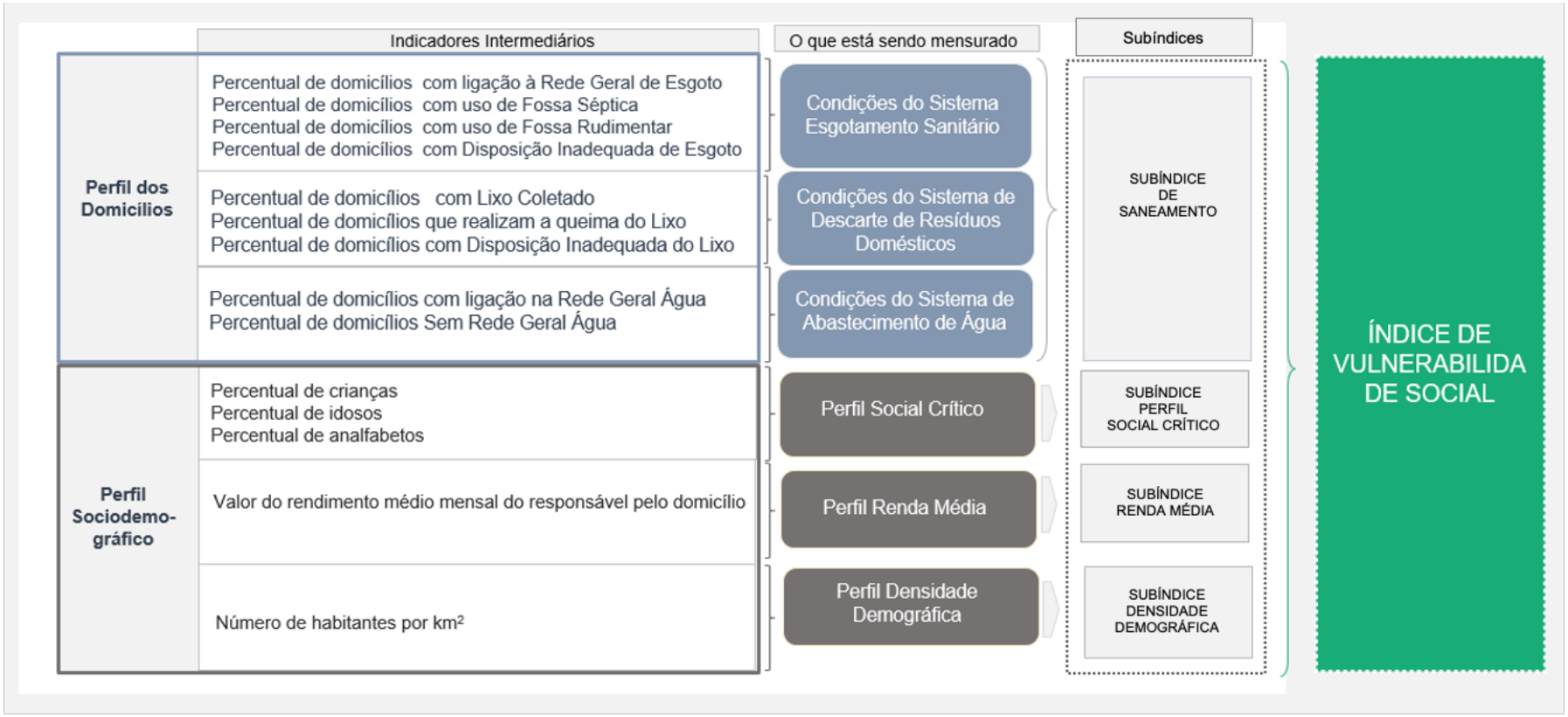
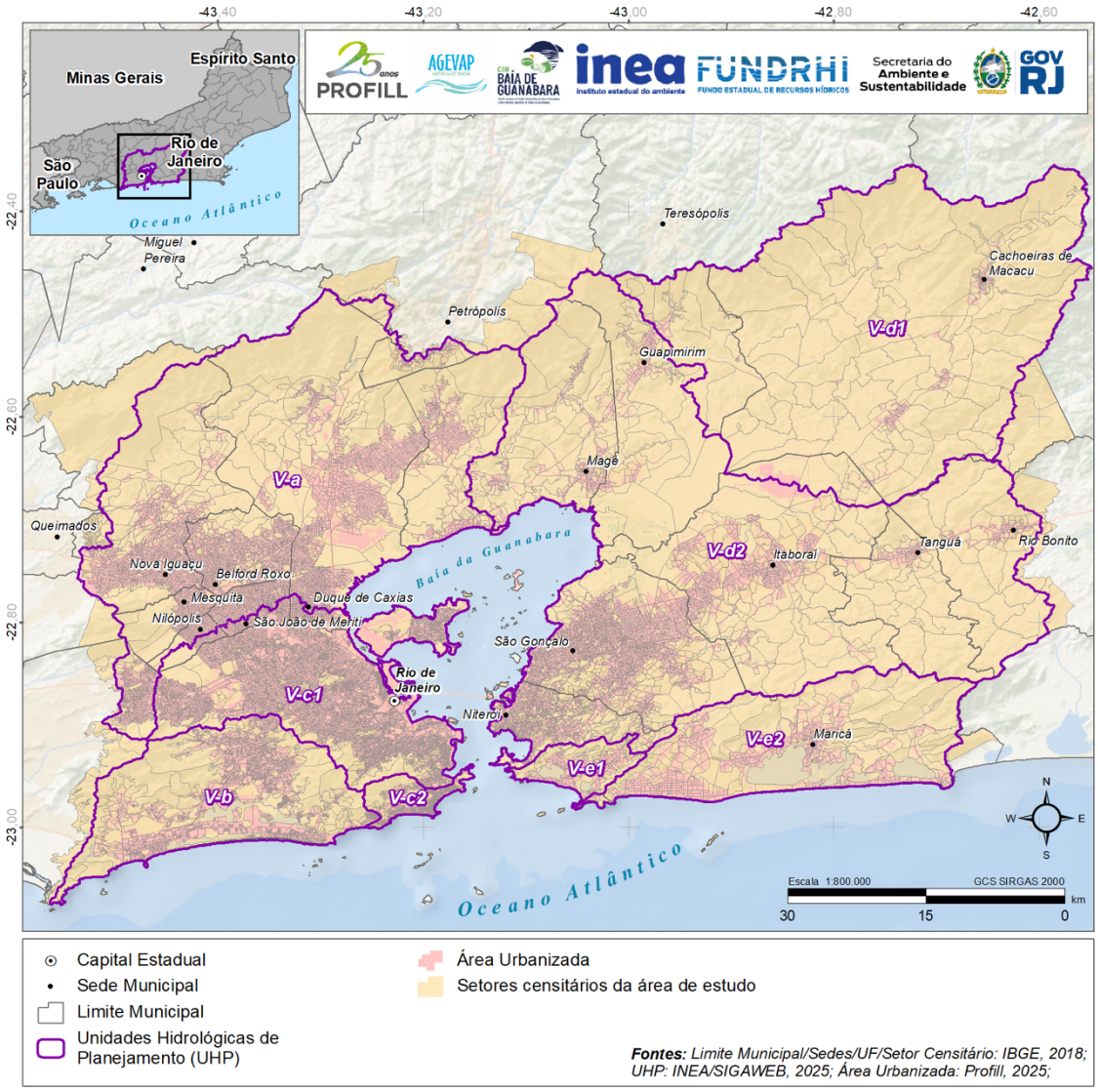


Figura 4-1 – Estrutura do Índice de Vulnerabilidade Social.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 4-1 - Localização dos setores censitários da área de estudo.
Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que a disseminação dos dados em nível de setores censitários segue algumas regras de proteção da informação, as quais são aplicadas quando a divulgação de um dado pode tornar possível a determinação do valor de uma característica de um informante de modo mais preciso (IBGE, 2025). Diante disso, constatou-se a necessidade de ser inserida no processo de construção do Índice, uma etapa voltada ao tratamento dos dados, a qual foi realizada utilizando-se o *software* de programação R em sua versão 4.4.1 e seu ambiente de desenvolvimento R-Studio (R-

Core Team, 2024). A Figura 4-2 ilustra as etapas do processo de obtenção do Índice de Vulnerabilidade Social.

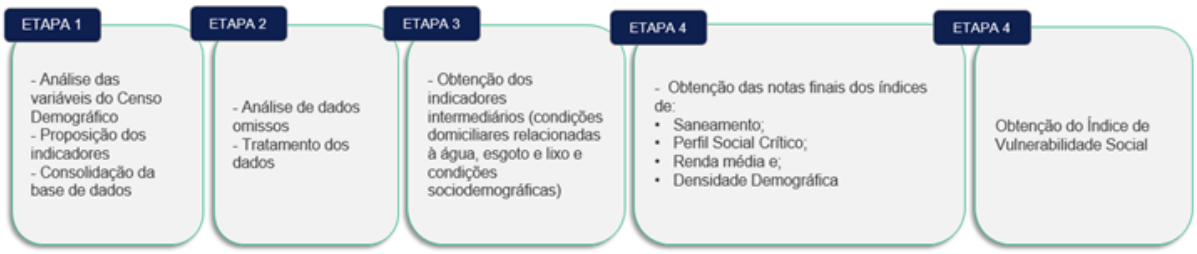


Figura 4-2 – Etapas do processo de consolidação do Índice de Vulnerabilidade Social.
Fonte: Elaboração própria.

As etapas variaram conforme a base de dados, ou seja, o tratamento dos dados e o cálculo dos indicadores foi diferenciado de acordo com as variáveis envolvidas. Estes aspectos serão mais bem detalhados nos itens a seguir, quando serão apresentados cada um dos indicadores que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social. Salienta-se que ao final do processo obteve-se uma classificação que varia de 1 a 5, conforme as classes especificadas anteriormente.

4.1.1 *Subíndice de Saneamento*

O Subíndice de Saneamento traduz o perfil domiciliar em relação à estrutura de saneamento e buscou mensurar as condições dos domicílios segundo três aspectos: o sistema de esgotamento sanitário, o descarte de resíduos domésticos e o sistema de abastecimento de água, os quais compuseram subíndices individualizados, obtendo-se uma nota para cada setor que variou em uma escala de 1 a 5. Ressalta-se que esta escala de 1 a 5 segue a mesma distribuição de categorias, conforme apresentado no início deste capítulo.

É importante destacar que as variáveis domiciliares também apresentaram valores suprimidos para alguns setores censitários, como forma de proteção do informante. Nesses casos, foi realizada a análise do conjunto de dados a fim de identificar quantos setores possuíam ausência de dados, encontrando um total de 543, o que representou 2,4% do total de setores analisados. Para a atribuição de valores para estes setores, foi calculada a média considerando a escala em nível de bairros

e, para aqueles setores que não possuíam a informação do bairro, foi utilizada a média do município. Além disso, outra forma de proteção é a substituição, em alguns casos, do valor pela letra “X”. O IBGE adota esse procedimento nos casos em que o total de domicílio no setor, segundo aquela característica, possui o quantitativo de um ou dois domicílios. Nestes casos, substitui-se a letra “X” pelo valor dois, assumindo o valor máximo possível. A seguir, cada um desses subíndices é mais bem detalhado.

4.1.1.1 Subíndice das Condições do Sistema de Esgotamento Sanitário

Para o cálculo deste subíndice foram consideradas as variáveis apresentadas no Quadro 4-1, a partir das quais foi possível obter a representatividade dos domicílios que possuem ligação com a rede geral de esgoto (RGE), dos que possuem fossa séptica (FS), fossa rudimentar (FR) e os que possuem disposição inadequada de esgoto (DIE), sendo que este é obtido considerando o total de domicílios cujo destino do esgoto é vala, corpo hídrico e outra forma.

Quadro 4-1 - Variáveis que compõem o Subíndice das Condições do Sistema de Esgotamento Sanitário.

Tabela IBGE	Código IBGE	Descrição da Variável	Indicador	Fórmula de Cálculo
Agregados por setores características dos domicílios - parte 2	V00309	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rede geral ou pluvial	Percentual de domicílios com ligação à RGE	$\frac{n\ domicílio\ RGE}{N\ domicílios}$
	V00311	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é fossa séptica ou fossa filtro não ligada à rede	Percentual de domicílios com uso de FS	$\frac{n\ domicílio\ FS}{N\ domicílios}$
	V00312	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é fossa rudimentar ou buraco	Percentual de domicílios com uso de FR	$\frac{n\ domicílio\ FR}{N\ domicílios}$
	V00313	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é vala	Percentual de domicílios com DIE	$\frac{n\ domicílio\ DIE}{N\ domicílios}$

Tabela IBGE	Código IBGE	Descrição da Variável	Indicador	Fórmula de Cálculo
	V00314	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rio, lago, córrego ou mar		
	V00315	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é outra forma		

Fonte: Elaboração própria. *Observação: o total de domicílios (N domicílios) é obtido a partir da soma dos diferentes tipos (Rede Geral Esgoto, Fossa Séptica, Fossa Rudimental e Disposição Irregular de Esgoto).*

Posteriormente à obtenção dos respectivos percentuais, foi calculada uma nota intermediária resultante da multiplicação da representatividade percentual pelo peso atribuído àquela característica domiciliar. Este peso foi definido considerando o quanto tal característica contribui para a vulnerabilidade domiciliar. Nesse sentido, considerou-se que o melhor cenário são aqueles associados a domicílios que estão ligados à RGE, por essa razão tal variável foi categorizada com peso 1. A característica relacionada ao uso de FS foi categorizada com peso três. considerando que esse tipo de destino de dejetos tem maior potencial de contaminação do meio ambiente e oferece risco à saúde pública em última instância. Entretanto, por serem mais adequadamente projetadas, receberam um peso menor que o da FR, definido como 5. Por fim, as DIE receberam peso 4. O Quadro 4-2 apresenta os pesos citados e a obtenção das respectivas notas intermediárias.

Quadro 4-2 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária.

Variável	Peso	Fórmula de Cálculo
RGE	1	% domicílios RGE * 1
FS	3	% domicílios FS * 3
FR	5	% domicílios FR * 5
DIE	4	% domicílios DIE * 4

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida à obtenção da nota intermediária, foi realizado o cálculo da nota final, que representa as condições domiciliares pelo viés do sistema de esgotamento sanitário. Esta nota foi obtida conforme a Equação 1.

Equação 1

$$NFGE = \sum (NIRGE, NIFS, NIFR, NIDIE)$$

Onde NFGE refere-se à Nota Final do Grupo Esgoto, NIRGE à Nota Intermediária da Rede Geral de Esgoto, NIFS à Nota Intermediária da Fossa Séptica, NIFR à Nota Intermediária da Fossa Rudimentar e NIDIE à Nota Intermediária da Disposição Inadequada de Esgoto.

4.1.1.2 Subíndice das Condições do Sistema de Descarte de Resíduos Doméstico

O Subíndice das Condições do Sistema de Descarte de Resíduos Domésticos foi obtido considerando as variáveis apresentadas no Quadro 4-3, com as quais obteve-se a representatividade dos domicílios que possuem seu lixo coletado (LC), dos que realizam a queima do lixo como forma de descarte (LQ) e aqueles que enterram na propriedade, jogam em terrenos baldios ou empregam outro destino, definido como descarte inadequado de lixo (DIL).

Quadro 4-3 - Variáveis que compõem o Subíndice das Condições do Sistema de Descarte de Resíduos.

Tabela IBGE	Código IBGE	Descrição da Variável	Indicador	Fórmula de Cálculo
Agregados por setores características dos domicílios - parte 2	V00397	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Lixo coletado no domicílio por serviço de limpeza	Percentual de domicílios com LC	$\frac{n\ domicílio\ LC}{N\ domicílios}$
	V00399	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Lixo queimado na propriedade	Percentual de domicílios com LQ	$\frac{n\ domicílio\ LQ}{N\ domicílios}$
	V00400	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Lixo enterrado na propriedade	Percentual de domicílios com DIL	$\frac{n\ domicílio\ DIL}{N\ domicílios}$
	V00401	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Lixo jogado em terreno baldio, encosta ou área pública		
	V00402	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Outro destino do lixo		

Fonte: Elaboração própria. *Observação: o total de domicílios (N domicílios) é obtido a partir da soma dos diferentes tipos (Lixo Coletado, Lixo Queimado e Disposição Irregular de Lixo).*

Assim como o subíndice anterior, para este também foi calculada a nota intermediária resultante da multiplicação da representação percentual pelo peso atribuído àquela característica domiciliar. Este peso foi definido levando em conta o quanto tal característica contribui para a vulnerabilidade domiciliar. Nesse sentido, considerou-se que o melhor cenário são domicílios que possuem coleta de resíduos sólidos, recebendo, portanto, peso 1. Em seguida, considerou-se que tanto domicílios que realizam a queima do lixo, quanto os que praticam o descarte irregular, tem o mesmo peso, tendo em vista o quanto essas práticas contribuem para a degradação do meio ambiente e da saúde pública, recebendo peso 4. O Quadro 4-4 apresenta os respectivos pesos e fórmulas de cálculo da nota intermediária.

Quadro 4-4 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária.

Variável	Peso	Fórmula de Cálculo
LC	1	% domicílios LC * 1
LQ	4	% domicílios LQ * 4
DIL	4	% domicílios DIL * 4

Fonte: Elaboração própria.

A nota final que representa as condições domiciliares pelo viés do sistema de descarte de resíduos domésticos foi obtida a partir da soma das notas intermediárias, a qual é apresentada na Equação 2.

Equação 2

$$NFGRD = \sum(NILC\,, NILQ, NIDIL)$$

Onde NFGRD refere-se à Nota Final do Grupo de Resíduos Domésticos, NILC à Nota Intermediária do Lixo Coletado, NILQ à Nota Intermediária do Lixo Queimado e NIDIL à Nota Intermediária da Disposição Inadequada do Lixo.

4.1.1.3 Suíndice das Condições do Sistema de Abastecimento de Água

O Subíndice das Condições do Sistema de Abastecimento de Água foi obtido considerando as variáveis apresentadas no Quadro 4-5 com as quais obteve-

se a representatividade dos domicílios que possuem ligação com a rede geral de abastecimento de água (RGA) e dos que não possuem (SemRGA).

Quadro 4-5 - Variáveis que compõem o subíndice das Condições do Sistema de Abastecimento de Água.

Tabela IBGE	Código IBGE	Descrição da Variável	Indicador	Fórmula de Cálculo
Agregados por setores características dos domicílios - parte 2	V00463	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Domicílio possui ligação à rede geral de distribuição de água, mas utiliza principalmente outra forma	Percentual de domicílios com ligação na RGA	$\frac{n\ domicílio\ RGA}{N\ domicílios}$
	V00464	Domicílios Particulares Permanentes Ocupados; Domicílio não possui ligação à rede geral de distribuição de água	Percentual de domicílios SemRGA	$\frac{n\ domicílio\ SemRGA}{N\ domicílios}$

Fonte: Elaboração própria. *Observação: o total de domicílios (N domicílios) é obtido a partir da soma dos diferentes tipos (Rede Geral de Água e Sem Rede Geral de Água).*

Assim como foi procedido para os anteriores, também foi calculada a nota intermediária resultante da multiplicação da representatividade percentual pelo peso atribuído àquela característica domiciliar. Este peso foi definido levando em conta o quanto tal característica contribui para a vulnerabilidade domiciliar. Desse modo, considerou-se que o melhor cenário são domicílios que possuem ligação com a RGA, recebendo peso 1, e aqueles que não possuíam ligação, receberam peso 5. O Quadro 4-6 apresenta os respectivos pesos e fórmulas de cálculo das notas intermediárias.

Quadro 4-6 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária.

Variável	Peso	Fórmula de Cálculo
RGA	1	% domicílios RGA * 1
SemRGA	5	% domicílios SemRGA * 5

Fonte: Elaboração própria.

A nota final das condições domiciliares pelo viés do sistema de abastecimento de água foi obtida a partir da soma das notas intermediárias (Equação 3) onde NFGA refere-se à Nota Final do Grupo Rede de Água, NIRGA à Nota Intermediária da Rede Geral de Água, NISemRGA à Nota Intermediária dos que não possuem Rede Geral de Água.

Equação 3

$$NFGA = \sum(NIRGA\,, NISemRGA)$$

4.1.1.4 Nota Final para Determinação do Subíndice de Saneamento

Após a consolidação das notas individuais de cada um dos subíndices que mensuraram as condições da rede de esgoto, do sistema de descarte de resíduo doméstico e da rede de água, foi calculada a nota final que compôs o subíndice de Saneamento (IS) de cada setor censitário. Considerando a existência de três grupos que refletem condições que podem ser sensíveis ao agravamento da vulnerabilidade, atribuiu-se o mesmo peso para cada um dos subíndices, conforme mostra a Equação 4.

Equação 4

$$IS = \sum((NFGE * 0{,}333), (NFGRD * 0{,}333), (NFGA * 0{,}333))$$

O IS foi categorizado em cinco classes relacionadas ao nível de vulnerabilidade domiciliar do setor censitário, considerando as características relacionadas ao sistema de esgoto, ao sistema de abastecimento de água e ao sistema de descarte de resíduos domésticos, conforme mostra o Quadro 4-7:

Quadro 4-7 – Intervalo de classes referentes ao Subíndice de Saneamento (IS).

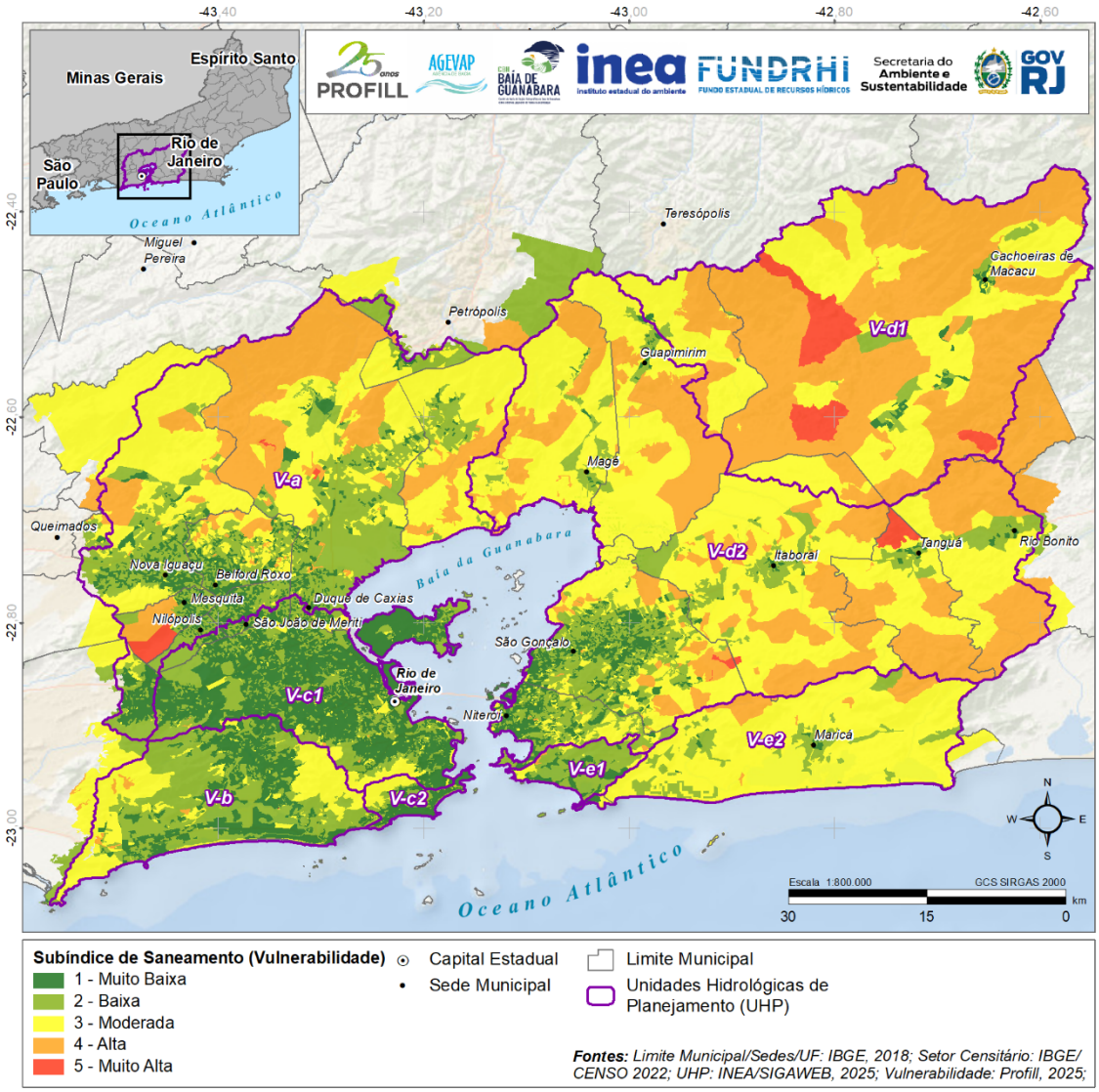
Classe	Categoria	Intervalo
1	Muito Baixa Vulnerabilidade	0,33 a 1,49
2	Baixa Vulnerabilidade	1,50 a 2,49
3	Moderada Vulnerabilidade	2,50 a 3,49
4	Alta Vulnerabilidade	3,50 a 4,49
5	Muito Alta Vulnerabilidade	4,50 a 4,66

Fonte: Elaboração própria.

O referido subíndice foi calculado para todos os setores censitários que intersectam a RH-V, sendo apresentado espacialmente no Mapa 4-2. Ele demonstra um panorama diverso em relação ao saneamento básico da RH-V, havendo bairros e

regiões à oeste da região (município do Rio de Janeiro) que mesclam classes de vulnerabilidade muito altas com classes muito baixas, o que reflete, em parte, a desigualdade socioeconômica regional.

Ao mesmo tempo, também se destaca que regiões de maior densidade populacional, associadas a grandes centros urbanos, tendem a refletir menores classes de vulnerabilidade quanto ao saneamento, uma vez que, em geral, são mais bem atendidas por serviços do eixo do saneamento. Isso não significa, entretanto, que dentro de áreas urbanas adensadas e parcialmente atendidas por serviços de saneamento básico não existam áreas de maior vulnerabilidade, que são aqui identificadas e levadas em consideração no contexto do presente estudo.



Mapa 4-2 – Subíndice de Saneamento na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 *Perfil Sociodemográfico*

O Perfil Sociodemográfico traduz a característica predominante dos moradores da RH-V a partir da perspectiva de três subíndices: (i) Subíndice Perfil Social Crítico; (ii) Subíndice Renda Média e; (iii) Subíndice Densidade Demográfica. Ressalta-se que a escolha desses subÍndices para composição do perfil, deveu-se à relevância que eles possuem para mensuração da vulnerabilidade de um sistema social, sendo cada um deles mais bem detalhados nos itens subsequentes.

No entanto, faz-se necessário, primeiramente, destacar que, assim como as variáveis domiciliares, as variáveis relacionadas a pessoas e renda também apresentaram valores suprimidos para alguns setores censitários, como forma de proteção do informante. Os mesmos setores censitários identificados com ausência de dados referente às variáveis de domicílio, também foram identificados na base de pessoas, a partir da qual extraiu-se o Subíndice Perfil Social Crítico, e na base renda, insumo para o Subíndice Renda Média. Desse modo, o total de setores com ausência de valores foi de 543, representando 2,4% do total analisado. Apenas a base que contém os dados referentes à área dos setores censitários e o número de habitantes, utilizada para obtenção do Subíndice Densidade Demográfica, que dispunha de valores.

No que tange ao tratamento dos dados para a base de pessoas, atribuiu-se valores para estes setores a partir do cálculo da média considerando a escala em nível de bairros e, para aqueles setores que não possuíam a informação do bairro, foi utilizada a média do município. Destaca-se ainda que a outra forma de proteção é a substituição do valor pela letra “X” quando o valor original seria 1 ou 2. Nesses casos, foi adotado o valor 2 em substituição à letra “X” assumindo o valor máximo possível.

Em relação aos dados sobre a rendimento médio do responsável pelo domicílio, utilizado no indicador de renda média, a proteção do dado ocorre quando o setor possui menos de cinco domicílios ou quando a variância do rendimento dos responsáveis naquele setor equivale a zero. Nestes casos os valores são omitidos (a omissão é representada pela letra “X” na base de dados) para a proteção do informante, tendo em vista a facilidade em identificar o rendimento médio dos informantes. Assim como nos casos anteriores, também foram adotados os valores médios conforme a escala territorial em nível de bairro, e para aqueles casos em que essa informação não existia, a adoção em nível municipal.

4.1.2.1 Subíndice Perfil Social Crítico

O Subíndice Perfil Social Crítico foi estabelecido considerando o grupo de pessoas composto por crianças (de zero a 14 anos), de idosos (a partir de 60 anos)

e de pessoas analfabetas abrangendo, nesse caso, a faixa etária a partir de 15 anos. A escolha dos grupos de crianças e idosos foi embasada na metodologia de avaliação de vulnerabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil, 2014), que sugeriu esses dois grupos sociais por considerar a elevada vulnerabilidade que representam, sobretudo, em momentos em que há a necessidade de resposta para atendimento de um desastre. A inclusão do grupo de analfabetos ocorreu por considerá-los também vulneráveis, porém em menor nível que os anteriores, mas tendo em vista o aspecto da dificuldade de compreenderem informações sobre alertas de perigo. Para o cálculo desse subíndice, foram consideradas as variáveis apresentadas no Quadro 4-8, a partir das quais foi possível obter a representatividade do total de crianças, de idosos e de pessoas analfabetas.

Quadro 4-8 - Variáveis que compõem o Subíndice Perfil Social Crítico.

Tabela IBGE	Código IBGE	Descrição da Variável	Indicador	Fórmula de Cálculo
Agregados por setores características demografia	V01031	0 a 4 anos	Percentual de Crianças	$\frac{n\ crianças}{N\ moradores\ *}$
	V01032	5 a 9 anos		
	V01033	10 a 14 anos		
	V01040	60 a 69 anos	Percentual de Idosos	$\frac{n\ idosos}{N\ moradores\ *}$
	V01041	70 anos ou mais		
	V00853	15 a 29 anos; Morador não sabe ler e escrever	Percentual de analfabetos	$\frac{n\ analfabetos}{N\ moradores\ **}$
	V00855	30 a 59 anos; Morador não sabe ler e escrever		
	V00857	60 anos ou mais; Morador não sabe ler e escrever		

Fonte: Elaboração própria. *considera a soma do total do grupo de crianças e idosos; **considera a soma do total de pessoas analfabetas e não analfabetas.

Posteriormente à obtenção dos percentuais de cada um dos grupos, procedeu-se o cálculo da nota intermediária. Para tanto, foram considerados diferentes pesos para cada grupo, conforme sua fragilidade frente a uma emergência. Neste caso, atribuiu-se peso 5 para crianças, peso 4 para idosos e peso 3 para analfabetos. O Quadro 4-9 apresenta os respectivos pesos e fórmulas de cálculo das notas intermediárias.

Quadro 4-9 - Pesos das variáveis e obtenção da nota intermediária.

Variável	Peso	Fórmula de Cálculo
Crianças	5	% Crianças * 5
Idosos	4	% Idosos * 4

Variável	Peso	Fórmula de Cálculo
Analfabetos	3	% Analfabetos * 3

Fonte: Elaboração própria.

A nota final considerando os três agrupamentos, consistiu no somatório das notas intermediárias, conforme mostra a Equação 5, onde NFPSC refere-se à Nota Final do Perfil Social Crítico, NIC é a Nota Intermediária de Crianças, NII a Nota Intermediária de Idosos e NIA a Nota Intermediária de Analfabetos.

Equação 5

$$NFPSC = \sum(NIC, NII, NIA)$$

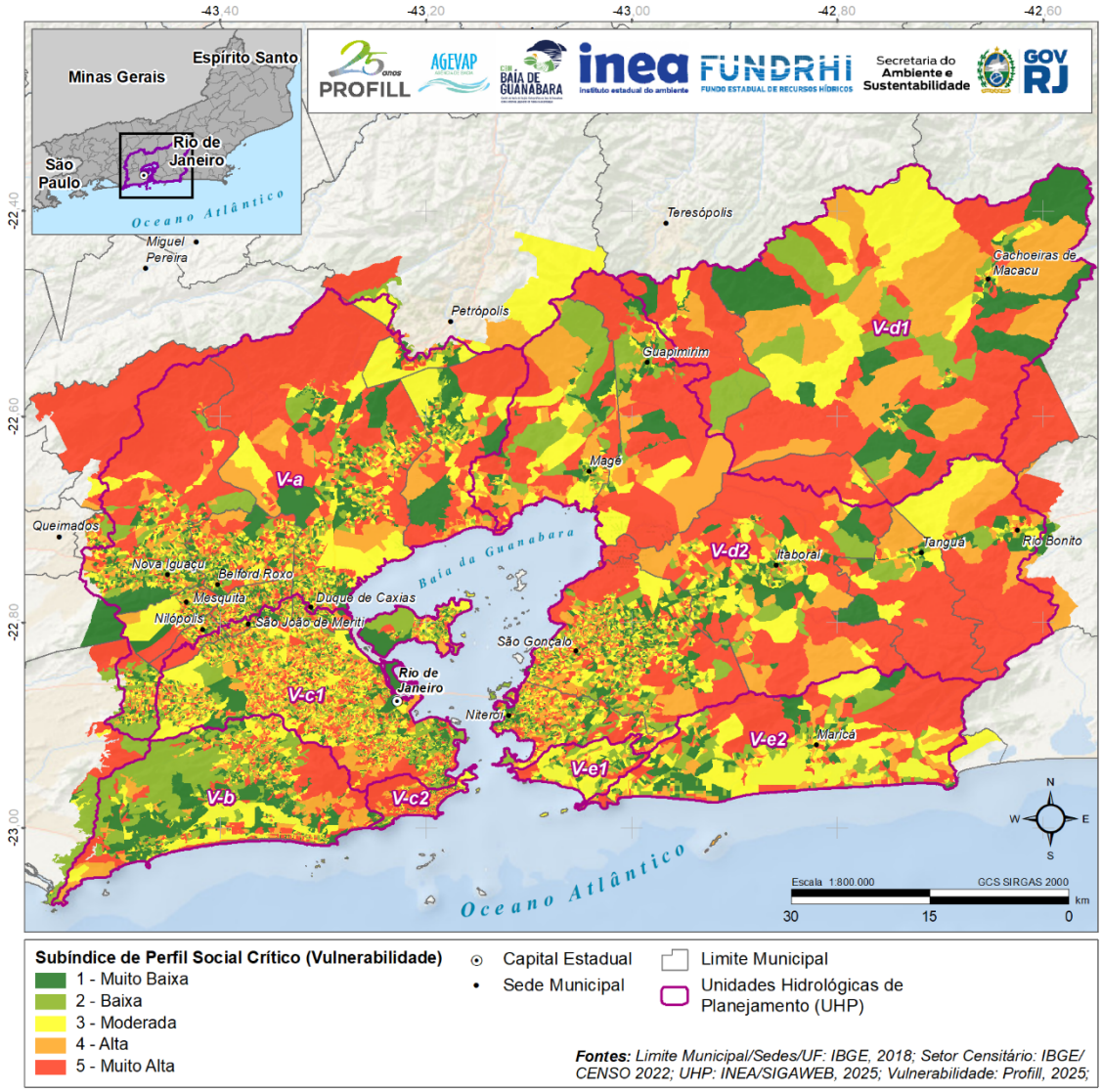
Por fim, para vincular a nota final do Subíndice Perfil Social Crítico a uma categorização adequada de intervalo de valores, os quais se distribuem da primeira (muito baixa vulnerabilidade) à quinta classe (muito alta vulnerabilidade), procedeu-se a análise dos percentis aplicada ao conjunto de notas finais por município. Desse modo, certificou-se que a distribuição respeita a característica do perfil do município, conforme apresentado na Tabela 4-1. E, por fim, o Mapa 4-3 ilustra o Subíndice Perfil Social Crítico por setor censitário calculado para a RH-V.

Tabela 4-1 – Distribuição do Subíndice Perfil Social Crítico por classe, por município

Município	Muito Baixa Vulnerabilidade	Baixa Vulnerabilidade	Moderada Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Muito Alta Vulnerabilidade
Belford Roxo	1,56	1,67	1,76	1,85	3,59
Cachoeiras de Macacu	1,75	1,87	1,97	2,12	3,59
Duque de Caxias	1,62	1,71	1,79	1,89	3,59
Guapimirim	1,70	1,77	1,85	2,01	3,59
Itaboraí	1,64	1,75	1,85	2,00	3,59
Magé	1,67	1,78	1,87	2,02	3,59
Maricá	1,64	1,74	1,81	1,93	3,59
Mesquita	1,58	1,67	1,75	1,84	2,43
Petrópolis	1,64	1,73	1,77	1,88	3,59
Nilópolis	1,58	1,65	1,71	1,80	2,85
Niterói	1,60	1,72	1,80	1,90	3,59
Nova Iguaçu	1,60	1,70	1,78	1,86	3,59
Rio Bonito	1,64	1,74	1,82	1,96	3,59
Rio de Janeiro	1,57	1,70	1,79	1,89	4,52
São Gonçalo	1,56	1,68	1,76	1,86	3,59

Município	Muito Baixa Vulnerabilidade	Baixa Vulnerabilidade	Moderada Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Muito Alta Vulnerabilidade
São João de Meriti	1,59	1,67	1,73	1,81	3,59
Tanguá	1,67	1,81	1,90	2,01	3,59

Fonte: Elaboração própria.



Mapa 4-3 – Subíndice Perfil Social Crítico na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

4.1.2.2 Subíndice Renda Média

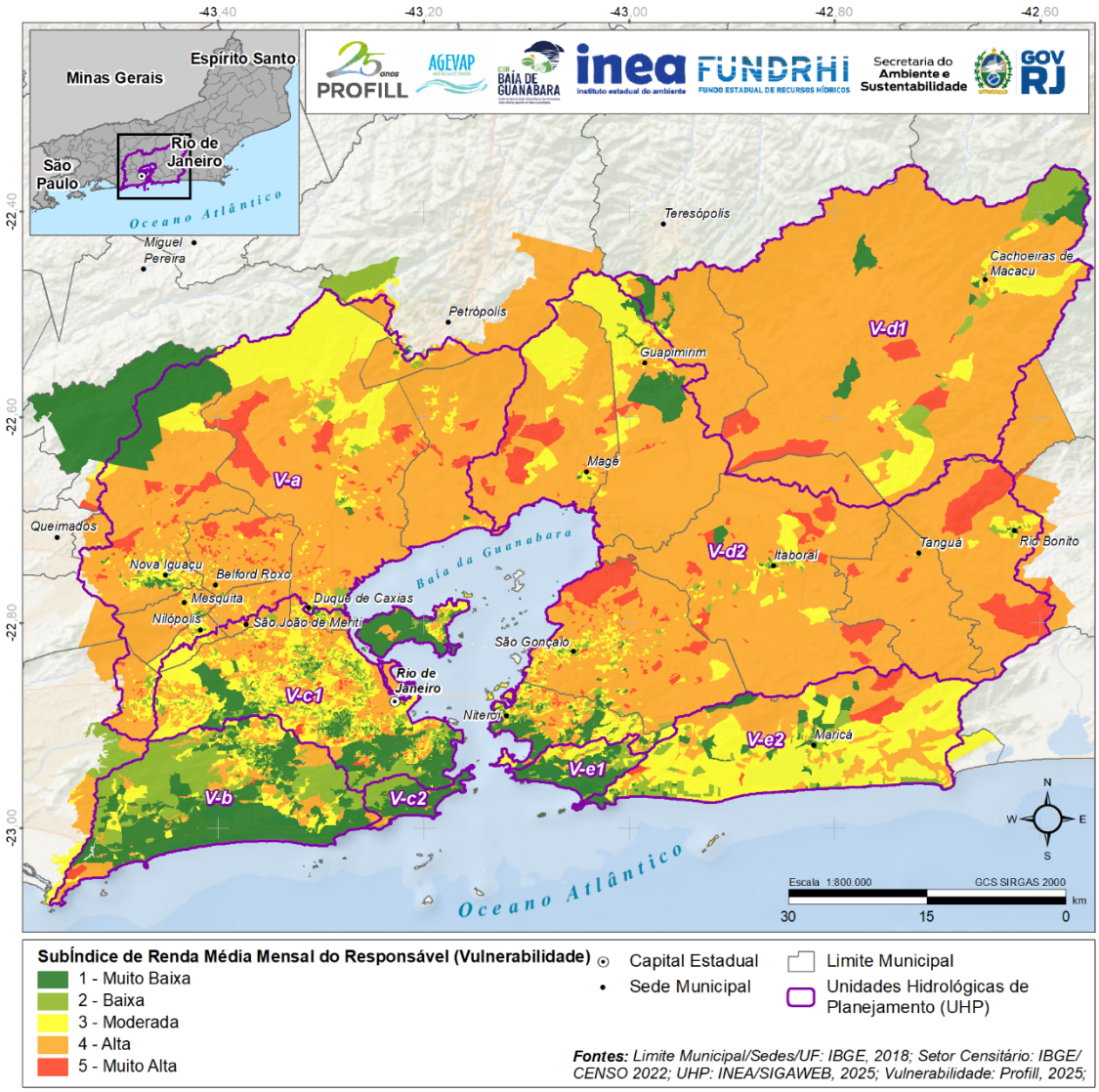
O Subíndice de Renda Média considerou apenas uma variável para sua mensuração que foi o valor do rendimento médio mensal do responsável pelo domicílio (V06004 - pertencente à tabela do IBGE: Agregados por setores renda responsável), possibilitando compreender o perfil socioeconômico de cada setor. Não há fórmula de cálculo para este indicador, uma vez que foi adotado o valor direto disponibilizado pelo IBGE.

Para a vinculação das rendas médias mensais às categorias que variaram de 1 a 5, optou-se por adotar uma distribuição baseada no estudo da UFSC, já mencionado neste documento. A vinculação se deu ao salário-mínimo referente ao ano de 2022, por ser o ano dos dados do censo demográfico (no valor de R$1.222). O Quadro 4-10 apresenta a distribuição dos salários-mínimos por classe adotado para o estudo, em conjunto com a nota atribuída, que variou de 1 a 5. O Mapa 4-4 ilustra a distribuição territorial da renda média do responsável pelo domicílio, por setor censitário na área de estudo.

Quadro 4-10 – Distribuição dos salários-mínimos por classe.

Classe de Vulnerabilidade	Nota	Salário-Mínimo
Muito Baixa	1	4
Baixa	2	3 a 4
Moderada	3	2 a 3
Alta	4	1 a 2
Muito Alta	5	Até 1

Fonte: Elaboração própria.



Mapa 4-4 – Subíndice Renda Média Mensal do Responsável na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

4.1.2.3 Subíndice Densidade Demográfica

O Subíndice Densidade Demográfica mensurou a densidade populacional de cada um dos setores censitários por considerar que tal medida demonstra maior nível de vulnerabilidade do setor quanto maior for a densidade populacional, uma vez que, em momentos de desastres, processos de evacuação e organização operacional se tornam mais complexas. Para o cálculo, foram utilizadas duas variáveis, conforme demonstrado no Quadro 4-11.

Quadro 4-11 - Variáveis que compõem o Subíndice Densidade Demográfica.

Tabela IBGE	Código IBGE	Descrição da Variável	Indicador	Fórmula de Cálculo
Agregados por setores básico	V0001	Total de pessoas que residem no setor	Densidade Demográfica do Setor Censitário	$\frac{n\ moradores}{área\ do\ setor}$
	Área	Área do setor (km^2)		

Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente à obtenção dos valores de densidade demográfica para cada setor, procedeu-se a análise por percentil considerando o recorte do conjunto de dados por municípios. Desse modo, estabeleceu-se a vinculação das diferentes densidades com as classes de 1 (muito baixa vulnerabilidade) a 5 (muito alta vulnerabilidade). A Tabela 4-2 apresenta a distribuição do indicador para cada uma das classes de vulnerabilidade analisadas por município.

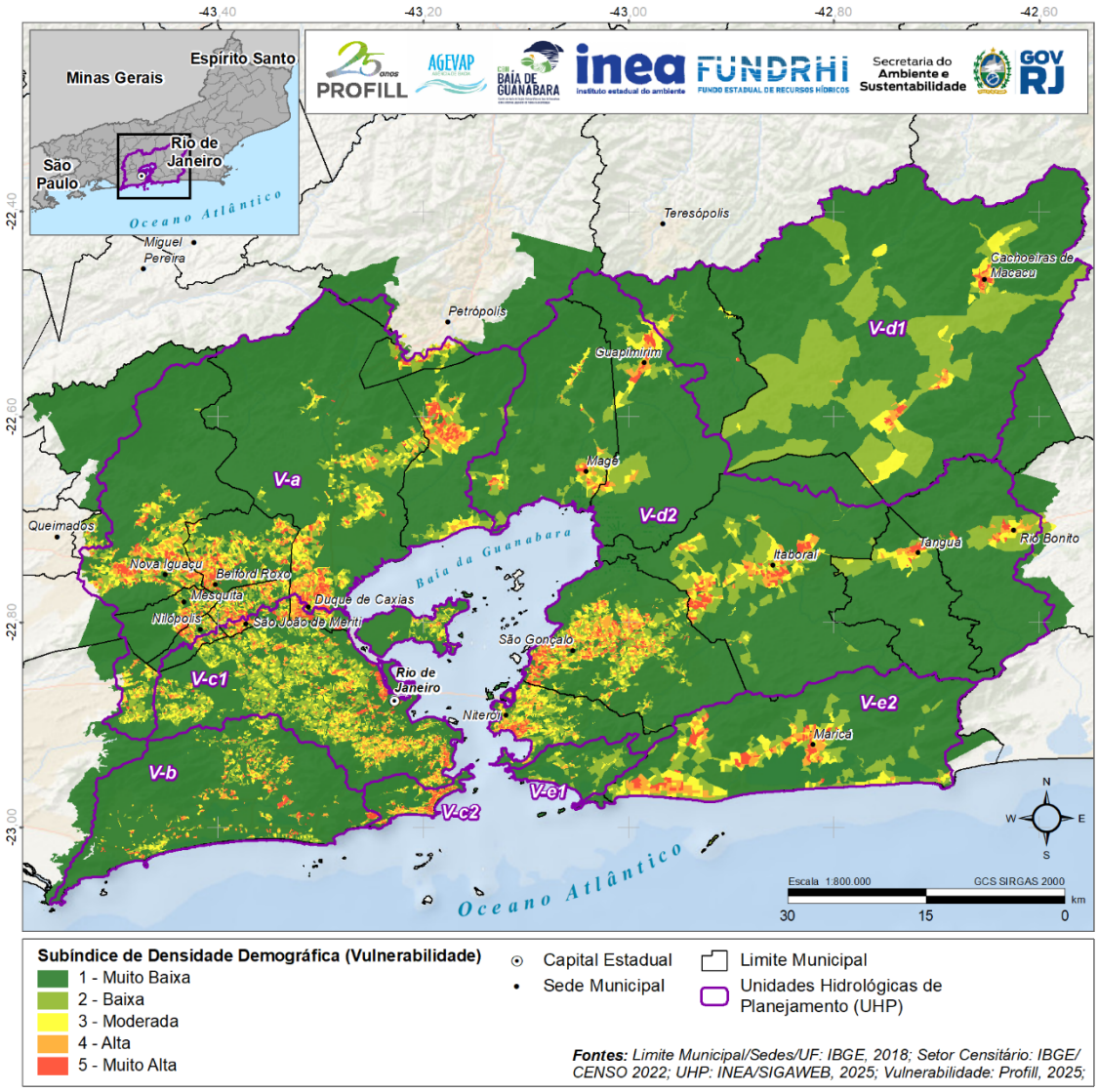
Tabela 4-2 – Distribuição do Subíndice Densidade Demográfica por classe, por município

Município	Muito Baixa Vulnerabilidade	Baixa Vulnerabilidade	Moderada Vulnerabilidade	Alta Vulnerabilidade	Muito Alta Vulnerabilidade
Belford Roxo	6.085,70	8.464,23	10.441,94	13.580,08	86.797,62
Cachoeiras de Macacu	12,43	160,62	1.778,53	5.083,71	26.993,67
Duque de Caxias	3.873,50	6.750,58	9.844,40	13.965,59	150.599,90
Guapimirim	169,98	620,63	2.051,35	4.276,05	13.246,50
Itaboraí	472,10	2.249,63	4.294,68	6.412,13	80.077,89
Magé	841,77	2.323,62	4.220,49	6.894,77	54.130,87
Maricá	497,55	1.365,86	2.532,24	3.843,48	61.895,90
Mesquita	9.029,88	12.118,45	14.575,68	17.609,66	83.829,10
Petrópolis	506,44	2.260,64	4.323,23	7.982,95	32.889,49
Nilópolis	12.294,43	14.480,81	16.808,21	20.135,19	142.863,58
Niterói	3.273,27	6.490,37	12.012,17	32.116,14	297.112,34
Nova Iguaçu	4.305,74	7.227,06	9.353,19	11.720,89	209.900,10
Rio Bonito	271,30	1.599,10	3.330,59	5.148,57	11.683,35
Rio de Janeiro	8.941,72	14.303,95	23.606,96	45.063,11	723.335,64
São Gonçalo	4.255,29	7.189,34	9.393,11	11.986,41	334.722,41
São João de Meriti	10.710,71	13.183,47	15.511,83	17.661,73	62.705,10
Tanguá	95,60	987,26	2.861,87	5.727,53	54.957,48

Fonte: Elaboração própria.

O Mapa 4-5 ilustra a distribuição do Subíndice Densidade Demográfica na área de estudo, identificando as cinco classes presentes no cenário. Observa-se

que áreas sabidamente muito densas, localizadas em áreas urbanas como o município do Rio de Janeiro e o município de Niterói, por exemplo, aparecem com indicadores de média, alta e muito alta vulnerabilidade quanto à densidade populacional. Do mesmo modo, este mapeamento também permitiu quantificar a vulnerabilidade demográfica em regiões de outros municípios não tão populosos localizados na RH-V.



Mapa 4-5 – Subíndice Densidade Demográfica na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

4.1.3 *Índice de Vulnerabilidade Social*

O Índice de Vulnerabilidade Social, conforme anteriormente mencionado e em consonância com as informações apresentadas no Plano de Trabalho do supracitado estudo, consiste na agregação de todos os subíndices apresentados anteriormente, conforme ilustra a Figura 4-3.

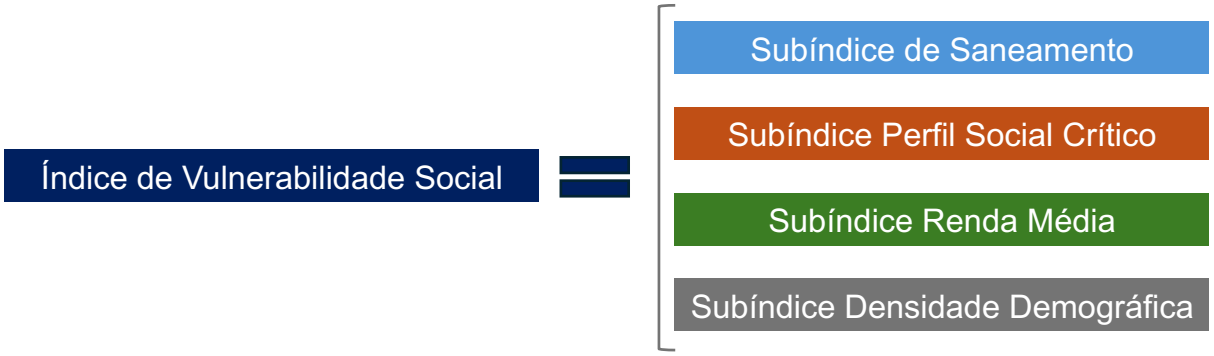


Figura 4-3 – Composição do Índice de Vulnerabilidade Social.
Fonte: Elaboração própria.

Para realizar tal agregação, foram atribuídos pesos distintos a cada um dos subíndices. A definição dos pesos levou em consideração a relevância do subÍndice em relação à vulnerabilidade do sistema social. Neste sentido, considerou-se que dos quatro subíndices tratados, o Subíndice de Saneamento, por representar as condições domiciliares, teria menor peso na agregação final. Em segundo lugar, com menor peso, foi considerado o Subíndice Perfil Social Crítico que, apesar de representar parcelas vulneráveis da população, a representatividade desses grupos não é tão elevada, sendo crianças (17%), idosos (20%) e analfabetos (3%). Entretanto, o Subíndice Renda Média que representa uma característica socioeconômica que impacta diretamente na capacidade de reestabelecimento de uma população após um desastre, e o Subíndice Densidade Demográfica, o qual demonstra o nível de vulnerabilidade de um sistema social pelo elevado adensamento, receberam igual peso no cálculo do sub-Índice final. A Tabela 4-3 indica os pesos de cada subíndice na obtenção do Índice de Vulnerabilidade Social.

Tabela 4-3 – Pesos dos Subíndices que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social

Índice	Peso
Saneamento	0,15
Perfil Social Crítico	0,25
Renda Média	0,30
Densidade Demográfica	0,30

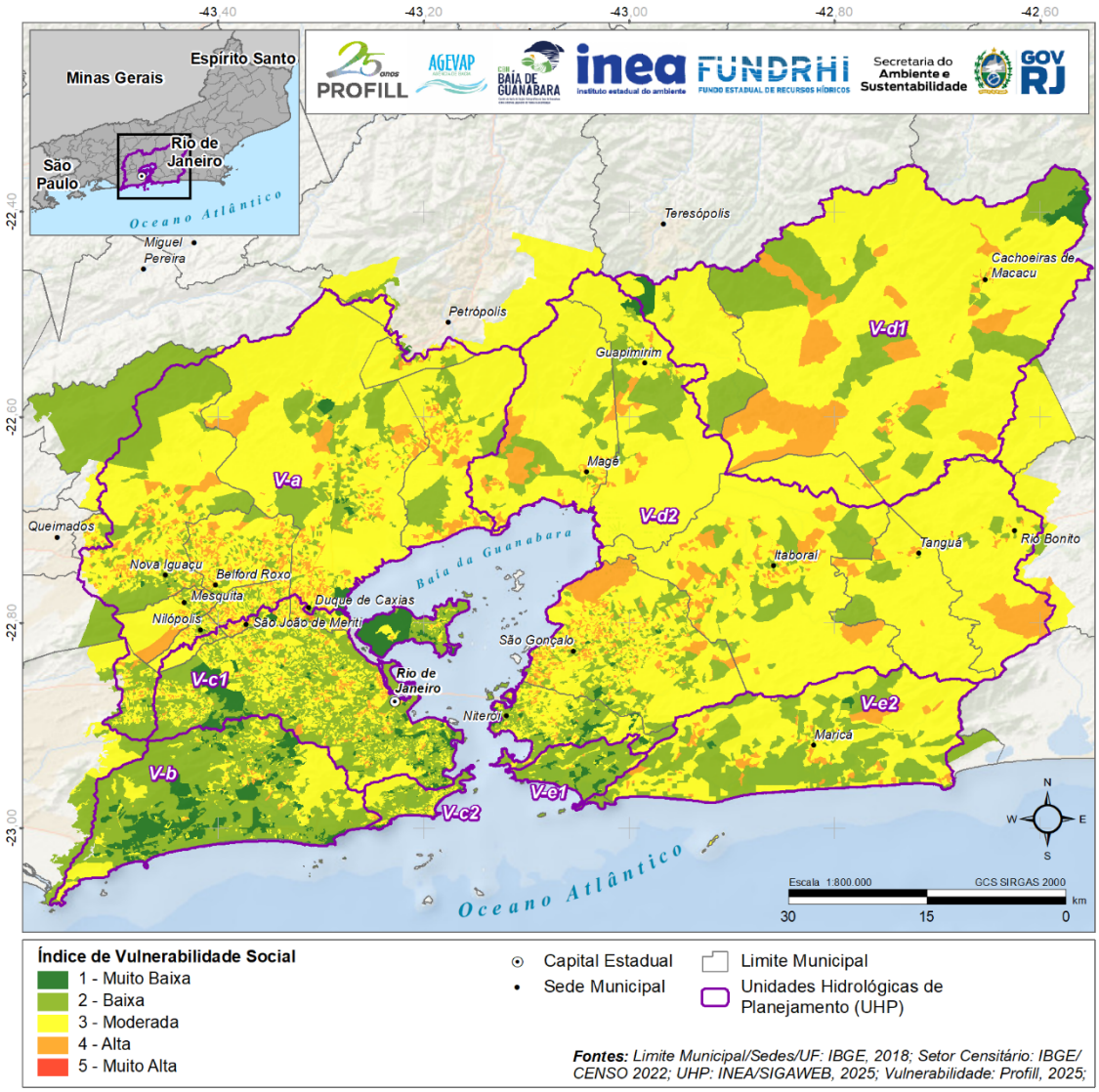
Fonte: Elaboração própria.

O cálculo do Índice de Vulnerabilidade Social seguiu, portanto, a Equação 6. Nesta equação, IVS representa o Índice de Vulnerabilidade Social, IS o Índice de Saneamento, IPSC o Índice de Perfil Social Crítico, IRM o Índice de Renda Média e IDD o Índice de Densidade Demográfica.

Equação 6

$$IVS = \sum((IS * 0{,}15)\,, (IPSC * 0{,}25), (IRM * 0{,}30), (IDD * 0{,}30))$$

A obtenção do IVS para a área de estudo é então representada pelo Mapa 4-6, que ilustra a sua distribuição espacial na RH-V, considerando-se os limites dos municípios ou dos setores censitários que intersectam o limite da referida região.



Mapa 4-6 – Índice de Vulnerabilidade Social na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

No que tange ao quantitativo de setores censitários, destaca-se Rio de Janeiro, São Gonçalo e Duque de Caxias que juntos representam 67,7% do total. No entanto, quando se analisa individualmente cada município, verifica-se que a classe 3, indicativa de moderada vulnerabilidade, foi a mais representativa em relação ao total de setores censitários de cada um.

Prosseguindo nessa análise individualizada, porém buscando identificar aqueles que apresentaram maior proporção de setores com moderada e alta vulnerabilidade, destacam-se Magé, Itaboraí, Petrópolis, Cachoeiras do Macacu, Belford

Roxo e Guapimirim. Em complementação, à análise individualizada, entretanto com foco nas classes de alta e muito alta vulnerabilidade social, confere-se destaque novamente à Magé, Itaboraí, Belford Roxo, Cachoeiras do Macacu, mas adiciona-se os municípios de São João do Meriti, Duque de Caxias e Mesquita.

Por fim, mas ainda seguindo na análise individualizada, destacam-se Niterói, Rio de Janeiro, Maricá e Nilópolis como aqueles que possuem considerável representatividade de classes muito baixa e baixa vulnerabilidade. Ainda, ressalta-se que apenas Maricá, Nilópolis, Niterói, Petrópolis e Tanguá não apresentaram a classe 5, definida como muito alta vulnerabilidade social.

4.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

O termo vulnerabilidade ambiental é a suscetibilidade de um sistema a um dano potencial ou transformação quando sujeito a alguma perturbação ambiental (EMBRAPA, 2010). Adicionalmente, as definições de vulnerabilidade atrelam esse conceito a um ou mais fatores como exposições, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta do próprio sistema, sendo possível, desse modo, avaliar o maior ou menor grau de vulnerabilidade. A exposição refere-se à duração ou extensão em que o sistema está em contato com o desastre ocorrido, já a sensibilidade, pode ser interpretada como o grau de absorção do fato ocorrido sem sofrer alterações de longo prazo e, por fim, a capacidade adaptativa se refere à habilidade do sistema de se ajustar ao dano sofrido. Para determinação de classes de vulnerabilidade, AGEVAP (2021) considerou a resistência e a capacidade de recuperação do ambiente, tendo em vista sua importância relacionada a fatores como biodiversidade, recursos hídricos e aspectos socioculturais.

A presente análise embasou-se nesses conceitos para determinação da classe de vulnerabilidade ambiental da RH-V. Para tanto, foram consideradas bases cartográficas obtidas de fontes secundárias como do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, de onde obteve-as Unidades de Conservação (UCs) nas esferas municipal, estadual e federal e o Projeto Mapbiomas, a partir do qual se obteve dados geoespaciais a respeito do uso do solo da região de interesse.

Primeiramente as referidas camadas *raster* foram delimitadas com base na área de estudo, para restrição da análise à região de interesse, e em seguida avaliou-se os atributos pertinentes a cada uma dessas camadas, atribuindo-se um grau de vulnerabilidade conforme o uso do solo e o tipo de unidade de conservação.

No que tange ao uso do solo ressalta-se que foram considerados, primeiramente, o grau de natureza do sistema em análise, ou seja, o quanto aquele ambiente representa um sistema natural ou antropizado. Posteriormente, avaliou-se a capacidade de resiliência desse sistema caso seja atingido por algum tipo de desastre, considerando fatores como biodiversidade e, desse modo, definindo a classe de vulnerabilidade ambiental relacionada ao uso do solo. O Quadro 4-12 traz as classes de vulnerabilidade associadas à cada um dos tipos de uso do solo analisados, segundo as classes do Mapbiomas.

Quadro 4-12 – Classes de uso do solo e sua vulnerabilidade ambiental.

Classificação da Vulnerabilidade Ambiental	Classes de Uso do Solo
Muito Alta	Formações Florestal, Mangues e Restingas
Alta	Campos Alagados e Áreas de Pântano, Apicum e Áreas próximas à Corpos Hídricos
Moderada	Formações Campestres e Áreas Costeiras (Praias, Dunas e Areal)
Baixa	Afloramentos Rochosos, Silvicultura, Aquicultura, Áreas com Mosaico de Usos e Outras Áreas Não Vegetadas
Muito Baixa	Áreas Urbanizadas, Pastagens, Lavouras e Mineração

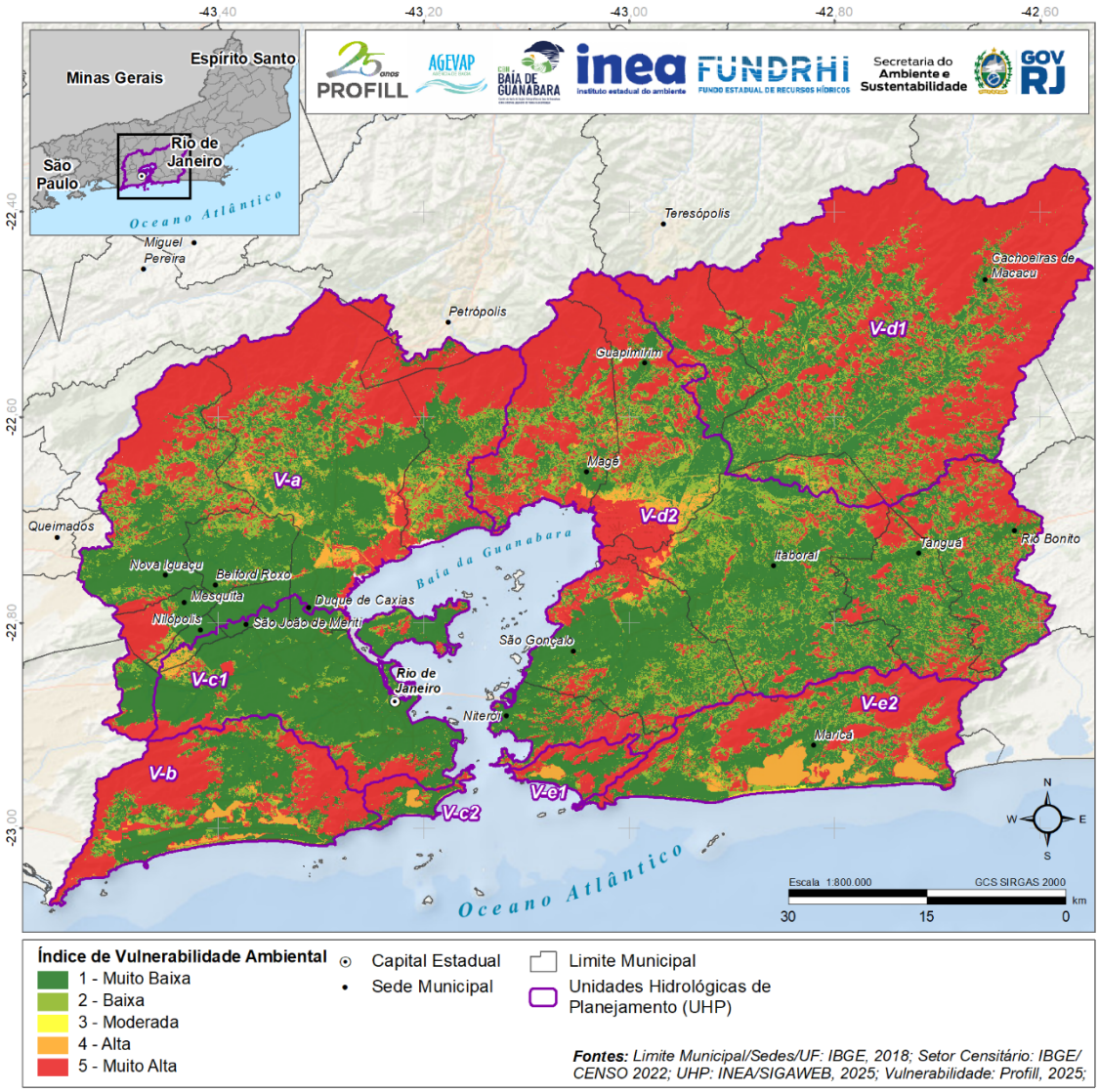
Fonte: Elaboração própria.

Em relação às UCs, avaliou-se as diferentes categorias, restringindo à análise àquelas UCs que representassem um ambiente mais protegido, atribuindo-se ao conjunto selecionado o mais elevado nível de vulnerabilidade (“Muito Alta Vulnerabilidade Ambiental“). Nesse sentido as seguintes categorias de UCs foram selecionadas: 1) Parque Estadual e Nacional, por representarem áreas de proteção integral com objetivo de preservar ecossistemas de grande relevância; 2) Reservas Biológicas, por também constituírem uma área de proteção integral, cujo objetivo é a proteção da biota sem que haja interferência humana; 3) Refúgio de Vida Silvestre que busca garantir as condições de sobrevivência ou reprodução de espécies da flora e

fauna tanto residente, quanto migratória e;4) Estações Ecológicas, por também possuir um perfil de proteção integral com interferência humana mínima. As Áreas de Proteção Ambiental (APA) foram desconsideradas do conjunto classificado com “Alta Vulnerabilidade Ambiental“ justamente por serem áreas que visam a proteção biológica ao passo que também regulam a ocupação humana, ou seja, permitindo que esta ocorra, o que possibilita maior grau de interferência antrópica no ambiente.

Também se destaca que, além dos aspectos terrestres, os ecossistemas aquáticos presentes exercem papel essencial na manutenção da biodiversidade e da estabilidade ecológica. A Baía de Guanabara, em sua função de estuário, atua como berçário natural para diversas espécies de peixes e invertebrados (Amador, 2012; Jablonski et al., 2006). No entanto, a degradação dos cursos d’água, o lançamento de esgotos e o aporte de sedimentos comprometem a flora e fauna aquática, especialmente nas porções médias e baixas dos rios, onde há intensa ocupação urbana e canalização de trechos fluviais (ESTEVES, 2011; SPERLING, 1999).

Ao final do processo analítico realizado, as camadas referentes às UCs e ao uso do solo, categorizadas segundo a vulnerabilidade ambiental, foram agrupadas em uma única camada, considerando-se que as UCs estudadas refletem tanto os ecossistemas terrestres de relevância, quanto a fauna e flora aquática, que habitam regiões protegidas por lei. O Mapa 4-7 ilustra o resultado da vulnerabilidade ambiental obtido para a RH-V.



Mapa 4-7 – Índice de Vulnerabilidade Ambiental na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Analisando-se o referido Mapa, observa-se que os municípios Cachoeira do Macacu, Duque de Caxias, Guapimirim, Magé e Rio de Janeiro apresentam maior quantitativo de áreas com “Alta Vulnerabilidade Ambiental“ e “Muito Alta Vulnerabilidade Ambiental“, em razão de formações naturais como formações florestais, restingas e áreas alagadas (banhados). Já nos municípios de Belford Roxo, São João do Meriti, Duque de Caxias, Nova Iguaçu e Nilópolis, predominam as classes “Baixa Vulnerabilidade Ambiental“ e “Muito Baixa Vulnerabilidade Ambiental“ em razão do uso do solo predominante em áreas urbanas e áreas de uso agropecuário.

4.3 VULNERABILIDADE ECONÔMICA

A vulnerabilidade econômica pode ser compreendida a partir das características econômicas de um município que contribuem para a capacidade de resiliência em casos de desastres, podendo também ser utilizada de modo indireto para identificar danos econômicos potenciais que podem ocorrer no caso de desastres que acontecem ou acometem determinada área. Nesse sentido, a presente análise baseou-se na avaliação do Valor Adicionado Bruto (VAB) dos setores econômicos dos municípios da RH-V, entretanto restringindo a análise ao recorte da área de interesse, segundo o preconizado em AGEVAP (2021).

O VAB representa o valor que determinado setor econômico agrega ao Produto Interno Bruto (PIB) do município, indicando, assim, seu perfil de atividades econômicas. Comumente está desagregado nos setores: agropecuário, indústria, serviços e administração pública. Contudo, para este estudo, o VAB de serviços foi composto pela soma dos valores dos serviços e da administração pública.

Para que os valores de VAB estivessem mais representativos, considerando que alguns municípios não estão totalmente inseridos dentro da área de estudo. Dessa forma, procedeu-se primeiramente a avaliação do percentual de área dos municípios que estão inseridos dentro do limite da RH-V. Após essa identificação, realizou-se a análise de cada um dos VABs aplicada respectivamente às novas áreas calculadas, ou seja, multiplicou-se os valores de VAB pelo percentual da área municipal que está na RH-V, conforme Equação 7.

Equação 7

$$P_{VAB} = P_{Area} * VAB_setor$$

Nesta equação, PVAB representa o Percentual do VAB respectivo ao setor e correspondente ao recorte municipal da RH-V, PArea representa a proporção da área municipal inserida na referida região, e VAB_Setor o valor de VAB de cada um dos setores (Agropecuário, Industrial e de Serviços). Reforça-se que o PVAB foi calculado para cada um dos setores econômicos citados.

Em seguida foi realizada a análise de bases cartográficas vetoriais que representavam diferentes pontos de atividades econômicas da região de estudo, fazendo-se uso dos dados da Base Cartográfica Contínua Vetorial do Estado do Rio de Janeiro em escala de 1:25.000 (IBGE, 2025)[1]. A categorização desses pontos possibilitou a subdivisão em pontos relacionados à indústria, à agropecuária e ao serviço. O Quadro 4-13 traz cada uma das finalidades consideradas nas respectivas áreas econômicas. Após o processo de categorização dos pontos com base nestas atividades, realizou-se sua contagem dentro de cada município, sempre respeitando o recorte da RH-V, análise realizada em ambiente SIG.

Quadro 4-13 – Categorias de pontos conforme o setor econômico.

Setor Econômico	Finalidade do Ponto
Indústria	Industrial, Mineração e Outros processos
Agropecuária	Aquicultura, Criação Animal, Irrigação, Cultivos Agrícolas
Serviços	Abastecimento Público, Consumo Humano, Esgotamento Sanitário, Obras Hidráulicas, Serviços, Termoelétricas

Fonte: IBGE, 2025.

A próxima etapa de desenvolvimento consistiu na divisão do PVAB pelo respectivo número de pontos conforme o setor econômico. Utilizando-se do município de Belford Roxo como exemplo de aplicação da metodologia, dividiu-se o PVAB de serviços do município pelo número de pontos de serviços localizados dentro da área municipal, ressaltando-se que o recorte seguiu sempre respeitando-se os limites da RH-V, conforme demonstrado na Equação 8. O mesmo procedimento foi realizado para todos os municípios que contemplam a RH-V, para todos os setores econômicos, sempre considerando o valor proporcional do VAB conforme o percentual de área do município inserido dentro da referida região.

Equação 8

$$Ponto_{VAB} = P_{VAB}/Contagem\ Ponto$$

[1]https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15807-estados.html?edicao=16037

Nesta equação, a variável PontoVAB representa o valor do VAB proporcional (PVAB) para cada ponto, PVAB representa o valor de VAB proporcional à área do município inserida na RH-V, conforme já mencionado, e a variável Contagem Ponto equivale ao total de pontos respectivo a cada setor, serviço, indústria e agropecuária. Esse procedimento foi realizado para que fosse possível atribuir a cada um dos pontos um valor respectivo de VAB médio conforme o setor que representa. Desse modo, cada ponto recebeu como seu atributo o valor de VAB proporcional ao número de pontos do setor existente no município. Os resultados obtidos para os municípios da RH-V são representados na Tabela 4-4, que apresenta o número de pontos identificados para cada setor (agropecuária, indústria e serviços) dentro dos limites municipais respectivos. Ressalta-se, contudo, que o intuito dessa contagem de pontos associados a setores econômicos não recai sob a contagem exata dessas estruturas, uma vez que se parte do pressuposto da possibilidade de existência de subnotificação na base de dados. Entretanto, ao mesmo tempo, parte-se da premissa de que a espacialização destes pontos ao longo da RH-V representa, em média, as aptidões regionais para estes setores econômicos.

Tabela 4-4 – Contagem de pontos conforme o setor econômico para cada município da RH-V.

Município	Contagem de Pontos		
	Agropecuária	Indústria	Serviços
Belford Roxo	6	25	354
Cachoeiras de Macacu	543	47	424
Duque de Caxias	142	190	742
Guapimirim	87	23	234
Itaboraí	239	128	561
Magé	61	51	581
Maricá	158	37	571
Mesquita	24	8	142
Nilópolis	0	4	98
Niterói	14	12	375
Nova Iguaçu	61	80	812
Petrópolis	1	5	93
Rio Bonito	241	37	187
Rio de Janeiro	9	188	2559
São Gonçalo	41	92	743
São João de Meriti	7	16	250
Tanguá	203	24	164

Fonte: Elaboração própria.

A última etapa de desenvolvimento do Índice de Vulnerabilidade Econômico objetivou desagregar a análise realizada por ottobacia. Para tanto, considerou-se a camada vetorial de ottobacias nível 7 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), detalhada no item 5.1.5. O processo, desenvolvido em ambiente SIG, consistiu na agregação dos pontos (PontoVAB) de cada um dos setores econômicos às sub-bacias com as quais havia intersecção. Importante ressaltar que algumas sub-bacias estão localizadas em mais de um município e, considerando que a atribuição do valor proporcional do VAB para cada um dos pontos respeitou a escala de município, procedeu-se com a soma dos valores totais do PontoVAB conforme os municípios aos quais a sub-bacia está vinculada. A Figura 4-4 ilustra um exemplo do caso mencionado.

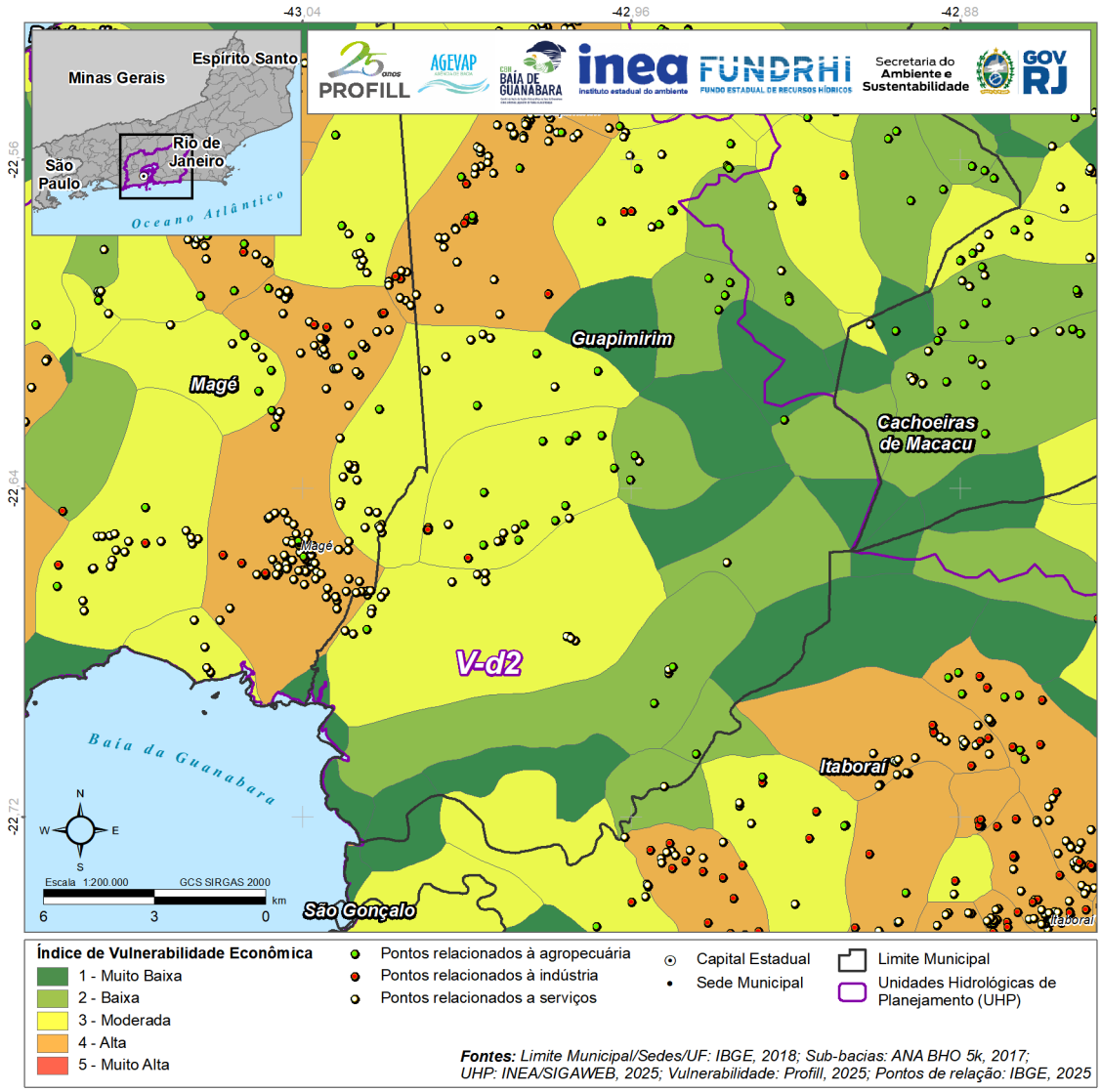


Figura 4-4 – Destaque para uma ottobacia nível 7 que se localiza sobre o limite de três municípios.
Fonte: Elaboração própria.

Neste contexto, a Equação 9 apresenta as variáveis consideradas na obtenção do valor total do VAB para as sub-bacias, onde VTVAB representa o Valor Total do VAB dos setores econômicos que a sub-bacia possui, e PontoVAB refere-se ao valor do VAB de determinado setor econômico para o ponto.

Equação 9

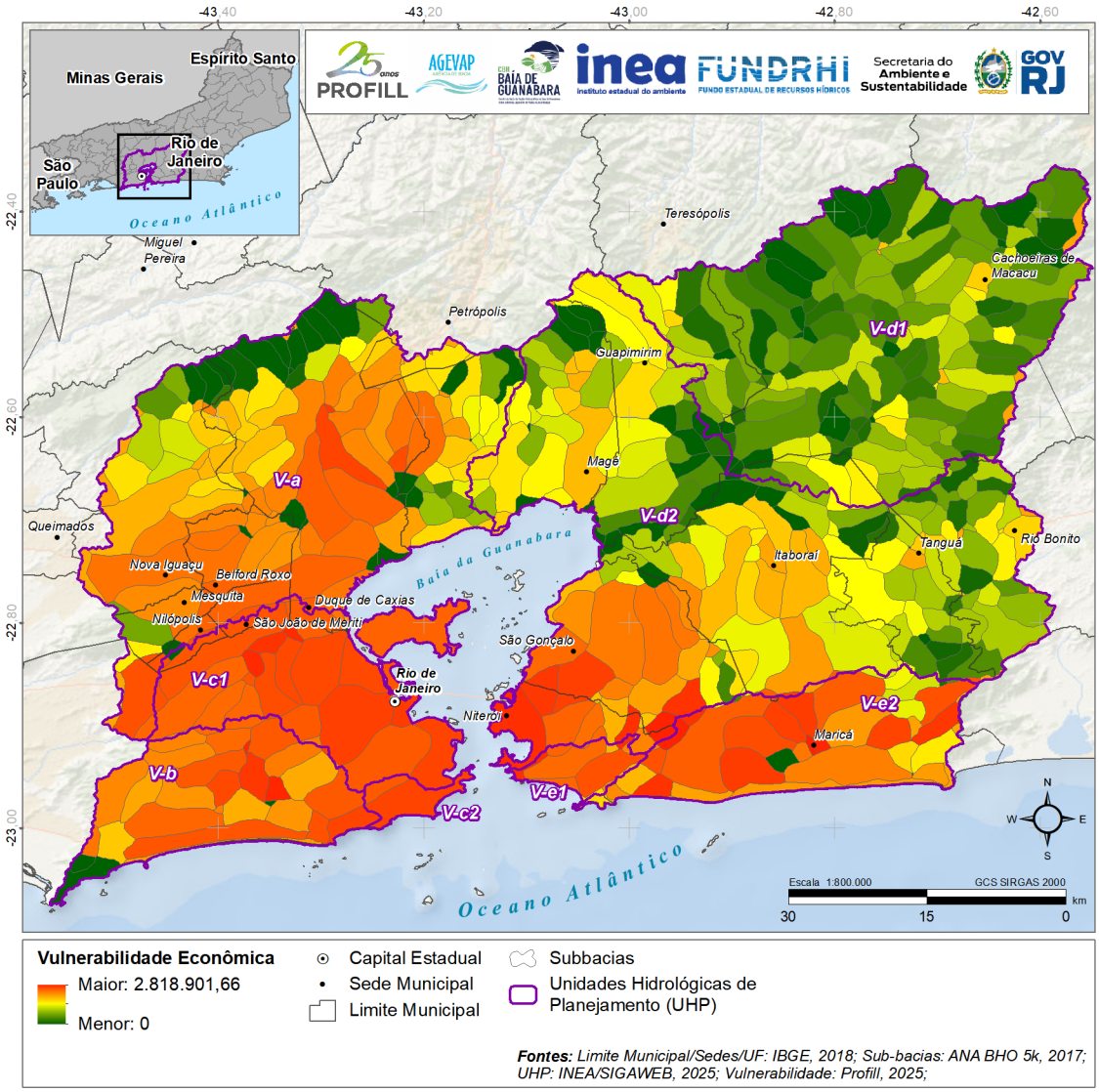
$$VT_{VAB} = \left(\sum Ponto_{VABServiços}\right) + \left(\sum Ponto_{VABIndustria}\right) + \left(\sum Ponto_{VABAgropecuária}\right)$$

A última etapa desse processo consistiu na obtenção do Índice de Vulnerabilidade Econômica (calculado em R$/km²) desagregado pela área das ottobacias, cujo valor variou entre 0 e 11.316.264 R$/km². Esses resultados são espacializados de modo contínuo no Mapa 4-8, em que é possível observar maior concentração de sub-bacias com alta vulnerabilidade econômica na porção oeste e sul da RH-V.

Também é destacável o fato de que alguns municípios pequenos (como Belford Roxo e São João do Meriti) têm seus territórios associados a poucas e pequenas bacias hidrográficas, concentrando e ampliando, portanto, o risco econômico calculado para essas sub-bacias, que proporcionalmente acabam sendo economicamente relevantes no contexto municipal. A Equação 10 apresenta o cálculo realizado, onde VTAB é o valor total do VAB, obtido na etapa anterior e $A_{ottobacia}$ é a área da sub-bacia (em km²). A partir dessa equação, obteve-se os valores do VAB por km². Desse modo, reitera-se que a unidade de medida dos valores do Índice de Vulnerabilidade Econômica é R$/km².

Equação 10

$$Índice\ de\ Vulnerabilidade\ Econômica = VT_{VAB}/A_{ottobacia}$$



Mapa 4-8 – Vulnerabilidade Econômica por ottobacias na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Visando a padronização do indicador para que seus valores sejam distribuídos em classes que representam a vulnerabilidade, realizou-se a análise percentil do conjunto de valores e, desse modo, atribuiu-se a escala apresentada no Quadro 4-14.

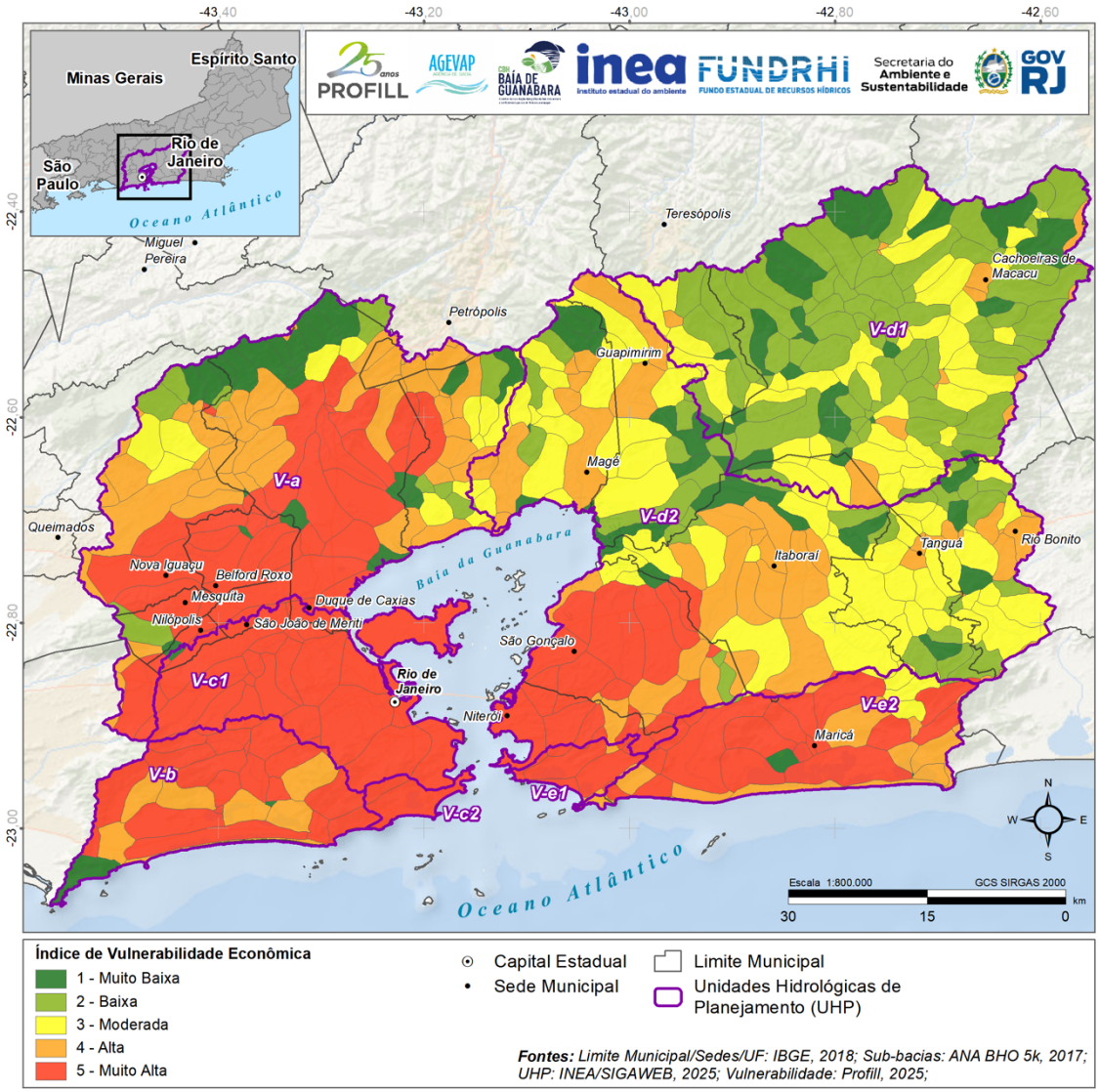
Quadro 4-14 – Classes de vulnerabilidade econômica.

Classificação da Vulnerabilidade Econômica	Valor do Índice de Vulnerabilidade Econômica
Muito Baixa	0,00 a 49,65

Classificação da Vulnerabilidade Econômica	Valor do Índice de Vulnerabilidade Econômica
Baixa	49,66 a 1.377,98
Moderada	1.377,99 a 8.737,91
Alta	8.737,92 a 64.039,25
Muito Alta	> 64.039,25

Fonte: Elaboração própria.

De modo geral, observa-se que a maior vulnerabilidade econômica está associada aos municípios de Maricá, Niterói, São Gonçalo, Rio de Janeiro, São João do Meriti, Belford Roxo e Duque de Caxias. Enquanto os municípios mais localizados na porção nordeste da RH-V são menos vulneráveis, esses apresentando um perfil mais agrícola, enquanto os anteriores, um perfil mais de atividades econômicas de serviços, caracterizados, sobretudo, pela maior densidade demográfica. Os resultados obtidos são apresentados no Mapa 4-9, onde se observam as vulnerabilidades econômicas mais relevantes nos municípios do sul e oeste da RH-V.



Mapa 4-9 – Índice de Vulnerabilidade Econômica na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE PERIGO E EXPOSIÇÃO

Nos itens a seguir, são apresentados os registros históricos, os dados disponíveis, as metodologias utilizadas e os resultados da análise referente à probabilidade de ocorrência e a periculosidade dos eventos críticos que impactaram ou podem vir a impactar a RH-V.

5.1 CHEIAS E INUNDAÇÕES

Este capítulo detalha a análise referente às cheias e inundações na RH-V, uma vez que a temática é essencial para a definição de estratégias de gestão eficazes frente a situações extremas na região. O conceito de inundação se estabelece quando o fluxo de água avança para além do seu canal principal (Jarvis, 1936), destacando-se o Brasil como um dos países com mais impactados por inundações no mundo, com alto número de pessoas afetadas e mortes (Tominaga *et al*., 2009). As inundações são, portanto, processos físicos que ocorrem devido aos fenômenos naturais climáticos e estas são consideradas desastres caso afete um meio social (Londe, 2014).

O público tende a caracterizar e reconhecer uma inundação como um evento extremo que causa perdas de vidas e danos materiais, mas nem sempre uma inundação está associada a perdas socioeconômicas (Birkholz *et al*., 2014). Em áreas não habitadas, por exemplo, as inundações são apenas processos físicos, não sendo consideradas como desastres pois não há pessoas afetadas. Além disto, destaca-se que eventos climáticos extremos podem aumentar a frequência e a intensidade das inundações. Estas situações são consideradas desastres quando seus impactos atingem uma comunidade vulnerável, podendo, adicionalmente, ultrapassar sua capacidade de recuperação.

Em áreas urbanas, quando ocorre precipitação intensa e o solo não tem capacidade suficiente de infiltração, o volume de água em excesso vai para o sistema de drenagem (Tucci, 2008) que pode, dependendo da topografia local, conduzir esses volumes para as margens de cursos hídricos de portes variados (Tucci & Bertoni,

2003; Goerl & Kobiyama, 2005). Neste sentido, em alguns municípios brasileiros, a expansão urbana provoca mudanças no ciclo hidrológico local, devido ao desmatamento, erosão, assoreamento, impermeabilização do solo, intervenções estruturais nos rios e construções irregulares às margens de rios (BRASIL, 2007).

Destaca-se também que, devido ao intenso processo de urbanização observado nas cidades brasileiras nos últimos anos, correlacionado a problemas socioeconômicos, parte da população de baixa renda passa a ocupar áreas suscetíveis a desastres, adicionando vulnerabilidade social ao sistema, que passa, portanto, a representar situações de riscos relevantes (Goerl & Kobiyama, 2005).

Ainda, as inundações frequentemente geram perdas econômicas significativas e diversos problemas socioeconômicos associados. Embora as inundações não possam ser evitadas, as planícies aluviais e as áreas identificadas como perigosas para inundações podem ser geridas para mitigar a perda de vidas e de propriedades (Mishra *et al*., 2022). Neste sentido, iniciativas de controle de cheias e de recuperação ambiental, como o Projeto Iguaçu (Rio de Janeiro, 2024), que atua no controle de inundações e na recuperação das bacias dos rios Iguaçu-Botas e Sarapuí, na Baixada Fluminense, representam esforços concretos de aplicação desses princípios na Região Hidrográfica V. A gestão do risco de inundações pode ser aperfeiçoada através de uma melhor compreensão dos mecanismos geradores de inundações associados a diferentes tipos deste evento, avançando, por exemplo, na modelagem e no monitoramento das suas ocorrências, previsão, análise de frequência e monitoramento dos fenômenos hidrológicos (Mishra *et al.,* 2022).

Entre os diversos mecanismos físicos que dão origem a inundação, o principal "*input*" para geração de escoamento em uma bacia hidrográfica é a precipitação (Tucci, 2004). Dentro desta perspectiva, é possível destacar que existem três características principais das chuvas que exercem grande influência na formação de inundações: (i) quantidade, geralmente expressa em mm; (ii) duração/intensidade da chuva; e (iii) distribuição espaço-temporal da chuva.

Neste sentido, para o estabelecimento de estimativas simplificadas que vinculem estas características à vazão potencial gerada em uma sub-bacia, para um evento específico, em geral assume-se que a duração da tempestade é igual ou maior ao tempo de concentração da bacia. Essa definição, em geral, é aplicada para bacias hidrográficas pequenas e urbanizadas, nas quais o fluxo ocorre predominantemente na superfície, e as suposições necessárias de uniformidade da precipitação sobre a área da bacia hidrográfica e o tempo de duração da tempestade são razoáveis. Em bacias hidrográficas maiores, por outro lado, ou com cobertura menos impermeável, a situação é significativamente mais complexa.

Ao atingir a área sobre uma bacia hidrográfica, a água precipitada percorre dois sentidos: o sentido superficial e o sentido subterrâneo. O caminho a ser seguido pela água está diretamente relacionado à capacidade do solo em reter ou não essa água. Dentro do ponto de vista de um evento extremo, a umidade do solo antecedente ao evento é importante. Ela pode definir se mais água escoa superficialmente, gerando mais escoamento e vazão no rio (quando o solo está saturado), ou pode gerar um armazenamento quando o solo não está saturado, retendo parte do volume precipitado para o subterrâneo.

Além disso, regiões relacionadas à planície de inundação, geralmente possuem solo saturados que exercem um papel fundamental na dinâmica hidrológica e na hidrodinâmica das inundações (Fleischmann, 2017). Na América do Sul, por exemplo, existem diversas regiões onde centenas de quilômetros quadrados são sazonal ou permanentemente inundados (Junk et al., 2015). Nessas regiões, em geral, o relevo é tipicamente plano, sendo o solo do tipo hidromórfico, e os níveis freáticos elevados auxiliam na manutenção das áreas inundadas.

O entendimento de conceitos dessa natureza, vinculados especificamente às particularidades da geomorfologia fluvial intrínseca de cada região, passa então a ser essencial para a caracterização de áreas inundáveis. Após a água escoar superficialmente sob o solo saturado, formando um escoamento laminar, ela tende a se conectar com o rio principal ou com afluentes da sua bacia hidrográfica, que podem

ser entendidos como canais fluviais que atuam no escoamento da água ao longo da bacia hidrográfica (Christofoletti, 1981). Das nascentes até a foz, um canal fluvial naturalmente representa um sistema no qual a energia potencial é proveniente de certa quantidade de água, convertida em energia cinética pelo fluxo, e dissipada pela fricção criada pela rugosidade das paredes do canal e do contato da superfície da lâmina d'água com o ar (Rocha, 2011).

Também se destaca que o desenvolvimento da paisagem ao longo da bacia hidrográfica influencia diretamente em como as vazões ao longo do rio serão em uma inundação. Bacias declivosas com vales encaixados tendem a gerar inundações rápidas e com níveis elevados (Siqueira, 2016), mantendo-se altas as vazões de pico. Já bacias com grandes planícies e várzeas, com baixa declividade, tendem a ter seus picos atenuados, associados a cheias com maiores durações (Fleischmann, 2017).

Na RH-V são observadas ambas as características fluviais mencionadas. Ao norte da bacia, junto aos municípios de Magé, Duque de Caxias, Guapimirim e Cachoeiras de Macacu, principalmente, ou inseridas em áreas protegidas como o Parque Estadual dos Três Picos ou o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, são observadas serras escarpadas que podem chegar a cotas superiores a 2.200 metros, propiciando a existência de vales encaixados de grande declividade. Em contrapartida, no centro e ao sul da RH-V, nos municípios de Petrópolis, Belford Roxo, São João do Meriti, Rio de Janeiro e Niterói, entre outros, observam-se regiões planas ao nível do mar, mostrando a grande complexidade hídrica local.

5.1.1 *Registros Históricos*

Historicamente, a RH-V, onde se concentra significativa parcela da população do Estado do Rio de Janeiro, tem sido palco de sucessivas e impactantes inundações (INEA, 2014). A partir dos anos 1960, a frequência das enchentes urbanas aumentou significativamente (Medeiros *et al*. 2020), com eventos trágicos em 1966 e 1967 que causaram centenas de mortes na cidade do Rio de Janeiro (INEA, 2014).

Esses desastres são consistentemente agravados pela expansão urbana desordenada, desmatamento de encostas, aterramento de brejos e pântanos sem planejamento, e a impermeabilização do solo, fatores estes que resultam em grandes picos de vazão e acúmulo de sedimentos, especialmente em áreas de baixa altitude.

De acordo com o Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2014), no período entre 2000 e 2012, a RH-V registrou um dos maiores números de ocorrências de desastres naturais no estado, com 135 ocorrências totais e mais de 108 mil pessoas desalojadas, além de 271 mortes por inundações e deslizamentos. Bacias como a do Canal do Mangue, Iguaçu/Sarapuí e Baixada de Jacarepaguá são notoriamente críticas, com problemas de drenagem, favelização e acúmulo de lixo que potencializam os impactos das chuvas intensas.

A tragédia em Niterói em abril de 2010, onde deslizamentos causaram a maioria das 176 mortes, é um exemplo contundente da complexidade e dos danos humanos desses eventos na referida região, muitas vezes subnotificados como inundações nos registros da Defesa Civil. De acordo com o Comitê da Baía de Guanabara[2], e conforme apresentado no Produto 1 deste estudo, o Sistema de Alerta de Cheias do INEA registrou um total de 2.780 alertas emitidos para a RH-V entre as datas de 11/07/2009 e 23/05/2025, sendo a grande maioria associada a processos de atenção e alerta, e apenas 4,7% associados a processos de transbordamento, conforme informado no primeiro produto deste estudo[3]. Considerando esses dados, os municípios com maior número de alertas incluem Duque de Caxias, São João de Meriti e Niterói.

Além dos impactos materiais e das perdas humanas diretas, alguns Planos de Gerenciamento de Riscos ou Planos de Contingência elaborados para os municípios da RH-V evidenciam a ocorrência de doenças associadas às inundações, es-

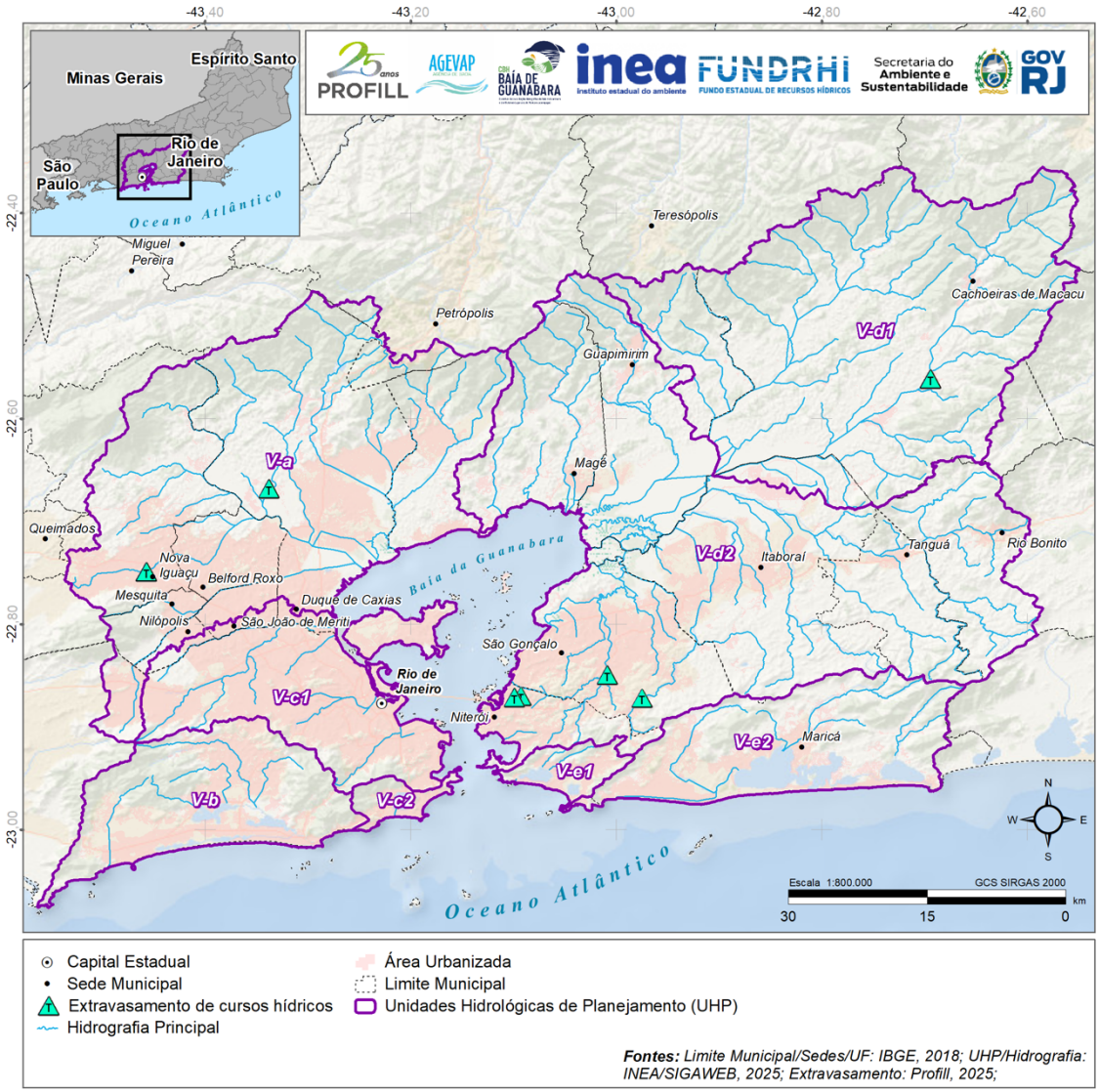
[2]https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Atlas_CBH-BG.pdf?utm_source
[3]https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2025/07/AGEVAP_GUANABARA_PGR_P1.pdf?utm_source

pecialmente em áreas com deficiências de saneamento. Casos de leptospirose, dengue e outras enfermidades de veiculação hídrica foram relatados em municípios como Itaboraí, Rio Bonito e Rio de Janeiro refletindo a vulnerabilidade sanitária que acompanha os eventos de cheia.

Também merece destaque o fato de existirem alguns registros disponibilizados pelo INEA que permitiram a identificação das coordenadas de pontos de extravasamento de cursos hídricos da RH-V. Esses pontos são apresentados, em conjunto com a rede hidrográfica em escala de 1:50.000 no Mapa 5-1, permitindo a identificação de locais históricos de ocorrência de inundações na área de interesse.

Esses registros também contêm dados não georreferenciados, que foram avaliados com o intuito de identificar os registros históricos de cheias na região por município. Os processos referentes a alertas de cheias foram obtidos a partir da consulta ao sistema de monitoramento de recursos hídricos Ambiente+, de responsabilidade do INEA. Esses registros referem-se ao período de 2009 a 2024 (exceto o ano de 2021) e foram organizados por município que continham dados e registros históricos de inundações, de acordo com os cursos hídricos da RH-V, conforme apresentado nos subcapítulos subsequentes.

Nos capítulos subsequentes são apresentados os registros de processos associados a inundações em alguns municípios da RH-V segundo o banco de dados do INEA, considerando diferentes períodos. Os registros são divididos em categorias como: (i) Atenção; (ii) Alerta; (iii) Alerta Máximo e; (iv) Transbordamentos. De acordo com a análise dos registros, destaca-se que os estágios de Alerta, Alerta Máximo e Transbordamentos tipicamente decorrem de um estágio de atenção. Da mesma forma, um estágio de atenção pode não se transformar em registros mais graves. Também se destaca que em alguns municípios não são observadas estações de monitoramento destinadas a este tipo de registro, não ocorrendo mapeamento sistemático de informações desta natureza.



Mapa 5-1 – Cursos hídricos e pontos de registro de inundações, segundo o INEA.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.1 Duque de Caxias

No município de Duque de Caxias (Tabela 5-1), foram registrados, ao todo, 953 processos de atenção no período de 2009 a 2024. Desse total, 394 correspondem a alertas, 183 a alertas máximos e 59 a ocorrências de transbordamentos emitidos para a região.

Tabela 5-1 – Processos no município de Duque de Caxias, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	33	19	5	60
2023	88	37	11	110
2022	64	21	6	94
2020	12	10	4	32
2019	28	11	1	58
2018	38	19	6	52
2017	20	4	0	55
2016	25	13	6	52
2015	5	3	0	33
2014	3	1	0	44
2013	47	20	12	97
2012	20	3	1	78
2011	7	4	0	62
2010	1	10	1	84
2009	3	8	6	42
Total	**394**	**183**	**59**	**953**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.2 Niterói

Na Tabela 5-2, referente ao município de Niterói, no período de 2013 a 2024 (com exceção do ano de 2019), foram registrados, no total, 461 processos vinculados ao estágio de atenção. Desses, 166 correspondem a alertas, 24 a alertas máximos e 32 a alertas de transbordamentos para a região.

Tabela 5-2 – Processos no município de Niterói, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	18	2	2	54
2023	65	11	12	141
2022	56	7	9	115
2020	4	2	6	34
2018	3	0	1	19
2017	0	0	0	18
2016	0	0	0	12
2015	1	0	0	9
2014	1	0	0	3
2013	18	2	2	56
Total	**166**	**24**	**32**	**461**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.3 Nilópolis

No município de Nilópolis (Tabela 5-3), no período de 2009 a 2016, foram registrados, ao todo, 388 processos vinculados ao estágio de atenção. Desse total, 24 correspondem a alertas, 11 a alertas máximos e 2 a transbordamentos emitidos para a região.

Tabela 5-3 – Processos no município de Nilópolis, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2016	0	0	0	7
2015	0	0	0	24
2014	3	1	0	45
2013	10	3	1	69
2012	3	0	0	67
2011	5	2	0	60
2010	0	4	0	80
2009	3	1	1	36
Total	**24**	**11**	**2**	**388**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.4 Cachoeiras de Macacu

A Tabela 5-4 referente ao histórico do município de Cachoeiras de Macacu, abrange o período de 2016 a 2024 e totaliza 353 processos vinculados ao estágio de atenção. Desses, 67 correspondem a alertas, 18 a alertas máximos e 6 a transbordamentos para a região.

Tabela 5-4 – Processos no município de Cachoeiras do Macacu, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	3	1	0	57
2023	23	5	2	104
2022	40	12	4	94
2020	0	0	0	9
2019	0	0	0	17
2018	1	0	0	40
2017	0	0	0	32
2016	0	0	0	0
Total	**67**	**18**	**6**	**353**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.5 Magé

No município de Magé (Tabela 5-5), foram registrados, ao todo, 790 processos no período de 2009 a 2024 vinculados ao estágio de atencção. Desse total, 77 correspondem a alertas, 12 a alertas máximos e 4 a ocorrências de transbordamentos para a região.

Tabela 5-5 – Processos no município de Magé, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	6	2	1	46
2023	21	0	0	108
2022	19	2	1	78
2020	1	0	0	20
2019	0	0	0	40
2018	7	2	0	42
2017	4	0	0	38
2016	0	0	0	36
2015	0	0	0	29
2014	0	0	0	45
2013	7	3	2	66
2012	6	0	0	67
2011	3	0	0	60
2010	0	1	0	79
2009	3	2	0	36
Total	**77**	**12**	**4**	**790**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.6 Maricá

A Tabela 5-6, referente ao histórico do município de Maricá, abrange apenas o período de 2022 a 2024, e totaliza 147 processos vinculados ao estágio de atenção. Desses, 10 correspondem a alertas, 2 a alertas máximos, e nenhum referente a transbordamentos.

Tabela 5-6 – Processos no município de Maricá, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	1	0	0	29
2023	5	1	0	67
2022	4	1	0	51
Total	**10**	**2**	**0**	**147**

Fonte: Elaboração própria.

Além disso, destaca-se que também são aqui apresentadas ocorrências de inundações extraídas do Plano de Contingência do município, conforme demonstrado na Tabela 5-7. Neste sentido, observa-se o registro de 34 ocorrências de inundações no munícipio, sendo a maioria associada ao bairro de Itapema.

Tabela 5-7 – Processos no município de Maricá, de acordo com o PLACON.

Bairros	Ocorrências
Itapema	11
Centro e Recanto do Itapuaçu	8
Jardim Atlântico Central	5
Chácaras de Inoã, Inoã	4
Caxito, Condado, Jacoroá, Jardim Atlântico Oeste, Morada das Aguias e Vale da Figueira	3
Balneário Bambuí Barroco, Jardim Interlagos e Praia de Itaipuaçu	2
Bananal, Barra de Maricá, Jardim Atlântico Leste, Mumbuca, São José do Imbassai, Ubatiba e Itaocaia	1
Total	**34**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.7 Mesquita

No município de Mesquita (Tabela 5-8), foram registrados, ao todo, 386 processos no período de 2009 a 2016 vinculados ao estágio de atenção. Desse total, 23 correspondem a alertas, 11 a alertas máximos e 2 a ocorrências de transbordamento para a região.

Tabela 5-8 – Processos no município de Mesquita, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2016	0	0	0	3
2015	0	0	0	24
2014	2	1	0	45
2013	10	3	1	71
2012	3	0	0	67
2011	5	2	0	60
2010	0	4	0	80
2009	3	1	1	36
Total	**23**	**11**	**2**	**386**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.8 Nova Iguaçu

A Tabela 5-9, referente ao histórico do município de Nova Iguaçu, abrange o período de 2009 a 2024, e totaliza 831 processos vinculados ao estágio de atenção. Desses, 132 correspondem a alertas, 33 a alertas máximos e 11 referente a transbordamentos para a região.

Tabela 5-9 – Processos no município de Nova Iguaçu, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	24	12	4	59
2023	49	0	0	125
2022	23	2	1	84
2020	1	1	0	19
2019	3	1	0	43
2018	2	1	0	40
2017	0	0	0	35
2016	1	2	0	31
2015	3	2	0	29
2014	0	0	0	45
2013	15	6	1	74
2012	4	0	0	69
2011	3	0	0	60
2010	1	5	3	81
2009	3	1	2	37
Total	**132**	**33**	**11**	**831**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.9 Petrópolis

No município de Petrópolis (Tabela 5-10) foram registrados, ao todo, 1.157 processos no período de 2011 a 2024 vinculados ao estágio de atenção. Desse total, 880 correspondem a alertas, 166 a alertas máximos e 157 a ocorrências de transbordamento emitidos para a região. Destaca-se, por outro lado, que a maior parte do município de Petrópolis não se encontra inserida na RH-V (pertence à RH-IV: Piabanha), podendo estes alertas e processos não estarem vinculados, portanto, à RH-V.

Tabela 5-10 – Processos no município de Petrópolis, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	112	15	11	114

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2023	307	19	21	194
2022	229	33	24	160
2020	24	7	14	64
2019	35	16	12	85
2018	32	16	18	92
2017	41	5	12	81
2016	30	12	15	70
2015	11	8	4	40
2014	19	11	6	65
2013	28	24	20	86
2012	8	0	0	82
2011	4	0	0	24
Total	**880**	**166**	**157**	**1.157**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.10 Rio de Janeiro

Na Tabela 5-11são observados os dados referentes ao município do Rio de Janeiro, onde foram registrados, ao todo, 798 processos no período de 2009 a 2024 vinculados ao estágio de atenção para inundação e/ou alagamentos. Desse total, 123 correspondem a alertas, 19 a alertas máximos e 7 a ocorrências de transbordamento emitidos para a região, destacando-se aqui que nem toda a área que compõe o município do Rio de Janeiro se encontra inserida na RH-V.

Adicionalmente, se destaca que na Tabela 5-12 é também apresentado o levantamento de casos e surtos de doenças de veiculação hídrica, segundo o Plano Municipal de Contingência a Desastres do município. Tipicamente, casos dessa natureza são decorrentes não só de falta de saneamento e poluição contínua de cursos hídricos, mas também são associadas a eventos extremos que resultam em inundações e alagamentos nos grandes centros urbanos.

Tabela 5-11 – Processos no município do Rio de Janeiro, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	14	6	3	60
2023	52	2	0	133
2022	27	1	0	89
2020	5	1	0	29
2019	7	0	0	43
2018	0	0	0	22
2017	0	0	0	37

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2016	0	0	0	4
2015	1	0	0	27
2014	0	0	0	45
2013	4	1	0	66
2012	2	0	0	67
2011	6	2	1	60
2010	2	3	1	80
2009	3	3	2	36
Total	**123**	**19**	**7**	**798**

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-12 – Total de surtos e casos notificados nos surtos de doenças por água contaminada (DTHA), 2014-2024

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Casos	404	453	335	685	476	438	177	60	754	931	885	**5.168**
Surtos	52	60	49	71	58	49	35	15	40	99	86	**573**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.11 São Gonçalo

No município de São Gonçalo (Tabela 5-13), foram registrados, ao todo, 406 processos no período de 2014 a 2024 vinculados ao estágio de atenção. Desse total, 177 correspondem a alertas, 35 a alertas máximos e 13 a ocorrências de transbordamento emitidos para a região.

Tabela 5-13 – Processos no município de São Gonçalo, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	37	13	2	62
2023	71	11	7	122
2022	47	2	1	87
2020	6	3	1	31
2019	12	4	1	39
2018	3	2	1	20
2017	0	0	0	20
2016	0	0	0	10
2015	1	0	0	10
2014	0	0	0	5
Total	**177**	**35**	**13**	**406**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1.12 Belford Roxo

A Tabela 5-14, referente ao número de processos no município de Belford Roxo, possui registrado, no total. 574 processos no período de 2009 a 2024. Desse total, 80 correspondem a alertas, 41 a alertas máximos e 18 a ocorrências de transbordamento emitidos para a região.

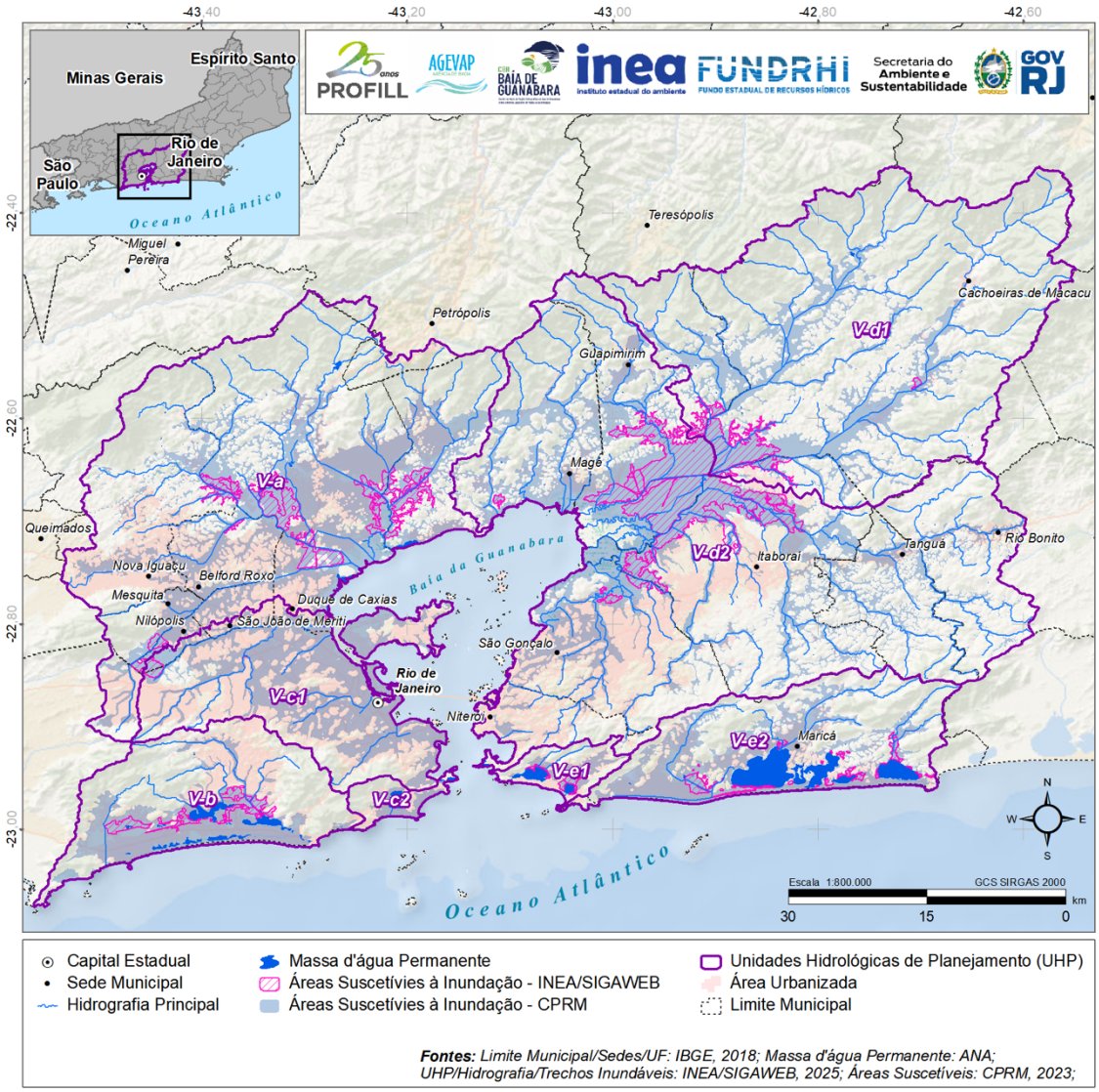
Tabela 5-14 – Processos no município de Belford Roxo, de acordo com o INEA.

Ano	Alertas	Alertas Máximos	Transbordamentos	Atenção
2024	1	0	0	46
2023	13	0	1	73
2019	0	0	0	5
2018	0	0	0	10
2017	0	0	0	24
2016	0	0	0	6
2015	1	1	0	24
2014	2	1	0	44
2013	40	18	8	88
2012	13	2	1	73
2011	6	3	0	60
2010	1	13	4	83
2009	3	3	4	38
Total	**80**	**41**	**18**	**574**

Fonte: Elaboração própria.

5.1.2 *Mapeamentos Preliminares*

Do mesmo modo, também são observados mapeamentos sistemáticos realizados por instituições de referência, como o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), que lançou em 2014 o projeto “Cartas de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações 1:25.000” para diversos territórios brasileiros, inclusive para os municípios da RH-V. Esses dados são apresentados no Mapa 5-2, que também mostra, em conjunto, as áreas suscetíveis a inundação previamente mapeadas e disponibilizadas no portal SIGA-BG. Observa-se, portanto, apesar da discrepância entre os produtos apresentados, que áreas baixas da RH-V são suscetíveis a inundações.



Mapa 5-2 – Áreas suscetíveis a inundações na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Neste contexto, considerando a incerteza associada à acurácia de produtos anteriormente produzidos para tentar identificar a periculosidade quanto a inundações na RH-V, estas áreas foram novamente mapeadas a partir do uso de uma metodologia que integrou modelagem geomorfológica e modelagem hidrológica, associadas ao uso dos mais novos *datasets* e *inputs* disponíveis. Essa metodologia é apresentada no item a seguir.

5.1.3 *Metodologia Aplicada*

A metodologia empregada para a avaliação das cheias e inundações na RH-V é fundamentada na utilização de relatórios e documentos oficiais existentes, nos dados provenientes da rede de monitoramento da ANA e no emprego de técnicas de simulação hidrológica. Devido à ausência de dados observados consistentes e regionalizados na RH-V, a simulação hidrológica foi utilizada para simular o comportamento das bacias hidrográficas e gerar vazões em pontos de interesse, considerando diferentes probabilidades de cheias.

Para estimativa de áreas propensas a sofrerem com processos de inundação, foram utilizadas técnicas simplificadas que concentram informações espacializadas sem grande custo computacional, porém com grande acurácia (Momo *et al.,* 2015; Monte *et a*l., 2019). Os dados topográficos essenciais para esses processos de simulação foram obtidos a partir de levantamentos globais disponíveis, com destaque para o ANADEM (Laipelt *et al.*, 2024), um Modelo Digital de Terreno (MDT) com resolução espacial de 30 metros, desenvolvido em cooperação entre a ANA e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A avaliação foi estruturada em etapas consecutivas para caracterizar a periculosidade da RH-V quanto a inundações, estimar vazões para diferentes probabilidades de ocorrência e correlacionar as áreas inundadas com essas probabilidades. Essa abordagem é baseada, principalmente, na geomorfologia e variabilidade climática do regime de precipitações local. O fluxograma a seguir (Figura 5-1) apresenta um esquema visual da metologia utilizada para quantificar a periculosidade que as diferentes áreas da RH-V apresentam quanto a inundações.

Resumidamente, a metodologia parte da identificação e mapeamento de áreas inundáveis a partir do uso do modelo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND), a ser explicado no item 5.1.3.1, para após identificar probabilidades associadas a essas manchas a partir do uso de modelagem hidrológica e hidráulica.

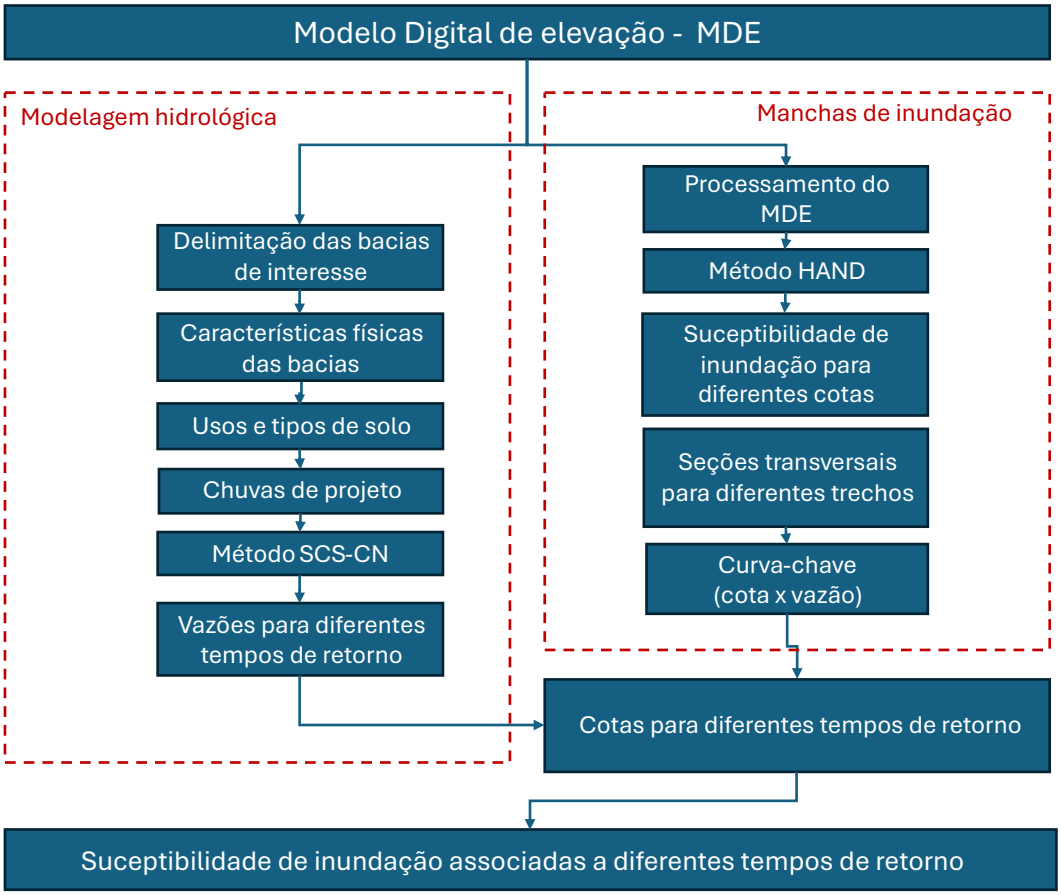


Figura 5-1 – Fluxograma esquemático da metodologia utilizada.
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, é extremamente relevante destacar que todos os dados apresentados ao longo deste capítulo (como áreas inundáveis, seções transversais, pontos cotados entre outros) foram quantificados a partir do uso de dados topográficos indiretos, oriundos de MDTs globais com 30 metros de resolução espacial, conforme já mencionado. Portanto, a base topográfica utilizada (em decorrência de ausência de dados mais detalhados, em melhor escala e resolução) agrega incertezas nos resultados obtidos que, por sua vez, devem ser levadas em consideração nas análises realizadas. Isso significa que embora os resultados aqui apresentados sejam válidos do ponto de vista regional, análises locais devem ser realizadas com grande parcimônia, uma vez que aspectos geomorfológicos (bem como construtivos) locais foram desconsiderados devido à escala deste trabalho. Da mesma forma, levantamentos topobatimétricos detalhados dos rios (os quais não foram contemplados no edital

deste estudo) são fundamentais para a obtenção de resultados mais precisos e robustos, sendo a ausência destes dados uma ressalva no contexto dos mapeamentos preliminares aqui realizados

De modo similar, incertezas associadas ao cálculo de vazões para diferentes tempos de retorno também estão presentes, devido aos critérios adotados neste estudo, fundamentados pelo fato de não haver dados fluviométricos na RH-V até então suficientes para realizar análises mais aprofundadas (como bem descrito na Atualização e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá – RHA, 2020).

Neste sentido, reforça-se que para o estudo em questão, em escala regional, essa análise é satisfatória, pois o objetivo é diferenciar regiões de alta ou baixa suscetibilidades ou perigos a processos de inundação a partir de uma abordagem que envolve uma comparação cruzada. Entretanto, para estudos mais detalhados, salienta-se a necessidade de elaboração de estudos de escala local que considerem dados de outra escala, envolvendo tanto levantamentos topobatimétricos, como modelagens e cálculos mais bem detalhados condizentes com a realidade de cada subbacia mapeada.

5.1.3.1 Cálculo de Mancha de Inundação com o Modelo HAND

Para a delimitação de áreas suscetíveis a inundações associadas a diferentes níveis d'água, foi aplicada a metodologia do modelo HAND, que é uma ferramenta geomorfológica que quantifica a elevação relativa de cada ponto da superfície terrestre em relação ao seu canal de drenagem mais próximo. Essa métrica permite identificar, de forma eficaz, as áreas baixas e topograficamente planas que possuem uma tendência natural de acúmulo de água durante eventos de cheia (Nobre *et al*., 2016).

A Figura 5-2 mostra um exemplo do procedimento HAND. Com base em uma grade de direções de fluxo preferenciais, sobreposta à rede de drenagem pré-

calculada, todos os caminhos de fluxo são codificados de acordo com o ponto de drenagem associado mais próximo. Por exemplo, o pixel com altitude 72 metros, no Modelo Digital de Elevação (MDE), é conectado ao ponto de drenagem com altitude 53 metros (ambos codificados como 2 no *raster* de caminhos preferenciais de fluxo), resultando em um HAND de 19 metros.

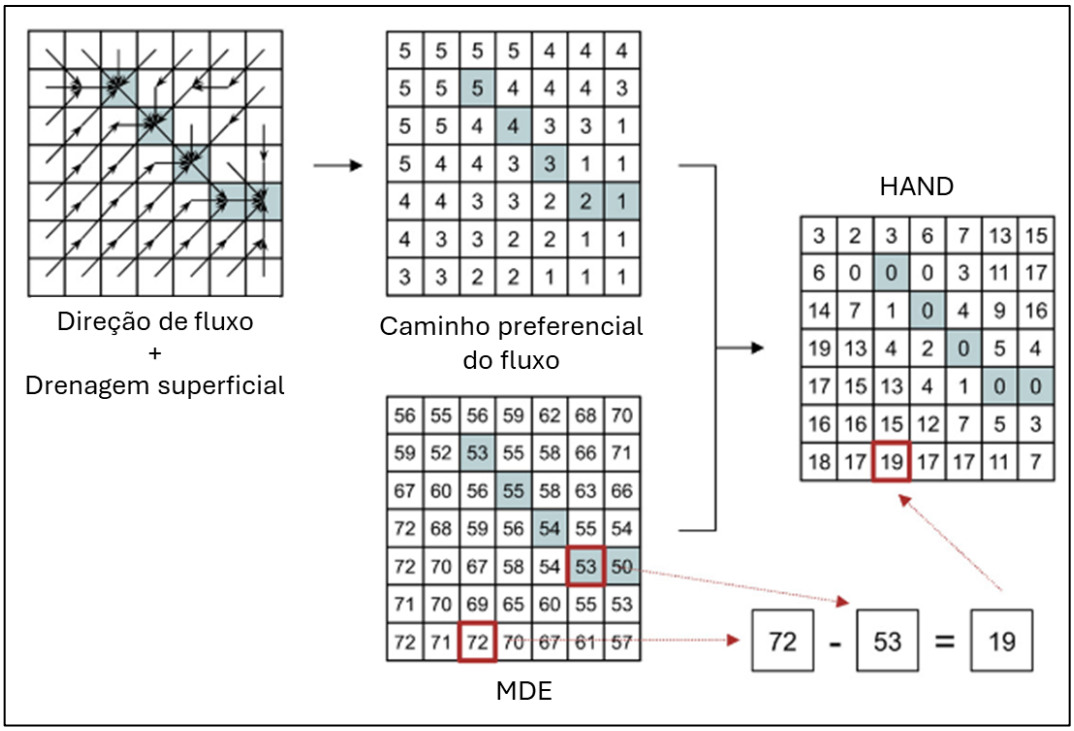


Figura 5-2 – Procedimento para calcular a grade HAND. Os quadrados azuis representam pontos da grade pertencentes à rede de drenagem. Apenas as setas pretas são consideradas caminhos de fluxo.
Fonte: Adaptado de Rennó *et al,* (2008).

Sabendo que, de acordo com o modelo HAND, os locais próximos aos cursos d'água (caminhos preferenciais de fluxo) possuem valores próximos de zero, a proposta de identificação e classificação de potencial periculosidade à inundação foi baseada de acordo com os seguintes limiares de altitude, baseando-se nos critérios adotados pelo SGB para identificação de áreas suscetíveis a inundação em municípios da RH-V:

- Mapeamento de cheia com até 1 m: inclui locais com elevação de até 1 m acima do curso d'água principal. Essas áreas são as mais vulneráveis e propensas a inundações, mesmo diante de eventos pluviométricos de menor magnitude;

- Mapeamento de cheia com 1 a 2 m: abrange locais com elevação entre 1 e 2 m acima do curso d'água principal. Nestas regiões, a probabilidade de inundação por transbordamento também é elevada devido à pequena diferença altimétrica entre a cota associada ao curso d'água principal e as cotas referentes à região mapeada;
- Mapeamento de cheia com 2 a 4 m: abrangendo locais com elevação entre 2 e 4 m acima do curso d'água principal. Caracteriza uma região de transição de zonas planas para o início de zonas declivosas;
- Mapeamento de cheia com 4 até 6 m: abrangendo locais com elevação entre 4 e 6 m acima do curso d'água principal. Nestas regiões a probabilidade de inundação é menor;
- Mapeamento de cheia com 6 até 8 m: Abrange locais com elevação superior a 6 m acima do curso d'água principal. Nestas regiões, a probabilidade de inundação por transbordamento de cursos d'água é extremamente baixa.

Buscando associar cada mapa de inundação com uma chuva de diferente tempo de retorno (TR), foram realizadas análises adicionais que estão apresentadas nos itens a seguir. A ideia geral é vincular cada mancha de inundação a uma chuva e uma vazão de diferente TR. Assim, a seguir estão apresentados os métodos de simulação hidrológica e estimativa de chuva de projeto, bem como uma estimativa de curva-chave buscando associar uma cota para cada vazão encontrada na simulação.

5.1.3.2 Simulação Hidrológica

Dada a ausência de dados hidrológicos consistentes e homogeneamente espacializados na RH-V, com extensas séries de dados, foi necessária a aplicação de metodologias indiretas para estimativa das vazões e caracterização hidrológica na área. Inicialmente, foi adotada uma metodologia para a caracterização das chuvas na região, de modo a definir uma chuva de projeto associada a um TR específico. Para tal, foi empregada a curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF), que

correlaciona a intensidade máxima de precipitação (mm/h) com sua duração (minutos) e sua frequência de ocorrência (Tucci, 2002).

Com a definição da chuva de projeto, foi possível gerar o hidrograma de projeto, utilizando o método do hidrograma unitário (SCS, 1975) desenvolvido pelo SCS – *Soil Conservation Service* (atual NRCS – *Natural Resources Conservation Service*). Essa é uma abordagem amplamente utilizada na hidrologia para estimar a resposta de uma bacia hidrográfica a eventos de precipitação. O método parte da premissa que a bacia responde linearmente a um volume de chuva específico. Após calcular a chuva de projeto foi elaborado um hidrograma de projeto, buscando representar o escoamento superficial associado a chuva de projeto. As metodologias de ambas as estimativas são descritas nos itens abaixo

5.1.3.2.1 *Tempo de Concentração*

A definição do tempo de concentração é apresentada por diversos autores como sendo o tempo necessário para que uma partícula de água que atinge o ponto mais distante da bacia hidrográfica chegue ao exutório desta, indicando, assim, que toda bacia hidrográfica contribui para a vazão que chega ao exutório.

Na literatura clássica, uma metodologia para estimar o tempo de concentração de uma determinada bacia hidrográfica pode ser baseada no uso da equação empírica estabelecida no boletim "*California Culvert Practice*", publicado em 1942, pelo "*California Highway and Public Works*", utilizando uma das equações abaixo, sendo a primeira (Equação 11) para a obtenção do tempo de concentração em minutos, e a segunda (Equação 12) em horas. Destaca-se, ainda, que equações dessa natureza são largamente utilizadas para o cálculo do tempo de concentração de bacias hidrográficas, tanto no contexto de estudos regionais, quanto de estudos locais.

Equação 11

$$t_c = 57\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Equação 12

$$t_c = 0,95\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Onde tc é o tempo de concentração (min ou h, L é o comprimento do talvegue (km), e H é o desnível do talvegue.

5.1.3.2.2 *Definição da Chuva de Projeto*

As curvas IDFs retratam as precipitações máximas ao relacionar a duração com a intensidade e a probabilidade dessa precipitação ser igualada ou superada, sendo definidas a partir de dados pluviométricos obtidos no local de interesse ou estimadas com base em postos vizinhos (Tucci, 2002).

Correlacionando as intensidades e as durações das chuvas, pode-se verificar que quanto mais intensa for uma precipitação, menor será sua duração. Desta forma, a relação cronológica das maiores intensidades para cada duração pode ser obtida de uma série de registros pluviográficos de tormentas intensa (Tucci, 2009). O cálculo ou definição de uma curva IDF envolve a utilização de séries de dados que representem o tempo que se quer avaliar, em termos de anos, dias, horas ou minutos.

A chuva de projeto foi definida a partir da equação de chuvas (IDF) do município de São João de Meriti, que foi escolhida após análise das outras curvas IDF disponíveis para os municípios da RH-V (como São Gonçalo, Petrópolis, Nilópolis, Mesquita, Itaboraí e Cachoeiras do Macacu). A premissa associada à escolha de uma única equação IDF para representar as chuvas de toda a RH-V partiu do conservadorismo e da necessidade de resultados homogêneos para a área de estudo, uma vez

que a IDF do munícipio de São João do Meriti é a que resulta nas menores intensidades (mm/h) para chuvas de projeto (que variam, considerando-se um TR de 10 anos e um tempo de duração de 10 minutos entre 125,83 mm/h e 183,88 mm/h).

Neste contexto, destaca-se, a utilização da curva IDF de São João do Meriti para representar toda a RH-V resulta no incremento do TR associado à chuva de projeto utilizada na modelagem hidrológica que visou o cálculo de vazões correspondentes à capacidade de condução das seções transversais utilizadas. Portanto, não é esperado que, dentro das incertezas metodológicas e objetivos deste trabalho, que os níveis calculados estejam associados a TRs maiores do que os apresentados neste capítulo. Tal curva é definida pela Equação 13 (CPRM, 2016):

Equação 13

$$i = k.\frac{TR^a}{(t_d + b)^c}$$

Onde i é a intensidade da chuva em milímetros por hora, TR é o tempo de retorno em anos, td é a duração da precipitação em minutos e os coeficientes de ajuste da equação são k = 1.642; a = 0,1915; b = 25,3 c = 0,8445.

Ainda, ressalta-se que o reordenamento dos blocos de duração crítica de chuva foi realizado pelo método dos blocos alternados. Foram gerados hietogramas de projetos para cada uma das bacias simuladas.

5.1.3.2.3 *Separação do Escoamento*

O método selecionado segue o preconizado em Tucci (2002) e se baseia na premissa de que, em uma dada bacia hidrográfica, durante um evento de precipitação, o volume infiltrado, a precipitação efetiva e a capacidade máxima do solo seguem a relação representada pela Equação 14.

Equação 14

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P}$$

O volume infiltrado no solo (F), a capacidade máxima de água na camada superior do solo (S) e a precipitação efetiva é a parte da chuva que gera escoamento superficial, e a precipitação (P) é a chuva total. No segundo termo da chuva total, são introduzidas as perdas iniciais do evento (Ia), resultando na Equação 15, sendo que estas perdas iniciais são representativas da interceptação vegetal, retenções por relevo na bacia, entre outros.

Equação 15

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

Reorganizando esta equação e isolando a incógnita de interesse, escoamento superficial (Q), obtêm-se a Equação 16, onde S é determinado em função do parâmetro CN, resultando na Equação 17.

Equação 16

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a)^2 + S}$$

Equação 17

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

O parâmetro CN[4], é definido, por sua vez de acordo com tipo, uso e cobertura do solo, além de condições de umidade antecedente ao evento de precipitação. Já as perdas iniciais na bacia se relacionam com a parcela de água que sofre interceptação e a infiltração que ocorre antes do início do evento. Essa estimativa inicial é tratada na literatura como sendo 20% da capacidade total (S).

[4]O parâmetro CN foi criado como uma escala de 1 a 100, caracterizando a proporção de geração de escoamento superficial. Para valores baixos, a capacidade de infiltração é alta e para valores altos, o valor é baixo. Esta escala foi relacionada com tipo e uso de solo.

5.1.3.2.4 *Propagação do Escoamento na Bacia*

Para obter hidrogramas de projeto a partir do uso das equações anteriores, o *Soil Conservation Service* (SCS) propôs um modelo de hidrograma unitário (HU) que foi baseado em medias de HUs derivadas de chuvas e escoamento para várias bacias hidrográficas pequenas norte-americanas (USACE, s.d.). Com isso, a aplicação do modelo SCS HU para uma bacia de interesse resulta em um HU adimensional de pico único que expressa a descarga (Up), como uma razão para a descarga de pico (Up), para qualquer tempo t, uma fração de tempo de pico (TP), até o pico do HU (USACE, s.d.).

Neste sentido, o SCS sugere que o pico e o tempo de pico do HU estão relacionados pela Equação 18, enquanto que o TP está relacionado com a duração da unidade de excesso de precipitação, sendo calculado a partir da Equação 19. Nestas equações, A é a bacia hidrográfica; C é igual a constante de conversão (2,08 do sistema internacional); Δt é igual a duração do excesso de precipitação (que também é o intervalo computacional); tlag é igual o atraso da bacia, definido como a diferença entre o centro de excesso de chuva e a vazão de pico do HU.

Equação 18

$$\mathrm{U_P} = \mathrm{C}\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{T_P}}$$

Equação 19

$$T_P = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

A partir do tlag definido, se resolve a Equação 19 para encontrar o tempo de pico e depois a Equação 18 para encontrar o pico do hidrograma unitário. Com esses dois valores, se realiza uma multiplicação, a fim de encontrar o HU de forma adimensional. Para bacias não monitoradas, o SCS sugere que o tempo de atraso (tlag) do HU pode ser relacionado ao tempo de concentração (tc) por meio da Equação 20.

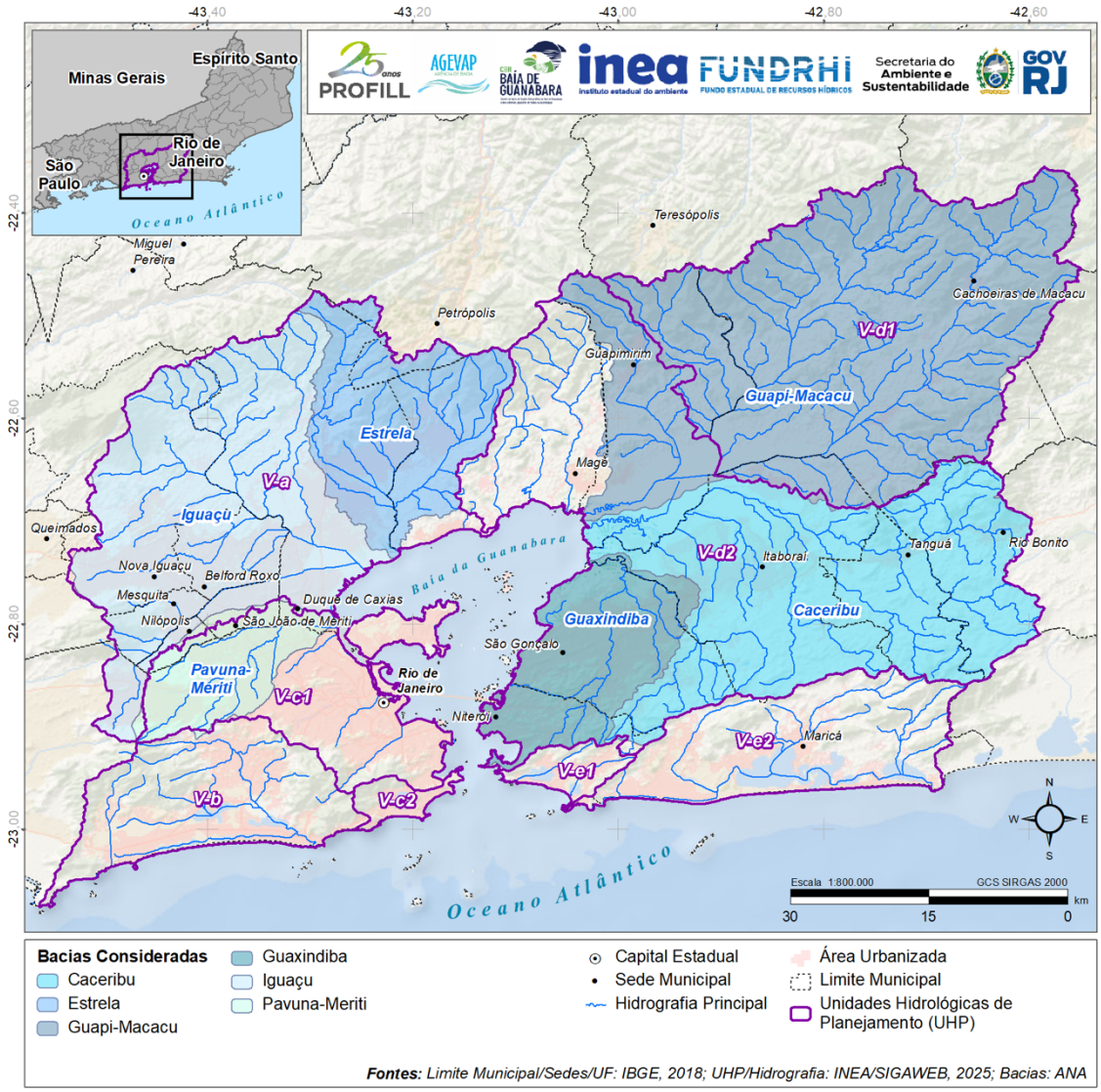
.

Equação 20

$$t_{lag} = 0{,}6t_c$$

5.1.3.2.5 *Definição das Bacias Hidrográficas*

Para definição das áreas a serem simuladas, foram selecionadas as maiores bacias hidrográficas da RH-V, consideradas como aquelas que possuem área de drenagem superiores a 100 km² devido a sua maior contribuição para a região. Os seis afluentes selecionados são os rios: Caceribu, Guaxindiba, Guapimirim, Estrela, Iguaçu e Pavuna-Meriti, apresentados no Mapa 5-3, enquanto na Tabela 15 são descritos os parâmetros físicos representativos de cada bacia.



Mapa 5-3 – Bacias hidrográficas consideradas no cálculo das probabilidades.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-15 – Características físicas das bacias hidrográficas simuladas.

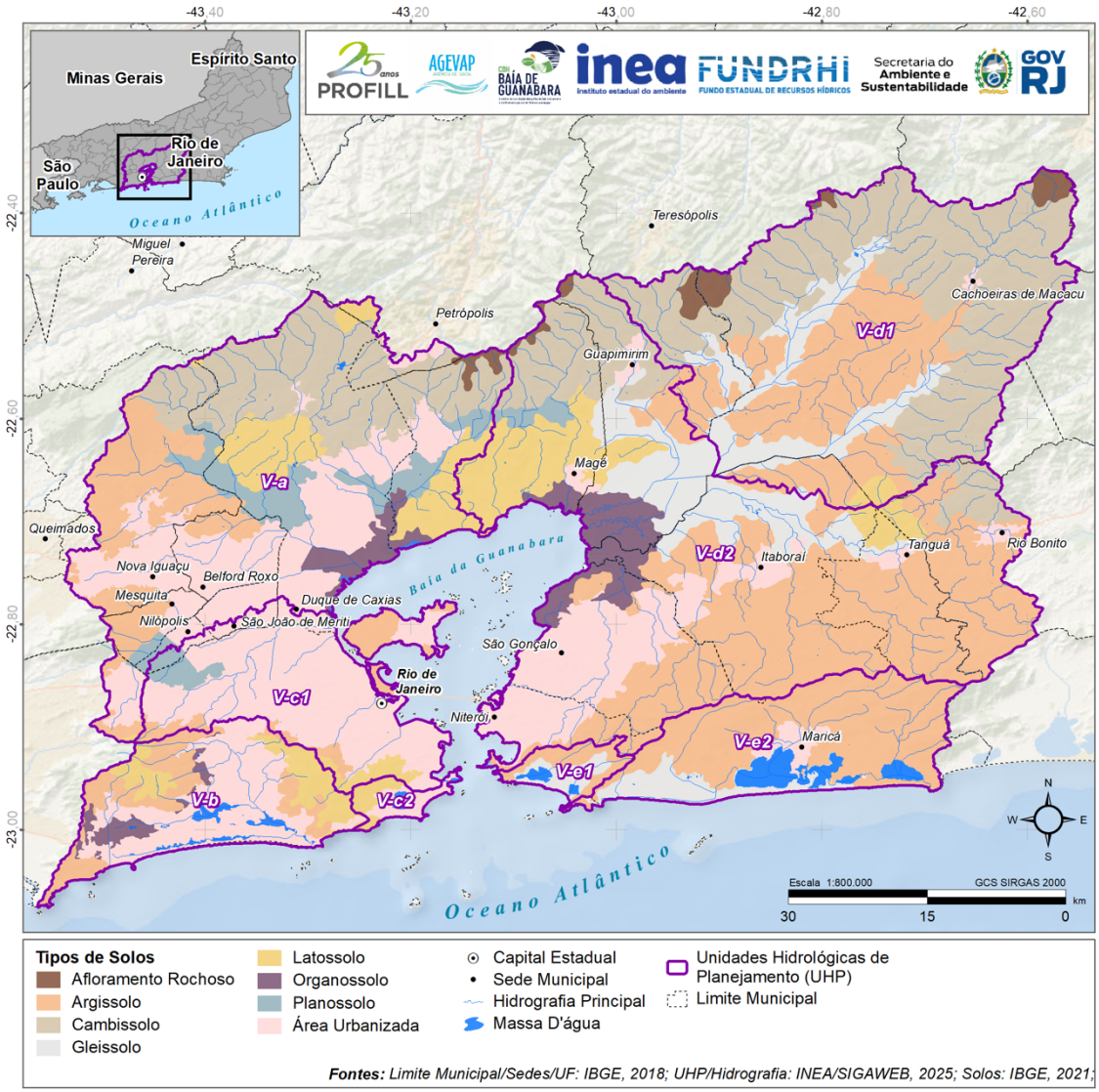
Bacia	Área de Drenagem (km²)	Comprimento do Rio (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (minutos)
Caceribu	811	77	0.0078	733
Guaxindiba	268	26	0.0010	688
Guapi-Macacu	1.260	88	0.0202	566
Estrela	347	35	0.0343	226
Iguaçu	721	52	0.0259	341
Pavuna-Meriti	165	30	0.0209	239

Fonte: Elaboração própria.

5.1.3.2.6 *Estimativa do Curve-Number (CN)*

Para o cálculo da chuva efetiva, é utilizada a metodologia do SCS de caracterização de capacidade de geração de escoamento superficial em função de tipo de solo e cobertura da bacia hidrográfica, dado pelo coeficiente CN, que considera informações do tipo de solo, do uso e ocupação desse solo. A classificação do parâmetro pode ser encontrada em (Collischonn, W., & Dornelles, F., 2013) onde são descritos para cada tipo e uso do solo, um valor de referência a ser utilizado como CN.

No presente estudo, utilizou-se o Mapeamento Anual (2022) da Cobertura e Uso do Solo no Brasil – MapBiomas, (Souza, 2020) com resolução espacial de 30 m, para identificar as ocupações do solo na RH-V (Mapa 3-4). Além disso, foram identificados os tipos de solo existentes na RH-V através do mapa de solos disponibilizado pelo IBGE (2021), compatível com a escala 1:250.000, apresentado no Mapa 5-4.



Mapa 5-4 – Mapa do tipo de solo na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Para estimativa do CN é necessária uma caracterização da capacidade de geração de escoamento superficial em função de tipo de solo e cobertura da área estudada. As ocorrências pedológicas são subdivididas em quatro grupos hidrológicos, os quais possuem características distintas que buscam representar a maior ou menor capacidade de armazenamento do solo. Quanto maior a capacidade de armazenamento, menor o potencial de geração de escoamento superficial. As características dos grupos hidrológicos são descritas no Quadro 5-1.

Quadro 5-1 – Características dos grupos hidrológicos.

Grupo Hidrológico	Características
A	Baixo potencial de deflúvio. Terrenos muito permeáveis com pouco silte e argila.
B	Capacidade de infiltração acima da média após completo umedecimento. Solos arenosos e menos profundos que os do tipo A.
C	Capacidade de infiltração abaixo da média depois de pré-saturação. Contém apreciável porcentagem de argila.
D	Mais alto potencial de deflúvio. Muito argiloso, quase impermeável.

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessas informações, foi possível definir para cada tipo[5] e uso do solo um valor de CN, apresentado na Tabela 5-16. Após realizar essa definição, criou-se um mapa de CN da RH-V (Mapa 5-5), utilizando os valores tabelados pela bibliografia.

Tabela 5-16 – Classificação do CN a partir do tipo e uso do solo.

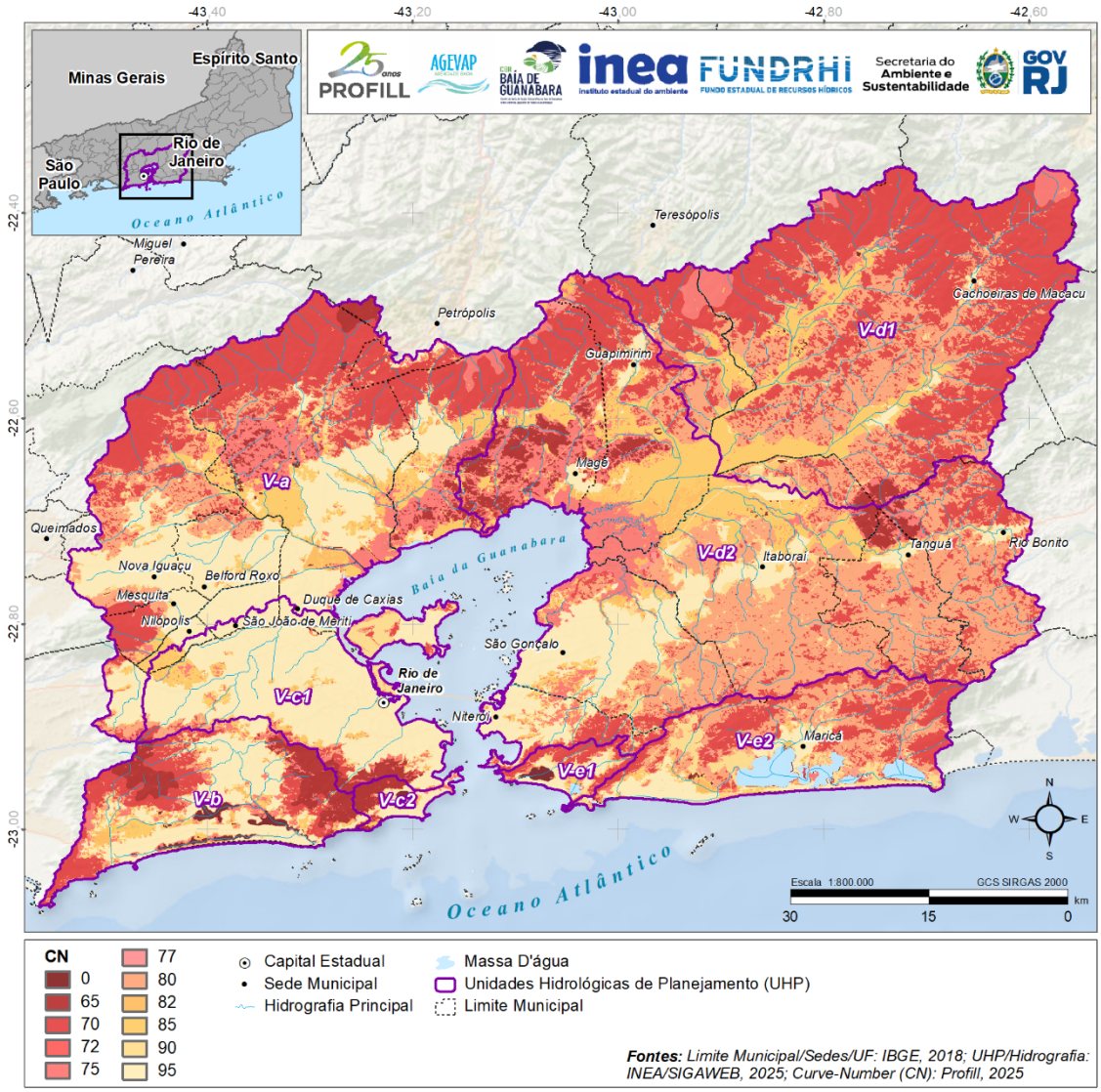
Uso do Solo	CN			
	Grupo Hidrológico A	Grupo Hidrológico B	Grupo Hidrológico C	Grupo Hidrológico D
Formação Florestal	55	65	70	75
Formação Savânica	55	65	70	75
Mangue	55	65	70	75
Silvicultura	65	75	80	85
Campo Alagado e Área Pantanosa	62	72	77	82
Formação Campestre	62	72	77	82
Pastagem	65	75	80	85
Mosaico de Usos	65	75	80	85
Praia, Duna e Areal	65	75	80	85
Área Urbanizada	75	85	90	95
Outras Áreas não vegetadas	75	85	90	95
Mineração	75	85	90	95
Afloramento Rochoso	62	72	77	82
Apicum	62	72	77	82
Soja	65	75	80	85

[5]O trabalho desenvolvido por Sartori *et a.l* (2005) que trata da classificação hidrológica de solos brasileiros foi utilizado para definição da classificação hidrológica para cada tipo de solo presente na bacia.

Uso do Solo	CN			
	Grupo Hidrológico A	Grupo Hidrológico B	Grupo Hidrológico C	Grupo Hidrológico D
Outras Lavouras Perenes	65	75	80	85
Restinga Arbórea	55	65	70	75

Fonte: Elaboração própria.

Sabendo o CN associado a cada sub-bacia avaliada, foi possível estimar o valor médio para as regiões de interesse, possibilitando, assim, a estimativa do valor de CN que será utilizado para os cálculos de escoamento superficial. Após encontrar a vazão de projeto para cada bacia de interesse, foram extraídas curvas chave buscando associar uma cota a essas vazões de pico. A premissa adotada é que uma determinada mancha de inundação associada a uma determinada cota, próxima ao exutório da bacia, é correspondente à uma determinada vazão para um determinado TR. A metodologia descrita a seguir busca identificar quais são as cotas associadas às vazões estimadas anteriormente, para associá-las a uma mancha de inundação.



Mapa 5-5 – Mapa de CN na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.3.3 Cálculo da Curva-Chave

As curvas-chave foram determinadas para os trechos a jusante dos seis principais rios da RH-V[6], destacando-se que uma curva-chave é uma relação hidráu-

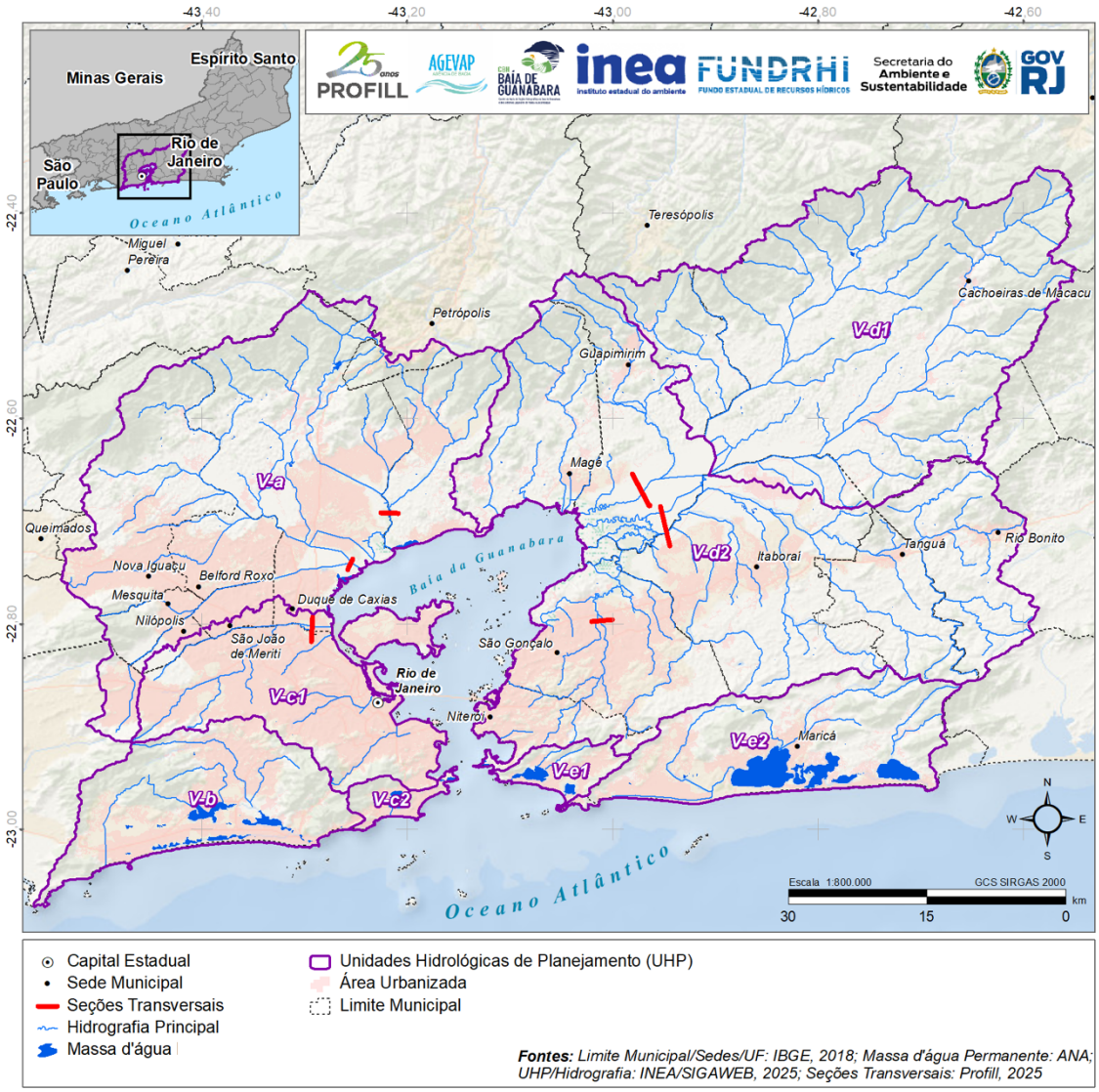
[6]Importante destacar que para a obtenção de curvas-chave fidedignas, é fundamental o levantamento de seções transversais *in loco* e a realização de campanhas de medição de vazão. Entretanto, para o estudo em questão, dadas as incertezas existentes, entende-se que esta abordagem regional é adequada.

lica fundamental que correlaciona a cota (H) com a vazão (Q) em uma seção transversal específica de um rio. Para a sua determinação, empregou-se o método de Manning, que utiliza as características geométricas (como área e raio hidráulico) das seções transversais desses trechos, juntamente com um coeficiente de rugosidade, para estimar a vazão para uma dada profundidade. O processo de cálculo da curva-chave no presente estudo envolve as etapas sequenciais que seguem abaixo.

5.1.3.3.1 *Seção Transversal*

A primeira etapa consiste em obter os dados da seção transversal aproximada do curso hídrico de interesse, que são geralmente representados por pares de coordenadas (X, Y) que descrevem a geometria da seção, não só da calha do rio, mas também da planície. Essas informações foram extraídas do MDE utilizado nas etapas anteriores[7], e suas respectivas localizações aproximadas são apresentadas no Mapa 5-6.

[7]Importante destacar que para a obtenção de curvas chave fidedignas é fundamental o levantamento de seções transversais *in loco*, em conjunto preferencialmente com a realização de medição de vazão. Entretanto, para o estudo em questão, em escala regional, a metodologia aplicada consegue aproximar estas seções de forma conservadora, uma vez que ao se desconsiderar a calha do rio, a vazão que estaria fluindo nesta região passa a ocupar parte da planície, gerando incertezas a favor da segurança e a favor do conservadorismo.



Mapa 5-6 – Localização das seções transversais estudadas na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.3.3.2 *Definição do Ponto mais Baixo da Seção*

Para padronizar e facilitar os cálculos subsequentes, é necessário identificar o ponto de menor elevação na seção transversal, escolhida em regiões próximas da Baía de Guanabara, de forma a tentar contemplar bacias hidrográficas de relevância. Este ponto é então definido como a origem do eixo X (x = 0). Essa centralização permite uma análise mais sistemática dos valores da seção, distinguindo entre as partes da seção à esquerda (x < 0) e à direita (x > 0) do ponto mais baixo para o cálculo das larguras em diferentes níveis d'água. A Figura 5-3 apresenta um exemplo

de seção transversal extraída de um MDE e a mesma seção com a definição do ponto mais baixo.

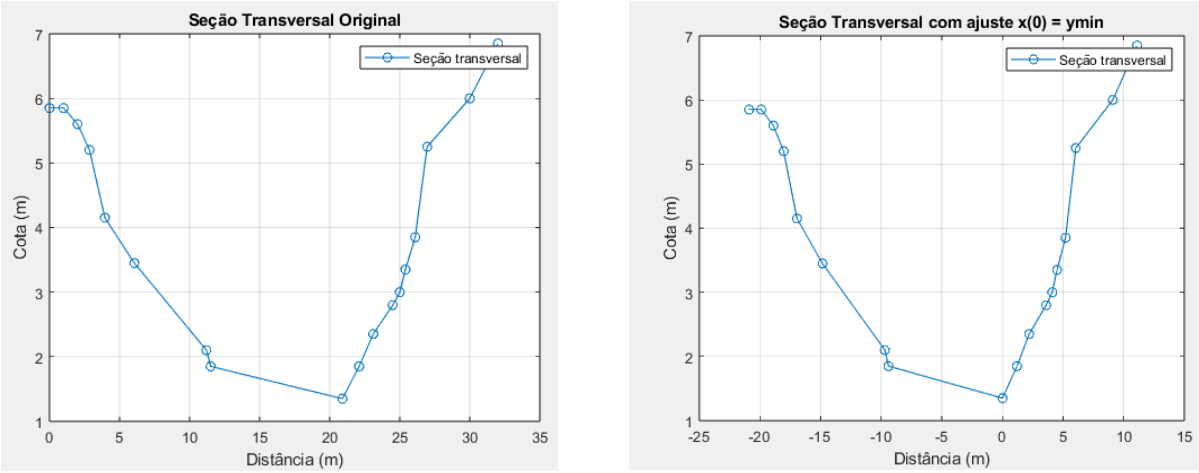


Figura 5-3 – Exemplo de seção transversal extraída de um MDE à esquerda. À direita, a mesma seção com o ajuste de x(0) = ymin da seção.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.3.3.3 *Cálculo do Perímetro Molhado*

O perímetro molhado (P) é a parte da seção transversal do canal que está em contato com a água. Para calculá-lo, o algoritmo soma os comprimentos de todos os segmentos que conectam os pontos consecutivos ao longo da seção transversal. O comprimento de cada segmento é determinado usando o teorema de Pitágoras, tratando cada segmento como a hipotenusa de um triângulo retângulo formado pelas variações nas coordenadas X (Δx) e Y (Δy). onde o somatório é feito sobre todos os segmentos. A Equação 21 apresenta o cálculo do perímetro.

Equação 21

$$\mathrm{P} = \sum \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

5.1.3.3.4 *Cálculo da Curva Largura (W) x Nível D'água (H)*

Esta etapa estabelece a relação entre a largura da superfície da água (W) e o nível d'água (h) dentro da seção. Para isso, um vetor de níveis d'água (H) é criado, variando da cota mínima à cota máxima da seção transversal. Em um *loop*, o código interpola os valores de X correspondentes a cada nível h para ambos os lados

(X < 0 e X >= 0) da seção ajustada. A largura em um dado nível é então calculada como a diferença entre o valor de X no lado positivo e o valor de X no lado negativo. Para garantir a unicidade e precisão da interpolação, são aplicados filtros aos valores de Y e X para X <= 0 e X >= 0.

5.1.3.3.5 *Cálculo da Curva Área Molhada (A) x Nível D'água (H)*

Com a curva largura x nível d'água anteriormente estabelecida, a área molhada (A) para cada nível d'água (h) é calculada utilizando um método de integração trapezoidal acumulada. A área é acumulada a partir do ponto mais baixo da seção, somando as áreas de pequenos segmentos trapezoidais formados pela largura em dois níveis d'água consecutivos e a diferença de altura entre eles. A Equação 22 apresenta o cálculo da área. Nesta equação, “w” representa a largura da seção e “h” representa o nível d’água na seção.

Equação 22

$$A = \sum \frac{(w_i - w_{i-1}) * (h_i - h_{i-1})}{2}$$

5.1.3.3.6 *Cálculo da Vazão (Q) pela Fórmula de Manning*

A etapa final envolve o cálculo da vazão (Q) para cada nível d'água (h) usando a equação de Manning. Esta equação é amplamente utilizada em hidráulica para estimar a velocidade média do fluxo em canais abertos, e, consequentemente, a vazão, com base nas características da seção do canal, sua declividade e a rugosidade do material. A fórmula de Manning é dada pela Equação 23:

Equação 23

$$Q = \frac{1}{n} * A * R_h^{\frac{2}{3}} * I_o^{0,5}$$

Onde Q é a vazão, em m³/s, A é a área da seção molhada, em m² (calculada na etapa anterior), Rh é o raio hidráulico (razão entre a área molhada e o perímetro molhado), Io a declividade longitudinal do canal, em m/m, e n o coeficiente de

Manning que representa a rugosidade da superfície interna do canal. Este valor é uma característica do material que compõe o leito e as margens do canal.

5.1.4 *Resultados da Simulação Hidrológica*

A partir da metodologia descrita no item 5.1.3, foi possível gerar informações que permitem avaliar o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas da RH-V frente a diferentes cenários de cheia. A aplicação das técnicas de simulação hidrológica, associadas aos dados topográficos e às estimativas de áreas suscetíveis à inundação, possibilitou identificar os trechos mais críticos e espacializar os níveis de perigo de modo eficaz e com maior acurácia que produtos anteriormente disponíveis para a região. Os resultados apresentados a seguir sintetizam essa avaliação, destacando a distribuição das áreas potencialmente inundáveis, os padrões de escoamento e a relação entre as vazões simuladas e as probabilidades de ocorrência.

5.1.4.1 Estimativa do TR Associado a Níveis

Com as curvas-chave estabelecidas, as vazões calculadas para diferentes TRs (que retratam o mapeamento da probabilidade de ocorrência) e as manchas de inundação inicialmente obtidas pelo modelo HAND (que retratam o mapeamento da suscetibilidade que diferentes áreas têm em relação a inundações), foi possível realizar uma integração para obtenção do perigo associado. Para cada área ou mancha de inundação identificada pelo HAND, e utilizando a relação cota-vazão da curva-chave, estimou-se qual a cota associada à cada vazão de diferente TR, permitindo, assim, ranquear as manchas de inundação (ou manchas de suscetibilidade) de acordo com sua probabilidade de ocorrência. A seguir são apresentados os resultados para cada uma das bacias hidrográficas selecionadas neste estudo, de acordo com os seis principais rios anteriormente mencionados.

5.1.4.1.1 *Rio Caceribu*

Considerando as metodologias apresentadas, foram calculadas informações relacionadas às características físicas da bacia hidrográfica do Rio Caceribu.

Essa bacia possui um canal principal formado por um trecho de rio de, aproximadamente, 77 km de extensão e uma declividade média de 0,007808 m/m. Com essas informações, foi possível calcular o tempo de concentração da bacia hidrográfica.

Além disso, com base no Mapa 5-5, foi calculado o CN médio da bacia hidrográfica. Com ele foi possível calcular a infiltração máxima e a abstração inicial do método de separação do escoamento, apresentado anteriormente. A Tabela 5-17 a seguir apresenta as características físicas da bacia hidrográfica do Rio Caceribu.

Tabela 5-17 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Caceribu adotadas na modelagem hidrológica.

Afluente	Área de Drenagem (km²)	Comprimento (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (min)	*Lag-time* (min)	CN	Infiltração Máxima (mm)	Abstração Inicial (mm)
Caceribu	811,0	77,0	0,007808	733,0	440,0	79,0	67,5	13,5

Fonte: Elaboração própria.

Com base nessas informações, foram calculados os hidrogramas de projeto e as vazões máximas para diferentes TRs nesta bacia hidrográfica. A Figura 5-4 apresenta os hidrogramas obtidos e a Tabela 5-18 apresenta as vazões máximas encontradas.

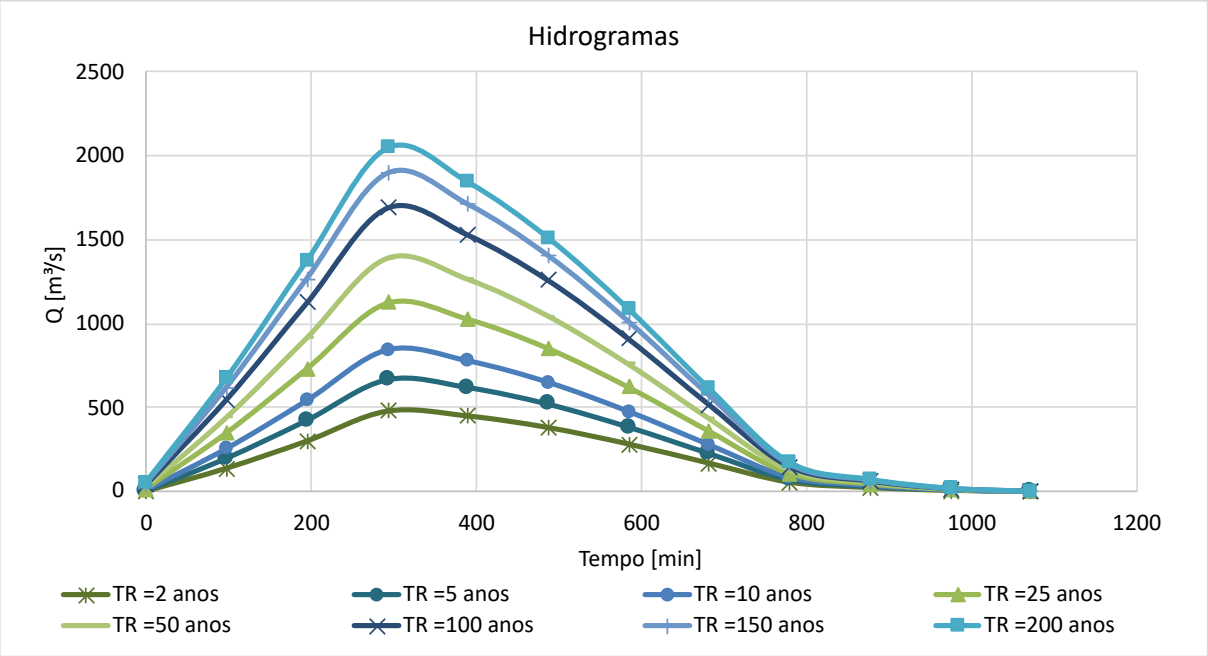


Figura 5-4 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Caceribu.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-18 – Vazões máximas do Rio Caceribu.

Vazão máxima para cada TR em m³/s							
2	5	10	25	50	100	150	200
481	668	843	1.127	1.387	1.693	1.895	2.050

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez identificadas as vazões para os diferentes TRs para este curso hídrico, foi extraída uma seção transversal próxima ao seu exutório junto à Baía de Guanabara. Essa região é caracterizada por baixas declividades e extensas planícies de inundação. A Figura 5-5 apresenta a seção transversal e a sua respectiva curva-chave estimada.

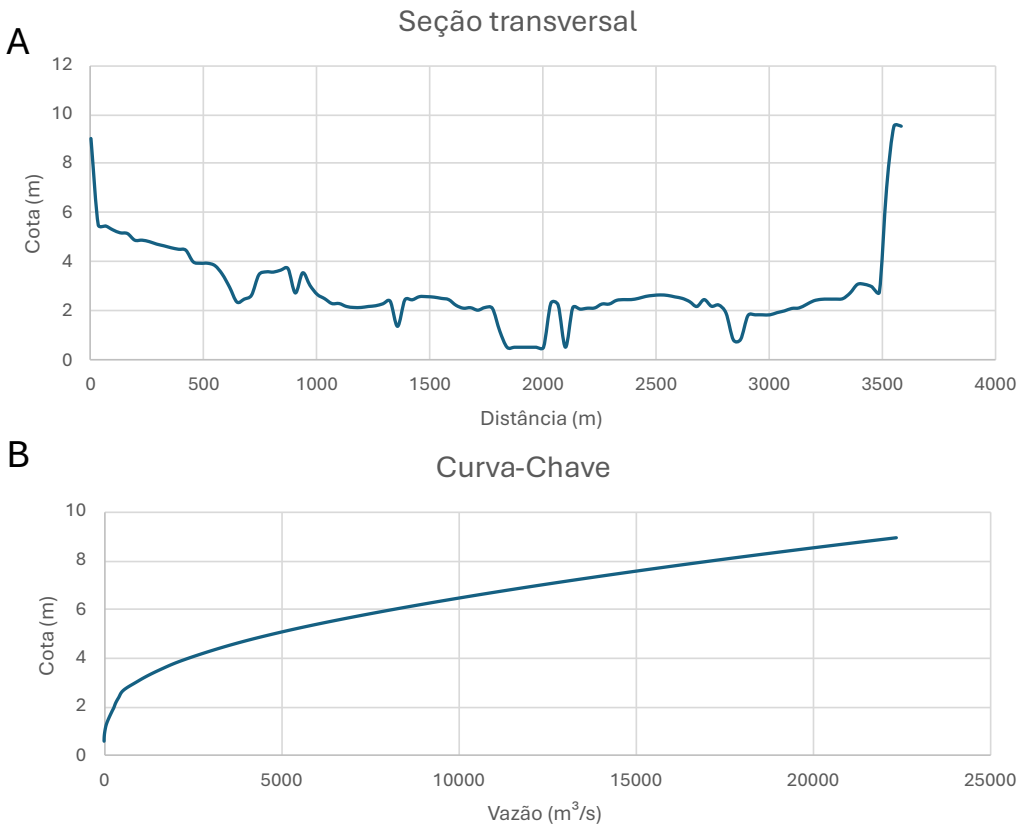


Figura 5-5 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Caceribu; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Caceribu.
Fonte: Elaboração própria.

Sabendo as vazões máximas que podem atingir o exutório, foi possível calcular as cotas aproximadas (vinculadas ao MDE utilizado) que correspondem à sua capacidade hidráulica (isto é, sua capacidade em conduzir essas vazões). Os resultados obtidos para o Rio Caceribu são: TR 2 anos = 2,5 m; TR 5 anos = 2,8 m; TR 10 anos = 3,0 m; TR 25 anos = 3,1 m; TR 50 anos = 3,3 m e TR 100 anos = 3,6 m, TR 150 anos = 3,7 m; e TR 200 anos = 3,8 m.

Logo é possível inferir que, dada a limitação do método e dos dados utilizados, locais com manchas de inundação de até 2,5 m (ou seja, áreas cuja cota do MDE utilizado estejam abaixo de 2,5 m), estão associadas a TRs menores que 2 anos, enquanto periculosidades médias estão associadas a vazões entre 2 e 200 anos de TR (ou seja, áreas com cotas entre 2,5 e 3,8 m). Por fim, periculosidades muito

baixas estão associadas a TRs superiores a 200 anos (cotas superiores a valores da ordem de 3,8 m para este caso em específico).

5.1.4.1.2 *Rio Guapimirim*

A bacia hidrográfica do Rio Guapimirim, além de fazer fronteira com a bacia hidrográfica do Rio Caceribu, também possui uma geomorfologia semelhante a ela próximo à confluência com a Baía de Guanabara. Essa bacia hidrográfica possui um trecho principal de 88 km e uma declividade média de 0,020225 m/m. O tempo de concentração calculado foi de 566 minutos, aproximadamente 9 horas. Já o coeficiente CN estimado foi de 75, representando uma bacia hidrográfica com pouca urbanização. A Tabela 5-19 a seguir apresenta as características físicas da bacia hidrográfica do Rio Guapimirim.

Tabela 5-19 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Guapimirim adotadas na modelagem hidrológica.

Afluente	Área de Drenagem (km²)	Comprimento (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (min)	*Lag-time* (min)	CN	Infiltração Máxima (mm)	Abstração Inicial (mm)
Guapimirim	1.260,0	88,0	0,020225	566,0	340,0	75,0	84,7	16,9

Fonte: Elaboração própria.

Com base nessas informações, foram calculados os hidrogramas de projeto e as vazões máximas para diferentes TRs nesta bacia hidrográfica. A Figura 5-6 apresenta os hidrogramas obtidos e a Tabela 5-20 apresenta as vazões máximas encontradas.

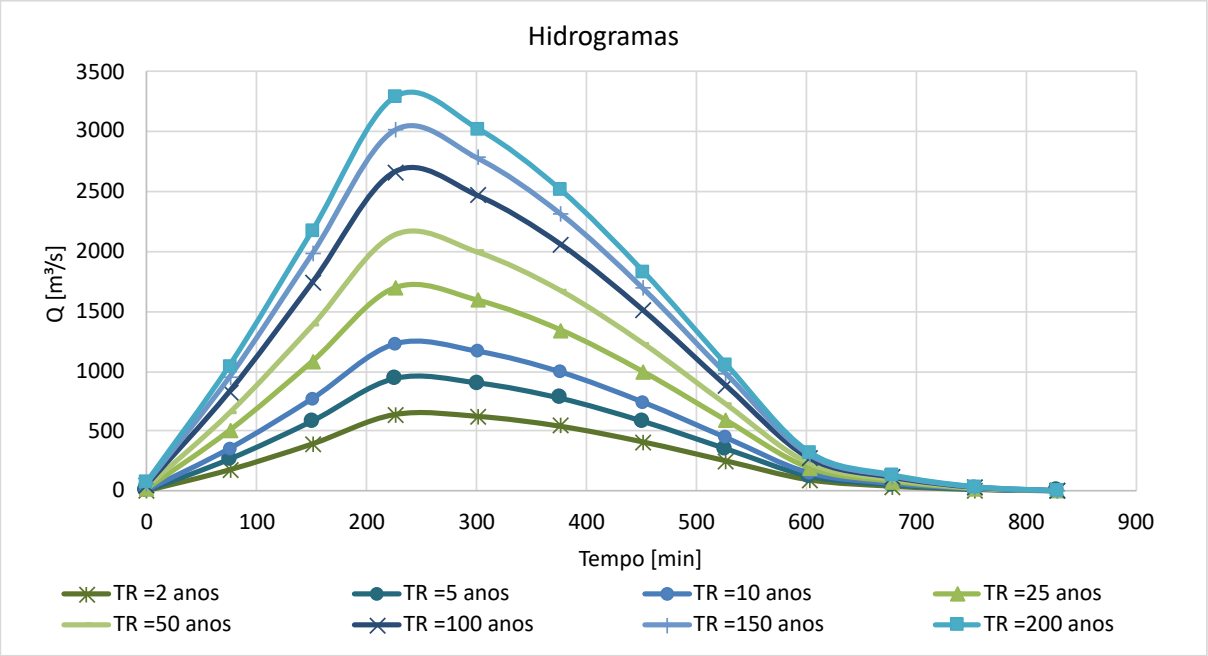


Figura 5-6 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Guapimirim.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-20 – Vazões máximas do Rio Guapimirim.

Vazão máxima para cada TR em m³/s							
2	5	10	25	50	100	150	200
641	938	1.223	1.696	2.138	2.666	3.019	3.290

Fonte: Elaboração própria.

A região onde foi extraída a seção transversal possui uma extensa planície de inundação, combinada com uma baixa declividade. Do ponto de vista de capacidade hidráulica, regiões com estas características costumam estar associadas a hidrogramas atenuados, devido à presença de grandes várzeas nas planícies de inundação. Além disso, devido à grande capacidade de espalhamento do volume de água, pequenas variações de cotas tipicamente estão associadas a grandes variações de vazões. Esse comportamento é notório na curva-chave apresentada na Figura 5-7.

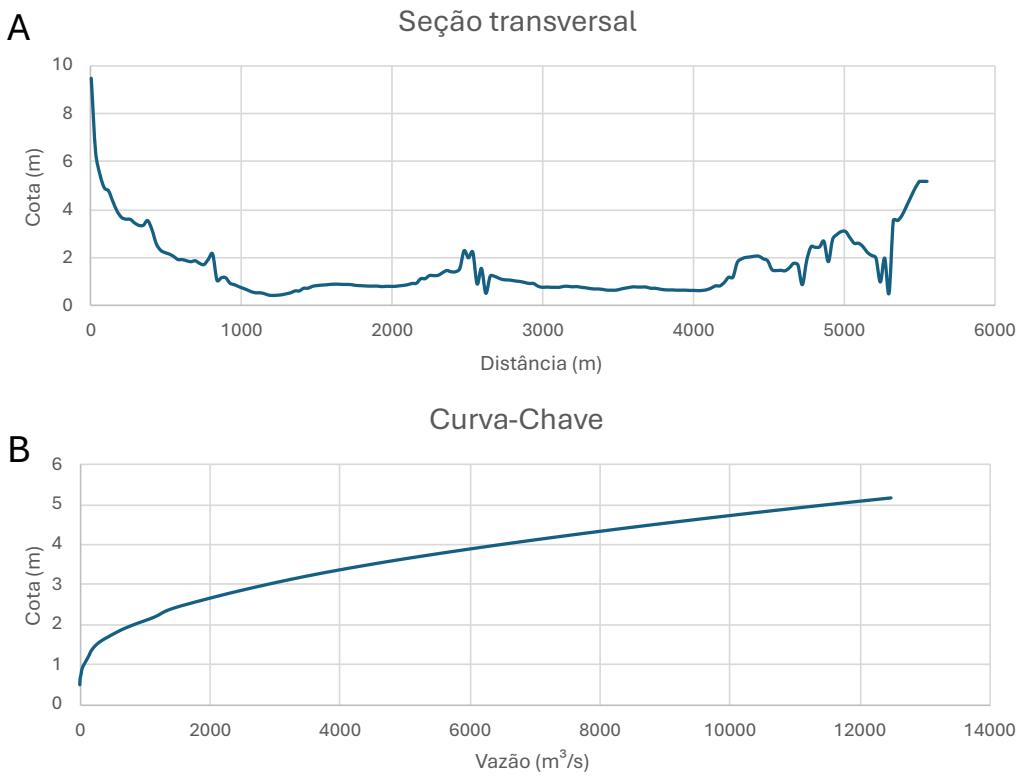


Figura 5-7 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Guapimirim; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Guapimirim.
Fonte: Elaboração própria.

Assim como realizado anteriormente, as cotas (vinculadas ao MDE utilizado) aproximadas que correspondem à capacidade hidráulica do trecho de rio selecionado são de, aproximadamente: TR 2 anos = 1,8 m; TR 5 anos = 2,1 m; TR 10 anos = 2,2 m; TR 25 anos = 2,5 m; TR 50 anos = 2,7 m; TR 100 anos = 2,9 m, TR 150 anos = 3,0 e TR 200 anos = 3,1 m. Ou seja, manchas de inundação de 1 a 2 m se enquadram em TRs de até 5 anos, enquanto manchas de inundação entre 2 e 3 m se enquadram em TRs de até 200 anos.

5.1.4.1.3 *Rio Estrela*

O Rio Estrela, diferente dos Rios Caceribu e Guapimirim têm grande parte de sua bacia hidrográfica associada a uma região de relevo acentuado. Este corpo hídrico é composto por um trecho principal de, aproximadamente, 35 km e uma declividade média de 0,034286 m/m. O tempo de concentração estimado é de 226

minutos e o CN, de 77. A Tabela 5-21 a seguir apresenta as características físicas da bacia hidrográfica do Rio Estrela.

Tabela 5-21 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Estrela adotadas na modelagem hidrológica.

Afluente	Área de Drenagem (km²)	Comprimento (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (min)	*Lag-time* (min)	CN	Infiltração Máxima (mm)	Abstração Inicial (mm)
Estrela	347,0	35,0	0,034286	226,0	136,0	77,0	75,9	15,2

Fonte: Elaboração própria.

Com base nessas informações, foram calculados os hidrogramas de projeto e as vazões máximas para diferentes TRs nesta bacia hidrográfica. A Figura 5-8 apresenta os hidrogramas obtidos e a Tabela 5-22 apresenta as vazões máximas encontradas.

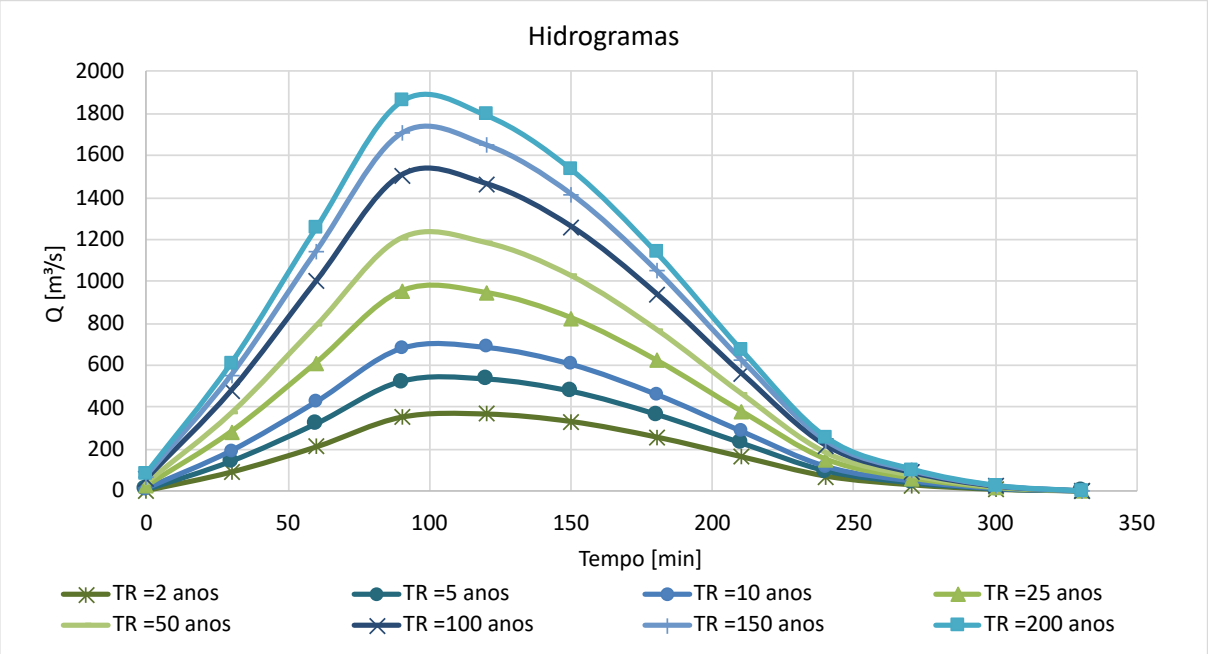


Figura 5-8 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Estrela.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-22 – Vazões máximas do Rio Estrela.

Vazão máxima para cada TR em m³/s							
2	5	10	25	50	100	150	200
370	533	688	952	1.204	1.505	1.706	1.861

Fonte: Elaboração própria.

Próximo ao exutório deste curso hídrico, associado ao estuário com a Baía de Guanabara, possui declividade pouco superior, com regiões altas (onde localiza-se o Bairro Jardim Primavera – Duque de Caxias) fazendo com que a capacidade hidráulica desse rio seja levemente diferente dos anteriores. As variações de cotas e vazões nesse trecho são equivalentes em termos de magnitudes, ou seja, altas vazões correspondem a cotas também altas. A Figura 5-9 apresenta a seção transversal e a curva-chave estimada para o Rio Estrela.

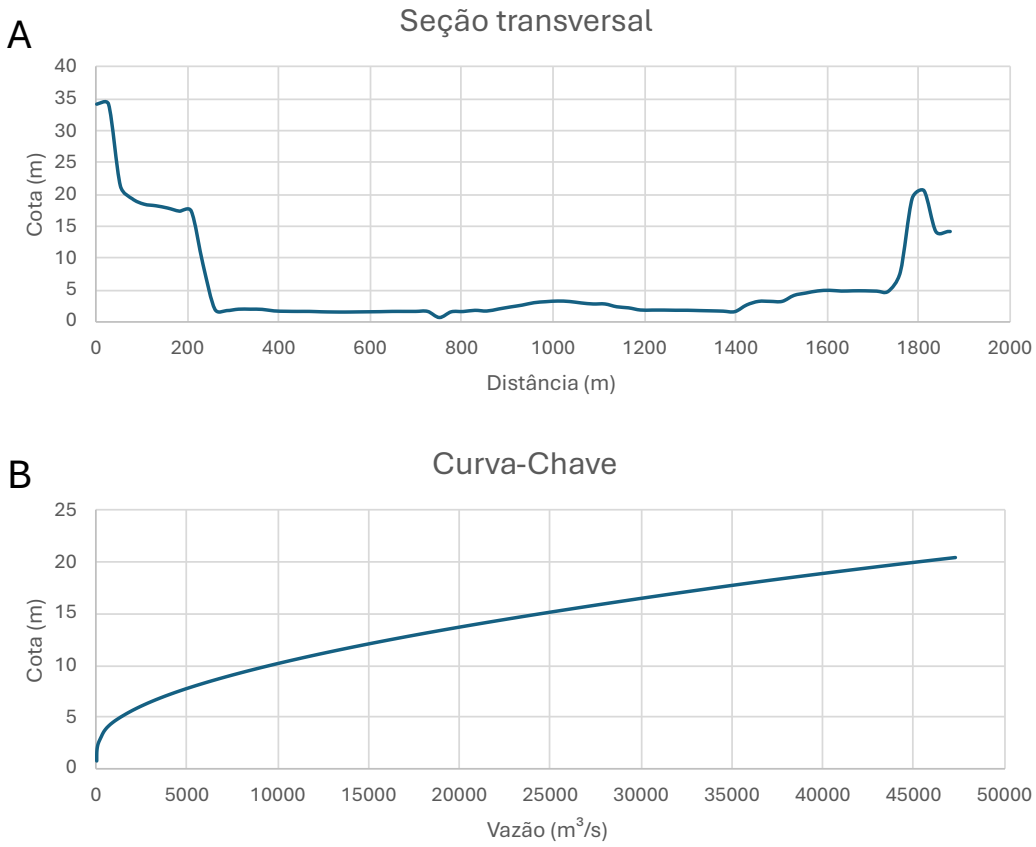


Figura 5-9 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Estrela; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Estrela.
Fonte: Elaboração própria.

Similarmente às avaliações realizadas para os outros cursos hídricos, as cotas aproximadas (vinculadas ao MDE utilizado) associadas às vazões de diferentes TRs no trecho de rio selecionado são de, aproximadamente: TR 2 anos = 3,5 m; TR 5 anos = 3,8 m; TR 10 anos = 4,1 m; TR 25 anos = 4,5 m; TR 50 anos = 4,8 m; TR 100 anos = 5,2 m; TR 150 anos = 5,3 m e TR 200 anos = 5,5 m.

5.1.4.1.4 *Rio Iguaçu*

A foz do Rio Iguaçu está associada ao encontro de suas águas com a Baía de Guanabara, sendo esse ponto de encontro considerado como seu exutório. No geral, essa bacia hidrográfica possui um talvegue principal de 52 km de comprimento e um desnível efetivo de 1.346 m, gerando uma declividade média de 0,025885 m/m. O tempo de concentração da referida bacia hidrográfica é de, aproximadamente, 341 minutos e o CN médio é de 81. A Tabela 5-23 abaixo apresenta as principais características físicas da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu utilizada na modelagem hidrológica.

Tabela 5-23 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu adotadas na modelagem hidrológica.

Afluente	Área de Drenagem (km²)	Comprimento (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (min)	*Lag-time* (min)	CN	Infiltração Máxima (mm)	Abstração Inicial (mm)
Iguaçu	721,0	52,0	0.025885	341,0	205,0	81,0	59,6	11,9

Fonte: Elaboração própria.

Com base nessas informações, foram calculados os hidrogramas de projeto e as vazões máximas para diferentes TRs nesta bacia hidrográfica. A Figura 5-10 apresenta os hidrogramas obtidos e a Tabela 5-24 apresenta as vazões máximas encontradas.

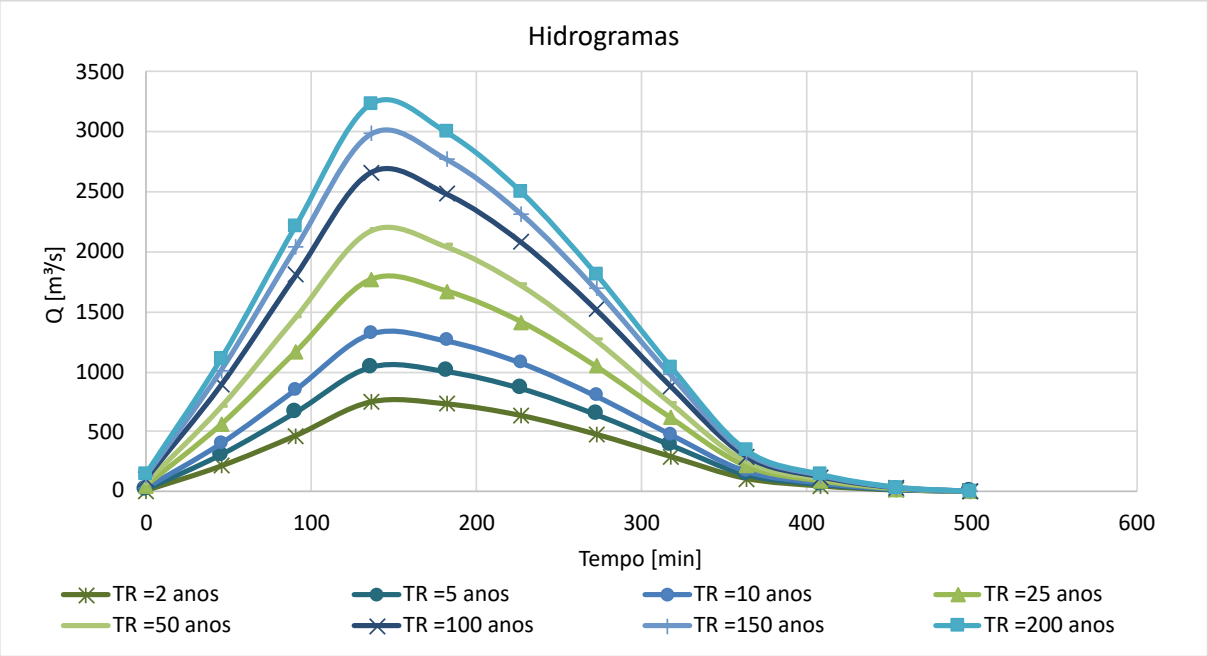


Figura 5-10 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Iguaçu.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-24 – Vazões máximas do Rio Iguaçu.

Vazão máxima para cada TR em m³/s							
2	5	10	25	50	100	150	200
748	1.042	1.319	1.768	2.181	2.665	2.986	3.231

Fonte: Elaboração própria.

O trecho final do Rio Iguaçu é caracterizado por uma alta capacidade hidráulica devido ao formato da geometria da seção. Abaixo, é possível notar a seção encaixada contendo pouca área de planície de inundação. A curva-chave estimada para o Rio Iguaçu (Figura 5-11) também apresenta essa alta capacidade hidráulica e variações semelhantes entre as variáveis.

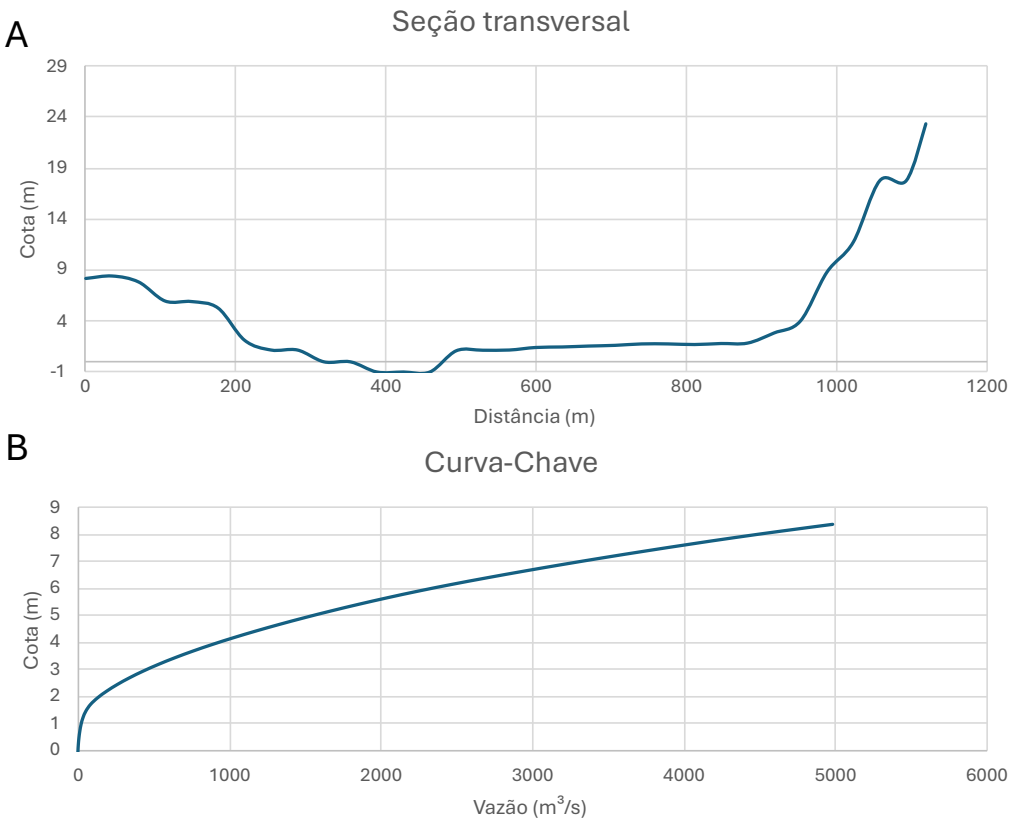


Figura 5-11 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Iguaçu; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Iguaçu.
Fonte: Elaboração própria.

Devido à forte urbanização (representada pelo alto CN), as vazões estimadas para essa bacia hidrográfica são relativamente altas, quando comparadas com outras de área de drenagem semelhante, porém menos urbanizadas. As cotas (vinculadas ao MDE utilizado) associadas às vazões de diferentes tempos de retorno são: TR 2 anos = 3,4 m; TR 5 anos = 4,0 m; TR 10 anos = 4,4 m; TR 25 anos = 5,2 m; TR 50 anos = 5,6 m; TR 100 anos = 6,1 m; TR 150 anos = 6,6 m e TR 200 anos = 6,7 m.

5.1.4.1.5 *Rio Pavuna-Meriti*

Assim como o Rio Iguaçu, o Rio Pavuna-Meriti está localizado em uma região de alta urbanização. Devido a isso, a geração de escoamento nessa bacia hidrográfica é intensificada e as vazões associadas a diferentes TRs possuem altas

magnitudes quando comparadas a bacias hidrográficas de áreas de mesma proporção. A Tabela 5-25 a seguir apresenta as suas principais características.

Tabela 5-25 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Pavuna-Meriti adotadas na modelagem hidrológica.

Afluente	Área de Drenagem (km²)	Comprimento (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (min)	*Lag-time* (min)	CN	Infiltração Máxima (mm)	Abstração Inicial (mm)
Pavuna-Meriti	165,0	30,0	0,020949	239,0	144,0	91,0	25,1	5,0

Fonte: Elaboração própria.

Com base nessas informações, foram calculados os hidrogramas de projeto e as vazões máximas para diferentes TRs nesta bacia hidrográfica. A Figura 5-12 apresenta os hidrogramas obtidos e a Tabela 5-26 apresenta as vazões máximas encontradas.

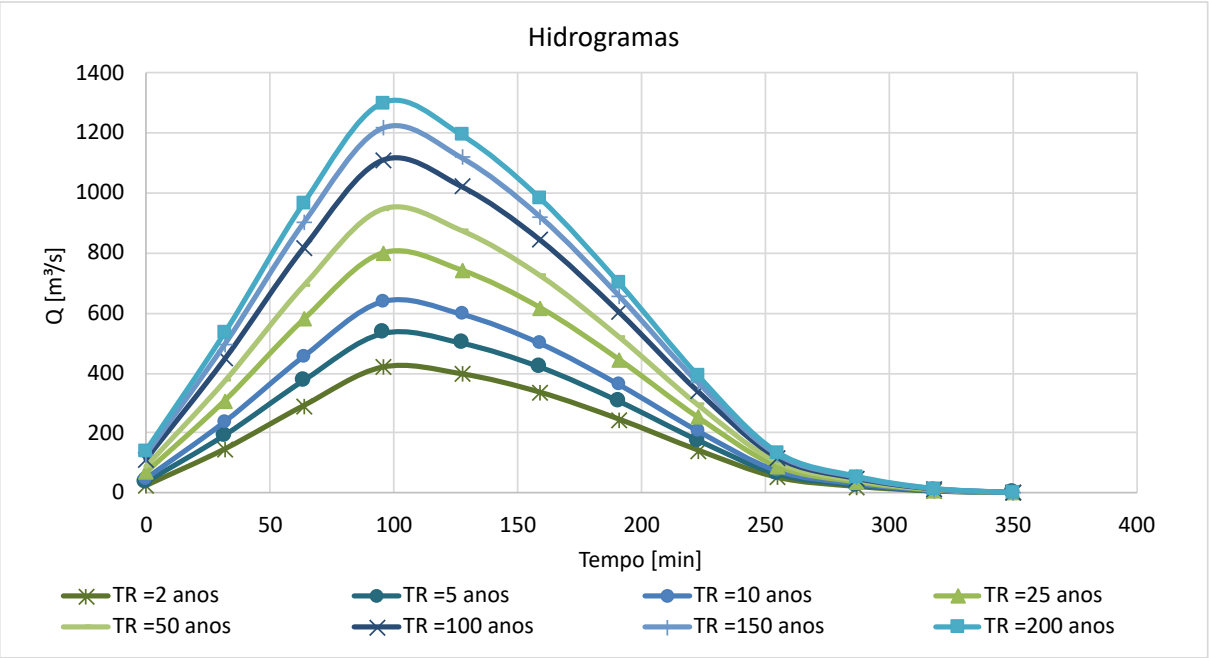


Figura 5-12 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Pavuna-Meriti.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-26 – Vazões máximas do Rio Pavuna-Meriti.

Vazão máxima para cada TR em m³/s							
2	5	10	25	50	100	150	200
418	534	638	801	946	1.112	1.220	1.302

Fonte: Elaboração própria.

O Rio Pavuna-Meriti possui um vale encaixado, semelhante ao observado nas bacias hidrográficas anteriores. A Figura 5-13 apresenta a seção transversal obtida e a curva-chave estimada para o trecho mais a jusante.

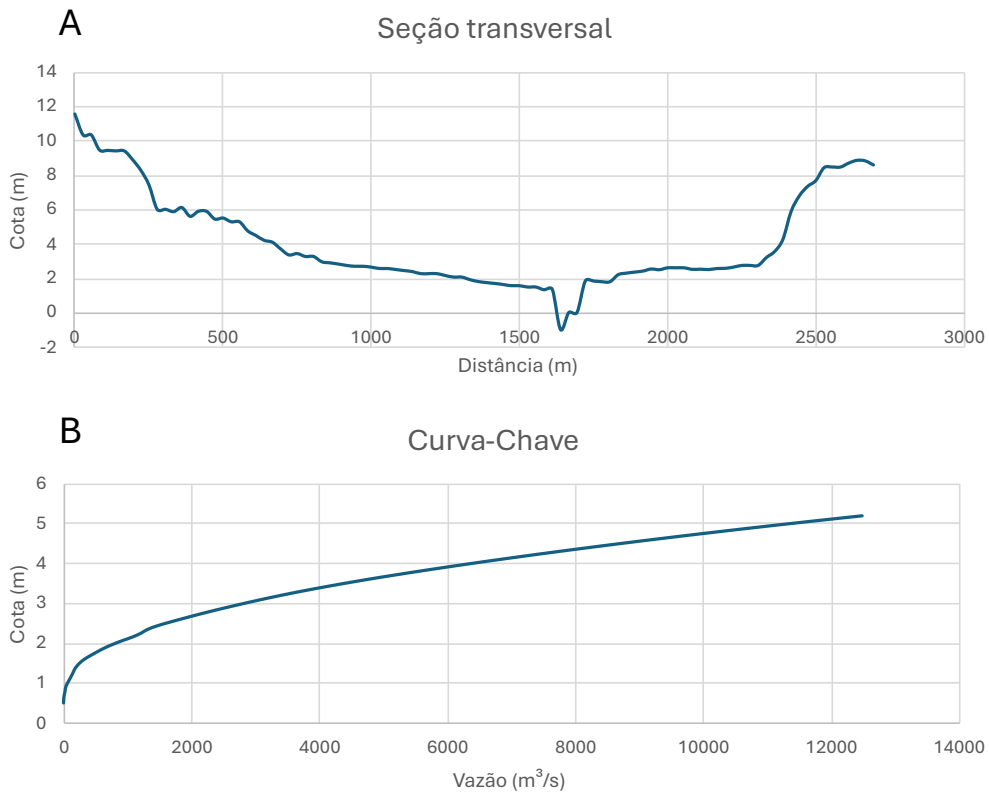


Figura 5-13 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Pavuna-Meriti; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Pavuna-Meriti.
Fonte: Elaboração própria.

Assim como realizado anteriormente, as cotas aproximadas que correspondem à capacidade hidráulica do trecho de rio selecionado são de, aproximadamente: TR 2 anos = 3,3 m; TR 5 anos = 3,4 m; TR 10 anos = 3,6 m; TR 25 anos = 3,8 m; TR 50 anos = 3,9 m; TR 100 anos = 4,2 m; TR 150 anos = 4,3 m; e TR 200 anos = 4,4 m. Assim, conclui-se que manchas de inundação de até 2 m estão associados a

TRs menores que 2 anos. Enquanto manchas de inundação entre 2 e 4 m estão associadas a TRs de 2 a 50 anos. Por fim, manchas acima de 4 m estão associadas a TRs de 100 anos ou mais.

5.1.4.1.6 *Guaxindiba*

O Rio Guaxindiba tem grande parte da sua bacia hidrográfica populado pelo município de São Gonçalo, sendo caracterizada por impermeabilização. Apesar de ter área de drenagem pequena, possui vazões de projeto altas. Os parâmetros físicos relacionados às características geomorfológicas são apresentados na Tabela 5-27 a seguir.

Tabela 5-27 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Rio Guaxindiba adotadas na modelagem hidrológica.

Afluente	Área de Drenagem (km²)	Comprimento (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (min)	*Lag-time* (min)	CN	Infiltração Máxima (mm)	Abstração Inicial (mm)
Guaxindiba	268,0	26,0	0,001016	688,0	413,0	87,7	35,6	7,1

Fonte: Elaboração própria.

Com base nessas informações, foram calculados os hidrogramas de projeto e as vazões máximas para diferentes TRs nesta bacia hidrográfica. A Figura 5-14 apresenta os hidrogramas obtidos e a Tabela 5-28 apresenta as vazões máximas encontradas.

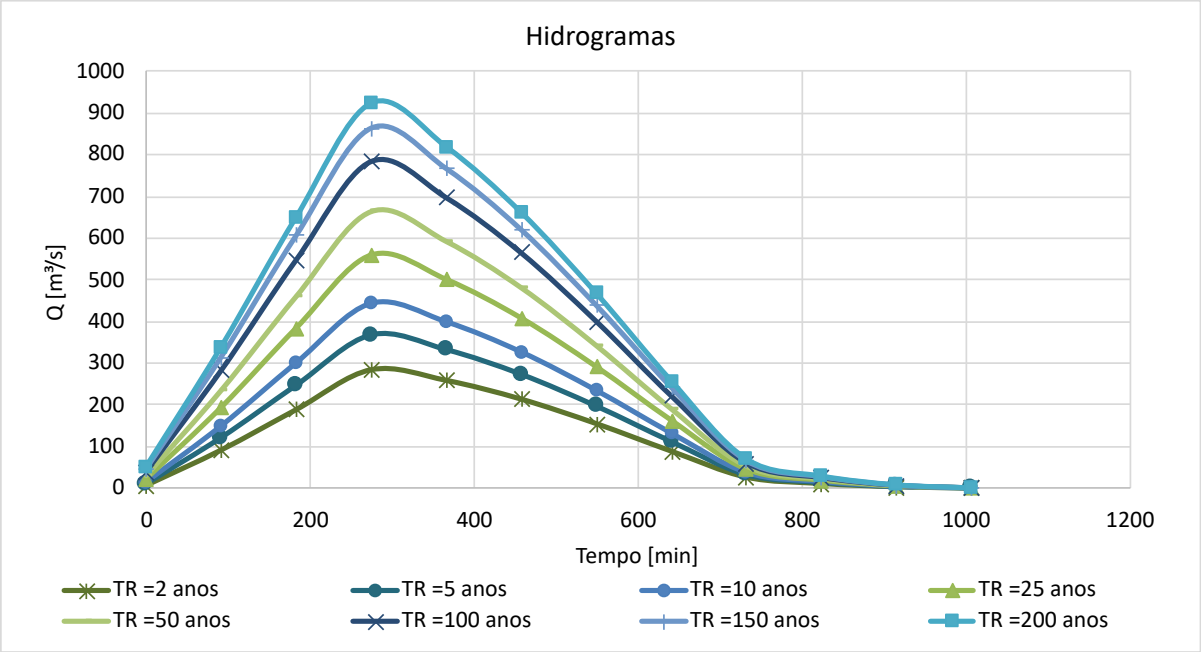


Figura 5-14 – Hidrograma de projeto para diferentes TRs calculados para o Rio Guaxindiba.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-28 – Vazões máximas do Rio Guaxindiba.

Vazão máxima para cada TR em m³/s							
2	5	10	25	50	100	150	200
284	367	442	560	665	785	864	924

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5-15 apresenta a seção transversal característica deste curso hídrico e a curva-chave estimada. É possível notar que para vazões menores, até 1.000 m³/s, as cotas variam até 5 m. Porém, para vazões maiores, a faixa de variação das cotas é pequena, apresentando um comportamento de planície de inundação, conforme verificado nos rios próximos a essa região, como os Rios Caceribu e Guapimirim.

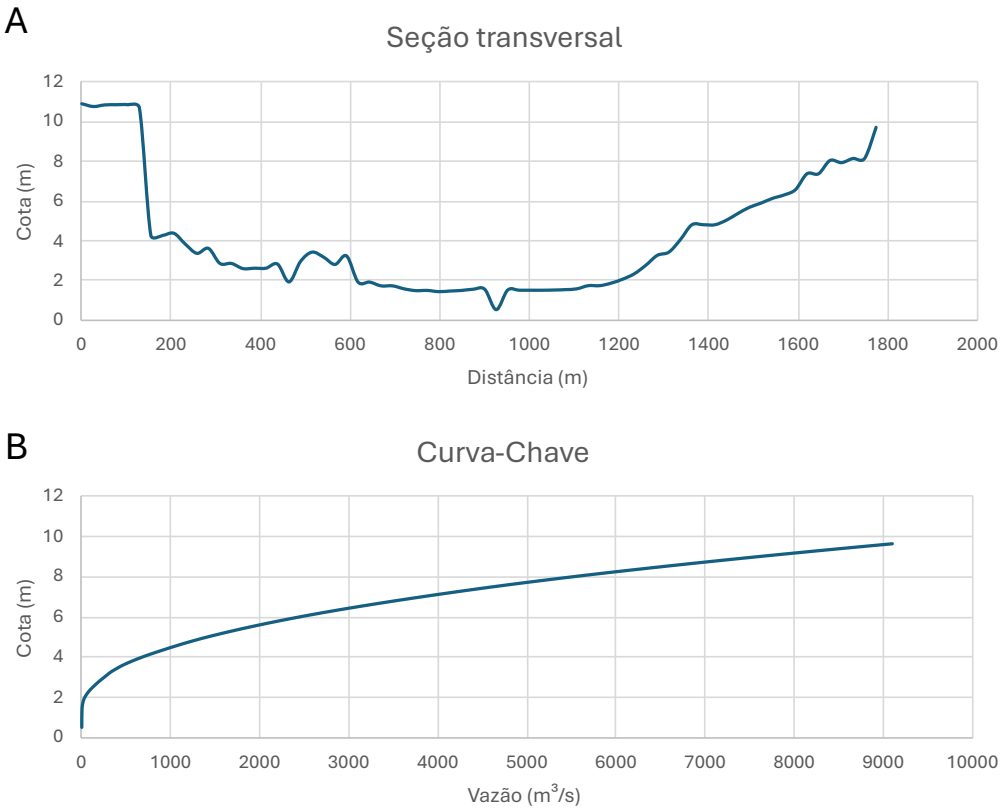


Figura 5-15 – A) Seção transversal extraída do terreno no Rio Guaxindiba; B) Curva-chave estimada para a seção do Rio Guaxindiba.
Fonte: Elaboração própria.

Considerando o apresentado, as cotas que representam de forma aproximada a capacidade hidráulica do trecho para escoar vazões para diferentes TRs são: TR 2 anos = 3,0 m; TR 5 anos = 3,4 m; TR 10 anos = 3,6 m; TR 25 anos = 3,8 m; TR 50 anos = 3,9 m; TR 100 anos = 4,1 m; TR 150 anos = 4,3 m e TR 200 anos = 4,4 m.

No item a seguir, são apresentadas as periculosidades quanto a processos de inundação observados na RH-V.

5.1.4.2 Perigo de Inundação

Após a aplicação da metodologia apresentada, que utilizou simultaneamente técnicas de simulação hidrológica apoiadas ao método HAND, foi possível as-

sociar cada probabilidade de ocorrência às inundações identificadas. Assim, de maneira geral, o Quadro 5-2 a seguir apresenta um resumo das probabilidades associadas às manchas de inundação com diferentes índices de perigo. Salienta-se que o perigo aqui definido se difere do conceito de "extensão dos impactos", pois leva em consideração a probabilidade de ocorrência. Resumindo-se, áreas mais baixas e mais próximas de um curso hídrico podem ser atingidas com cheias pequenas com maior frequência do que áreas distantes e mais altas, as quais são atingidas apenas quando eventos extremos de baixíssima probabilidade de ocorrência são observados. Neste caso, essas regiões mais altas e mais distantes estão classificadas como regiões de baixo perigo a inundações, enquanto regiões mais baixas e mais próximas dos rios estão classificadas como regiões de alto perigo a inundações.

Quadro 5-2 – Perigo e probabilidade de ocorrência associado às profundidades e suscetibilidades à inundação na RH-V.

Profundidade da Inundação Associada	Probabilidade de ocorrência de Inundações	TR Associado
0 a 1 m	Muito Alto	Até 2 anos de TR
1 a 2 m	Alto	De 2 a 5 anos de TR
2 a 4 m	Médio/Moderado	De 5 a 50 anos de TR
4 a 6 m	Baixo	De 50 a 200 anos de TR
6 a 8 m	Muito Baixo	Superior a 200 anos de TR

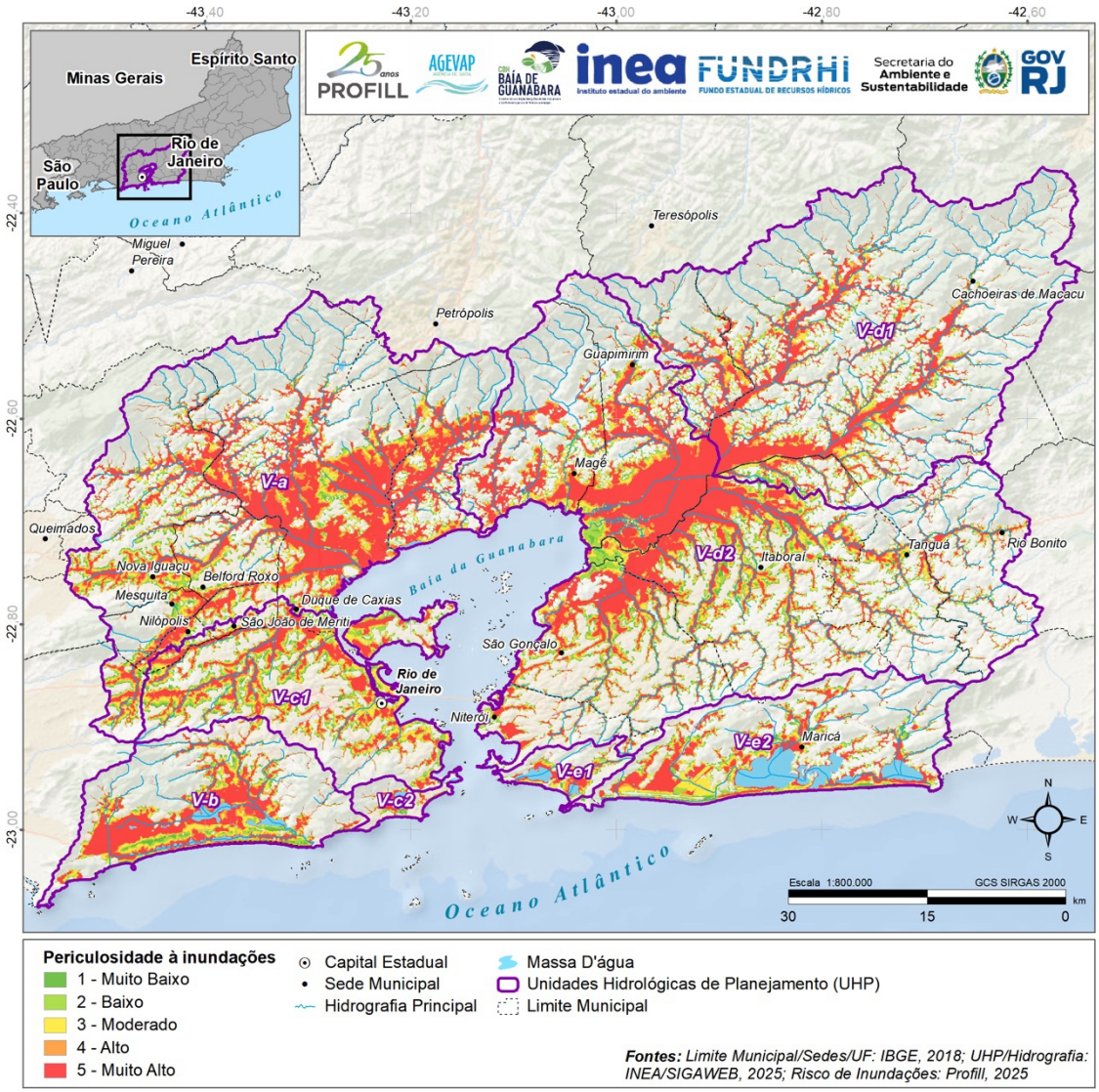
Fonte: Elaboração própria.

Analisando os resultados por regiões dentro da RH-V, observa-se que as manchas de inundação com maiores periculosidades estão associadas a cheias de menor TR e, consequentemente, concentram-se em áreas de menor altitude. Por outro lado, as áreas com menores periculosidades estão localizadas em regiões mais altas, onde o acesso à água é mais limitado, estando associadas a TRs tipicamente superiores a 50 anos. Isso indica que, de modo geral, essas regiões apresentam menor propensão a eventos de inundação em comparação às áreas baixas. Entretanto, a ocorrência de chuvas extremas pode impactar severamente essas áreas. Além disso, as regiões mais baixas exigem atenção especial em cenários de eventos extremos devido à maior exposição a perigos.

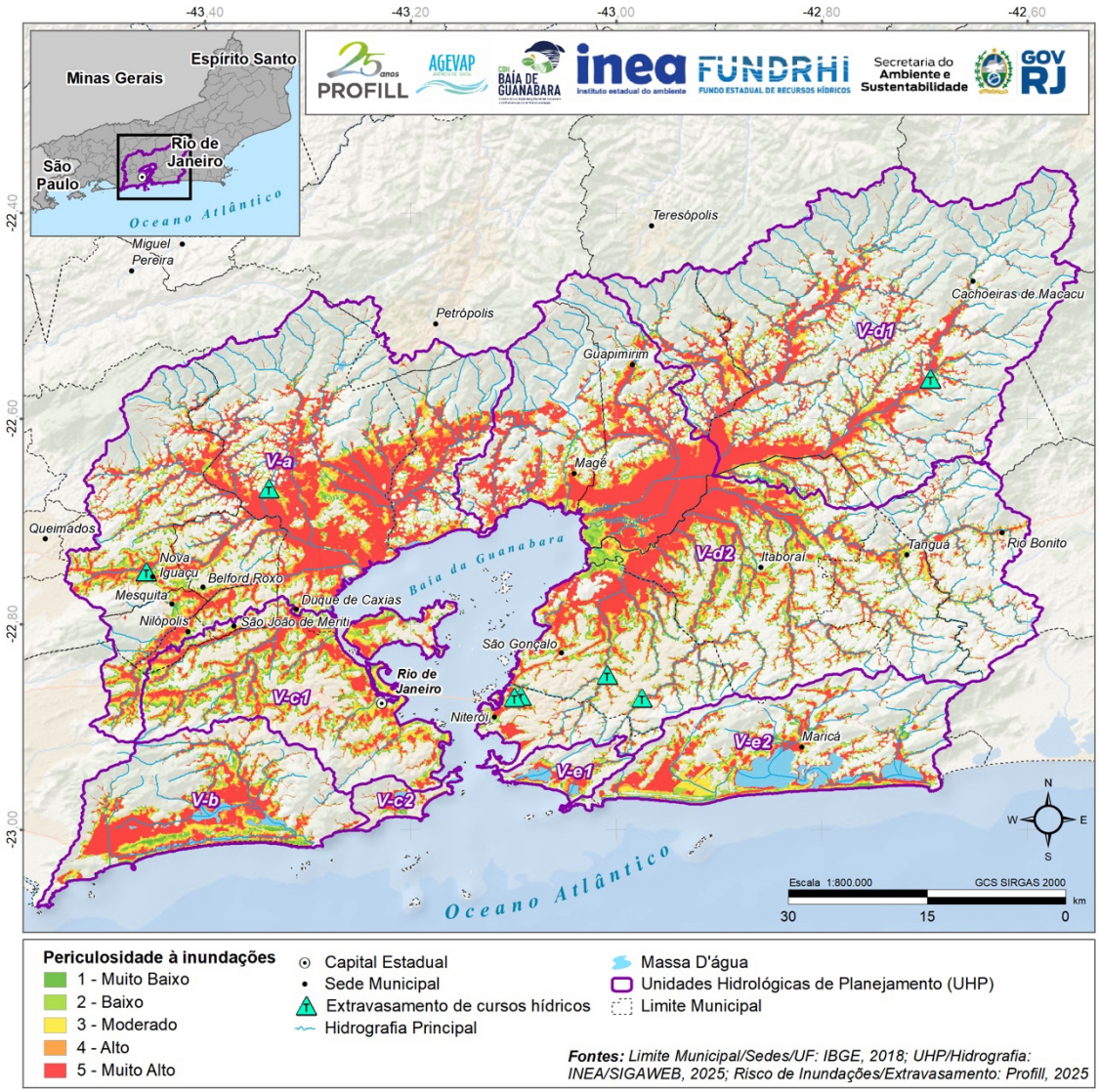
No Mapa 5-7, é apresentado o grau de periculosidade quanto à inundação calculado para diferentes áreas da RH-V. De forma complementar, o Mapa 5-8

destaca os pontos onde ocorreram transbordamentos dos cursos hídricos, conforme anteriormente apresentado, permitindo visualizar as áreas efetivamente afetadas por eventos dessa natureza. Se destaca, entretanto, que devido aos dados topográficos utilizados para a elaboração deste produto, algumas áreas que sabidamente se encontram em áreas propensas a inundações (como o estuário dos Rios Macacu, Guaraí e Caceribu) foram ranqueadas como baixa periculosidade quanto a inundações, devido potencialmente à influência de vegetação natural no MDE utilizado e à ausência de dados detalhados (topográficos, batimétricos e hidrológicos).

A análise desses pontos em conjunto com as áreas de perigo mapeadas pela metodologia proposta evidencia a forte correlação entre as zonas de perigo previamente mapeada e os registros históricos de transbordamento, uma vez que todos os registros observados se encontram em zonas classificadas como sendo suscetíveis a inundações.



Mapa 5-7 – Periculosidade da RH-V quanto a inundações.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-8 – Mapa de perigo com pontos de registros históricos de locais com extravasamentos.
Fonte: Elaboração própria.

Adicionalmente, buscando criar um índice de perigo com base no mapa de sub-bacias, descritos em capítulos anteriores, foram elaboradas estimativas de percentuais de áreas inundadas. Essas estimativas buscaram elucidar, em termos de sub-bacias, quais eram as regiões com maior periculosidade à inundação. Para tal foram calculadas as áreas totais inundadas e extraídos os percentuais de área inundada de cada sub-bacia. Em seguida, foram calculadas as porcentagens médias e extraídos os percentis inundados para cada sub-bacia. Assim, de acordo com a porcentagem de área inundada em cada sub-bacia, foi possível classificar se a sub-bacia

se encontra em uma zona de perigo "muito alto", "alto", "médio" (ou "moderado"), "baixo" ou "muito baixo" de sofrer inundações. A Figura 5-16 a seguir apresenta os valores encontrados para classificação das sub-bacias, enquanto o Mapa 5-9 apresenta a espacialização deste perigo calculado, considerando as ottobacias nível 07 da ANA. Nos itens subsequentes, esses resultados são discretizados por Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP).

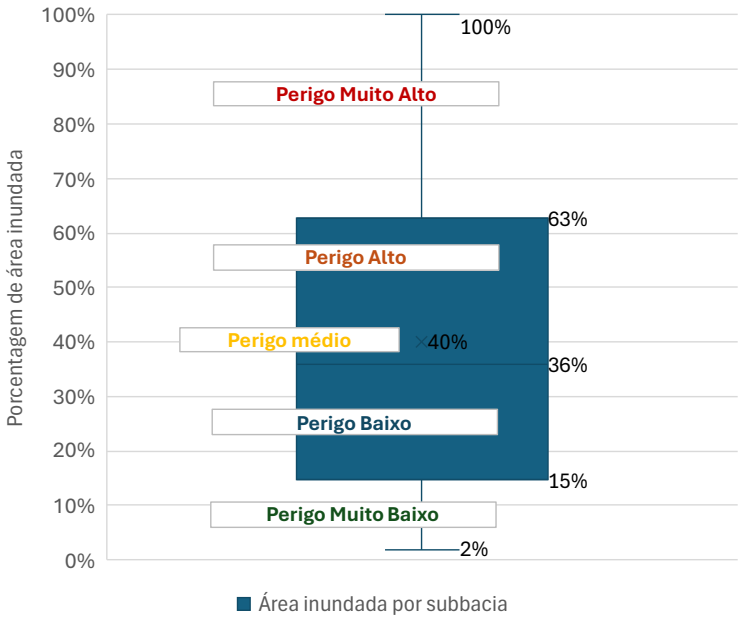
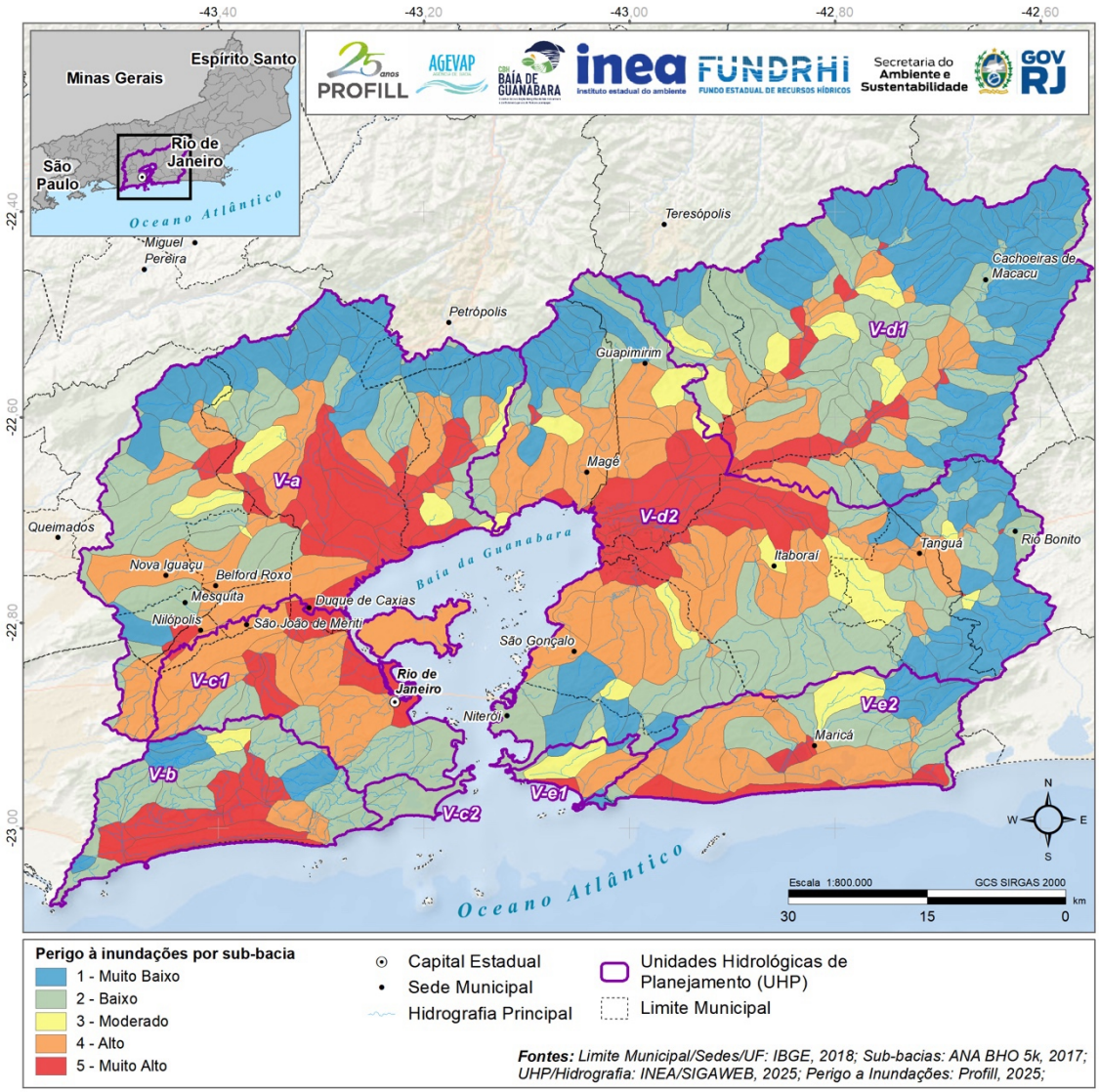


Figura 5-16 – *Box-plot* do percentual inundado por sub-bacia do sistema.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-9 – Mapa de perigo a inundações para cada sub-bacia da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

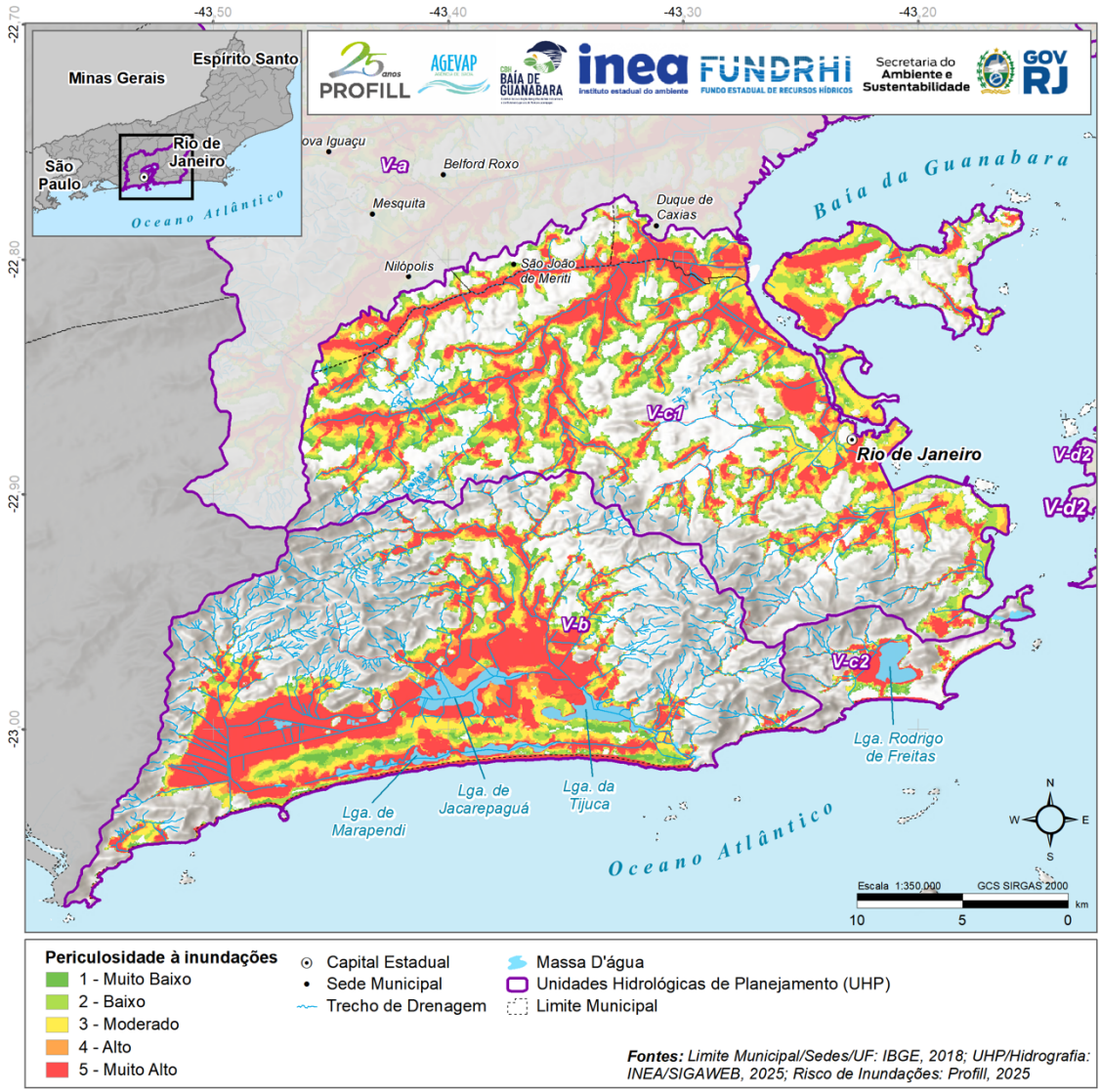
5.1.4.2.1 *Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2)*

No Mapa 5-9 observa-se a espacialização dos níveis de perigo à inundação para as diferentes UHPs que compõem a RH-V. Nota-se que as áreas classificadas como de perigo "muito alto" concentram-se principalmente ao longo das planícies e margens dos cursos hídricos da região, com destaque para a UHP V-b (Lagoas

de Jacarepaguá e Marapendi) e UHP V- c1 (Rios Faria-Timbó, Maracanã e Ilhas do Governador e Fundão), mais bem apresentadas no Mapa 5-10.

Nessas áreas, a baixa declividade natural, a elevada impermeabilização do solo e a proximidade de corpos hídricos favorecem a recorrência de eventos de inundação. Já os trechos classificados como de perigo "alto" apresentam maior concentração em faixas intermediárias entre as zonas urbanizadas e as áreas de planície, funcionando como uma transição entre os setores de maior suscetibilidade e os trechos mais elevados.

As classes de perigo "moderado" e "baixo" estão distribuídas de forma descontínua, principalmente em áreas periféricas às planícies de inundação, acompanhando fundos de vale e zonas de expansão urbana em direção às áreas serranas. Por outro lado, as áreas classificadas como de perigo "muito baixo" se concentram nas regiões de maior altitude, nas áreas de relevo mais acidentado, onde o escoamento superficial ocorre de forma mais rápida e onde possíveis processos de inundação ficam, em geral, confinados nas calhas dos rios de alta declividade.



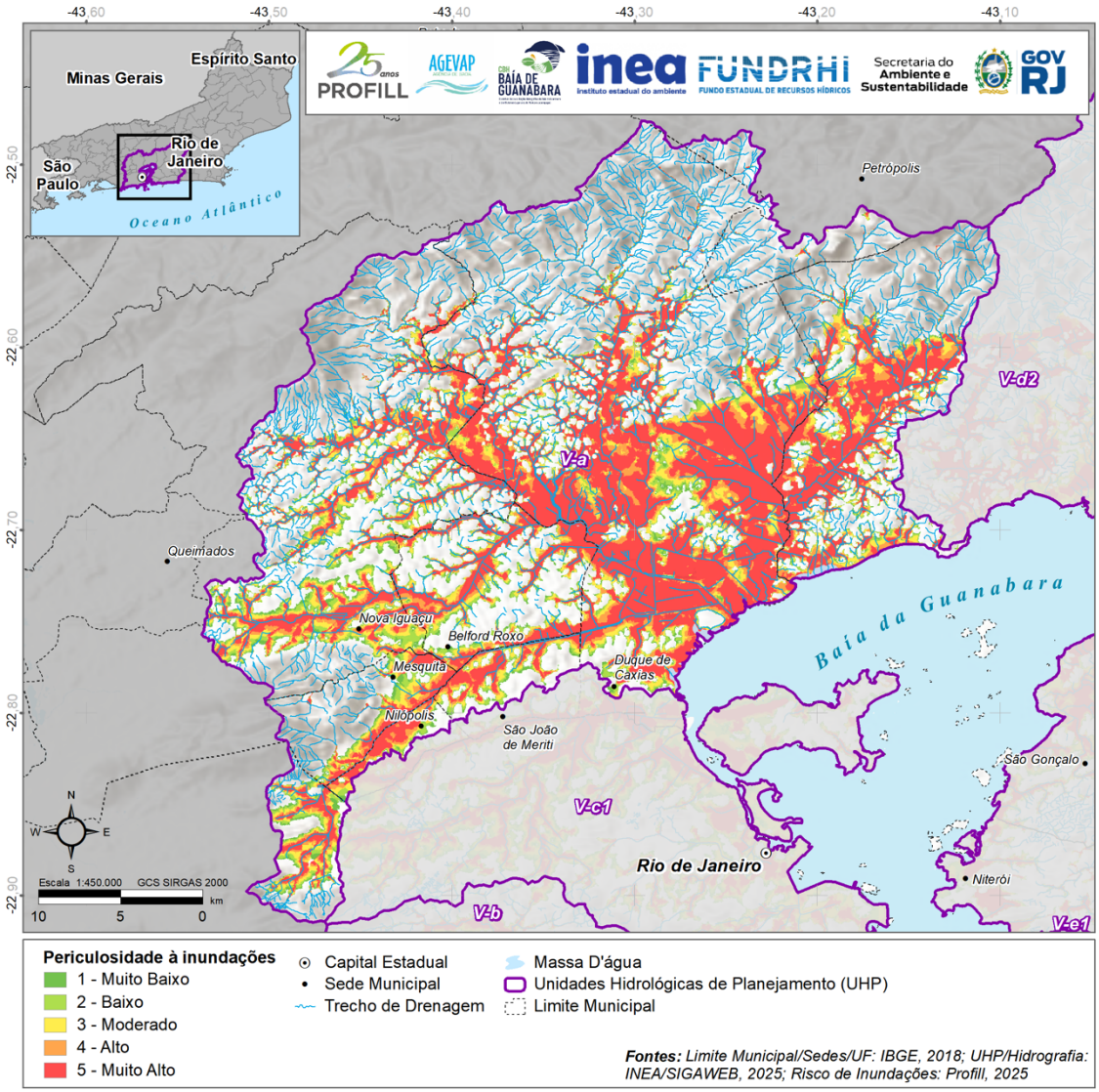
Mapa 5-10 – Mapa de perigo a inundações nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.4.2.2 *Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a)*

No Mapa 5-11 observa-se a espacialização dos níveis de perigo de inundação para a Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a). Observa-se que a maior parte da planície que compõe a bacia hidrográfica encontra-se classificada como de perigo "muito alto", o que correlaciona a elevada suscetibilidade dessa região a processos de inundações com a alta probabilidade de ocorrência. Essa condição é consequência da baixa declividade do relevo e da extensa rede de drenagem. Áreas

classificadas como de perigo "alto" aparecem de forma significativa ao longo dos principais tributários do Rio Iguaçu. Os trechos de perigo "baixo" e "muito baixo" restringem-se às áreas mais elevadas e de relevo acentuado.

A predominância de setores classificados como de perigo "muito alto", analisadas em conjunto com a vulnerabilidade da região (apresentada anteriormente no capítulo 4) pode resultar em riscos significativos locais, que serão mais bem apresentados no capítulo 6. Neste sentido, essa região é marcada pelo conjunto de fatores naturais, como a topografia plana e a confluência de importantes rios, que tem sinergia com fatores antrópicos, tais como a urbanização desordenada, que aumentam a geração de escoamento durante grandes chuvas.



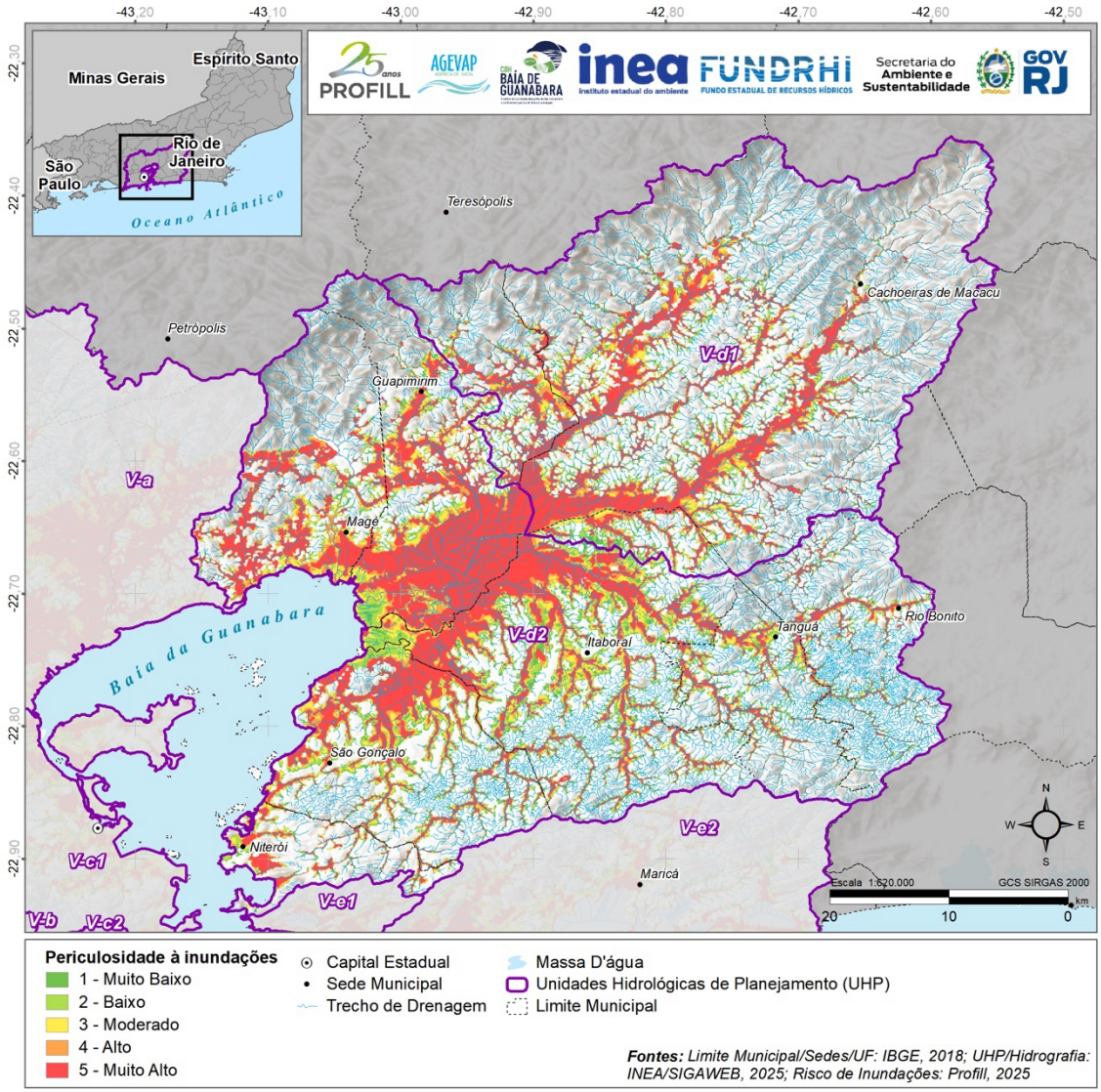
Mapa 5-11 – Mapa de perigo a inundações na UHP V-a.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.4.2.3 *Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2)*

No Mapa 5-12 é apresentada a distribuição espacial das classes de perigo à inundação para as UHPs V-d1 e V-d2. Com relação à V-d2, observa-se que extensas áreas dessa unidade se encontram classificadas como de perigo "muito alto". Esse padrão reflete a predominância de áreas de baixas altitudes e baixas declividade vinculadas a grandes várzeas, onde se localizam áreas de preservação am-

biental, como a Estação Ecológica Guanabara e a Área de Proteção Ambiental Guapimirim, que são naturalmente inundadas devido ao seu papel ecológico. Neste contexto, ressalta-se que especificamente para estas regiões, localizadas junto à Baía de Guanabara, o método de classificação de periculosidade deve ser analisado com parcimônia. Conforme observado, esta região foi classificada como sendo de "baixa" periculosidade a inundações, o que não necessariamente corresponde à realidade observada localmente. Isso ocorreu devido ao *dataset* topográfico utilizado, que teve para essas regiões cotas altas potencialmente associadas à presença de vegetação de grande porte. Além disso, também se destaca que as zonas de perigo "alto" distribuem-se de forma contínua ao longo das margens dos cursos hídricos, funcionando como áreas de transição entre as manchas mais críticas e os terrenos de cotas ligeiramente mais elevadas.

Com relação à UHP V-d1, correspondente ao médio vale do Rio Macacu, nota-se que extensas áreas desta unidade se encontram classificadas como de perigo "muito alto", especialmente ao longo dos fundos de vale e planícies associadas aos principais tributários da bacia hidrográfica. Essa configuração reflete a topografia predominantemente baixa, a elevada densidade da rede de drenagem e a presença de cursos fluviais com grande capacidade de escoamento lateral durante eventos de cheia.



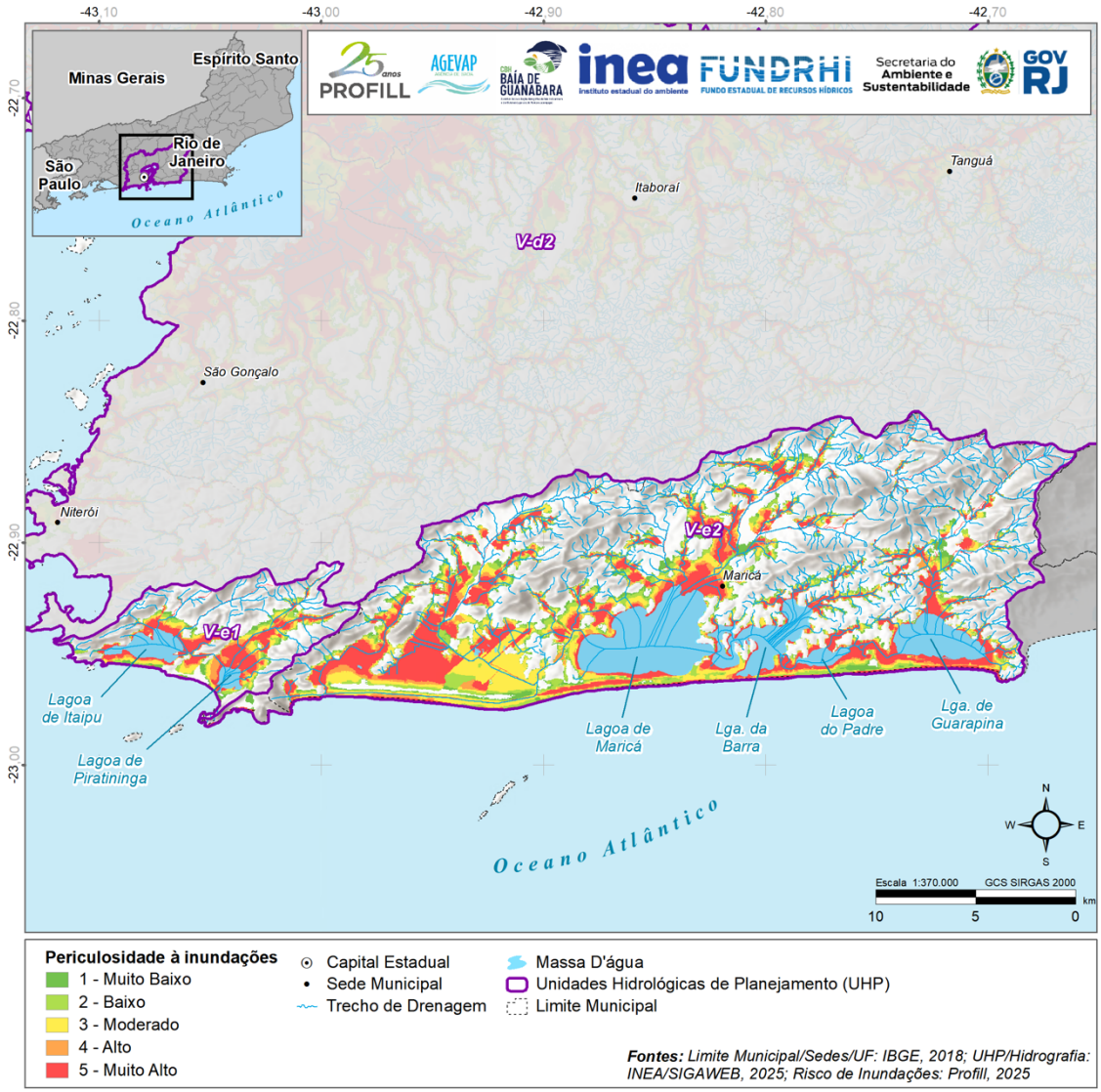
Mapa 5-12 – Mapa de perigo a inundações nas UHPs V-d1 e V-d2.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.4.2.4 *Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2)*

Se destaca no Mapa 5-13 a distribuição espacial do perigo à inundação para as UHPs Ve-1 e V-e2, localizadas na planície litorânea de Maricá – Itaipuaçu. As áreas classificadas como de perigo "muito alto" predominam ao longo da faixa costeira e das lagoas interiores, refletindo a baixa altitude, a proximidade do nível do mar e a influência direta dos sistemas lagunares sobre a dinâmica de inundação. As zonas de

perigo "alto" concentram-se próximas daquelas delimitadas com perigo "muito alto", destacando a diferença sutil entre as classificações.

As classes de perigo "moderado" e "baixo", em geral, distribuem-se nos setores de expansão urbana e agrícola, situados em cotas ligeiramente mais elevadas que as planícies costeiras. As áreas de perigo "muito baixo", por sua vez, localizam-se em áreas mais elevadas de transição e com relevo acentuado. O padrão identificado tanto para a UHP V-e2 como para a UHP V-e1 destaca, por fim, que áreas adjacentes aos sistemas lagunares e costeiros presentes na região apresentam maior periculosidade quanto a processos de inundação do que áreas de cotas mais altas, conforme mapeamento realizado e critérios definidos.



Mapa 5-13 – Mapa de perigo a inundações nas UHPs V-e1 e V-e2.
Fonte: Elaboração própria.

5.1.5 *Trechos Sujeitos a Cheias*

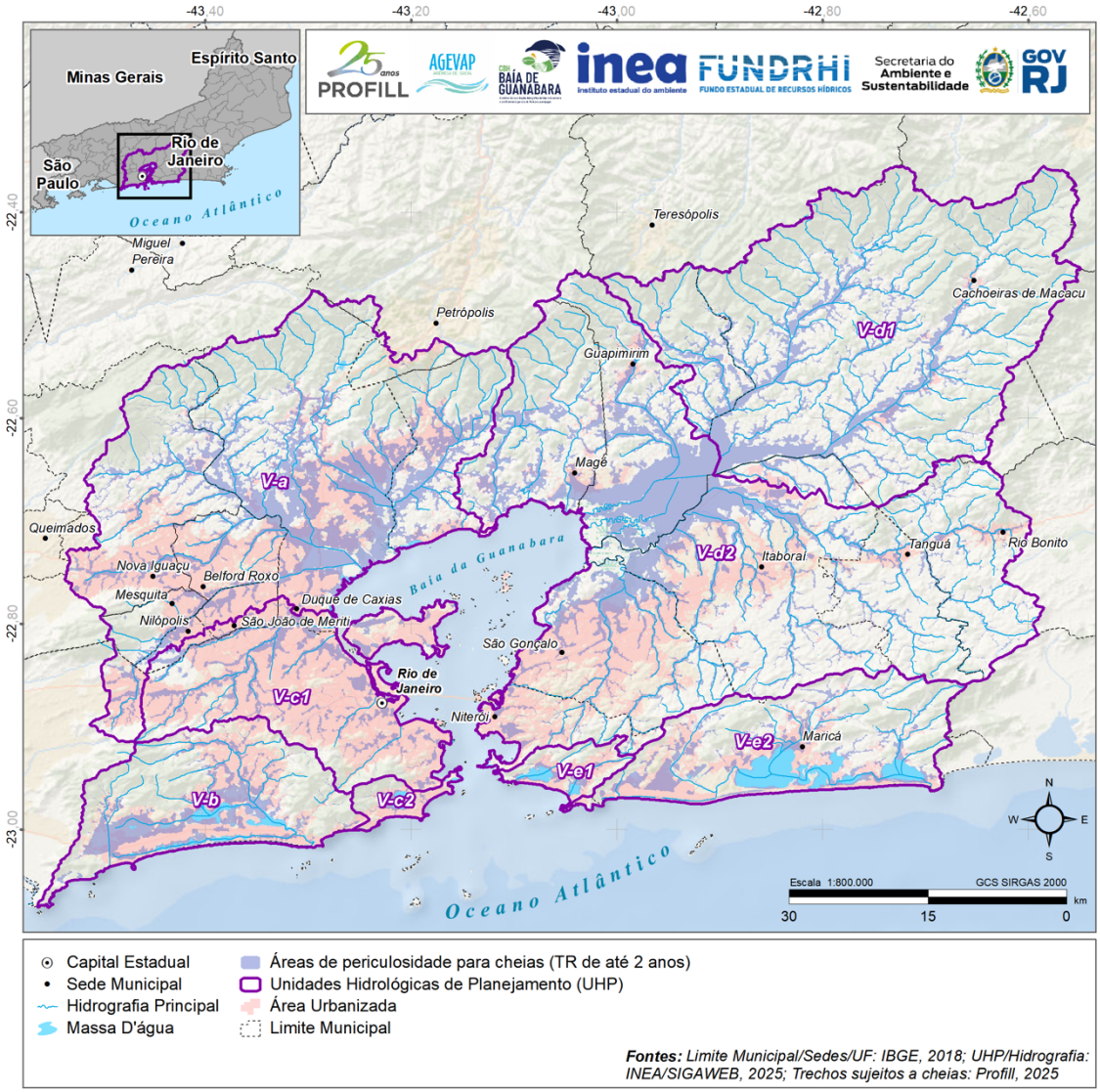
A identificação dos trechos sujeitos a cheias na RH-V foi realizada por meio da integração de resultados de estudos anteriores, análises hidrológicas e técnicas de delimitação automática da rede de drenagem. Essa abordagem permitiu mapear de forma sistemática as áreas potencialmente inundáveis, considerando tanto as características físicas da bacia hidrográfica, quanto a dinâmica do escoamento superficial em eventos extremos.

Inicialmente, foram utilizados MDTs de alta resolução para a definição das linhas de fluxo e delimitação das redes de drenagem com base no relevo. Essa etapa possibilitou auxiliar na identificação de fundos de vale e as planícies aluviais com maior propensão à acumulação de água durante eventos de cheia, aplicando-se, em seguida, o modelo HAND. Conforme anteriormente definido, este modelo é um normalizador de terreno que calcula, para cada ponto (*pixel*) de um MDT, a sua elevação vertical relativa em relação ao curso d'água mais próximo na rede de drenagem. Esse valor representa a "altura acima da drenagem mais próxima". Áreas com valores baixos de HAND estão topograficamente mais próximas do nível do rio e, portanto, são mais suscetíveis a serem inundadas durante eventos de cheias.

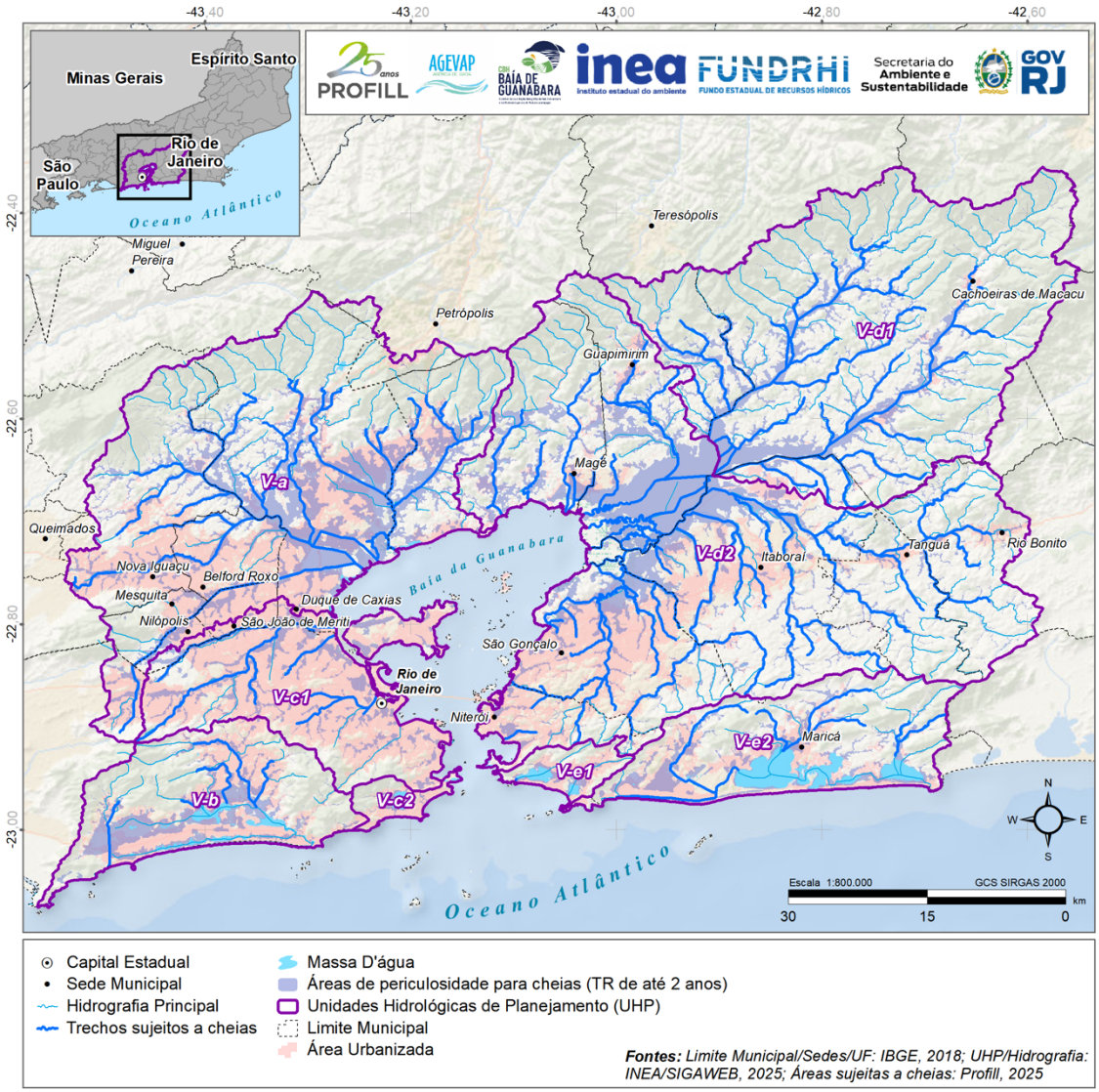
Para os propósitos deste estudo, foi estabelecida a premissa de que todos os locais mapeados por um HAND de pelo menos 1 m (ou seja, aquelas que, conforme cálculos apresentados, estão associadas a eventos com TR da ordem de 2 anos, em média) são considerados áreas sujeitas a cheias. Neste sentido, esse limiar de 1 m foi definido como um critério conservador para a identificação preliminar de áreas de perigo, representando uma elevação mínima do nível d'água capaz de extravasar as margens do canal principal em condições de cheia. O Mapa 5-14 apresenta o resultado desta etapa com um mapa de periculosidade que delimita todas as áreas com HAND ≤ 1 m, fornecendo uma primeira aproximação das regiões sujeitas a cheias. Após, no Mapa 5-15, essas áreas são cruzadas com os trechos de rios mapeados em escala 1:50.000 disponibilizados na plataforma SIGA-BG com o objetivo de identificar preliminarmente os aqui considerados trechos “sujeitos a cheias”.

Destaca-se, entretanto, que a princípio todos os trechos de rios da RH-V estão sujeitos a cheias das mais diversas tipologias, podendo ser cheias categorizadas como inundações, alagamentos ou *flash-floods*. Entretanto, no contexto deste trabalho, esse mapeamento procura identificar aqueles trechos com maior periculosidade quanto às cheias, considerando para as sub-bacias ranqueadas como sendo de “muito alto”, “alto” ou “moderado” perigo. Em alguns casos, trechos localizados em bacias hidrográficas com “baixo” perigo também entraram na classificação como “sujeitos a cheias” devido às características locais. Neste mapa, inclusive, é possível

comparar os trechos indicados como possíveis de sofrerem com processos de inundação daqueles presentes no mapeamento original do INEA.



Mapa 5-14 – Áreas de periculosidade para cheias de até 2 anos de TR.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-15 – Trechos sujeitos a cheias.
Fonte: Elaboração própria.

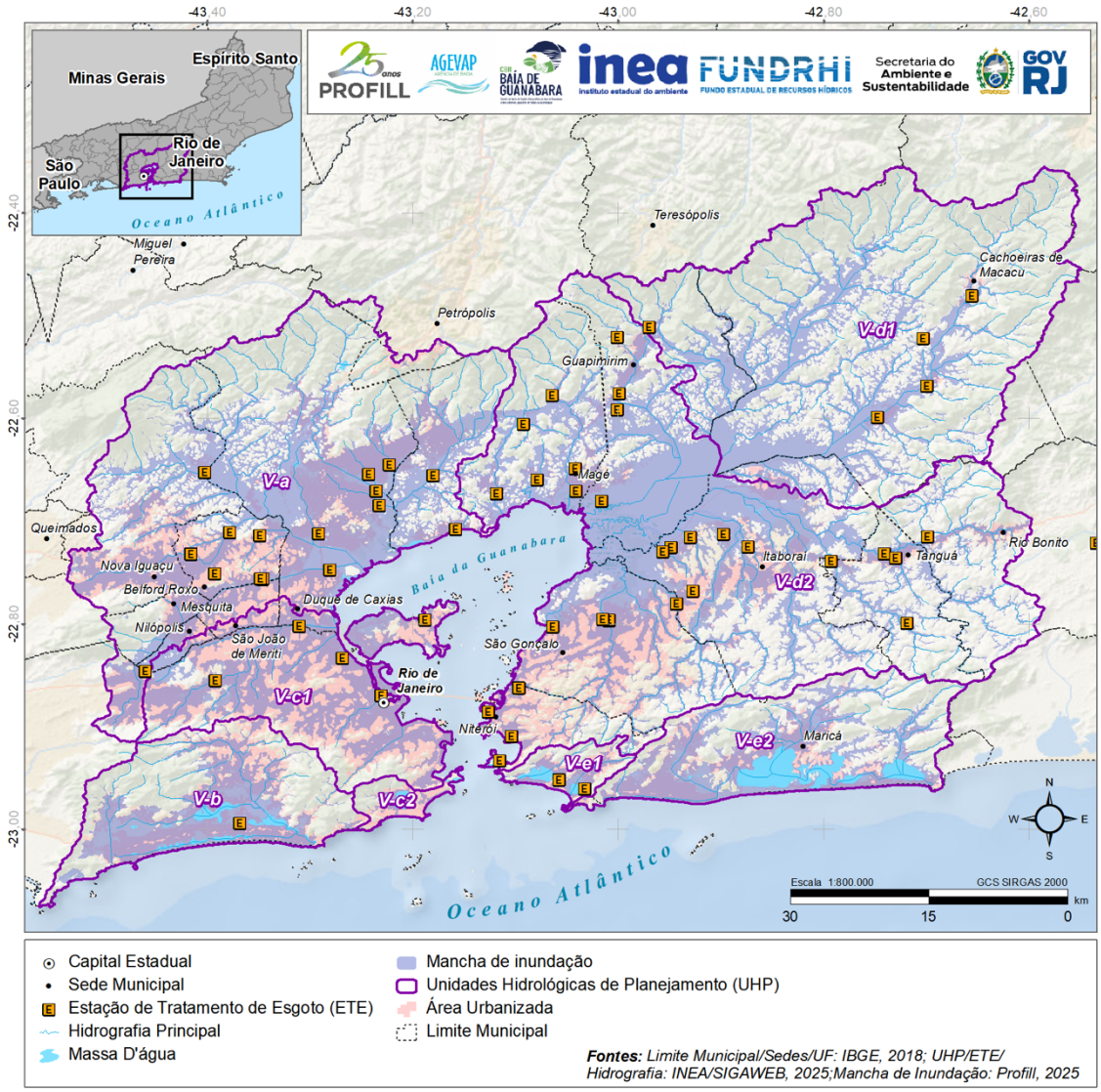
5.1.6 *Cheias, Inundações e Infraestrutura Hídrica*

A análise de sinergia entre pontos de infraestrutura hídrica e áreas inundáveis é um componente fundamental do PGR da RH-V, pois permite avaliar a exposição e a vulnerabilidade de estruturas essenciais, a eventos de cheias e inundações. Esta etapa consiste no cruzamento espacial das áreas expostas à periculosidade de inundação (contemplando-se todas as periculosidades calculadas) com a localização de infraestruturas críticas, especialmente àquelas ligadas ao saneamento básico. Essas áreas foram sobrepostas aos pontos de infraestrutura hídrica existentes na RH-V,

incluindo pontos de captação de água, Estações de Tratamento de Água (ETAs) e Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), sistemas de abastecimento de água, estações elevatórias e demais edificações relacionadas à temática. O objetivo foi quantificar o impacto potencial que estas cheias podem causar considerando as estruturas localizadas dentro das manchas de inundação de possivelmente ter suas operações comprometidas durante eventos extremos.

Ressalta-se, entretanto, que conforme destacado no início deste capítulo, as manchas de inundação aqui apresentadas são resultado da aplicação de diversas premissas de cálculo a bases topográficas globais, com 30 m de resolução espacial. Dessa forma, essas bases permitem a identificação de padrões regionais na RH-V, havendo incertezas importantes quando avaliações locais são realizadas. Neste sentido, a identificação de pontos de infraestrutura potencialmente impactados por inundações deve ser considerada como preliminar e potencial, uma vez que este resultado é impactado por incertezas aqui não mensuradas, como: (i) topografia local; (ii) aspectos construtivos locais; e (iii) critérios hidrológicos adotados para identificação de áreas de periculosidade quanto à inundação.

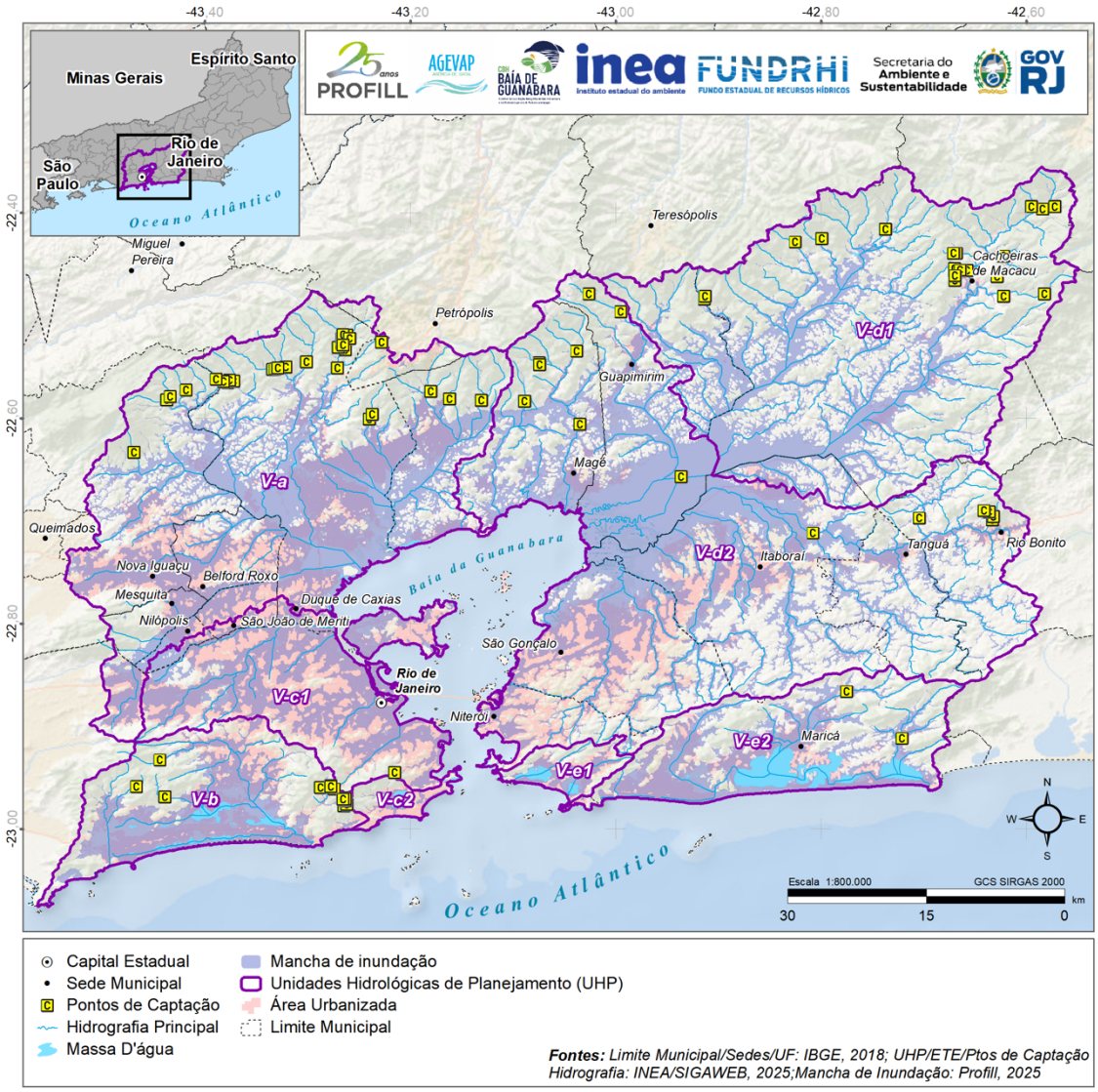
Em termos de ETEs, foi constatado que das 269 ETEs contabilizadas no *layers*, 88% estão contidas na área suscetível a inundações, evidenciando um alto grau de vulnerabilidade desse tipo de infraestrutura na região. Esse dado é crítico, pois a interrupção do funcionamento de uma ETE durante eventos extremos pode causar sérios impactos ambientais e de saúde pública, devido ao lançamento de esgoto não tratado nos corpos hídricos. O Mapa 5-16 apresenta a localização destas infraestruturas, destacando sua relação espacial com as áreas inundáveis.



Mapa 5-16 – Análise de sinergia entre ETEs e áreas de perigo a inundações.
Fonte: Elaboração própria.

O Mapa 5-17, por sua vez, apresenta a sobreposição dos pontos de captação de água com a mancha de inundação total estimada para a RH-V. Observa-se no mapa que uma parcela relevante das captações está localizada em áreas de serra, não suscetíveis a inundações graduais. Entretanto, essas regiões estão tipicamente suscetíveis a inundações bruscas, ou enxurradas, que também foram consideradas na análise. Essa proximidade aos cursos d'água, embora necessária para a captação,

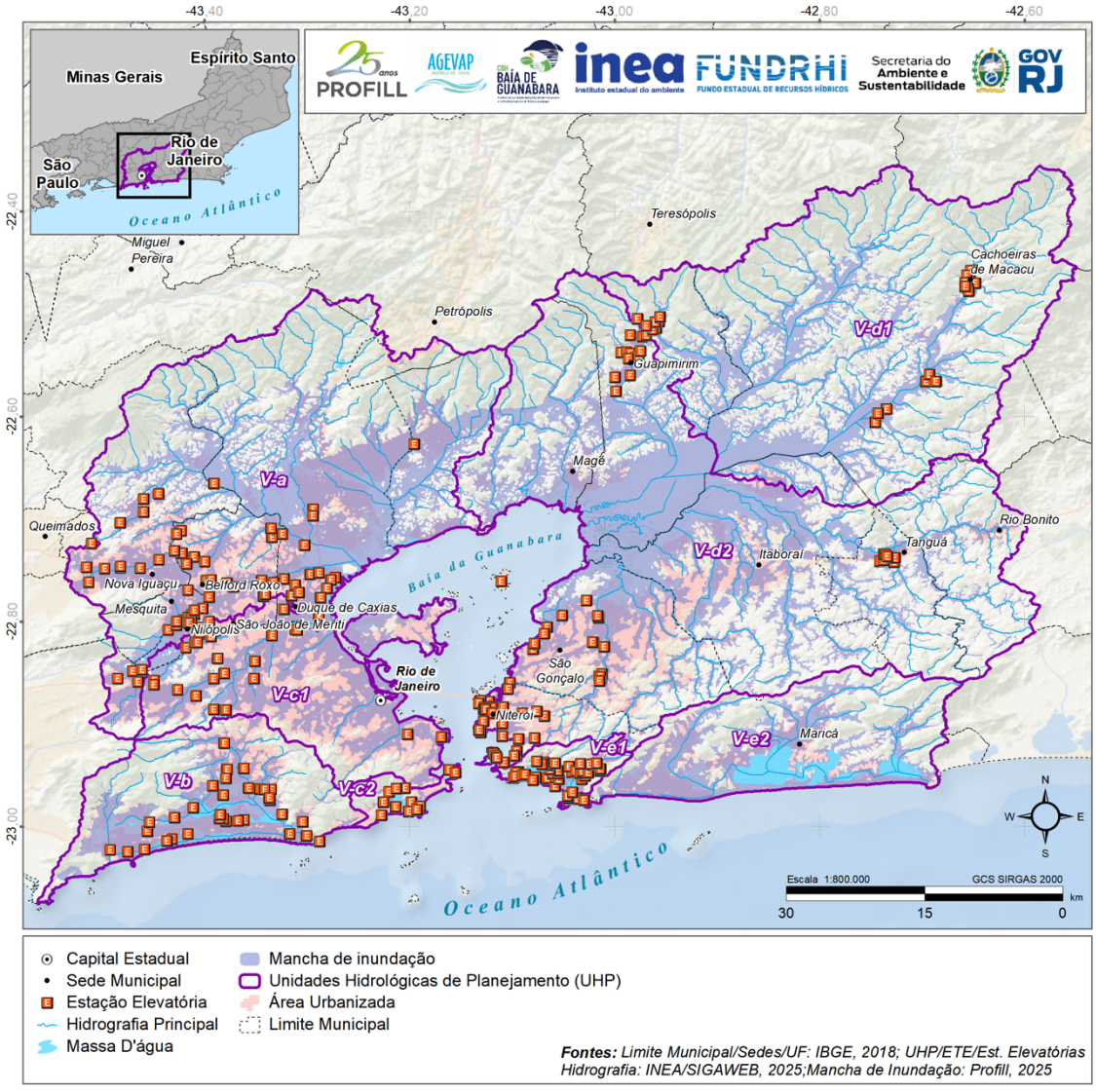
representa um risco operacional, visto que eventos de cheias bruscas podem comprometer a estrutura física das captações, reduzir a qualidade da água bruta e interromper temporariamente o abastecimento.



Mapa 5-17 – Análise de sinergia entre pontos de captação de água e áreas de perigo a inundações.
Fonte: Elaboração própria.

No Mapa 5-18 são apresentados os locais das estações elevatórias de esgoto em relação à mancha de inundação total. Nota-se uma forte sobreposição entre essas estruturas e as áreas suscetíveis a inundações, principalmente nas regiões mais urbanizadas e densamente ocupadas. Essa configuração indica um alto grau de

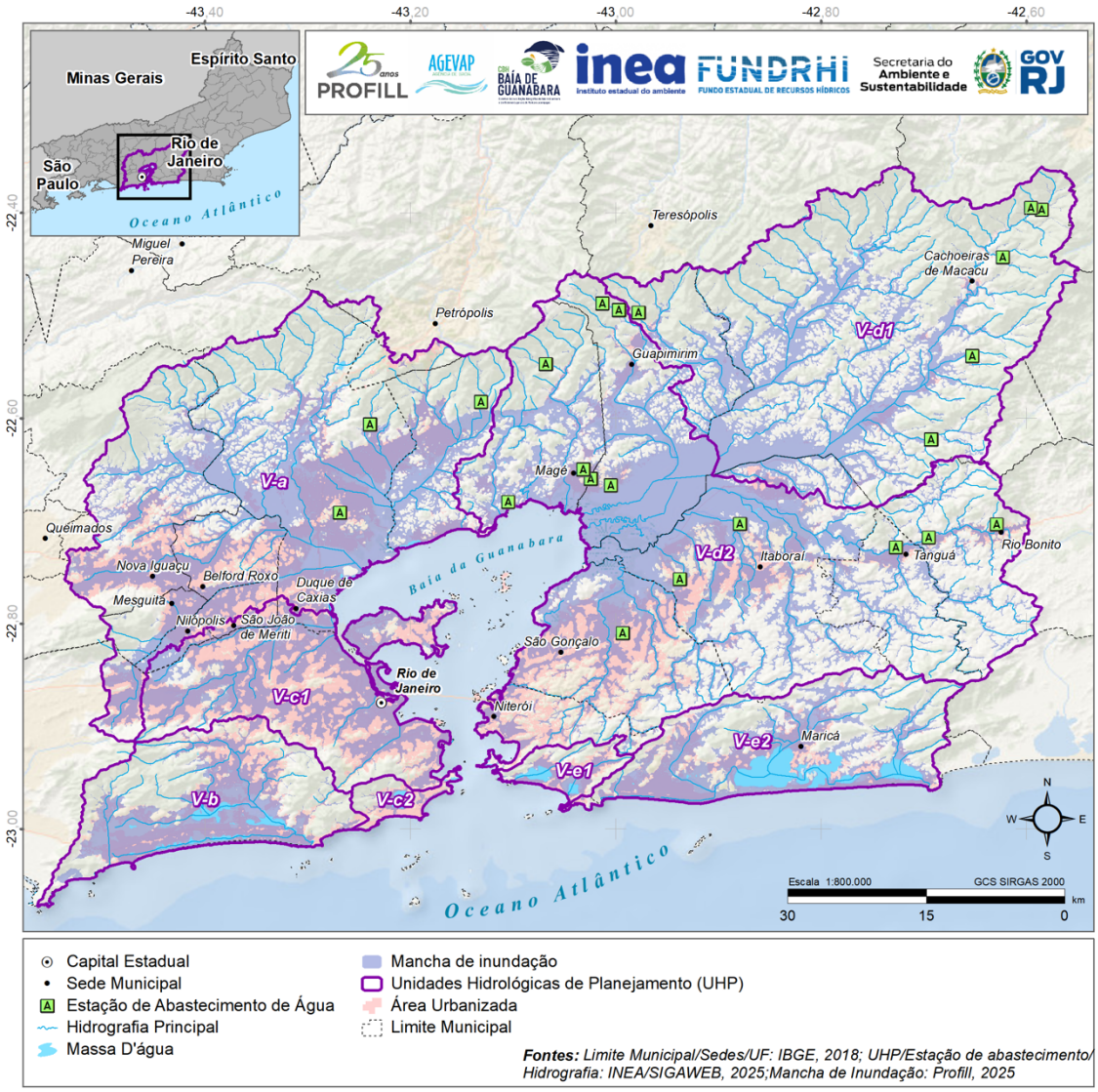
vulnerabilidade do sistema de esgotamento sanitário (SES), uma vez que as inundações podem provocar falhas operacionais, extravasamentos e lançamentos de esgoto sem tratamento em corpos hídricos, agravando os impactos ambientais e a saúde pública durante eventos extremos.



Mapa 5-18 – Análise de sinergia entre estações elevatórias de esgoto e áreas de perigo a inundações.
Fonte: Elaboração própria.

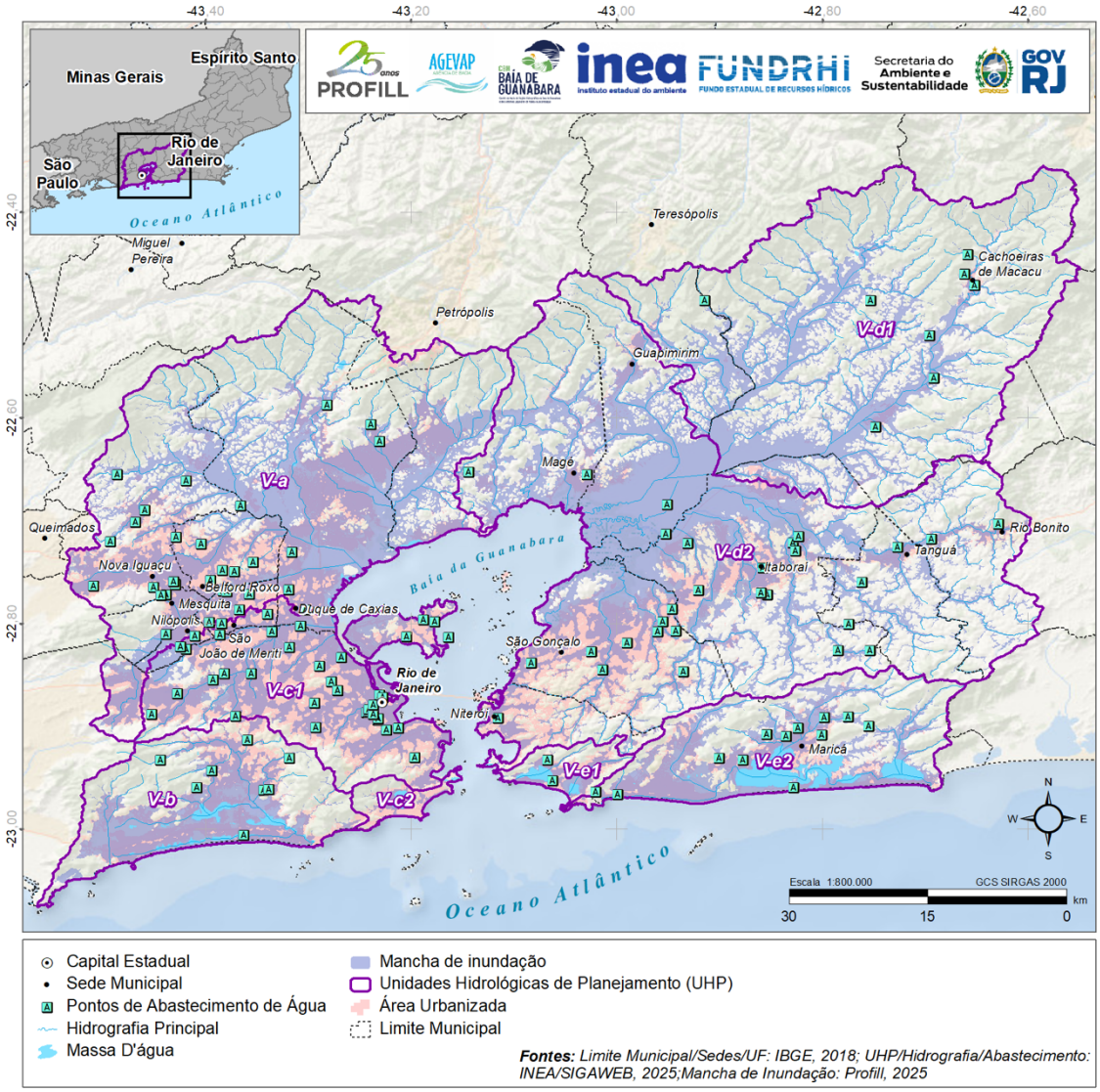
O Mapa 5-19, por sua vez, mostra a distribuição espacial das estações de abastecimento de água e sua relação com as áreas suscetíveis a inundações. Ve-

rifica-se que parte dessas estruturas estão localizadas, principalmente, nas proximidades dos centros urbanos. A vulnerabilidade dessas estações representa um risco significativo para a segurança hídrica da população, pois processos de inundação podem danificar equipamentos, interromper o fornecimento e comprometer a qualidade da água distribuída.



Mapa 5-19 – Análise de sinergia entre estações de abastecimento de água e áreas de perigo a inundações.
Fonte: Elaboração própria.

O Mapa 5-20 integra os diferentes elementos do sistema de abastecimento água, tais como reservatórios e caixas d'água, sobrepostos à mancha de inundação total. O referido mapa evidencia uma ampla sinergia entre as áreas críticas quanto à inundação e os pontos contendo essas infraestruturas. Esse cenário indica que, durante eventos de cheia, pode ocorrer um efeito em cascata, no qual a falha em um ponto específico, como em um reservatório, pode comprometer o sistema para determinada região a ser abastecida de água.



Mapa 5-20 – Análise de sinergia entre pontos de abastecimento de água e áreas de perigo a inundações.
Fonte: Elaboração própria.

A análise espacial aqui realizada demonstrou uma forte sinergia negativa entre os trechos críticos mapeados para inundação e os elementos de infraestrutura hídrica, evidenciando uma elevada exposição dos sistemas de saneamento básico da região. A presença de um número significativo de instalações em áreas com perigo hidrológico intensifica os riscos, não apenas de danos materiais, mas também de interrupção de serviços essenciais para a população. Aqui, salienta-se que foram contabilizadas todas as estações cujas coordenadas geográficas se encontravam dentro dos limites da mancha de inundação. Os resultados quantitativos dessa análise são apresentados na Tabela 5-29 abaixo e revelam a preocupação para a temática.

Tabela 5-29 – Quantitativo da análise de sinergia entre áreas de perigo à inundação e infraestruturas hídricas na RH-V.

Infraestrutura	Total de Pontos Mapeados	Pontos Impactados pela Mancha de Inundação	Percentual dos Pontos impactados (%)
Pontos de captação	81	23	28%
Estações elevatórias de esgoto	279	239	86%
Estação de abastecimento de água	23	13	57%
ETEs	7	6	86%
Abastecimento de água	128	49	38%

Fonte: Elaboração própria.

A sobreposição de infraestruturas hídricas em áreas de perigo de inundação na RH-V não é uma coincidência, mas uma consequência do padrão histórico de urbanização da região. A ocupação de planícies de inundação e áreas aterradas, muitas vezes sem um planejamento adequado de drenagem, concentrou tanto a população, quanto os serviços essenciais em zonas naturalmente propensas a cheias ou inundações. A vulnerabilidade de 86% das estações elevatórias de esgoto e das ETEs representa um risco sistêmico.

A paralisação dessas unidades durante uma cheia pode levar ao colapso dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, com graves consequências para a saúde pública, como a contaminação da água por patógenos, e para o meio ambiente, com o lançamento de esgoto bruto diretamente nos corpos d'água já impactados pela inundação. Da mesma forma, a exposição de 57% das estações e 28% dos pontos de captação de água pode comprometer a segurança hídrica da RH-V, uma vez que se

identifica que cheias de grande magnitude tem potencial para interromper o fornecimento de água potável para milhões de pessoas.

5.1.7 *Impacto das Mudanças Climáticas*

A variabilidade climática tem despertado atenção na prática hidrológica há décadas, o que impulsionou o avanço de métodos estatísticos voltados a estudos e pesquisas na área. Entre esses métodos, destacam-se a análise da estacionariedade das séries temporais e a estimativa adequada do tempo de recorrência de eventos hidrológicos, especialmente os extremos.

Nos últimos anos, diversas pesquisas vêm aprofundando esse tema por meio da investigação de tendências e alterações nos regimes hidrológicos ao longo do tempo. No Brasil, Chagas *et al*. (2022) identificaram uma tendência de intensificação das cheias no sul do país a partir da análise de 35 anos de dados observacionais recentes. Outros estudos têm se concentrado na detecção de períodos prolongados de seca ou de umidade excessiva (O'Connell *et al.,* 2016) e em debates sobre a necessidade de incorporar essas dinâmicas às estratégias de gestão dos recursos hídricos (Milly *et al.,* 2015).

As consequências das mudanças climáticas têm sido uma premissa impositiva nos estudos que necessitam considerar alterações do comportamento de variáveis do ciclo hidrológico nas próximas décadas. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (Arias, 2021), as mudanças climáticas provocadas pela ação humana, sobretudo pela emissão de gases de efeito estufa, tendem a ocasionar o aquecimento da atmosfera, induzindo alterações nos padrões de precipitação, bem como mudanças na frequência e intensidade de eventos hidrológicos extremos (por exemplo, Alfieri *et al*., 2015; Hirabayashi *et al.,* 2013). Neste contexto, como apresentado em Paiva *et al*., (2024), é esperado um aumento da magnitude das chuvas intensas de um dia em praticamente todo território nacional, conforme apresentado na Figura 5-17.

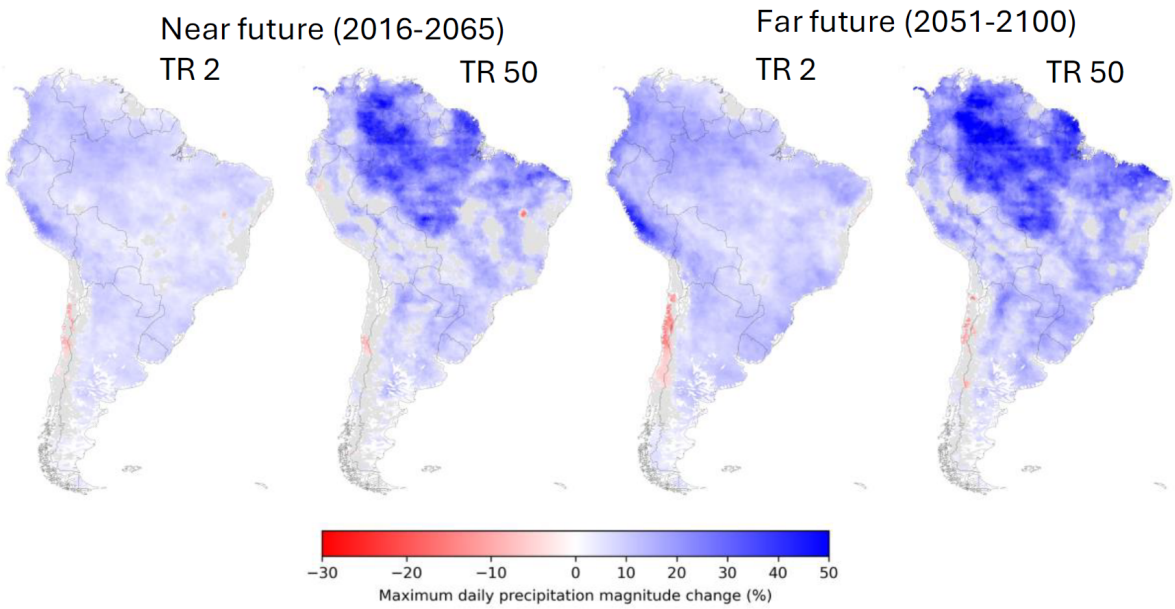


Figura 5-17 – Estimativas da magnitude da modificação da máxima precipitação diária.
Fonte: Paiva *et al.*, 2024.

Para incorporar o efeito e o impacto das mudanças climáticas nos resultados apresentados, diversas abordagens podem ser utilizadas. Inicialmente destaca-se o estudo de Paiva *et al.* (2024), que fornece critérios hidrológicos para adaptação de obras de engenharia à mudança climática. A abordagem deste estudo se baseia em projeções climáticas derivadas de 28 modelos climáticos globais do CMIP6, utilizados no sexto relatório do IPCC, e em simulações hidrológicas com o modelo hidrológico de grandes bacias “MGB” para toda a América do Sul.

Embora a nota técnica tenha sido elaborada especificamente para o Rio Grande do Sul após o evento extremo de 2024, os critérios recomendados têm sido aplicados em outras regiões além do estado. A metodologia proposta, de um modo geral, busca simplificar a incorporação de efeitos das mudanças climáticas nos estudos de projeto, utilizando coeficientes de majoração para as estimativas de TR e intensidade de eventos de cheia.

Esses coeficientes foram definidos a partir de evidências científicas robustas sobre a tendência de aumento na frequência e intensidade de eventos extremos em diferentes regiões do Brasil, com base em projeções de modelos climáticos e

séries históricas de precipitação. Embora as magnitudes absolutas das mudanças possam variar entre regiões, os processos físicos que levam ao aumento das chuvas intensas, como a elevação da temperatura média, maior capacidade da atmosfera de reter umidade e mudanças na circulação atmosférica, são comuns em todo o país. A metodologia consiste em ajustar as estimativas de cheias, calculadas com base em séries históricas, para refletir os cenários climáticos futuros (período de 2050 - 2100).

Uma adaptação dessa proposta foi, então, aplicada para a estimativa de como mudanças climáticas tendem a impactar a RH-V no futuro, a partir da utilização de coeficientes de majoração sobre as variáveis hidrológicas, considerando o critério mais restritivo. Neste sentido, conforme observado na Figura 5-17, e em outros trabalhos e estudos, adotou-se um coeficiente de majoração de 20%[8] para chuvas diárias intensas que poderão vir a ocorrer em futuro distante para a RH-V, no contexto desse trabalho.

Para aplicar tal coeficiente de majoração nas modelagens hidrológicas realizadas, foram utilizados os mesmos coeficientes e parâmetros utilizados no tópico anterior de simulação hidrológica. Uma vez que um potencial incremento de 20% nas precipitações intensas não afeta linearmente a vazão e considerando a escala deste estudo, buscou-se identificar como essa diferença impactaria as vazões de pico para as diferentes TRs. Logo, o valor majorado de 20% na chuva de projeto resulta em aumento relevante nas vazões de pico, conforme apresentado na Tabela 5-30 abaixo, em que é possível perceber, para as bacias hidrográficas principais da RH-V, o incremento de vazão de pico associado a um futuro de intensificação de eventos extremos.

Tabela 5-30 – Diferença entre as vazões de pico considerando o efeito das mudanças climáticas.

Bacia Hidrográfica	Efeito das Mudanças Climáticas	TR (anos)							
		2	5	10	25	50	100	150	200
		Vazão (m³/s)							
Rio Caceribu	Sem	481	668	843	1.127	1.387	1.693	1.895	2.050
	Com	676	917	1.139	1.496	1.820	2.198	2.447	2.637
Rio Estrela	Sem	370	533	688	952	1.204	1.505	1.706	1.861

[8] Salienta-se que este percentual está aqui sendo utilizado como um fator de majoração de chuvas futuras baseado em estudos de escala continental. Ou seja, estudos mais aprofundados devem ser realizados para identificar percentuais futuros mais factíveis.

Bacia Hidrográfica	Efeito das Mudanças Climáticas	TR (anos)							
		2	5	10	25	50	100	150	200
		Vazão (m³/s)							
	Com	540	754	964	1.310	1.631	2.010	2.261	2.454
Rio Guapimirim	Sem	641	938	1.223	1.696	2.138	2.666	3.019	3.290
	Com	951	1345	1.717	2.325	2.887	3.551	3.991	4.329
Rio Guaxindiba	Sem	284	367	442	560	665	785	864	924
	Com	371	473	565	708	835	981	1.076	1.148
Rio Iguaçu	Sem	748	1.042	1.319	1.768	2.181	2.665	2.986	3.231
	Com	1.056	1.436	1.788	2.353	2.866	3.466	3.860	4.161
Rio Pavuna-Meriti	Sem	418	534	638	801	946	1.112	1.220	1.302
	Com	539	681	808	1.005	1.180	1.379	1.510	1.608

Fonte: Elaboração própria.

Além disso, buscando identificar como as mudanças climáticas poderiam impactar a probabilidade de ocorrência desses eventos, realizou-se uma análise inversa. Essa análise procurou calcular qual seria o TR no futuro associado a eventos de TR que ocorrem no presente, considerando os critérios e premissas adotados. Essa análise permite estimar, em um cenário de mudanças climáticas, como a intensificação do ciclo hidrológico pode vir a impactar na frequência que esses eventos irão ocorrer.

Para isso, foram utilizadas técnicas iterativas para identificar TRs no presente e no futuro associado a uma mesma vazão máxima. O resultado da iteração mostra uma redução no TR para todas as vazões simuladas, o que está associado, portanto, ao aumento da frequência de ocorrência desses eventos. A Tabela 5-31 mostra que uma vazão de TR estimado em 2 anos, por exemplo, poderia passar a ter o TR associado de 0,8 anos devido ao efeito de mudanças climáticas. Da mesma forma, eventos que atualmente estão associados a TRs de 200 anos, tem potencial para estarem associados a eventos de TR da ordem de 77 anos.

Tabela 5-31 – Diferença entre os TRs considerando o efeito das mudanças climáticas.

Efeito das Mudanças Climáticas	TR (anos)							
Sem	2	5	10	25	50	100	150	200
Com	0,8	1,9	3,9	9,6	19,3	38,6	57,9	77,2

Fonte: Elaboração própria.

Esse resultado, refletido no Quadro 5-3 de perigo e probabilidade, resulta na indicação do perigo à inundação mais frequente. Este apresenta a associação realizada utilizando os critérios de adaptação a mudanças climáticas recomendados. Ou seja, a probabilidade no futuro de haver inundações nas áreas identificadas como de grande periculosidade à inundação tende a dobrar em alguns casos, o que gera maior necessidade de investimentos e de fortificação dos atores responsáveis por lidar com desastres desta temática na RH-V.

Quadro 5-3 – Perigo e probabilidade de ocorrência associado às manchas de inundação na RH-V considerando os efeitos das mudanças climáticas.

Perigo a Inundações	TR (sem mudanças climáticas)	TR (com mudanças climáticas)
Muito Alto	< 2 anos	< 1 ano
Alto	De 2 a 5 anos	De 1 a 2 anos
Médio	De 5 a 50 anos	De 2 a 20 anos
Baixo	De 50 a 200 anos	De 20 a 80 anos
Muito Baixo	Superior a 200 anos	Superior a 80 anos

Fonte: Elaboração própria.

5.2 ESTIAGENS PROLONGADAS

As estiagens e as secas são fenômenos ocasionados pela redução na precipitação por um longo período e resultam em deficiência hídrica para alguma atividade ou grupo de indivíduos (WHILITE, 1993). São de difícil delimitação tanto em termos de duração (início e final) quanto em termos de intensidade, magnitude e mesmo extensão (MISHRA e SINGH, 2010; Vicente-Serrano *et al.*, 2010), sendo considerado um dos fenômenos mais complexos e menos compreendidos dentre os fenômenos naturais (WHILITE, 1993). Ainda, este fenômeno se diferencia dos demais desastres naturais porque costuma atingir maiores extensões, além de ocorrer de forma de gradativa. Ressalta-se que, usualmente, estiagens são caracterizadas como fenômenos esperados, temporários ou sazonais, e podem estar inclusos em um período de secas, enquanto as secas propriamente ditas ocorrem quando a estiagem se prolonga ao ponto de gerar impactos. Neste estudo considerando sua escala regional e a ausência de dados detalhados, serão tratadas como sinônimos.

Devido aos seus diferentes padrões de propagação, as secas são classificadas em: (i) meteorológicas, quando há um déficit na precipitação em relação ao

padrão de precipitação para uma determinada região; (ii) agrícolas, que são vinculadas à disponibilidade de água no solo para o desenvolvimento de culturas e manutenção da saúde geral da vegetação; (iii) hidrológicas, quando há redução dos níveis médios de água, tanto superficiais quanto subterrâneos, por um determinado período; e (iv) socioeconômicas, que tratam-se de eventos de secas que atingem a sociedade de diferentes formas (WHILITE, 1993; MISHRA e SINGH, 2010; ROSSI et al., 1992; FERNANDES et al., 2009). Usualmente, a seca hidrológica está defasada da seca meteorológica e agrícola porque há a necessidade de um maior período deficitário em precipitação para que seja traduzido em impactos nos reservatórios hidrológicos (PIRES, 2003, HAN *et al*., 2019).

Devido à dificuldade na caracterização das secas, foram desenvolvidos índices para o monitoramento da sua severidade e classificação, auxiliando no planejamento e mitigação dos seus impactos. Estes índices podem ser padronizados em escalas temporais e espaciais para permitir a comparação entre diferentes regiões e, segundo Mishra e Singh (2010) são vantajosos pela facilidade de aplicação. Destacam-se índices relacionados à precipitação, como o SPI - *Standardized Precipitation Index* - (MCKEE, 1993) e o SPEI - *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* - (VICENTE-SERRANO, 2010), ambos considerados na avaliação de secas meteorológicas; índices relacionados à vazão como o SSI (*Standardized Streamflow Index*), utilizados para definir secas hidrológicas; e índices relacionados à vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index),* utilizados para verificar secas agrícolas. Neste estudo, foram aplicados os índices NDVI e SPI pelo fato de se conseguir avaliar a distribuição das secas tanto de modo espacial (a partir do uso do índice NDVI), como de modo temporal (a partir do uso do índice SPI).

Este capítulo se inicia com a apresentação de um histórico qualitativo das estiagens prolongadas na área de estudo (item 5.2.1), seguido da identificação qualitativa de estiagens, realizada a partir de análise de dados pluviométricos e fluviométricos, no item 5.2.2. Após, o item 5.2.3 apresenta a obtenção do índice NDVI para a RH-V, que avalia as diferenças na qualidade e densidade de vegetação e apresenta

a resposta do ambiente à falta de precipitação. No item 5.2.4 é calculado o índice SPI, utilizado para identificar secas de diferentes intensidades e durações. Já os itens 5.2.5 e 5.2.6 apresentam, respectivamente, discussões sobre o impacto das mudanças climáticas com relação à estiagem e como as secas podem vir a impactar o abastecimento da RH-V. Por fim, o item 5.2.7, apresenta o cálculo do índice de perigo às secas, que foi realizado considerando os resultados das análises pluviométricas, e dos cálculos dos índices NDVI e SPI.

5.2.1 *Registros Históricos*

A região onde se insere o Estado do Rio de Janeiro apresenta baixa margem de segurança em relação à disponibilidade hídrica. As regiões hidrográficas, unidades estaduais de planejamento e gestão dos recursos hídricos, apresentam diferentes níveis de disponibilidade natural de água, além de distintas pressões ambientais que afetam diretamente esses recursos (INEA, 2014).

Na RH-V, os principais rios são: Iguaçu, Caceribu, Macacu, Guapimirim, Estrela, Sarapuí e o São João de Meriti. Estes rios são os que mais contribuem com aporte de água doce, junto com outros 51 rios e canais que drenam para a referida região. A expansão urbana e populacional nesta área ocorreu sem o acompanhamento de serviços de esgotamento sanitário adequados, o que contribuiu com poluição através do lançamento de esgoto doméstico não tratado.

Segundo Jorge Luiz Marinho Muniz, que representa a CEDAE, o período de maior estresse hídrico se dá em épocas de estiagem, no inverno. Muniz afirma que durante esse período a produção de água potável, a produção agrícola e o equilíbrio ecossistêmico podem ser prejudicados pelas secas prolongadas (CBH-BG, 2022). Assim, a seguir é apresentado uma breve descrição, por década, em que ocorreram eventos marcantes que afetaram a RH-V.

Anos 1800: Há relatos históricos de secas extremas nos anos de 1809, 1817, 1824, 1829, 1833 e 1843, que já impactavam o abastecimento no Rio de Janeiro

imperial. Nesse último, 1843, o evento prolongado bastante crítico levou ao início do declínio do cultivo de café nas encostas da Tijuca (Arquivo Nacional, 2024).

Anos 1930: Em 1937, houve o que foi chamado de “crise de sede”, evento de estiagem prolongada que afetou o abastecimento público de água (O Globo, 2015). A então capital brasileira, sofria com a escassez severa na cidade que ainda dependia de mananciais locais, antes das grandes obras de captação.

Anos 1950: a década não sofreu com eventos prolongados de estiagem, no entanto, em meados de 1950 e início dos anos 1960, o aumento populacional acelerado e a expansão industrial sem infraestrutura sanitária resultaram em lançamentos massivos de esgotos domésticos e industriais na Baía de Guanabara. Com a falta de rede de esgoto adequada foi emergindo uma crise de qualidade hídrica que afetava o abastecimento. Em 1957, o jornal O Globo destacou a poluição da baía e o desaparecimento de peixes como indicador de colapso hídrico ambiental e sanitário (Rio Mais, 2020).

Nesse sentido, foi projetada uma transposição de parte das águas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, para a bacia hidrográfica do Rio Guandu, regularizando a vazão do Rio Paraíba e minimizando cheias anuais no vale a jusante, visando uma vazão afluente de 250 m^3/s (Serricchio *et al.*, 2005). Inicialmente planejada para a geração de energia elétrica no Estado do Rio de Janeiro, aproveitando o acentuado desnível da Serra do Mar, passou, a partir da década de 1950, a ser utilizada também para ampliar o abastecimento de água do então Distrito Federal, diminuindo significativamente a dependência de mananciais de pequeno porte da capital. Assim, em 1955, a primeira etapa da ETA Guandu foi inaugurada, com vazão tratada de cerca de 4,5 m^3/s, começando a operar com as águas já transpostas (Cavalcanti, 2020).

Essa transposição, de um fluxo que originalmente não drenava para a Baía de Guanabara, altera o ciclo hidrológico natural, visto que, após tratamento na ETA Guandu, abastecendo a população do Rio de Janeiro, as águas terminam, por

fim, chegando à Baía de Guanabara, como parte de um novo ciclo hídrico, além de despejo sanitário.

Anos 1960: novamente outra década sem grandes eventos prolongados de estiagem registrados. Em 1965, com uma etapa concluída, a capacidade de produção do Sistema Guandu aumentou para 13,8 m^3/s, ampliando o atendimento aos municípios: Nilópolis, Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Belford Roxo, São João de Meriti, Itaguaí, Queimados e Rio de Janeiro (CEDAE, s.d.).

Anos 1970: outra década sem grandes eventos prolongados de estiagem, porém em março de 1975 uma catástrofe ambiental ocorreu na Baía de Guanabara: um grande vazamento de óleo do navio Tarik (Villela e Ponso, 2016). Em 1974, após nova ampliação da ETA Guandu, essa passa a tratar 24 m^3/s de água, atendendo a necessidade de aumento apontada por estudos da Agência Americana para Desenvolvimento Internacional (CEDAE, s.d.).

Anos 1980: mais uma década sem eventos prolongados de estiagem. Em 1982, há a construção de uma nova ETA no Sistema Guandu, aumentando o tratamento de água para 43 m^3/s (CEDAE, s.d.).

Anos 1990: novamente outra década sem grandes eventos prolongados de estiagem, no entanto, mais uma vez ocorreu outra catástrofe ambiental: em 1997 houve um vazamento na tubulação que liga a Refinaria Duque de Caxias (Reduc) ao terminal da Ilha D'Água da Petrobras, atingindo a Baía de Guanabara. No total, foram cerca de 600 mil litros de óleo derramados, destruindo quase 4.000 metros quadrados de manguezais (Villela e Ponso, 2016).

Anos 2000: o primeiro ano do novo século não foi marcado por grandes eventos prolongados de estiagem na referida baía, mas sim por um novo vazamento de óleo. Cerca de 25 anos após o primeiro desastre dessa magnitude atingir Guanabara, em janeiro de 2000, novamente um duto da Petrobras que ligava a Reduc ao terminal Ilha D'Água, na Ilha do Governador, rompeu-se, provocando o derramamento de 1,3 milhões de litros de óleo nas águas da Baía de Guanabara (Villela e Ponso,

2016). Embora não tenha havido escassez hídrica causada diretamente, esse acidente agravou a crise de qualidade da água que abastecia a região devido a maior demanda por tratamento, já que as águas receberam uma alta carga poluidora.

No ano seguinte, iniciou-se uma crise hídrica intensa no Sudeste. Entre o final de 2001 e início de 2004, o Rio de Janeiro teve quedas significativas nos níveis dos reservatórios que regularizavam o Rio Paraíba do Sul, com redução progressiva da vazão transposta. Além da redução da disponibilidade, a baixa dos níveis desencadeou redução na capacidade de diluição de poluentes, levando a uma deterioração generalizada da qualidade da água, inclusive com proliferação de algas tóxicas nas captações de água para abastecimento público (Serricchio *et al*., 2005).

Segundo relatos de Paulo Canedo da Coppe/UFRJ, em 2003, a escassez exigiu o primeiro grande exercício de gestão hídrica proativa no país após a Lei das Águas nº 9.433/97. A equipe que trabalhava no abastecimento de água da capital e região metropolitana, passou a realizar controles diários das entradas e saídas dos reservatórios destinados a esse fim, trabalhando com cenários simulados, e adotaram uma postura conservadora na liberação de água para garantir a continuidade do abastecimento, aproveitando chuvas fora da estação que ajudaram a reduzir os impactos (Conselho Federal de Química, 2021; Schincariol, 2015).

Anos 2010: em 2012, como parte do Programa de Controle de Enchentes da Grande Tijuca, iniciou-se a construção de um túnel de drenagem urbana com 2,5 km, desviando parte excedente do Rio Joana, que causa enchentes, diretamente para a Baía de Guanabara. Na altura do Estádio do Maracanã, foi instalado um limitador de vazão que retém até 7 m^3/s no curso original do Rio Joana, desaguando no Rio Maracanã. Quando há chuvas fortes e o fluxo ultrapassa esse limite, o excedente é conduzido pelo túnel de desvio com capacidade de até 100 m^3/s. Assim, parte das águas do rio, que seguiriam para o Canal do Mangue, vão diretamente para a Baía de Guanabara, contribuindo para evitar o transbordamento de rios como Maracanã, Trapicheiros, Comprido e do próprio Joana, que atravessam a região da Grande Tijuca (Jornal do Brasil, 2019).

No ano de 2013, e mais intensamente em 2014, houve escassez atípica de chuvas no sudeste brasileiro, o que baixou o nível dos rios, afetando o abastecimento público de água (ANA, 2015). No entanto, o que levou a falhas no abastecimento urbano no Sudeste não foi somente a quantidade de água disponível, mas também a qualidade dessas águas, porque com menor vazão nos rios há menor diluição de poluentes. Assim, ao chegarem nas ETAs, além de apresentarem maior custo, as águas demandam maior tempo para serem tratadas, o que, associado a alta demanda, pois se trata de uma região com grande concentração populacional, leva a um abastecimento precarizado. Além disso, houve a necessidade de se adaptar algumas estruturas de captação, a fim de possibilitar o atendimento.

Com o prolongamento da crise vivida no Sudeste em 2014, gerou-se conflitos pela água entre São Paulo e Rio de Janeiro. A elevada dependência da capital carioca e região metropolitana das águas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, responsáveis por cerca de 75% e 90% do abastecimento, respectivamente, aliada à sua posição geográfica vulnerável, a jusante dos estados de São Paulo e Minas Gerais, que compartilham da mesma bacia, evidencia um cenário propenso a conflitos significativos pelo uso da água, tanto em relação à quantidade, quanto à qualidade dos recursos hídricos (Serricchio *et al.*, 2005).

Assim, para mitigar a seca que afetava o abastecimento urbano da metrópole paulista, São Paulo propôs uma nova transposição das águas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, dessa vez, transpostas para o Sistema Cantareira. A proposta de desvio de 5 m^3/s para o reservatório de Atibainha não foi bem recebida pelo estado carioca, visto a sua alta dependência do manancial, pois o desvio de parte dessa água a montante levaria a um cenário ainda mais preocupante que o então atual (Exame, 2014). Nesse sentido, o INEA publicou a Nota Técnica nº 01/2014, em que aponta que a proposta feita por São Paulo aumenta a insegurança hídrica que já assolava o Rio de Janeiro (INEA, 2014). Segundo a Secretaria do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro, é necessário que o limite mínimo de vazão na elevatória de Santa Cecília, a qual encaminha a água para a ETA Guandu, não seja abaixo de 190 m^3/s (Brasil, 2015).

Com isso, essa proposta interventiva gerou um conflito federativo, levando a um longo processo de negociação. Com a judicialização, conseguiu-se chegar a um acordo para a gestão compartilhada da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul em dezembro de 2015 no Supremo Tribunal Federal. O acordo prevê que a administração será compartilhada pelos governos do Rio de Janeiro, de São Paulo e de Minas Gerais, e pela União. Foram definidos critérios para a vazão mínima do rio, permitindo que São Paulo faça uma transposição em benefício do Sistema Cantareira, mas que a vazão explotada do Paraíba do Sul não prejudique o abastecimento em outras localidades a jusante (Canes, 2015).

Apesar do conflito entre os estados, e o avanço da seca severa que reduziu drasticamente a disponibilidade hídrica do Rio Paraíba do Sul e, consequentemente, a vazão de transposição para a bacia hidrográfica do Rio Guandu, o abastecimento na região metropolitana do Rio de Janeiro foi mantido, ainda que com uma piora na qualidade da água. Nesse período, exigiu-se uma gestão adaptativa e coordenada dos recursos hídricos, que foi precursora do Acordo Federativo, formalizado em 2015, entre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais para uma gestão das águas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, especialmente com a definição de regras operativas e na questão da vazão de transposição para a bacia hidrográfica do Rio Guandu. O Comitê CEIVAP reativou o GTAOH, criado com a ANA e o Comitê Guandu durante a seca de 2003, para propor medidas emergenciais, como a redução gradual da vazão de transposição de 119 m^3/s para 75 m^3/s. Essa medida inédita exigiu adaptações técnicas na ETA Guandu, que enfrentou estresse operacional e aumento de 20% no uso de produtos químicos para tratamento da água. Houve piora da qualidade da água e impactos a diversos usuários, mas manteve-se o abastecimento, inclusive durante grandes eventos como a Copa de 2014, e as Olimpíadas e Paraolimpíadas de 2016, sendo a crise oficialmente superada apenas no fim de 2016 (Formiga-Johnsson e Britto, 2020).

Já em 2017, o Sudeste ainda enfrentava escassez, com a Região Hidrográfica Lagos São João, localizada imediatamente a leste da RH-V, sendo mais criticamente atingida (Costa *et al*., 2017; Fala Brasil, 2017)

Anos 2020: o Rio de Janeiro já iniciou o ano de 2021 com recordes de seca: considerando desde 2000, apenas em 2001 e 2009 houve registros menores do acumulado de chuva para o primeiro mês do ano. Se chegou a 15 dias sem chuvas no mês, superando a média dos então últimos 24 anos, de 14 dias (Altino, 2021). A escassez perdurou ao longo do ano, sendo que em junho o Monitor de Secas da ANA registrou Seca Modera - S1 - para a região da Baía de Guanabara, com impactos de curto e longo prazo - CL - (ANA, 2021). Destaca-se que o Monitor de Secas da ANA iniciou sua operação para o Rio de Janeiro em 2020.

Em agosto de 2022, o Boletim de Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil observou seca extrema para o norte do Rio de Janeiro, não atingido a Baía de Guanabara. Para tal, se utilizou o IIS - Índice Integrado de Seca (CEMADEN, 2022). Já o Monitor de Secas da ANA, com diferente metodologia, observou Seca Fraca para o norte do estado, e Sem Seca Relativa para a RH-V (ANA, 2022). Ressalta-se, de forma resumida, que o IIS é uma combinação de três índices: SPI, Anomalia da Umidade do Solo (AUS) / Água Disponível no Solo (ADS) e Índice de Saúde da Vegetação (VHI - *Vegetation Health Index*), enquanto os resultados do Monitor de Secas da ANA provêm de uma combinação de informações medidas *in situ* e processadas a nível nacional.

Em setembro de 2024, o município de Guapimirim, localizado na porção norte da RH-V, decretou situação de emergência após estiagem prolongada de 40 dias na região. Com a escassez, houve redução histórica dos principais rios e afluentes que abastecem a cidade, fazendo com que a população tivesse seu fornecimento de água reduzido. Além desse município, outros da Baixada Fluminense tiveram seu abastecimento comprometido, visto que os sistemas Imunana-Laranjal e o Acari tiveram produção reduzida com os baixos níveis dos cursos hídricos. Imunana-Laranjal chegou a operar com 90% da capacidade total, enquanto no Sistema Acari a situação foi ainda pior, com represas chegando a operar com 50% da média histórica do mês de setembro (Mata, 2024).

Em fevereiro de 2025, o Boletim de Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil classificou 35 municípios do Rio de Janeiro com Seca Moderada, sendo que no mês anterior, janeiro, esse número era de apenas 10 municípios (CEMADEN, 2025). Também se destaca que a falta de chuva em plena estação chuvosa associada a onda de calor extremo, levou ao aumento nos casos de incêndios em matas em diversos pontos do estado (Rodrigues e Callegari, 2025). No mês seguinte, março, a seca se prologou, se mantendo como Seca Moderada (S1) em praticamente todo o estado do Rio de Janeiro, inclusive na Baía de Guanabara, dessa vez segundo a classificação do Monitor de Secas da ANA (2025).

5.2.2 *Identificação de Estiagens Históricas: Análises de Chuvas e Vazões*

A identificação de estiagens históricas na área de estudo foi realizada por meio da análise integrada de séries históricas de precipitação, com especial atenção aos períodos prolongados de ausência de chuvas. As informações levantadas permitiram quantificar, ao longo de toda a série temporal disponível, o número de dias sem precipitação, bem como calcular a precipitação média acumulada nos períodos secos. Essa abordagem possibilitou reconhecer os períodos de seca mais severos, já identificados qualitativamente, comparando diferentes eventos ao longo dos anos e avaliando sua recorrência, intensidade e impacto sobre os cursos d'água. Destaca-se que, conforme será descrito no subitem 5.2.2.1, houve tentativas de realizar análises com base no regime fluviométrico, entretanto, não há disponibilidade de dados suficiente na região.

5.2.2.1 Dados Pluviométricos e Fluviométricos

Os dados das estações pluviométricas e fluviométricas foram obtidos através do Portal Hidroweb (ANA, 2025), que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A plataforma é gerida pela ANA e contém as informações e as séries históricas das estações integrantes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), que consiste em um conjunto de estações pluviométricas e fluviométricas mantidas e operadas por diversas entidades públicas e privadas, exceto

quando são operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No caso de estações do INMET, os dados são obtidos no Portal do Instituto, visto que não é integrado ao SNIRH. Ademais, foram ainda avaliadas estações fluviométricas cujas séries se encontram no banco de dados do INEA (INEA).

Nas proximidades da RH-V, constatou-se a existência de 17 estações pluviométricas com dados, sendo elas: Fazenda São João (2242005), Gaviões (2242008), São Lourenço (2242009), Manuel Ribeiro (2242010), Estação de Bombeamento. de Imunana (2242011), Represa do Paraíso (2242012), Fazenda do Carmo (2242013), Japuíba (2242014), Fazenda São Joaquim (2242016), Teodoro de Oliveira (2242024), Cascatinha do Conego (2242025), Itamarati – Se (2243010), Rio de Janeiro-Marambaia (A602), Duque de Caxias – Xerem (A603), Pico do Couto (A610), Teresópolis-Parque Nacional (A618) e Rio de Janeiro - Vila Militar (A621). Assim, o Quadro 5-4 apresenta as características dessas estações pluviométricas, enquanto o Quadro 5-5 apresenta o Diagrama de Gantt, com as disponibilidades de dados delas.

Quadro 5-4 – Características das estações pluviométricas analisadas.

Código	Nome da Estação	Município	Respon-sável	Opera-dora	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Início	Fim	Ano
2242005	FAZENDA SÃO JOÃO	NOVA FRIBURGO	ANA	SGB-CPRM	-22,39	-42,497	960	1967	2024	58
2242008	GAVIÕES	SILVA JARDIM	ANA	SGB-CPRM	-22,55	-42,55	33	1967	2024	58
2242009	SÃO LOURENÇO	NOVA FRIBURGO	ANA	SGB-CPRM	-22,35	-42,62	1.130	2003	2024	22
2242010	MANUEL RIBEIRO	MARICÁ	ANA	SGB-CPRM	-22,91	-42,73	-*	1967	2024	58
2242011	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-NANA	MAGÉ	ANA	SGB-CPRM	-22,69	-42,95	12	1967	2024	58
2242012	REPRESA DO PA-RAÍSO	MAGÉ	ANA	SGB-CPRM	-22,50	-42,91	44	1967	2024	58
2242013	FAZENDA DO CARMO	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	SGB-CPRM	-22,44	-42,76	51	1967	2024	58
2242014	JAPUIBA	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	SGB-CPRM	-22,56	-42,69	27	1967	2024	58
2242016	FAZENDA SÃO JO-AQUIM	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	SGB-CPRM	-22,44	-42,62	275	1967	2024	58
2242024	TEODORO DE OLIVEIRA	NOVA FRIBURGO	ANA	SGB-CPRM	-22,38	-42,55	1.105	1965	2024	60
2242025	CASCATINHA DO CONEGO	NOVA FRIBURGO	ANA	SGB-CPRM	-22,34	-42,56	1.210	1967	2024	58
2243010	ITAMARATI - SE	PETRÓPOLIS	ANA	SGB-CPRM	-22,49	-43,15	1.085	1938	2024	87
A602	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	RIO DE JANEIRO	INMET	INMET	-23,05	-43,60	12	2002	2025	24
A603	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	DUQUE DE CAXIAS	INMET	INMET	-22,59	-43,28	22	2002	2025	24
A610	PICO DO COUTO	PETRÓPOLIS	INMET	INMET	-22,46	-43,29	1.777	2006	2025	20

Código	Nome da Estação	Município	Respon-sável	Opera-dora	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Início	Fim	Ano
A618	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-NAL	TERESÓPOLIS	INMET	INMET	-22,45	-42,99	981	2006	2025	20
A621	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR	RIO DE JANEIRO	INMET	INMET	-22,86	-43,41	30	2007	2025	19

Fonte: Elaboração própria. *Sem dado disponível no portal Hidroweb.

Quadro 5-5 – Diagrama de Gantt com a disponibilidade de dados das estações pluviométricas analisadas.

NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PARAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLIVEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CAXIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR
CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621
Ano	Número de meses completos																
1938	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1939	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1941	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1942	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1943	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1946	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1947	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1957	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1959	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	12	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	12	0	0	0	0	0
1967			0		6	6	6	5	4	12	4	12	0	0	0	0	0
1968			0										0	0	0	0	0
1969	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1970	12	12	0	12	12		12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1971	12	12	0			12	12		12	12	12	12	0	0	0	0	0
1972			0										0	0	0	0	0
1973	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1974	12	12	0	12	12	12	12	12	10	12	12	12	0	0	0	0	0
1975	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1976			0										0	0	0	0	0
1977	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1978	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1979	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1980			0										0	0	0	0	0
1981	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
Legenda	Anos sem dados																
	Menos que 6 meses completos no ano																
	Entre 6 e 10 meses completos no ano																
	11 meses completos no ano																
	12 meses completos no ano																

NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA-RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JO-AQUIM	TEODORO DE OLI-VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR
CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621
Ano	Número de meses completos																
1982	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1983	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1984			0				12		12		12	12	0	0	0	0	0
1985	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1986	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1987	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1988			0										0	0	0	0	0
1989	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1990	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1991	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1992			0										0	0	0	0	0
1993	12	12	0	12	12		12	12	12	12	4	12	0	0	0	0	0
1994	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12		12	0	0	0	0	0
1995	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1996			0										0	0	0	0	0
1997	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1998	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
1999	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
2000			0										0	0	0	0	0
2001	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0
2002	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	1	1	0	0	0
2003	12	12	6	12	12	12	12	12	12	12	12	12	2		0	0	0
2004														2	0	0	0
2005	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12			0	0	0
2006	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12		5	2	2	0
2007	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				12	
2008				12					12							12	12
2009	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				12	
2010	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				12	
2011	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12			12	12	
2012													12		12	12	
2013	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12
2014	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		10	12	12	12
2015	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12			12	12
2016															5		12
2017		12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4	12	
2018	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12
2019	12	12	12	12	12	12		12	12	12		12	12	12	12	12	12
2020								12	1		12		12		2		
2021	12	12	12	12	12	10	12	12	0	12	12	12	12	12		12	12
2022	12	12	10	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12
2023	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12		12	12	12	12
2024					10							12	12			12	
Legenda	Anos sem dados																
	Menos que 6 meses completos no ano																
	Entre 6 e 10 meses completos no ano																
	11 meses completos no ano																
	12 meses completos no ano																

Fonte: Elaboração própria.

Quanto às estações fluviométricas com dados na região, constatou-se a existência de cinco cujas séries estão disponíveis no SNIRH: Cachoeiras de Macacu (59235000), Parque Ribeira (59240000), Quizanga (59245000), Orindi (59245100) e Ponte de Ferro Piabetá (59251700).

Já no inventário de estações do INEA, consta que há 25 estações fluviométricas/pluviométricas: Barra de Maricá (59222000), BR-101 (59240700), Capela Mayrink (59305071), Catavento (59279000), CET Meriti (59305003), Colubandê – Alcântara (59228050), Duques (59241400), GBM Nova Iguaçu (59280050), Haras Vitória (59241800), Ipiíba (59227900), Mumbuca (59222100), Niterói/Engenhoca (59227000), Ponte de Ferro Capivari (59281300), Ponte de Ferro Piabeta (59251700), Santa Cruz da Serra (59270000), São Cristóvão (59305055), Tanguá (59240600), Barragem da CEDAE (59248900), Duas Barras (59242000), Estrada da Conceição (59252000), Japuíba (59237000), Orindí (59245200), Parque São Miguel (59250900), Ponte Tanguá (59240900) e Quizanga (59245002). Porém, no banco de dados do INEA, na região só se encontram 10 estações, sendo elas as oito últimas e a Cachoeiras de Macacu (59235002) e a Reta Nova (59241200).

Nesse sentido, o Quadro 5-6 apresenta as características das estações fluviométricas com disponibilidade de dados, enquanto o Quadro 5-7 apresenta o Diagrama de Gantt, com as disponibilidades de dados delas.

Quadro 5-6 – Características das estações fluviométricas analisadas.

Código	Nome da Estação	Rio	Município	Responsável	Operadora	Lat.	Long.	Altitude (m)	Área de Drenagem (Km²)	Início	Fim	Anos
59235000	CACHOEIRAS DE MACACU	RIO MACACU	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	ANA	-22.48	-42.67	30,00	151,0	1931	1978	48
59240000	PARQUE RIBEIRA	RIO MACACU	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	SGB-CPRM	-22.59	-42.74	8,00	289,0	1969	2019	51
59245000	QUIZANGA	RIO GUAPIAÇU	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	ANA	-22.57	-42.85	15,00	353,0	1969	1978	10
59245100	ORINDI	RIO ORINDIAÇU	CACHOEIRAS DE MACACU	ANA	ANA	-22.55	-42.90	10,00	47,0	1969	1978	10
59251700	PONTE DE FERRO PIABETÁ	RIO INHOMIRIM	MAGÉ	INEA-RJ	INFOPER	-22.62	-43.15	10,46	89,3	1998	2007	10
59235002	CACHOEIRAS DE MACACU	RIO MACACU	CACHOEIRAS DE MACACU	INEA-RJ	INEA-RJ	-22.48	-42.66	33,00	149,0	2008	2012	5
59237000	JAPUIBA	RIO MACACU	CACHOEIRAS DE MACACU	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.56	-42.69	21,00	256,0	2008	2011	4
59240900	PONTE DE TANGUÁ	RIO CACERIBU	TANGUÁ	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.73	-42.73	28,48	235,0	2008	2012	5
59241200	RETA NOVA	RIO CACERIBU	ITABORAÍ	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.71	-42.81	26,08	291,0	2008	2011	4
59242000	DUAS BARRAS	RIO GUAPIAÇU	DUAS BARRAS	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.44	-42.76	35,00	83,1	2008	2011	4
59245002	QUIZANGA	RIO GUAPIAÇU	CACHOEIRAS DE MACACU	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.56	-42.85	9,00	353,0	2008	2011	4
59245200	ICONHA (ORINDI)	RIO ICONHA	MAGÉ	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.55	-42.90	12,00	47,2	2008	2011	4

Código	Nome da Estação	Rio	Município	Responsável	Operadora	Lat.	Long.	Altitude (m)	Área de Drenagem (Km²)	Início	Fim	Anos
59248900	BARRAGEM DA CEDAE	CANAL DE IMUNANA	ITABORAÍ	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.66	-42.93	10,70	1.070,0	2008	2011	4
59250900	PARQUE SÃO MIGUEL	RIO MAJE OU SANTO ALEIXO	MAGÉ	INEA-RJ	SGB-CPRM	-22.61	-43.04	13,82	88,7	2008	2011	4
59252000	ESTRADA DA CONCEIÇÃO	RIO SURUI	MAGÉ	INEA-RJ	INEA-RJ	-22.61	-43.10	23.44	33.6	2008	2011	4

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 5-7 - Diagrama de Gantt com a disponibilidade de dados das estações fluviométricas analisadas.

NOME	CACHOEIRAS DE MACACU	PARQUE RIBEIRA	QUIZANGA	ORINDI	PONTE DE FERRO PIABETÁ	CACHOEIRAS DE MACACU	JAPUIBA	PONTE DE TANGUÁ	RETA NOVA	DUAS BARRAS	QUIZANGA	ICONHA (ORINDI)	BARRAGEM DA CEDAE	PARQUE SÃO MIGUEL	ESTRADA DA CONCEIÇÃO
CÓDIGO	59235000	59240000	59245000	59245100	59251700	59235002	59237000	59240900	59241200	59242000	59245002	59245200	59248900	59250900	59252000
Ano	Número de meses completos														
1931	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1932		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1933		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1934		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1935		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1936		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1937		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1938		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1939		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1940		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1941		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1942		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1944		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1945		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1946		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1947		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1948		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1949		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1950		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1951		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1952		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969		5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1973					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Legenda		Anos sem dados													
		Menos que 6 meses completos no ano													
		Entre 6 e 10 meses completos no ano													
		11 meses completos no ano													
		12 meses completos no ano													

NOME	CACHOEIRAS DE MACACU	PARQUE RIBEIRA	QUIZANGA	ORINDI	PONTE DE FERRO PIABETÁ	CACHOEIRAS DE MACACU	JAPUIBA	PONTE DE TANGUÁ	RETA NOVA	DUAS BARRAS	QUIZANGA	ICONHA (ORINDI)	BARRAGEM DA CEDAE	PARQUE SÃO MIGUEL	ESTRADA DA CONCEIÇÃO
CÓDIGO	59235000	59240000	59245000	59245100	59251700	59235002	59237000	59240900	59241200	59242000	59245002	59245200	59248900	59250900	59252000
Ano	Número de meses completos														
1978					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0		0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	5	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0		0	0	0										
2009	0		0	0	0										
2010	0		0	0	0										
2011	0		0	0	0							6			
2012	0		0	0	0		0		0	0	0	0	0	0	0
2013	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Legenda		Anos sem dados													
		Menos que 6 meses completos no ano													
		Entre 6 e 10 meses completos no ano													
		11 meses completos no ano													
		12 meses completos no ano													

Fonte: Elaboração própria.

5.2.2.2 Análise do Regime Pluviométrico

Analisando as séries históricas das estações pluviométricas avaliadas, é possível observar que a média de dias sem chuva varia de 96 a 255, esse último indicando, portanto, que, em média, em cerca de 70% dos dias de um ano não há chuva. O Quadro 5-8 apresenta o número de dias, por ano, em que não houve precipitação.

Quadro 5-8 – Dias sem chuva nas estações pluviométricas analisadas.

NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA- RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI- VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO- MARAMBAIA	DUQUE DE CA- XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS- PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR	NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA- RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI- VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO- MARAMBAIA	DUQUE DE CA- XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS- PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR
CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621	CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621
Mé- dia	21 2	22 6	23 8	25 5	24 9	21 8	23 4	23 8	22 1	21 0	19 7	22 2	19 0	13 3	9 6	15 5	20 5	Mé- dia	21 2	22 6	23 8	25 5	24 9	21 8	23 4	23 8	22 1	21 0	19 7	22 2	19 0	13 3	96	15 5	20 5
Ano	Número de dias sem chuva																	Ano	Número de dias sem chuva																
1938												86						1982	256	212		245	242	206	224	233	244	184	206	224					
1939												235						1983	244	189		221	218	203	207	210	211	171	197	219					
1940												225						1984	248	251		289	271	247	236	261	239	208	194	239					
1941												206						1985	237	223		260	237	223	219	237	234	201	182						
1942												216						1986	220	234		267	260	228	242	245	235	221	194						
1943												219						1987	222	212		252	232	209	238	228	224	226	165						
1944												228						1988	198	208		244	236	195	221	220	233	222	183						
1945												193						1989	158	212		258	244	226	251	269	238	243	207						
1946												237						1990	195	242		288	276	258	247	256	248	248	200						
1947												196						1991	221	224		254	259	233	227	255	241	225	199						
1948												224						1992	223	229		241	276	214	236	279	237	257	214						
1949												219						1993	230	233		243	271	215	241	258	241	279	82						
1950												227						1994	184	211		252	276	210	248	252	216	251	194						

NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA-RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI-VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR	NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA-RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI-VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR
CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621	CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621
Mé-dia	212	226	238	255	249	218	234	238	221	210	197	222	190	133	96	155	205	Mé-dia	212	226	238	255	249	218	234	238	221	210	197	222	190	133	96	155	205
Ano	Número de dias sem chuva																	Ano	Número de dias sem chuva																
1951												228						1995	208	239		237	268	226	246	233	223	247	228						
1952												220						1996	146	241		261	256	235	254	235	221	244	233						
1953												236						1997	255	239		277	261	250	261	243	220	245	207						
1954												241						1998	235	216		229	239	245	236	241	209	212	166						
1955												238						1999	229	243		249	259	236	244	245	211	212	163						
1956												215						2000	275	269		270	288	254	272	263	249	226	192						
1957												206						2001	285	242		275	292	227	247	268	225	236	213						
1958												224						2002	196	242		273	275	256	248	256	213	217	197		20	17			
1959												243						2003	195	228	117	265	259	213	256	249	196	221	207		37	81			
1960												228						2004	151	207	226	249	225	199	242	235	183	198	176		196	15			
1961												230						2005	119	204	211	251	235	226	242	238	216	168	173		157	127			
1962												219						2006	170	218	228	239	235	191	263	238	239	197	185		118	105	6	11	
1963												281						2007	173	247	252	274	274	230	251	269	248	227	218		179	149	127	182	164
1964												208						2008	199	187	210	200	246	163	206	218	205	186	224		166	93	111	136	171

NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA-RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI-VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR	NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA-RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI-VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR
CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621	CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621
Mé-dia	212	226	238	255	249	218	234	238	221	210	197	222	190	133	96	155	205	Mé-dia	212	226	238	255	249	218	234	238	221	210	197	222	190	133	96	155	205
Ano	Número de dias sem chuva																	Ano	Número de dias sem chuva																
1965												214						2009	204	170	242	224	262	189	223	224	231	179	189		299	100	72	135	181
1966										230		222						2010	215	222	266	249	266	181	246	231	245	202	246		196	150	105	198	208
1967	145	155								202		209						2011	203	219	259	255	236	184	248	248	257	198	271		187	125	219	150	176
1968	231	253		261	245	205	233	268	208	208	222	236						2012	243	238	270	286	228	246	258	268	275	219	271		218	120	119	178	170
1969	197	258		255	242	207	185	242	195	187	209	223						2013	206	226	244	249	232	183	238	236	237	182	266		194	159	99	122	189
1970	204	249		282	262	243	218	260	201	207	115	231						2014	239	260	273	304	270	277	281	271	272	217	282		246	182	155	198	225
1971	207	215		166	172	248	192	214	194	221	100	212						2015	209	218	265	260	235	252	259	241	261	197	288		232	175	63	170	217
1972	224	210		249	247	199	202	227	195	189	68	214						2016	212	237	256	270	250	210	238	241	250	197	280		221	170	64	169	226
1973	231	200		242	265	223	210	229	212	194	61	218						2017	199	263	248	282	251	221	269	268	270	209	292		223	159	27	184	214
1974	241	241		261	275	251	228	232	214	208	33	229						2018	192	212	243	277	256	182	232	236	241	168	271		220	158	81	149	227
1975	231	210		262	252	237	227	245	241	186	39	224						2019	195	233	251	283	260	220	241	252	247	185	269		221	174	108	169	232
1976	255	212		259	247	241	214	233	213	165	8	221						2020	191	219	256	270	270	211	240	227	19	195	269		214	183	4	163	193
1977	274	234		277	264	278	237	254	237	213	124	235						2021	142	231	240	266	263	149	240	186	5	200	288		204	182	98	159	219
1978	265	223		289	249	267	245	254	250	202	217	242						2022	154	236	221	282	240	182	239	190	234	201	290		197	160	94	140	214

NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA-RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI-VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR
CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621
Mé-dia	212	226	238	255	249	218	234	238	221	210	197	222	190	133	96	155	205
Ano	Número de dias sem chuva																
1979	253	211		255	237	239	205	243	246	198	207	216					
1980	247	240		263	270	254	241	248	267	224	237	243					
1981	253	234		254	259	202	224	236	243	204	221	236					

NOME	FAZENDA SÃO JOÃO	GAVIÕES	SÃO LOURENÇO	MANUEL RIBEIRO	ESTAÇÃO DE BOMB. DE IMU-	REPRESA DO PA-RAÍSO	FAZENDA DO CARMO	JAPUIBA	FAZENDA SÃO JOAQUIM	TEODORO DE OLI-VEIRA	CASCATINHA DO CONEGO	ITAMARATI - SE	RIO DE JANEIRO-MARAMBAIA	DUQUE DE CA-XIAS - XEREM	PICO DO COUTO	TERESOPOLIS-PARQUE NACIO-	RIO DE JANEIRO - VILA MILITAR
CÓDIGO	2242005	2242008	2242009	2242010	2242011	2242012	2242013	2242014	2242016	2242024	2242025	2243010	A602	A603	A610	A618	A621
Mé-dia	212	226	238	255	249	218	234	238	221	210	197	222	190	133	96	155	205
Ano	Número de dias sem chuva																
2023	150	238	228	280	264	159	243	177	236	210	238		176	168	121	164	202
2024	183	262	239	176	171	212	241	217	246	236	302		258	106	157	172	254

Legenda	
	Sem dados
	Número de dias sem chuva no ano abaixo da média anual para a estação
	Número de dias sem chuva no ano acima da média anual para a estação

Fonte: Elaboração própria.

O Rio de Janeiro se caracteriza por ter verões chuvosos e invernos secos, no entanto, é frequente observar-se vários dias sem chuvas, mesmo na estação chuvosa. Segundo a Normal Climatológica de 1991 a 2020, desenvolvida pelo INMET, tendo em vista o aumento da preocupação com as mudanças climáticas, a média do número de dias sem precipitação ou com ela sendo menor ou igual a 1 mm, ao longo de todo o ano, é de 271 dias (INMET, 2022). Utilizando-se as estações avaliadas, chegou-se a uma média de 206 dias, valor cerca de 24% menor quando comparado com a normal climatológica. No entanto, cabe salientar que o período aqui avaliado foi maior (de 1938 a 2024), além disso, considerou-se apenas os dias em que foi registrado 0 mm e não até 1 mm. Ademais, o presente estudo avaliou estações na região de interesse ou próximas a ela, enquanto a Normal avaliou menor número de estações e espalhadas por todo o estado, visto que o objetivo era apresentar para a média para toda a Unidade Federativa carioca.

Além disso, também se analisou a precipitação acumulada no período seco ao longo do tempo para cada estação pluviométrica avaliada, sendo esse período de maio a outubro. Com isso, foi possível verificar a média dessa precipitação acumulada para toda a série do período seco, e avaliar em quais anos ela se encontrava acima da média, e 10%, 20%, 30% ou mais de 30% abaixo da média. Assim, a Figura 5-18 a Figura 5-34 apresentam visualmente esses resultados na forma de gráficos para cada estação avaliada. Neles é possível observar que para todas as estações, há anos em que a precipitação acumulada é menor que é a média histórica para o período. Cabe salientar que, apesar de haver casos em diferentes estações que o acumulado para todo o período seco do ano indique graficamente que foi de 0 mm, esse valor não representa de fato o que ocorreu, mas sim, que houve falha na estação, as quais foram desconsideradas nos cálculos das médias históricas.

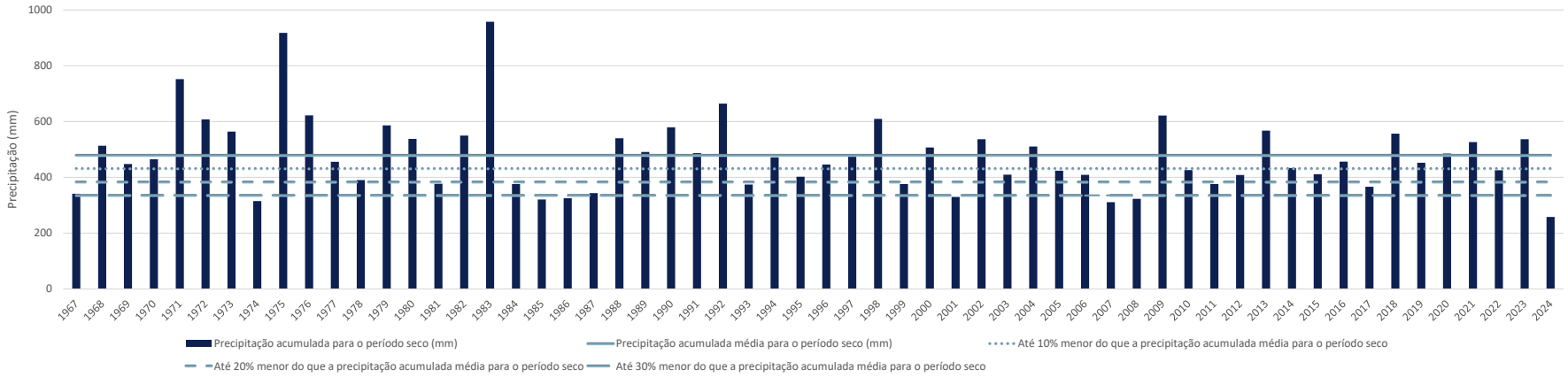


Figura 5-18- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Fazenda São João (2242005).
Fonte: Elaboração própria.

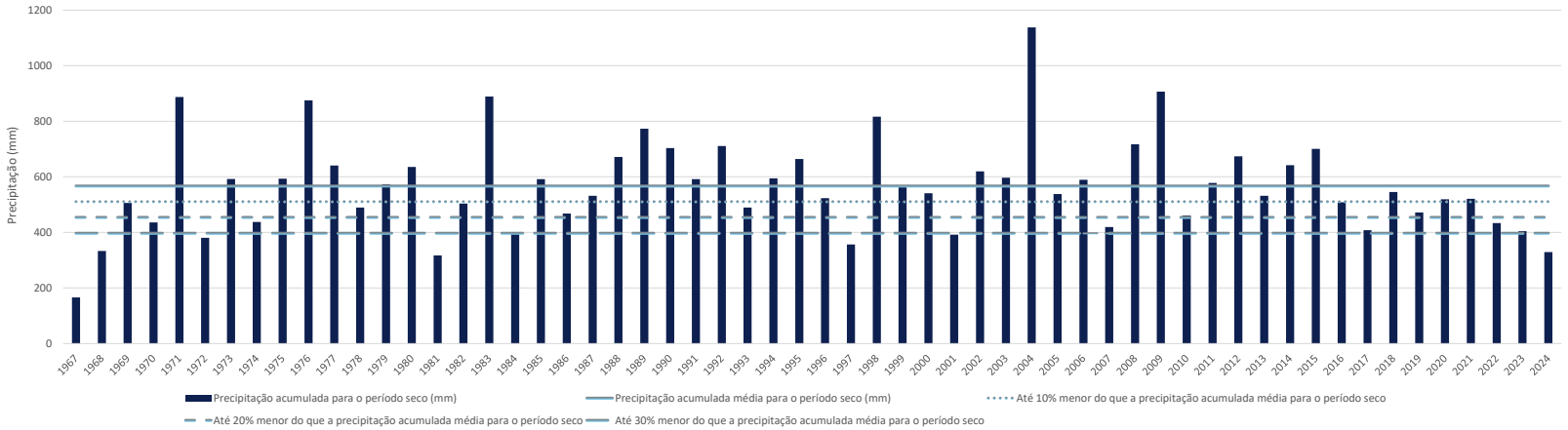


Figura 5-19- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Gaviões (2242008).
Fonte: Elaboração própria.

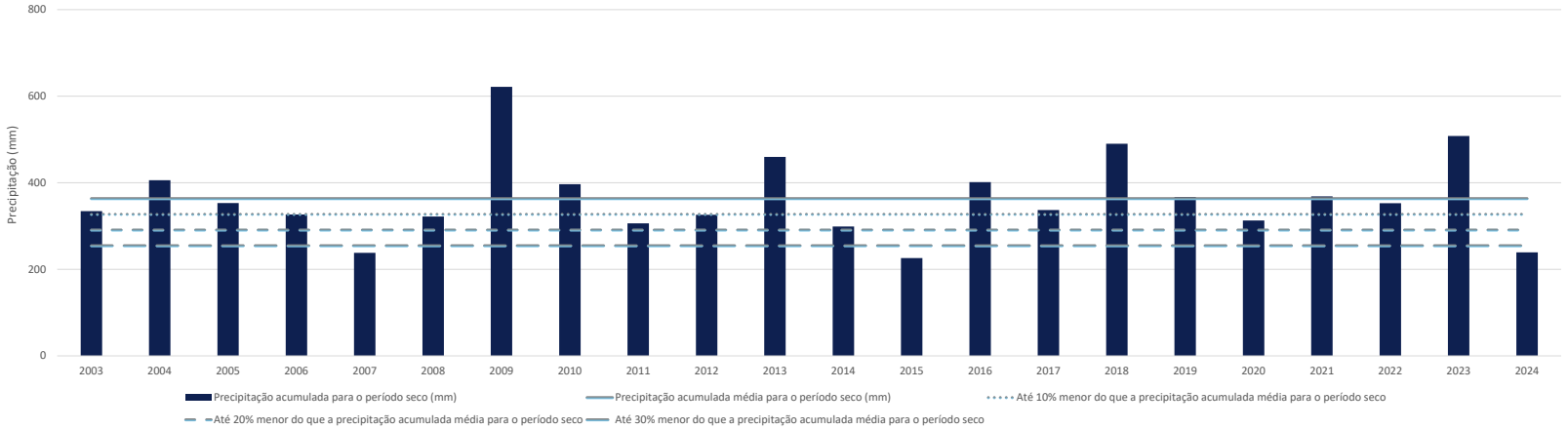


Figura 5-20- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica São Lourenço (2242009).
Fonte: Elaboração própria.

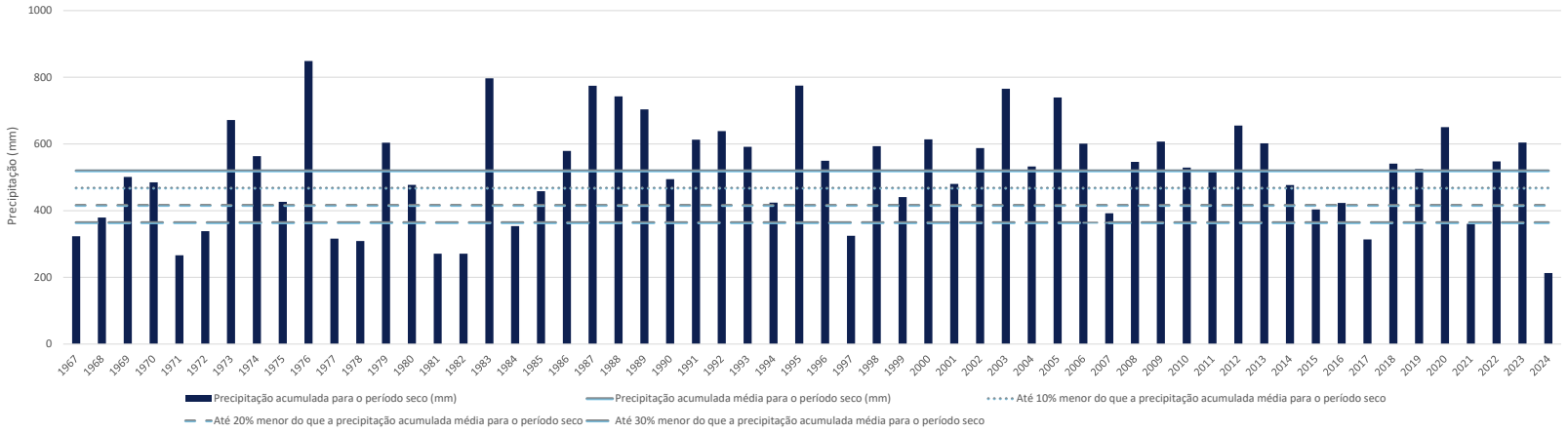


Figura 5-21- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Manuel Ribeiro (2242010).
Fonte: Elaboração própria.

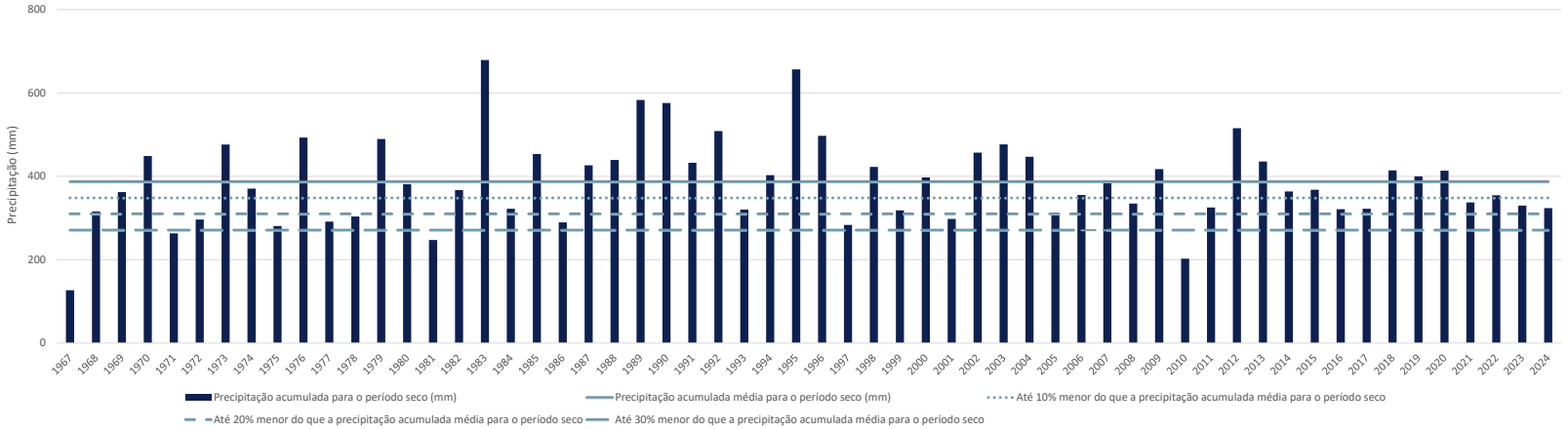


Figura 5-22- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica de bombeamento de Imunana (2242011).
Fonte: Elaboração própria.

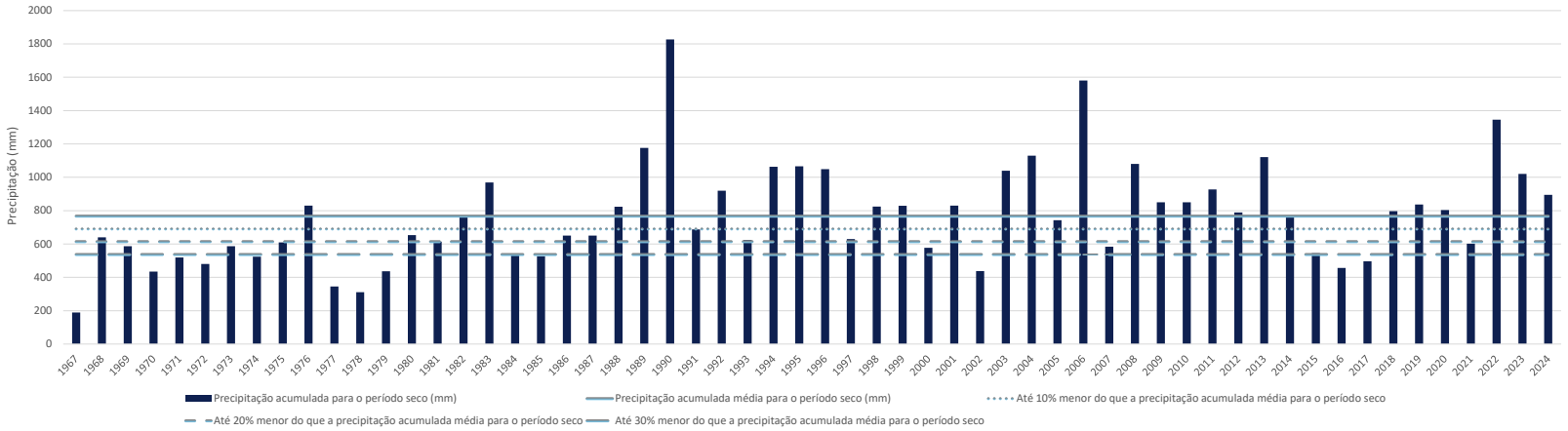


Figura 5-23- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Represa do Paraíso (2242012).
Fonte: Elaboração própria.

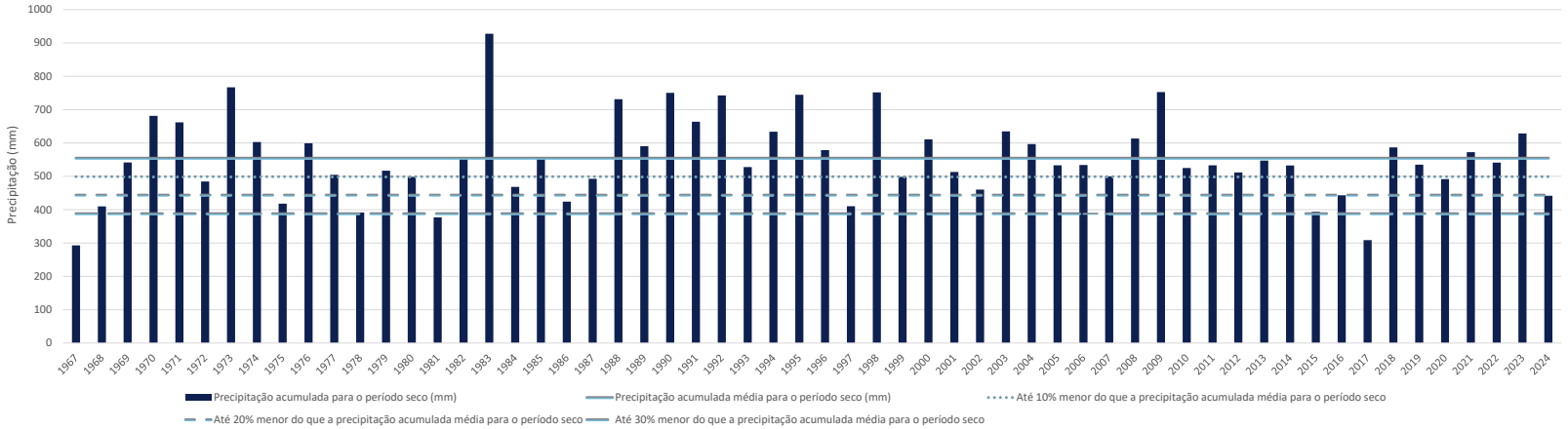


Figura 5-24- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Fazenda do Carmo (2242013).
Fonte: Elaboração própria.

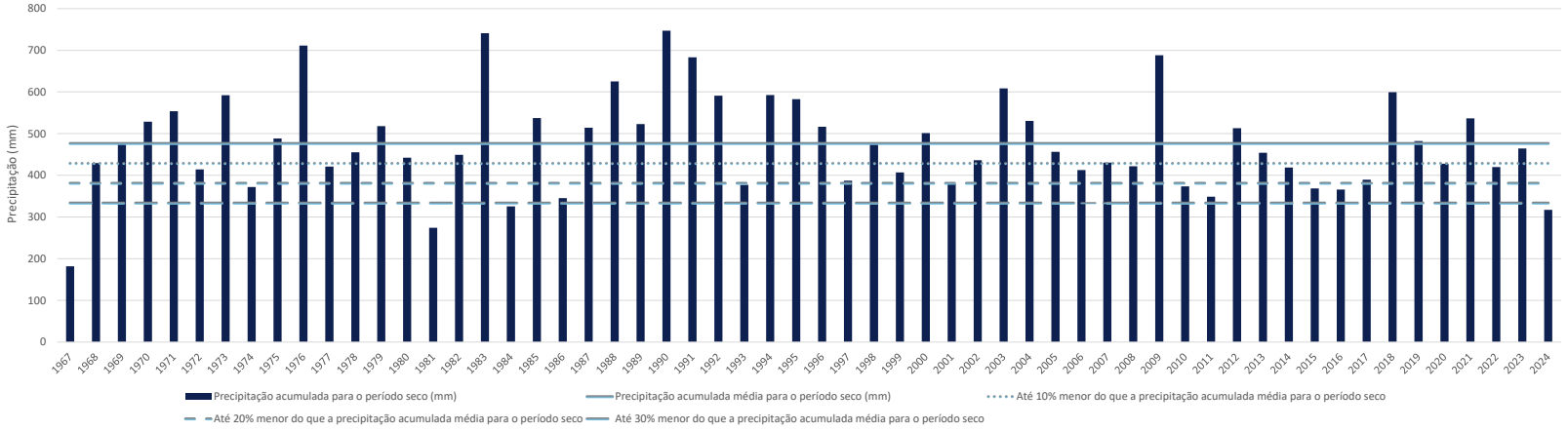


Figura 5-25- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Japuíba (2242014).
Fonte: Elaboração própria.

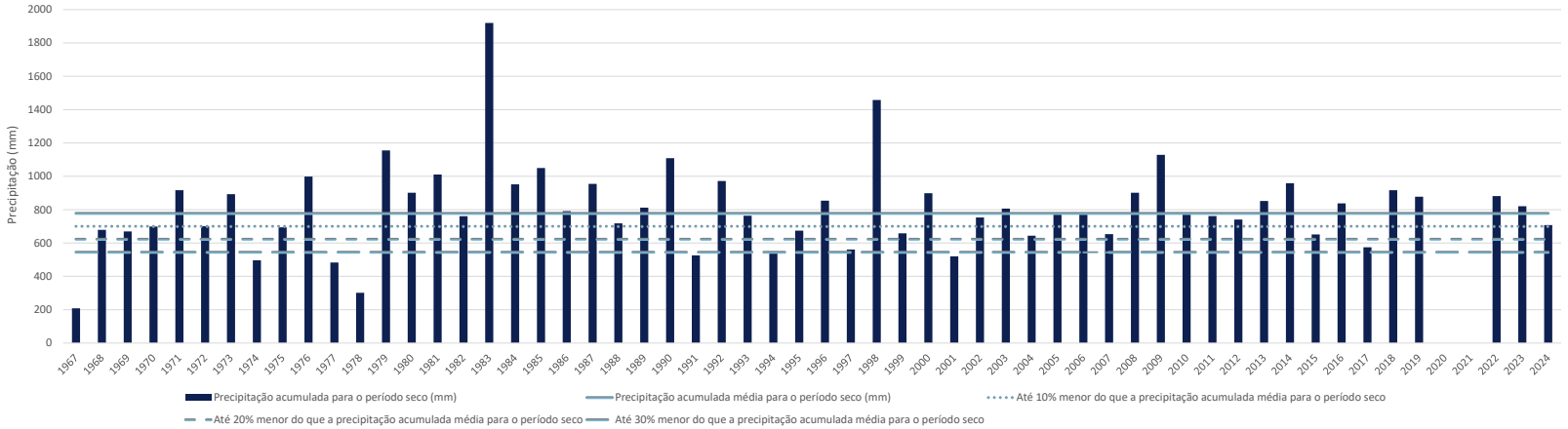


Figura 5-26- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Fazenda São Joaquim (2242016).
Fonte: Elaboração própria.

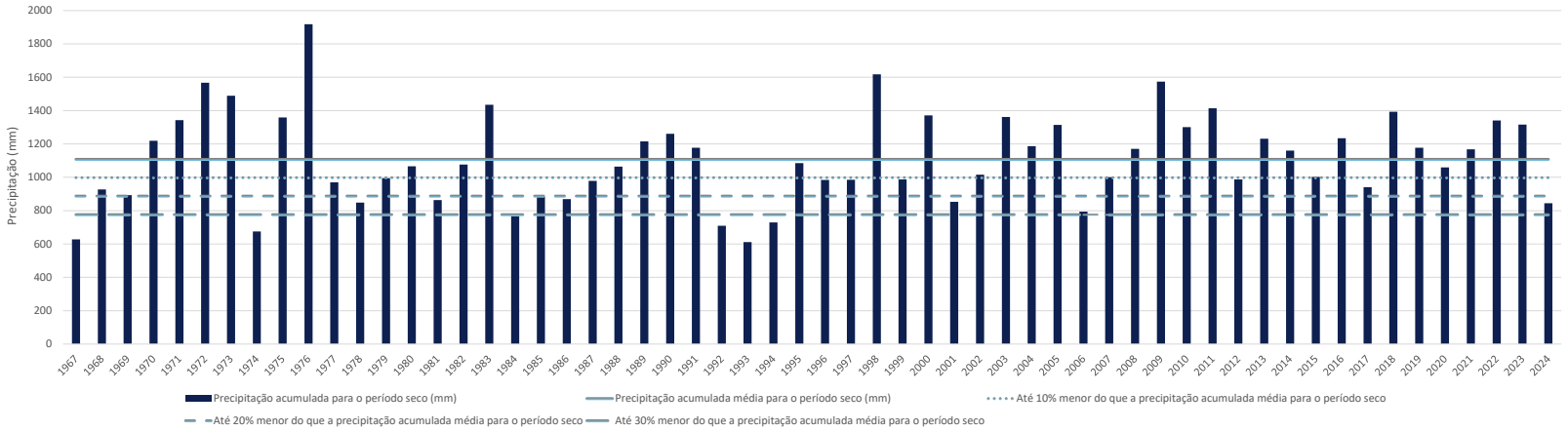


Figura 5-27- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Teodoro de Oliveira (2242024).
Fonte: Elaboração própria.

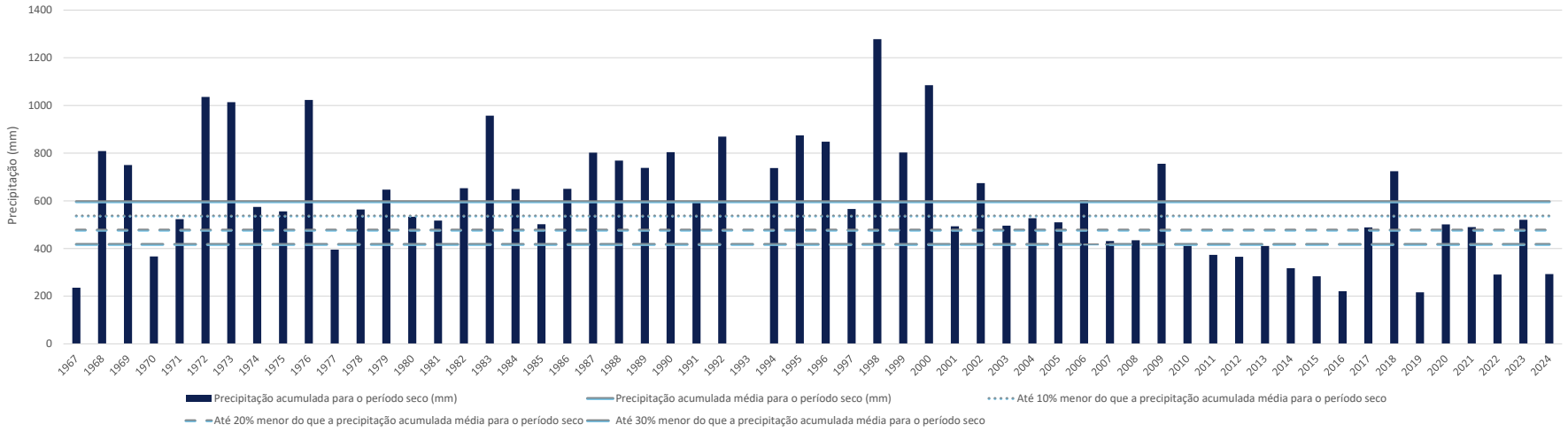


Figura 5-28- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Cascatinha do Conego (2242025).
Fonte: Elaboração própria.

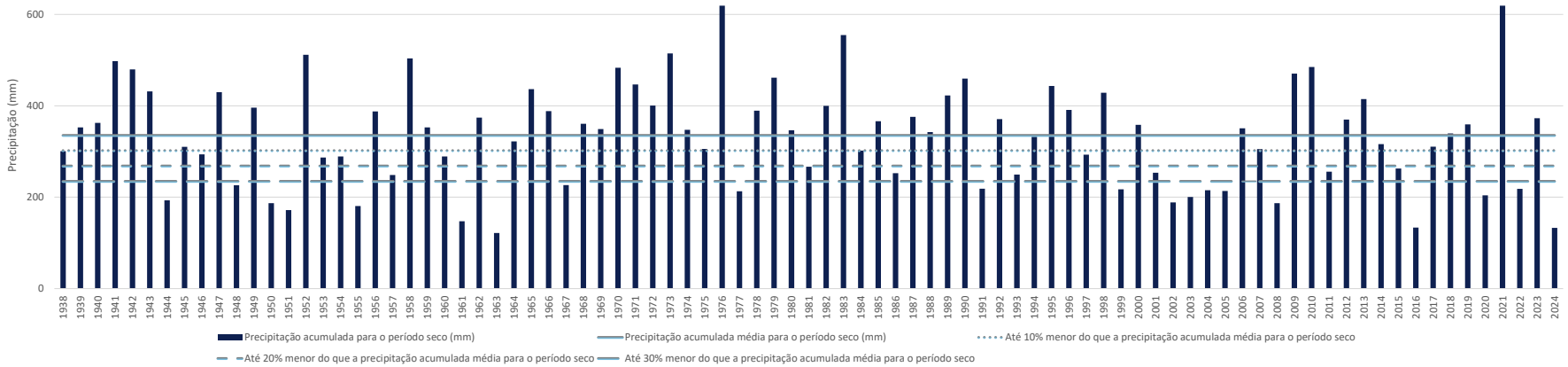


Figura 5-29- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Itamarati – Se (2243010).
Fonte: Elaboração própria.

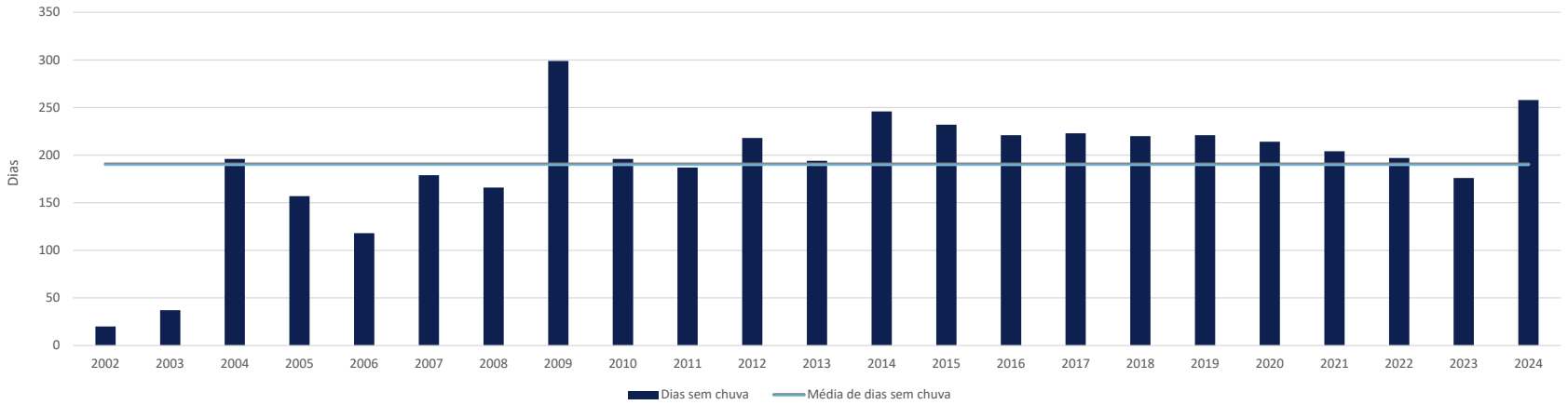


Figura 5-30- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Marambaia (A602).
Fonte: Elaboração própria.

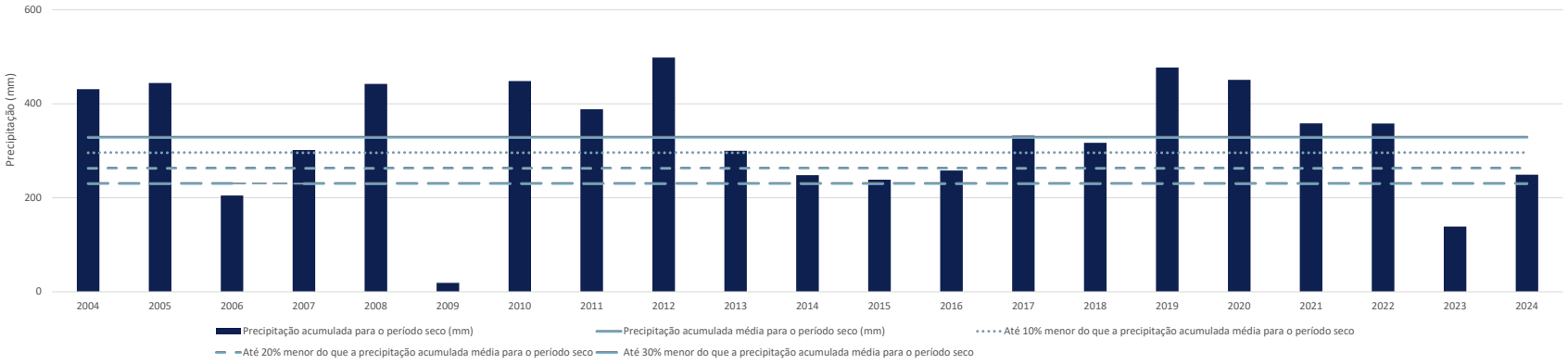


Figura 5-31- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Duque de Caxias – Xerem (A603).
Fonte: Elaboração própria.

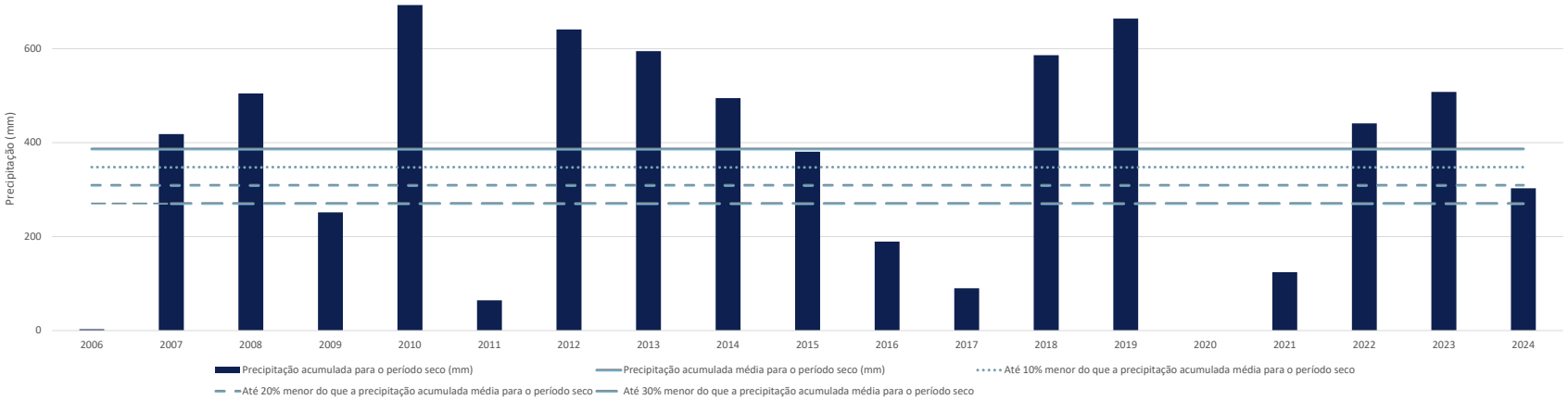


Figura 5-32- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Pico do Couto (A610).
Fonte: Elaboração própria.

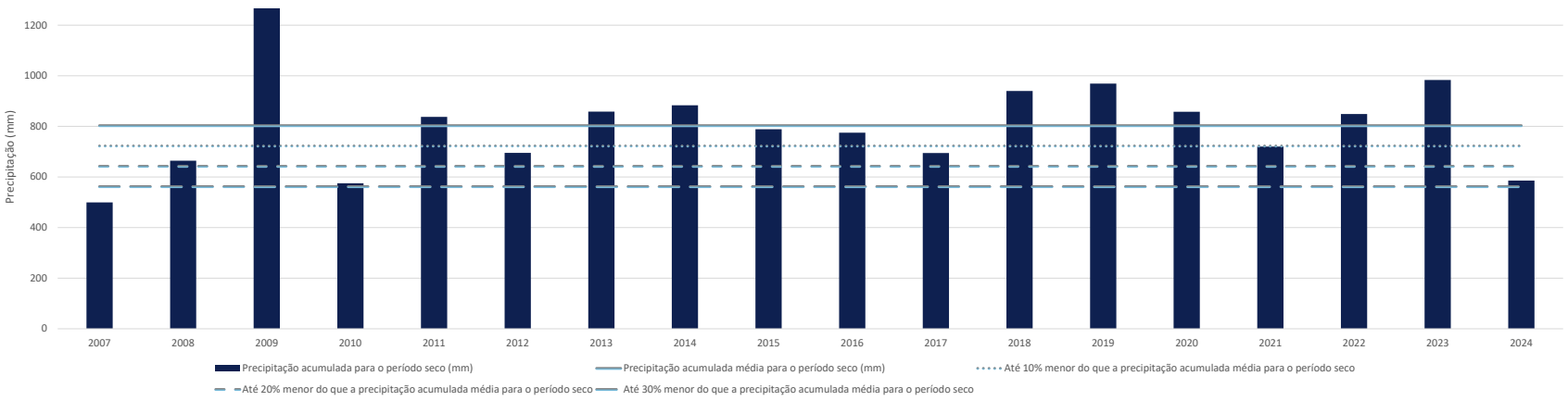


Figura 5-33- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Teresópolis-Parque Nacional (A618).
Fonte: Elaboração própria.

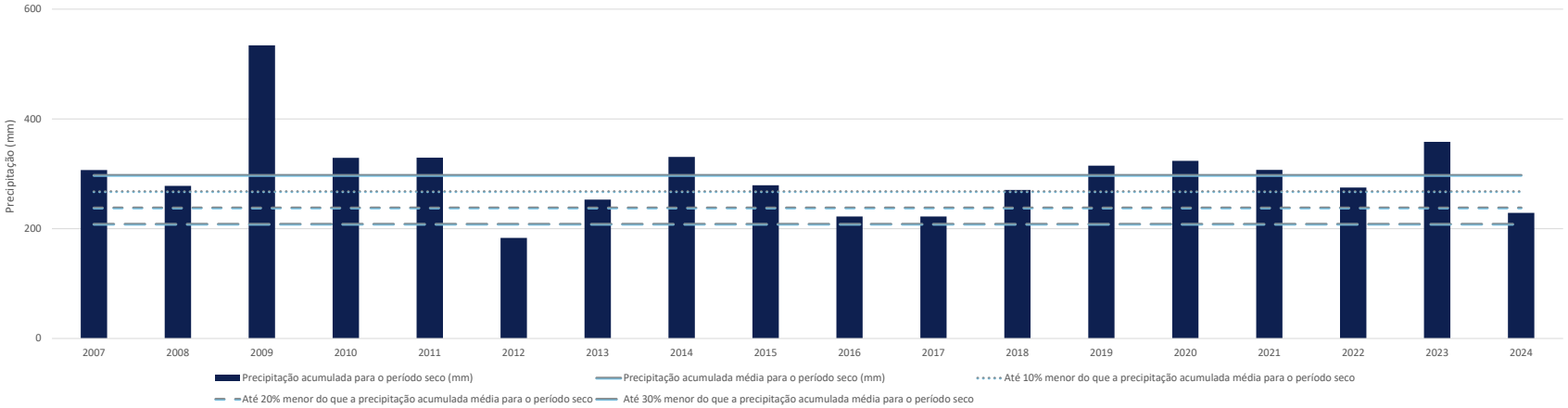


Figura 5-34- Precipitação acumulada para o período seco (maio a outubro) na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Vila Militar (A621).
Fonte: Elaboração própria.

Observando-se, por exemplo, a estação Represa do Paraíso (2242012), verifica-se que em 2014, ano de grave crise hídrica no Sudeste como visto no item 5.2.1, ela registrou um acumulado para o período seco bem próximo da média da estação. No entanto, nos anos seguintes, 2015, 2016 e 2017, essa estação registra um agravamento da seca, com acumulados cerca de 29% menores que a média em 2015, valor que subiu para 40% em 2016. Já a estação Duque de Caxias – Xerem (A603), em 2014 registra um acumulado de quase 31% menor do que a média histórica para a estação, com esse valor reduzindo para cerca de 17% no ano seguinte, 2015, para em 2016 ficar acima da média, porém, em 2017 torna a ficar abaixo dela. Enquanto para a estação Pico do Couto (A610), essa mesma crise não desencadeou acumulados de precipitações menores que a média histórica para a estação em 2014, porém, já no ano seguinte, 2015, fica ligeiramente menor, atingindo um acumulado duas vezes menor em 2016. No entanto, cabe salientar que o ano de 2016 apresentou algumas falhas no período seco.

Essas variações entre as estações já eram esperadas, visto que, apesar da proximidade, há diferentes classificações climáticas na região (Alvares *et al*., 2014). Além disso, as variações do relevo no Estado do Rio de Janeiro exercem papel fundamental na dinâmica climática regional, formando barreiras orográficas que influenciam diretamente no regime de chuvas. Com a presença de diferentes serras, as quais possuem altitudes elevadas, há obstáculos à passagem das massas de ar úmido vindas do Oceano Atlântico, forçando sua ascensão. Esse processo provoca a condensação do vapor d'água e resulta em chuvas orográficas mais intensas nas encostas voltadas para o litoral. Por outro lado, as áreas situadas no lado oposto dessas elevações, sofrem com um clima mais seco. Essa interação entre relevo e circulação atmosférica contribui para a formação de microclimas no Estado, como pode ser observado nas séries históricas das estações pluviométricas avaliadas. Nesse sentido, cabe ressaltar que as estações citadas como exemplo anteriormente, Represa do Paraíso (2242012), Duque de Caxias – Xerem (A603) e Pico do Couto (A610), estão instaladas a 44, 22 e 1.777 metros de altitude, respectivamente, o que impacta diretamente na quantidade de chuva incidente sobre elas.

5.2.2.3 Análise do Regime Fluviométrico

Analisando as séries históricas das estações fluviométricas avaliadas, é possível observar que apenas as estações Cachoeiras de Macacu (59235000) e Parque Ribeira (59240000), ambas localizadas no Rio Macacu, possuem período de dados maior que 10 anos, com 48 e 51 anos, respectivamente. No entanto, a primeira só possui dados até 1978, enquanto a segunda apresenta dados até 2019.

Ademais, como indicado no item 5.2.2.1, foram analisadas estações fluviométricas do INEA. Assim, foram solicitadas as séries de dados por meio da OuveRJ e, em resposta, o órgão encaminhou o *link* de acesso aos dados. Entretanto, apesar do encaminhamento das informações disponíveis, os dados recebidos não continham a série histórica completa necessária para uma avaliação contínua e robusta dos períodos de seca.

Nesse sentido, exceto pela já citada estação Parque Ribeira (59240000), todas as demais avaliadas não apresentam dados para os últimos 10 anos, ou seja, não contemplam as últimas grandes secas, como a de 2014, anteriormente discutida. Dessa forma, por serem dados antigos, não se procedeu a análise a partir de dados fluviométricos.

Considerando este cenário, indica-se fortemente a continuidade do monitoramento realizado na RH-V, visando o estabelecimento de novas bases e séries fluviométricas para o futuro.

5.2.3 ***Aplicação do NDVI***

A associação da redução da precipitação com o aumento expressivo da evapotranspiração tem repercussão direta no dossel da vegetação. Para isto, podem ser aplicados índices com o NDVI, que Gonçalves *et al.* (2021) menciona que foi desenvolvido com o propósito de monitorar a saúde e a densidade da vegetação, sendo mais indicado para regiões de vegetação menos densa.

O NDVI, também chamado por Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, é um dos índices espectrais mais utilizados no sensoriamento remoto para análise da cobertura vegetal. Sua formulação baseia-se na resposta espectral da vegetação no espectro do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR), onde a clorofila absorve fortemente a radiação no vermelho e as estruturas celulares refletem intensamente no infravermelho. Assim, a Equação 24 define o NDVI:

Equação 24

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Essa relação produz valores normalizados entre -1 e +1, sendo que valores próximos de +1 indicam vegetação densa e saudável, enquanto valores próximos de zero ou negativos sugerem solo exposto, água, nuvens ou áreas urbanas. O NDVI é sensível à densidade e à condição fisiológica da vegetação, tornando-se uma ferramenta valiosa para monitoramento ambiental, estudos agropecuários, análise de desmatamento, detecção de seca e mapeamento de áreas agrícolas. O Quadro 5-9 apresenta os valores esperados de NDVI e sua respectiva interpretação.

Quadro 5-9 – Interpretação qualitativa dos resultados típicos do NDVI.

Faixa de Valores de NDVI	Classificação Geral	Interpretação
< 0,0	Água / Sombras / Nuvens	Superfícies com alta absorção no NIR e RED
0,0 – 0,1	Vegetação muito rala / degradada	Pouca ou nenhuma vegetação
0,1 – 0,2	Vegetação rala	Campos secos, pastagens esparsas
0,2 – 0,3	Vegetação moderada	Áreas de transição, vegetação arbustiva
0,3 – 0,5	Vegetação densa	Pastagens, lavouras em início de crescimento
0,5 – 0,7	Vegetação muito densa / saudável	Lavouras em bom estado, mata secundária
0,7 – 0,9	Saturação (valor raro)	Florestas tropicais, vegetação nativa robusta
> 0,9	Saturação (valor raro)	Pode indicar erros ou vegetação muito exuberante

Fonte: Elaboração própria.

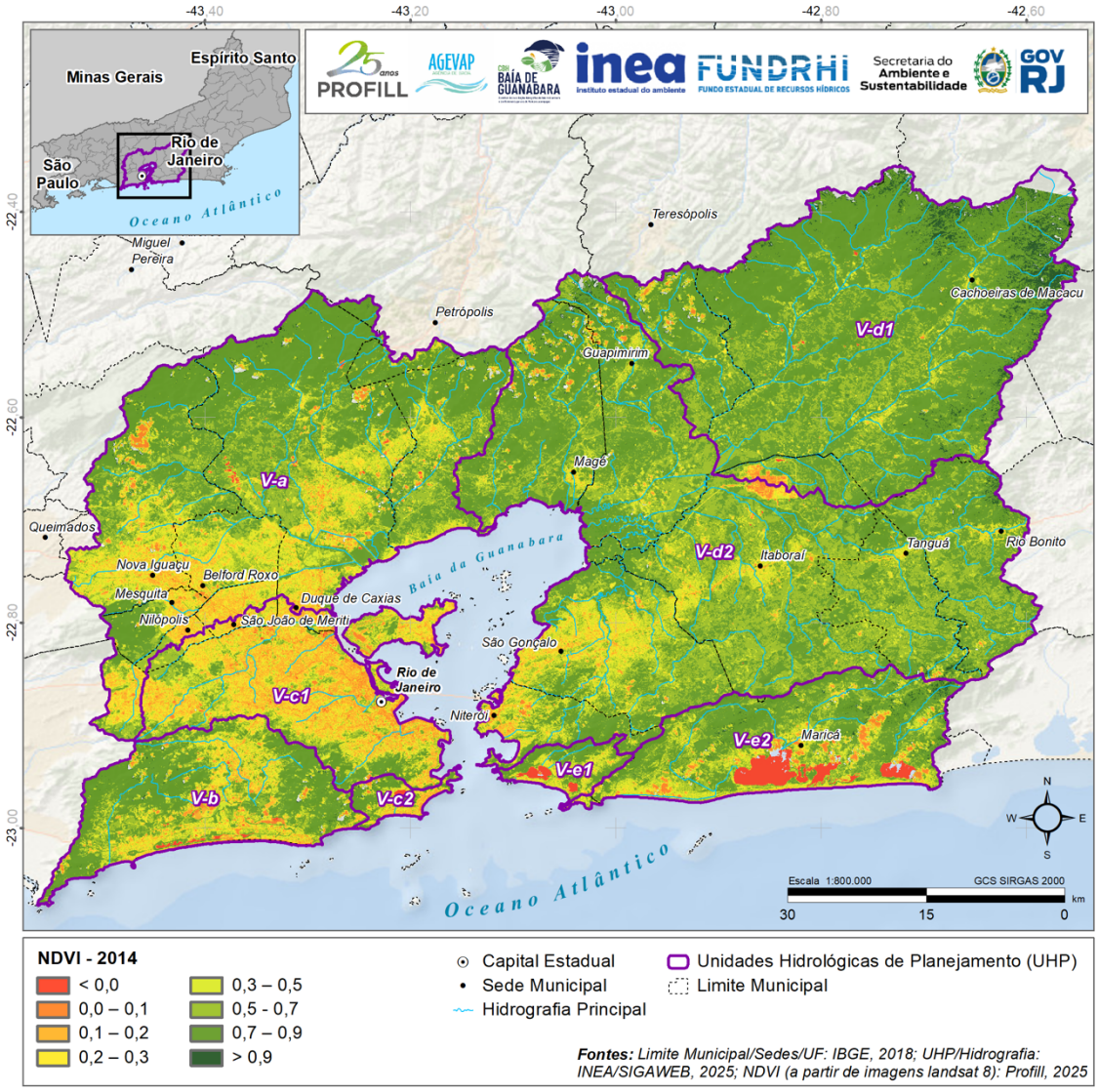
Para esta finalidade, a aplicação do NDVI foi realizada com imagens obtidas por sensoriamento remoto do satélite Landsat 8. Lançado em 2013 como parte do programa Landsat da NASA e do USGS, carrega dois sensores principais: o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O OLI é responsável pelas bandas ópticas e inclui nove bandas espectrais no visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. A resolução espacial das bandas do OLI é de 30 m, com exceção da banda pancromática (B8), que possui 15 m. A resolução temporal do Landsat 8 é de 16 dias, o que permite revisitas frequentes e análise multitemporal de fenômenos ambientais (USGS, 2023). Para aplicação do NDVI a partir de imagens de satélite, são utilizadas as bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED). No caso do satélite Landsat 8, são a banda 5 (NIR: 0.85–0.88 µm) e a banda 4 (RED: 0.64–0.67 µm).

A presente aplicação foi realizada através da plataforma Google Earth Engine, que possui acesso direto aos dados da Missão Landat 8 (USGS, 2025). As imagens foram filtradas entre todas as disponíveis para os meses secos, entre maio e outubro. Após, foram selecionadas aquelas com menor cobertura de nuvens para serem mais representativas da aplicação. Estas, por sua vez, onde possuíam cobertura de nuvens, foram complementadas com os respectivos *pixels* pelas respostas espectrais das demais imagens. Este resultado foi, então, exportado e refinado com geoprocessamento.

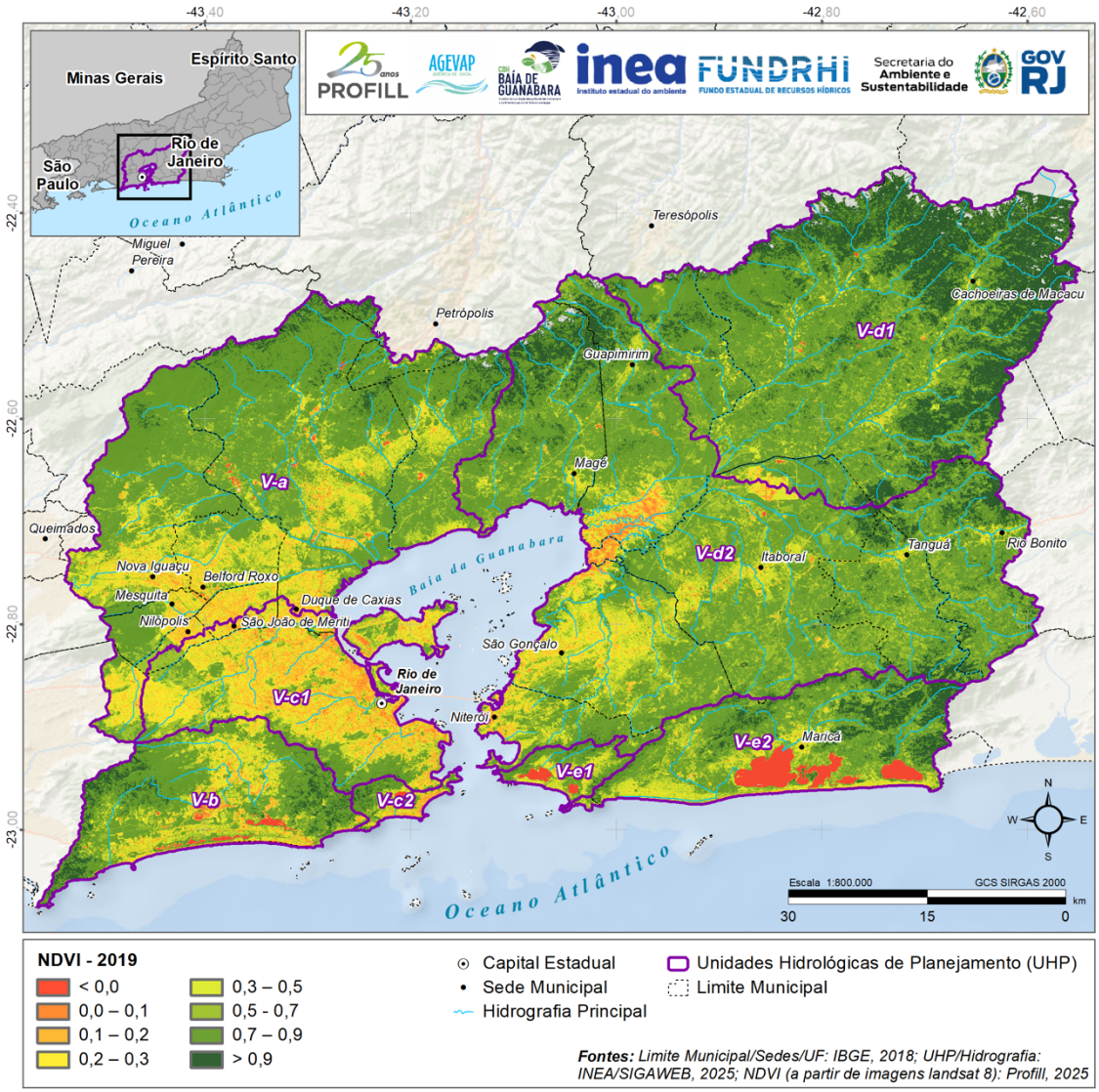
A seleção dos anos analisados foi realizada a partir dos resultados da análise pluviométrica. Foram selecionados três anos tipicamente mais secos, sendo eles: 2014, 2015 e 2024, e três anos mais úmidos, sendo eles: 2019, 2022 e 2023. Após a aplicação do índice NDVI, os anos selecionados para análise foram 2014, que correspondeu aos menores valores de NDVI, e os valores de NDVI para o ano cujos resultados foram maiores, que correspondeu à 2019. O Mapa 5-21 apresenta os resultados de NDVI para o ano de 2014, enquanto o Mapa 5-22, para o ano de 2019.

A partir dos resultados apresentados nos referidos mapas, observa-se que a seca afeta principalmente as regiões mais vegetadas, especialmente ao norte

e nordeste da RH-V. Entretanto, há piora significativa na qualidade da vegetação em toda a parte leste da RH-V. A região menos é afetada é aquela localizada nas regiões mais urbanizadas, onde há menos áreas vegetadas e, portanto, menor sensibilidade ao NDVI.



Mapa 5-21 - Resultados de NDVI para o ano mais seco dentre os avaliados – 2014.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-22 - Resultados de NDVI para o ano mais chuvoso dentre os avaliados – 2019.
Fonte: Elaboração própria.

5.2.4 *Aplicação do SPI*

A metodologia original para o cálculo do índice SPI é descrita por Mckee *et al*. (1993) e prevê a utilização da função gama para o agrupamento dos desvios dos padrões de distribuição de precipitação em relação à função normal. O SPI pode ser calculado com diferentes intervalos de acumulação, a partir de um mês até 48 meses. Cada intervalo apresenta um tipo de resposta, por exemplo, o intervalo de três meses pode responder sobre impactos agrícolas e pequenos reservatórios, sendo melhor para tendências de curta duração; já o de seis meses busca identificar tendências

sazonais e impactos agrícolas mais prolongados, podendo revelar recuperação lenta de períodos críticos. Para esta aplicação, foi considerado o SPI de 12 meses, que avalia impactos hidrológicos de longo prazo, como recarga de aquíferos e reservatórios, e é utilizado no âmbito do planejamento hídrico. No caso de SPI acumulado de 12 meses, eventos com SPI ≤ -2 apontam secas hidrológicas severas.

O SPI de 12 meses foi calculado com base na série histórica de precipitação diária, agregada em volumes mensais. A série foi convertida para distribuição gama, sendo posteriormente padronizada para seguir a distribuição normal. Valores de SPI acima de 0 indicam anos com maiores pluviosidades, podendo valores acima de 1,50 indicar excesso de precipitação; valores abaixo de 0, condição de seca, conforme o Quadro 5-10.

Quadro 5-10 – Classificação qualitativa do SPI conforme McKee *et al.* (1993).

SPI	Classificação
>2	Extremamente úmido
1,50 até 1,99	Severamente úmido
1,00 até 1,49	Moderadamente úmido
0,99 até -0,99	Próximo ao normal
-1,00 até -1,49	Moderadamente seco
-1,50 até -1,99	Severamente seco
<-2	Extremamente seco

Fonte: Elaboração própria.

As estações para as quais foi aplicado o índice de SPI são as mesmas apresentadas no capítulo 5.2.2.1 e os resultados são apresentados entre a Figura 5-35 e a Figura 5-51. Nelas, é possível perceber que as estações Pico do Couto (A610) e Duque de Caxias – Xerem (A603) não apresentam densidade amostral suficiente para esta análise e, portanto, foram desconsideradas.

A análise dos gráficos de SPI apresentados para as estações pluviométricas da região evidencia variações significativas nos regimes de precipitação ao longo das últimas décadas, permitindo identificar períodos distintos de seca e de pluviosidade elevada. De forma geral, os resultados mostram coerência temporal entre as séries, com recorrência de eventos secos e úmidos em intervalos semelhantes.

Nas estações mais antigas, como Fazenda São João (2242005), Gaviões (2242008), São Lourenço (2242009) e Manuel Ribeiro (2242010), observam-se secas expressivas entre os anos de 1998 e 2001, com valores de SPI frequentemente inferiores a -2, e um segundo ciclo de estiagem nos anos de 2014-2016. Esses períodos secos também aparecem de forma consistente em outras estações da rede, como Represa do Paraíso (2242012), Fazenda do Carmo (2242013), Fazenda São Joaquim (2242016) e Cascatinha do Cônego (2242025), o que indica uma abrangência espacial significativa do fenômeno. Por outro lado, os valores positivos mais acentuados, indicando pluviosidade acima da média, ocorrem de maneira destacada nos anos de 1983–1985 e 2009–2011, quando o SPI atinge valores superiores a +2 em diversas estações.

Nas estações mais recentes, como as automáticas Marambaia (A602), Xerém (A603), Pico do Couto (A610), Teresópolis – Parque Nacional (A618) e Vila Militar (A621), os resultados seguem o mesmo padrão regional, ainda que com séries temporais mais curtas. As secas de 2000–2002 e, principalmente, de 2014–2016 são evidentes, com SPI negativo persistente. Já os períodos úmidos se concentram entre 2009-2011, indicando coerência com as tendências observadas nas estações convencionais.

Em termos gerais, o conjunto de resultados permite identificar dois períodos principais de estiagem regional: o primeiro no final da década de 1990 e início dos anos 2000 (1998–2001), e o segundo entre 2014 e 2016.

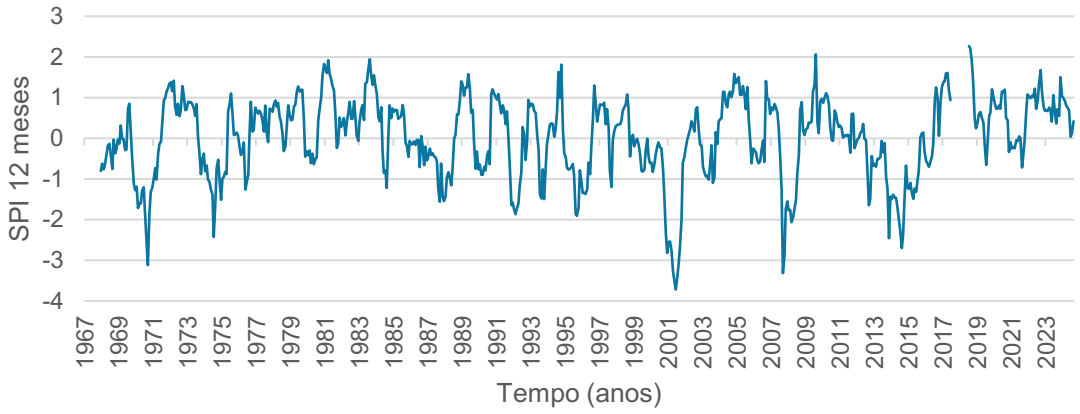


Figura 5-35 - SPI na estação pluviométrica Fazenda São João (2242005).
Fonte: Elaboração própria.

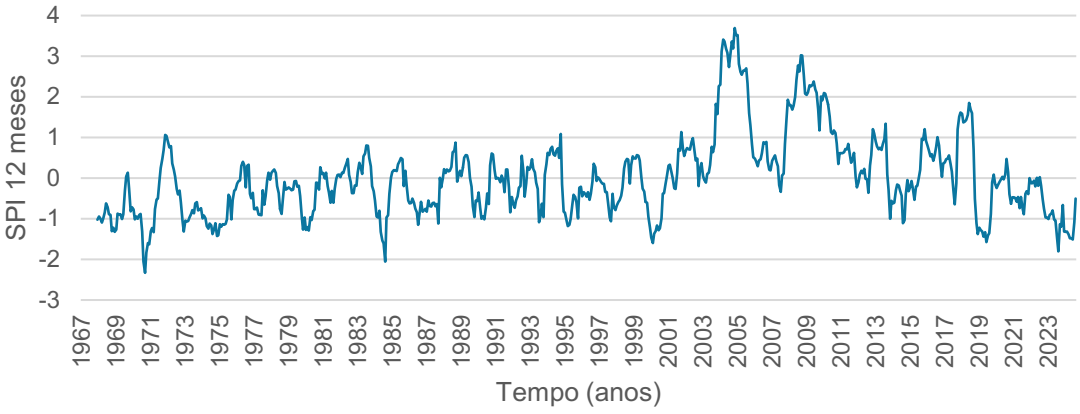


Figura 5-36 - SPI na estação pluviométrica Gaviões (2242008).
Fonte: Elaboração própria.

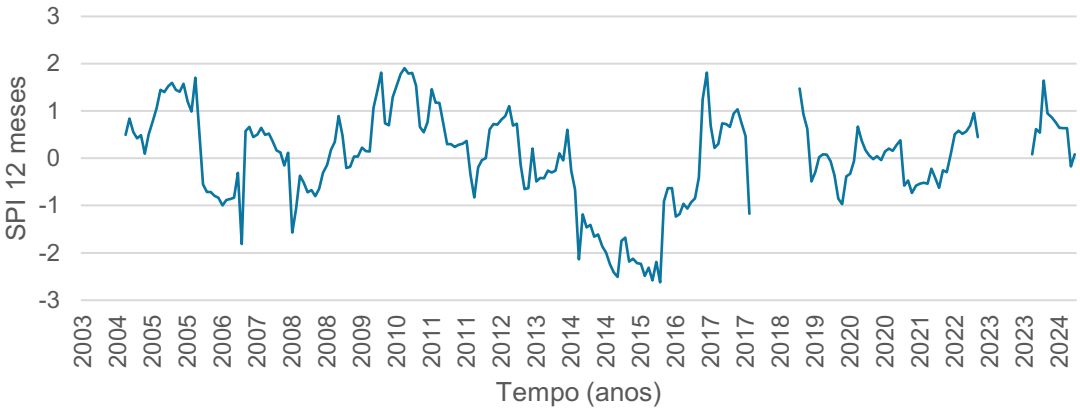


Figura 5-37 - SPI na estação pluviométrica São Lourenço (2242009).
Fonte: Elaboração própria.

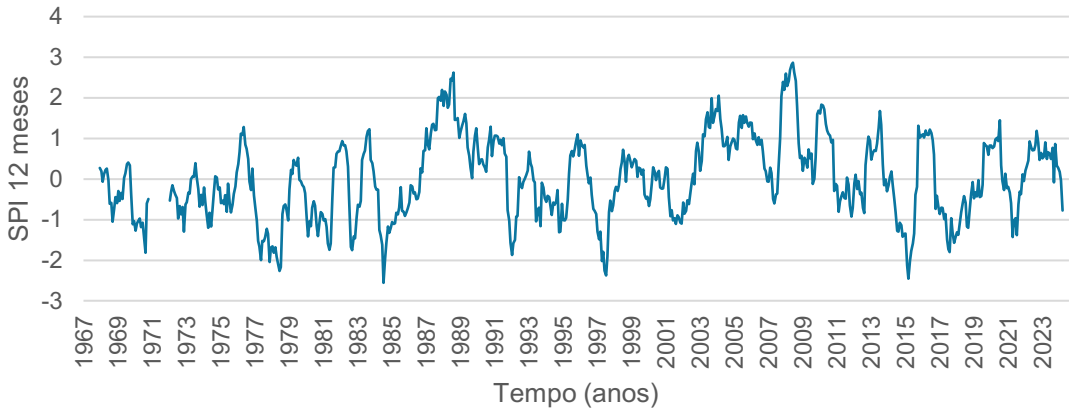


Figura 5-38 - SPI na estação pluviométrica Manuel Ribeiro (2242010).
Fonte: Elaboração própria.

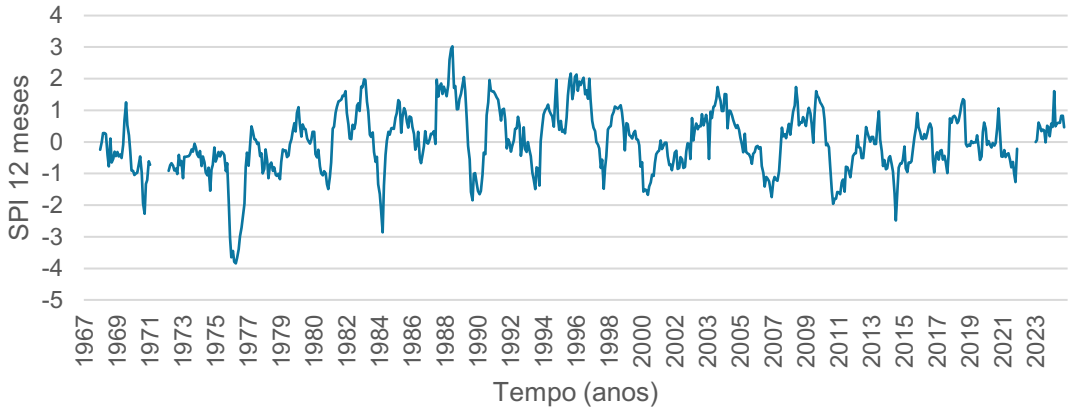


Figura 5-39 - SPI na estação pluviométrica de Bombeamento de Imunana (2242011).
Fonte: Elaboração própria.

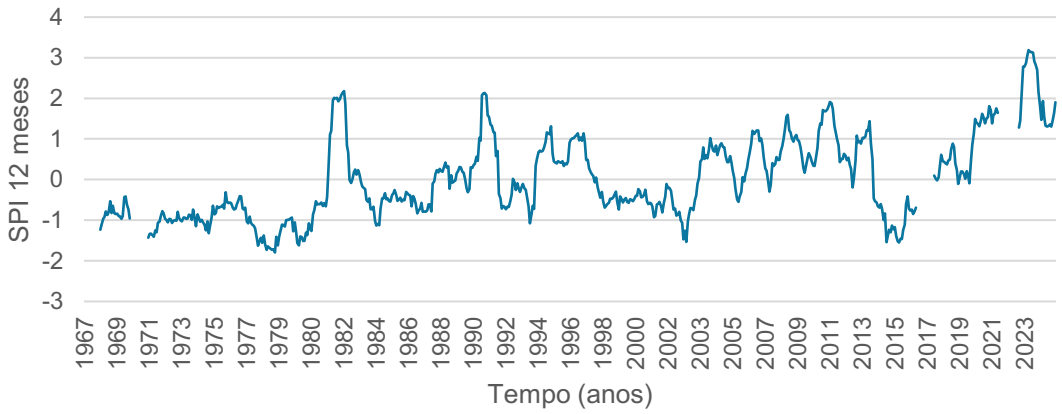


Figura 5-40 - SPI na estação pluviométrica Represa do Paraíso (2242012).
Fonte: Elaboração própria.

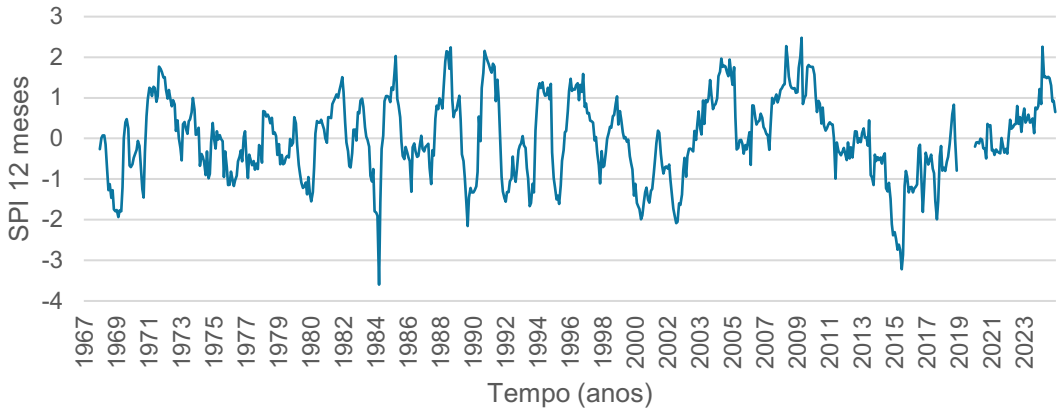


Figura 5-41 - SPI na estação pluviométrica Fazenda do Carmo (2242013).
Fonte: Elaboração própria.

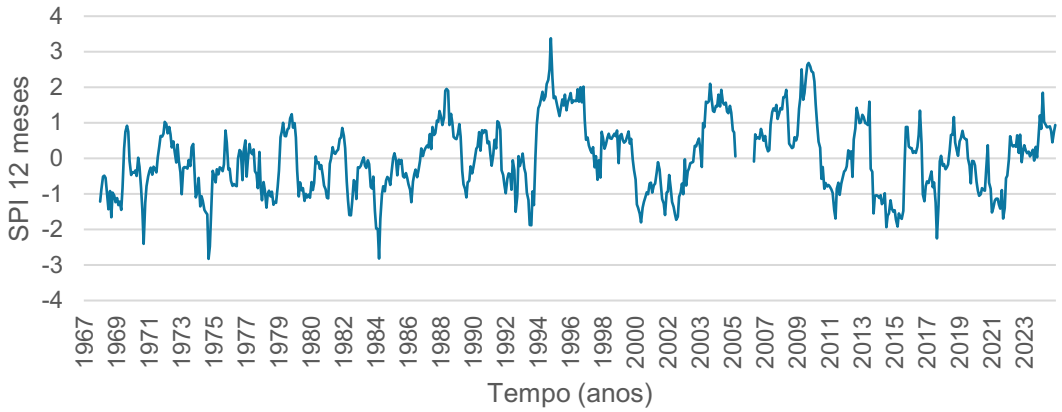


Figura 5-42 - SPI na estação pluviométrica Japuíba (2242014).
Fonte: Elaboração própria.

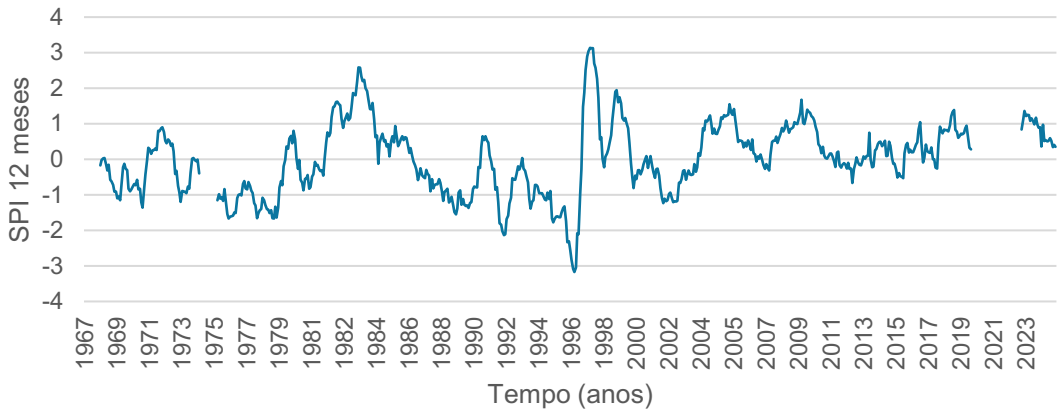


Figura 5-43 - SPI na estação pluviométrica Fazenda São Joaquim (2242016).
Fonte: Elaboração própria.

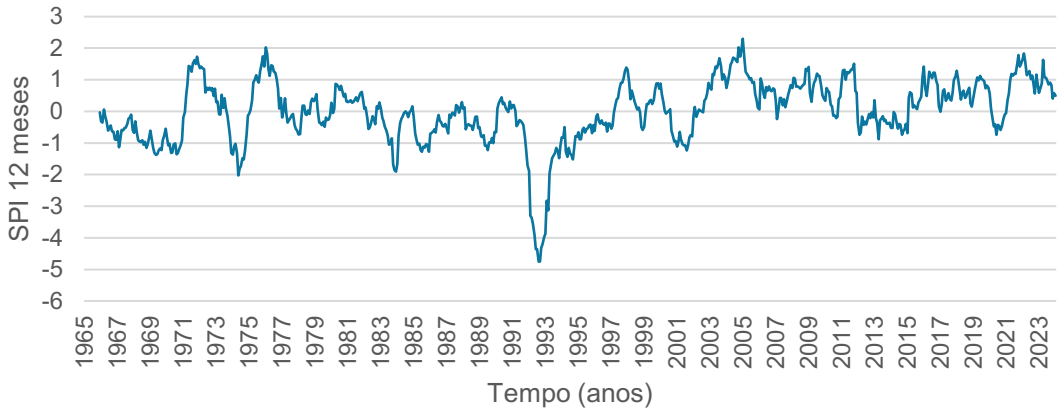


Figura 5-44 - SPI na estação pluviométrica Teodoro de Oliveira (2242024).
Fonte: Elaboração própria.

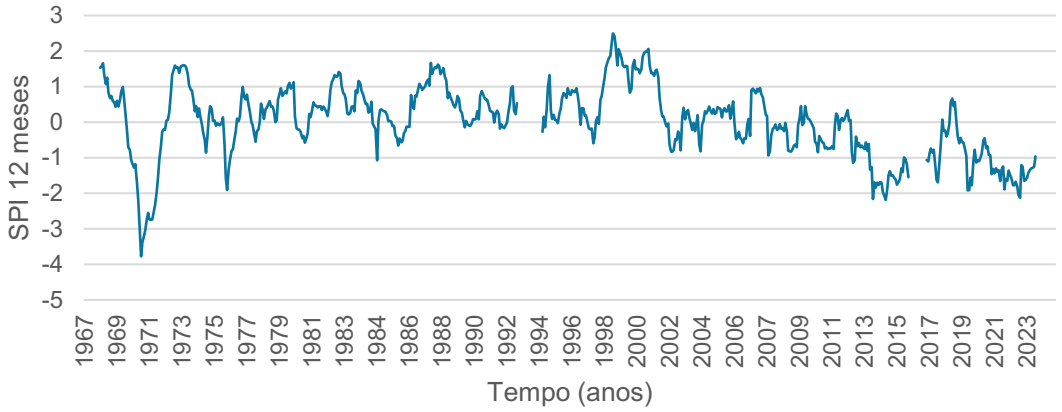


Figura 5-45 - SPI na estação pluviométrica Cascatinha do Conego (2242025).
Fonte: Elaboração própria.

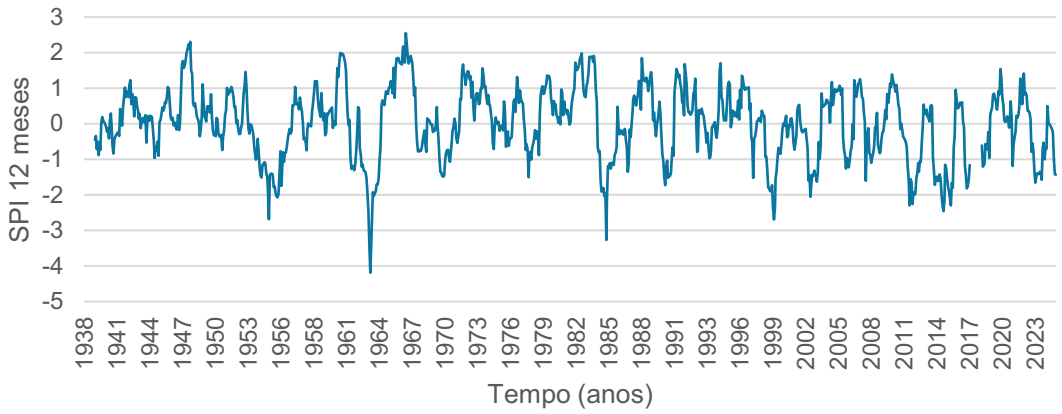


Figura 5-46 - SPI na estação pluviométrica Itamarati – Se (2243010).
Fonte: Elaboração própria.

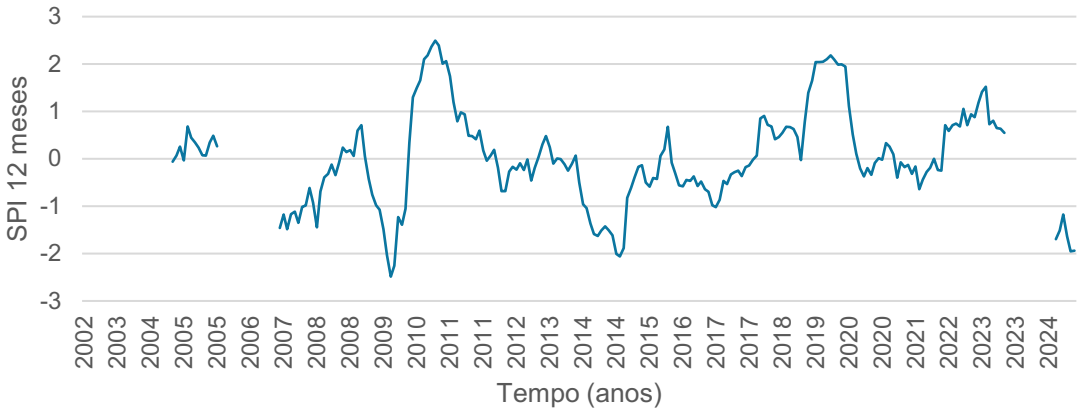


Figura 5-47 - SPI na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Marambaia (A602).
Fonte: Elaboração própria.

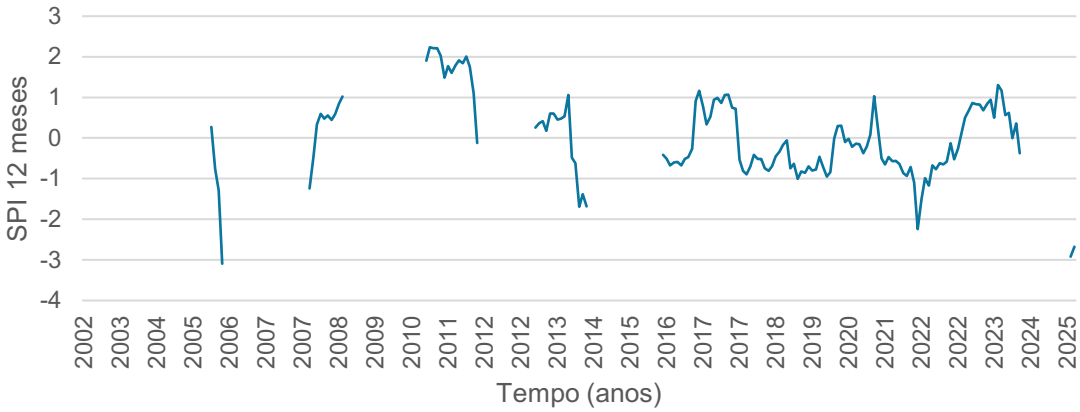


Figura 5-48 - SPI na estação pluviométrica Duque de Caxias – Xerem (A603).
Fonte: Elaboração própria.

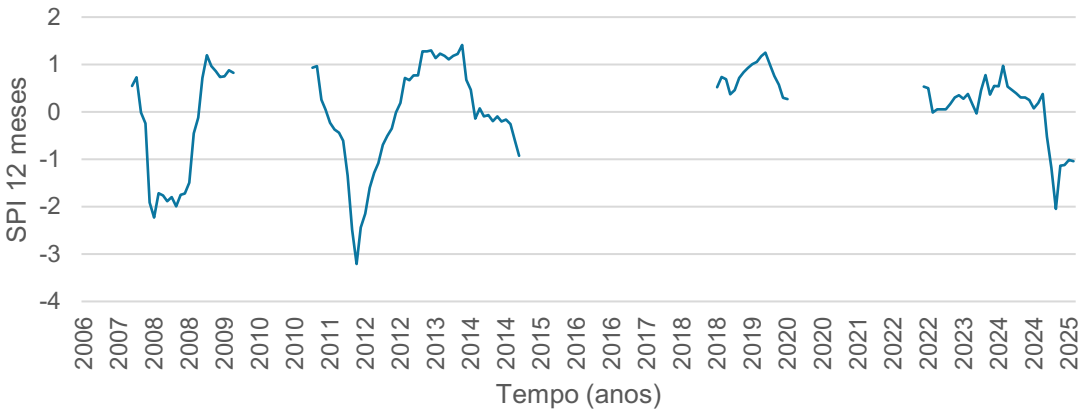


Figura 5-49 - SPI na estação pluviométrica Pico do Couto (A610).
Fonte: Elaboração própria.

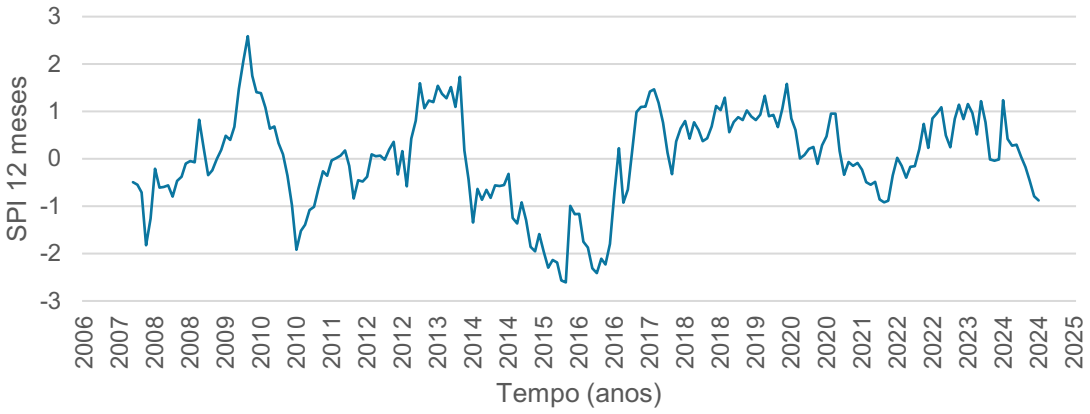


Figura 5-50 - SPI na estação pluviométrica Teresópolis - Parque Nacional (A618).
Fonte: Elaboração própria.

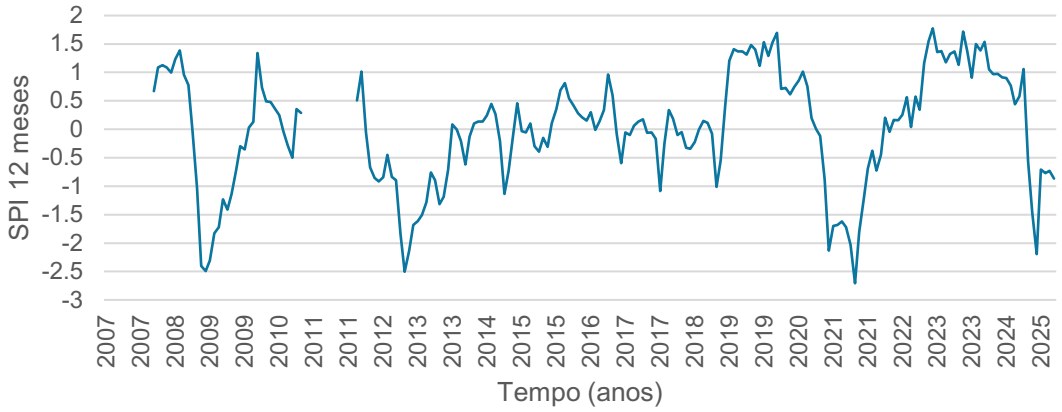


Figura 5-51 - SPI na estação pluviométrica Rio de Janeiro - Vila Militar (A621).
Fonte: Elaboração própria.

5.2.5 *Impacto das Mudanças Climáticas*

As mudanças climáticas estão associadas a alterações significativas no ciclo hidrológico, afetando a frequência, a duração e a intensidade dos períodos de estiagem. O aumento da temperatura média global intensifica a evapotranspiração e altera os padrões de precipitação, favorecendo a ocorrência de estiagens mais severas e prolongadas (IPCC, 2021). Essa combinação reduz a disponibilidade hídrica em rios, lagos e aquíferos, comprometendo tanto os usos múltiplos da água, quanto a segurança hídrica das populações. As estiagens intensificadas pelas mudanças climáticas geram também impactos indiretos, como perda de produtividade agrícola, au-

mento no risco de incêndios florestais e degradação de ecossistemas aquáticos e terrestres (IPCC, 2021). Esses efeitos tendem a agravar desigualdades sociais, principalmente em áreas que dependem fortemente da agricultura de subsistência e de fontes hídricas superficiais.

No contexto brasileiro, a ANA aponta que a variabilidade climática já tem produzido impactos relevantes em diferentes bacias hidrográficas, com destaque para a redução das vazões em períodos críticos e a consequente pressão sobre a geração hidrelétrica, o abastecimento público e a irrigação (ANA, 2021).

Especificamente na América do Sul, Brêda *et al*. (2020) estudou como as projeções de precipitação podem levar à alteração dos regimes de vazões, apontando que há possibilidade de redução nas vazões da maioria das bacias hidrográficas do continente, com exceção da bacia hidrográfica do Rio Uruguai, que possui tendência a ter aumento nas vazões.

Chagas, Chaffe e Blöschl (2022) apontam que as mudanças do uso e ocupação do solo aumentaram os efeitos de mudanças climáticas nas vazões no Brasil nas últimas quatro décadas. O estudo ainda indica que o aumento das secas está relacionado tanto com a diminuição das chuvas, quanto com o aumento do uso da água em zonas agrícolas. Já a aceleração do ciclo, que acarreta inundações e secas mais severas (“*wet wetter and dry drier*”), está relacionada não apenas com a ocorrência das chuvas, mas também com o desmatamento, ocorrendo em 29% da área de estudo (CHAGAS; CHAFFE; BLÖSCHL, 2022).

Outro estudo, esse desenvolvido por Chagas e Chaffe (2019), indica uma tendência clara de redução da chuva média anual e aumento da duração dos períodos secos em grande parte do Sudeste Brasileiro, incluindo a RH-V. Cabe salientar, que o prolongamento das estiagens compromete tanto a disponibilidade de água para abastecimento público, quanto a diluição natural de poluentes que chegam aos corpos d’água.

Outro aspecto ressaltado no estudo, se trata do aumento da sazonalidade das chuvas no Sudeste, ou seja, a concentração da precipitação em períodos mais curtos do ano. Dessa forma, se intensificam mais os contrastes entre longos intervalos de estiagem e meses muito chuvosos. O primeiro, como anteriormente discutido, há o favorecimento da deterioração da qualidade da água, enquanto no segundo, há maior aporte de carreamento de sedimentos para os corpos hídricos, o que também pode prejudicar o tratamento de água.

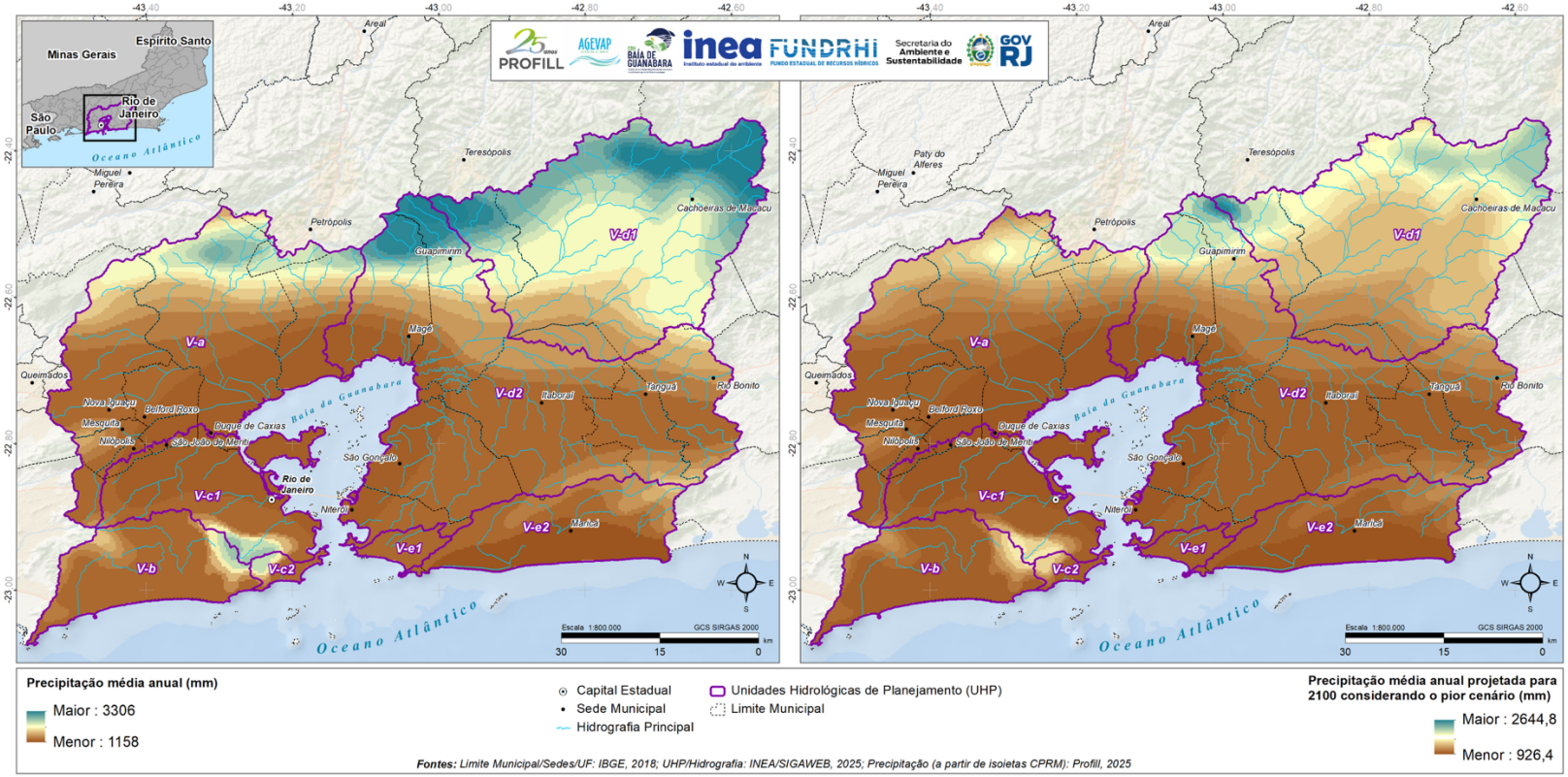
A associação entre aumento de dias secos e maior carga poluidora evidência que as mudanças climáticas potencializam riscos já existentes. Ademais, o aumento da sazonalidade associado a redução da chuva média indica que essa redução foi maior no período mais seco do ano. Nesse sentido, Miranda *et al*. (2023) avançam sobre esse diagnóstico ao projetar cenários futuros de vazões mínimas (Q95), revelando que até 40% das bacias sul-americanas, incluindo o Sudeste, podem sofrer reduções entre 1% e 20% até o fim do século, confirmando que a região tende a enfrentar estiagens hidrológicas mais frequentes e intensas.

Outro ponto relevante trazido pelos autores é o aumento da duração dos períodos secos anuais, estimado em até 30 dias adicionais nas grandes bacias sul-americanas, com exceção da bacia hidrográfica do Rio Uruguai, conforme anteriormente citado. Para a bacia hidrográfica do Rio Guandu e demais sistemas de abastecimento da região metropolitana carioca, esse prolongamento de estiagens significa maior dependência de manobras operacionais emergenciais e ampliação dos riscos de crises como a vivida em 2014. Tal cenário reforça ainda mais a vulnerabilidade de rios já degradados, como o Rio Iguaçu, o Rio Meriti e o Rio Sarapuí, cujas vazões críticas comprometem tanto o abastecimento humano, quanto a qualidade ambiental.

Além disso, Miranda *et al.* (2023), também projetam um aumento no número de dias com vazão zero em bacias brasileiras, especialmente no Nordeste, mas alerta que o Sudeste não está imune a impactos relevantes. Embora não se espere seca absoluta em rios da RH-V, a tendência de redução de disponibilidade hídrica e

aumento do tempo de recuperação dos sistemas hídricos representam ameaças significativas. Essa mudança no regime hidrológico compromete não apenas o fornecimento de água potável, mas também a resiliência ecológica da baía, onde períodos secos prolongados agravam a eutrofização e a baixa oxigenação das águas.

Como forma de ilustrar o possível impacto da redução das vazões na Baía de Guanabara, considerou-se o resultado de Miranda *et al*. (2023) de que, para a região, as vazões devem reduzir cerca de 20% até o final do século (2100). Desta forma, realizou-se uma análise em relação às precipitações totais anuais obtidas por meio das isoietas da CPRM (2006) foi aplicada uma redução de 20% nestas precipitações e o resultado pode ser observado no Mapa 5-23, que apresenta a comparação entre os totais anuais atuais e os totais anuais projetados, considerando as mudanças climáticas. Destaca-se que a legenda dos mapas não apresenta a mesma escala e que este cenário de 20% considera a pior previsão.



Mapa 5-23 – Comparação entre as precipitações totais anuais na RH-V no cenário atual (esquerda) e cenário futuro (direita) considerando as mudanças climáticas.
Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos impactos das mudanças climáticas especificamente na Baía de Guanabara, a tese de Oliveira (2025), a qual entre outras questões, busca responder qual a sensibilidade e vulnerabilidade dos ecossistemas marinhos do Brasil, para tal, utiliza a Baía de Guanabara e áreas adjacentes como estudo de caso. O estudo identifica que em períodos de estiagem, a redução da renovação das massas d'água e das vazões fluviais acentua processos de eutrofização, agravando a degradação ambiental já presente. A tese também discute os efeitos cumulativos das mudanças climáticas, mostrando que o aumento da temperatura das águas costeiras, somado à diminuição da recarga fluvial em anos de seca, favorece a proliferação de organismos patogênicos e o desequilíbrio biogeoquímico. No caso da Baía de Guanabara, a associação entre estiagens prolongadas e aquecimento superficial pode intensificar episódios de mortandade de peixes, redução de Oxigênio Dissolvido (OD) e comprometimento da balneabilidade. Esses impactos têm reflexo direto na saúde pública e na economia local, uma vez que atingem desde atividades pesqueiras até o turismo.

Diante desse cenário, torna-se fundamental a adoção de estratégias de adaptação, incluindo a diversificação das fontes de abastecimento, o aumento da eficiência no uso da água, a ampliação de sistemas de monitoramento climático-hidrológico e a integração de políticas públicas voltadas à resiliência climática. A mitigação dos impactos sobre períodos de estiagem depende, portanto, de um planejamento integrado que considere tanto as projeções climáticas globais, quanto as vulnerabilidades locais. Cabe também destacar que, quase todos os anos, são emitidos alertas para a redução de consumo de água no inverno, para o Sistema Guapi-Macacu, que opera frequentemente em níveis mínimos. Essa estratégia indica um quadro recorrente de estresse hídrico, agravado pelo fato de o referido sistema não possuir reservação relevante, uma vez que se trata de uma captação a fio d'água, altamente sensível às variações sazonais de vazão.

5.2.6 *Estiagens Prolongadas e Infraestrutura Hídrica*

Segundo a Rio Mais (2020), com exceção de Niterói, todas as cidades que compõem a bacia hidrográfica drenante da Baía de Guanabara possuem sistemas de esgotamento sanitário defasados para atender as mais de 8 milhões de pessoas que vivem na RH-V. Com o aumento desordenado da população, associado à falta de infraestrutura urbana, com sistemas de saneamento inadequados, casos de poluição na referida baía devido à falta de tratamento de esgoto doméstico são intensificados. Nesse sentido, a Figura 5-52 apresenta uma relação do aumento da população com o aumento de matérias jornalísticas com tema de poluição da Baía de Guanabara. Nela, é possível observar que, de forma geral, há uma relação direta entre os aumentos, mas também deve-se levar em consideração que é crescente a preocupação com pautas ambientais, o que pode ter levado a um aumento de publicações.

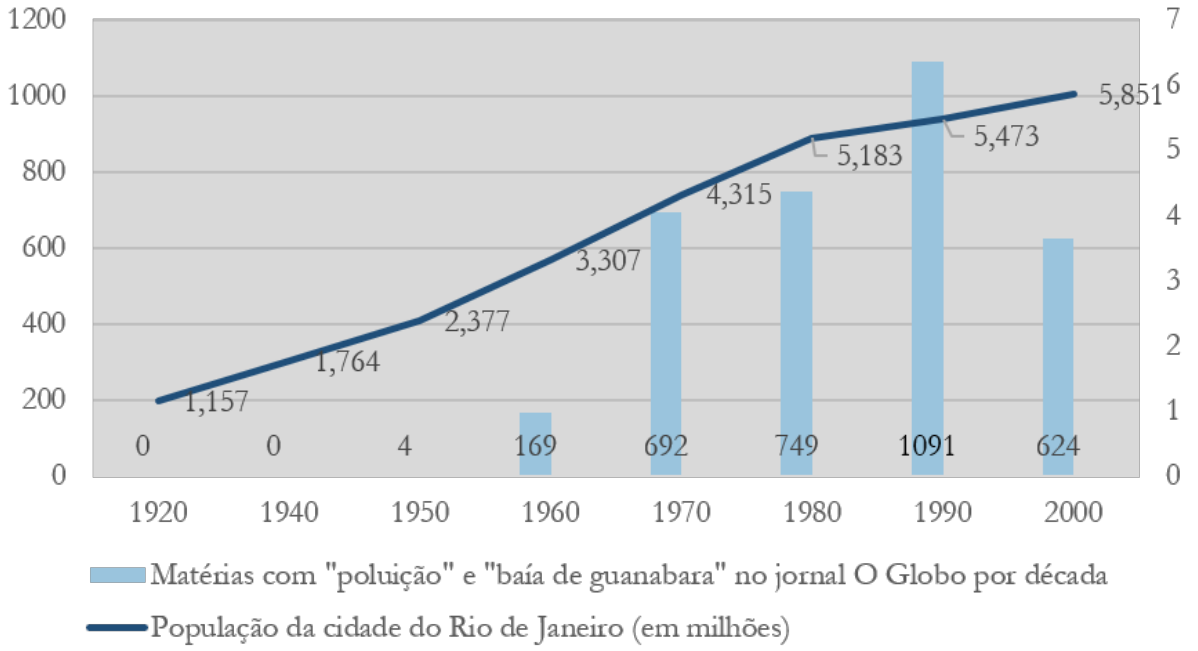


Figura 5-52- Relação do aumento da população carioca com o aumento de matérias sobre poluição na Baía de Guanabara.
Fonte: *O Globo*; IBGE (*apud* Filho Misse, 2020).

De acordo com cálculos feitos pelo engenheiro sanitarista Adacto Ottoni, a pedido do jornal O Globo, utilizando dados de 2014, a cada segundo, chegam ao

mar pelos rios que desembocam na Baía de Guanabara aproximadamente 18.400 litros de esgoto doméstico sem qualquer tratamento. Nesse contexto, em situações de eventos extremos de seca, como o ocorrido em 2014, esse esgoto se encontra em estado menos diluído devido à baixa dos rios, levando a problemas no abastecimento urbano de água.

O balanço hídrico da RH-V revela uma situação crítica quanto à capacidade de diluição de efluentes sanitários domésticos em vazões médias, mas principalmente em condições de estiagem extrema (40% da Q95). A análise, feita com base na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) por UHP, mostra que todas as UHPs da referida região apresentam severa limitação para absorver novas cargas poluidoras, especialmente em períodos secos. Mesmo em vazões médias, a maioria das unidades continua deficiente, com exceção da UHP V-d1 (Rio Macacu). Isso indica que os corpos d'água da Baía de Guanabara operam próximos ao seu limite de suporte à poluição doméstica (CBH-BG, 2020)[9].

As secas prolongadas representam um fator crítico para a infraestrutura hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, uma vez que reduzem a disponibilidade de água nos mananciais que alimentam o Sistema Guandu, responsável pelo abastecimento da maior parte da população. Por se tratar de um sistema de transposição de bacias hidrográficas, em que a água advém da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, a infraestrutura existente na área não está apenas na RH-V, mas também nos grandes reservatórios de regularização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Do ponto de vista quantitativo, a redução das vazões compromete a capacidade do sistema de atender à demanda, sobretudo em um contexto de crescimento urbano e pressões crescentes sobre os recursos hídricos. Segundo Formiga-

[9]COMITÊ DE BACIA DA BAÍA DE GUANABARA. **Balanço hídrico.** Disponível em: https://comitebaiadeguanabara.org.br/balanco-hidrico/#:~:text=O%20balan%C3%A7o%20h%C3%ADdrico%20pode%20ser%20interpretado%20de%20forma%20qualitativa%20atrav%C3%A9s,chegam%20%C3%A0s%20%C3%A1guas%20da%20bacia. Acesso em jul. 2025.

Johnsson e Britto (2020), crises anteriores, como a de 2014, já evidenciaram a vulnerabilidade do sistema frente a períodos de estiagem, que tornam mais complexa a operação e a gestão da água.

Ainda, decisões regulatórias podem reduzir a vazão do Sistema Guandu de forma controlada, a fim de preservar os reservatórios a montante, o que coloca em risco a captação a jusante. Além do grande sistema, rios menores e mananciais locais dentro da própria região, utilizados para o abastecimento de municípios como Magé, Guapimirim ou áreas de Itaboraí, são ainda mais vulneráveis. Muitos desses rios não possuem reservatórios de regularização e, durante secas prolongadas, suas vazões podem atingir níveis tão baixos que comprometem ou até mesmo inviabilizam as captações de água, forçando a implementação de rodízios e o abastecimento por carros-pipa (Formiga-Johnsson *et al*., 2021).

A infraestrutura de captação e tratamento é diretamente afetada pela redução da disponibilidade hídrica. A ETA Guandu, por exemplo, foi projetada para operar com uma vazão de captação robusta, e com a diminuição do fluxo no Rio Guandu, não apenas se reduz o volume disponível para tratamento, mas também pode-se rebaixar o nível d'água a um ponto que ameace a segurança da tomada d'água, ou seja, a capacidade física das bombas de succionarem a água sem cavitação ou danos. Esse estresse operacional pode limitar a capacidade de produção da ETA, associada a uma alta demanda urbana. Em um cenário extremo, a redução da vazão no ponto de captação poderia levar a uma paralisação parcial ou total do sistema, gerando um colapso no abastecimento a milhões de pessoas.

Além disso, no aspecto qualitativo, Formiga-Johnsson e Britto (2020) demonstram que a diminuição da vazão dos rios em períodos de seca reduz a capacidade de diluição de poluentes, aumentando a concentração de matéria orgânica, nutrientes e contaminantes industriais que chegam ao manancial. Essa situação gera um estresse adicional para a ETA Guandu, que precisa intensificar o uso de produtos químicos no tratamento, encarecendo e dificultando o processo de potabilização da água. Assim, a estiagem prolongada não apenas diminui o volume disponível, mas

também compromete a qualidade da água que chega à estação, ampliando os riscos de insegurança hídrica.

Ademais, a escassez hídrica exacerba os conflitos latentes e manifestos entre os diferentes usuários da água. A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul é um exemplo emblemático dessa dinâmica. Suas águas são disputadas por abastecimento urbano, uso industrial, geração de energia e agricultura. Em um cenário de seca, a decisão de liberar menos água dos reservatórios para poupar volume para o abastecimento do Rio de Janeiro impacta diretamente a geração de energia e a diluição de efluentes industriais a montante. Por outro lado, manter as descargas para atender aos múltiplos usos acelera o esgotamento dos reservatórios, elevando o risco de colapso para todos. Outro aspecto qualitativo que deve ser considerado, é a interação entre escassez e degradação ambiental. Em uma bacia hidrográfica já marcada por ocupação irregular, esgoto não tratado, intrusão salina e supressão da cobertura vegetal, as secas funcionam como amplificadores dos problemas estruturais, expondo a fragilidade da infraestrutura hídrica frente a múltiplos estressores. Em períodos de estiagem, os reservatórios e rios apresentam menores volumes de água, o que agrava a vulnerabilidade às oscilações climáticas e aumenta a dependência de medidas emergenciais, como redução de pressões nas redes e revezamento de abastecimento.

Gouveia (2022), na sua tese intitulada “Escassez hidrossocial no município de São Gonçalo, Região Metropolitana do Rio de Janeiro”, destaca que a escassez de água não é apenas uma questão física, mas também socialmente produzida, influenciada por fatores econômicos, políticos e sociais. Em períodos de estiagem prolongada, a redução da disponibilidade hídrica agrava as desigualdades no acesso à água tratada, afetando principalmente as populações mais vulneráveis. Essa escassez hidrossocial evidencia a falha na gestão pública e na distribuição equitativa dos recursos hídricos. Além da ausência de regularização e redundância, a pesquisa de Gouveia aponta que a infraestrutura hídrica existente, como o Sistema Imunana-Laranjal, enfrenta desafios significativos diante das mudanças climáticas e da crescente demanda urbana: as secas prolongadas reduzem a vazão dos mananciais, elevando

a concentração de poluentes e exigindo maior uso de produtos químicos no tratamento da água. Isso compromete a qualidade da água fornecida e aumenta os custos operacionais das estações de tratamento, refletindo diretamente na segurança hídrica da região.

5.2.7 *Periculosidade às Estiagens Prolongadas*

A periculosidade à ocorrência de estiagens prolongadas na RH-V foi obtida com base em um índice, sendo definido como o índice de perigo às secas. Este foi elaborado a partir do uso de subíndices que refletem os principais tipos de secas, sendo elas as meteorológicas, agrícolas, hidrológicas e socioeconômicas. Assim:

- As secas meteorológicas foram analisadas a partir de dois subíndices calculados para os postos pluviométricos da região de interesse: chuva média anual e número de anos com pluviosidade abaixo da média;
- As secas agrícolas foram analisadas a partir do índice NDVI para a RH-V, compondo um terceiro subíndice;
- As secas hidrológicas seriam analisadas a partir das vazões, entretanto, não há postos fluviométricos com séries suficientemente grandes presentes na região de interesse;
- Por fim, as secas socioeconômicas serão representadas pelos pontos de captação para abastecimento urbano, que representam a fragilidade mais intensa relacionada às secas na RH-V.

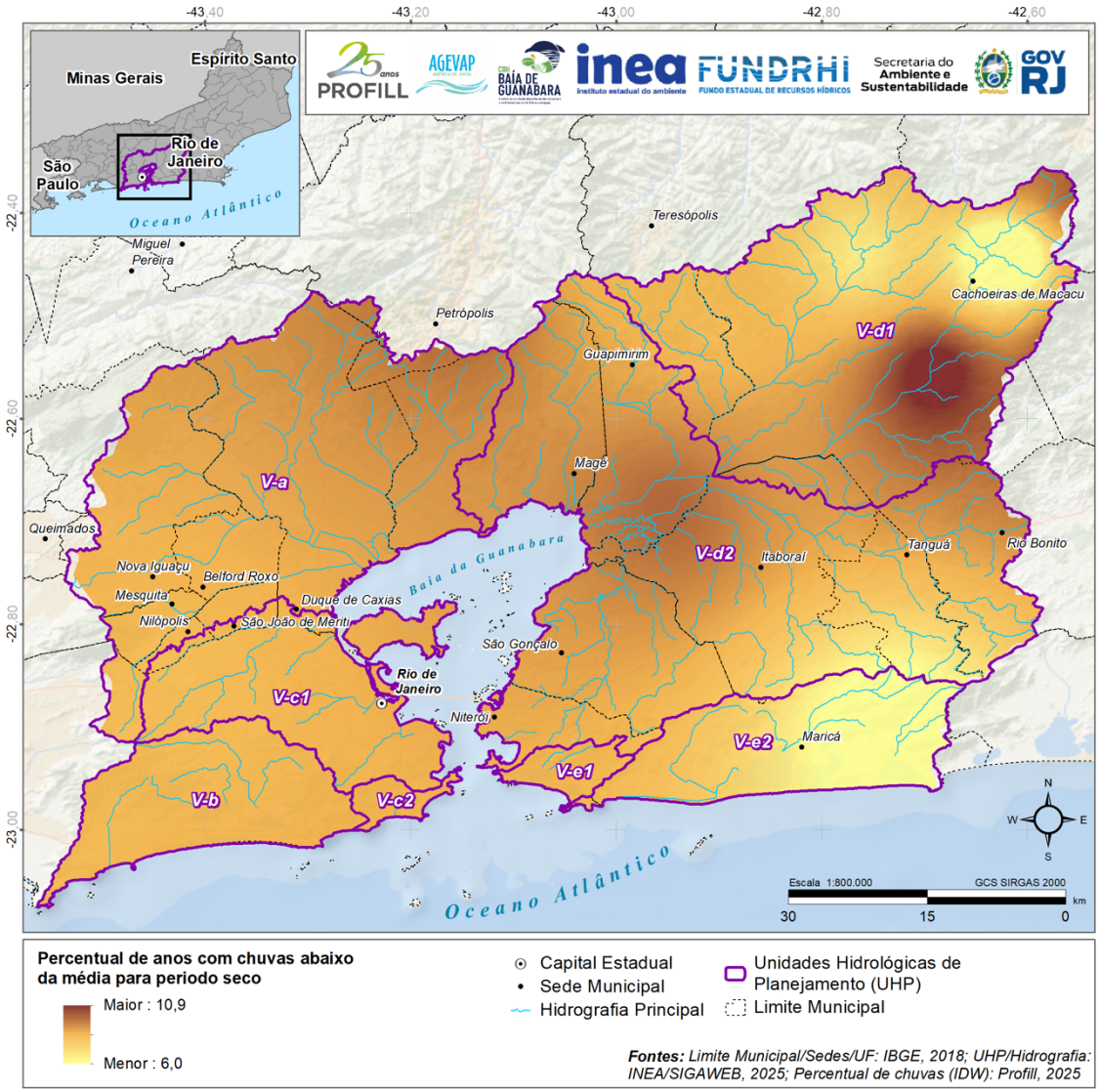
A metodologia de cada um dos itens citados é descrita abaixo. Ainda, o índice SPI foi considerado para a avaliação dos locais com maior probabilidade de ocorrência de secas, e é discutida após a apresentação dos demais índices. Ao final, foi realizada uma combinação de todos os subíndices avaliados para a obtenção do índice de perigo final para a RH-V.

5.2.7.1 Secas Meteorológicas: Pluviometria

Para a avaliação baseada na pluviometria, foram calculados dois subíndices, sendo eles: (i) o percentual de anos com chuvas abaixo da média para o período seco; e (ii) a chuva média anual na bacia hidrográfica. Estes subíndices são apresentados a seguir. Ressalta-se que ambos foram obtidos para cada estação pluviométrica apresentada no item 5.2.2.2 no período entre 2007 e 2024, para o qual todas dispunham de dados suficientes.

5.2.7.1.1 *Percentual de Anos com Chuvas Abaixo da Média para o Período Seco*

A obtenção deste índice foi realizada a partir da contabilização do número de anos que, durante o período seco (entre maio e outubro), a precipitação média para cada estação pluviométrica foi abaixo da respectiva média também para o período seco. Este resultado foi, então, interpolado utilizando a técnica IDW em ambiente de geoprocessamento, que consiste na estimativa de valores em pontos desconhecidos com base nos pontos amostrais conhecidos, onde a influência de um ponto conhecido é inversamente proporcional à distância do ponto a ser interpolado, sendo o resultado apresentado no Mapa 5-24.



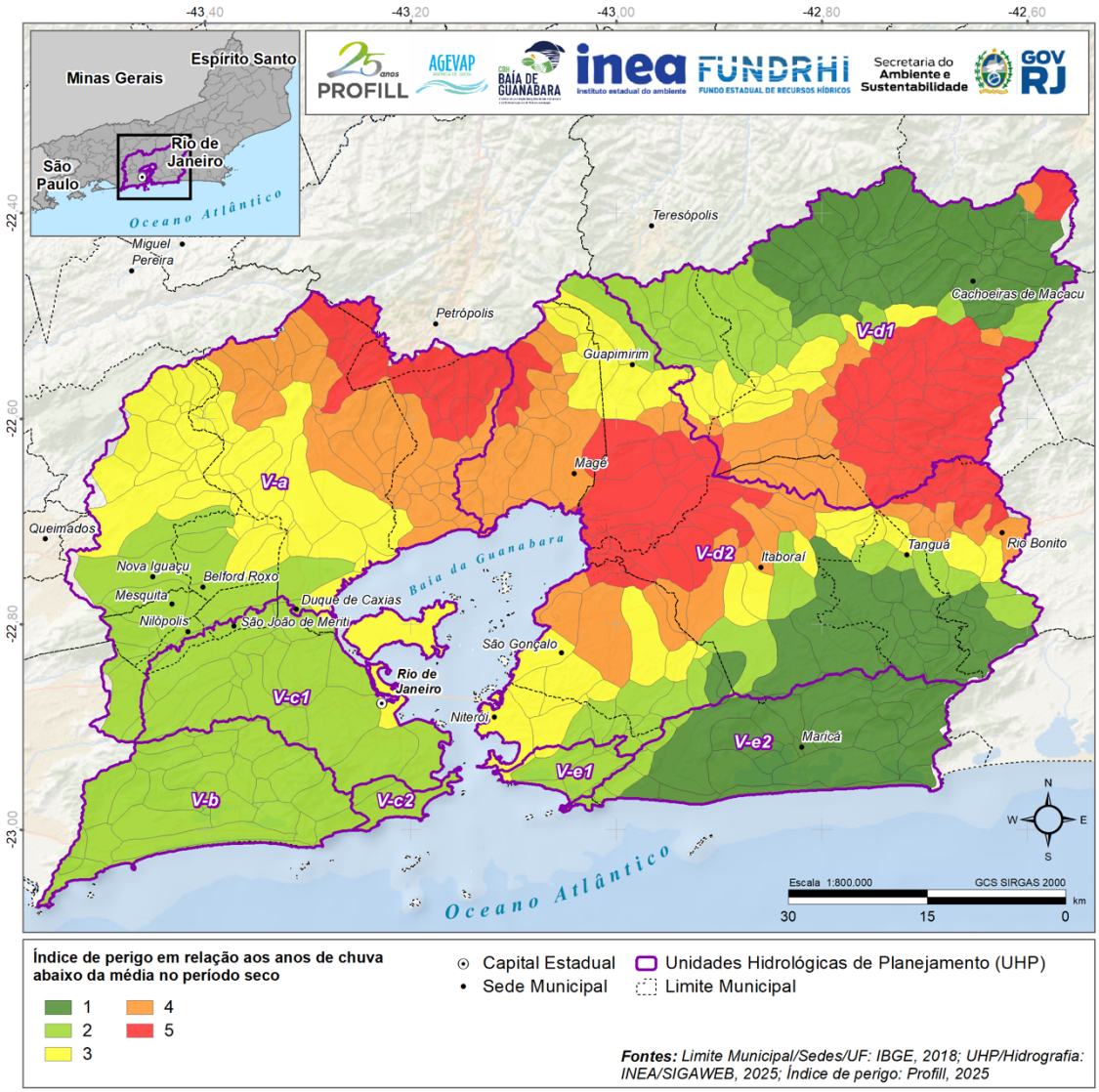
Mapa 5-24– Resultados de percentual de anos com chuvas abaixo da média para o período seco na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

A partir deste resultado, para cada sub-bacia foi extraída a respectiva média de percentual de anos com chuvas abaixo da média para o período seco e, com base nessa amostra, foram calculados percentis 20, 40, 60 e 80. O Quadro 5-11 apresenta as pontuações consideradas para cada classe de percentual de anos com chuvas abaixo da média para o período seco na RH-V. O resultado do índice de perigo em relação aos anos com chuvas abaixo da média no período seco para as sub-bacias pode ser visualizado no Mapa 5-25.

Quadro 5-11 – Pontuações atribuídas para o resultado de percentual de anos com chuvas abaixo da média para o período seco na RH-V.

Percentil (%)	Valor do Percentil Conforme a Amostra de Sub-bacias (%)	Critérios	Pontua-ções
-	-	Menor do que 8,69	1
20	8,69	Entre 8,69 e 8,99 incluindo 8,69	2
40	8,99	Entre 8,99 e 9,14 incluindo 8,99	3
60	9,14	Entre 9,14 e 9,42 incluindo 9,14	4
80	9,42	Maior que 9,42	5

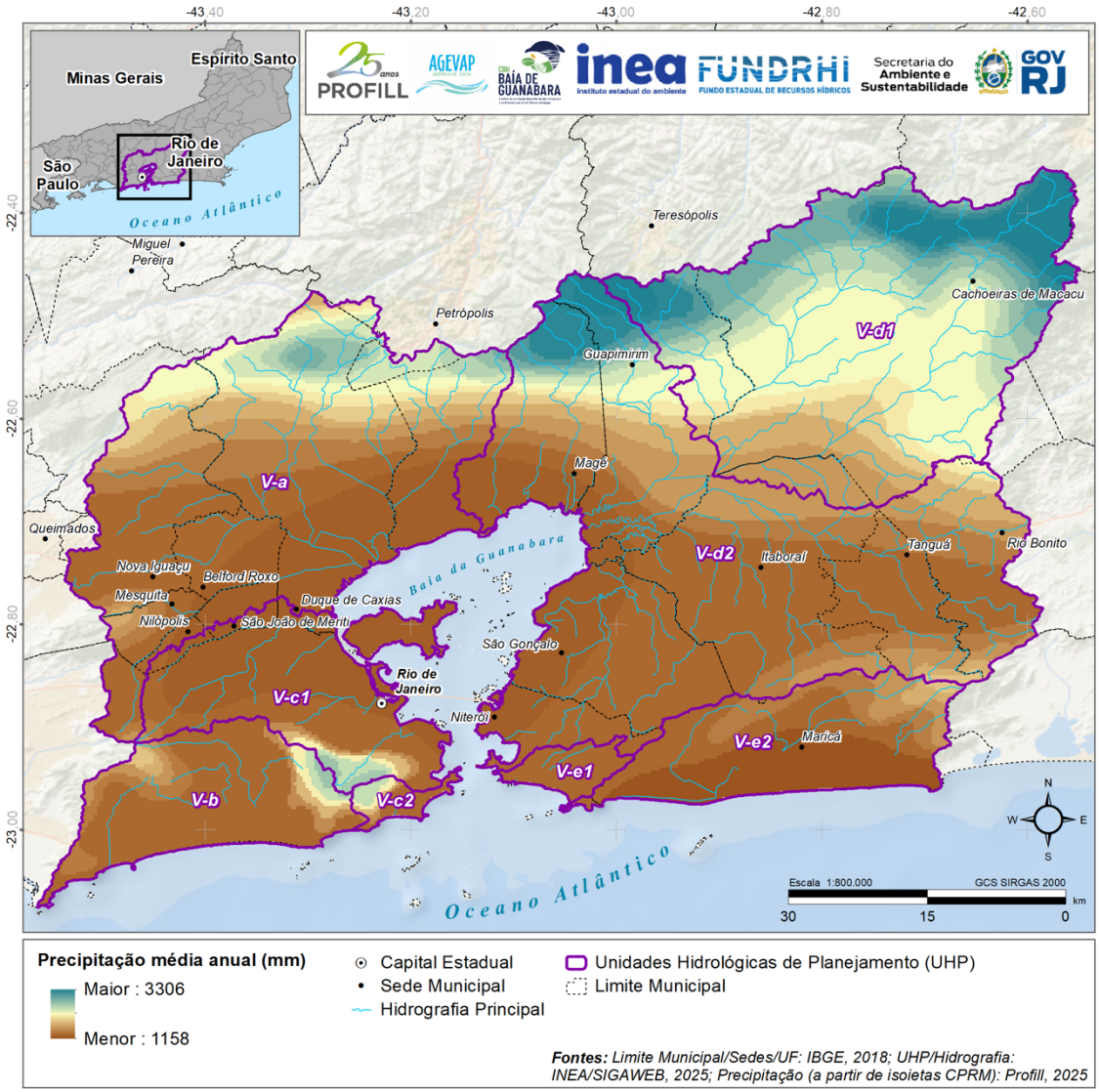
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-25– Resultados para o índice de perigo em relação aos anos de chuva abaixo da média no período seco na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.2.7.1.2 *Chuva Média Anual na Bacia*

A obtenção deste subíndice foi realizada a partir da obtenção da média total anual de pluviosidade, realizada a partir das isoietas da CRPM, e objetivou identificar os locais com maiores pluviosidades e, possivelmente, maior resiliência em caso de secas. Assim, foi obtido o resultado de chuva média anual para a região de estudo, apresentado no Mapa 5-26



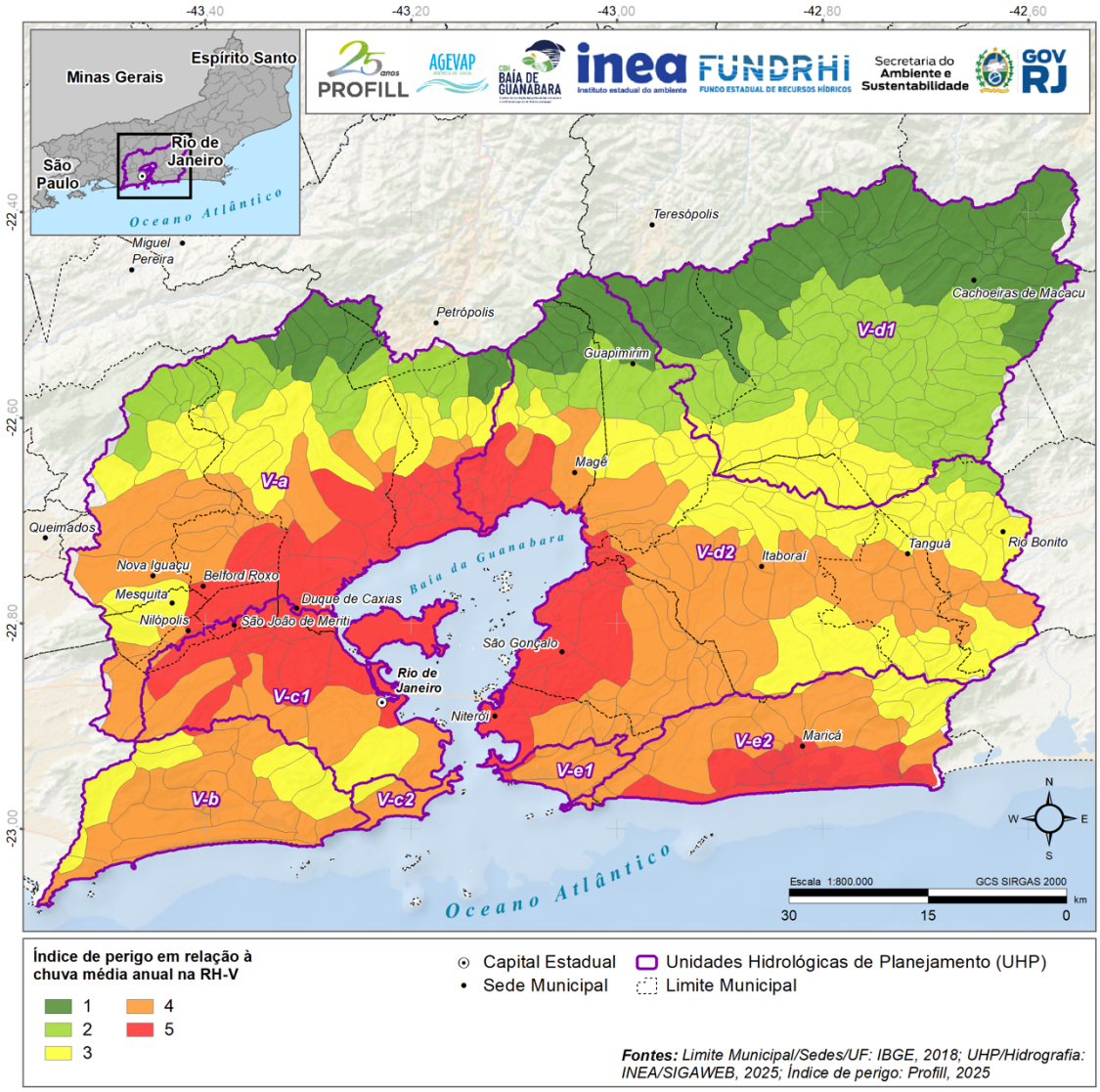
Mapa 5-26– Resultados de chuva média anual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

A partir deste resultado, para cada sub-bacia foi extraída a respectiva chuva média anual e, com base nessa amostra, foram calculados percentis 20, 40, 60 e 80. O Quadro 5-12 apresenta as pontuações consideradas para cada classe de precipitação média anual na RH-V. O resultado do subíndice de perigo em relação às chuvas médias anuais para as sub-bacias pode ser visualizado no Mapa 5-27.

Quadro 5-12 – Pontuações atribuídas para o resultado de chuvas anuais médias na RH-V.

Percentil (%)	Valor do Percentil Conforme a Amostra de Sub-bacias (mm/ano)	Critérios	Pontuações
-	1.879,57	Maior do que 1.879,57	1
20	1.556,34	Entre 1.556,34 e 1.879,57 incluindo 1.879,57	2
40	1.323,10	Entre 1.323,10 e 1.556,34 incluindo 1.556,34	3
60	1.250,00	Entre 1.250,00 e 1.323,10 incluindo 1.323,10	4
80	-	Menor que 1.250,00	5

Fonte: Elaboração própria.



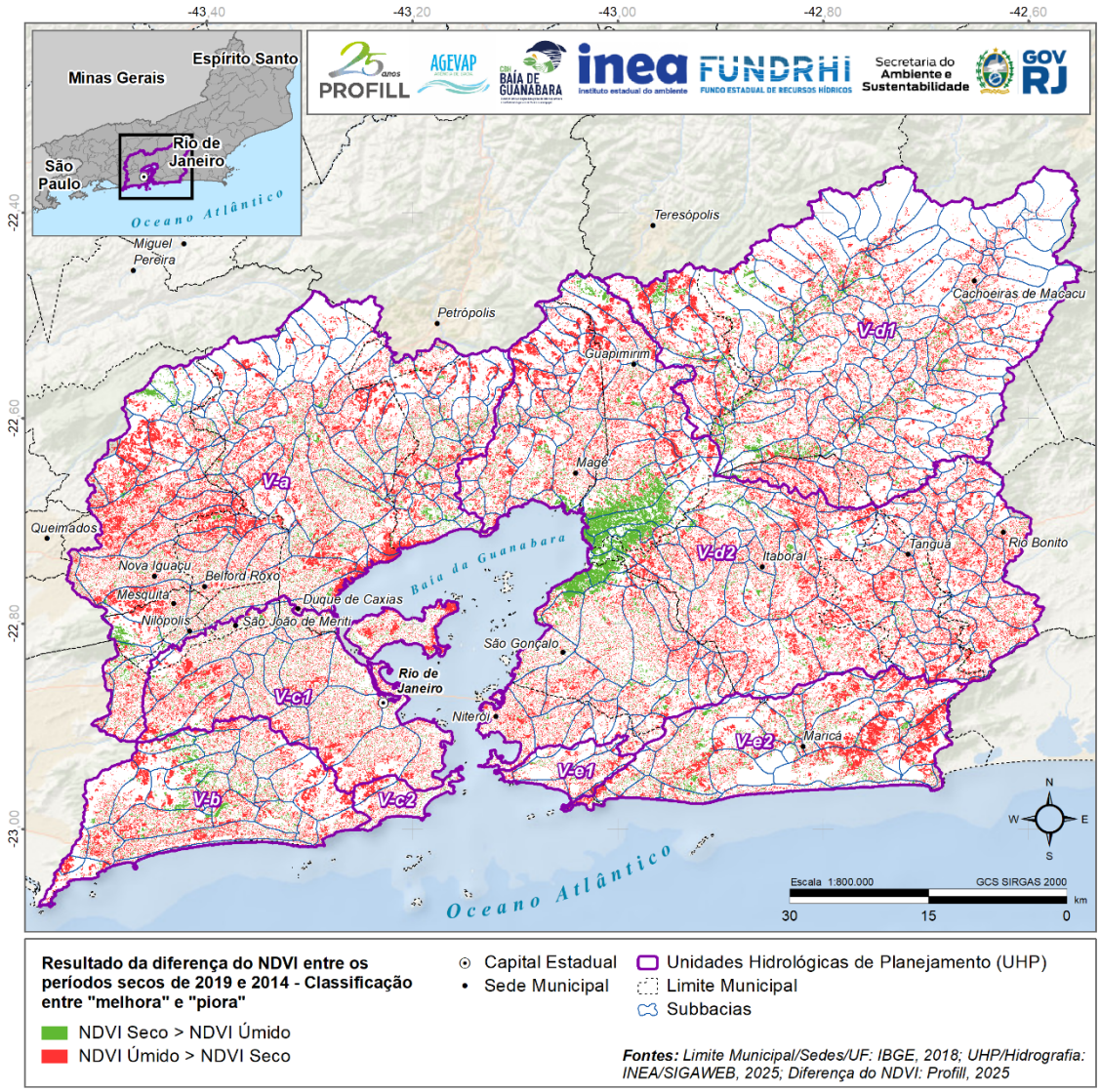
Mapa 5-27– Resultados para o índice de perigo em relação à chuva média anual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.2.7.2 Secas Agrícolas: Subíndice NDVI

Para a consideração do subíndice NDVI, foi realizada uma análise a fim de identificar as áreas com maior alteração da resposta da vegetação na RH-V a partir dos anos analisados. Para isto, foi feita uma subtração *pixel* a *pixel* entre os valores de NDVI do ano de 2014, que correspondeu aos menores valores de NDVI (imagem mais seca), identificados para o período analisado, e os maiores valores de NDVI (imagem mais úmida) identificados para o período analisado, que correspondeu à 2019. Estes valores foram classificados, então, em três classes, conforme segue:

- Regiões cujo NDVI foi o mesmo, que consistiu das regiões mais urbanizadas e, portanto, com menores respostas provenientes da vegetação;
- Regiões cujo NDVI aumentou, considerou-se que houve “melhora” da condição de vegetação no ano de 2014 em relação ao ano de 2019;
- Regiões cujo NDVI reduziu, considerou-se que houve “piora” da condição vegetação no ano de 2014 em relação ao ano de 2019.

Este resultado é apresentado no Mapa 5-28 para a RH-V. Este resultado é analisado, portanto, na forma de sinal: onde está vermelho no referido mapa, quer dizer que houve piora na qualidade e quantidade da vegetação no período seco em relação ao úmido.



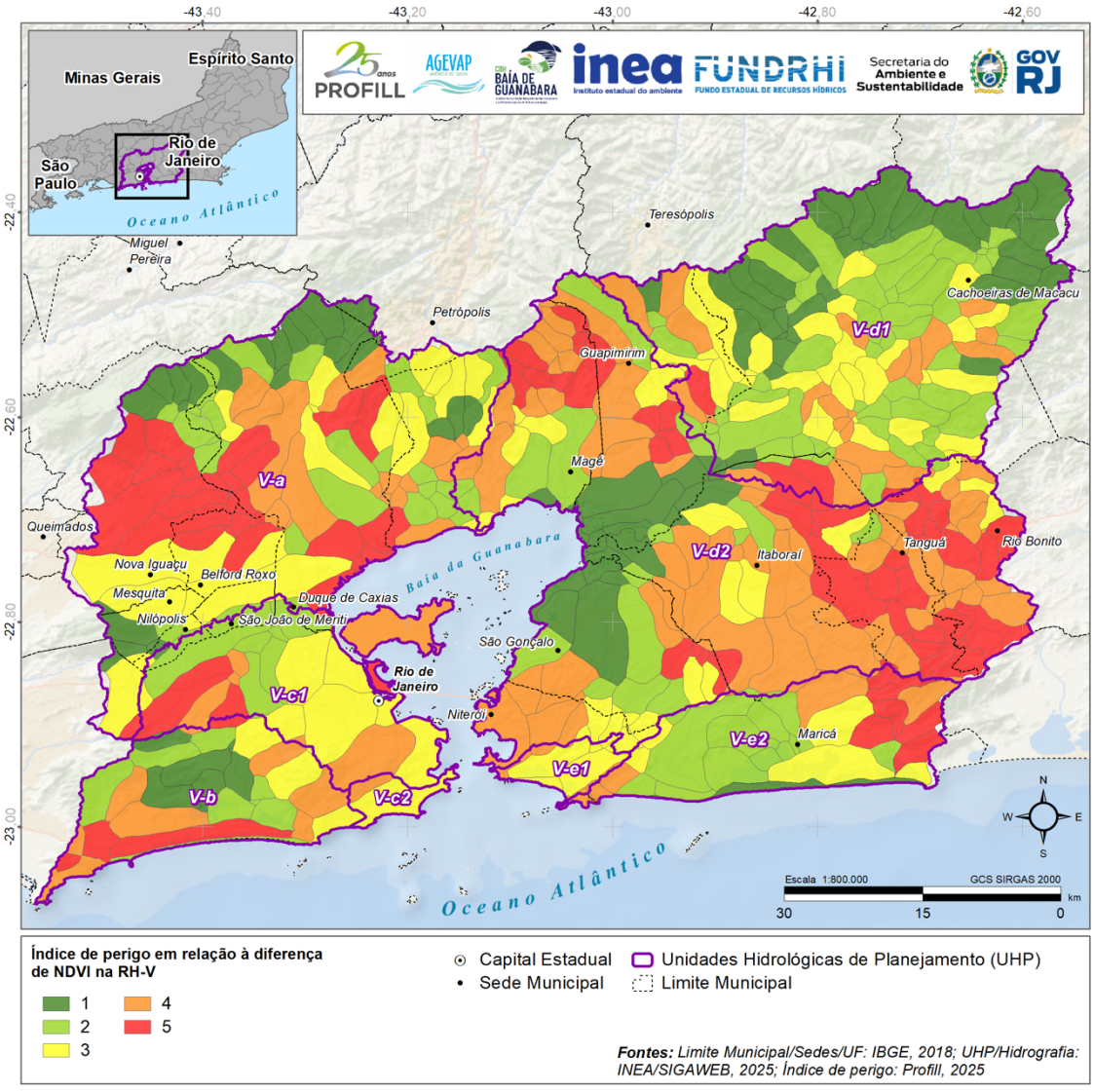
Mapa 5-28– Resultados da diferença de NDVI entre os períodos secos de 2019 e 2014 – classificação entre “melhora” e “piora”.
Fonte: Elaboração própria.

A partir deste resultado, para cada sub-bacia foi extraída a respectiva área percentual de células com alterações. Ainda para cada sub-bacia, foi realizada uma subtração do valor total de melhora e piora, obtendo-se, assim, um resultado de percentual deste índice para cada uma delas. Com este percentual foram calculados percentis 20, 40, 60 e 80 da amostra. O Quadro 5-13 apresenta as pontuações consideradas para cada classe de NDVI, e o resultado do índice de perigo em relação às diferenças de NDVI para as sub-bacias pode ser visualizado no Mapa 5-29

Quadro 5-13 – Pontuações atribuídas para o resultado de alterações de NDVI na RH-V.

Percentil (%)	Valor do Percentil Conforme a Amostra de Sub-bacias (adimensional)	Critérios	Pontuações
-	0,23	Maior do que 0,23	1
20	0,18	Entre 0,18 e 0,23 incluindo 0,18	2
40	0,14	Entre 0,14 e 0,18 incluindo 0,14	3
60	0,09	Entre 0,09 e 0,14 incluindo 0,09	4
80	-	Menor que 0,09	5

Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-29– Resultados para o índice de perigo em relação à diferença de NDVI na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.2.7.3 Probabilidade de Ocorrência de Secas: Índice SPI

A identificação da probabilidade de ocorrência de secas na RH-V foi realizada a partir do cálculo do índice SPI, e baseou-se no cálculo do percentual de anos em que houve secas severas (SPI < -1) em relação ao número de anos que houve identificação de secas (ou seja, anos em que o SPI < 0). Esta análise foi realizada para todas as estações avaliadas, excluindo as estações Pico do Couto (A610) e Duque de Caxias – Xerem (A603), que não apresentam anos suficientes com dados – conforme apresentado no item 5.2.4.

A Tabela 5-32 apresenta, para cada estação, a quantidade de anos com ocorrência de secas severas (SPI < -1) e a quantidade de anos com ocorrência de secas (SPI < 0). A partir destes resultados, considerou-se uma relação probabilística entre os dois índices, dada pela razão entre eles: quanto maior a quantidade de secas severas em uma estação, maior a sua probabilidade de ocorrência. Este resultado também é apresentado na referida tabela. Destaca-se que a amostra foi analisada apenas entre os anos de 2007 e 2024, a fim de conferir homogeneidade à amostra, uma vez que nem todas as estações apresentavam dados antes de 2007.

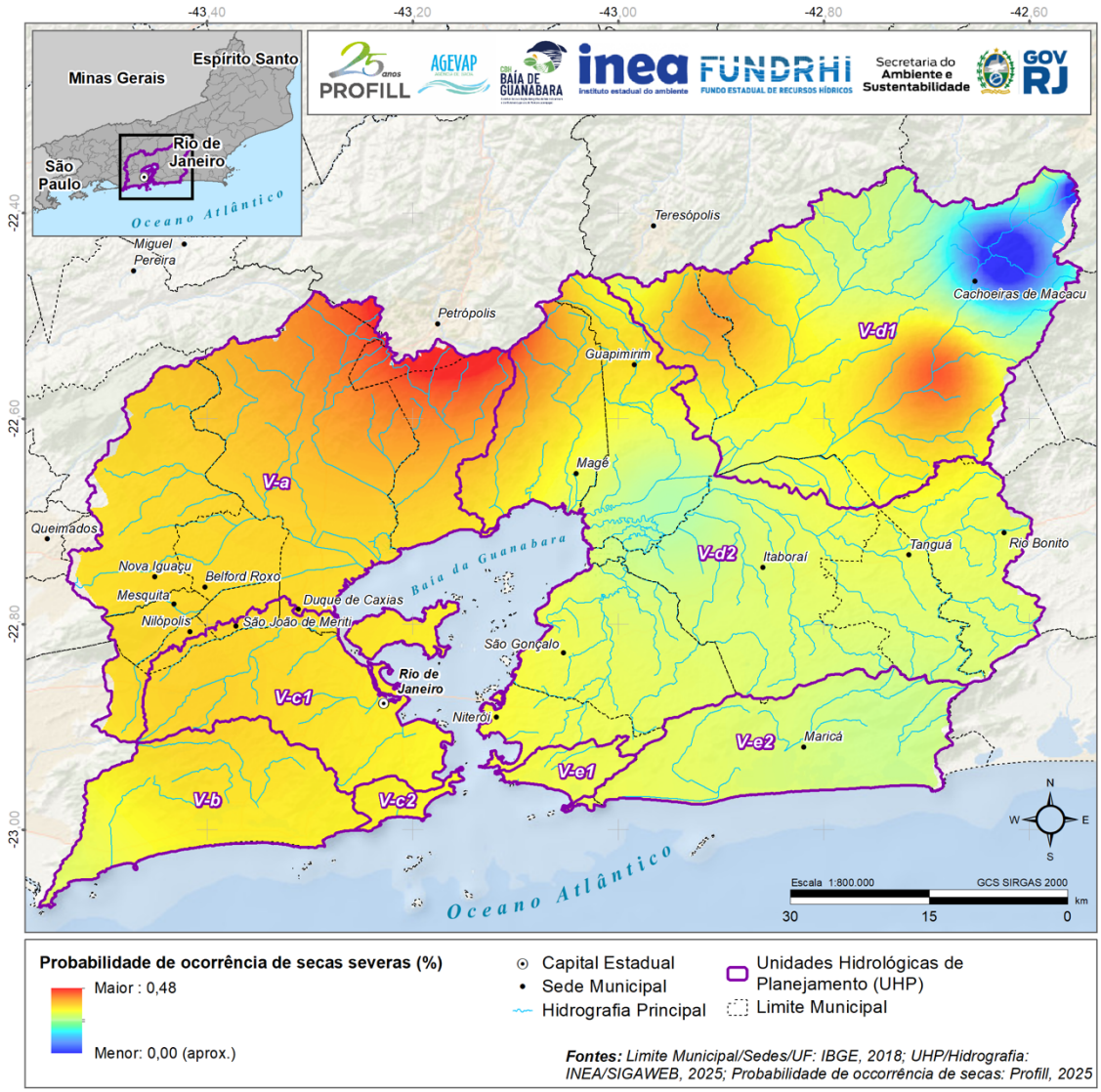
Tabela 5-32 - Probabilidade de secas severas conforme o índice SPI: relação entre quantidade de secas e quantidade de secas severas para os anos entre 2007 e 2024.

Código	Número de Anos com Secas Severas (SPI < -1)	Número de Anos com Secas (SPI < 0)	Probabilidade de Secas Severas
2242005	34	79	43%
2242008	27	95	28%
2242009	29	92	32%
2242010	27	100	27%
2242011	26	106	25%
2242012	15	38	39%
2242013	27	97	28%
2242014	40	94	43%
2242016	0	40	0%
2242024	0	53	0%
2242025	75	157	48%
2243010	59	114	52%
A602	34	116	29%
A618	29	98	30%
A621	32	92	35%

Fonte: Elaboração própria.

Este resultado de probabilidade para cada estação foi espacializado a partir da interpolação em *software* de geoprocessamento utilizando o método IDW e o resultado é apresentado no Mapa 5-30. A partir disto, para cada sub-bacia da RH-V, foi realizada a média dos resultados dentro da respectiva área e para essa amostra foram extraídos os percentis 20, 40, 60 e 80.

Assim, o Quadro 5-14 apresenta as pontuações consideradas para cada classe de probabilidade de ocorrência de secas severas, obtida a partir do índice SPI. O resultado do índice de perigo em relação a essa probabilidade (percentual de SPI) para as sub-bacias pode ser visualizado no Mapa 5-31.

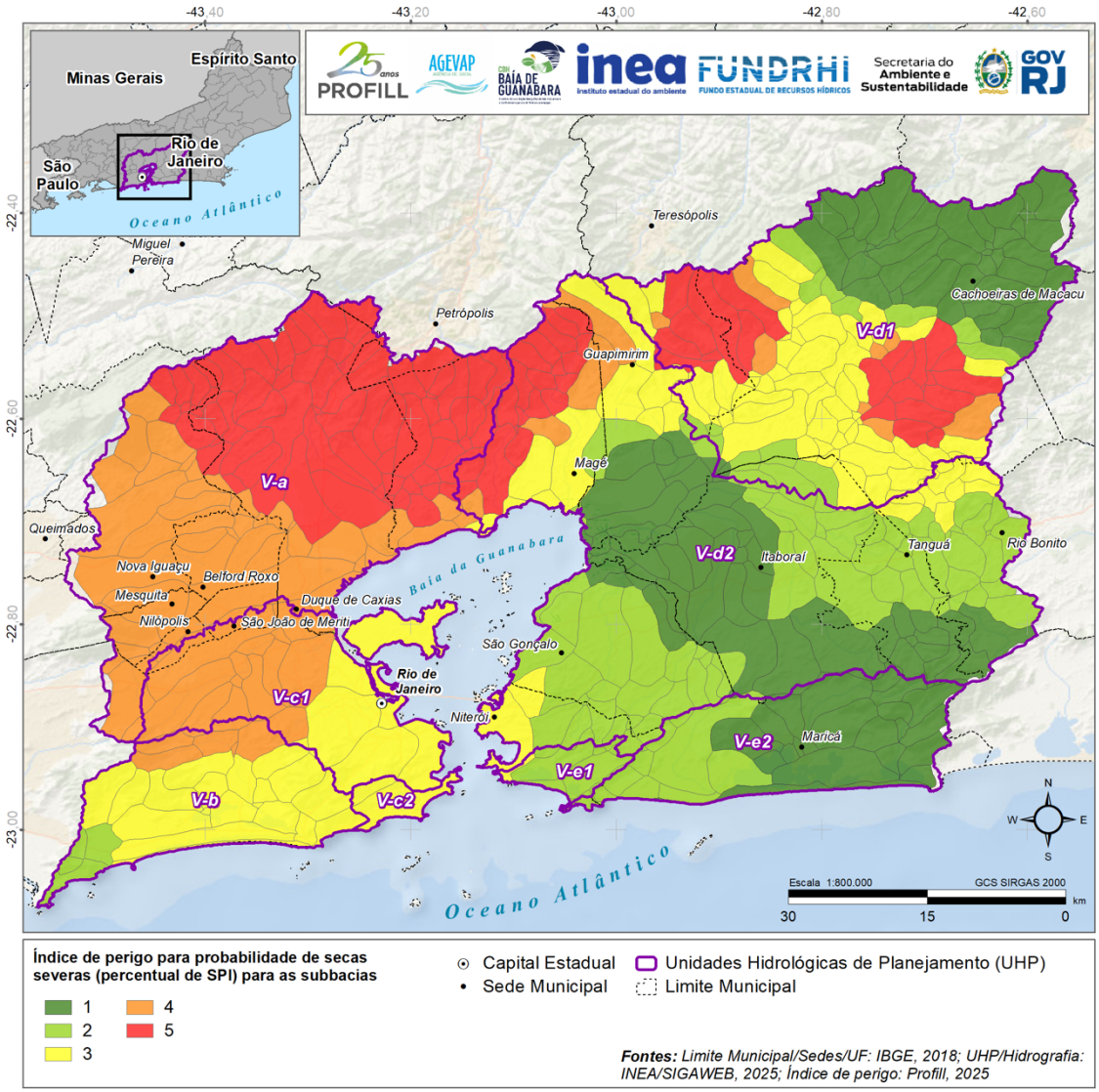


Mapa 5-30– Interpolação do resultado de probabilidade de ocorrência de secas severas na RH-V a partir do índice SPI.
Fonte: Elaboração própria.

Quadro 5-14 – Pontuações atribuídas para o resultado de probabilidade de secas severas na RH-V.

Percentil (%)	Valor do Percentil Conforme a Amostra de Sub-bacias (adimensional)	Critérios	Pontuações
-	-	Menor do que 0,29	1
20	0,29	Entre 0,29 e 0,31 incluindo 0,29	2
40	0,31	Entre 0,31 e 0,34 incluindo 0,31	3
60	0,34	Entre 0,34 e 0,35 incluindo 0,34	4
80	0,35	Maior que 0,35	5

Fonte: Elaboração própria.

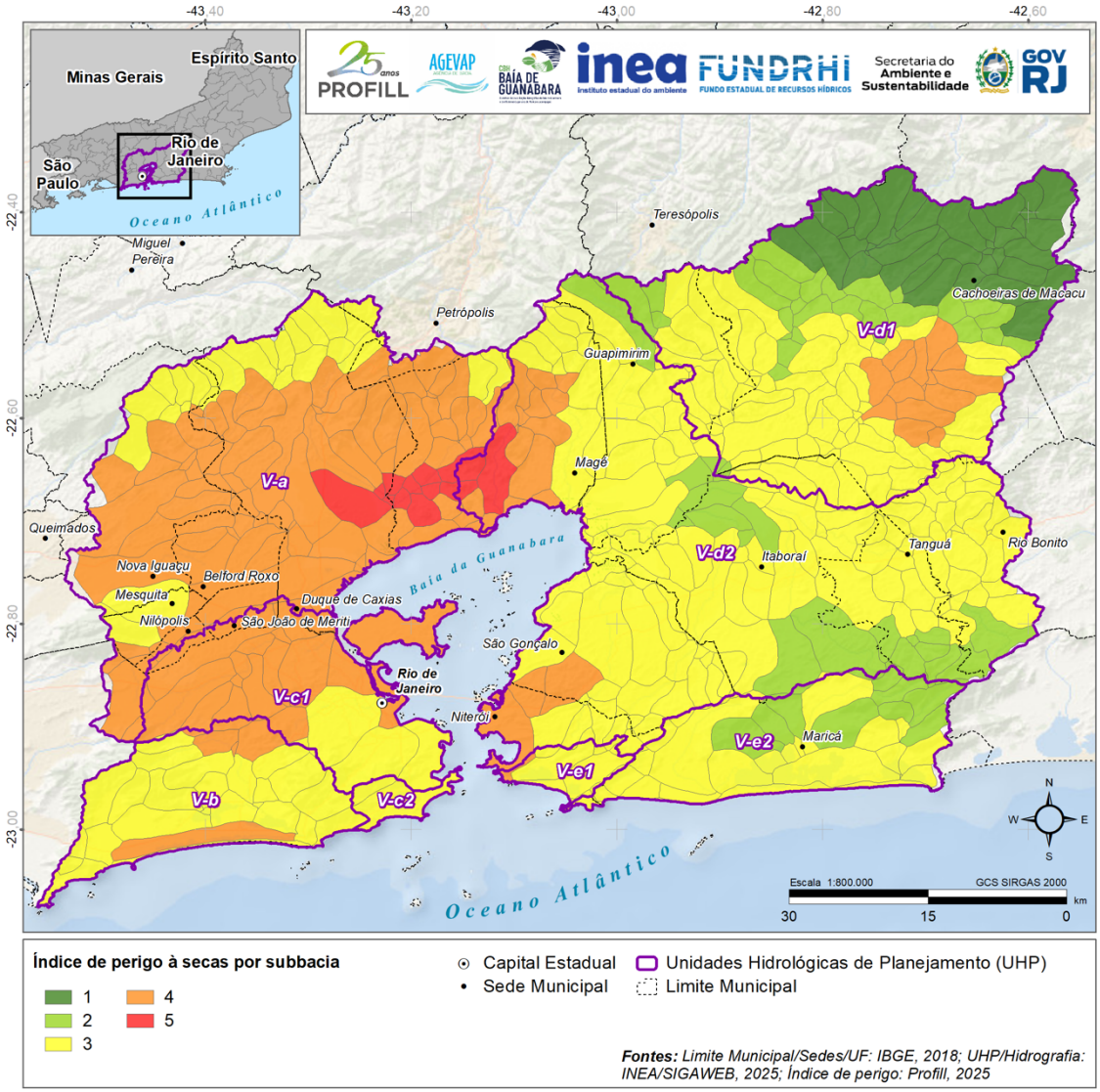


Mapa 5-31– Resultados para o índice de perigo em relação à probabilidade de ocorrência de secas severas (percentual de SPI) para a RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.2.7.4 Índice de Perigo às Secas para o Cenário Atual

Com base nas classificações de cada sub-bacia, realizadas conforme os índices de perigo para chuvas abaixo da média para o período seco (Quadro 5-11), chuva média (Quadro 5-12) diferença de NDVI (Quadro 5-13) e probabilidade de ocorrência (índice SPI - Quadro 5-14), foram calculados os índices de perigo finais a ocorrência de secas para cada sub-bacia. Para isto, foram considerados pesos diferentes para cada classe, conforme seu grau de relevância: a chuva média e o índice SPI, que

possuem maior confiabilidade e consistência, corresponderam a 40% do peso, cada um. Já as chuvas abaixo da média para o período seco e a diferença de NDVI corresponderam a 10% cada um. Assim, o Mapa 5-32 apresenta o resultado de perigo à ocorrência de secas na RH-V para o cenário atual.



Mapa 5-32– Resultado de perigo à ocorrência de secas na RH-V para o cenário atual.
Fonte: Elaboração própria.

Nela, é possível visualizar que o maior índice de perigo ocorre na parte oeste da RH-V, com foco na região noroeste, onde há uma área com o maior índice de perigo, entre os municípios de Duque de Caxias e Magé. É nesta região que ocor-

rem as secas mais severas, conforme o índice SPI. A região leste da RH-V tem praticamente sua totalidade em perigo "moderado", enquanto a região com menor perigo é a noroeste RH-V, graças ao maior volume de chuvas orográficas. Esta região é, também, onde a vegetação, por ser mais preservada e mais densa, sofre menos com as divergências entre as estações, conforme o índice de NDVI.

A principal e mais relevante fragilidade em relação às estiagens são as captações para consumo humano, especialmente as superficiais. Assim, foi realizada uma análise a fim de verificar qual índice de perigo ao qual as captações superficiais estão submetidas na RH-V. Das 81 captações superficiais presentes na região, não há nenhuma captação localizada em áreas com índice de perigo "muito alto". Seis destas captações estão localizadas em locais com índice de perigo "alto", enquanto a maioria, 52 captações, estão localizadas em regiões de índice de perigo "moderado". Por fim, ainda existem 19 captações em regiões de índice de perigo "muito baixo".

A Figura 5-53 apresenta a proporção de captações superficiais localizadas em áreas de cada classe de perigo à ocorrência de estiagens, e a Tabela 5-33 apresenta em termos quantitativos. Por fim, o Mapa 5-33 apresenta estas captações distribuídas espacialmente na RH-V.

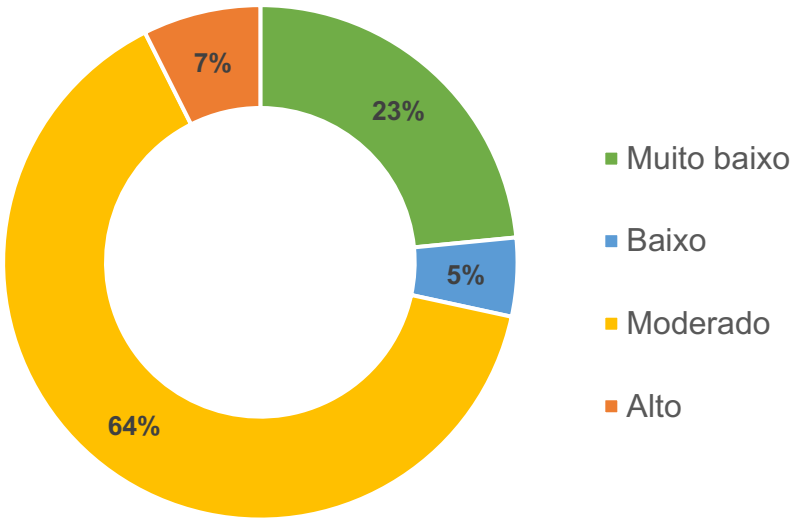
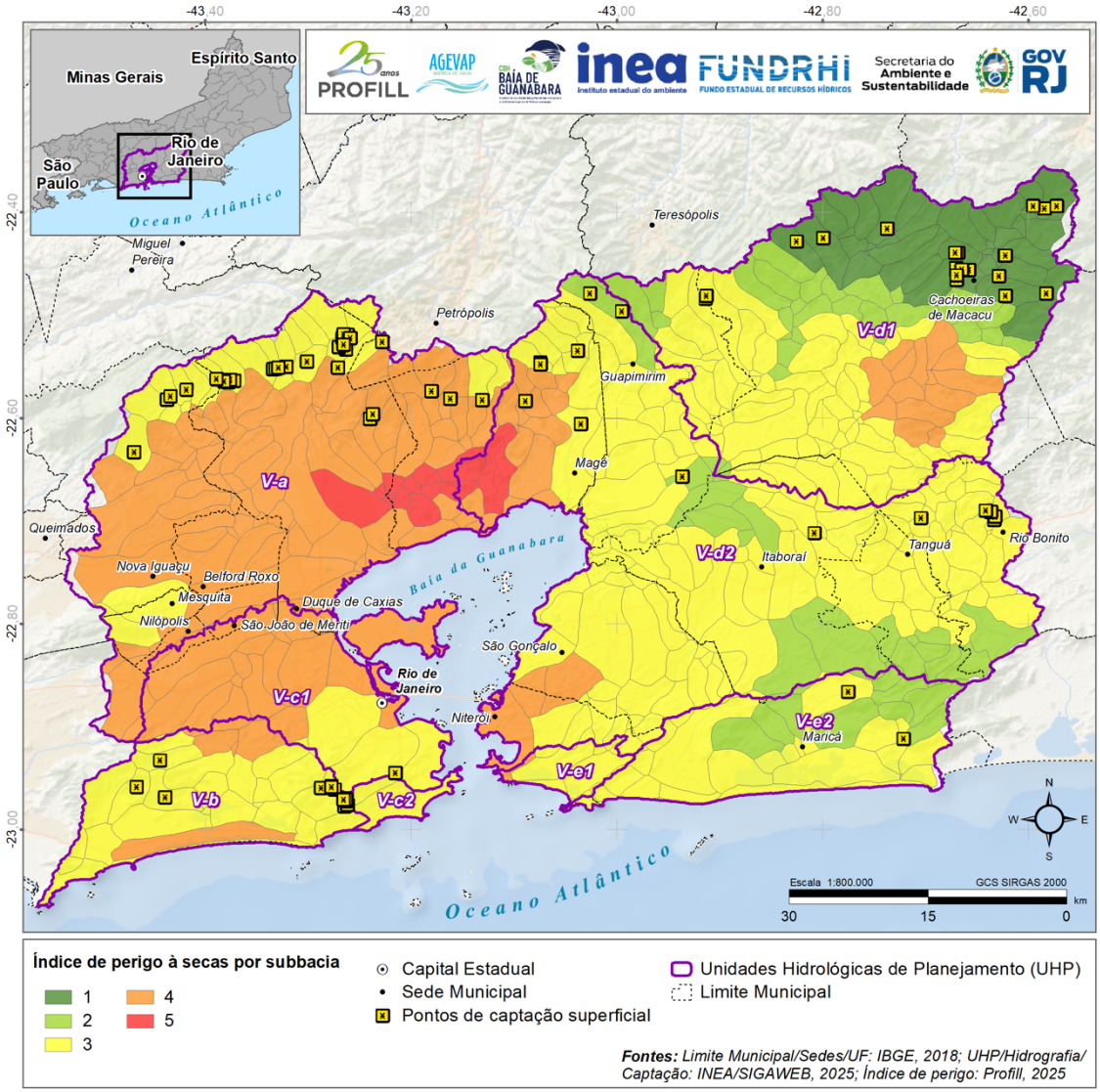


Figura 5-53 - Quantidade de captações superficiais localizadas em áreas com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário atual.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-33 - Quantidade de captações superficiais de acordo com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário atual.

Índice de Perigo	Quantidade
1 – Muito Baixo	19
2 – Baixo	4
3 – Moderado	52
4 – Alto	6
5 – Muito Alto	0

Fonte: Elaboração própria.

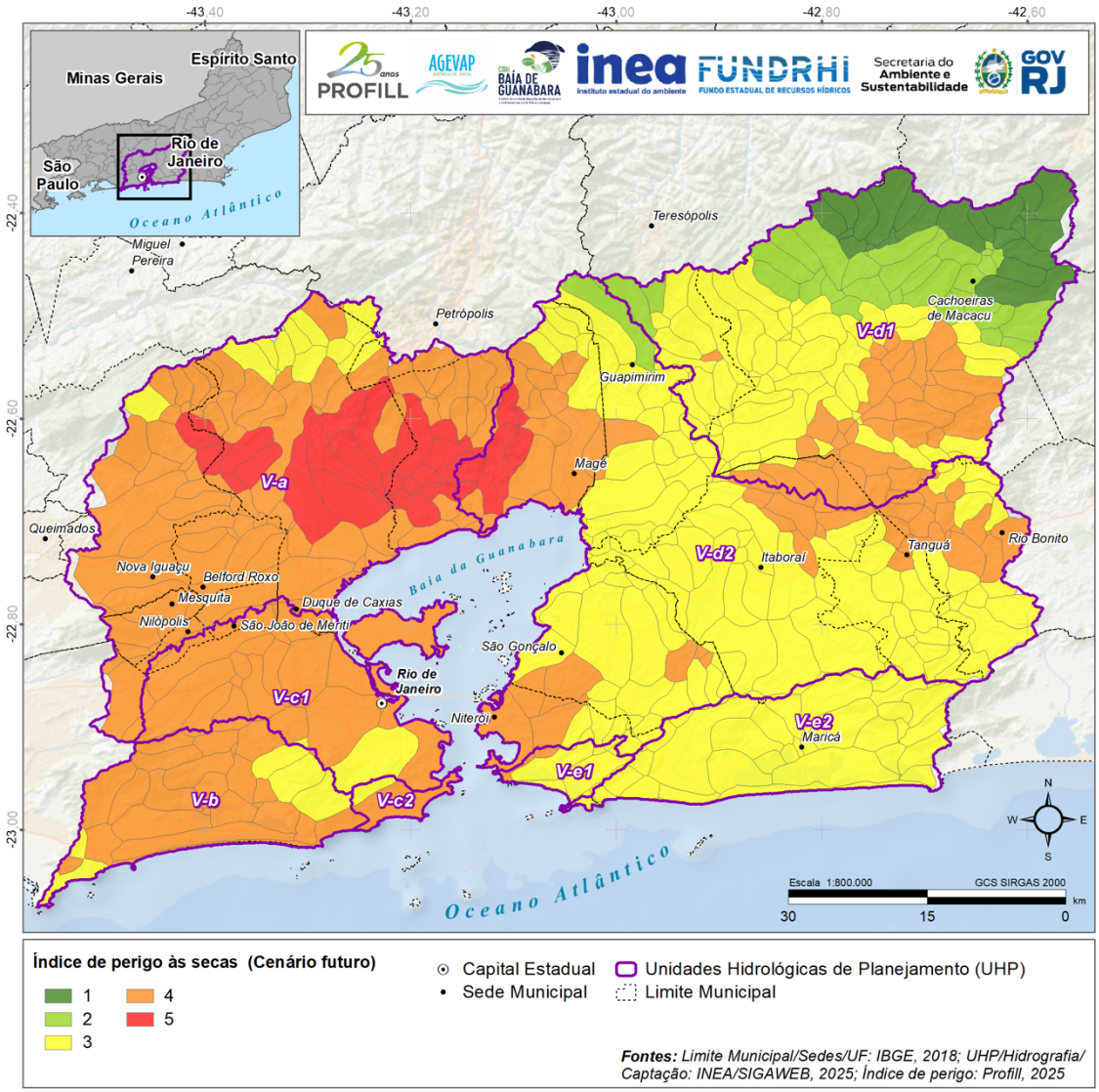


Mapa 5-33– Localização das captações superficiais para abastecimento urbano em relação ao índice de perigo às secas para a RH-V no cenário atual.
Fonte: Elaboração própria.

5.2.7.5 Índice de Perigo às Secas para o Cenário Futuro

Por fim, foi realizada uma avaliação das possíveis alterações em relação ao índice de perigo às secas considerando o cenário futuro de mudanças climáticas descrito no item 5.2.5 e no Mapa 5-23. Destaca-se que, para esta análise, foram consideradas apenas alterações na precipitação média anual para a RH-V – os demais índices seguiram conforme os atuais, porque não há forma de realizar esta avaliação para todas as variáveis que compuseram o índice de perigo às secas. Além disso, os pesos da reclassificação das chuvas médias mensais foram realizados conforme os quantis apresentados no Quadro 5-12, obtidos para a chuva atual – uma vez que, caso fossem recalculados, o resultado do índice de perigo seria o mesmo que o atual, devido à reamostragem dos índices de 1 a 5.

O Mapa 5-34 apresenta, portanto, o índice de perigo considerando o pior cenário de alteração de volume de precipitação devido às mudanças climáticas. Observa-se que, em relação ao índice atual, há aumento nas áreas com perigo "muito alto", especialmente nos municípios de Duque de Caxias e Magé. Além disso, há redução significativa nos locais com riscos "muito baixo" e "baixo", mesmo na região norte da RH-V. A distribuição espacial do perigo segue semelhante, uma vez que foi alterado apenas o volume de chuvas nesta análise. Destaca-se, também, que algumas regiões do município do Rio de Janeiro passaram de classe de risco "moderado" para "alto", mesmo estando próximas ao litoral.



Mapa 5-34– Resultado de perigo à ocorrência de secas na RH-V para o cenário futuro.
Fonte: Elaboração própria.

Assim como para a situação atual, foi realizada uma análise relacionando as captações superficiais para consumo humano e o seu respectivo índice de perigo no cenário futuro. Das 81 captações superficiais presentes na região, no cenário futuro passam a existir duas localizadas em áreas de perigo "muito alto", ambas no município de Duque de Caxias. Em relação a classe de perigo "alto", ocorre a maior piora: de seis, passa a haver 26 captações localizadas em locais com este índice, em sua maioria na região oeste e noroeste da RH-V, que é onde está localizada a maior densidade populacional da região. Em cenário futuro, há 32 captações em áreas de

perigo "moderado", que segue sendo o predominante; 13 captações superficiais em áreas de perigo "muito baixo" e apenas oito estão localizadas em regiões com "baixo" perigo.

A Figura 5-54 apresenta a proporção de captações superficiais localizadas em área de perigo à ocorrência de estiagens e a Tabela 5-34 apresenta estes resultados em termos quantitativos. Por fim, o Mapa 5-35 apresenta estas captações distribuídas espacialmente na RH-V. No contexto destes resultados, ressalta-se que os riscos associados às bacias hidrográficas não se restringem necessariamente apenas aos seus limites. A dinâmica regional do abastecimento indica que determinadas bacias exercem influência direta sobre outras, devido aos sistemas de captação. Por exemplo, observa-se que o atendimento das populações situadas nos setores oeste e leste da RH-V é condicionado às precipitações incidentes nas bacias do noroeste e nordeste, respectivamente.

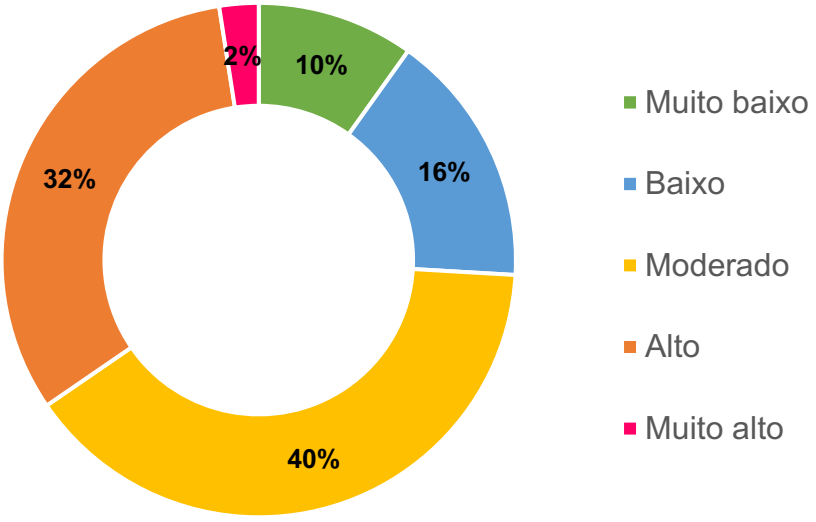
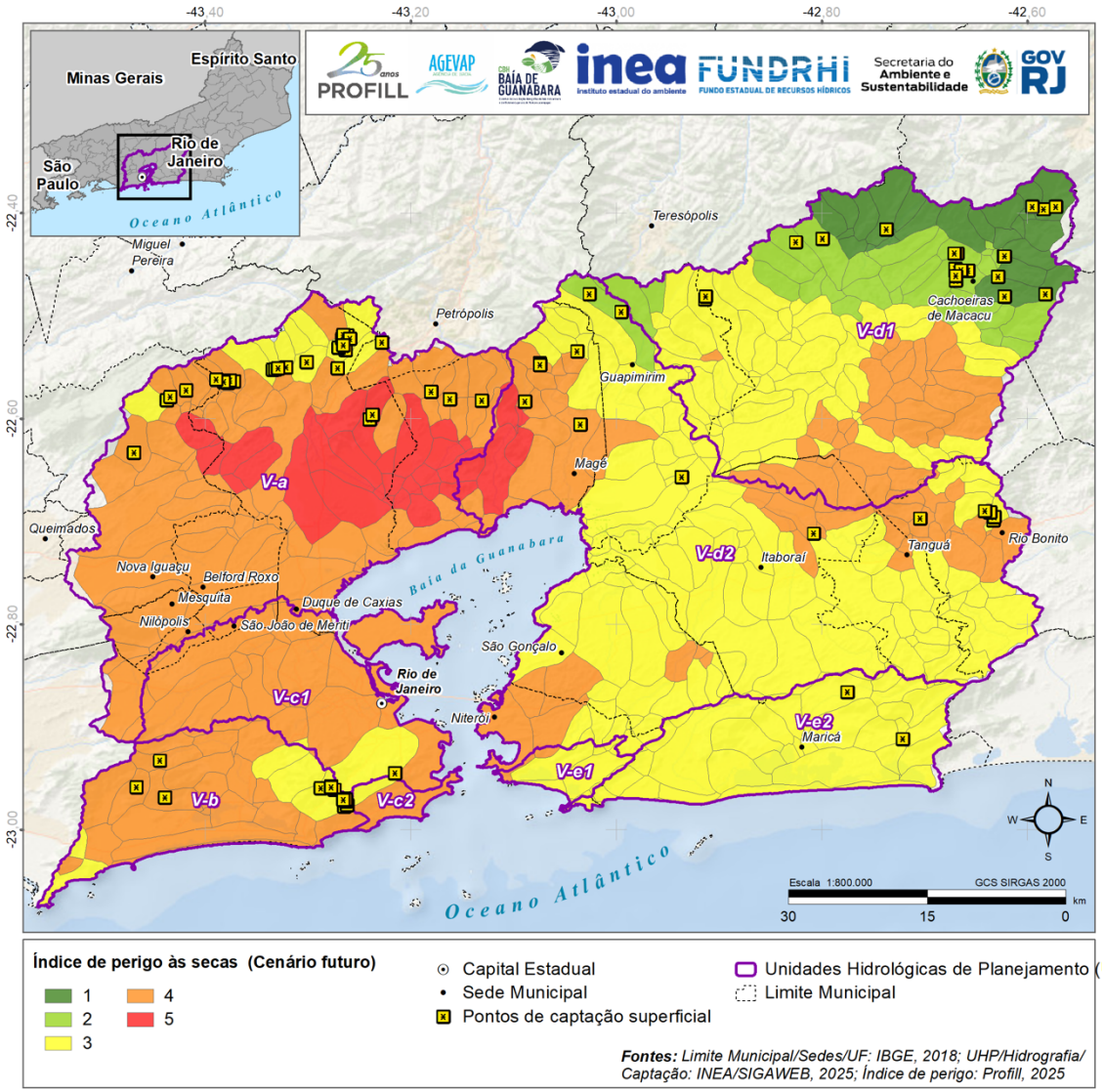


Figura 5-54- Quantidade de captações superficiais localizadas em áreas com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário futuro.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-35– Localização das captações superficiais para abastecimento urbano em relação ao índice de perigo às secas para a RH-V no cenário futuro.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-34 - Quantidade de captações superficiais de acordo com cada classe do índice de perigo para secas na RH-V no cenário futuro.

Índice de Perigo	Quantidade
1 – Muito Baixo	8
2 – Baixo	13
3 – Moderado	32
4 – Alto	26
5 – Muito Alto	2

Fonte: Elaboração própria.

5.3 CONTAMINAÇÃO POR POLUENTES

A RH-V está inserida em uma das áreas mais densamente povoadas e economicamente dinâmicas do Estado do Rio de Janeiro. Compreendendo parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, tem como característica uma acentuada urbanização, intensa atividade portuária e concentração de polos industriais, logísticos e petroquímicos, como os encontrados nos municípios de Duque de Caxias, São Gonçalo e Itaboraí. A região abriga importantes vias de transporte e infraestrutura, como a BR-101, a Ponte Rio-Niterói, terminais portuários e o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ), além de um denso sistema de dutos destinados ao transporte de combustíveis e derivados de petróleo.

A expressiva presença de atividades industriais, o tráfego constante de embarcações de grande porte e a ocupação desordenada do solo, frequentemente sem a devida infraestrutura, tornam a RH-V extremamente vulnerável a episódios de contaminação, seja decorrente de acidentes industriais, vazamentos em dutos ou lançamento irregular de efluentes. Tais eventos podem comprometer gravemente a qualidade da água, impactando diretamente o ecossistema da baía e seus usos múltiplos das águas. Portanto, a RH-V representa uma área que exige atenção constante quanto à gestão dos riscos associados ao desenvolvimento urbano-industrial em sua área de influência.

Como exemplo de potenciais contaminações geradas pelo desenvolvimento urbano na RH-V, pode-se utilizar os dados do SNIS referentes aos municípios da área de estudo para auxiliar na compreensão de como diferentes manchas urbanas impactam direta ou indiretamente a qualidade das águas interiores. Essa base permite caracterizar o desempenho e a cobertura dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos sob a perspectiva da gestão municipal e das concessionárias responsáveis.

A Tabela 5-35 apresenta os principais indicadores do SNIS para cada município, incluindo variáveis como índice de coleta de esgoto e índice de tratamento de esgoto. A comparação entre esses dados e os índices domiciliares de saneamento

possibilita uma análise mais abrangente das condições de infraestrutura e do nível de acesso aos serviços básicos de saneamento.

Tabela 5-35 – Informações de coleta e tratamento de esgoto dos municípios da RH-V.

Município	População na bacia drenante à Baía de Guanabara	População total atendida com esgotamento sanitário	População atendida com esgotamento sanitário (%)	Coleta de esgoto (1.000 m³/ano)	Tratamento de esgoto (1.000 m³/ano)	Coleta (%)	Tratamento (%)
Belford Roxo	483.087	27.126	6%	1.114	1.114	7,4	100%
Cachoeiras de Macacu	56.943	-	-	-	-	-	-
Duque de Caxias	808.161	70.587	9%	3.964	1.045	13,4	26%
Guapimirim	51.696	-	-	-	-	-	-
Itaboraí	224.267	2.898	1%	353	353	14,8	100%
Magé	228.127	12.705	6%	790	-	34,7	
Maricá	197.277	2.336	1%	63	63	1,7	100%
Mesquita	167.127	22.629	14%	735	-	13,1	100%
Nilópolis	146.774	-	-	-	-	-	
Niterói	481.749	460.070	95%	37.089	37.089	100,0	100%
Nova Iguaçu	785.867	228.038	29%	9.230	9.230	36,2	100%
Petrópolis	278.881	236.909	85%	14.073	11.384	100,0	81%
Rio Bonito	56.276	45.941	82%	3.200	-	100,0	-
Rio de Janeiro	6.211.223	5.950.288	96%	383.345	346.011	94,3	90%
São Gonçalo	896.744	114.123	13%	11.759	11.759	44,7	100%
São João de Meriti	440.962	418.914	95%	20.917	-	100,0	-
Tanguá	31.086	19.996	64%	1.946	44	100,0	2%
TOTAL	**11.546.274**	**7.611.557**	**66%**	**488.576**	**418.091**	**-**	**-**

Fonte: Elaboração própria.

Analisando a referida tabela, pode-se observar grandes disparidades entre os municípios que fazem parte da RH-V em relação ao acesso aos serviços de esgotamento sanitário, incluindo coleta e tratamento. Apesar da população total dos municípios da região somar mais de 11,5 milhões de habitantes, apenas cerca de 66% estão atendidos com rede de esgotamento sanitário, o que revela um déficit significativo na cobertura desses serviços básicos.

Municípios como Rio de Janeiro e Niterói apresentam os melhores índices de atendimento e tratamento (segundo dados do SNIS), com mais de 90% da população

atendida e altas taxas de tratamento do esgoto coletado (superiores a 80%). Em contrapartida, cidades como Itaboraí e Maricá apresentam os piores indicadores, que indicam percentuais de atendimento populacional por esgotamento sanitário da ordem de 1%.

O município de Duque de Caxias, apesar de possuir uma população expressiva (superior a 800 mil habitantes), também demonstra desempenho insatisfatório, com apenas 9% de atendimento e 26% de tratamento, o que pode indicar despejo direto de efluentes domésticos *in natura* nos corpos hídricos. De modo geral, segundo os dados do SNIS, pode-se observar uma concentração da infraestrutura de saneamento em áreas centrais e economicamente mais desenvolvidas (Rio de Janeiro e Niterói, por exemplo), enquanto os municípios periféricos ou de menor arrecadação tendem a apresentar menores taxas de coleta e tratamento.

Nos capítulos seguintes, a RH-V é contextualizada quanto aos desastres associados à contaminação por poluentes, iniciando-se, no item 5.3.1 com uma breve descrição dos principais acidentes históricos envolvendo a temática na região. Após, no item 5.3.3, é apresentado um diagnóstico quali-quantitativo dos recursos hídricos que compõem a RH-V, fundamentado na rede de monitoramento e nos dados disponibilizados, principalmente, pelo INEA, bem como nos resultados do monitoramento quali-quantitativo disponibilizados pelo CBH-BG, já utilizados ao longo deste estudo para subsidiar as análises desenvolvidas. Uma vez identificados e classificados os trechos de cursos d'água em relação à qualidade das águas medidas ao longo do tempo, as principais fontes de contaminação da área são mapeadas e analisadas, tanto com relação à origem, quanto com relação ao tipo e localização destas fontes de contaminação. Essa verificação é realizada no item 5.3.4, permitindo a identificação, no item 5.3.5, dos principais trechos de cursos hídricos que apresentam fortes suscetibilidades a contaminações. Por fim, no item 5.3.6, é discutida a interface existente entre os cursos hídricos suscetíveis a contaminações e a infraestrutura utilizada para abastecimento na RH-V, e no item 5.3.7, apresentada a periculosidade quanto à temática.

5.3.1 *Acidentes e Registros Históricos*

Ao longo da história, na RH-V houve diversos casos envolvendo a contaminação de seus mananciais, sejam essas contaminações decorrentes de aportes de efluentes sanitários sem tratamento, sejam decorrentes de acidentes envolvendo cargas perigosas ou regiões industriais. Como exemplo de acidentes envolvendo polos industriais, são, inicialmente, destacados dois casos: o primeiro, envolvendo a Cidade dos Meninos (no município de Duque de Caxias), e o segundo, o Complexo Industrial da Bayer/Tribel (em Belford Roxo), segundo levantamento da Fiocruz[10].

A região da Cidade dos Meninos, de aproximadamente 1.900 hectares, teve, entre 1949 e 1961, a presença de uma fábrica de produtos profiláticos que produzia pesticidas como hexaclorociclohexano (HCH), arsenito de cobre e diclorodifenil-tricloretano (DDT). Após o fechamento da fábrica, cerca de 300 a 400 toneladas de produtos foram abandonadas no local sem controle ou sinalização. Moradores utilizaram livremente o material, como em hortas e na sua venda em feiras livres, sem qualquer orientação quanto aos riscos. A dispersão para os cursos hídricos locais foi potencializada por chuvas, de modo que a partir da década de 1990, após reportagens sobre a venda ilegal do "pó-de-broca", iniciaram-se vistorias da Defesa Civil e da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) na região, que constataram a presença de 40 toneladas do produto remanescente, sugerindo que 85 a 90% do material original já havia se dispersado. Estudos realizados pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), em 1991, indicaram contaminação por HCH em pessoas residentes num raio de 100 metros da fábrica. Em 1993, uma nova avaliação confirmou a contaminação em 24% das amostras de sangue coletadas, enquanto em 1995, uma tentativa de neutralização do HCH com cal aumentou a área contaminada para 38.000 m², gerando novos compostos tóxicos, e afetando também as águas subterrâneas.

[10]https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/?populacao_tax=0&atv_gerad_tax=0&dano_tax=0&impacto_tax=poluicao-de-recurso-hidrico&uf_tax=rj&q

Já na cidade de Belford Roxo, desde 1958 o Complexo Industrial da Bayer opera com produção de produtos químico-farmacêuticos, possuindo uma ETE, incinerador e aterro industrial classe 1. Denúncias acumuladas ao longo de 40 anos apontam para a contaminação do Rio Sarapuí por mercúrio e ascarel, nome comercial de um líquido isolante sintético à base de bifenilas policloradas (PCBs), frequentemente usado em equipamentos elétricos como transformadores. Análises identificaram concentrações de até 22 mg/kg de mercúrio em sedimentos do rio, além de vestígios de chumbo e PCBs. A FEEMA admitiu encontrar níveis de mercúrio semelhantes em estudos anteriores na Baía de Guanabara, apontando a Bayer como principal fonte.

Outro acidente de grande notoriedade envolvendo produtos químicos tóxicos e cursos hídricos ocorreu no ano de 2024 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a partir de um caso de contaminação por tolueno, hidrocarboneto aromático líquido, incolor e com odor característico, amplamente utilizado na indústria petroquímica. Também é utilizado como solvente e matéria-prima para a produção de outros compostos químicos associados à indústria de tintas e fabricação de combustíveis. É especialmente tóxico para humanos e seres vivos, podendo atuar, entre outros, diretamente no sistema nervoso central de pessoas que tiveram contato com essa substância.

A contaminação por tolueno registrada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro no ano de 2024 configurou um dos maiores episódios recentes de risco ambiental e sanitário relacionado ao abastecimento de água no Estado. O episódio teve como epicentro o Rio Guapiaçu, que integra a Bacia Hidrográfica dos Rios Guapiaçu-Macacu, diretamente associado ao Sistema Imunana-Laranjal, responsável pelo fornecimento de água potável para, aproximadamente, 2 milhões de pessoas, incluindo os municípios de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Maricá (distritos de Inoã e Itaipuaçu) e Rio de Janeiro (Ilha de Paquetá).

O incidente ganhou ampla repercussão no cenário nacional quando, no início de abril de 2024, análises realizadas pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) detectaram níveis elevados de tolueno em alguns cursos hídricos avaliados. De acordo com informações divulgadas pelo Jornal Correio Braziliense (2024), os níveis de tolueno encontrados chegaram a 59 µg/L, quase o dobro do limite estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que regula os padrões de qualidade da água para consumo humano no Brasil, fixando o limite máximo permitido para essa substância em 30 µg/L (Correio Braziliense, 2024).

O epicentro da contaminação foi rastreado para as proximidades de uma faixa de dutos, situado na região de Guapimirim, sendo que a sua origem ainda não foi determinada. O evento rapidamente mobilizou equipes do INEA e do Ministério Público, que passaram a investigar possíveis responsáveis, com foco especial em empresas ligadas ao Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj/Gaslub), além de outras atividades industriais na região, conforme divulgado pelo Portal CNN Notícias no ano de 2024[11].

Embora o acidente tenha tido como foco imediato o Rio Guapiaçu, os impactos e os riscos de expansão da mancha de poluentes fizeram com que os órgãos ambientais ampliassem rapidamente o monitoramento para outros corpos hídricos da região. Assim, rios como Guapimirim e Macacu entraram no radar das investigações e análises emergenciais, devido às conexões hidrográficas e à possibilidade de interconectividade dos aquíferos e canais de drenagem superficiais.

A contaminação teve efeitos imediatos sobre o abastecimento de água potável na região. Por precaução, a CEDAE suspendeu temporariamente a captação de água em cinco cidades do RJ, afetando diretamente milhões de consumidores (G1, 2025). Este desastre resultou na interrupção do fornecimento de água potável por mais de 3 dias (Almeida *et al*. 2025), exigindo que a companhia implementasse rapidamente medidas emergenciais para mitigar os impactos, como disponibilização de

[11]https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rj-poluente-que-contaminou-agua-e-suspendeu-captacao-veio-de-oleoduto-desativado/

caminhão pipa para atendimento de hospitais e clínicas de saúde, por exemplo (O Globo, 2025). Além disso, visando a contenção do problema, foi realizado o isolamento e sucção do tolueno na área do Sistema Imunana-Laranjal, onde foi constatada a poluição do manancial. Também, foram construídas barreiras de absorção e de contenção em outros canais de acesso ao rio, embora essas medidas não tenham sido suficientes para conter toda a quantidade do material contaminante (Almeida et al., 2025).

O INEA e a própria CEDAE adotaram como protocolo ampliar o raio de monitoramento, visando não apenas conter a contaminação, mas também avaliar seus possíveis efeitos em rios vizinhos. Também, se destacam os desdobramentos da Operação Águas Limpas, coordenada pela DPMA em conjunto com o INEA, que tinha o objetivo de buscar e investigar empresas que utilizavam o tolueno em suas operações, procurando identificar possíveis responsáveis pelo acidente (Tempo Real RJ, 2024), de forma que ao longo da execução dessa força-tarefa, algumas empresas foram identificadas e punidas (Almeida *et al*., 2025).

Além destes casos, outros eventos de contaminação na RH-V que acabaram impactando a captação de água para abastecimento público podem ser destacados, como o registrado em 1 de outubro de 2024, quando um caminhão transportando óleo *diesel* e emulsão asfáltica tombou na altura do Km 131 da BR-116, no município de Magé, contaminando o Rio Suruí. Segundo o que foi noticiado, o acidente provocou o vazamento direto dos combustíveis no leito do rio, ocasionando mortandade imediata de peixes, caranguejos e outras espécies aquáticas, além de contaminação do solo e das margens fluviais (G1, 2024).

Moradores e pescadores reportaram que os danos se estenderam às suas atividades econômicas, especialmente à pesca de subsistência, relatando ainda o surgimento de fortes odores e manchas de óleo ao longo do curso do rio. Conforme relatado pelas reportagens, o vazamento envolveu cerca de 2.500 litros de emulsão asfáltica, além de gasolina e *diesel*, causando intensa mortandade de peixes, caranguejos e outros organismos aquáticos nos manguezais (Tussini, 2024). Ainda, o CBH-

BG (2024) informou que os poluentes alcançaram a Baía de Guanabara e que as barreiras de contenção demoraram 2 horas e 30 minutos para serem instaladas, fato que agravou os impactos ambientais.

No contexto de acidentes envolvendo fontes móveis, também pode ser destacado o derramamento de óleo *diesel* associado a um grave acidente ocorrido em 28 de abril de 2005, quando um trem da empresa MRS Logística descarrilhou na região de Porto das Caixas (distrito do município de Itaboraí), derramando, aproximadamente, 60 mil litros de óleo *diesel* nas margens e no leito do Rio Caceribu (BRASIL, 2005; Rangel, 2005). O vazamento causou sérios danos ambientais, especialmente no manguezal associado à Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, além de comprometer temporariamente a qualidade da água utilizada para abastecimento local, tendo sido aplicadas multas, à época, que somavam 5 milhões de reais (BRASIL, 2005). Neste contexto, esse episódio, além de representar um risco ecológico de grandes proporções, evidenciou a fragilidade dos sistemas de transporte de cargas perigosas na região, especialmente aqueles que transitam próximos a corpos hídricos de extrema relevância ambiental.

Outro acidente de expressiva repercussão ambiental, que também afetou parte da Bacia Hidrográfica do Rio Guapimirim, ocorreu em janeiro de 2000 (embora com registros semelhantes já em 1997), quando houve o rompimento de um duto da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), operada pela Petrobras. Este episódio resultou no derramamento de aproximadamente 1,3 milhões de litros de óleo combustível, que atingiram diretamente os manguezais da Baía de Guanabara, além de rios e canais que a compõem, incluindo o Rio Guapimirim (O Globo, 2020), se espalhando em uma mancha da ordem de 40 km² (Dantas, 2015). Este acidente causou um grande impacto na região, afetando diretamente a pesca e milhares de famílias que viviam da atividade pesqueira, uma vez que causou a mortandade de peixes, crustáceos e comprometimento severo da vegetação de manguezais. Os efeitos do derramamento persistiram por anos (Dantas, 2015), com reflexos na qualidade da água, na pesca e na

saúde pública das populações ribeirinhas, além de gerar prejuízos econômicos consideráveis tanto para comunidades pesqueiras, quanto para a própria Petrobras, que foi responsabilizada judicialmente pelo acidente.

Além de casos associados a fontes de contaminação identificáveis, sejam elas móveis (oriundas de rodovias, ferrovias ou dutos), ou pontuais (como grandes indústrias), é também recorrente na região a identificação de grandes cargas de contaminação nos mananciais sem que haja identificação direta dos responsáveis. Como exemplo, destaca-se a presença de mercúrio em sedimentos de fundo e em peixes da Lagoa Rodrigo de Freitas (Lourenço, 2020), e a presença de metais e esgoto doméstico em sistemas costeiros da Baía de Guanabara e no Rio Meriti (Nascimento, 2019).

De modo similar, a poluição crônica em mananciais da Baía de Guanabara também se faz presente devido não só à existência de aportes de esgotos clandestinos diretamente nos cursos hídricos que cruzam grandes manchas urbanas, mas também devido à poluição difusa, que tipicamente ocorre em grandes centros urbanos. Como exemplo de mananciais historicamente degradados na região, cita-se o sistema formado pelos rios Faria e Timbó, que se unem para formar o Rio Faria-Timbó, considerado um dos mais críticos em termos de degradação ambiental no município do Rio de Janeiro. A situação de poluição nesses rios é histórica e remete à década de 1990, quando estudos ambientais já apontavam o comprometimento total dos corpos hídricos em virtude do despejo contínuo de esgoto doméstico sem tratamento, lixo sólido, efluentes industriais e resíduos urbanos.

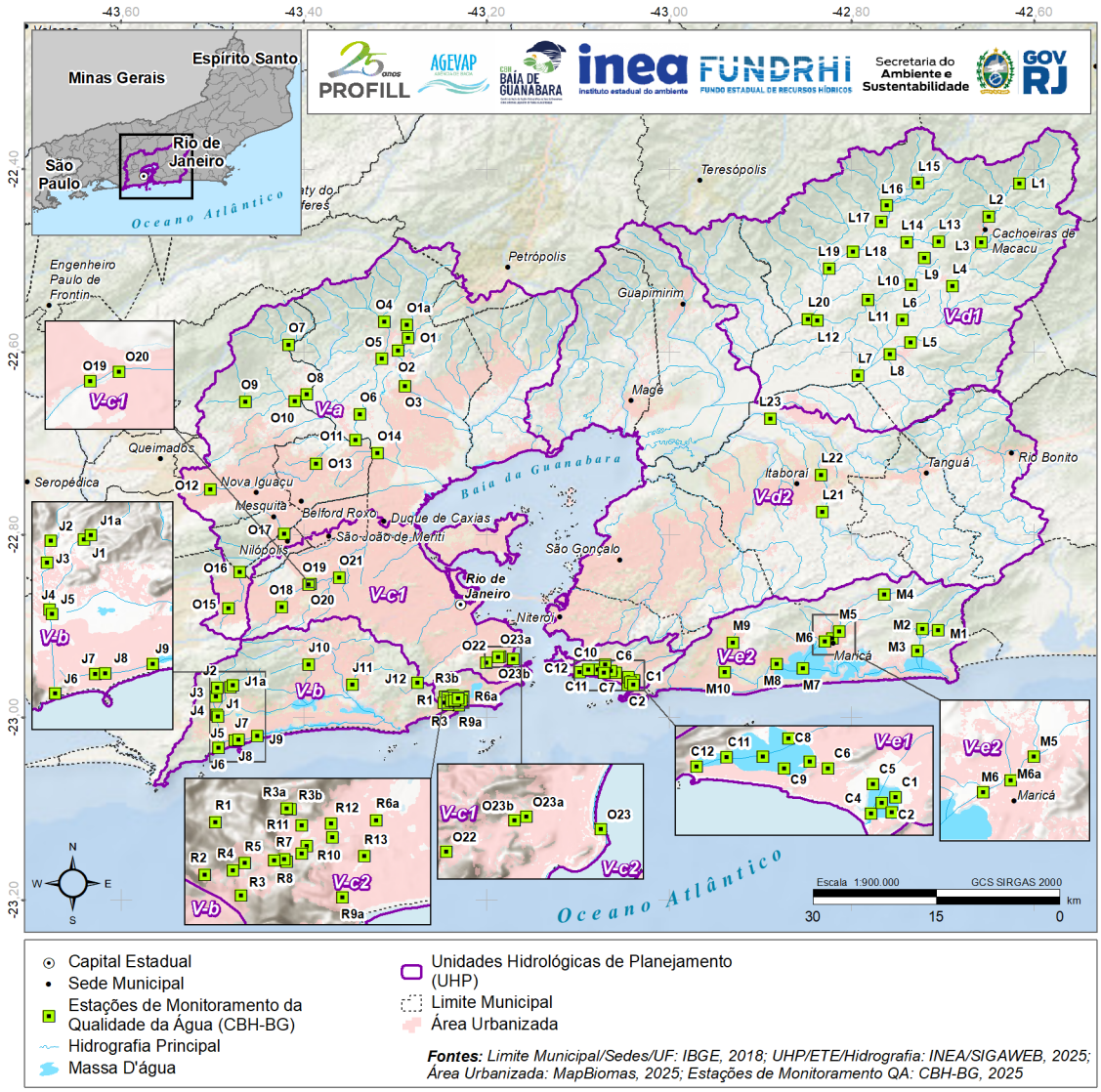
Os casos supracitados indicam e apontam a vulnerabilidade dos recursos hídricos da RH-V, que sofrem com ameaças de contaminação das mais diversas maneiras. Desde o aporte de esgotos sanitários sem tratamento, até o aporte de produtos perigosos, tóxicos ou potencialmente poluentes oriundos de indústrias ou desastres rodoviários, esse contato permanente e histórico dos mananciais da RH-V com poluentes acaba se refletindo na qualidade da água analisada em estações de medição espalhadas pela região.

É importante destacar que foi realizada uma pesquisa no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), para o período de 2013 a 2022, na região em estudo, buscando-se identificar registros relevantes (mesmo que potencialmente ocorram subnotificações). No referido sistema, foram encontrados apenas dois registros relacionados a acidentes envolvendo produtos perigosos: um em 2014, referente ao transporte rodoviário de produtos perigosos no município de Duque de Caxias, e outro em 2015, envolvendo o derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial e marinho no município de Maricá.

Neste contexto, no item a seguir são apresentados os dados de monitoramento de qualidade da água existentes na RH-V, associados ao CBH-BH, bem como um diagnóstico quali-quantitativo dos recursos hídricos locais, fundamentado na rede de monitoramento de qualidade da água operada pelo INEA. Os dados utilizados foram obtidos a partir de *shapefiles* de Índice de Qualidade da Água (IQA) disponibilizados tanto pela AGEVAP como pelo SIGA-BG, permitindo a análise espacial da qualidade dos corpos hídricos da RH-V. Essa avaliação possibilita a identificação de trechos críticos, o entendimento do grau de comprometimento dos mananciais, e futura a orientação para ações de recuperação e preservação.

5.3.2 ***Dados de Monitoramento de Qualidade da Água (CBH-BG)***

Este capítulo apresenta a distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade da água na RH-V, segundo contrato de monitoramento do CBH-BG, com análises feitas de acordo com as UHPs da referida região (Mapa 5-36). As 103 estações de monitoramento se constituem como uma rede importante do sistema de gestão dos recursos hídricos local, uma vez que permitem o acompanhamento sistemático das condições físicas, químicas e, quando aplicável, biológicas dos corpos d'água superficiais. Neste contexto, destaca-se a existência de um vasto histórico de dados derivados das estações, de forma que para o presente relatório é apresentada apenas a 40° e última campanha realizada até o momento de elaboração deste estudo, apresentada na Tabela 10-1, nos Anexos.



Mapa 5-36 - Localização das estações de monitoramento de qualidade da água na RH-V (CBH-BG)
Fonte: Elaboração própria.

Do ponto de vista quantitativo, na UHP V-a, observa-se a presença de 18 estações distribuídas ao longo dos principais cursos d'água que drenam áreas com ocupação urbana consolidada e setores com cobertura vegetal remanescente. O monitoramento nessa unidade permite avaliar os efeitos do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água, bem como acompanhar as contribuições hídricas afluentes à porção central da bacia.

A UHP V-b, localizada na porção sudoeste, apresenta 13 estações associadas a cursos d'água que cruzam áreas com densidade urbana e influência de

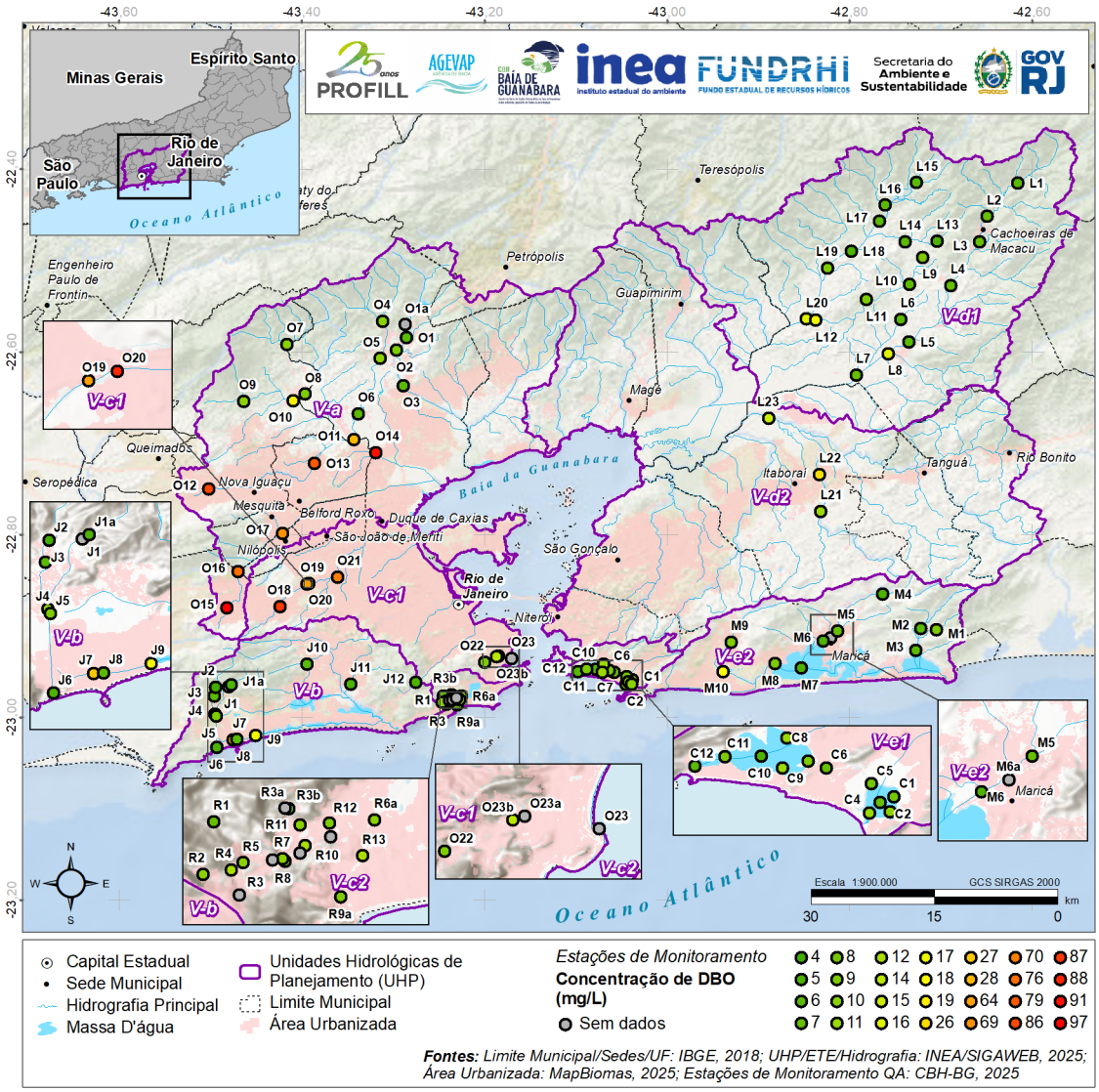
ambientes naturais e rurais de características distintas. Nessas condições, o monitoramento desempenha papel relevante como referência ambiental, possibilitando comparações com áreas mais impactadas da RH-V.

As UHPs V-c1 e V-c2 apresentam, ao todo, 26 estações, sendo oito delas na V-c1 e 18 na V-c2. Adicionalmente, observa-se no referido mapa que embora a UHP V-c2 se localize em uma região com menor pressão antrópica em áreas de montante (especialmente em regiões montanhosas), apenas uma estação está localizada em curso hídrico cuja bacia hidrográfica está isenta de pressões antrópicas.

Na UHP V-d1, situada na porção nordeste da bacia, observam-se 20 estações que estão distribuídas em cursos d'água que drenam áreas com maior presença de cobertura vegetal natural, ainda que sujeitas a processos de ocupação e uso do solo em expansão, em alguns casos. Já a UHP V-d2 apresenta apenas três estações posicionadas em corpos hídricos que atravessam áreas de transição entre ambientes mais preservados e regiões com usos antrópicos mais intensivos.

Por fim, as UHPs V-e1 e V-e2 abrangem áreas costeiras e de interface direta entre os sistemas fluviais e o ambiente marinho, contendo, no total, 23 estações de monitoramento. Na região V-e1, há 12 estações de monitoramentos, todas voltadas às lagoas da região. Já na V-e2, as seis estações estão localizadas em corpos hídricos a montante e jusante das lagoas ali presentes, enquanto cinco estão associadas a corpos lagunares.

Uma análise qualitativa dos dados pode ser realizada considerando-se primordialmente o parâmetro DBO analisado na 40ª campanha realizada nestas estações. Aqui, cabe destacar que este parâmetro foi selecionado para a análise qualitativa por ser indicativo de matéria orgânica oriunda de efluentes domésticos e industriais, sendo representativo de poluição. Os resultados (apresentados no Mapa 5-37), mostram que o comportamento desse parâmetro é extremamente sensível a áreas urbanas, de forma que cursos hídricos localizados ou que cruzam essas regiões apresentam maiores cargas orgânicas decorrentes do potencial aporte de esgotos sanitários.



Mapa 5-37 – Concentrações de DBO na RH-V
Fonte: Elaboração própria.

Sob essa perspectiva, a análise qualitativa ilustra diferenças espaciais significativas entre as UHPs. A UHP V-a apresenta a maior heterogeneidade com relação às concentrações. Das 18 estações, seis com registros de valores elevados de DBO, indicando maior aporte de matéria orgânica e forte influência antrópica, possivelmente relacionada à maior densidade de ocupação urbana e à presença de lançamentos de efluentes domésticos ou atividades produtivas, uma vez localizadas em áreas urbanas da região. Esse padrão sugere comprometimento da qualidade da água de cursos hídricos que cruzam especialmente em áreas urbanas. Já a UHP V-b é

caracterizada por uma heterogeneidade espacial. Observam-se que das 13 estações, 11 apresentam DBO baixa associadas potencialmente a trechos menos impactados e menos urbanizados, coexistindo com duas de DBO médios, sobretudo em áreas mais próximas à zona costeira e a núcleos urbanos consolidados. Esse padrão indica a ocorrência de impactos localizados, que elevam pontualmente a carga orgânica nos corpos hídricos, conforme os resultados da campanha aqui analisada.

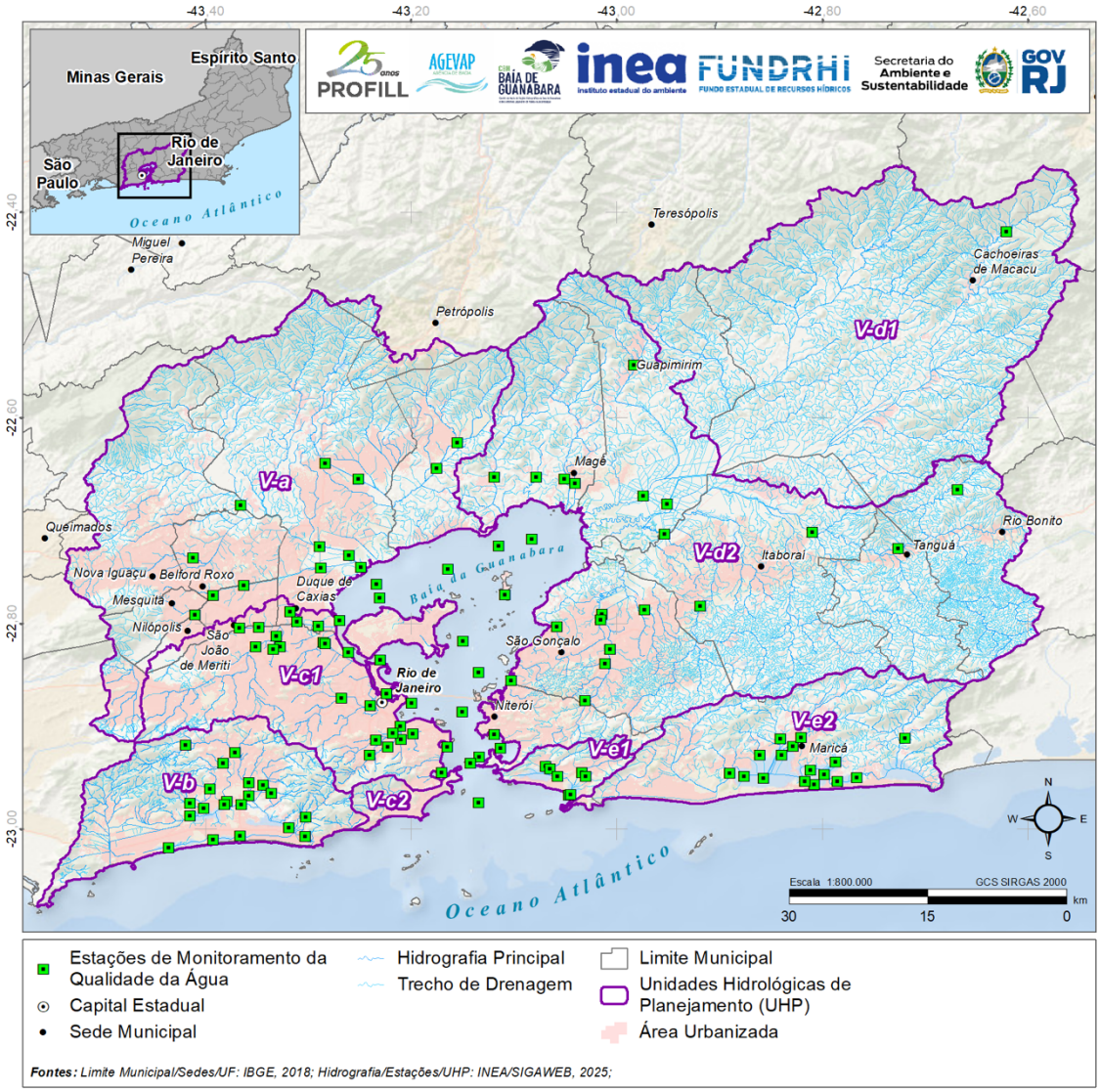
A UHP V-c1, de modo geral, apresenta condições menos favoráveis de qualidade da água, com quatro de suas oito estações enquadradas na faixa de DBO alta, e outras duas sem dados para este parâmetro. Enquanto na V-c2, as 18 estações estão em uma faixa de DBO baixo, o que pode indicar melhor qualidade de água nesta região. Salienta-se que as ocorrências de valores elevados na V-c1 são pontuais e restritas a áreas urbanas.

Na UHP V-d1 observa-se um padrão majoritariamente associado à DBO baixa, especialmente nas estações localizadas em áreas de cabeceira e em regiões com menor grau de urbanização, indicando menor interferência antrópica direta. Das estações ali presentes, apenas 3 apresentam níveis médios. Com relação à UHP V-d2, embora também apresente predominância de DBO baixa, esta registra alguns pontos com valores mais elevados, evidenciando a influência de áreas urbanizadas ou de atividades pontuais que contribuem para o aumento da carga orgânica.

Por fim, as UHPs V-e1 e V-e2, situadas na porção sul da área de estudo, apresentam comportamentos distintos. Os dados monitorados na UHP V-e2 revelam maior variabilidade nos valores de DBO, com a coexistência de estações com baixa e elevada carga orgânica, refletindo maior pressão antrópica e heterogeneidade de usos do solo. Em contraste, a UHP V-e1 apresenta predomínio de estações com DBO baixa, indicando melhores condições de qualidade da água, embora o uso do solo local também esteja associado a alta taxas de antropização.

5.3.3 *Diagnóstico Quali-Quantitativo dos Recursos Hídricos*

Adicionalmente ao apresentado no capítulo 5.3.2, visando a análise geral da qualidade das águas da RH-V sob o aspecto de IQAs, foi realizado um diagnóstico quali-quantitativo dos cursos hídricos locais, a partir do uso de dados oriundos de estações de monitoramento de qualidade da água distribuídas ao longo de diversos trechos da referida região, disponibilizadas no SIGA-BG. Conforme observado no Mapa 5-38, esta base conta com 118 estações na RH-V utilizadas para monitoramento da qualidade da água, embora nem todas sejam utilizadas para quantificação de índices importantes relativos ao tema.



Mapa 5-38 - Localização das estações de monitoramento de qualidade da água na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

IQAs são extremamente importantes para se mensurar a qualidade global das águas de uma determinada região. Neste sentido, destaca-se inicialmente o IQA-NSF, que é amplamente utilizado e reconhecido para mensurar a qualidade de cursos hídricos em situações como as encontradas na RH-V. De acordo com Silveira (2018), o IQA-NSF é composto por nove parâmetros que foram incorporados conforme sua relevância para a finalidade de abastecimento público. Esses parâmetros incluem temperatura da água, pH, OD, DBO, coliformes fecais (termotolerantes), nitrato, fosfato total, sólidos dissolvidos totais e turbidez. Para cada parâmetro, são aplicadas curvas que representam a variação da qualidade da água de acordo com o estado ou condição, conforme ilustrado na Figura 5-55.

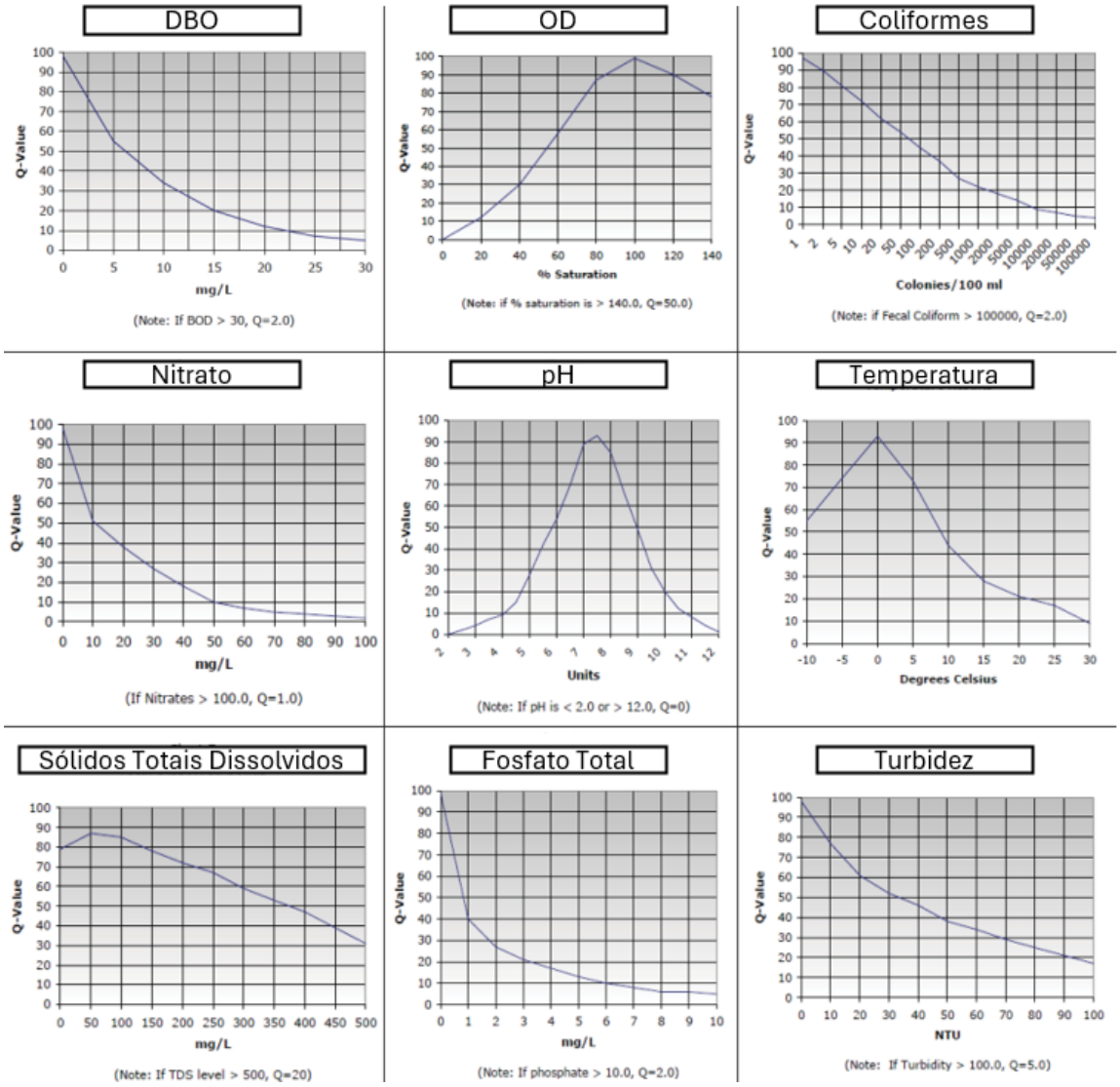


Figura 5-55 – Curvas representativas do Índice de Qualidade das Águas por parâmetro.
Fonte: Silveira (2018).

O IQA-NSF é um valor numérico que varia de 0 a 100, obtido a partir da identificação das concentrações parametrizadas de cada um dos parâmetros individuais consideradas no índice, denotada como qi. Esse valor é obtido a partir de uma "curva média de variação de qualidade", que correlaciona a concentração ou medida do parâmetro com um peso correspondente, wi, que varia entre 0 e 1, refletindo a importância relativa do parâmetro para a qualidade geral da água. O resultado do cálculo do IQA-NSF é obtido, por fim, a partir do produtório ponderado das qualidades da água correspondentes às variáveis que integram o índice, segundo a Equação 25,

enquanto os pesos adotados para os parâmetros utilizado estão apresentados na Tabela 5-36.

Equação 25

$$IQA = \prod_{I=1}^{N} q_i^{Wi}$$

Tabela 5-36 - Peso dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA.

Parâmetro de Qualidade da Água	Peso (*wi*)
OD	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,16
pH	0,11
DBO	0,11
Temperatura da Água	0,10
Nitrato	0,10
Fosfato Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Dissolvidos Totais	0,07

Fonte: Silveira (2018).

A interpretação do IQA é feita com base nas faixas de qualidade da água, que são apresentadas no Quadro 5-15. Essas faixas geralmente são definidas de acordo com os valores do IQA e indicam o estado geral da qualidade da água, podendo incluir categorias como "ótima", "boa", "regular", "ruim" e "péssima", representativas de diferentes níveis.

Quadro 5-15 – Valores de referência para classificação do IQA.

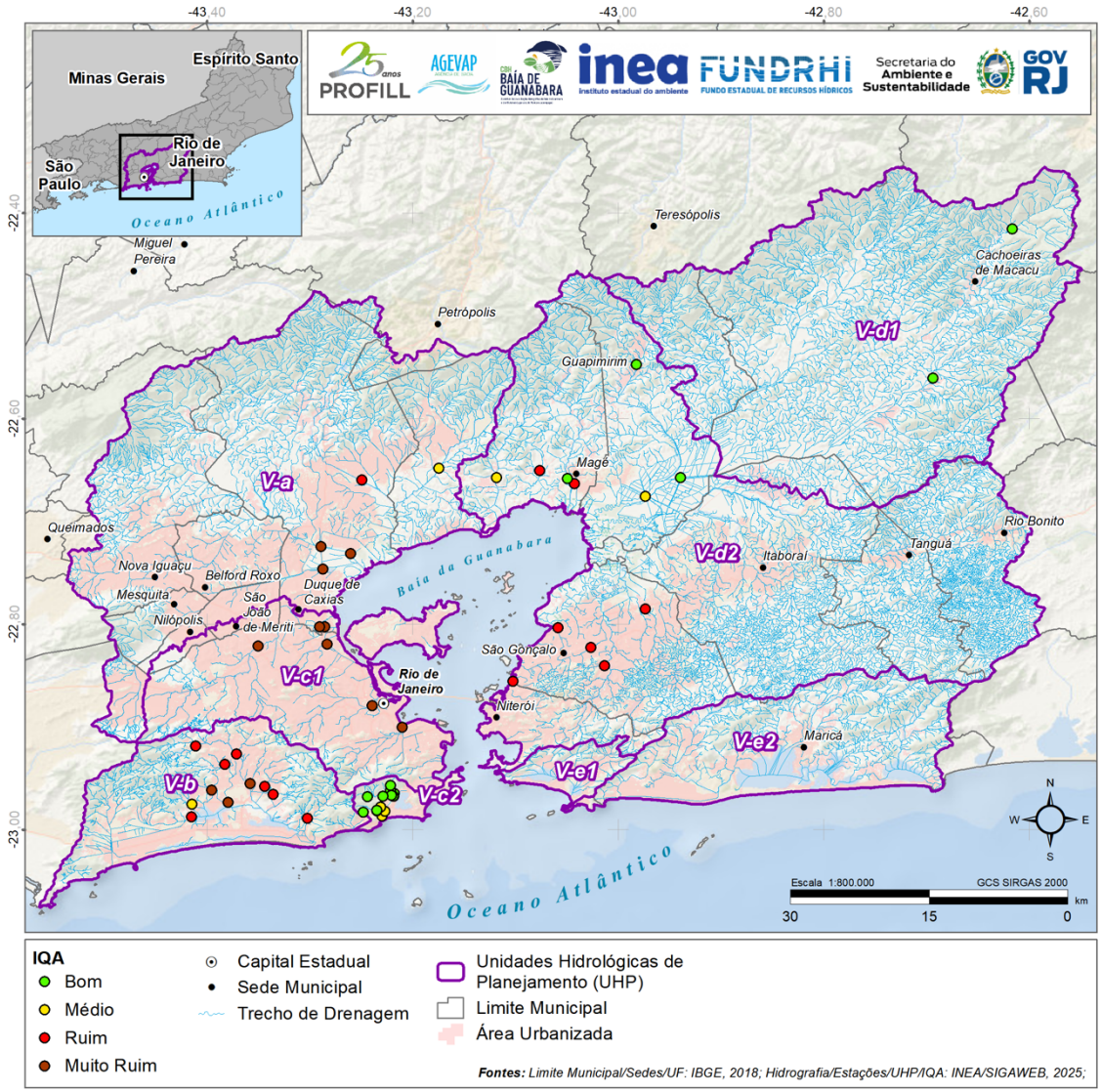
Categoria	Ponderação
Ótima	100 ≥ IQA ≥ 90
Boa	90 > IQA ≥ 70
Regular	70 > IQA ≥ 50
Ruim	50 > IQA ≥ 25
Péssima	25 > IQA ≥ 0

Fonte: Silveira (2018).

A literatura destaca o papel fundamental do IQA na avaliação da qualidade ambiental e na gestão dos recursos hídricos, ressaltando sua utilidade em identificar potenciais problemas de contaminação e degradação dos corpos hídricos. Além disso, Silva e Jardim (2006) afirmam que seu principal objetivo é comunicar a qualidade de um determinado corpo hídrico para os diversos órgãos institucionais de uma

bacia hidrográfica, incluindo a população, prefeituras, agências de fiscalização ambiental, e organizações não governamentais. Como forma de atender a legislação vigente, esse índice passou a ser constantemente utilizado em programas de monitoramento de águas superficiais, com o objetivo de obter informações resumidas dos possíveis impactos ao longo do tempo (FLECK; TAVARES; EYNG, 2013).

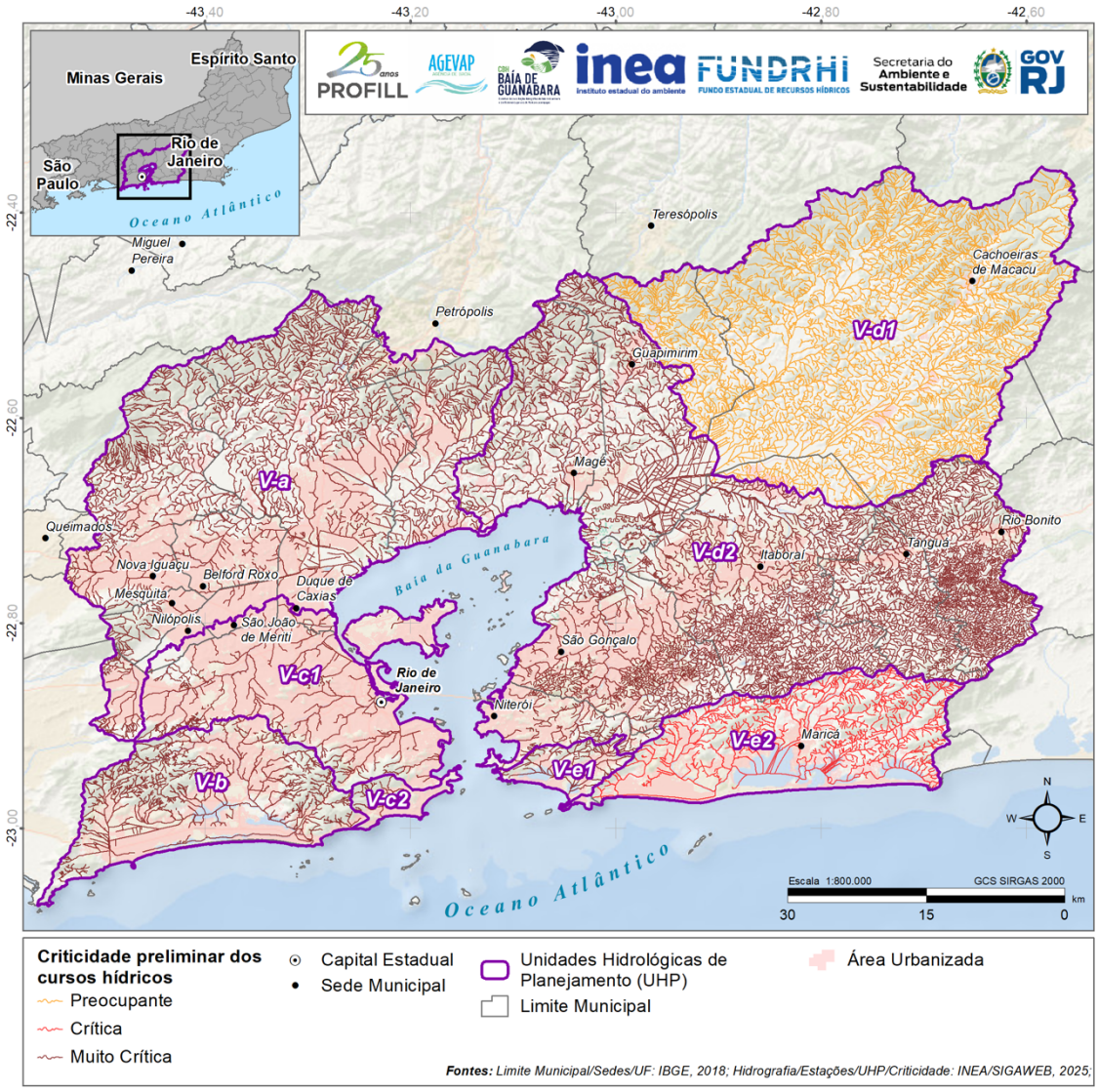
Considerando-se o exposto, e com base nos dados disponibilizados na plataforma SIGA-BG da RH-V, informações sobre IQA médio foram espacializadas na área de interesse com o objetivo de realizar o diagnóstico quali-quantitativo das águas da Baía de Guanabara, a partir da divisão da área em porções regionais, definidas por UHPs. Observa-se, no contexto da RH-V, a predominância de pontos classificados como “ruim” e “muito ruim” em UHPs fortemente urbanizadas, em contraste com IQAs bons quando a área, em geral, não é totalmente urbanizada (Mapa 5-39). Observa-se também que as UHPs V-e1 e V-e2 (Lagoas de Niterói e Sistema Lagunar de Maricá, respectivamente) não contam com dados relativos à qualidade da água dos seus cursos hídricos na referida plataforma.



Mapa 5-39 - Localização das estações de mensuração de IQA na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Também se destaca que, na referida plataforma, são disponibilizados dados referentes à classificação de qualidade da água dos cursos hídricos da RH-V de forma linear, conforme pode ser observado no Mapa 5-40. Mesmo que a metodologia de obtenção dessas informações não seja claramente explicitada na plataforma, esse produto permite uma avaliação preliminar dos cursos hídricos locais quanto à sua qualidade de modo comparativo. Neste sentido, esse produto infere que as UHPs V-d1 e V-e2 têm potencial para serem menos críticas do que as demais da RH-V.

Ou seja, áreas localizadas, principalmente, nas porções norte e leste da RH-V indicam níveis mais baixos de criticidade, geralmente associados a regiões com menor adensamento urbano e menor impacto ambiental direto. Esse padrão reforça a correlação entre o uso e ocupação do solo, e a condição ambiental dos cursos hídricos, evidenciando a necessidade de ações diferenciadas de gestão e recuperação ambiental conforme a realidade de cada sub-bacia



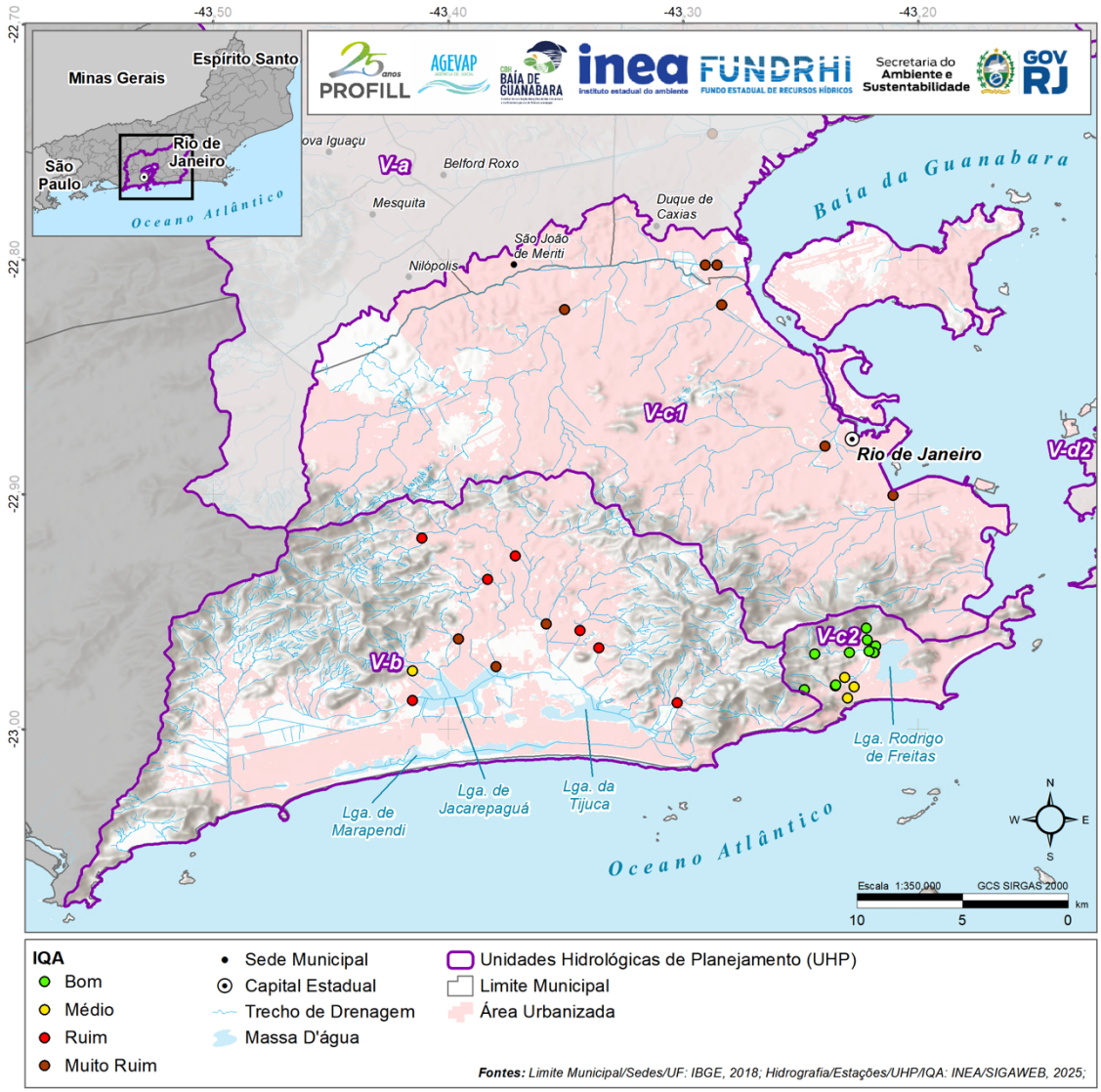
Mapa 5-40 – Registro da criticidade preliminar de cursos hídricos na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Nos subcapítulos subsequentes é apresentado um detalhamento do diagnóstico quanto aos IQAs apresentados no Mapa 5-39 por UHPs, permitindo, assim, uma avaliação regional e contextualizada destes dados.

5.3.3.1 Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2)

Com base nos dados associados à mensuração do IQA nos cursos hídricos das bacias hidrográficas das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas RH-V (Mapa 5-41), verifica-se que 51,61% das estações de monitoramento destas UHPs apontam qualidade definidas como "ruim" ou "muito ruim", enquanto 48,38% apontam qualidade "boa" ou "média". Os cursos hídricos que apresentam IQAs inferiores à classe "boa" ou “média" estão majoritariamente localizados nas bacias hidrográficas das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, e Ilhas do Governador, cobrindo áreas com intenso adensamento urbano, atividades industriais e lançamento de esgotos domésticos sem tratamento. Esses resultados, portanto, refletem os efeitos da urbanização desordenada e da falta de infraestrutura de saneamento básico.

Já os pontos de melhor qualidade nesta área estão concentrados na porção leste referente à bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas, cuja área de drenagem é caracterizada por menor densidade urbana, maior presença de áreas verdes e fragmentos de vegetação nativa, além de menor carga poluidora difusa. Essa diferença ajuda a explicar como o uso e a ocupação do solo exercem influência direta sobre a qualidade da água nos diferentes trechos da RH-V.

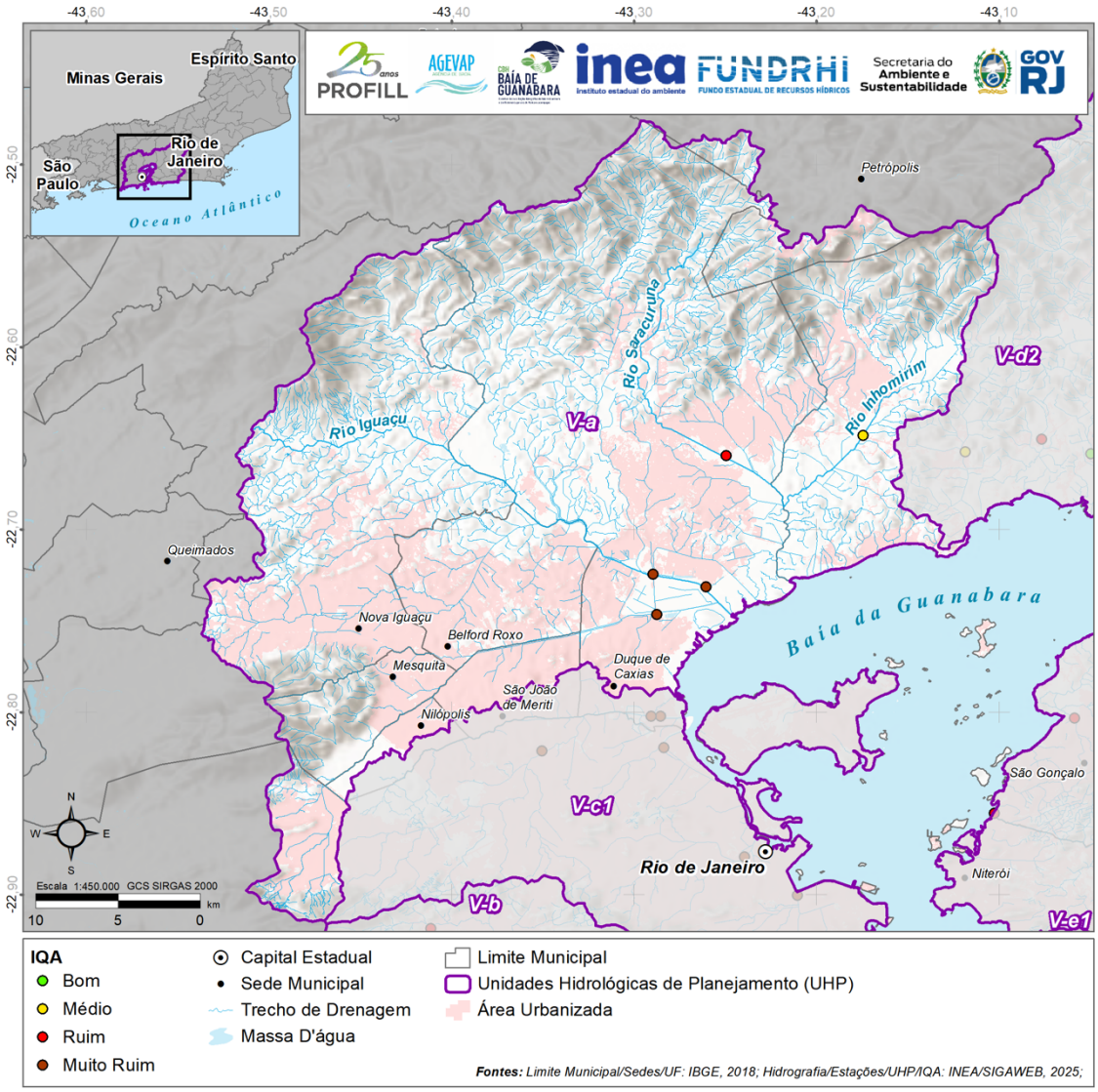


Mapa 5-41 - Registro da qualidade da água com base nos IQAs das UHPs V-b, V-c1 e V-c2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.3.2 Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a)

De modo similar, no Mapa 5-42 são apresentadas as estações existentes na Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), onde se observa que os cursos hídricos denominados por Rio Inhomirim, Rio Iguaçu e Rio Saracuruna apresentam IQAs compatíveis, respectivamente, com as classes ”média”, ”muito ruim” e ”ruim”. Essa distribuição espacial da qualidade da água está diretamente relacionada ao uso e ocupação do solo predominante na região. Nota-se a presença significativa de áreas urbanizadas, com ocupação densa e, muitas vezes, desordenada, o

que resulta em escoamento superficial carregado de poluentes e no lançamento de esgotos domésticos sem tratamento adequado. Além disso, a região abriga polos industriais relevantes, cujas atividades também podem contribuir para o comprometimento da qualidade dos corpos hídricos, especialmente nos trechos onde são observadas classificações mais críticas.



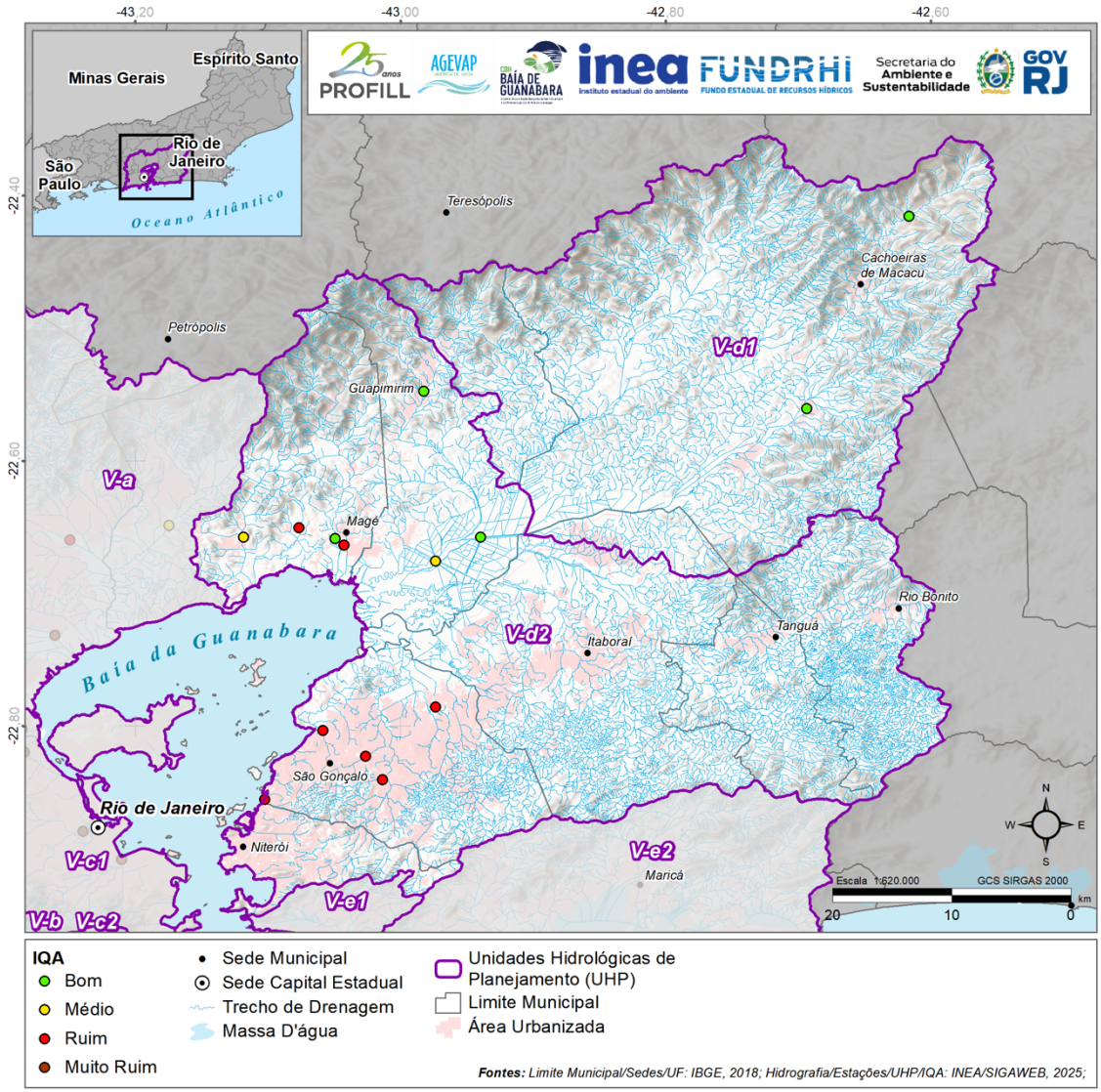
Mapa 5-42 – Registro da qualidade da água com base no IQA da UHP V-a.
Fonte: Elaboração própria.

Também se destaca que a porção norte dessa região hidrográfica, embora não conte com monitoramento de qualidade da água extensivo, não apresenta grandes concentrações urbanas, sugerindo menores pressões antrópicas nos cursos hídricos (quanto à qualidade) nesta região.

5.3.3.3 Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2)

No Mapa 5-43, a rede de monitoramento utilizada para a mensuração do IQA da Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2) é apresentada. Observa-se a presença de estações de monitoramento com IQAs classificados como de qualidade ”boa” nos cursos hídricos localizados na bacia hidrográfica do Rio Macacu (UHP V-d1), padrão que está fortemente relacionado à baixa densidade urbana, à presença de vegetação nativa e à ausência de atividades industriais significativas a montante dessas bacias.

Por outro lado, na região dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHP V-d2), especialmente na porção localizada nas proximidades da Baía de Guanabara (áreas mais ao sul e ao sudoeste), há maior concentração de pontos associados à qualidade da água variando de ”ruim” à ”média”. Essa piora nos indicadores está associada à intensificação da urbanização, ao lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e à ocupação desordenada do solo, fatores que comprometem os cursos d’água que drenam essas regiões. Informações como esta, relativa ao mapeamento de fontes de contaminação existentes na Baía de Guanabara, serão mais bem exploradas no item 5.3.4 a seguir.



Mapa 5-43 – Registro da qualidade da água com base nos IQAs das UHPs V-d1 e V-d2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4 *Principais Fontes de Contaminação*

Para análise das fontes de contaminação existentes na RH-V, parte-se da premissa que apenas fontes previamente mapeadas ou identificadas em estudos e banco de dados oficiais são existentes e passíveis de avaliação dentro do contexto regional deste estudo. Com isso, para analisar as possibilidades de acidentes e desastres envolvendo os empreendimentos instalados na Baía de Guanabara, foram utilizadas bases de outorgas federais e estaduais de usos de água obtidas junto ao INEA

e junto ao banco de dados SIGA-BG. Além disso, também foram utilizados dados associados à localização de aterros na RH-V, bem como dados associados à localização de empreendimentos com elevado potencial poluidor, tratados como fontes pontuais de contaminação.

Também merece destaque o mapeamento de cursos hídricos anteriormente classificados como “potenciais receptores de lixiviados na RH-V”, segundo dados existentes no SIGA-BG, bem como informações a respeito de dutos industriais, rodovias e ferrovias, aqui tratados como fontes lineares que podem levar grandes contaminações aos mananciais locais, conforme destacado no item 5.3.1.

Nesse contexto, nos capítulos subsequentes são apresentadas as fontes de contaminações observadas para a RH-V, classificadas conforme fontes de contaminação: (i) pontuais, (ii) por uso do solo e, (iii) lineares.

5.3.4.1 Fontes de Contaminação Pontuais

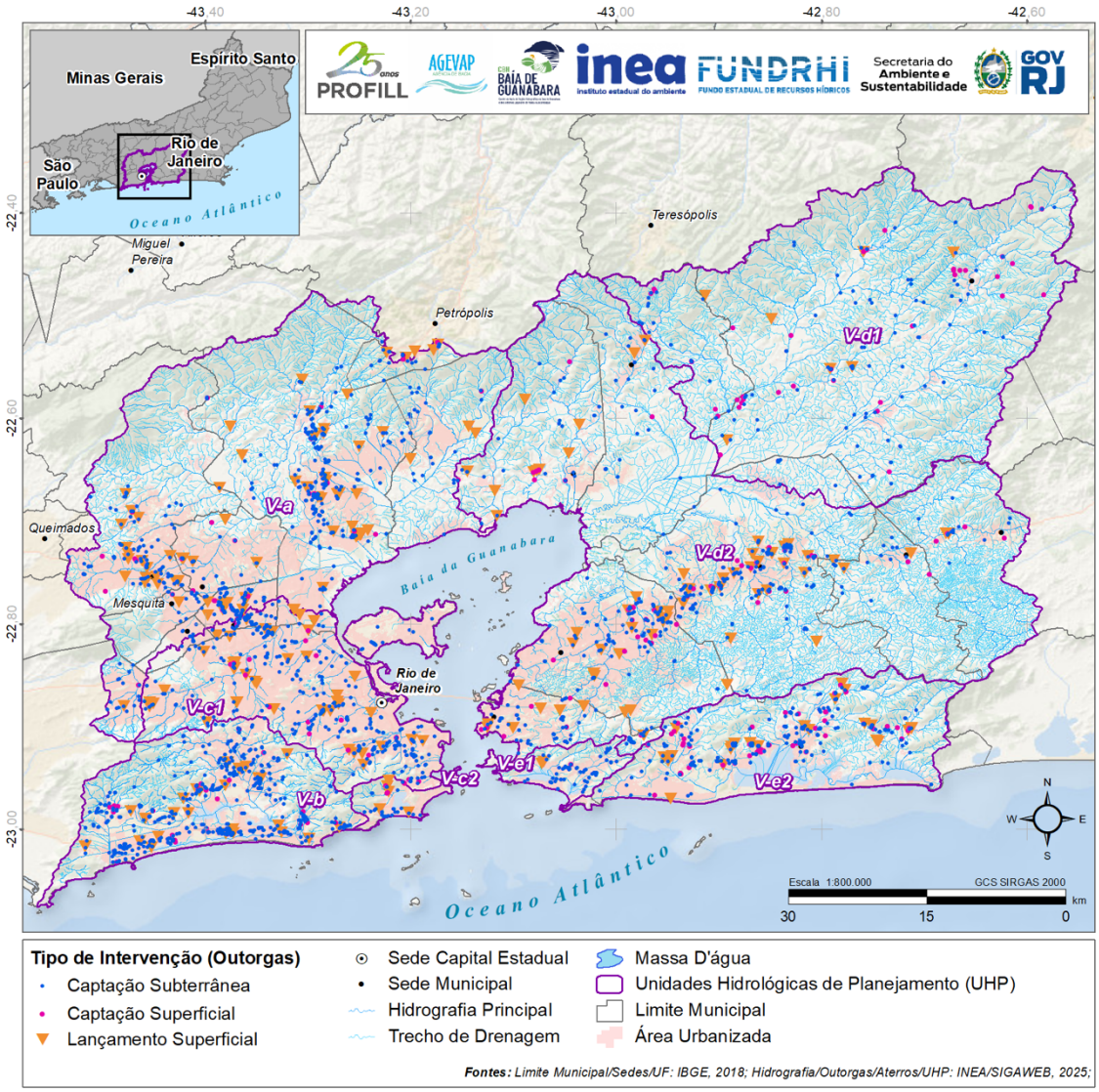
Neste capítulo é apresentada a distribuição espacial das fontes de contaminação definidas como “pontuais” no contexto deste trabalho, destacando-se as fontes de contaminação de águas superficiais associadas à:

- outorgas estaduais e federais relativas a interferências de lançamento superficial de efluentes;
- localização de aterros sanitários;
- localização de empreendimentos com elevado potencial poluidor.

Inicialmente são apresentados pontos de outorga de uso da água, tanto subterrâneas, quanto superficiais, da RH-V (Mapa 5-44), sendo destacados os pontos associados à lançamentos de efluentes, embora o referido mapa contenha informações adicionais sobre captações subterrâneas e superficiais. É possível observar um total de 322 pontos de lançamento superficial (pontos destacados), ou seja, lançamentos de cargas de diversas naturezas nos cursos hídricos locais, bem como 303 pontos de captação superficial, e 3.248 pontos de captação subterrânea.

Estes dados foram originados a partir de uma análise preliminar que contou com um total de 3.875 outorgas, de forma que nem todas eram pertinentes à análise aqui abordada, devido a sua situação. Com isso, foram realizados alguns filtros no banco de dados. O primeiro filtro realizado se deu por meio da verificação da situação da outorga dos empreendimentos, conforme mencionado, levando à exclusão de grande parte dos empreendimentos em situação de uso insignificante, indeferido ou inválido. Nessa gama, não foram excluídos empreendimentos com outorga em situação definida como “em análise”, restando 2.768 empreendimentos para análise, envolvendo captações superficiais e subterrâneas, bem como lançamentos de efluentes de efluentes. Estes são os pontos de interesse no contexto deste capítulo, descritos na Tabela 5-37, resumidas por finalidade.

Dessa forma, foram excluídos da base aqueles pontos de outorga associados a captações superficiais e subterrâneas, mantendo-se um total de 271 pontos associados a lançamentos, como apresentado no gráfico da Figura 5-56. O resultado espacializado dos empreendimentos em análise nesse produto, por UHP, encontra-se na Tabela 5-38.



Mapa 5-44 – Total de outorgas de uso da água na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-37 – Outorgas analisadas de uso da água na RH-V.

Finalidade	Número de Outorgas
Abastecimento Público	80
Aquicultura em Tanque Escavado	1
Consumo Humano	775
Criação Animal	20
Esgotamento Sanitário	80
Indústria	451
Irrigação	3
Mineração	19
Outras	1.305
Obras Hidráulicas	3
Serviços	27

Finalidade	Número de Outorgas
Termoelétrica	4
Total	**2.768**

Fonte: INEA e SIGA-BG.

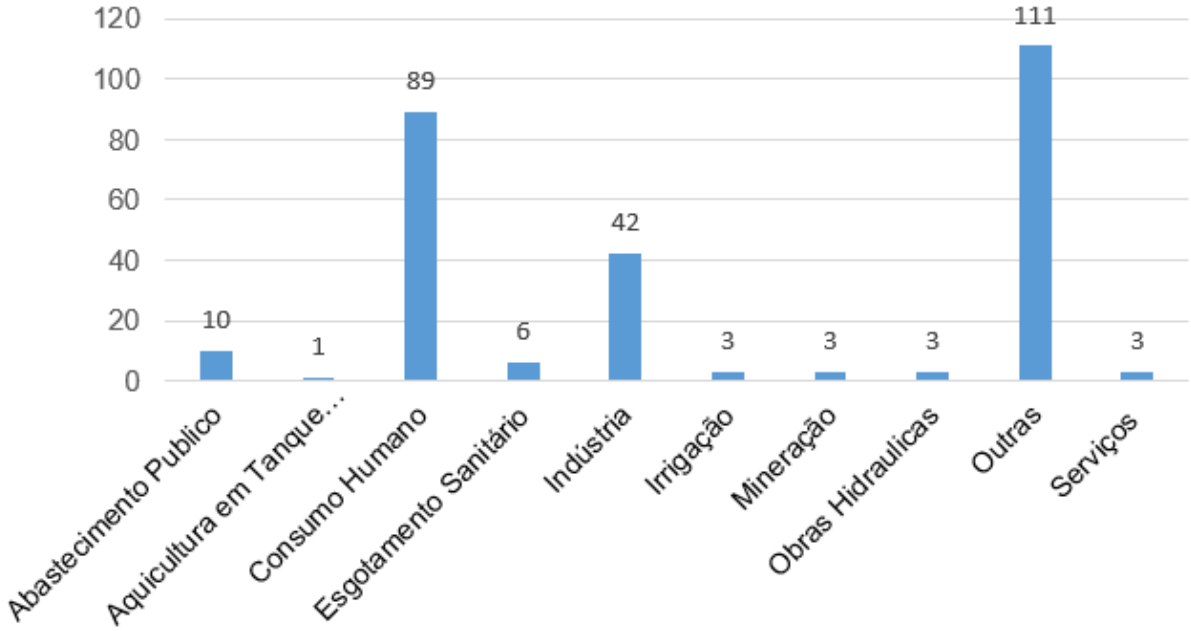


Figura 5-56 – Gráfico referente aos lançamentos de efluentes na RH-V.
Fonte: INEA e SIGA-BG.

Tabela 5-38 – Número de outorgas associadas à lançamentos na RH-V, por UHP.

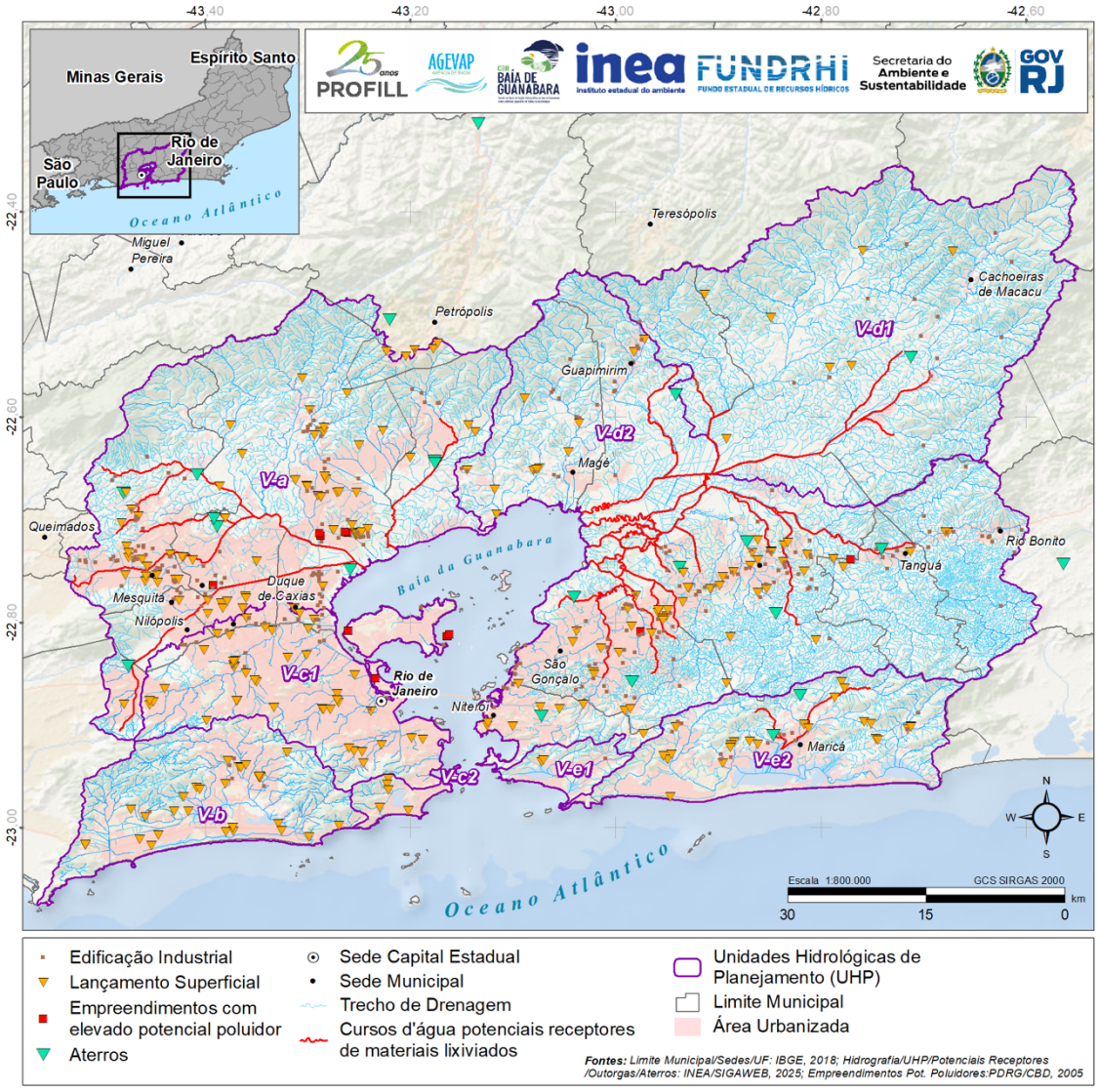
Finalidade	Número de Outorgas por UHP							
	V-a	V-b	V-c1	V-c2	V-d1	V-d2	V-e1	V-e2
Abastecimento Público	3	-	-	-	2	3	2	-
Aquicultura em Tanque Escavado	1	-	-	-	-	-	-	-
Consumo Humano	30	6	8	-	1	26	-	15
Esgotamento Sanitário	-	-	-	-	-	6	-	-
Indústria	7	10	9	-	2	12	-	2
Irrigação	3	-	-	-	-	-	-	-
Mineração	1					2		-
Outras	35	23	26	4	2	18	-	6
Obras Hidráulicas	1	-	-	1	-	1	-	-
Serviços	1	-	1	-	-	1	-	-
Total	**82**	**39**	**44**	**5**	**7**	**69**	**2**	**23**

Fonte: INEA e SIGA-BG.

Como resultado, é observado na Mapa 5-45 as outorgas associadas a lançamentos de efluentes em conjunto com a localização de aterros e de empreendimentos com elevado potencial poluidor na RH-V, obtidos a partir da plataforma SIGA-BG. Adicionalmente, também é apresentada nesta visão regional os trechos de rio

preliminarmente identificados como potenciais receptores de lixiviados, segundo banco de dados do SIGA-BG.

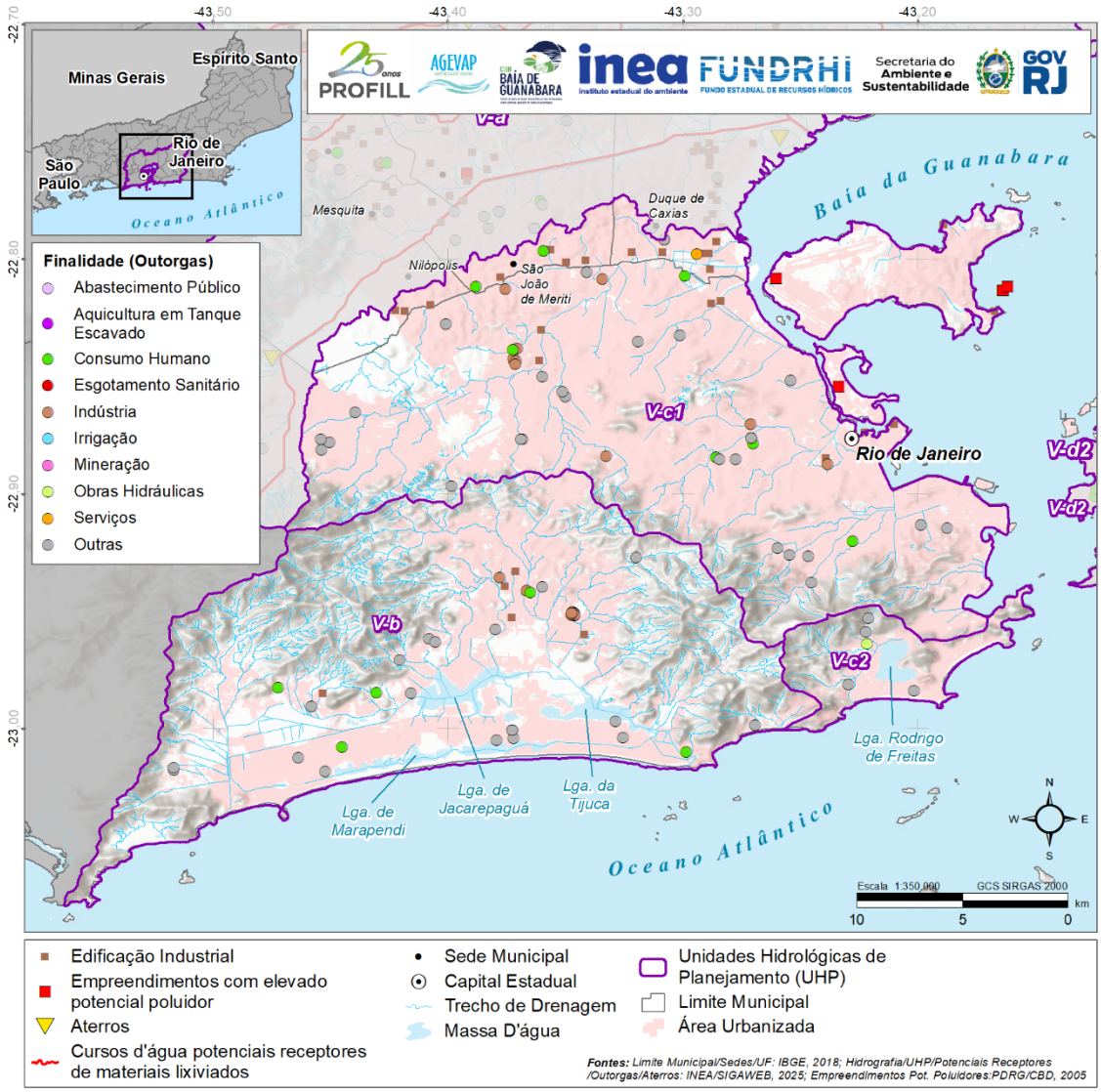
Como forma de detalhar melhor a distribuição e a dinâmica dos usos da água na RH-V, entretanto, estes dados são também apresentados a partir de uma abordagem local para cada UHP da RH-V. Essa abordagem permite uma análise mais precisa e regionalizada, facilitando a identificação de padrões locais, áreas de maior pressão sobre os recursos hídricos e possíveis conflitos de uso.



Mapa 5-45 – Possíveis fontes de contaminação pontuais na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.1.1 *Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2)*

No Mapa 5-46, o qual apresenta as UHPs V-b, V-c1 e V-c2, observa-se uma elevada concentração de outorgas na porção litorânea e nas áreas urbanas densamente povoadas. A presença expressiva de outorgas associadas a indústrias, (indicando pontos com elevado potencial poluidor) e consumo humano indica a forte demanda por recursos hídricos superficiais em função da infraestrutura urbana e da atividade econômica predominante. Os pontos associados a outorgas de lançamento, em geral, estão próximos ou acompanham os principais cursos d'água da região, evidenciando a dependência desses corpos hídricos para suporte às atividades humanas. Também, são identificadas, nesta região, outorgas destinadas à serviços não especificados (indicadas como "Serviços" e "Outras". Em algumas regiões, também são observados empreendimentos previamente mapeados como sendo de alto potencial poluidor, segundo o banco de dados do SIGA-BG.



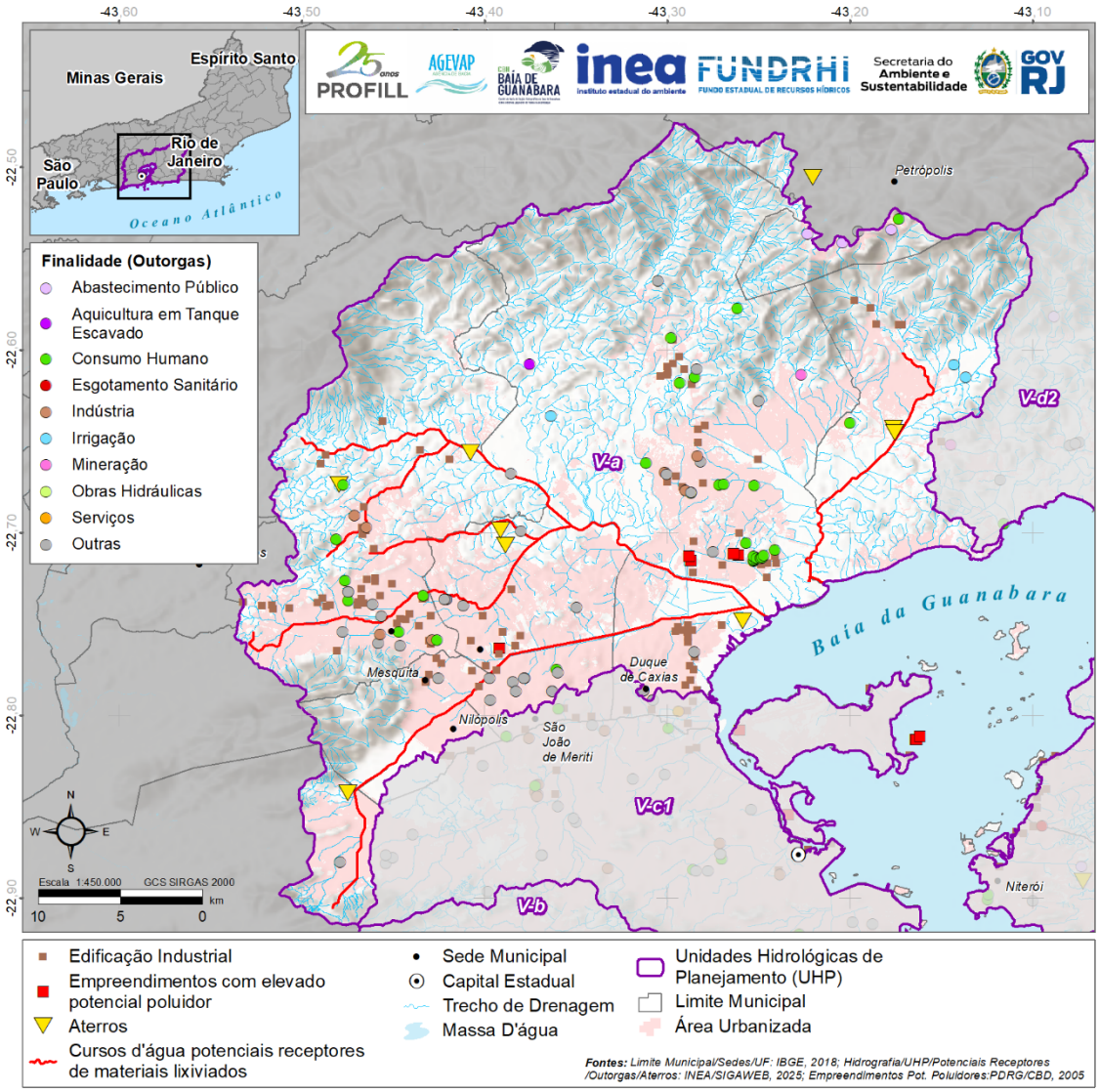
Mapa 5-46 – Registro de outorgas e referentes categorias nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.1.2 *Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a)*

O Mapa 5-47, referente à região dos Rios Iguaçu e Saracuruna, apresenta uma distribuição mais dispersa dos pontos de outorga, embora também significativa. Nessa região, estão presentes pontos voltados ao consumo humano e ao abastecimento público, atendendo comunidades urbanas e rurais. Os registros de outorgas vinculadas a atividades envolvendo esgotamento sanitário já não são presentes. A presença de usos industriais, mineração e serviços, entre outros, é mais es-

parsa, o que sugere uma ocupação menos intensiva dos recursos hídricos superficiais. Ainda assim, os pontos de uso mantêm uma forte correlação com a rede hidrográfica local, também com indicações de empreendimentos com elevado potencial poluidor, revelando a importância desses cursos d'água para o abastecimento e o desenvolvimento regional.

Esta região é marcada pela presença de aterros sanitários, também considerados como áreas com alto potencial poluidor no âmbito deste trabalho. A porção oeste da região, notadamente as bacias hidrográficas do Rio Sarapui e do Rio Iguaçu, são as que contam com maior número de potenciais fontes poluidoras, se comparadas, por exemplo, com a bacia hidrográfica do Rio Saracuruna.



Mapa 5-47 – Registro de outorgas e referentes categorias na UHP V-a.
Fonte: Elaboração própria.

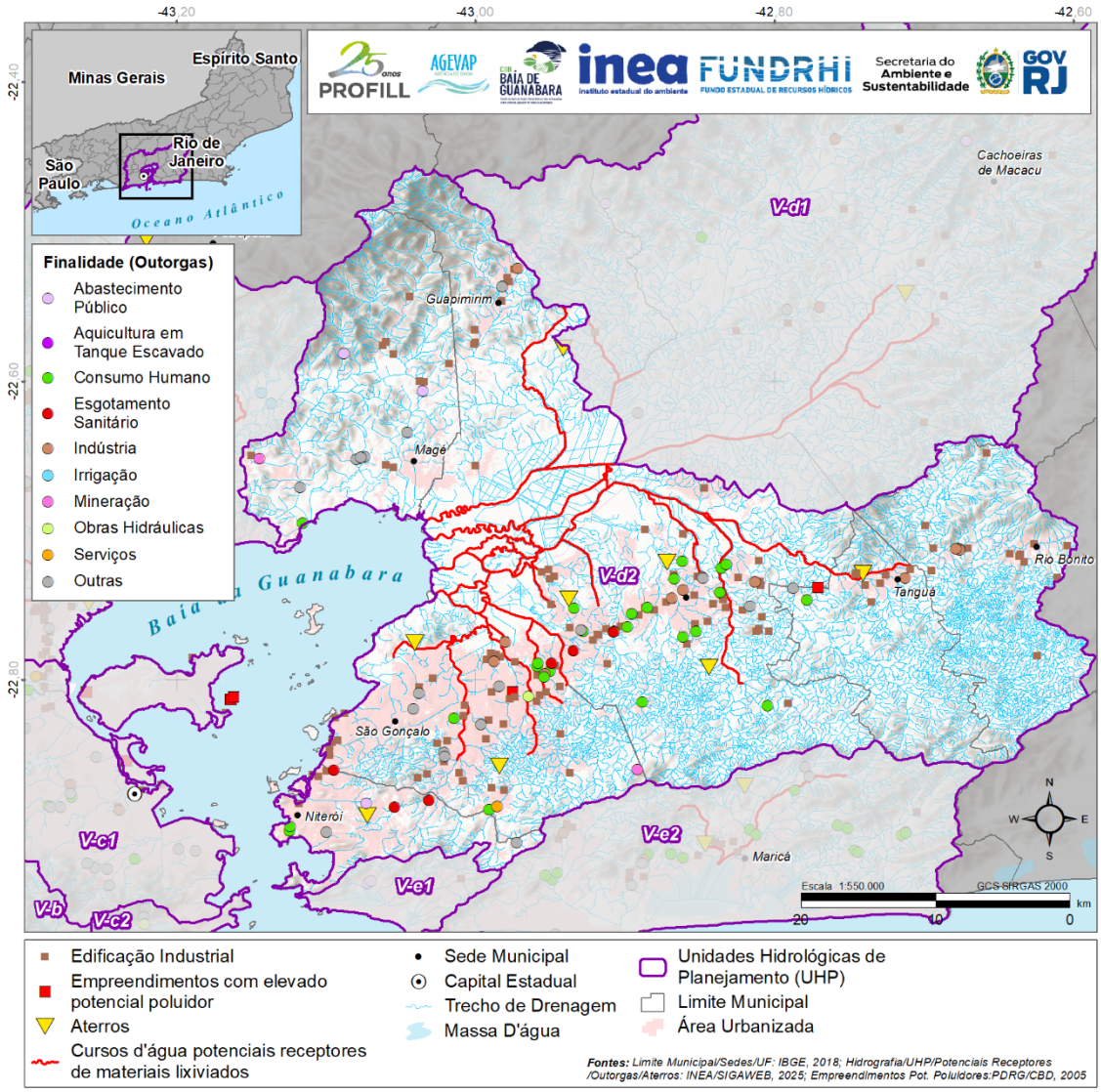
5.3.4.1.3 *Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2)*

Outra importante região da RH-V é a que compreende a área dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha Paquetá. O Mapa 5-48, referente à UHP V-d2 (região de jusante do Rio Caceribu), revela uma predominância de outorgas para consumo humano, principalmente ao sul da região, destacando-se também a presença relevante de outorgas para fins industriais e esgotamento sanitário. Também, se observa uma forte presença de aterros sanitários, que representam fontes

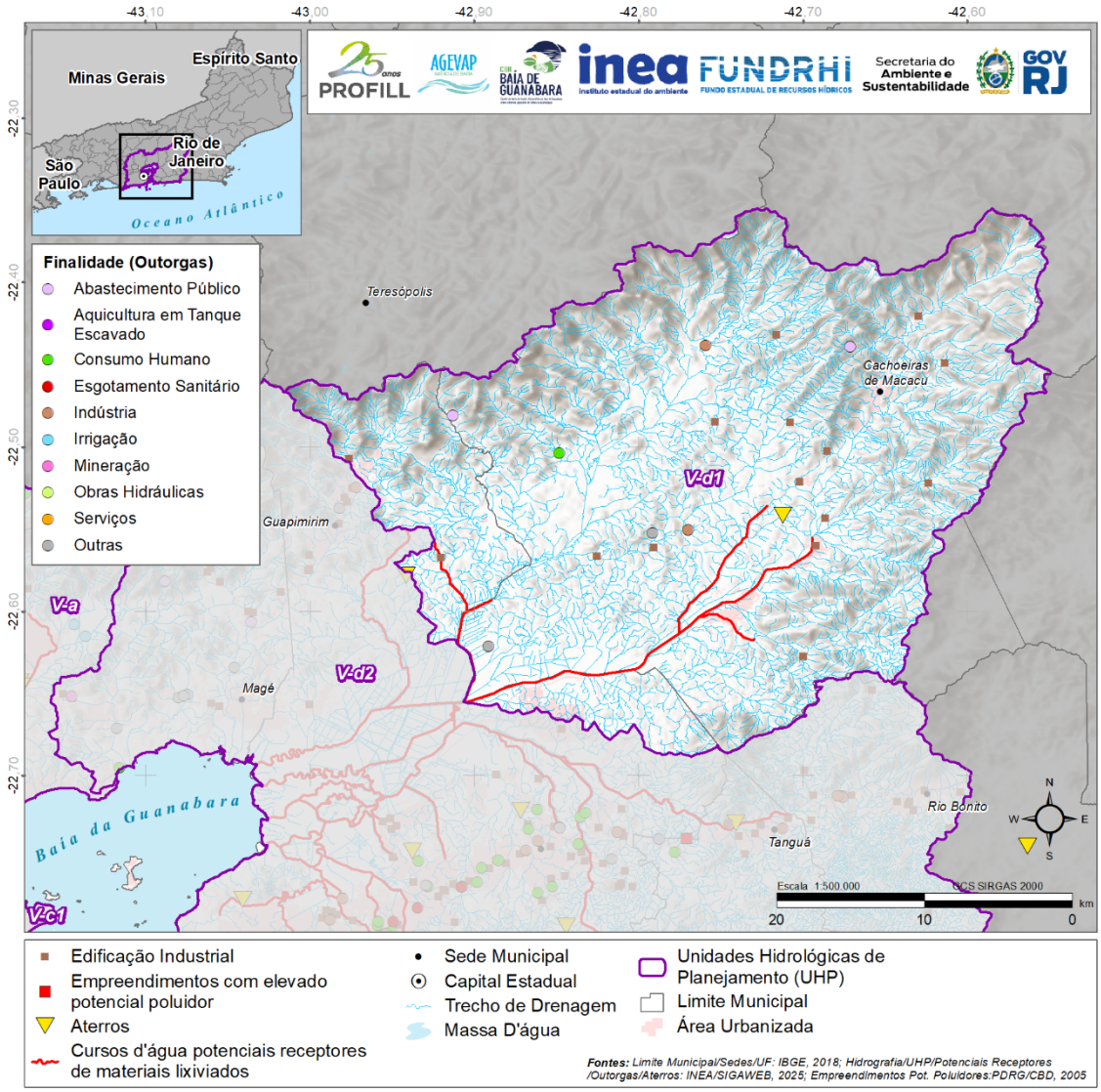
potenciais de contaminação através dos lixiviados, especialmente em áreas próximas a cursos d'água. As indústrias instaladas nesta região incluem empreendimentos classificados como de elevado potencial poluidor, podendo ser indústrias químicas, petroquímicas, metalúrgicas, têxteis, dentre outras. Tais setores demandam grandes volumes de água em seus processos produtivos e geram efluentes com características distintas, desde compostos orgânicos persistentes, até metais pesados e com alta carga orgânica. A concentração espacial dessas atividades cria um cenário de risco cumulativo, onde os efeitos individuais de cada empreendimento podem se potencializar, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Nesse contexto, no Mapa 5-49 é possível obter uma visão regional da porção mais ao norte da bacia hidrográfica dos Rios Macacu-Guapiaçu, dada pela UHP V-d1. Nessa região, se observa uma menor concentração de outorgas, embora ainda sejam identificáveis usos como abastecimento público, indústria e consumo humano, bem como a presença de aterro sanitário. Essa parte da bacia hidrográfica compreende, em sua maioria, áreas de cabeceiras e trechos com maior densidade de drenagens, o que reforça a importância da proteção dessas zonas para a manutenção da qualidade da água e disponibilidade hídrica.

Por outro lado, foi nesta região que ocorreu um dos maiores desastres ambientais da RH-V, conforme destacado no item 5.3.1, quando em abril de 2024 observou-se níveis significativamente altos de tolueno nas águas dos Rios Guapiaçu-Macacu, afetando diretamente o sistema Imunana-Laranjal. Essa região se destaca, portanto, como sendo uma área de grande sensibilidade da RH-V quanto à temática de contaminação de recursos hídricos e abastecimento de água.



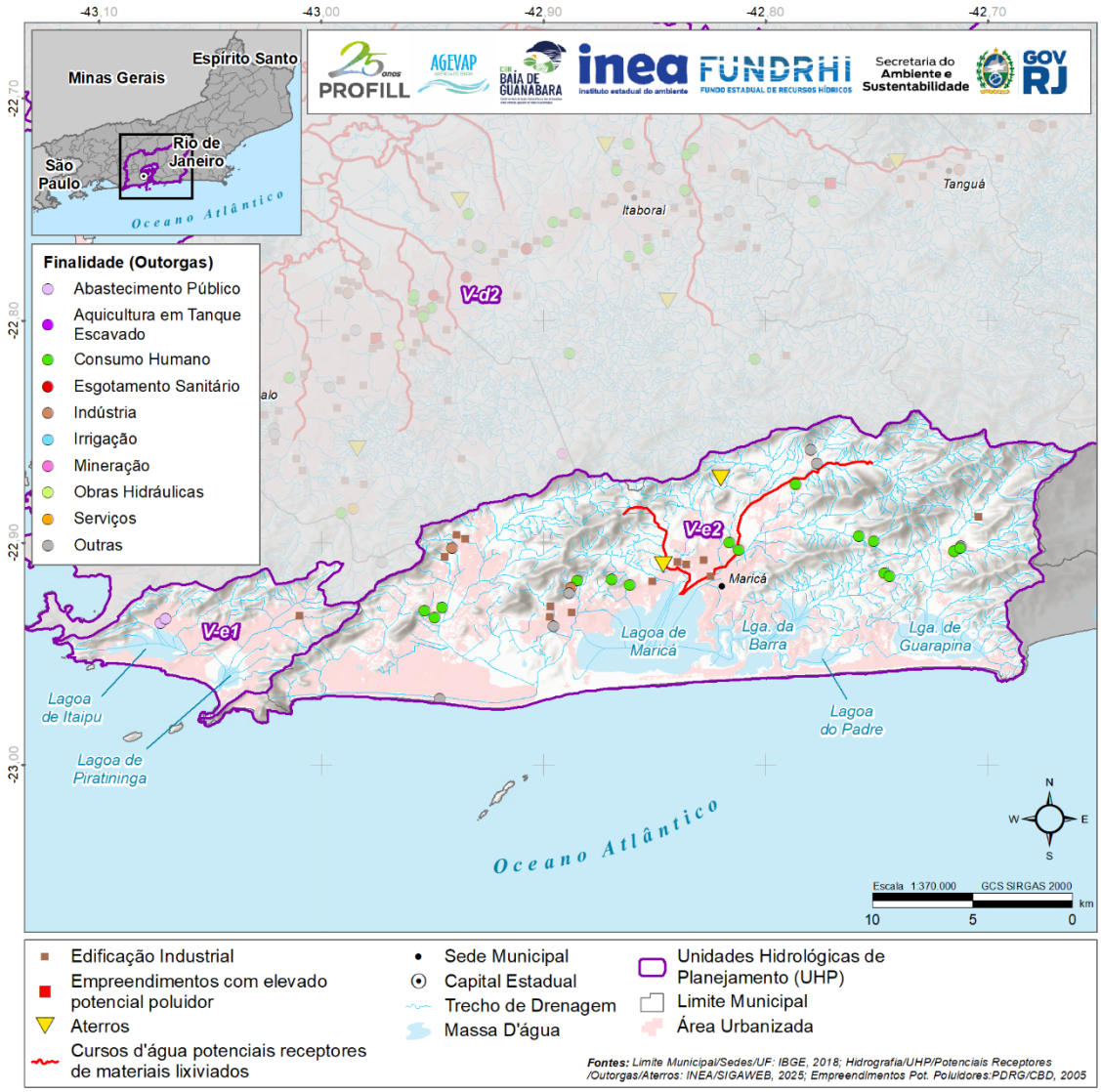
Mapa 5-48 – Registro de outorgas e referentes categorias na UHP V-d2.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-49 – Registro de outorgas e referentes categorias na UHP V-d1.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.1.4 *Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2)*

Por fim, no Mapa 5-50 são destacadas as porções referentes às UHPs V-e1 e V-e2, onde é observada a predominância de outorgas voltadas ao abastecimento público, consumo humano e à presença de aterros sanitários. Essa região é marcada, também, pela existência de sistemas lagunares, sendo densamente urbanizada na sua porção sul.



Mapa 5-50 – Registro de outorgas e referentes categorias nas UHPs V-e1 e V-e2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.2 Fontes de Contaminação por Uso do Solo

Além de fontes de contaminação pontuais, a qualidade das águas da RH-V também tem relação direta com o uso do solo. A análise do uso e cobertura do solo da referida região revela a presença de uma grande diversidade de formações naturais e ocupações antrópicas, refletindo a complexa dinâmica territorial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Os dados de cobertura e uso do solo utilizados para caracterizar a área partiram do mapeamento realizado pelo Mapbiomas (coleção 2) de 10 metros de resolução espacial, disponibilizada em 2023 (Mapbiomas, 2023).

Este tipo de mapeamento é de grande significância, pois o uso do solo, a partir das mais diversas perspectivas, pode ter relação direta com a qualidade dos corpos hídricos que cortam essas regiões. A impermeabilização do solo, típica da urbanização intensa, favorece o escoamento superficial, muitas vezes carregado de sedimentos, resíduos e contaminantes. Soma-se a isso a presença de ligações clandestinas de esgoto nas redes de drenagem pluvial, resultando no lançamento direto de efluentes nos corpos d'água. De modo similar, porém menos intenso, as pastagens, lavouras temporárias e áreas de silvicultura, que ocupam cerca de 16,86% do território em questão e evidenciam a presença de atividades agropecuárias em zonas rurais, também podem gerar impactos como erosão e poluição difusa dos corpos d'água, além de acarretar a entrada de defensivos agrícolas nas bacias hidrográficas associadas.

Na Tabela 5-39 é apresentado o uso do solo predominante para cada UHP da RH-V, onde pode-se observar que as regiões V-c1 e V-b são as que mais apresentam percentual de área urbana. De maneira similar, observa-se que a região V-d1 é a que possui maior representatividade de formação florestal (e que é menos associada às áreas urbanas), frente às outras regiões. Áreas densas de formação florestal são realidade em grande parte das UHPs, uma vez que ocupam significativa parcela da região de interesse, especialmente ao norte. Também, se destacam outras formações que, embora menos relevantes do ponto de vista de representatividade da

área, completam o cenário da bacia, como regiões de mineração, praias, dunas, areais e terrenos expostos, além de áreas de mangue e restinga arbórea, que representam, aproximadamente, 3,21% da área total da RH-V.

Tabela 5-39 – Uso do solo por UHP.

Uso do Solo	Porcentagem (%) de Uso do Solo por UHP							
	V-a	V-b	V-c1	V-c2	V-d1	V-d2	V-e1	V-e2
Formação Florestal	36,86	48,12	7,87	43,27	57,28	24,01	41,67	32,45
Campo Alagado	1,79	1,84	1,63	-	0,55	1,94	-	1,75
Formação Campestre	-	-	-	-	-	0,06	-	-
Afloramento Rochoso	-	-	-	-	0,09	0,32	-	0,29
Pastagem	9,49	0,37	5,16	-	21,67	26,41	-	11,40
Lavoura Temporária	-	-	-	-	0,83	0,12	-	-
Silvicultura	-	-	-	-	-	0,06	-	-
Mosaico de Usos	16,98	2,58	8,70	6,39	17,06	22,06	8,33	18,15
Área Urbana	31,19	40,53	72,55	38,34	1,93	18,04	37,50	23,43
Mineração	0,17	-	-	-	0,09	0,13	-	-
Outras Áreas não Vegetadas	0,17	0,74	0,27	-	0,09	0,25	-	0,58
Rio Lago e Oceano	0,35	2,21	0,27	9,59	0,09	0,19	8,33	10,25
Restinga Arbórea	1,80	4,79	0,81	-	-	2,07	4,17	-
Mangue	0,99	-	-	-	-	3,82	-	-
Praia, Duna e Areal	-	0,74	-	3,41	-	0,84	-	1,19
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Fonte: Elaboração própria.

Ainda, conforme apresenta o Quadro 5-16, observa-se uma clara variação nos padrões de uso e cobertura do solo entre as UHPs. Em cada uma das regiões, três classes de uso se destacam em termos percentuais, refletindo diferentes dinâmicas territoriais e pressões antrópicas. Nas áreas mais urbanizadas, como na Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2), a ocupação urbana é bastante relevante, (representando a maior área para a UHP V-c1 e a segunda maior área das UHPs V-b e V-c2) , enquanto na Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), a cobertura por formação florestal assume papel de destaque. Em áreas como a Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHP V-d1 e V-d2), observa-se maior equilíbrio entre usos agropecuários, cobertura florestal e mosaico de usos. Já na Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2), as formações florestais predominam, seguido das áreas urbanas.

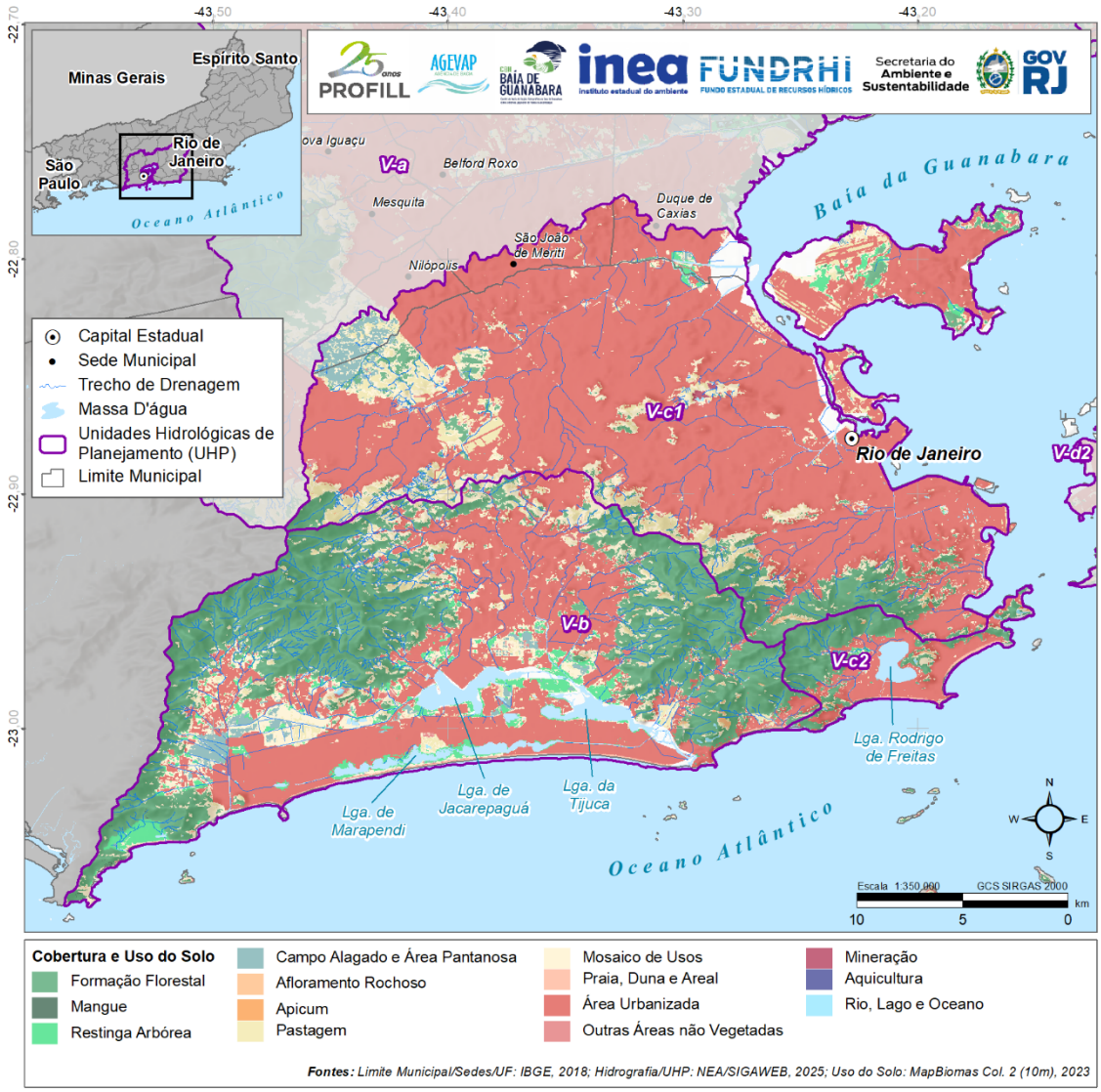
Quadro 5-16 - Maiores percentuais de uso do solo por UHP.

UHP	1° Maior Percentual	2º Maior Percentual	3º Maior Percentual
V-a	Formação Florestal – 36,86%	Área Urbana – 31,19%	Mosaico de Usos – 16,98%
V-b	Formação Florestal – 48,12%	Área Urbana – 40,53%	Restinga Arbórea – 4,79%
V-c1	Área Urbana – 75,55%	Mosaico de Usos – 8,70%	Pastagem – 5,16%
V-c2	Formação Florestal – 43,27%	Área Urbana – 38,34%	Rio, Lago e Oceano – 9,59%
V-d1	Formação Florestal – 57,28%	Pastagem – 21,67%	Mosaico de Usos – 17,06%
V-d2	Pastagem – 26,41%	Formação Florestal – 24,01%	Mosaico de Usos – 22,06%
V-e1	Formação Florestal – 41,67%	Área Urbana – 37,50%	Rio, Lago e Oceano – 8,33%
V-e2	Formação Florestal – 32,45%	Área Urbana – 23,43%	Mosaico de Usos – 18,15%

Fonte: Elaboração Própria.

5.3.4.2.1 *Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2)*

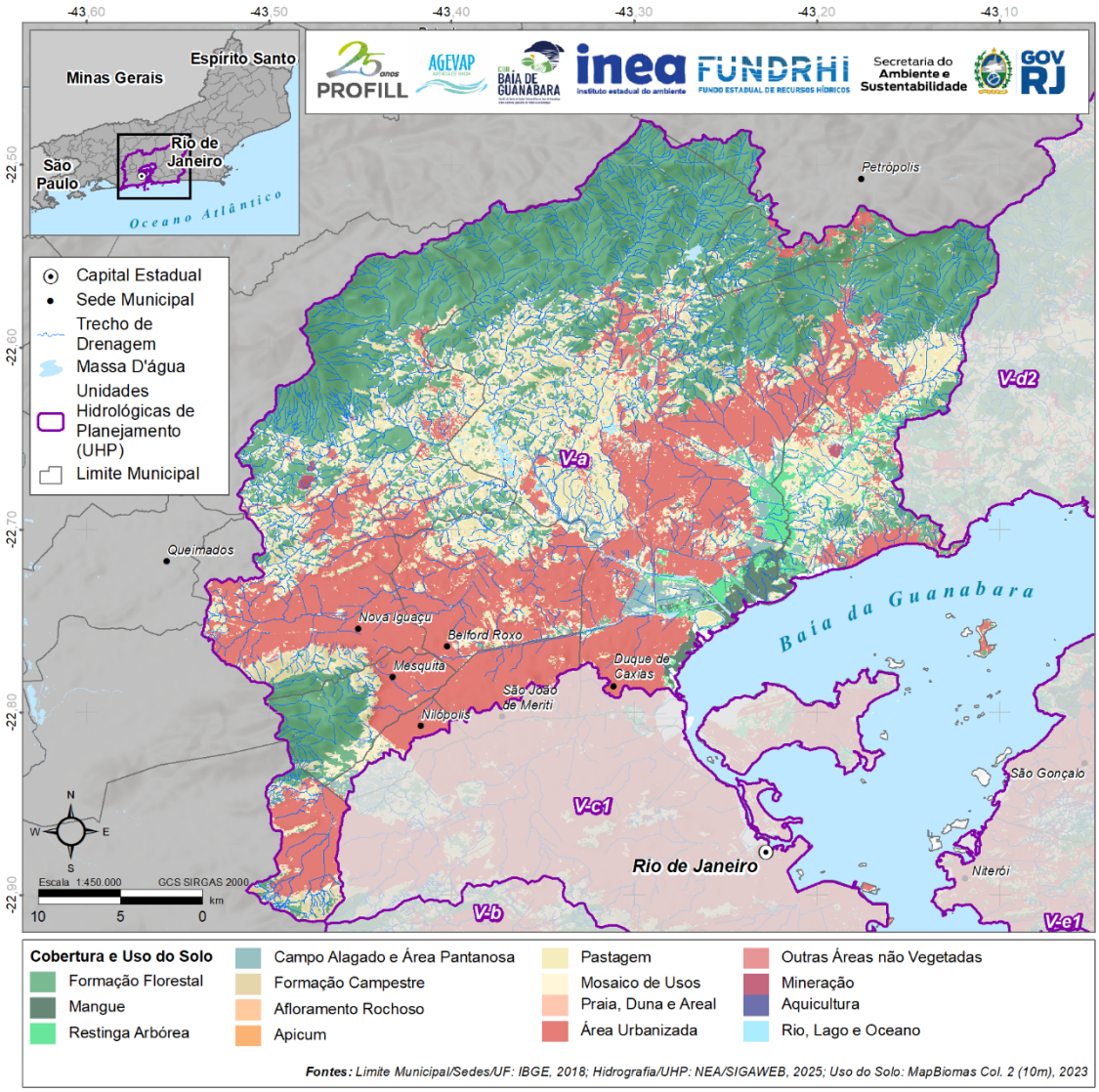
Neste contexto, em uma abordagem regional, observa-se que o uso do solo na Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2) revela uma predominância de áreas urbanizadas, distribuídas de forma contínua por grande parte dessas UHPs, principalmente na UHP V-c1, conforme pode-se observar no Mapa 5-51. Notam-se, ainda, extensas áreas de vegetação nativa nas porções oeste e leste da UHP V-b, Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi, além de manchas pontuais de vegetação característica de restinga em conjunto com grandes corpos hídricos, principalmente nas faixas costeiras. Também, se destaca que a UHP V-c1 (área dos Rios Pavuna-Meriti, entre outros) apresenta intensa urbanização, que representa 72% de toda a área da região hidrográfica.



Mapa 5-51 – Fontes de contaminação por uso do solo nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.2.2 *Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a)*

Em se tratando da UHP V-a, representada pelo Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna, observa-se a ampla cobertura de vegetação florestal, especialmente concentrada na porção norte, em contraste com áreas urbanizadas que se destacam nas regiões central e sul (Mapa 5-52). Também, são identificadas extensões de corpos hídricos, além de áreas de pastagem e pequenas manchas sem cobertura vegetal. No trecho sul da referida UHP, observam-se áreas que indicam a presença de mangue-zais e campos alagados.

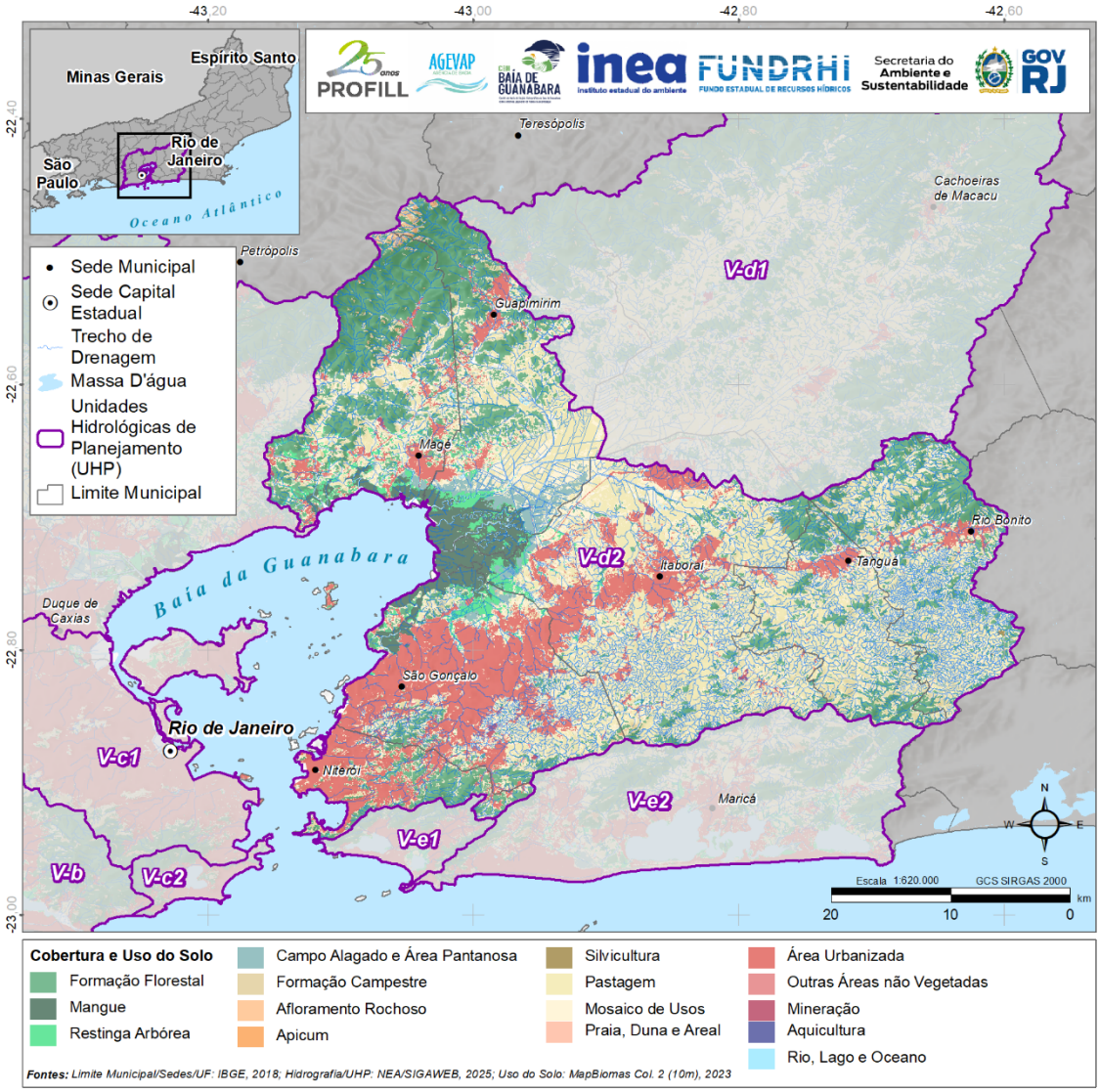


Mapa 5-52 – Fontes de contaminação por uso do solo na UHP V-a.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.2.3 *Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2)*

A elevada presença de extratos florestais também é observada nas UHPs V-d1 e V-d2 (Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá). O Mapa 5-53, que contempla a região V-d2, evidencia a presença de extensas áreas urbanizadas, intercaladas por trechos de vegetação florestal e pequenas porções destinadas à silvicultura. Destaca-se na porção oeste uma significativa concentração de áreas úmidas, como manguezais e campos alagados. Também,

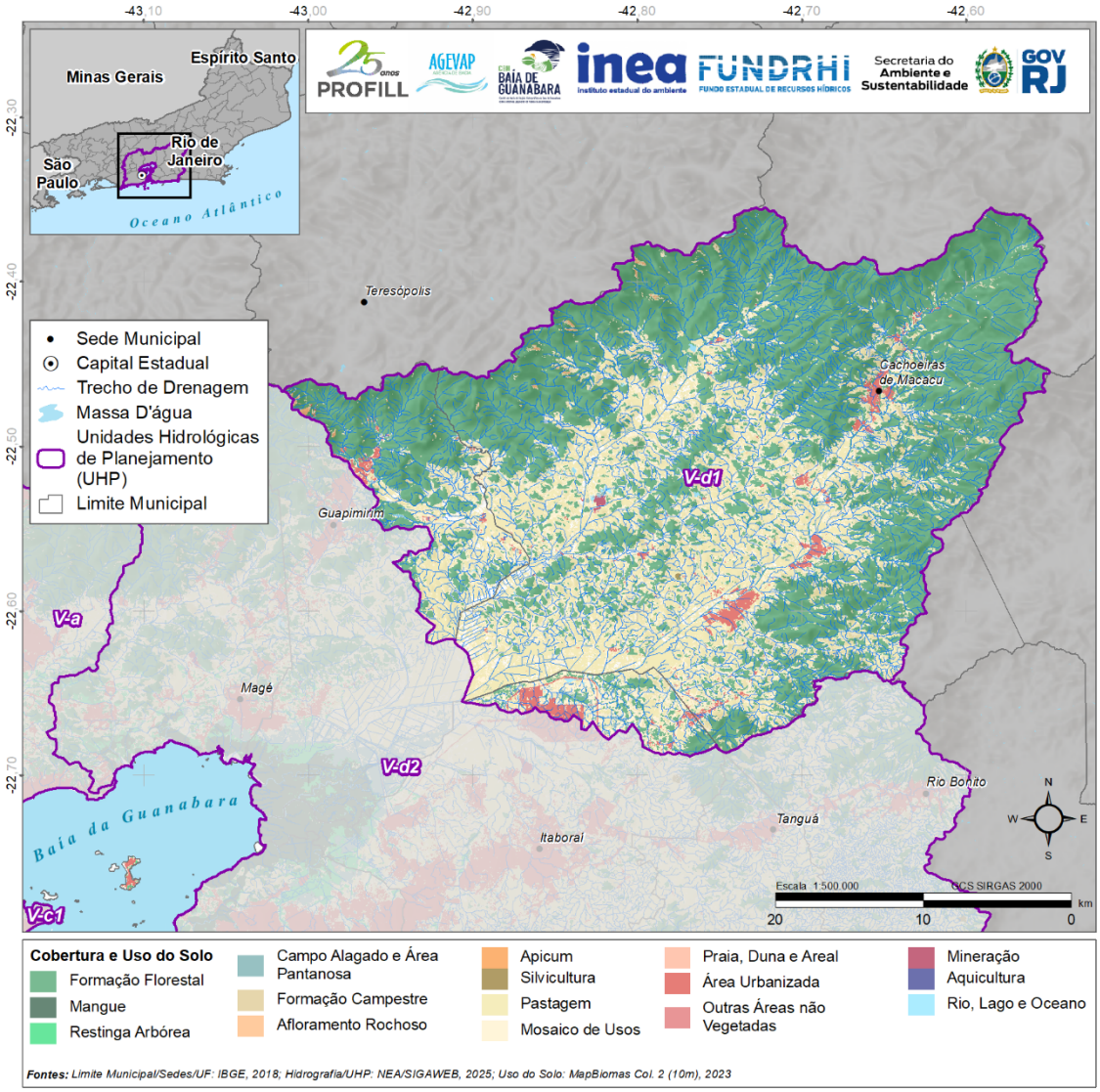
são perceptíveis grandes regiões destinadas à pastagem, bem como áreas desprovidas de vegetação.



Mapa 5-53 – Fontes de contaminação por uso do solo na UHP V-d2.
Fonte: Elaboração própria.

O Mapa 5-54, que apresenta a UHP V-d1, por sua vez, também revela um amplo predomínio de vegetação florestal, que ocupa praticamente toda a extensão da área. Pequenas manchas urbanas, lavouras temporárias e mosaicos de usos, aparecem de forma esparsa, concentrando-se, principalmente, na porção sul. Destaca-se a ausência de grandes manchas urbanas contínuas, indicando baixa ocupação deste

tipo na região. As demais classes de uso do solo estão presentes em escala ainda mais reduzida.

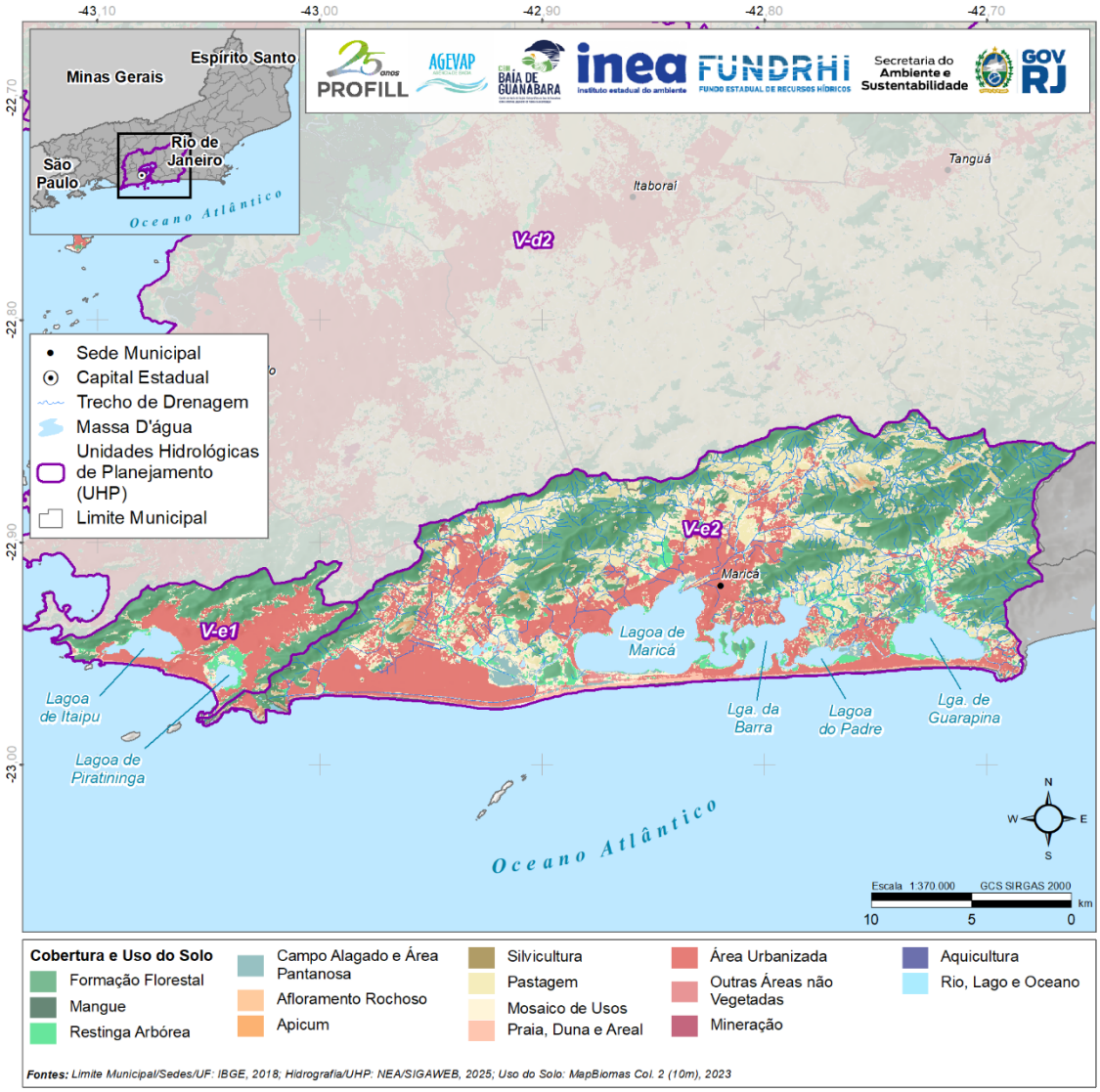


Mapa 5-54 – Fontes de contaminação por uso do solo na UHP V-d1.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.2.4 *Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2)*

Por fim, na Região das Lagoas de Niterói e Maricá, que representam uma das porções litorâneas da RH-V (UHPs V-e1 e V-e2), observa-se uma grande concentração de ocupação urbana e de corpos hídricos ao longo da faixa costeira (Mapa 5-55). As formações florestais se distribuem predominantemente pelos setores

norte e central da área. Também, estão presentes trechos de vegetação de restinga, áreas desprovidas de cobertura vegetal e zonas de mineração.



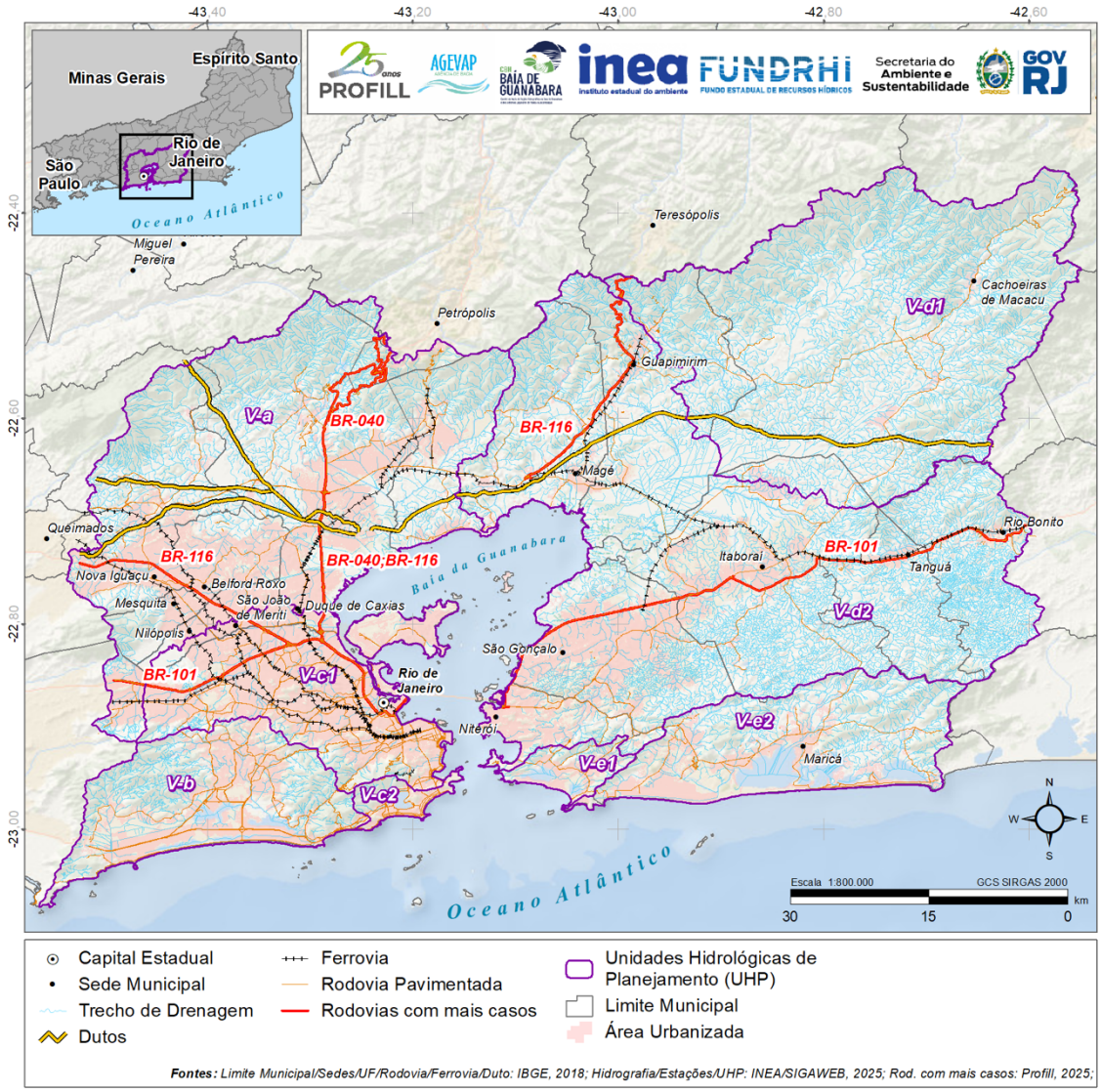
Mapa 5-55 – Fontes de contaminação por uso do solo nas UHPs V-e1 e V-e2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.4.3 Fontes de Contaminação Lineares

Além das fontes de contaminação pontuais e das associadas ao uso do solo, também são destacadas as fontes de contaminação consideradas como lineares, principalmente associadas à existência de estradas, rodovias, ferrovias e dutos industriais. Neste contexto, destaca-se o Diagnóstico dos Acidentes Ambientais

no Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2017), que possuiu como objetivo propor um plano de ação voltado à prevenção e mitigação de acidentes ambientais, com enfoque nas principais rodovias do estado. Esse diagnóstico foi elaborado a partir do mapeamento das áreas ambientalmente sensíveis, com base no levantamento histórico de ocorrências com produtos perigosos, registradas entre 1983 e 2016. O estudo concentrou-se no transporte rodoviário de produtos perigosos, dada sua expressiva participação no deslocamento de cargas no Brasil, e os elevados riscos ambientais e sociais envolvidos, especialmente por ocorrer em locais de livre acesso e, muitas vezes, próximos a comunidades vulneráveis. Assim, neste trabalho, foram analisadas, entre outros, os cinco trechos de rodovias com maior número de emergências ambientais do Estado do Rio de Janeiro: BR-101 (Rio-Campos), BR-116 (Rio-São Paulo), BR-116 (Rio-Teresópolis), BR-040 (Rio-Juiz de Fora) e BR-393 (Rodovia Lúcio Meira).

Este diagnóstico do INEA (2017) em conjunto com o uso de outras informações, obtidas a partir da base vetorial contínua do Estado do Rio de Janeiro em escala de 1:25.000 e também disponibilizadas pelo SIGA-BG, foram utilizadas para identificar as fontes de contaminação lineares existentes na RH-V. Além de fontes de contaminação lineares associadas ao modal rodoviário, destaca-se, ainda, que também foi considerado o transporte ferroviário como fonte potencial de contaminação de cursos hídricos, bem como a existência de dutos industriais na região de interesse (utilizados, principalmente, para o deslocamento de combustíveis entre instalações próximas), os quais podem gerar contaminações relevantes em trechos dos corpos hídricos a jusante. O transporte ferroviário, apesar de menos incidente, é também considerado pois é citado como alternativa para movimentação de cargas perigosas (INEA, 2017). No Mapa 5-56 é possível observar este conjunto de fontes lineares de contaminação consideradas, destacando-se, portanto: (i) rodovias pavimentadas mais suscetíveis à ocorrência de desastres (rodovias com mais casos); (ii) rodovias pavimentadas; (iii) ferrovias; (iv) dutos.

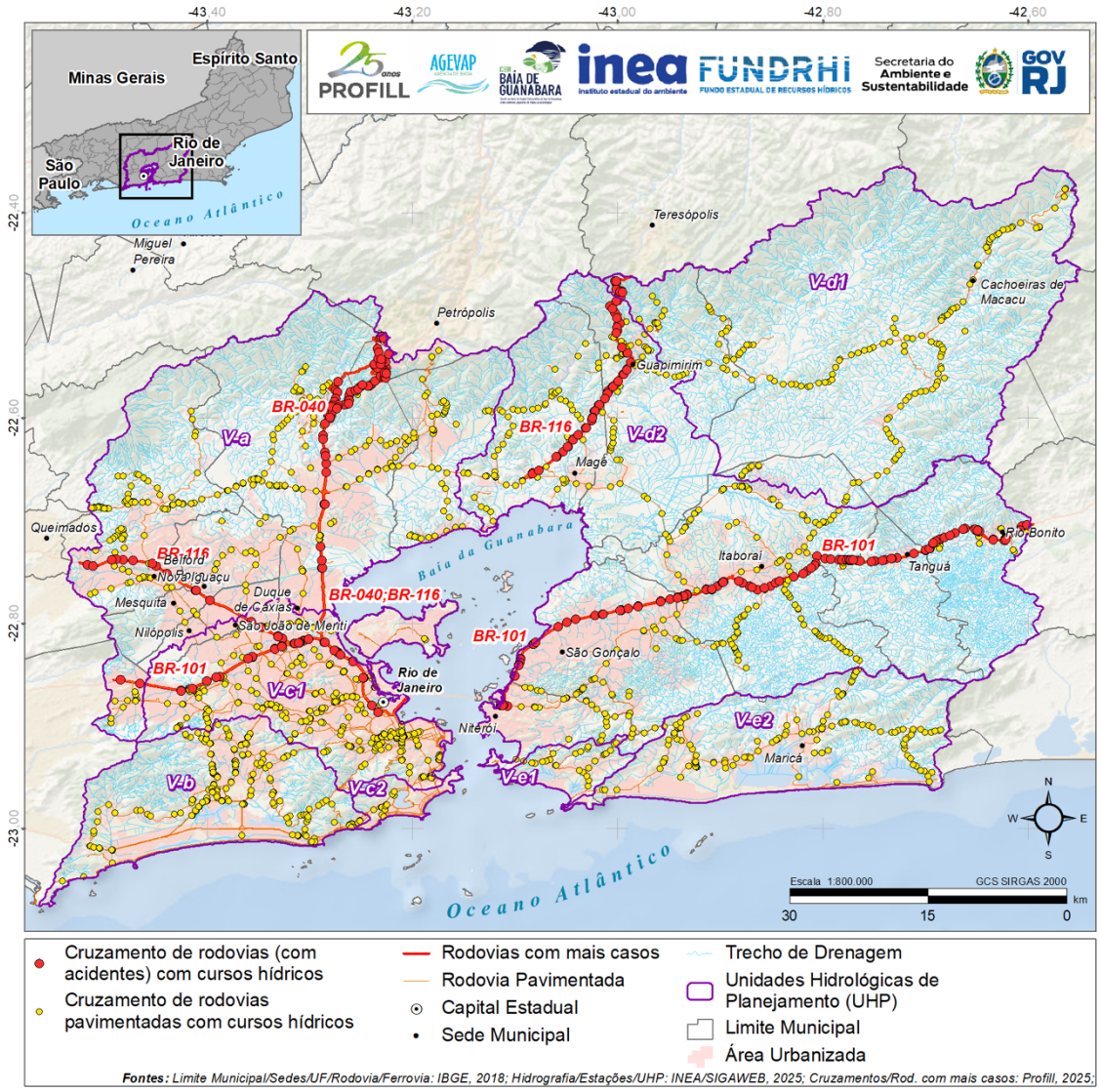


Mapa 5-56 – Fontes de contaminação lineares na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Visando identificar os trechos de cursos hídricos com possibilidade de recebimento de cargas oriundas de acidentes rodoviários, ou de acidentes envolvendo fontes lineares de modo geral, foi realizado o cruzamento entre os respectivos cursos hídricos locais e as fontes previamente mapeadas. No Mapa 5-57, especificamente, são destacados os pontos de interseção entre cursos hídricos e rodovias identificadas como sendo aquelas de grande número de emergências ambientais (como BR-116, BR-101, BR-040 e BR-393), apresentadas em conjunto com pontos de interseção entre rodovias pavimentadas que cortam a RH-V. Como pode ser observado, grande

parte dos cursos hídricos de grande porte da RH-V são cruzados por rodovias relevantes ao menos uma vez.

Nos itens subsequentes, são realizadas abordagens regionais por UHP, permitindo-se a avaliação destas fontes lineares a partir de uma visão local por área de interesse.

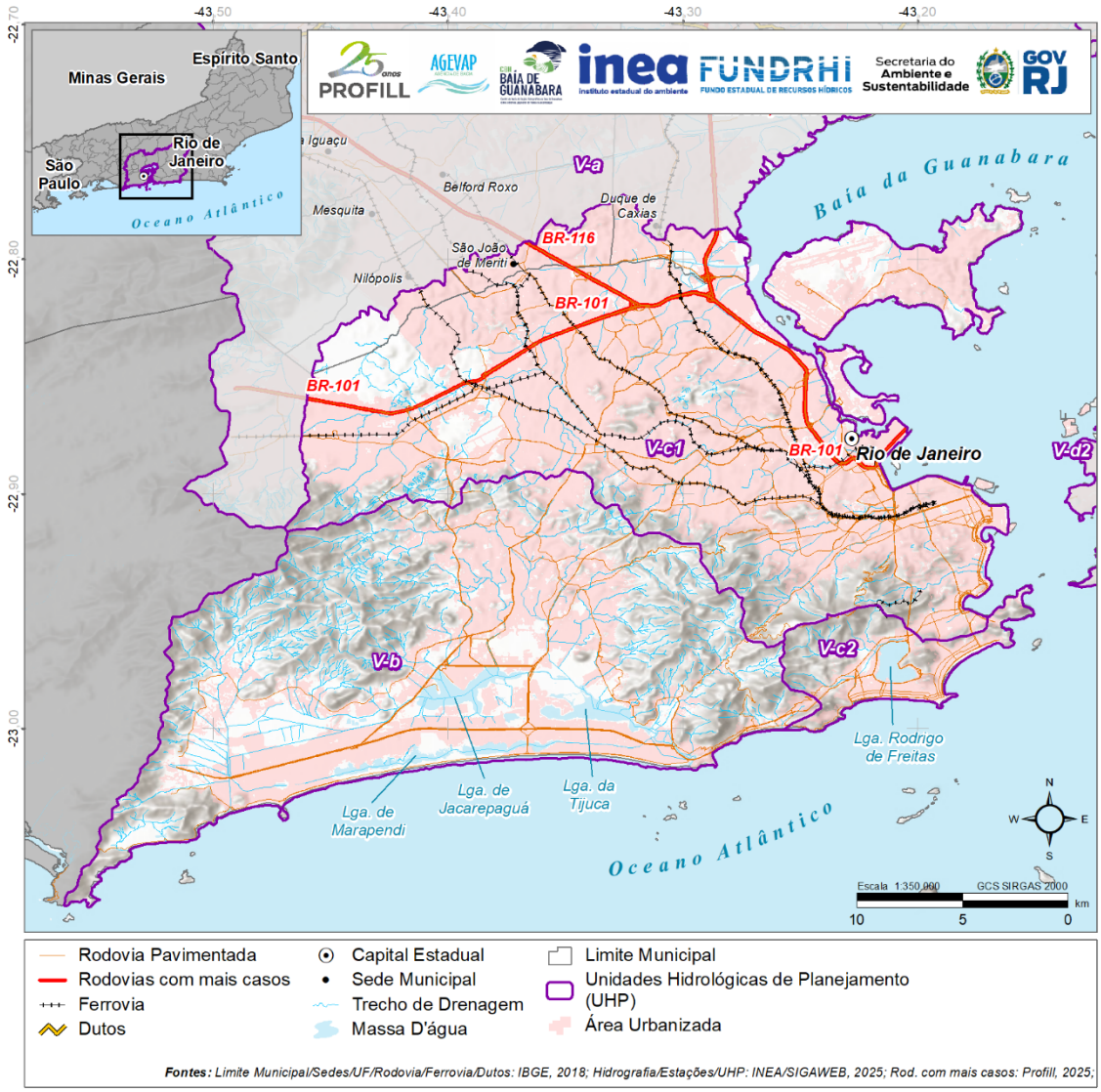


Mapa 5-57 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e fontes de contaminação lineares (rodovias) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

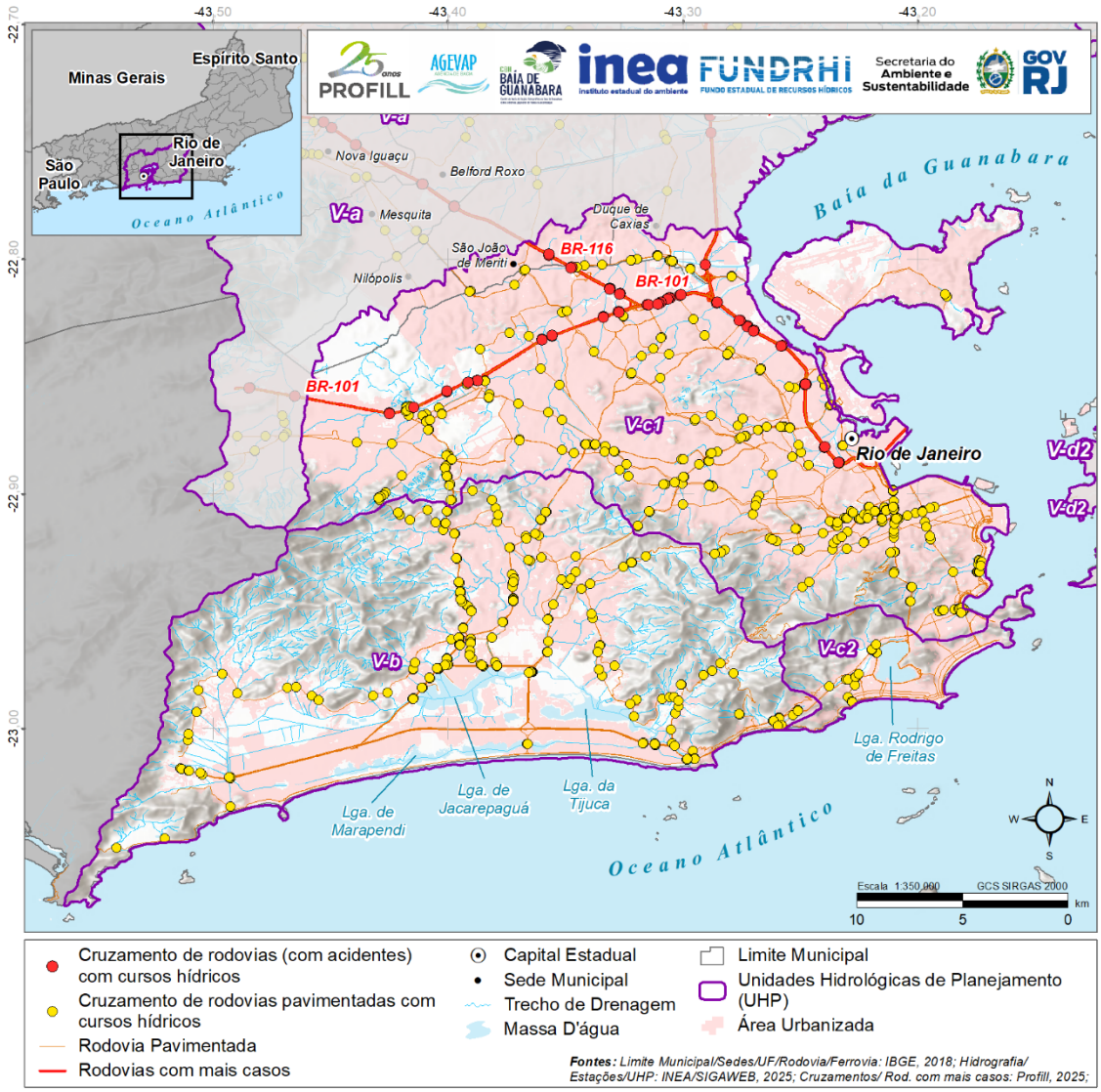
5.3.4.3.1 *Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2)*

Conforme pode ser observado no Mapa 5-58, as UHPs correspondente à Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2) localizam-se na porção sudoeste e central da RH-V, contendo uma rede de drenagem significativamente ramificada, com destaque para a presença de lagoas nas proximidades do litoral.

Rodovias pavimentadas atravessam todas as UHPs em diferentes direções, formando uma malha viária expressiva, especialmente na Região dos Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, e Ilhas do Governador, onde a densidade de vias no entorno da baía é notável. Muitas dessas vias se sobrepõem aos cursos d'água, gerando os pontos de cruzamentos presentes no Mapa 5-59, destacando-se também as rodovias associadas a elevados registros de acidentes, relevantes na região dos Rios Pavuna, Acari, das Pedras, Sapopemba e Marangá. Além disso, ferrovias também cruzam trechos significativos da V-c1, muitas vezes acompanhando o traçado das rodovias principais e dos cursos d'água.



Mapa 5-58 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2.
Fonte: Elaboração própria.

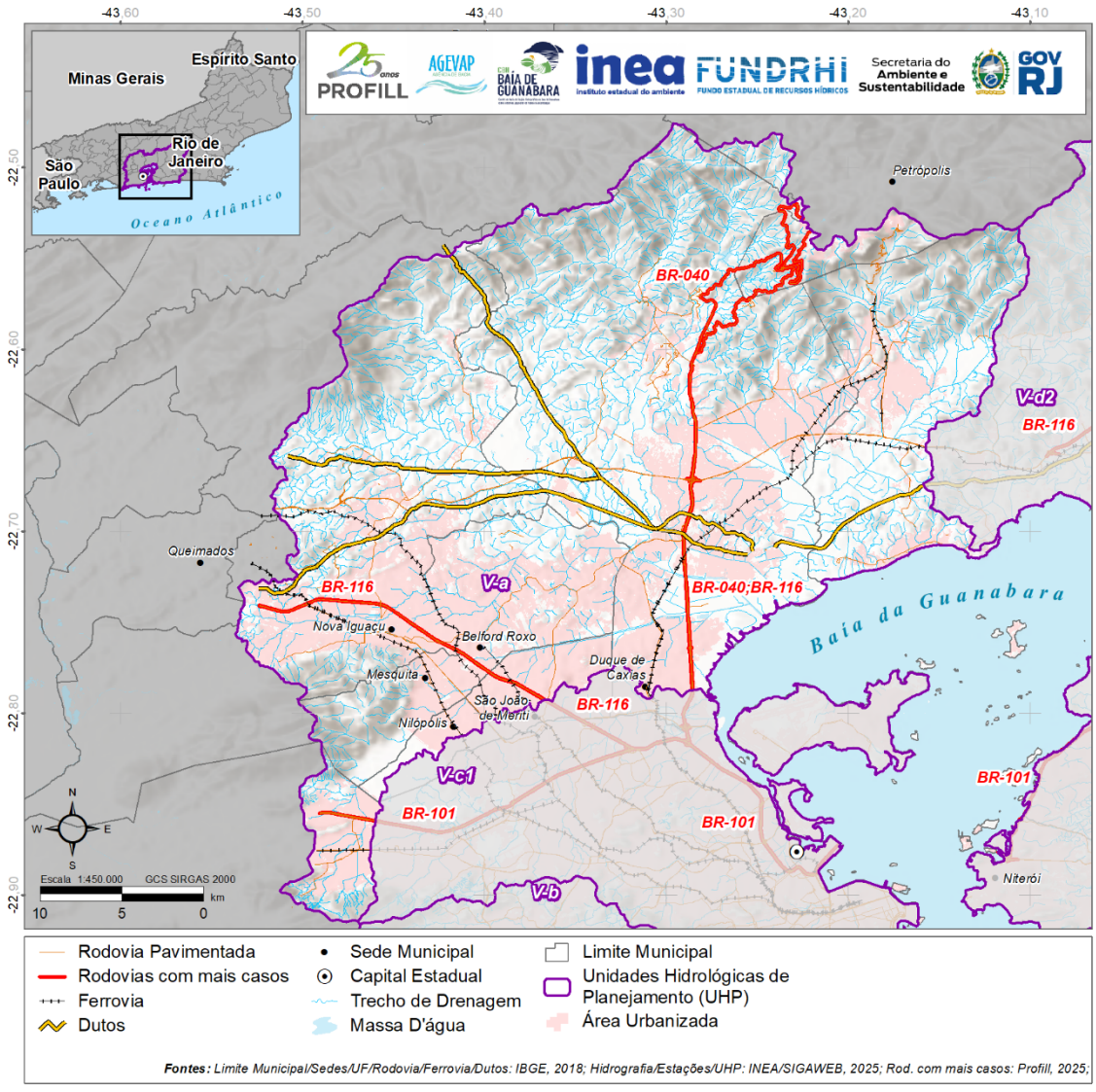


Mapa 5-59 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2.
Fonte: Elaboração própria.

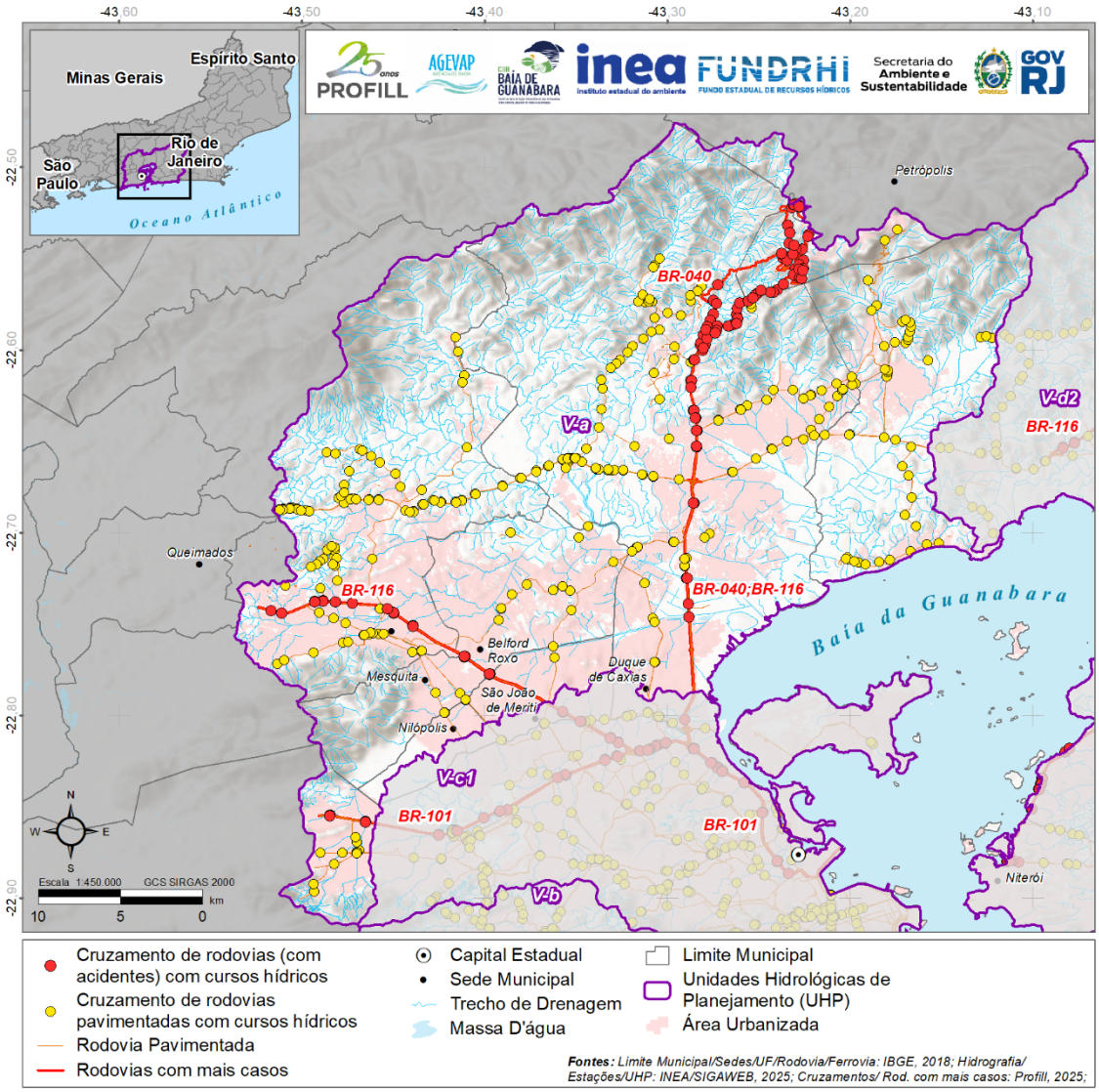
5.3.4.3.2 *Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a)*

Conforme mostra o Mapa 5-60, a Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a) contém uma densa rede hidrográfica com cursos d'água distribuídos de forma contínua por toda a UHP. Verifica-se uma quantidade expressiva de rodovias pavimentadas que cruzam a área, incluindo-se também aquelas com maior número de acidentes rodoviários, como a BR-040, que cruza a região no sentido sul-norte, e a BR-116, que cruza a região no sentido leste-oeste. Também são identificadas ferrovias e dutos utilizados para transporte de cargas industriais que atravessam a UHP

em diversas direções, de modo que a sobreposição entre essas infraestruturas e a rede hídrica é recorrente, evidenciando múltiplos pontos de contato. Neste contexto, no Mapa 5-61 são destacados os pontos de interseção entre estas fontes lineares mapeadas e os cursos hídricos da região.



Mapa 5-60 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis na UHP V-a.
Fonte: Elaboração própria.

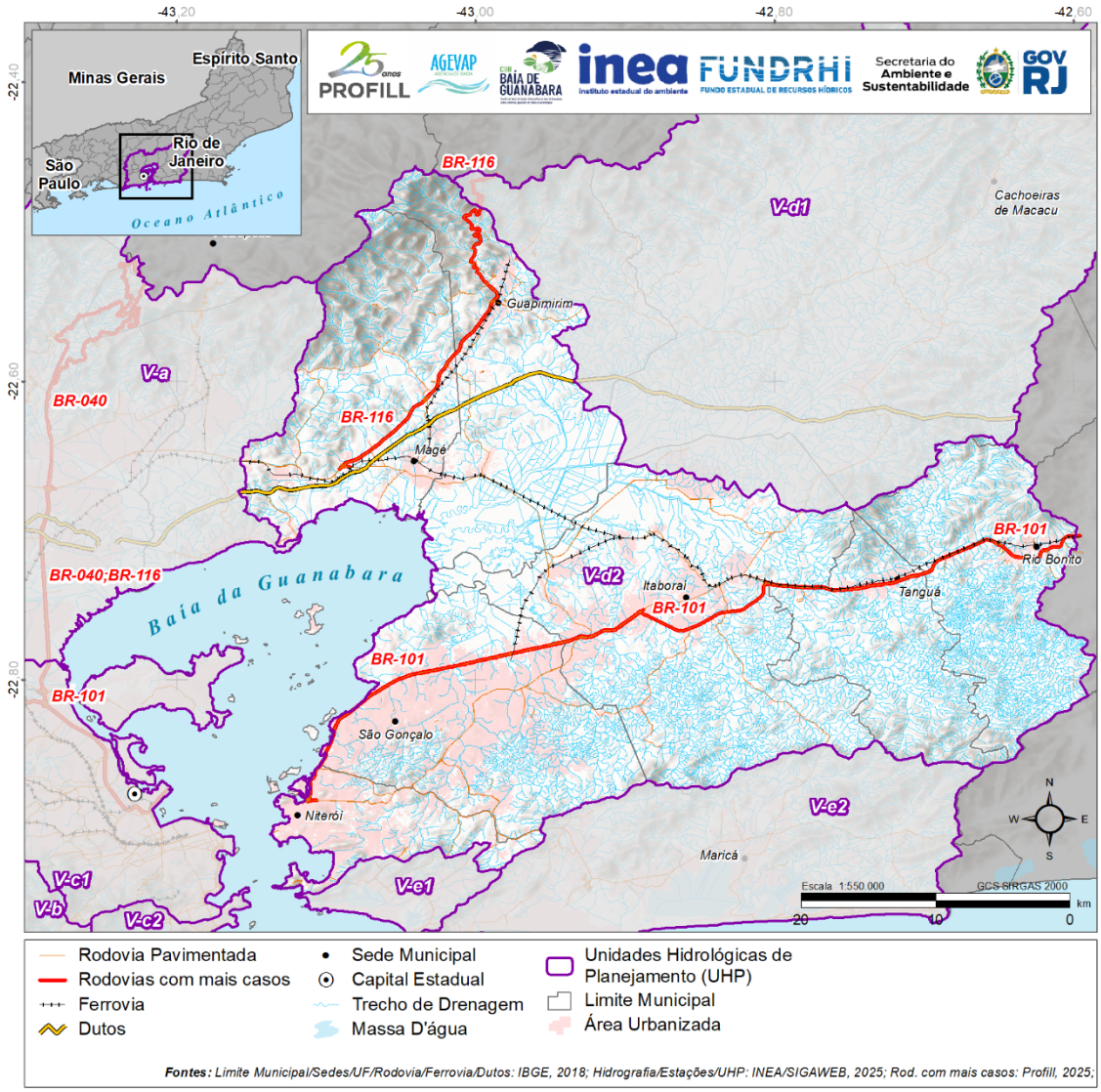


Mapa 5-61 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico na UHP V-a
Fonte: Elaboração própria.

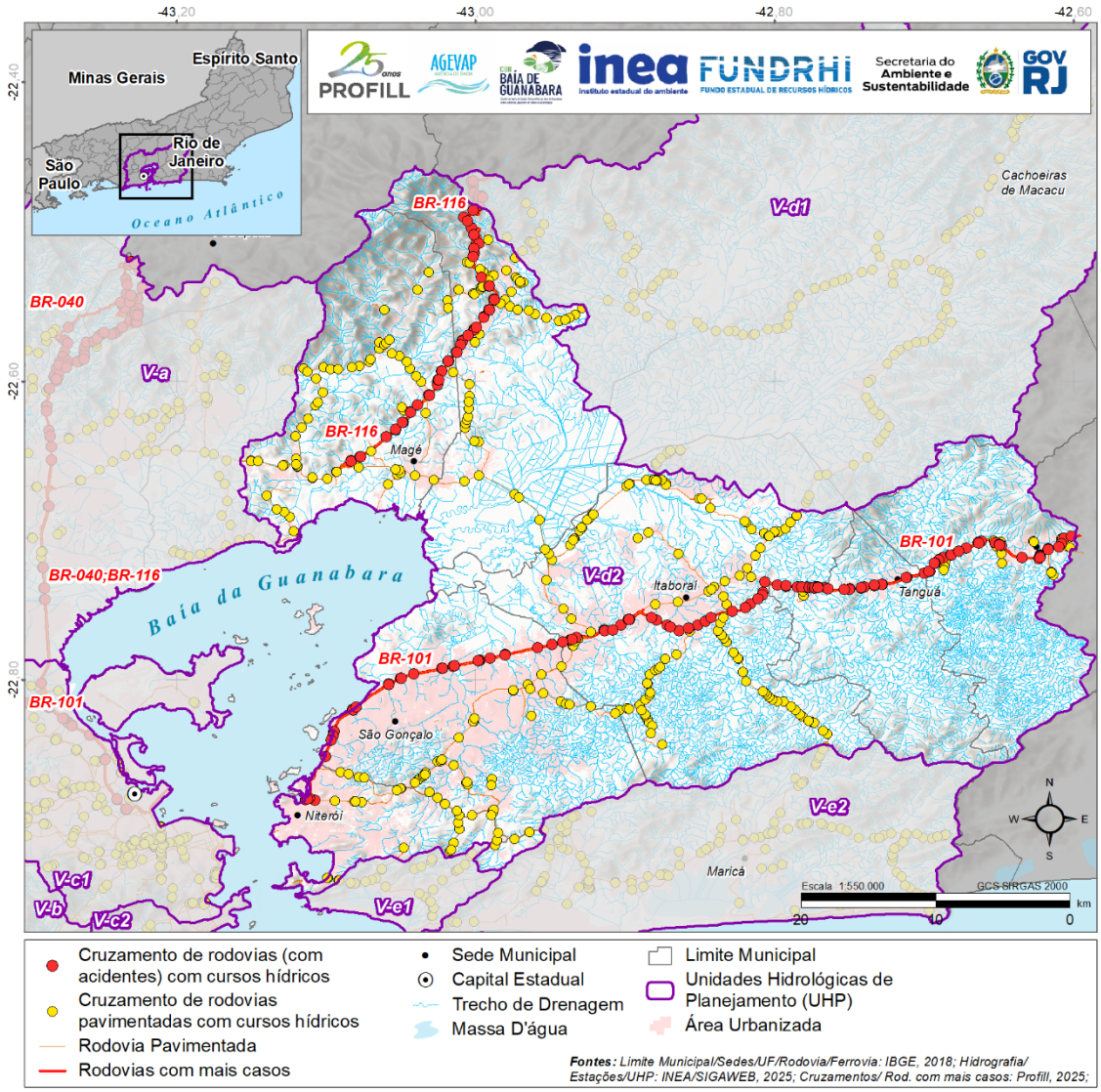
5.3.4.3.3 *Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2)*

O Mapa 5-62 contextualiza a bacia hidrográfica dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha Paquetá (UHP V-d2) com as fontes lineares de contaminação previamente mapeadas. Nesta região destaca-se a presença da rodovia BR-101, previamente identificada como uma rodovia com histórico relevante de registro de acidentes com cargas perigosas, que cruza a área no sentido leste-oeste. Há também a presença marcante de rodovias pavimentadas, formando uma malha viária

densa e bem conectada, que por vezes cruzam cursos hídricos com áreas de montante, a princípio, sem indícios de perigo quanto à contaminação. Neste sentido, a rede de cursos d'água é amplamente ramificada, cobrindo toda a unidade, e apresentando múltiplas intersecções com as vias de transporte, conforme observado no Mapa 5-63. Destaca-se, ainda, a presença significativa de dutos e ferrovias, o que resulta em uma sobreposição expressiva de diferentes camadas de infraestrutura nesta UHP. Por fim, esta unidade se destaca visualmente pela intensa concentração de traçados sobrepostos à rede hidrográfica.

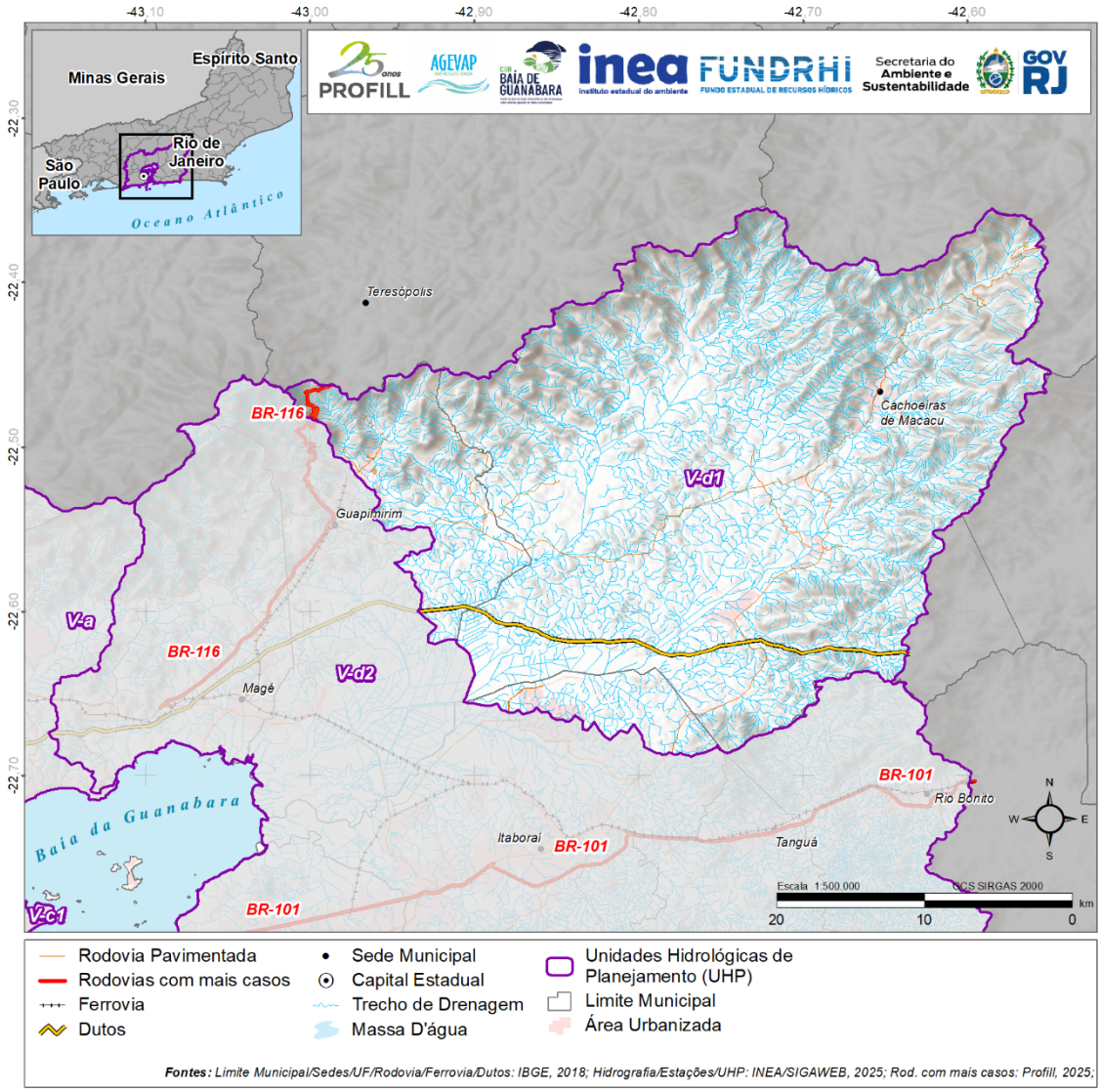


Mapa 5-62 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis na UHP V-d2.
Fonte: Elaboração própria.

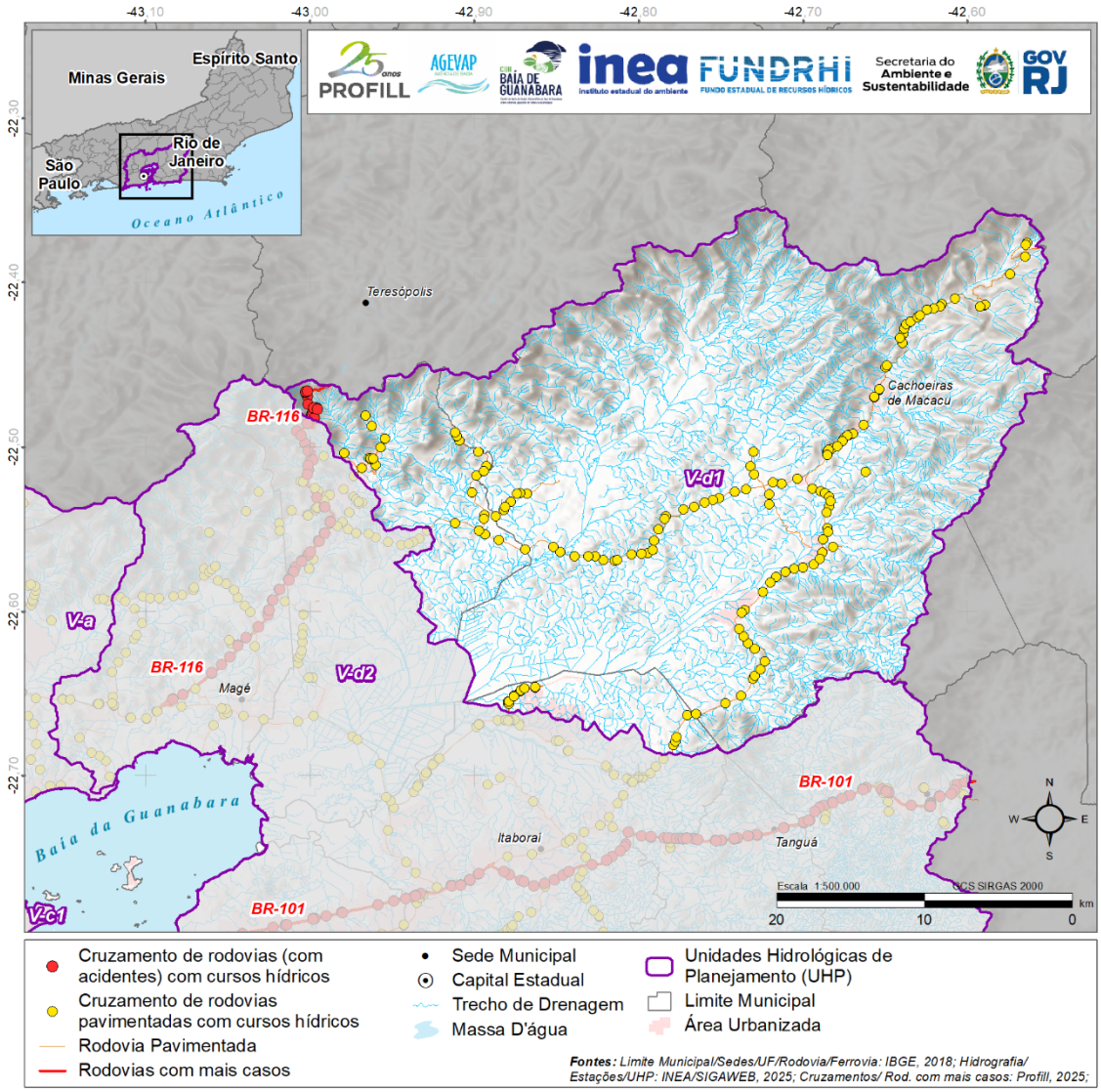


Mapa 5-63 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico na UHP V-d2.
Fonte: Elaboração própria.

Por sua vez, no Mapa 5-64 é apresentada a região localizada no setor nordeste da área de estudo, conhecida como a Região dos Rios Macacu e Iconha (UHP V-d1), dentre outros. Observa-se que não há presença de rodovias com histórico relevante de acidentes, embora existam rodovias pavimentadas que também podem ser consideradas como fontes de contaminação. Também, são observados dutos industriais cortando a UHP na região mais ao sul. Os pontos que representam o cruzamento dos cursos hídricos locais com essas fontes lineares de contaminação potencial são apresentados no Mapa 5-65.



Mapa 5-64 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis na UHP V-d1.
Fonte: Elaboração própria.

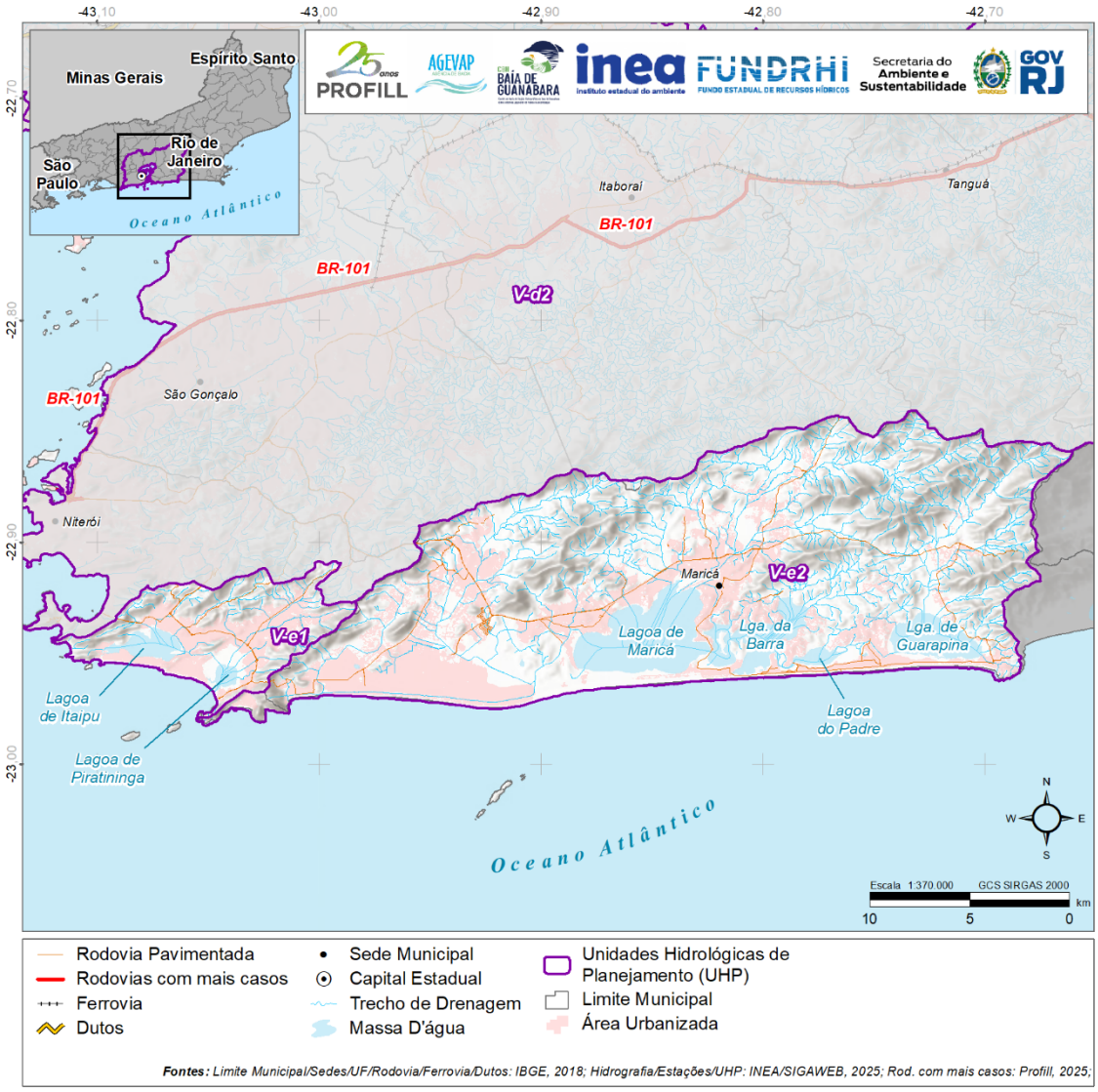


Mapa 5-65 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico na UHP V-d1.
Fonte: Elaboração própria.

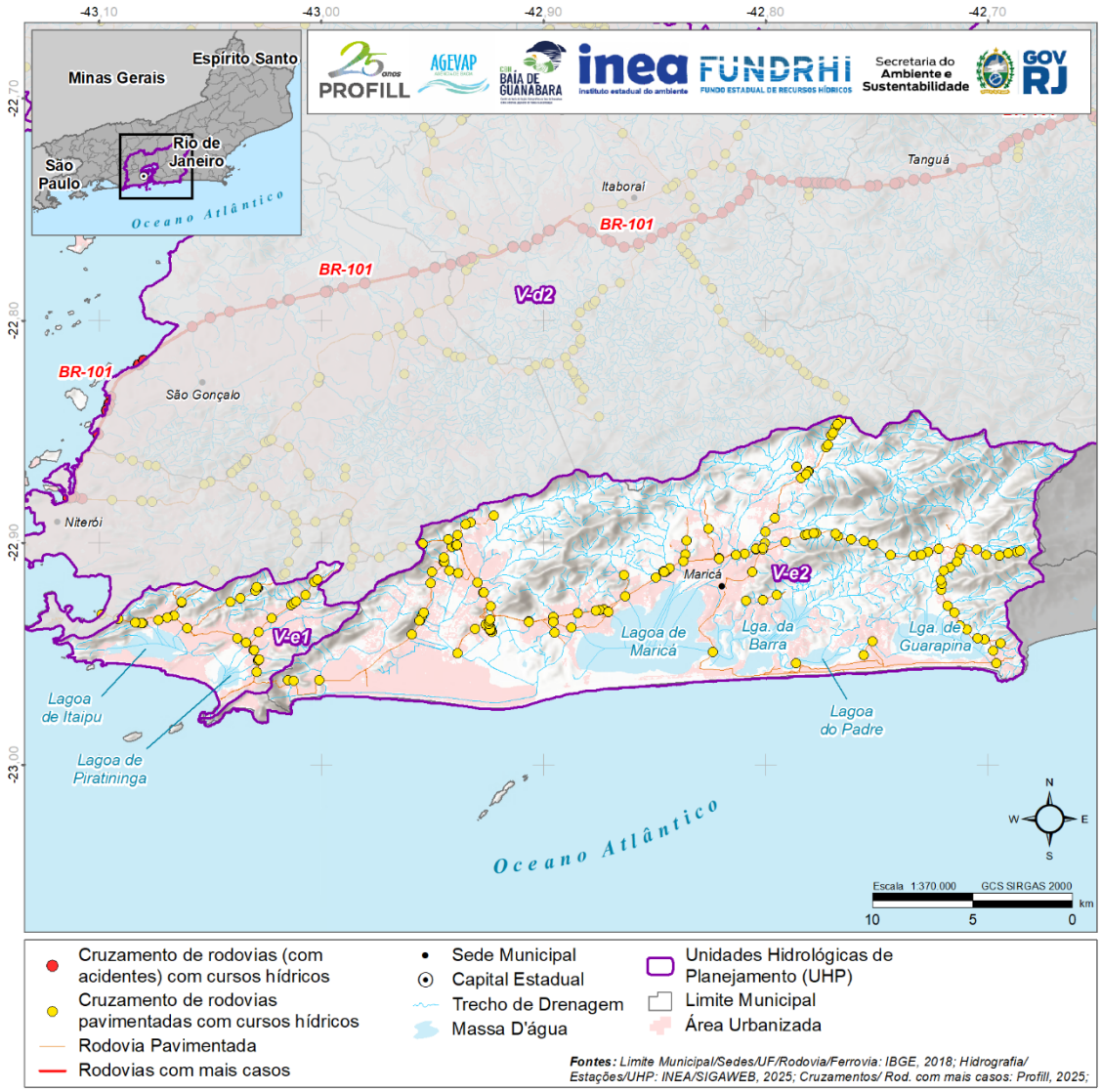
5.3.4.3.4 *Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2)*

No Mapa 5-66 e no Mapa 5-67, a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2) são também contextualizadas em relação às fontes lineares de contaminação previamente mapeadas, assim como seus pontos de cruzamento. Conforme pode ser observado, embora a infraestrutura viária esteja fortemente presente nas duas UHPs, observa-se a ausência de rodovias associadas a históricos de aci-

dentes, restando rodovias pavimentadas que interligam distintas partes da região hidrográfica. Além disso, também se observa que as duas UHPs não contam com a presença de dutos industriais ou ferrovias, segundo os bancos de dados consultados.



Mapa 5-66 – Fontes de contaminação por lançamentos móveis nas UHPs V-e1 e V-e2.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-67 – Pontos de cruzamento de cursos hídricos e rodovias com histórico nas UHPs V-e1 e V-e2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.5 *Cursos Hídricos em Exposição*

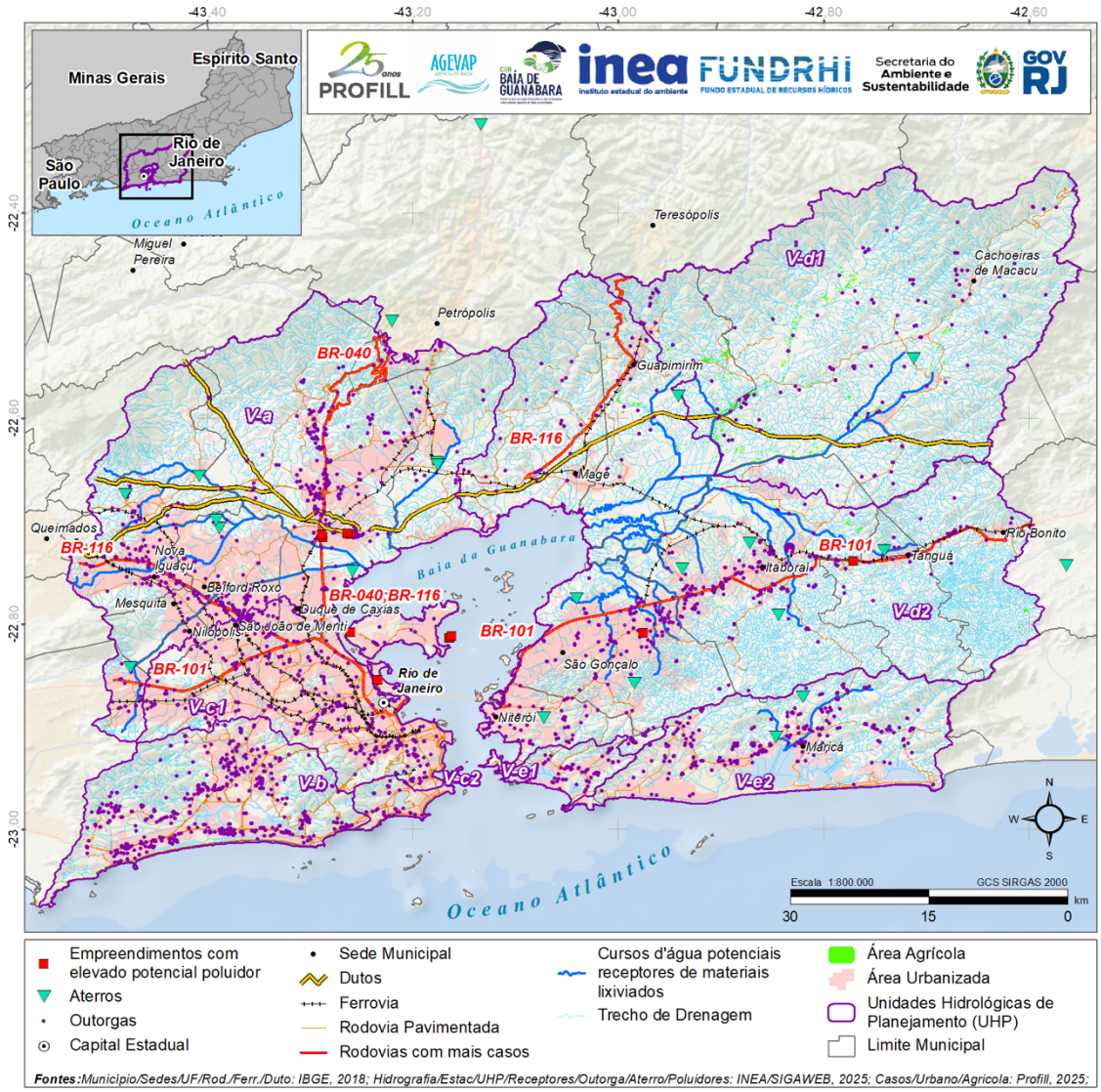
Após a identificação das fontes de contaminação presentes na RH-V, sejam elas pontuais ou lineares, ou associadas ao uso do solo, foram identificados os cursos hídricos sujeitos à exposição a essas potenciais fontes de contaminação, considerando-se, majoritariamente, as fontes de potencial poluição existentes a montante dos trechos em análise, bem como a probabilidade acumulada de ocorrência. Neste

sentido, visando o estabelecimento de critérios gerais associados a uma visão regional destas fontes de modo conjunto, no Mapa 5-68 é apresentada a RH-V contrastando-se os cursos hídricos locais com as fontes de contaminação previamente mapeadas. No referido Mapa, também são também apresentadas características quanto ao uso do solo de interesse na RH-V, sendo destacados os usos associados à urbanização e à agricultura.

Para realizar o ranqueamento de trechos de cursos hídricos da RH-V quanto ao perigo à contaminação, foi adotada uma metodologia baseada na acumulação de fontes potenciais existentes a montante do trecho em análise. A fim de quantificar e ranquear este perigo em notas que variam de 1 a 5, foram considerados os critérios que envolvem:

- A presença de manchas urbanas e áreas agrícolas a montante;
- O lançamento de efluentes;
- A localização de empreendimentos com elevado potencial poluidor;
- A existência de aterros com possibilidade de geração de lixiviados;
- A existência, a montante, de rodovias que apresentam histórico de acidentes;
- A existência, a montante, de rodovias, ferrovias e dutos industriais.

A classificação apresentada no Quadro 5-17 permite hierarquizar os trechos dos cursos d'água de acordo com a gravidade da exposição, estabelecendo uma escala que varia de 1 (perigo muito baixo) a 5 (perigo muito grande).



Mapa 5-68 – Mapa de cursos hídricos suscetíveis à contaminação na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Quadro 5-17 – Classificação de perigo à contaminação para cursos hídricos.

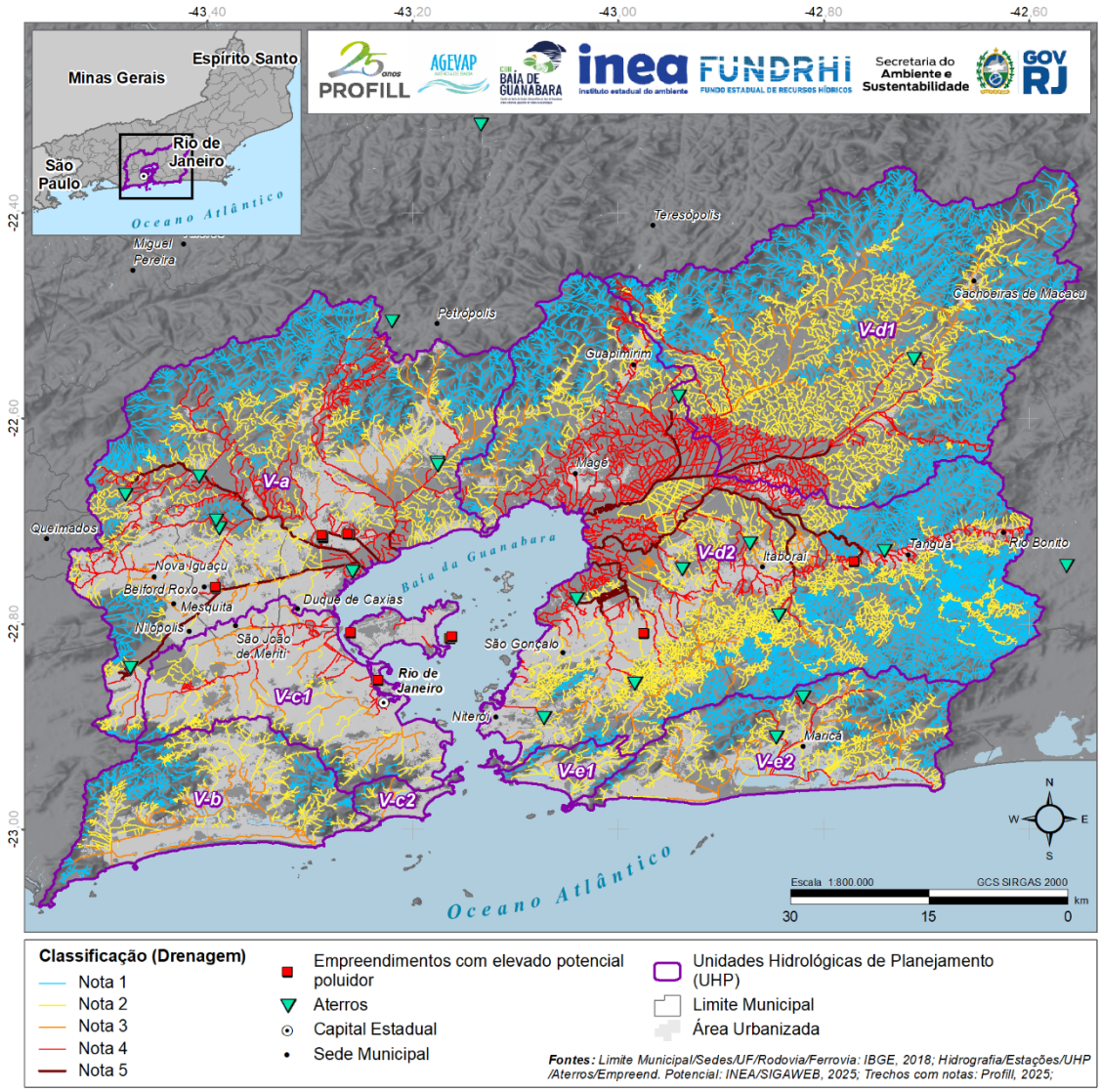
Classificação	Critério	Nota
Muito baixo perigo	Cursos hídricos, geralmente cabeceiras, sem atividades antrópicas ou evidências fortes de quaisquer fontes de contaminação localizadas a montante	1
Baixo perigo	Cursos hídricos que cruzam ou interceptam manchas urbanas e agrícolas, ou cursos hídricos classificados preliminarmente como sendo de “muito baixo perigo” para contaminação, e que estejam a jusante de ferrovias ou rodovias pavimentadas sem histórico de acidentes a montante	2
Perigo moderado	Cursos hídricos preliminarmente classificados como sendo de “baixo perigo”, mas que a montante são observados lançamentos de efluentes em base de dados de outorgas de uso da água	3

Classificação	Critério	Nota
Perigo alto	Cursos hídricos preliminarmente classificados como sendo de “perigo moderado”, mas que a montante são cruzados ou por rodovias com casos de acidentes ou por dutos industriais ou que, a montante, possuem aterros ou empreendimentos com elevado potencial poluidor. Também são classificados como trechos de ”perigo alto” aqueles anteriormente classificados como “sujeitos a receber lixiviados” conforme classificação do INEA, ou aqueles classificados anteriormente como ”perigo moderado”, ”baixo perigo” e ”muito baixo perigo”, que estão a jusante de rodovias com histórico de acidentes	4
Perigo muito alto	Cursos hídricos que contemplam, ao mesmo tempo, todos os requisitos definidos para classificação de “perigo alto”. Ou seja, são aqueles classificados como “sujeitos a receber lixiviados” e que tem, a montante: (i) aterros sanitários; (ii) empreendimentos com elevado potencial poluidor; (iii) rodovias com históricos de acidentes e; (iv) dutos indutriais	5

Fonte: Elaboração própria.

Portanto, foram definidas as notas 1, 2, 3, 4 e 5 seguindo os critérios adotados no quadro acima, de forma que classe (ou nota) 1 significa um trecho pouco propenso a contaminações, e 5 significa um trecho muito propenso à contaminação. Importante destacar, também, que durante o processo de ranqueamento sempre se manteve, no trecho, nota igual ou superior à nota atribuída para o trecho de montante. Esse critério visa representar de forma mais conservadora e realista os potenciais impactos acumulados sobre a qualidade da água e os perigos associados, assim como todos os trechos a jusante de trechos nível 5.

O resultado dessa classificação espacial dos cursos hídricos é apresentado de forma sintetizada no Mapa 5-69, enquanto o percentual geral de classes por UHP é apresentado na Tabela 5-40. Nos itens subsequentes, adicionalmente, são apresentados os trechos de cursos hídricos em exposição por UHP, permitindo uma análise regional que considera as particularidades de cada área estudada.



Mapa 5-69 – Classificação do perigo à contaminação dos cursos hídricos na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5-40 – Percentual de classes de perigo à contaminação dos cursos hídricos por UHP.

UHP	Classe 1 (%)	Classe 2 (%)	Classe 3 (%)	Classe 4 (%)	Classe 5 (%)
V-a	32,6	33,8	6,1	24,2	3,4
V-b	33,4	43,3	15,5	-	-
V-c1	5,5	50,1	23,5	20,9	-
V-c2	3,4	62,4	19,4	-	-
V-d1	46,4	40,0	3,0	10,5	0,5
V-d2	43,1	35,1	2,7	17,1	2,0
V-e1	3,2	94,8	2,0	-	-
V-e2	33,2	50,7	8,8	7,3	-

Fonte: Elaboração própria.

5.3.5.1 Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Meritíi, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2)

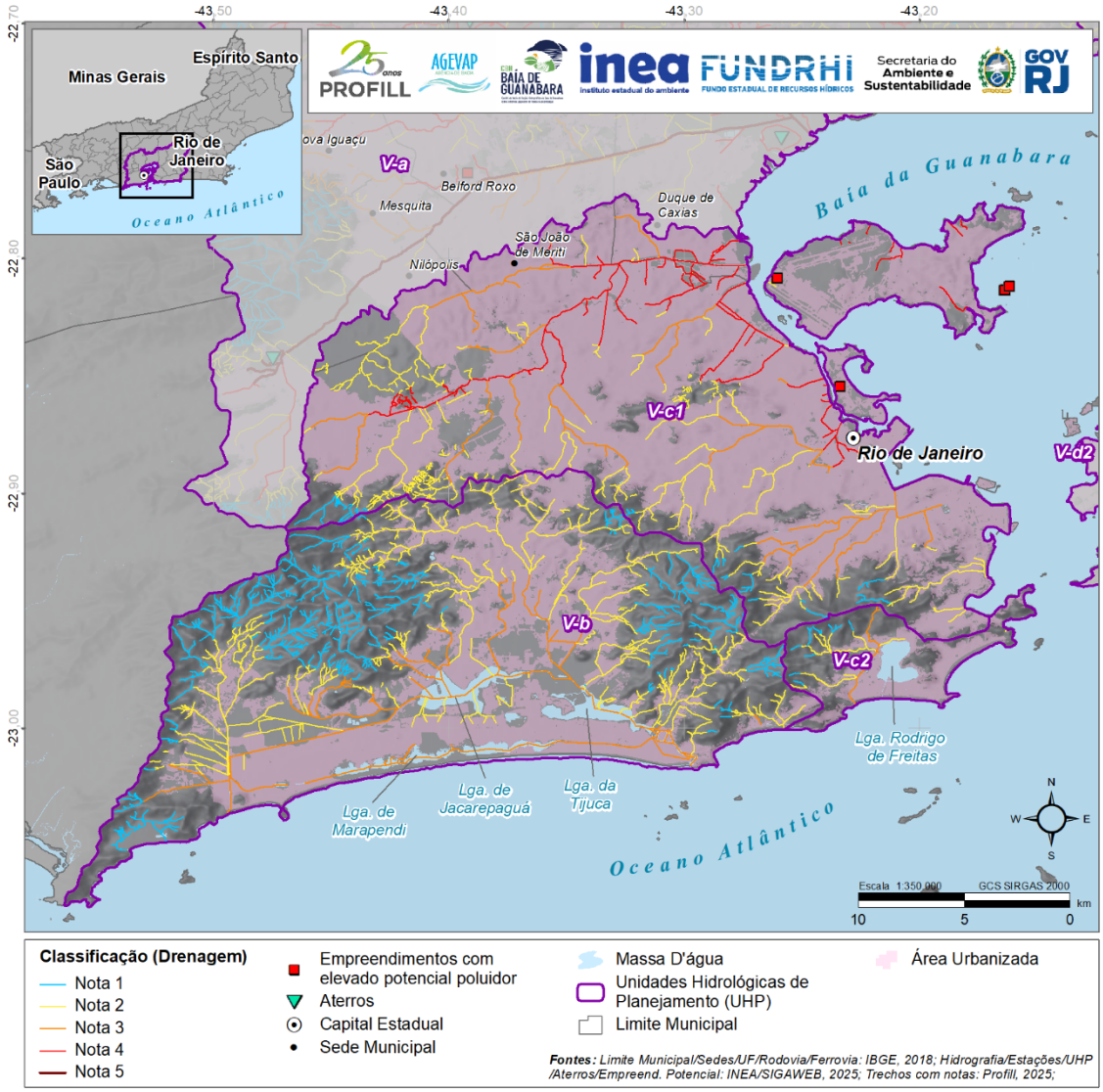
Conforme descrito anteriormente, na Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Meritíi, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão, e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2), observa-se o predomínio de áreas urbanizadas, atravessadas por uma densa rede de rodovias pavimentadas (incluindo rodovias com histórico de acidentes) e ferrovias. Há significativa concentração de lançamentos, especialmente na Região dos Rios Pavuna-Meritíi, Faria-Timbó e Maracanã (UHP V-c1). Na Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí (UHP V-b), a paisagem é mais heterogênea, mas ainda marcada pela presença de infraestrutura viária e pontos de lançamento. Já na Região da Lagoa Rodrigo de Freitas (UHP V-c2), os cursos d'água, de um modo geral, não cruzam vias de transporte expressivas, tampouco apresentam lançamentos de efluentes industriais. Entretanto, associados a manchas urbanas e a alguns lançamentos de fontes não categorizadas, acabam recebendo nota 2 na classificação de perigo, na sua maioria.

A Tabela 5-41 apresenta a classificação dos trechos por UHP, segundo os critérios estabelecidos e conforme já mencionado, na qual é possível perceber que a UHP V-b é a que apresenta maior percentual de cursos hídricos com nota 1, representando "muito baixo perigo" (33%, aproximadamente), enquanto a região V-c1 possui cerca de 44% dos seus trechos de rios classificados como "perigo moderado" ou "perigo alto". Também se destaca que apenas na UHP V-c1 são identificados cursos hídricos classificados como "perigo alto", como pode ser visto no Mapa 5-70, especialmente naqueles em que ocorre, a montante, cruzamentos com rodovias associadas a histórico de acidentes, presença de aterros e existência de empreendimentos com elevado potencial poluidor. Nesta região, trechos com nota 3 ou 4 se distribuem ao longo das zonas urbanas, associados à presença de indústrias e empreendimentos com elevado potencial poluidor.

Tabela 5-41 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2.

UHP	Muito Baixo Perigo (%)	Baixo Perigo (%)	Perigo Moderado (%)	Perigo Alto (%)	Perigo Muito Alto (%)
V-b	33,4	43,3	15,5	-	-
V-c1	5,5	50,1	23,5	20,9	-
V-c2	3,4	62,4	19,4	-	-

Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-70 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos nas UHPs V-b, V-c1 e V-c2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.5.2 Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a)

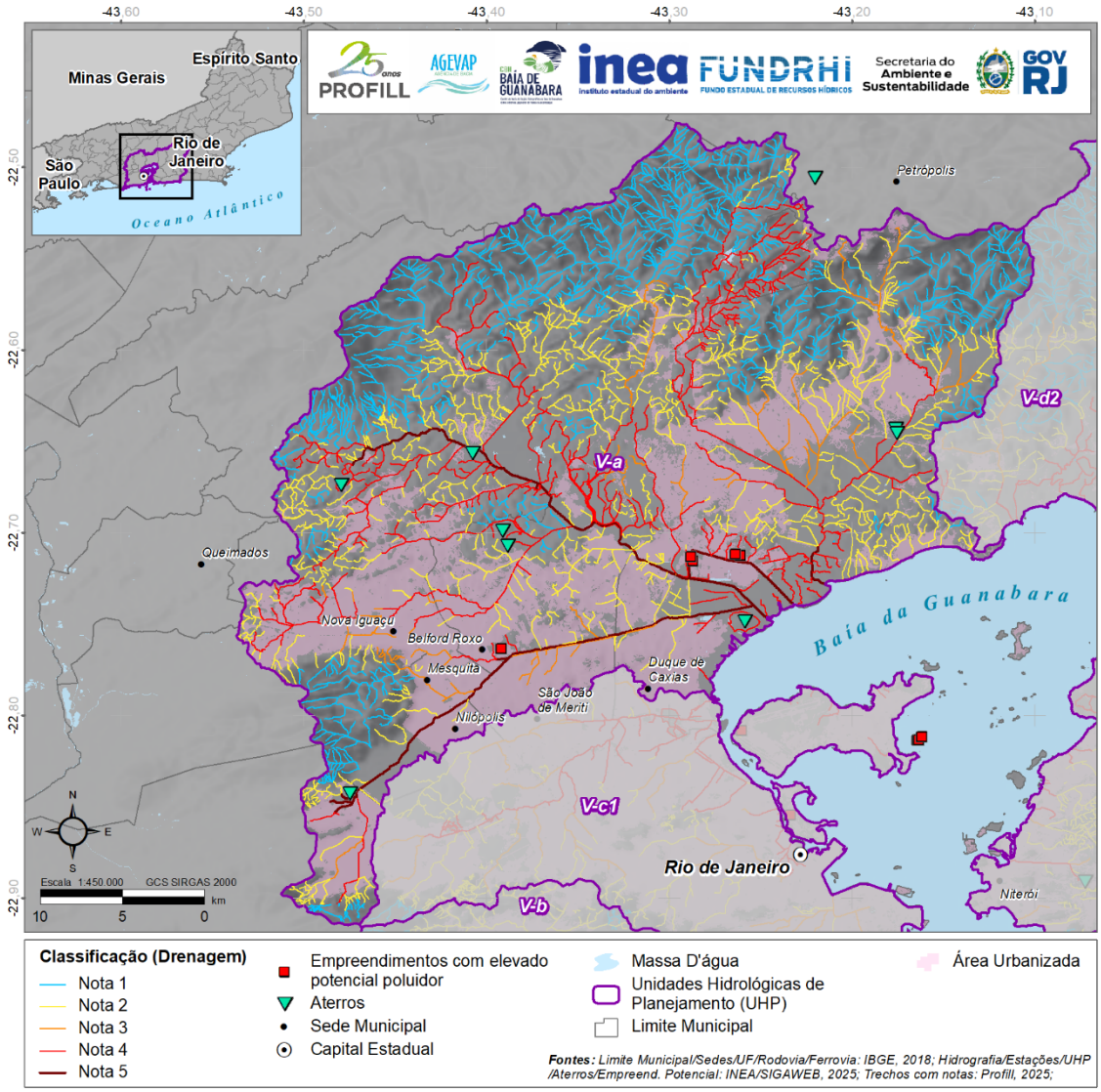
Na Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna, correspondente à UHP V-a (Mapa 5-71) grande parte da rede de drenagem está localizada em zonas de cabeceira, o que resulta em diversos trechos classificados com nota 1, representativa de ”muito baixo perigo”. No entanto, a presença de algumas manchas urbanas e de lançamentos de efluentes em trechos que são interceptados a montante por infraestrutura viária, eleva o perigo em determinadas áreas, especialmente nos setores mais centrais e ao sul da referida região, com trechos classificados com notas 2 e 3, referentes à ”baixo perigo” e ”perigo moderado”. Além disso, observa-se uma extensa área impactada que recebe nota 4, especialmente nas porções norte e central da UHP, devido ao cruzamento desses cursos hídricos com rodovias com histórico de acidentes, indicando ”perigo alto”. Adicionalmente, também se destaca que nesta região, alguns trechos foram ranqueados com nota 5 (”perigo muito alto”), uma vez que atendem integralmente aos critérios estabelecidos para o grau máximo de perigo. A Tabela 5-42 apresenta o percentual de cada nota dentro da região.

Tabela 5-42 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos na UHP V-a.

UHP	Muito Baixo Perigo (%)	Baixo Perigo (%)	Perigo Moderado (%)	Perigo Alto (%)	Perigo Muito Alto (%)
V-a	32,62	33,79	6,05	24,19	3,36

Fonte: Elaboração própria.

O mapeamento evidencia que nesta região ocorre uma sobreposição importante de cursos hídricos com diversas fontes de poluição, sejam elas lineares ou pontuais, levando à classificação de, aproximadamente, 30% dos cursos hídricos desta UHP definidos como de ”perigo alto” ou ”perigo muito alto”. Nesse sentido, são observados trechos rodoviários com histórico de acidentes, bem como a presença de empreendimentos com elevado potencial poluidor, áreas de aterro e cruzamentos com dutos. Esses fatores contribuem para a elevação da classificação de perigo de diversos trechos, inclusive em locais anteriormente considerados como sendo de ”baixo impacto” ou ”sem impacto”, resultando em reclassificações conforme os critérios aqui adotados.



Mapa 5-71 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos na UHP V-a.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.5.3 Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2)

A Região dos Rios Macacu, Rabelo e outros (UHP V-d1) é caracterizada predominantemente por áreas rurais, com vastas zonas agrícolas e cabeceiras de drenagem preservadas. Nessa área, predominam cursos hídricos com nota 1, havendo apenas algumas ocorrências de nota 2, geralmente associadas a setores urbanos com cruzamentos de rodovias pavimentadas e áreas agrícolas. No entanto, na porção sul da referida região, onde os cursos hídricos cruzam áreas com a presença

de dutos industriais, observa-se alguns trechos classificados como ”perigo alto” quanto à contaminação, em razão do perigo associado a essa infraestrutura.

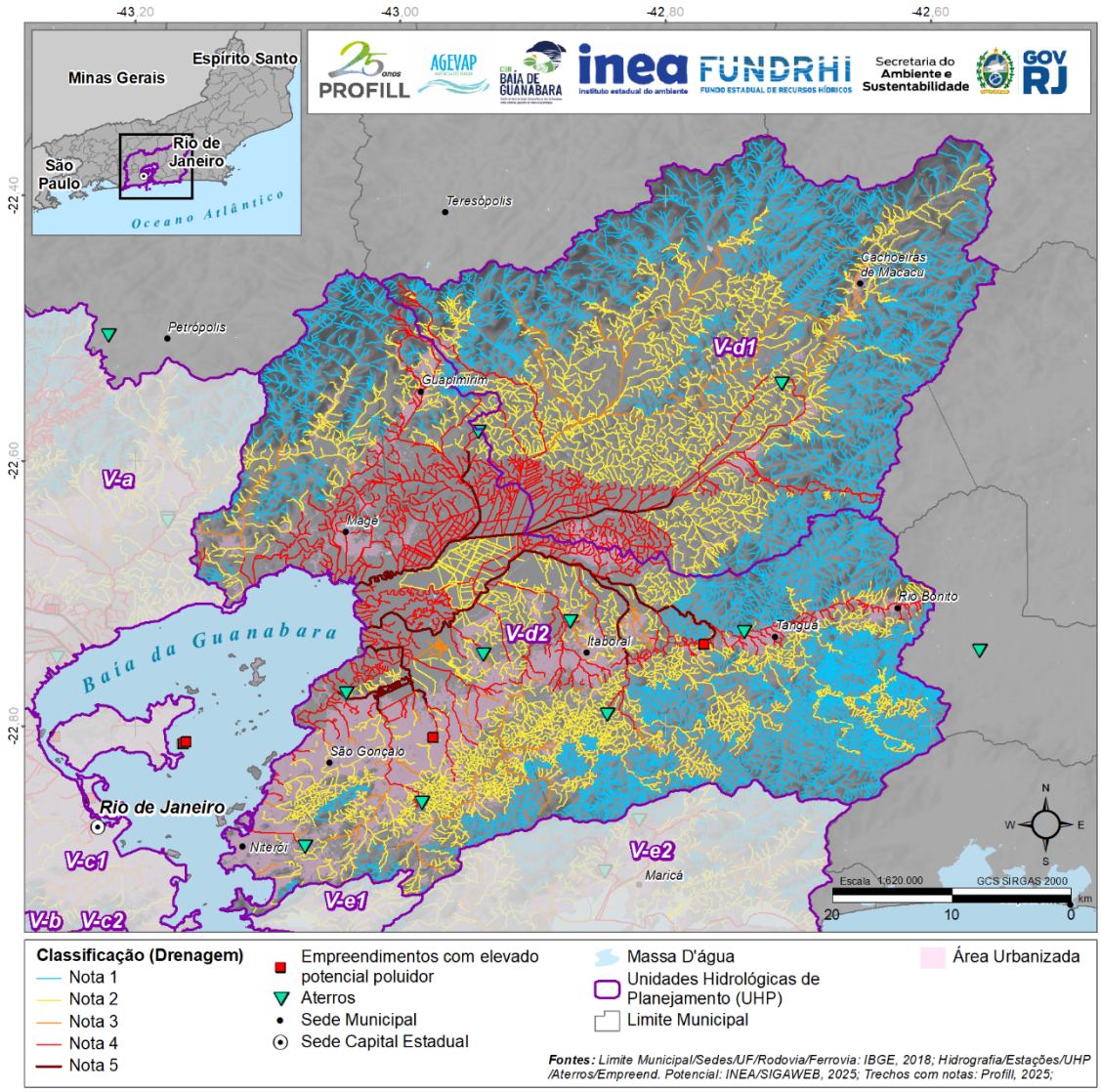
Já nas regiões mais de jusante, associada aos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e da Ilha de Paquetá (UHP V-d2), observa-se um mosaico de uso e cobertura do solo, com a presença de áreas agrícolas, zonas urbanas e significativa infraestrutura viária. A concentração de lançamentos de efluentes, especialmente nas porções sul e sudeste, associadas à previa marcação de que estes cursos hídricos são potenciais receptores de lixiviados, eleva o ranqueamento de perigo de muitos trechos para a nota 4, indicando ”perigo alto”. Neste sentido, também se destacam aqueles trechos que, além de todos estes perigos a montante, ainda contam com cruzamento de rodovias com históricos de acidentes. Nestes casos, esses trechos foram reclassificados como sendo de ”perigo muito alto”, com nota 5, segundo os critérios anteriormente definidos. A Tabela 5-43 mostra os percentuais de perigo dos cursos hídricos para esta região.

Tabela 5-43 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos nas UHPs V-d1 e V-d2.

UHP	Muito Baixo Perigo (%)	Baixo Perigo (%)	Perigo Moderado (%)	Perigo Alto (%)	Perigo Muito Alto (%)
V-d1	46,45	40,00	2,96	10,50	0,53
V-d2	43,11	35,08	2,70	17,09	2,02

Fonte: Elaboração própria.

Neste contexto, observa-se que a presença de trechos classificados como nota 4 é bastante expressiva na UHP V-d2, sobretudo nas áreas centrais e ao sul, onde há forte concentração de aterros sanitários, rodovias com histórico de acidentes e empreendimentos com elevado potencial poluidor. Esses fatores contribuem para a formação de uma mancha contínua de alto perigo, promovendo a reclassificação de diversos cursos d’água para a nota 4. Adicionalmente, em ambas as regiões, tanto no Rio Macacu, quanto nos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e na Ilha de Paquetá, (Mapa 5-72), foram identificados trechos que atendem integralmente aos critérios estabelecidos para a nota máxima de perigo, dada pela nota 5.



Mapa 5-72 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos nas UHPs V-d1 e V-d2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.5.4 Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2)

Por fim, o Mapa 5-73 apresenta o contexto regional das UHPs V-e1 e V-e2, referentes à Região das Lagoas de Niterói e Maricá, quanto à classificação de perigo à contaminação dos trechos dos cursos hídricos. Essa região se apresenta com cursos hídricos, em geral, associados a manchas urbanas e cruzando rodovias pavimentadas. Observa-se presença moderada de lançamentos de efluentes, sobretudo, nas porções sul e central de ambas as regiões. Na Região do Sistema Lagunar de

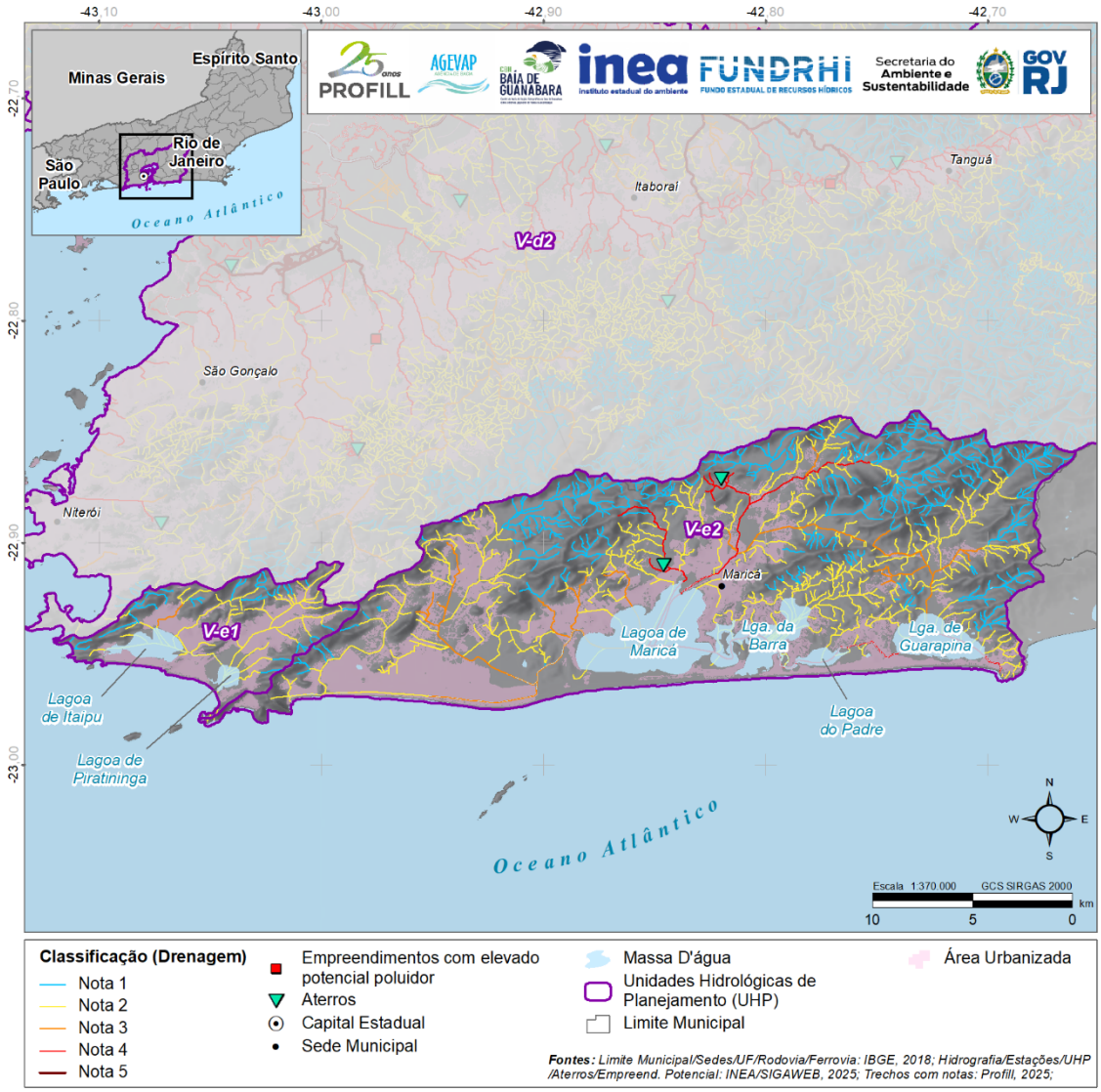
Maricá, a ocorrência de cruzamentos com infraestruturas é menos frequente, enquanto na Região das Lagoas de Niterói, há maior incidência de interações com estruturas urbanas e viárias. A Tabela 5-44 apresenta os percentuais de perigos na região, podendo-se observar que para a UHP V-e1, a grande maioria dos cursos hídricos é classificado como de ”baixo perigo”, estando associados a manchas urbanas, mas sem existência mapeada de aporte de efluentes nas águas. A UHP V-e2, por sua vez, apresenta em torno de 84% de seus trechos classificados como sendo de ”muito baixo perigo” ou de ”baixo perigo”.

Tabela 5-44 – Percentual de perigo à contaminação dos cursos hídricos nas UHPs V-e1 e V-e2.

UHP	Muito Baixo Perigo (%)	Baixo Perigo (%)	Perigo Moderado (%)	Perigo Alto (%)	Perigo Muito Alto (%)
V-e1	3,16	94,85	1,99	-	-
V-e2	33,19	50,67	8,80	7,34	-

Fonte: Elaboração própria.

Conforme observado, a UHP V-e2, apresenta áreas de cabeceira preservadas, classificadas em sua maioria como sendo de ”muito baixo perigo”, havendo considerável percentual de cursos hídricos (50,67%) categorizados como sendo de ”baixo perigo”. Ainda, é observada a ocorrência de trechos nas classes 3 e 4, em função do cruzamento com zonas urbanas e da presença de efluentes, bem como presença de aterros.



Mapa 5-73 – Classificação do perigo à contaminação nos trechos de cursos hídricos nas UHPs V-e1 e V-e2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.6 *Contaminação por Poluentes e Infraestrutura Hídrica*

A partir da análise anteriormente apresentada, em que foi descrita a metodologia de classificação dos trechos da rede de drenagem da RH-V com base em seu grau de perigo, este capítulo contextualiza a distribuição espacial dos pontos de captação de água bruta existentes na referida região em relação a tal classificação, visando investigar, dessa forma, quais trechos utilizados para captação são atualmente suscetíveis a relevantes contaminações.

Os pontos de captação de água bruta foram obtidos junto à plataforma SIGA-BG, sendo sobrepostos à base de dados hidrológica classificada, permitindo, portanto, a quantificação dos pontos em cada faixa de perigo. A Tabela 5-45 apresenta a distribuição dos pontos de captação nas cinco classes distintas, totalizando 81 pontos. Trechos classificados como ”muito baixo perigo” (nota 1) concentram a maioria absoluta, com 54 pontos de captação, o que representa 66,6% do total. Em seguida, a classe 2 reúne 12 pontos, equivalentes a 14,8%. Juntas, essas duas classes correspondem a 81,4% de todos os pontos de captação, indicando uma forte concentração nas categorias de ”muito baixo perigo” ou ”baixo perigo” em relação à contaminação, o que representa boas condições para captação. As demais classes (3, 4 e 5) apresentam percentuais significativamente menores: 8,6%, 7,4% e 2,4%, respectivamente, somando 18,6% do total.

Tabela 5-45 – Pontos de captação de água bruta existentes em trechos suscetíveis à contaminação na RH-V.

Perigo para Contaminação	Pontos	Porcentagem (%)
Muito Baixo	54	66,6
Baixo	12	14,8
Moderado	7	8,6
Alto	6	7,4
Muito Alto	2	2,4
Total	**81**	**100,0**

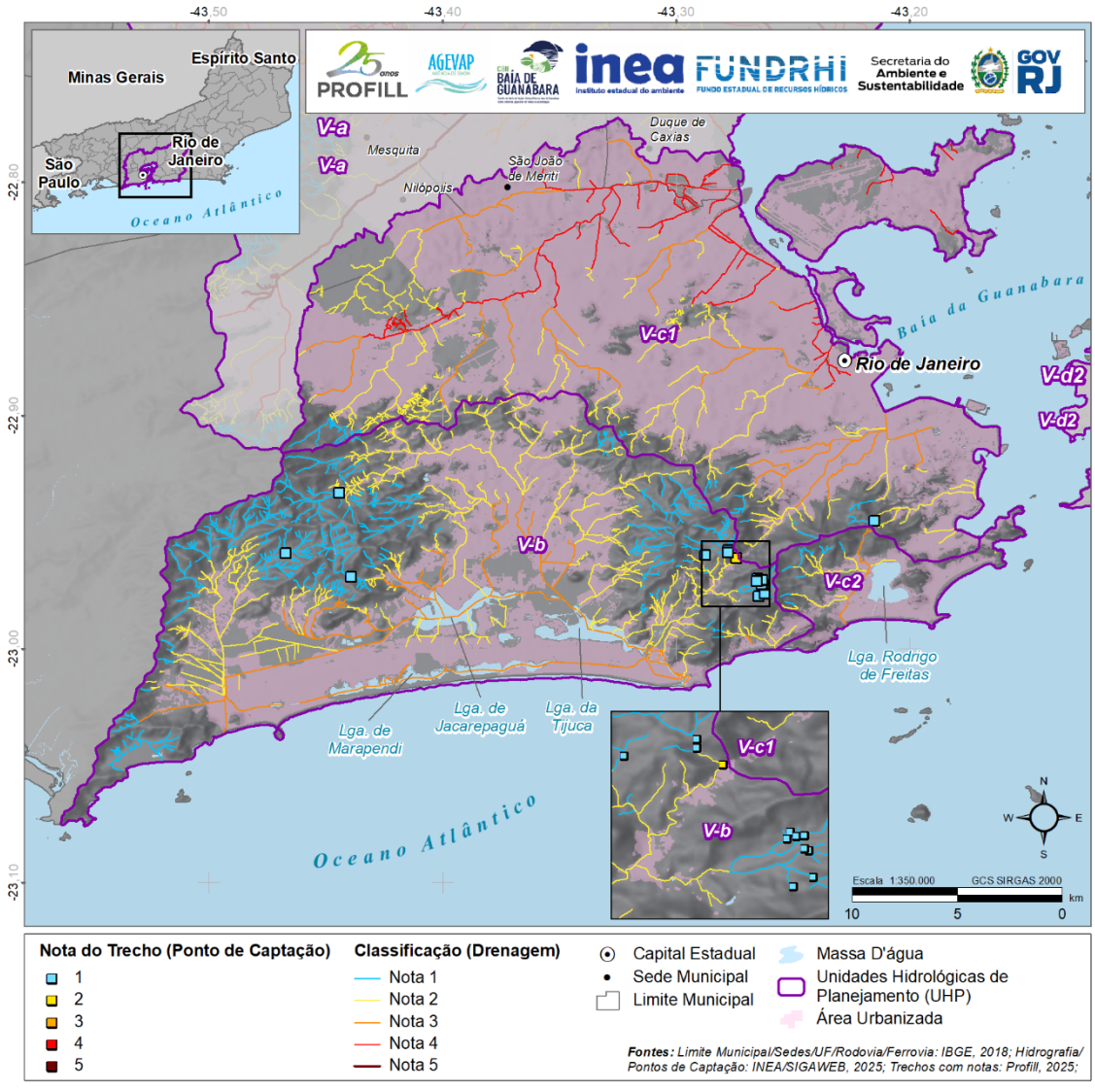
Fonte: Elaboração própria.

Nos itens subsequentes, é apresentada uma descrição regional da qualidade dos trechos dos cursos hídricos em que há captação de água bruta, detalhada por UHP.

5.3.6.1 Região Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-b, V-c1 e V-c2)

Na Região da Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí, Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão e Lagoa Rodrigo de Freitas (Mapa 5-74), referente às UHPs V-b, V-c1 e V-c2, verifica-se uma concentração significativa de pontos de captação de água bruta, principalmente ao sul da região, em áreas pouco urbanizadas, com captação relativamente densa nos corpos hídricos

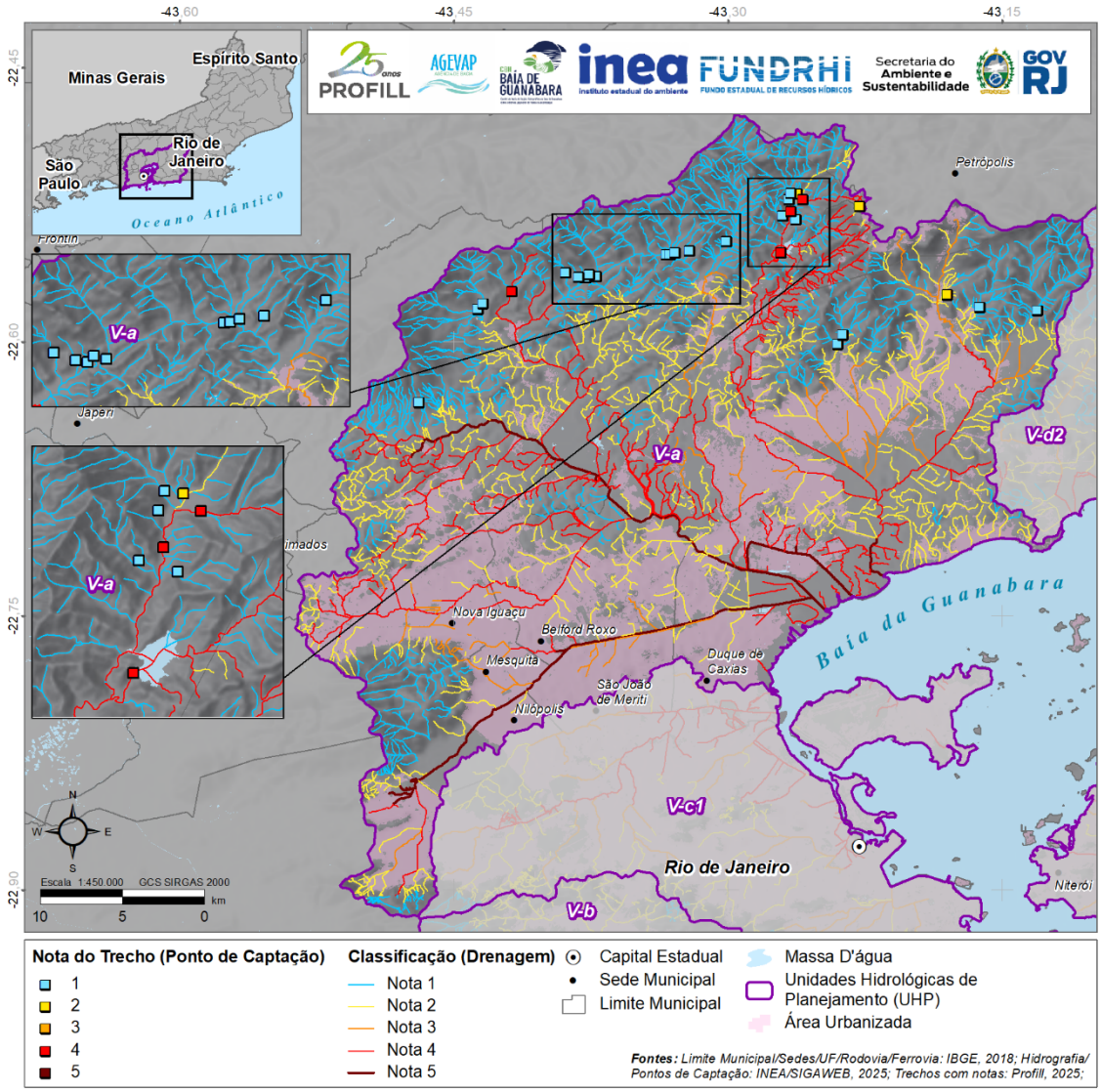
locais. Na UHP V-c1, nota-se a presença de apenas um ponto, localizado ao sul, enquanto a UHP V-b apresenta maior concentração de pontos de captação. Ainda, observa-se que todos os pontos de captação na região apresentam ”muito baixo perigo” para contaminação, o que, embora indique confiança na qualidade da água desses pontos, não exclui possibilidades de contaminações pontuais por fontes aqui não mapeadas.



Mapa 5-74 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta nas UHPs V-b, V-c1 e Vc-2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.6.2 Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a)

Na UHP V-a (Mapa 5-75), observa-se uma alta densidade de pontos de captação da água bruta. Grande parte dos pontos está situada nas áreas de cabeceira e nos trechos de drenagem mais ao norte da região, refletindo uma melhor qualidade. Essa concentração sugere que referida UHP possui importância estratégica no abastecimento hídrico, o que justifica o acompanhamento mais intenso da qualidade da água na região. Além disso, nota-se que esses pontos tendem a coincidir com áreas de vegetação mais preservada, sendo possível observar, por outro lado, a presença de alguns pontos de captação associados a trechos críticos classificados como ”perigo alto” à contaminação, definidos como nota 4.

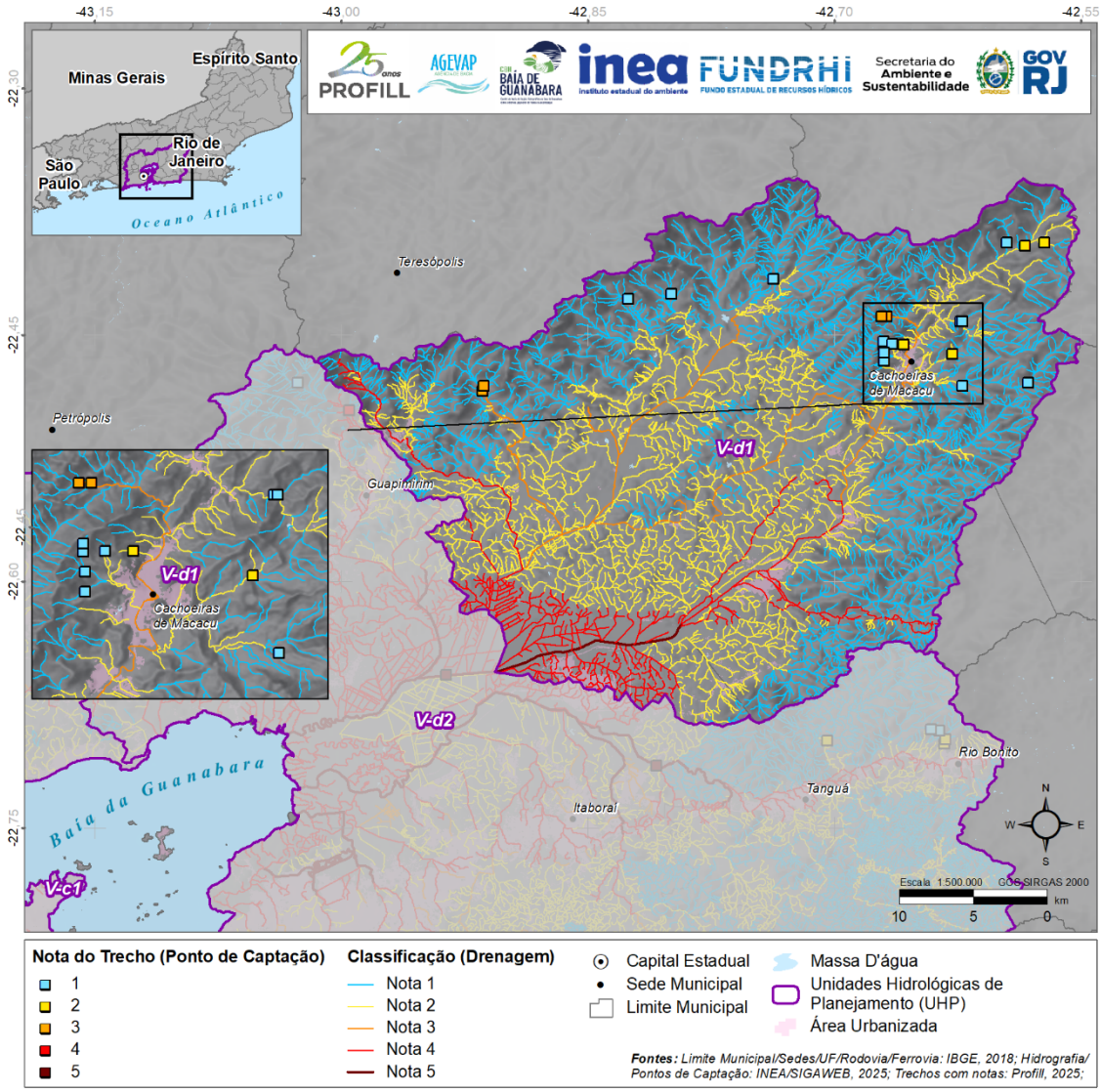


Mapa 5-75 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta na UHP V-a.
Fonte: Elaboração própria.

Nesses pontos de captação, que representam 14,2% do total da UHP, totalizando 28 pontos, a qualidade da água pode ficar comprometida devido a casos específicos como, principalmente, acidentes com cargas perigosas. As estações dessa região atendem aos municípios de Magé, Duque de Caxias, Belford Roxo e Nova Iguaçu, sendo a maioria destinada ao atendimento de Belford Roxo e Duque de Caxias, segundo informações presentes na tabela de atributos do *shapefile* obtido junto ao SIGA-BG.

5.3.6.3 Região dos Rios Macacu, Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHPs V-d1 e V-d2)

Na UHP V-d1 (Mapa 5-76), observa-se uma concentração significativa de pontos de captação de água bruta, especialmente distribuídos nas porções norte e nordeste da unidade. Esses pontos se situam, prioritariamente, sobre trechos classificados como ”muito baixo perigo” para contaminação, os quais representam 61,9% dos pontos desta UHP. Isso indica uma qualidade relativamente boa, onde os cursos d’água ainda apresentam condições ambientais favoráveis. Entretanto, salienta-se a existência de pontos de captação em trechos classificados como ”baixo perigo” e ”perigo moderado” para contaminação, classificados com notas 2 e 3, que representam 38,09% do total dos pontos de captação. Neste contexto, estes pontos localizam-se sob trechos com presença de pressões antrópicas baixas ou moderadas. As estações nessa área atendem aos municípios de Cachoeiras de Macacu, Magé e Guapimirim.



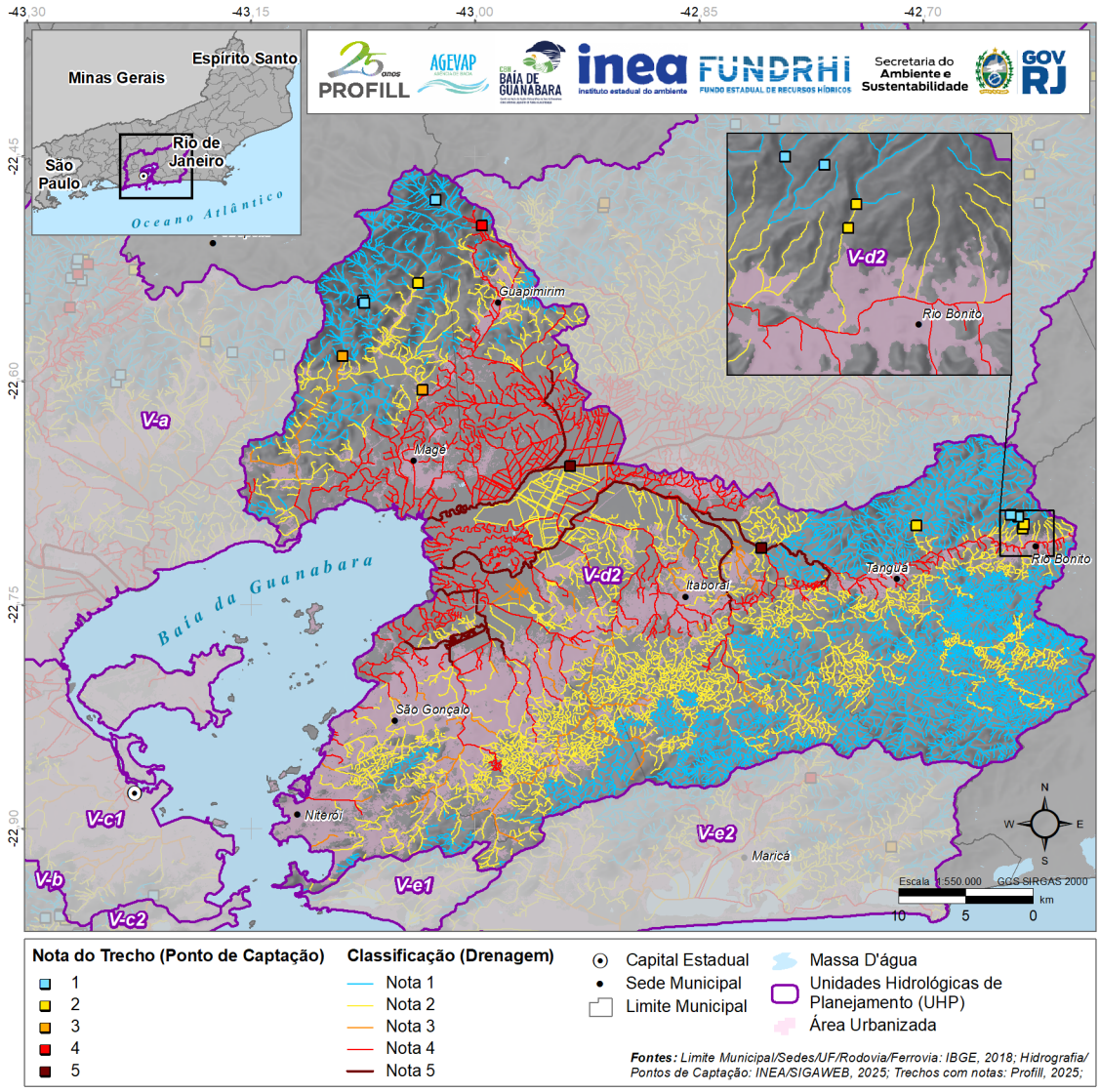
Mapa 5-76 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta na UHP V-d1.
Fonte: Elaboração própria.

Na UHP V-d2 (Mapa 5-77), por sua vez, embora existam menos pontos de captação de água bruta, a representatividade dessas captações é extremamente alta frente à distribuição na RH-V. Neste contexto, se destaca a estação de bombeamento localizada na Barragem Imunana (Canal de Imunana - Guapiaçu e Macacu), operada pela CEDAE. Este sistema é um complexo de produção e fornecimento de água potável, constituído de três estações interligadas, com produção de uma vazão

aproximada em 7.000 L/s e que atende cerca de 1,8 milhões de pessoas, segundo dados do CBH-BG[12].

Nesta região, há duas captações associadas a trechos de ”perigo muito alto”, uma associada a ”perigo alto”, duas a ”perigo moderado”, e 9 associadas a ”perigo baixo” ou ”muito baixo”. Neste sentido, trata-se de uma região com uso e ocupação do solo bastante intensificados, onde se concentram áreas amplamente classificadas como críticas, que podem comprometer de maneira relevante a qualidade da água que abastece a população.

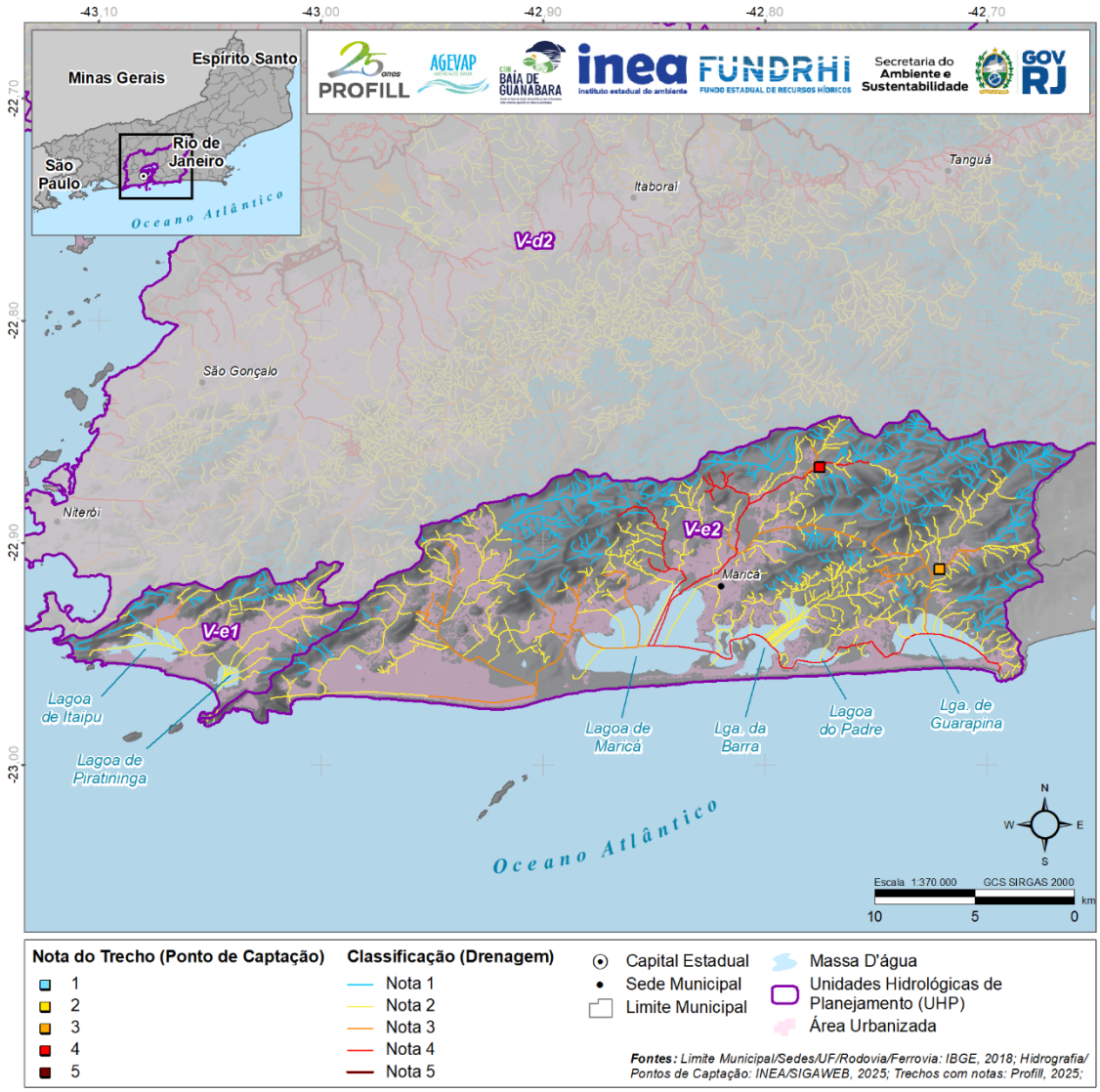
[12] https://www.comitebaíadeguanabara.org.br/boletim/emcurso/01/materia1.php



Mapa 5-77 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta na UHP V-d2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.6.4 Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2)

Na UHP V-e1, não há pontos de captação de água bruta previamente mapeados, enquanto na UHP V-e2, há a presença de dois pontos que estão visivelmente localizados sobre trechos com notas elevadas de criticidade, sendo classificados como 3 e 4, referentes à ”perigo moderado” e ”perigo alto” (Mapa 5-78). Essa questão acende um alerta para a vulnerabilidade da qualidade da água utilizada nessas localidades.



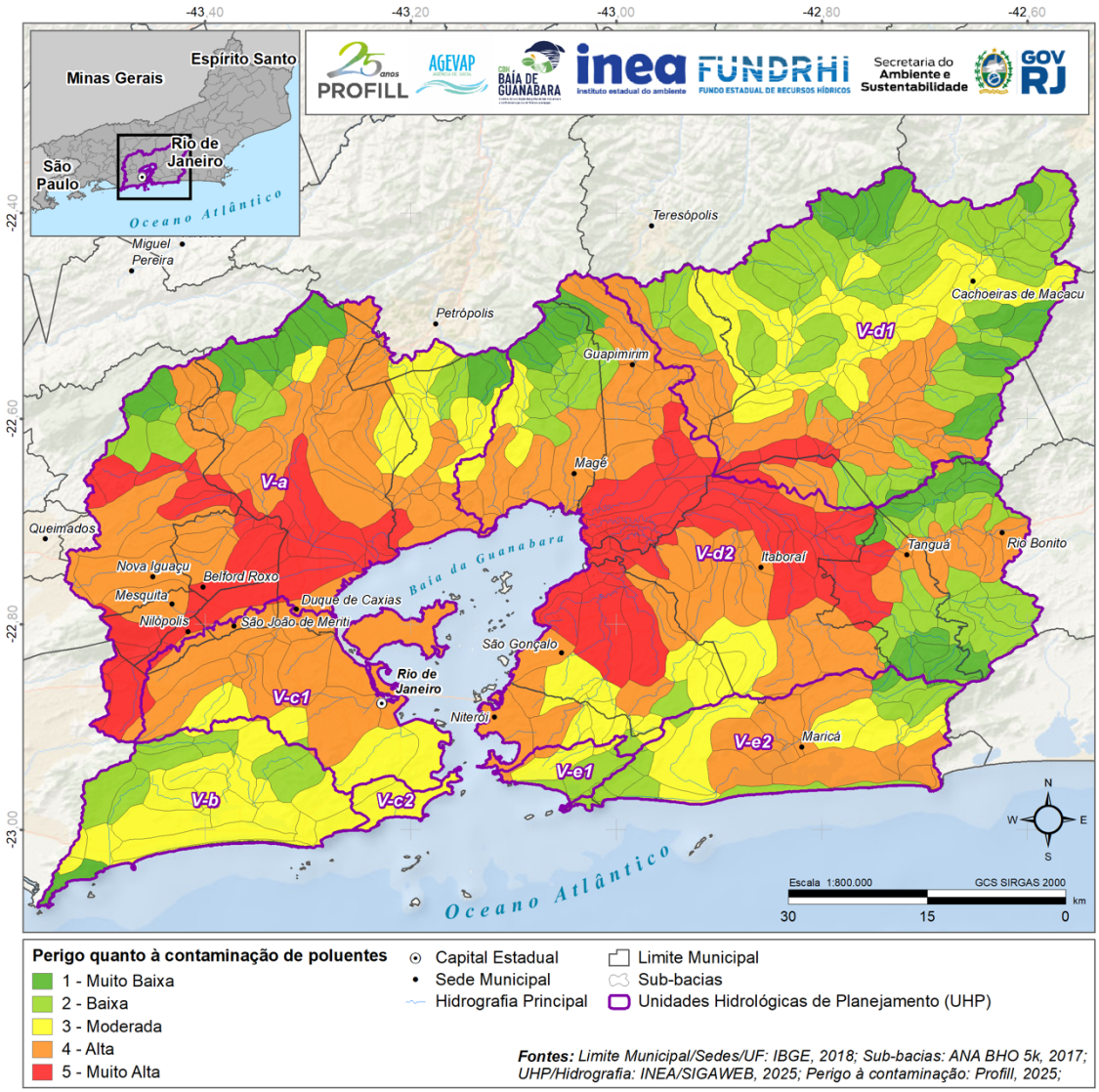
Mapa 5-78 – Qualidade da água nos pontos de captação de água bruta nas UHPs V-e1 e V-e2.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.7 *Periculosidade à Contaminação por Poluentes*

O mapa de perigo da RH-V quanto a contaminações por poluentes foi calculado por sub-bacia, levando-se em consideração as ottobacias delimitadas (nível 7) a partir da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas (BHO, 2017) da ANA. O repasse das informações associadas às notas de perigo, obtidas inicialmente para linhas (representativas de cursos hídricos), para as áreas das sub-bacias delimitadas foi realizado a partir da adoção de um critério conservador que determina que a nota da sub-bacia é correspondente à maior nota observada nos trechos de rios que se

encontram dentro da mesma. Ou seja, de modo exemplificativo, para uma sub-bacia que conta hipoteticamente com 70% dos trechos ranqueados como sendo de “baixo perigo”, 20% ranqueados como sendo de “muito baixo perigo” e 10% ranqueados como sendo de “muito alto perigo”, a nota final associada para ela seria de “muito alto perigo”.

No Mapa 5-79 os resultados dessa operação são apresentados, onde se observa que as sub-bacias de menor perigo quanto à contaminação são, em geral, aquelas associadas às cabeceiras localizadas nas regiões mais altas da RH-V. Da mesma forma, as sub-bacias ranqueadas com “perigo muito alto”, “perigo alto” e “perigo moderado“, na sua maioria, são aquelas onde há a evidência de maiores pressões antrópicas sob o meio ambiente, sejam elas associadas à expansão urbana, ou associadas à existência de industrias e modais de transporte.

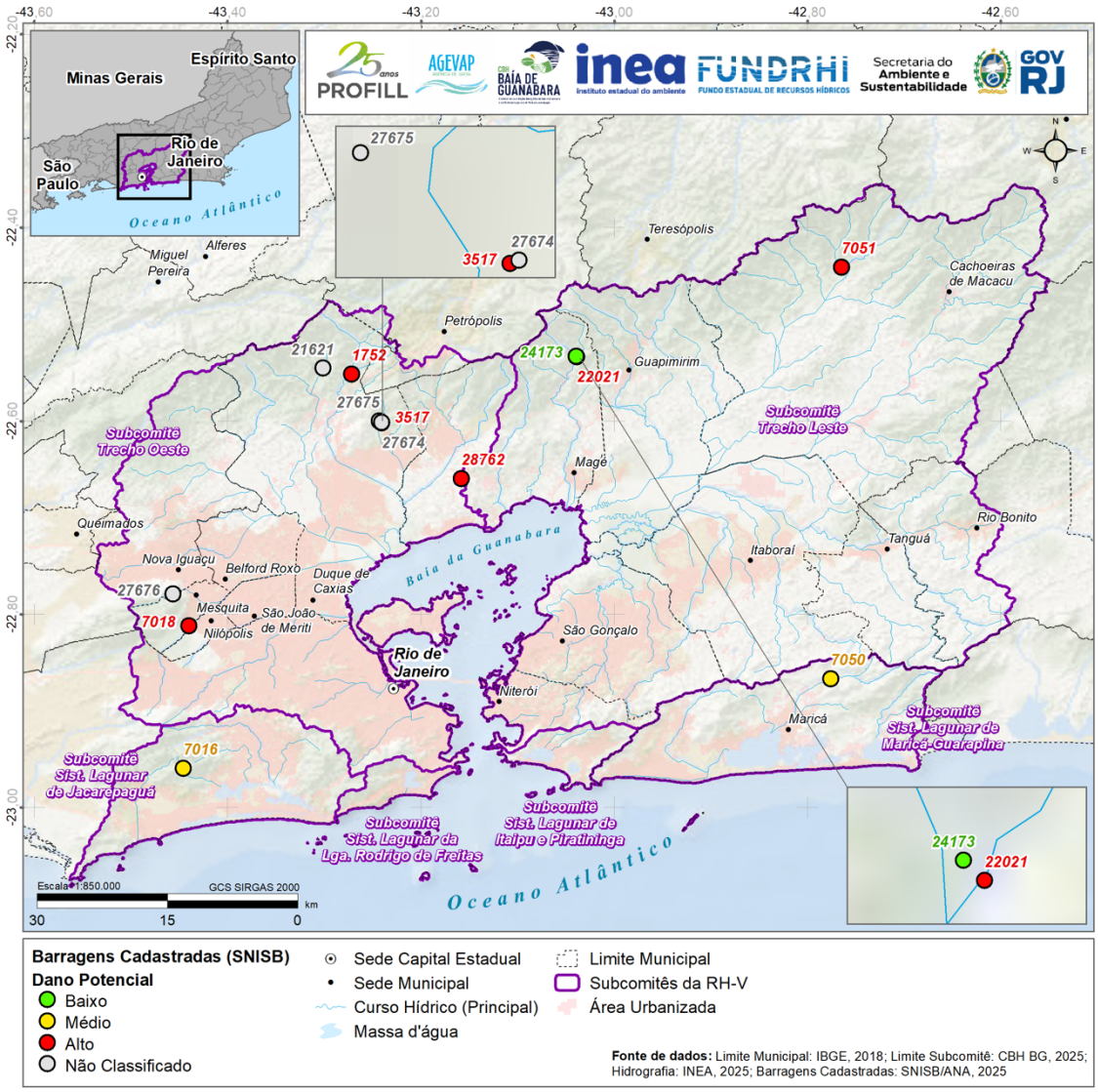


Mapa 5-79 – Mapa de perigo da RH-V quanto à contaminação por poluentes.
Fonte: Elaboração própria.

5.4 ROMPIMENTO DE BARRAGENS

A RH-V é considerada como uma região densamente urbanizada, com vasta e intensa atividade econômica, associada a diversas atividades industriais presentes em seu território. Além desta ocupação urbana, também se encontram no território barragens para os mais diversos fins, conforme pode ser observado no Mapa 5-80, constituído a partir da base de dados do Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNISB) da ANA e da base de dados do INEA. Segundo dados do Relatório

de Segurança de Barragens (RSB) de 2023, publicado pela ANA, e do Relatório estadual de Segurança de Barragens de 2024, do INEA, a maior parte destas barragens são utilizadas para fins industriais. Também são observados barramentos cujos reservatórios são utilizados para fins de abastecimento humano e para geração de energia, dentre outros.



Mapa 5-80 – Localização das barragens cadastradas no SNISB contidas na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

No Quadro 5-18 é apresentado um resumo do panorama atual das barragens sujeitas à PNSB para a RH-V, onde são destacadas informações como a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA). Observa-se, ainda, que

embora existam registros de 13 barramentos na RH-V, a partir do uso de imagens de satélite foram identificadas apenas 10 estruturas e reservatórios nas proximidades destes pontos, ressaltando-se que existem muitos outros pequenos reservatórios (75, segundo o Sistema de Informações dos Barramentos do Estado do Rio de Janeiro) na RH-V, não aqui considerados.

Considerando, entretanto, as 13 estruturas registradas, destaca-se que cinco delas apresentam DPA ”alto”, duas apresentam DPA “médio”, uma apresenta DPA “baixo” e as outras cinco não possuem informações associadas. Também se salienta que duas barragens apresentam CRI ”alto”, enquanto outras cinco não apresentam quaisquer informações a respeito dessa classificação de CRI (sendo essa classificação obrigatória para barragens enquadradas na PNSB). Além disso, cinco barragens do território contam com CRI ”baixo” e uma com CRI “médio”.

Vale ressaltar, também, que alguns destes registros de barragens se referem ao mesmo complexo, como é o caso das barragens de código SNISB 3517, 27674 e 27675 (Barragem A – RJR, Barragem C – RJR e Barragem B – RJR, respectivamente). Da mesma forma, observa-se que a barragem de código SNISB 22021 (Açude Grande) está localizada no mesmo ponto que a estrutura CGH Andorinhas II – Câmara de Carga (código SNISB 24173).

Quadro 5-18 – Informações das barragens contidas na RH-V segundo o RSB.

Código SNISB	Uso principal	CRI	DPA	PAE	Altura (m)	Volume (hm³)	Latitude (SIRGAS 2000)	Longitude (SIRGAS 2000)
1752	Industrial	Baixo	Alto	Sim	65,00	6,000	-22,552°	-43,271°
3517	Industrial	Baixo	Alto	Sim	9,00	0,206	-22,602°	-43,240°
7016	Paisagismo	Médio	Médio	Sim	6,24	0,210	-22,960°	-43,446°
7018	Defesa contra inundações	Alto	Alto	Sim	14,80	8,320	-22,812°	-43,440°
7050	Abastecimento humano	Baixo	Médio	Sim	2,70	0,009	-22,867°	-42,776°
7051	Industrial	Baixo	Alto	Sim	14,00	0,790	-22,441°	-42,764°
21621	Abastecimento humano	Não Classificado	Não Classificado	Não	10,00**	0,027**	-22,545°	-43,301°
22021	Industrial	Alto	Alto	Sim	9,90	0,017	-22,534°	-43,038°

Código SNISB	Uso principal	CRI	DPA	PAE	Altura (m)	Volume (hm³)	Latitude (SIRGAS 2000)	Longitude (SIRGAS 2000)
24173	Hidroelétrica	Baixo	Baixo	Não	4,00	-	-22,533°	-43,039°
27674	Industrial	Não Classificado	Não Classificado	Não	1,00	-	-22,602°	-43,240°
27675	Industrial	Não Classificado	Não Classificado	Não	2,00	-	-22,600°	-43,243°
27676	Abastecimento humano	Não Classificado	Não Classificado	Não	10,00**	0,033**	-22,779°	-43,456°
28762	Industrial	Não Classificado	Não Classificado	Sim	10,00**	0,127**	-22,660°	-43,158°

Fonte: RSB – ANA, 2023; RESB, 2024. ** Valores estimados para fins de simulação

Neste contexto, foram realizadas simulações de ruptura de 10 destas 13 estruturas (simulações estas mais bem detalhadas nos itens seguintes), adotando-se como critério para escolha de barramento a ser rompido (no caso, da existência de mais de um registro no mesmo complexo), aquele associado à pior situação em termos de DPA ou de CRI, ou aquele mais visualizável em imagens de satélite. No item a seguir, as metodologias empregadas para obtenção das manchas de inundação provenientes do rompimento hipotético das barragens são descritas, enquanto no item 5.4.2 são apresentados os resultados obtidos para cada barragem avaliada.

5.4.1 *Metodologia para Obtenção das Manchas de Inundação*

Para a avaliação dos efeitos que possíveis casos de ruptura de barragens podem gerar na RH-V, foram utilizados modelos hidrodinâmicos, como o HEC-RAS (USACE, 2004), e métodos simplificados, como o MS 2.1 da ANA (Tschiedel *et al.*, 2025) divulgados pelo mesmo órgão. Esses modelos, aplicados para diferentes barramentos, foram utilizados para mapear a extensão do impacto relativo a hipotéticos rompimentos a partir da constituição de manchas de inundação a jusante destas estruturas. As manchas de inundação obtidas são, então, utilizadas para subsidiar a identificação de áreas de perigo, sendo posteriormente cruzadas com informações associadas à vulnerabilidade ambiental, econômica e social das áreas impactadas, a partir da compatibilização dos resultados com sua matriz de risco.

Nos itens a seguir, são exploradas essas duas metodologias utilizadas para obtenção das manchas de inundação a jusante dos barramentos estudados, assim como os dados de entrada utilizados para suas aplicações e as premissas para classificação de áreas quanto ao perigo e à probabilidade de ocorrência.

5.4.1.1 HEC-RAS

O HEC-RAS é um modelo hidrodinâmico desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE), de distribuição livre amplamente utilizado para gestão de recursos hídricos (BHOLA *et al.*, 2018). Esse modelo permite simular o fluxo de água em rios, canais, massas d'água, entre outros, em abordagens unidimensionais ou bidimensionais e em diferentes regimes de escoamento. Na abordagem unidimensional, as leis físicas consideradas no modelo HEC-RAS (USACE, 2024) que governam o escoamento não-permanente em um curso hídrico podem ser resumidas no princípio de conservação de massa (Equação 26) e no princípio da conservação de quantidade de movimento, ou momentum, que representa a segunda lei de Newton (Equação 27). Essas leis podem ser representadas matematicamente por um conjunto de equações diferenciais parciais também conhecidas por Equações de Saint-Venant.

Do mesmo modo, na abordagem bidimensional, o escoamento é representado pela equação da conservação de massa (Equação 28) e pela equação da conservação de momento nos eixos x e y (Equação 29 e Equação 30), também sendo possível simular fluxos newtonianos a partir de simplificações destas equações, destacando-se aqui o modelo de onda difusiva.

Equação 26

$$\frac{\partial \mathrm{A}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial \mathrm{Q}}{\partial \mathrm{x}} - q_l = 0$$

Equação 27

$$\frac{\partial \mathrm{Q}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial (\mathrm{Q}^2/\mathrm{A})}{\partial \mathrm{x}} + \mathrm{gA}\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial \mathrm{x}} = \mathrm{gAS_0} - \mathrm{gAS_f}$$

Onde:

- A: área molhada (m²);
- t: tempo (s);
- Q: vazão (m³/s);
- x: distância (m);
- h: profundidade (m);
- g: aceleração da gravidade (m/s²);
- S0: declividade do terreno;
- Sf: declividade da força de atrito (Manning e Chezy).

Equação 28

$$x\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial (uh)}{\partial x}+\frac{\partial (vh)}{\partial y}+q=0$$

Equação 29

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial x}+v_t\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-c_f u+fv$$

Equação 30

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial y}+v_t\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-c_f v+fu$$

Onde:

- u e v: velocidades nas direções cartesianas (m/s);
- t: tempo (s);
- q: contribuições ou abstrações de fluxo (m³/s);
- g: aceleração da gravidade (m/s²);
- H: elevação da superfície d'água (m);
- h: profundidade (m);
- vt: coeficiente de viscosidade turbulenta;
- ct: coeficiente de fricção de fundo;

- f: parâmetro de Coriolis.

A resolução das equações de Saint-Venant na forma unidimensional é realizada a partir do uso de um esquema implícito de diferenças finitas, sendo resolvidas numericamente a partir da interação de Newton-Raphson (USACE, 2016). A partir do lançamento do HEC-RAS 6.0 e versões subsequentes, entretanto, passou a existir a opção de resolver o sistema unidimensional das equações de Saint-Venant a partir de um esquema semi-implícito de volumes finitos, que apresenta algumas vantagens como maior estabilidade e possibilidade de simular ambientes inicialmente secos (Tschiedel *et al.*, 2021).

A solução das equações de Saint-Venant na forma bidimensional, por sua vez, é dada a partir de um algoritmo implícito de volumes finitos, que permite passos de tempo maiores do que em métodos explícitos. O método de volumes finitos fornece ao modelo um incremento na estabilidade e robustez quando comparado aos tradicionais métodos de diferenças finitas. Adicionalmente, o algoritmo é capaz de resolver regimes subcríticos, supercríticos e mistos (USACE, 2016).

5.4.1.2 Método Simplificado (MS 2.1)

Além do modelo HEC-RAS, em alguns casos também foi utilizado o Método Simplificado de Rompimento de Barragens - ANA v2.1 (Tschiedel *et al.*, 2025) para obter as manchas de perigo. Este método se configura como sendo uma metodologia simplificada para obtenção de mancha de inundação a jusante de barramentos sem necessariamente envolver uso de simulações hidrodinâmicas.

Ele funciona a partir da adoção inicial da premissa que o decaimento da vazão de pico (calculada por métodos paramétricos para uma barragem de interesse) tem um comportamento previsível, considerando apenas a distância do ponto de interesse em relação à barragem. Curvas de decaimento de vazão máxima partem do princípio de que, ao longo da propagação de uma onda de ruptura ao longo do vale de jusante, há uma atenuação importante da vazão de pico, que pode ser adimensionalizada em função da vazão de ruptura. Como exemplo, pode ser citada a curva de

decaimento proposta em 1989 pela *United States Bureau* of *Reclamation* - USBR (1989), que durante muitas décadas fundamentou o cálculo de vazões máximas a jusante de barramentos em modelos simplificados de ruptura de barragens (Figura 5-57).

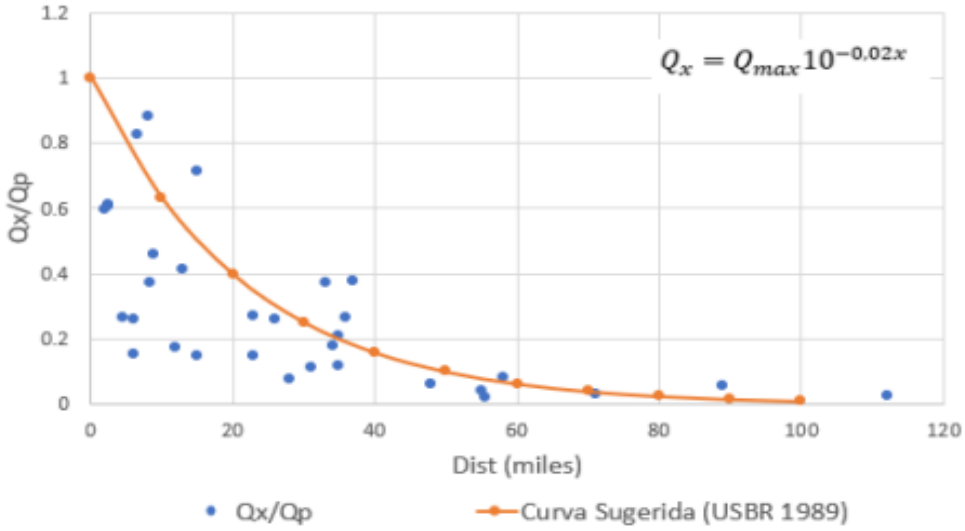


Figura 5-57 – Curva de decaimento proposta por USBR (1989) em unidades inglesas.
Fonte: Tschiedel *et al.,* 2025.

Após a obtenção da vazão máxima na seção de interesse (calculada a partir de equações de decaimento de vazão de pico atualizadas, conforme descrito em Tschiedel *et al.*, 2025), o método permite estimar o nível d'água na referida seção a partir do uso de relações hidráulicas simplificadas, como a Equação de Manning, e, a partir dessa informação cruzada com dados topográficos de referência, inferir a área inundada.

5.4.1.3 Dados de Entrada Utilizados

Em estudos de ruptura de barragens, sejam eles realizados a partir de modelos simplificados ou a partir de modelos mais robustos, fundamentados em simulação hidrodinâmica, os dados de entrada utilizados exercem influência fundamental nos resultados obtidos, devendo estes, portanto, serem aqui explicitados.

Fundamentalmente, em se tratando de estudos simplificados de ruptura de barragens realizados a partir do uso do MS 2.1, são necessárias as definições de ao menos quatro dados de entrada, como: (i) MDE representativo da topografia do vale de jusante; (ii) vazão de pico de ruptura; (iii) Coeficiente de Manning do vale de jusante e; (iv) curva de decaimento de vazão de pico.

Em se tratando de simulações hidrodinâmicas realizadas a partir do HEC-RAS, cinco dados de entrada fundamentais devem ser definidos: (i) MDE representativo da topografia do vale de jusante; (ii) hidrograma de ruptura; (iii) Coeficiente de Manning do vale de jusante; (iv) dodelo de propagação de fluxo e; (v) malha bidimensional e características topológicas.

Nesse contexto, com relação aos dados topográficos utilizados, ressalta-se que não foram encontrados *datasets* regionais com boa acurácia para a RH-V de forma integrada. Para representar a topografia da região nas simulações de ruptura, foi utilizado o ANADEM (Laipelt *et al*., 2024), considerado um dos melhores *datasets* topográficos nacionais gratuitamente disponibilizados, seguindo, portanto, o indicado no produto de diretrizes metodológicas deste estudo. Destaca-se também que o ANADEM foi, em algumas situações, ajustado para melhor representar o terreno em questão. O Coeficiente de Manning do vale de jusante utilizado para todas os cálculos e simulações realizadas, por sua vez, seguiu o sugerido por USACE (2016) para estudos preliminares, sendo definido no valor de 0,035 para o vale de jusante de todas as barragens, conforme apresentado no Quadro 5-19.

Quadro 5-19 – Estimativas quanto ao Coeficiente de Manning.

Local de Escoamento	Descrição	Mínimo	Normal	Máximo
Canais Construídos	Concreto, para diversas situações	0,011	0,018	0,027
	Asfalto, para diversas situações	0,013	0,016	0,016
Rios Naturais	Limpo, pouco sinuoso e sem grandes obstruções	0,025	0,030	0,033
	Igual ao anterior, com alguns matacões e pedras	0,030	0,035	0,040
	Limpo, sinuoso com alguns bancos de areia	0,033	0,040	0,045
	Igual ao anterior, com obstruções, pedras, zonas inefetivas	0,045	0,050	0,060
	Trechos sinuosos, vagarosos com obstruções e muitas zonas inefetivas	0,050	0,070	0,080
	Trechos sinuosos com muitos obstáculos, vegetação e bancos de areia	0,070	0,100	0,150
Zonas de Inundação	Zonas com gramíneas apenas	0,025	0,032	0,050
	Zonas Agrícolas	0,020	0,035	0,050
	Vegetação densa de pequeno porte	0,045	0,085	0,160
	Zona limpa com árvores bem espaçadas	0,030	0,040	0,050
	Vegetação não fechada e presença de algumas árvores	0,035	0,055	0,080
	Vegetação média e obstáculos naturais consideráveis para escoamento	0,080	0,100	0,120
	Vegetação densa em diversos estágios evolutivos. Mata fechada.	0,110	0,150	0,200

Fonte: Elaboração própria, adaptado de USACE (2016a).

Conforme anteriormente salientado, também é de suma importância a definição do dado de entrada associado à vazão de pico ou ao hidrograma de ruptura formado no barramento. Esse parâmetro, também chamado de CCM (ou Condição de Contorno de Montante) das simulações e cálculos realizados foi definido a partir do uso de diversas equações paramétricas que permitem estimar a vazão de pico de um determinado barramento a partir de suas características primárias, como volume de reservatório, altura da barragem e/ou área de reservatório, conforme definido em Saraiva (2014) e em Tschiedel (2022).

A partir da definição da vazão de pico de cada barramento, e de posse do volume de reservatório, foi possível (para os casos em que foi utilizada simulação hidrodinâmica para o cálculo das áreas inundáveis) a composição inicial de um Hidrograma Triangular de Ruptura (HTR) que posteriormente foi adaptado para um Hidrograma de Decaimento Hiperbólico (BARFIELD, WARNER & HAAN *et al.*, 1981).

Por fim, o modelo de propagação de vazão utilizado nas simulações hidrodinâmicas realizadas foi o denominado como Onda Difusiva, que resulta de uma simplificação das equações de Saint-Venant a partir da supressão de termos que causam mais instabilidade nas simulações, como o de inércia advectiva. Para os casos em que foi utilizado o modelo simplificado de ruptura, foram utilizadas as equações de decaimento de vazão de diferentes fontes.

No Quadro 5-20 a seguir, esses dados de entrada, bem como a abordagem adotada para obtenção dos resultados, são discretizados por barragem simulada. Destaca-se também neste Quadro as estruturas não simuladas devido às situações anteriormente descritas.

Quadro 5-20 – Dados de entrada utilizados nos estudos de rupturas hipotéticas de barragens e demais definições.

Código SNISB	Altura Considerada da Barragem (m)	Volume do Reservatório Considerado nas Simulações (hm³)	Vazão de Pico (m³/s)	Tipo de Simulação	*Dataset* Topográfico Primário Utilizado	Coef. Manning	Equação de Propagação / Decaimento de Vazão de Pico
1752	65,00	6,000	5.516,64	HEC-RAS	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	Onda Difusiva
3517	9,00	0,206	342,01	HEC-RAS	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	Onda Difusiva
7016	6,24	0,210	391,96	MS 2.1	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	ANA (2014)
7018	14,80	8,320	1.974,90	MS 2.1	ANADEM (Laipelt ,2024)	0,035	ANA (2014)
7050	2,70	0,009	30,52	MS 2.1	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	ANA (2023)
7051	14,00	0,790	726,40	MS 2.1	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	ANA (2023)
21621	10,00*	0,027*	145,78	HEC-RAS	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	Onda Difusiva
22021	9,90	0,017	96,96	MS 2.1	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	ANA (2014)
24173	Não simulada						
27674	Não simulada						
27675	Não simulada						
27676	10,00*	0,033*	259,25	MS 2.1	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	ANA (2014)
28762	10,00*	0,127*	338,31	HEC-RAS	ANADEM (Laipelt, 2024)	0,035	Onda Difusiva

Fonte: Elaboração própria. *Valores estimados para fundamentas as simulações.

Cabe ressaltar, também, que após a realização das simulações de ruptura hipotética, as áreas de jusante preliminarmente identificadas como suscetíveis a serem atingidas foram manualmente reprocessadas e ajustadas, visando uma maior representatividade dos resultados quanto a barreiras físicas visíveis não representadas pelo *dataset* topográfico utilizado (como por exemplo, estradas e prédios).

5.4.1.4 Classificação de Áreas Suscetíveis quanto à Probabilidade de Ocorrência e quanto à Periculosidade

Uma vez calculadas as áreas de jusante potencialmente expostas a desastres envolvendo rupturas de barragens, foi necessária a aplicação de uma metodologia que pudesse diferenciar áreas de maior perigo de áreas de menor perigo inseridas em cada mancha obtida, considerando, portanto, a suscetibilidade de áreas a jusante de barramentos e a probabilidade empírica de determinada região ser ou não atingida. Do mesmo modo, é também necessário diferenciar as áreas mais prováveis de serem atingidas daquelas áreas menos prováveis, considerando-se, aqui, as probabilidades de rompimento individual de cada estrutura e a proximidade das regiões de jusante das barragens avaliadas.

Nesse contexto, visando mapear e identificar a periculosidade de áreas a jusante de barramentos, foi adotado um critério de ranqueamento de áreas estabelecidas dentro da mancha de ruptura identificada pelos estudos realizados. Este ranqueamento leva em consideração aspectos como a distância que determinada comunidade se encontra do barramento (para identificação de perigos), bem como a CRI (para a estimativa da probabilidade de ocorrência).

Em relação à distância, entende-se que áreas mais próximas ao barramento (definidas como sendo aquelas que se encontram em até 1 km a jusante de cada barragem) são as associadas a uma maior vulnerabilidade, pois nessas áreas próximas, em geral, não há tempo hábil para respostas emergenciais, podendo haver danos socioeconômicos relevantes dentro da mancha de classificação. Da mesma forma, estruturas que se encontram entre 1 e 5 km de distância apresentariam um

perigo menor, quando comparadas às estruturas que se encontram em áreas distantes até 1 km do barramento. Seguindo a mesma lógica, estruturas que se encontram em áreas localizadas a mais de 5 km a jusante do barramento, apresentam vulnerabilidade ainda menor, se comparadas às áreas anteriores.

Tipicamente, o cálculo da probabilidade de ruptura de uma determinada barragem é de grande dificuldade, podendo ser associado a parâmetros envolvendo o TR utilizado para o dimensionamento de vertedouros, ou podendo também estar fundamentado em abordagens probabilísticas complexas inviáveis de serem aqui utilizadas. De modo alternativo, mais adequado a serem aplicados em estudos regionais, a probabilidade de ruptura de um barramento pode ser vinculada à CRI do barramento que, em última instância, permite avaliar aspectos primários associados à “saúde” e ao monitoramento do barramento. Neste sentido, o CRI de barramentos pode ser dividido majoritariamente em três classes, segundo a Resolução CNRH 241/2024: “alto”, “médio”, “baixo”, adicionando-se a elas uma quarta classe, aqui considerada como sendo “não classificado” para aqueles barramentos com ausência de informações relativas ao CRI.

Tendo em vista estas informações, foi estabelecido um ranqueamento que visou identificar, dentro de cada mancha de inundação potencial, quais zonas estariam sob maior perigo (sendo este termo considerado aqui como sendo a multiplicação da suscetibilidade pela probabilidade de ocorrência) de serem atingidas por desastres associados à ruptura de barragens. Este ranqueamento levou em consideração apenas duas informações: distância do barramento e CRI estabelecido para a barragem. A Tabela 5-46 apresenta este ranqueamento, onde é definido que áreas localizadas em até 1 km a jusante de barragens com CRI “alto“ recebem maior nota de perigo (nota 5, indicando “muito alto perigo“). Enquanto isso, áreas localizadas em distâncias superiores a 5 km a jusante de barragens com CRI “baixo“, e dentro da mancha de potencial impacto, recebem nota de menor perigo (nota 1, indicando “muito baixo perigo“). A nota 4, refere-se a “alto perigo“, a nota 3, a “perigo moderado“, e a nota 2, a “baixo perigo“.

Tabela 5-46 – Ranqueamento quanto ao perigo de áreas dentro da mancha de inundação.

CRI	Nota do Perigo (Suscetibilidade x Probabilidade)		
	Entre 0 km e 1 km	Entre 1 km e 5 km	Maior que 5 km
Alto ou Não Classificado	5	4	3
Médio	4	3	2
Baixo	3	2	1

Fonte: Elaboração própria.

No item a seguir, os resultados obtidos para cada barramento são apresentados.

5.4.2 *Resultados Obtidos*

A partir da aplicação das metodologias expostas no item 5.4.1, foram calculadas manchas potenciais de inundação com o intuito de categorização ou identificação de áreas de jusante que poderiam ser atingidas por rupturas hipotéticas de barragens na RH-V. Salienta-se, entretanto, que estas manchas são apenas indicadoras de áreas de perigo, tendo sido elaboradas sob critérios específicos associados a este estudo, vinculadas aos seus objetivos. Portanto, não são substitutivas de potenciais manchas apresentadas em Planos de Ação Emergenciais (PAEs) por ventura existentes para estas barragens. Tão pouco essas manchas devem ser utilizadas como áreas definitivas de potenciais passagens de cheias provenientes de rupturas de barragens, uma vez que foram obtidas a partir do uso de métodos e modelos simplificados tipicamente utilizados para manchas de categorização de DPA. Ressalta-se ainda que, apesar de existirem interseções pontuais entre as manchas calculadas e áreas de manguezais, não há nenhuma área de mangue efetivamente localizada dentro destas manchas, de modo que os resultados não indicam impactos diretos sobre esses ambientes.

Nesse contexto, a seguir são apresentadas estas áreas suscetíveis a inundações decorrentes de rupturas hipotéticas de barragens a partir de mapas de perigo que levam em consideração a metodologia de classificação definida no item 5.4.1.4. Além disso, nestes mapas também são apresentadas as localizações de infraestruturas hídricas críticas, indicando a potencialidade de estas serem atingidas por ondas de rupturas de barragens.

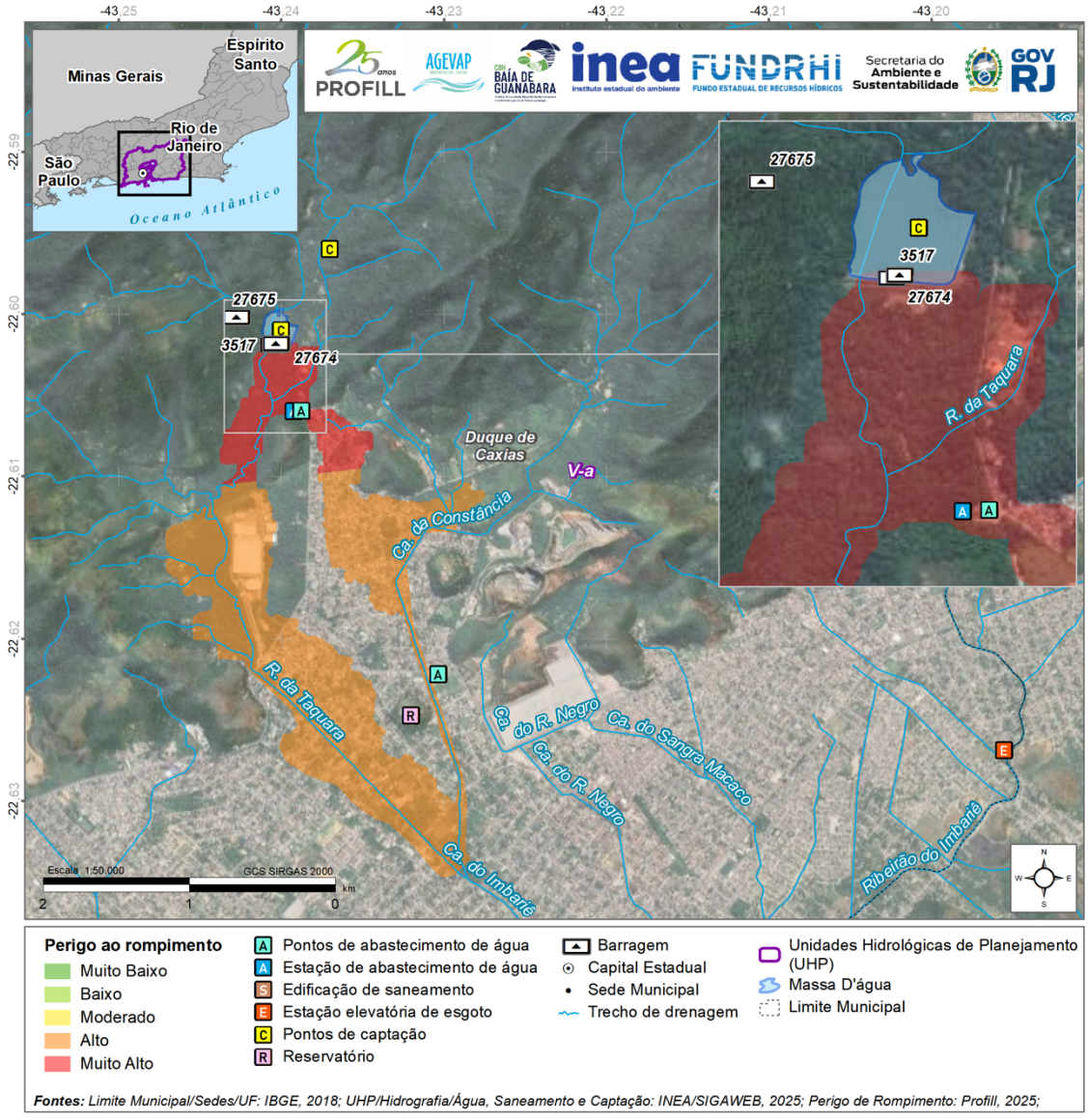
5.4.2.1 Barragem A – RJR (Código SNISB 3517)

A Barragem A – RJR, de código SNISB 3517 é uma estrutura com uma altura da ordem de 9,00 metros e volume de reservatório estimado em 0,206 hm³, localizada no município de Duque de Caxias. Essa barragem, de uso industrial segundo apresentada anteriormente no Quadro 5-18, apresenta um CRI “baixo“ e DPA “alto“, sendo de propriedade da Rio de Janeiro Refrescos LTDA (RJR).

Conforme apresentado no Quadro 5-20, a mancha de inundação dessa barragem foi calculada a partir do uso de modelagem hidrodinâmica realizada a partir do *software* HEC-RAS 6.6, tendo sido gerada uma mancha de inundação que, conforme observado no Mapa 5-81, tem potencial para atingir grande parcela da mancha urbana do município.

Salienta-se, também, que em conjunto com esse barramento se encontram registros de outras duas barragens (Barragem B – código SNISB 27674 e Barragem C – código SNISB 27675) que fazem parte do mesmo complexo, as quais não foram, portanto, simuladas. Entretanto, embora as rupturas dessas estruturas não tenham sido simuladas, ressalta-se que o registro de “Não Classificado” no campo do CRI dessas barragens é relevante, tendo sido conservadoramente essa a classificação adotada para esse barramento, impactando a definição de zonas de perigo a jusante.

Dessa forma, conforme classificação apresentada na Tabela 5-46, o primeiro quilômetro a jusante do barramento foi classificado como sendo de “muito alto perigo“, enquanto a porção restante foi classificada como de “alto perigo“, conforme observado no Mapa 5-81. Também, é notável que a mancha calculada tem interseção ou fica muito próxima de alguns pontos considerados como sendo de infraestrutura hídrica, salientando-se 3 reservatórios de abastecimento e uma estação de abastecimento de água.

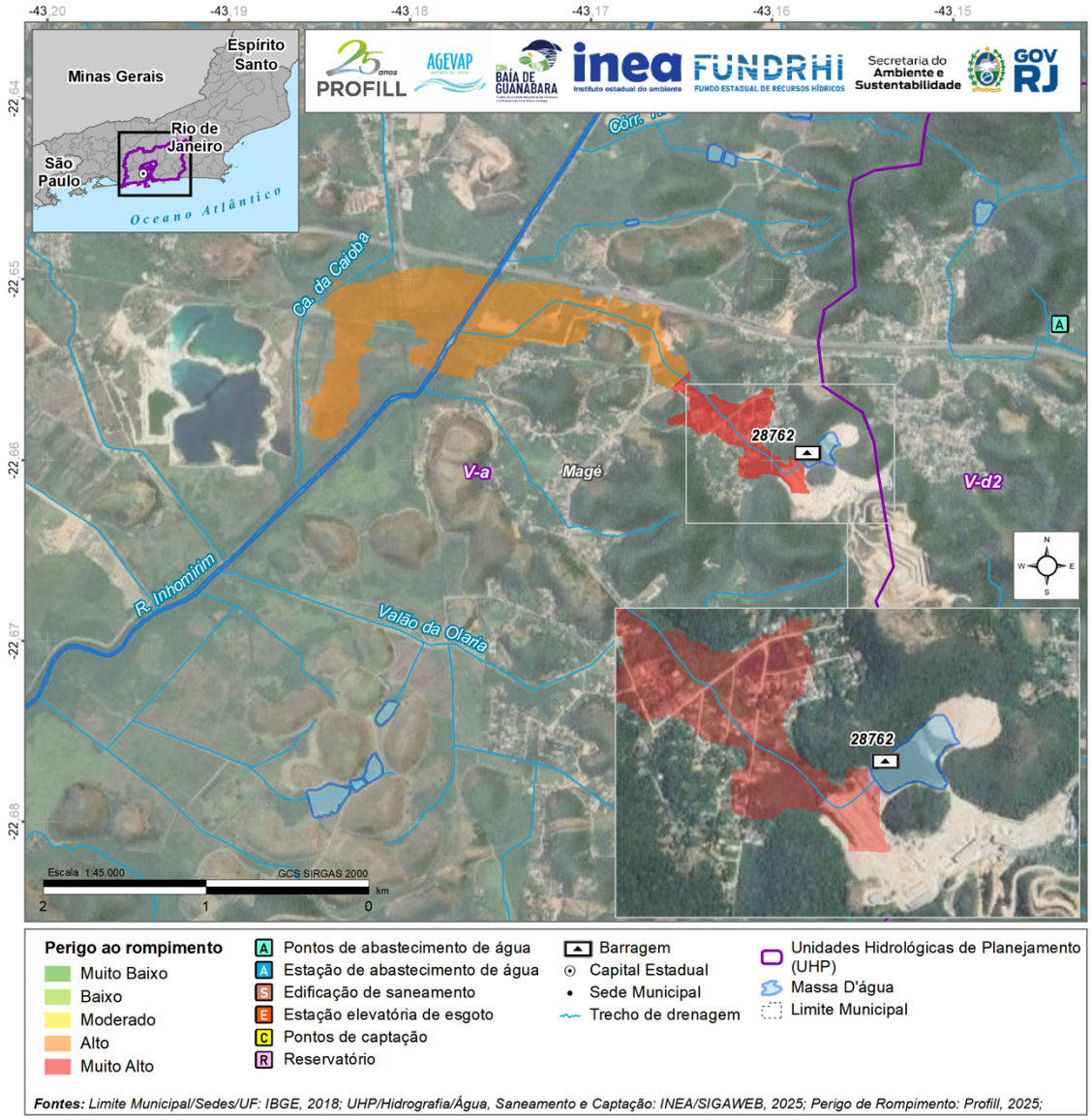


Mapa 5-81 – Mancha de inundação da Barragem A – RJR, código SNISB 3517, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.4.2.2 Barragem Convém (Código SNISB 28762)

A Barragem Convém, localizada no município de Magé, ao sul da BR 493, é uma barragem com uma altura da ordem de 10,00 metros (assim considerada no contexto deste trabalho em função da ausência de informações) e um volume de reservatório estimado, da mesma forma mencionada, de 0,127 hm³. Essa barragem, de uso industrial segundo apresentado anteriormente no Quadro 5-18, apresenta um CRI “não classificado“, e DPA “alto“.

Conforme apresentado no Quadro 5-20, a mancha de inundação dessa barragem foi calculada a partir do uso de modelagem hidrodinâmica realizada a partir do *software* HEC-RAS 6.6. Conforme pode ser observado no Mapa 5-82, esta tem potencial para atingir parcela relevante de mancha urbana do município, ficando restrita ao sul da BR 493, que pode atuar como um dique de contenção em caso de ruptura.



Mapa 5-82 – Mancha de inundação da Barragem Convém, código SNISB 28762, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Observa-se também que o CRI desta barragem é definido como “não classificado” na base de dados do SNISB (ANA 2023), gerando, portanto, a definição de zonas de “muito alto perigo“ logo a jusante do barramento (no primeiro quilômetro) e zonas de “alto perigo“ após o primeiro quilômetro a jusante do barramento. Se destaca também que os impactos associados à ruptura dessa barragem podem atingir a ETE Piabett, localizada nas proximidades do Rio Inhomirim, a jusante da Barragem Convém.

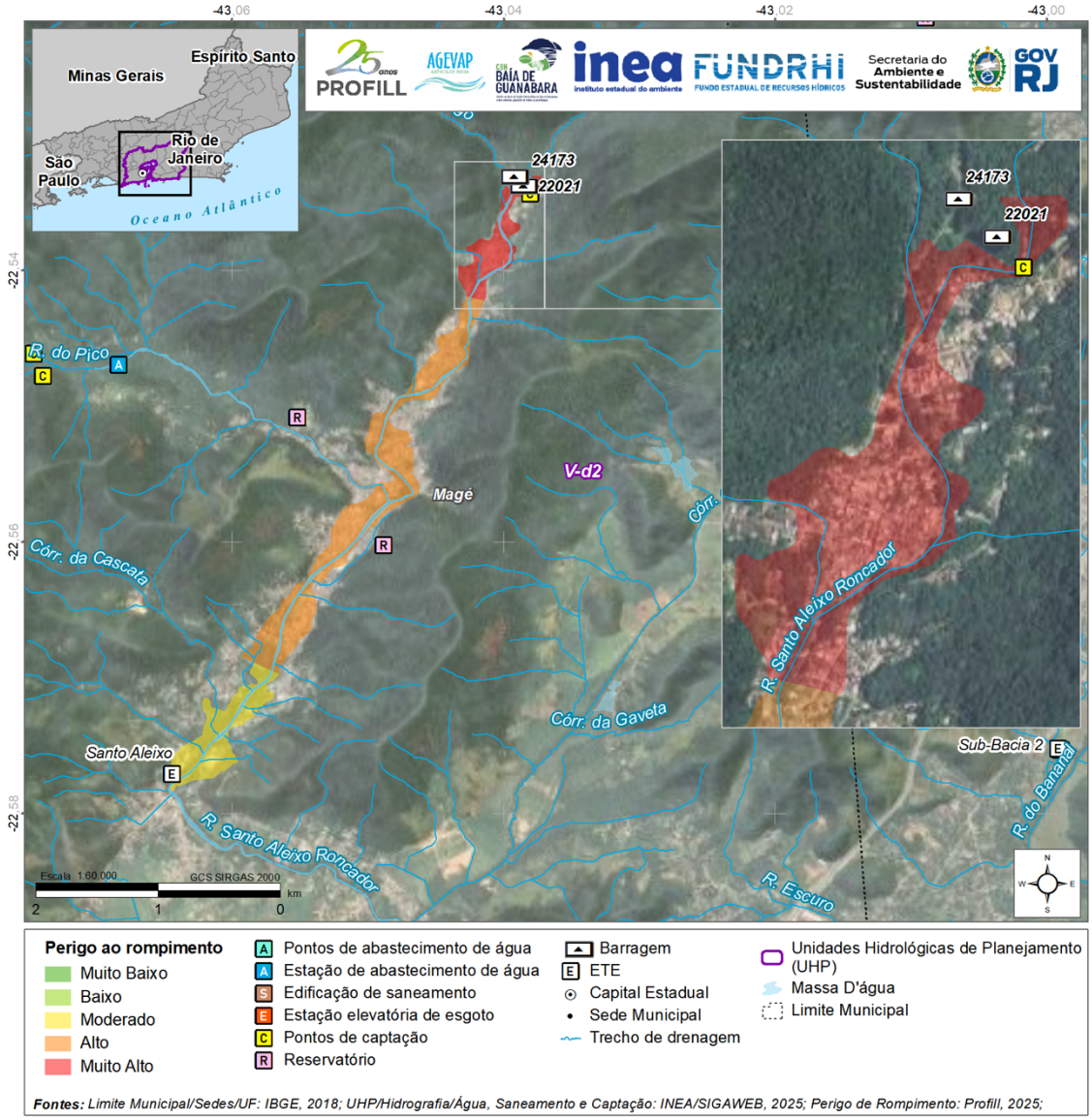
5.4.2.3 Barragem Açude Grande (Código SNISB 22021)

A Barragem Açude Grande, localizada no município de Magé, é uma barragem com uma altura da ordem de 9,90 metros e um volume de reservatório estimado em 0,017 hm³, segundo o Relatório de Segurança de Barragens de 2023 (ANA, 2023). Essa barragem de uso industrial, segundo apresentado anteriormente no Quadro 5-18, está associada à estrutura de código 24173 (CGH Andorinhas II – Câmara de Carga) segundo o banco de dados do INEA, que não tem reservatório associado. Ainda, a Barragem Açude Grande, de propriedade da Fábricas Unidas Energia LTDA, apresenta um CRI “alto“ e DPA “alto“.

Conforme apresentado no Quadro 5-20, a mancha de inundação dessa barragem foi calculada a partir do uso do MS 2.1 da ANA, que, conforme pode ser observado no Mapa 5-83, tem potencial para inundar parcela relevante de mancha urbana localizada a jusante do barramento. Observa-se também que, como o CRI desta barragem é definido como “alto” no banco de dados do INEA, ocorre a definição de zonas de “muito alto perigo“ logo a jusante do barramento (no primeiro quilômetro), zonas de “alto perigo“ entre o primeiro e o quinto quilômetro a jusante do barramento, e zonas de “perigo moderado“ após 5 km.

Ainda, se destaca também que os impactos associados à ruptura dessa barragem podem atingir a ETE Santo Aleixo, localizada próxima ao Rio Santo Aleixo. Do mesmo modo, o hipotético rompimento dessa estrutura também possui potencial para atingir pontos de captação de água localizados nas proximidades do barramento,

conforme dados da Base Cartográfica Contínua do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:25.000, versão 2018[13].



Mapa 5-83 – Mancha de inundação da Barragem Açude Grande, código SNISB 22021, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

[13]https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versao2018_edgv_3.0/informacoes_tecnicas/NT01_2023_BC_RJ_20230623.pdf

5.4.2.4 Barragens Saracuruna (Código SNISB 1752) e João Pinto (Código SNISB 21621)

A Barragem Saracuruna, localizada no município de Duque de Caxias, é uma grande barragem com altura da ordem de 65,0 metros e um volume de reservatório estimado em 6,0 hm³. Essa barragem, de uso industrial e de propriedade da Petrobrás, segundo apresentado anteriormente no Quadro 5-18, apresenta um CRI ”baixo” e um DPA ”alto”.

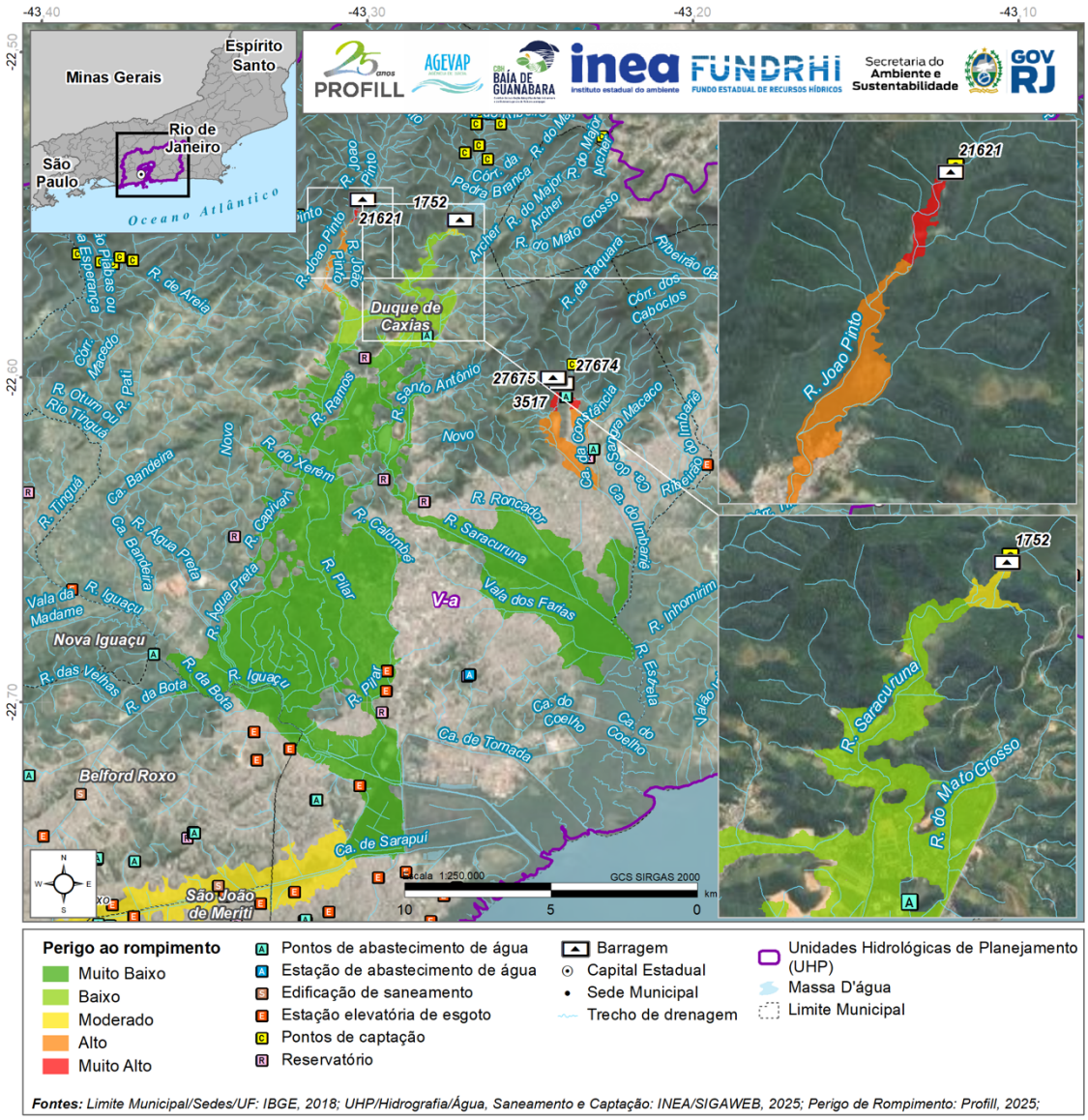
Conforme apresentado no Quadro 5-20, a mancha de inundação dessa barragem foi calculada a partir do uso do *software* HEC-RAS 6.6, ressaltando-se a existência de manchas de inundação previamente calculadas no PAE do barramento que foram utilizadas como norteadoras no processo de simulação da nova mancha aqui obtida. Conforme observado no Mapa 5-84, a ruptura potencial dessa barragem pode gerar impactos bastante extensos na área de jusante, que se encontram, inclusive, com as áreas de perigo mapeadas e associadas à potencial ruptura da Barragem João Pinto.

Conforme informações existentes no banco de dados do INEA, a Barragem João Pinto apresenta um pequeno reservatório, estimado em algo da ordem de 0,027 hm³, associado a uma altura considerada próxima de 10,00 metros (para fins de obtenção de vazão de pico e simulação da ruptura da estrutura). Esta barragem não possui CRI classificado, sendo o perigo da mancha definido logo a jusante categorizado como sendo, portanto, de “muito alto perigo”, seguindo as definições da

Tabela 5-46. De forma similar, o CRI da Barragem Saracuruna é definido como ”baixo”, havendo, portanto, uma mancha de categorização de perigo definida como “perigo moderado“ no primeiro quilômetro a jusante, “perigo baixo“ de 1 a 5 km, e perigo “muito baixo“ após os primeiros 5 km, embora existente.

No contexto da definição da mancha de inundação, também se destaca que algumas estruturas locais, associadas a estradas elevadas, principalmente, foram utilizadas no pós processamento das manchas, sendo consideradas como estruturas

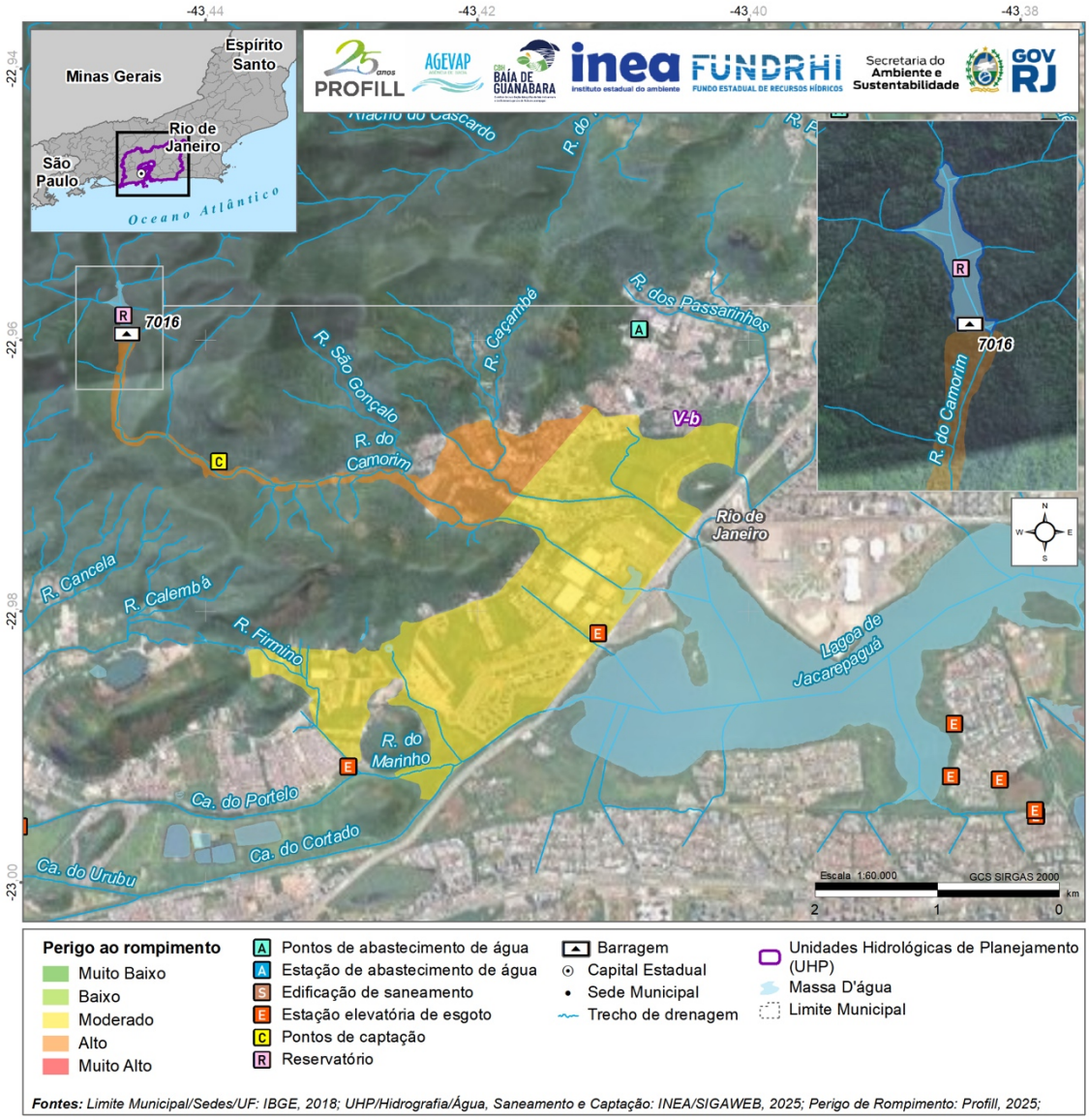
com potencial para barrar os fluxos decorrentes das rupturas. Ainda, conforme observado no Mapa 5-84, essas manchas de perigo têm potencial para atingir diversas infraestruturas hídricas localizadas na RH-V, como reservatórios de abastecimento de água, estações elevatórias de esgoto, ETEs, entre outras.



Mapa 5-84 – Mancha de inundação da Barragem Saracuruna, código SNISB 1752, e da Barragem João Pinto, código SNISB 21621, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.4.2.5 Barragem Açude Camorim - CGQ-40 (Código SNISB 7016)

A Barragem Açude Camorim, localizada no município de Rio de janeiro, apresenta características estruturais com altura aproximada de 6,24 metros e volume de reservatório estimado em 0,21 hm³. Trata-se de uma barragem para uso paisagístico com 107,00 metros de extensão, cujo CRI e DPA encontram-se categorizados como ”médio”. A partir do uso do MS 2.1, foi calculada a mancha de inundação dessa estrutura, conforme apresentado no Mapa 5-85. Observa-se que a ruptura potencial pode gerar impactos significativos a jusante, sendo a mancha classificada como de “alto perigo“ no primeiro quilômetro a jusante e “perigo moderado“ na porção seguinte, devido à classificação do CRI da barragem. Embora a mancha de inundação não seja extensa, a presença de infraestrutura crítica, como estações elevatórias de esgoto e pontos de captação de água na zona atingida reforça a necessidade de um acompanhamento e da adoção de medidas preventivas.



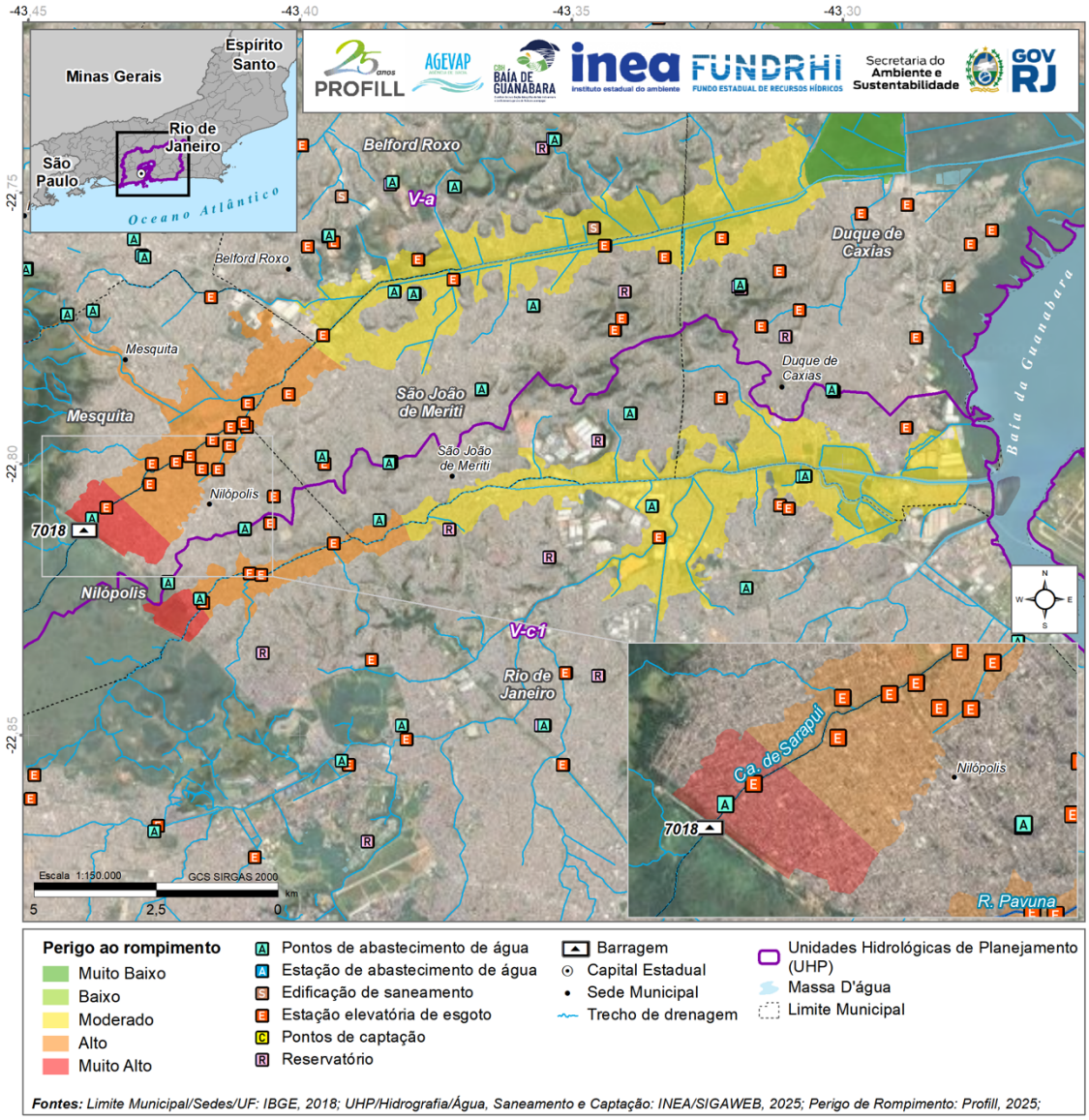
Mapa 5-85 – Mancha de inundação da Barragem Açude Camorim, código SNISB 7016, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.4.2.6 Barragem Gericinó (Código SNISB 7018)

Já a Barragem Gericinó, localizada entre os municípios de Nilópolis e Mesquita, se encontra vazia na maior parte do tempo, por se tratar de uma estrutura de proteção contra inundações. A barragem possui aproximadamente 3.600 metros de extensão, possuindo 14,80 metros de altura e volume de 8,32 hm³, segundo o Relatório de Segurança de Barragens de 2023 da ANA (2024). Tanto seu CRI, quanto

seu DPA são classificados como “alto”, gerando, portanto, zonas de “muito alto perigo“ no primeiro quilômetro a jusante do barramento, segundo os critérios adotados.

Conforme apresentado no Mapa 5-86, que mostra os resultados advindos da aplicação do MS 2.1, esta barragem, caso rompa em situação de reservatório cheio, tem potencial para gerar uma mancha de inundação bastante extensa, que atinge áreas densamente urbanizadas. Estão localizadas dentro da zona de impacto numerosas estações elevatórias de esgoto, pontos de abastecimento de água, ETEs, edificações de saneamento e pontos de captação, como reservatórios da CEDAE, inseridas em uma zona de “alto perigo“ da mancha, além de diversas áreas residenciais. Esta sobreposição com grande concentração populacional e infraestrutura crítica, evidencia que a ruptura desta barragem teria consequências severas sobre a segurança hídrica, o saneamento e a população local. Também, se destaca que a presença de duas manchas de inundação está vinculada ao fato de se ter sido considerado nas simulações dois pontos de potencial ruptura.

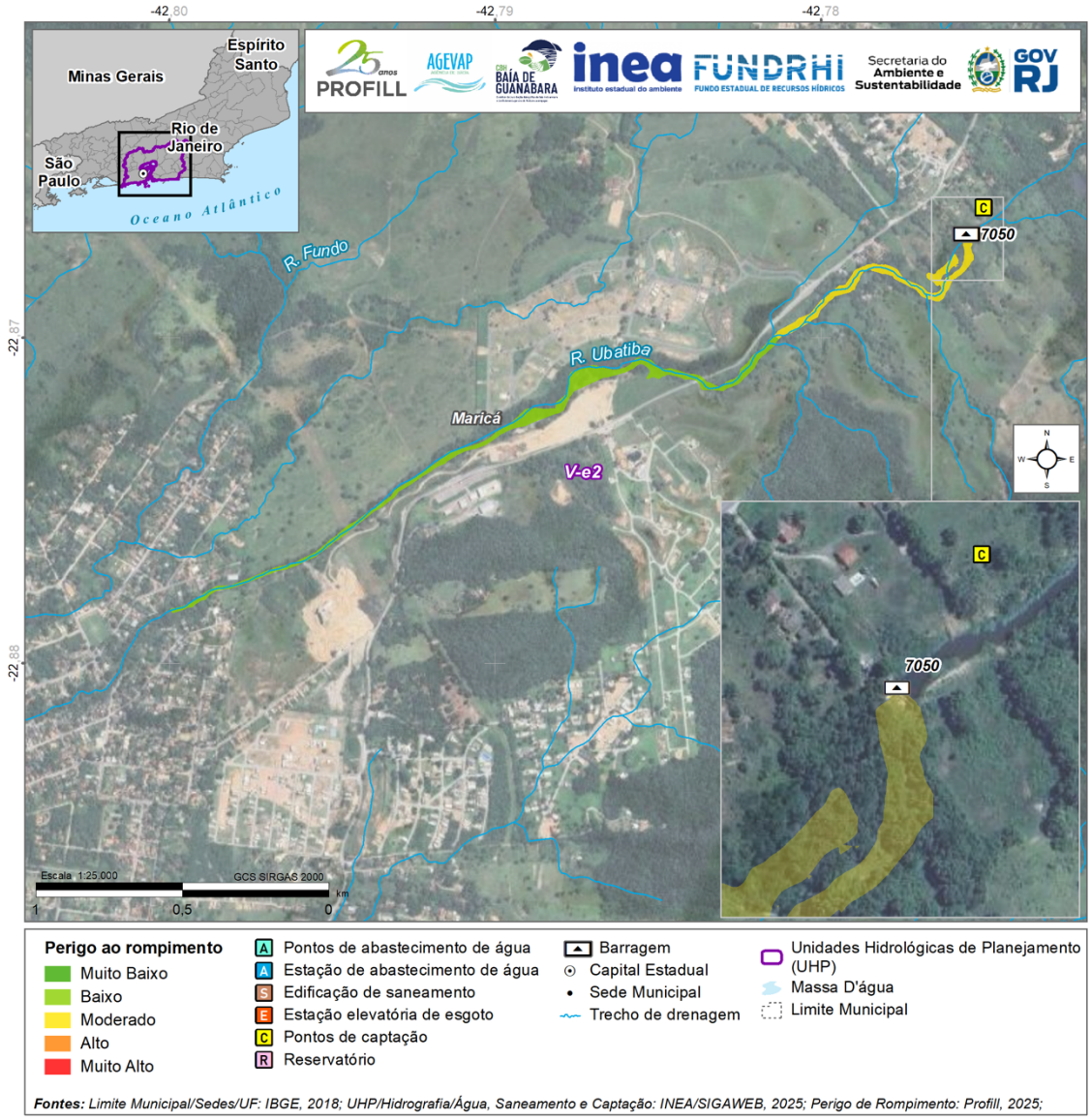


Mapa 5-86 – Mancha de inundação da Barragem Gericinó, código SNISB 7018, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.4.2.7 Barragem GLE-12 – ETA Maricá (Código SNISB 7050)

A Barragem GLE-12, localizada no município de Maricá, é de pequeno porte, com altura estimada em 2,700 metros e volume da ordem de 0,009 hm³. Segundo a base de dados do INEA, seu CRI é “baixo”, enquanto o DPA é definido como “médio”, o que, segundo consta na Tabela 5-46, resulta em um “perigo moderado“ no primeiro quilômetro a jusante do barramento, e um “perigo baixo“ após o primeiro quilômetro.

No Mapa 5-87, observa-se que a mancha de inundação se restringe a áreas próximas ao Rio Ubatiba, atingindo principalmente imediações a jusante, como uma estrada local. Nessa área, podem ser comprometidos pontos de captação e trechos viários locais, embora não haja a mesma densidade de edificações de saneamento ou de abastecimento observada nas demais barragens. Também, se observa a ausência de estruturas críticas no contexto de abastecimento a jusante da barragem.

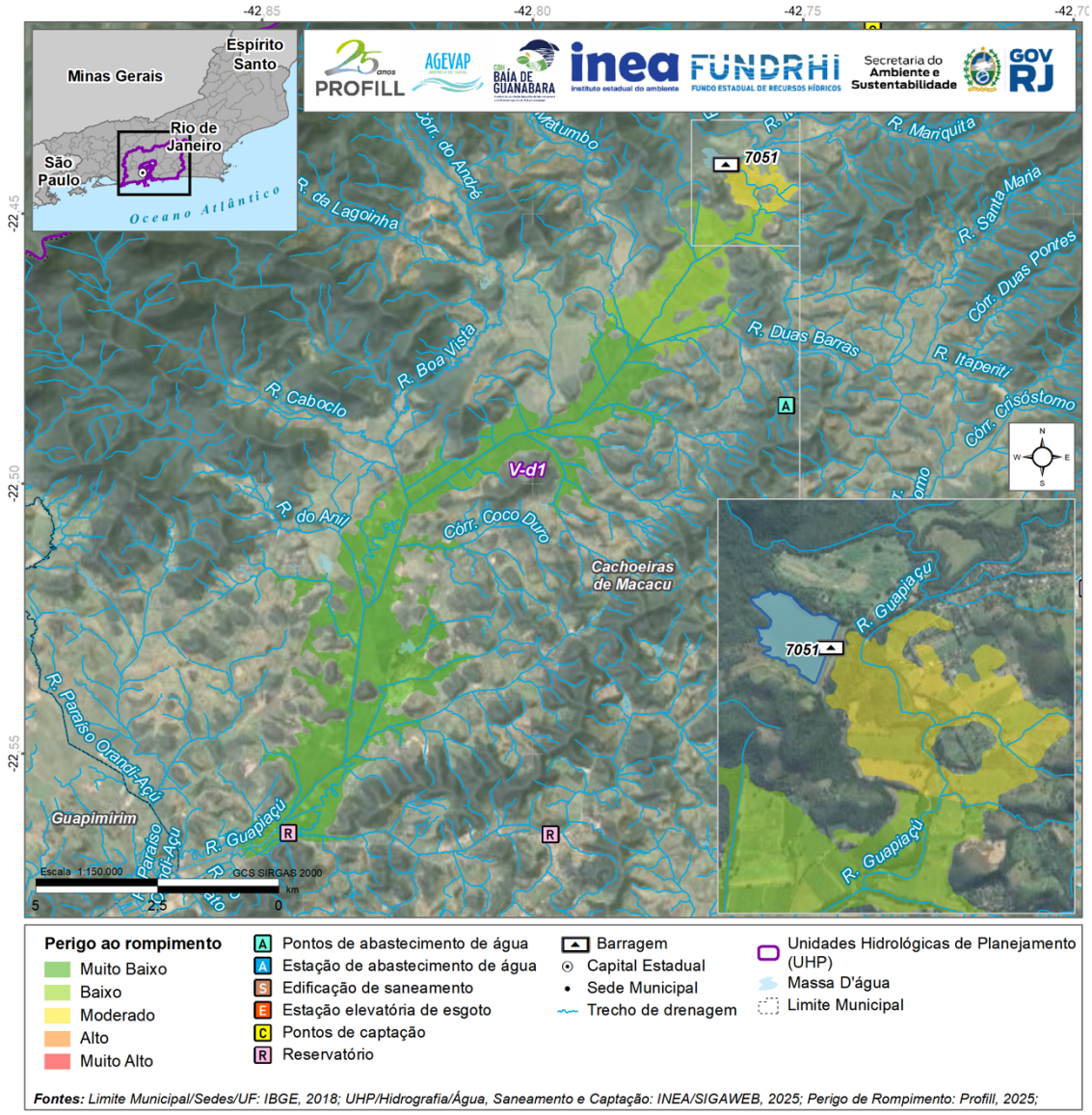


Mapa 5-87 – Mancha de inundação da Barragem GLE-12, código SNISB 7050, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.4.2.8 Barragem Cachoeiras do Macacu (Código SNISB 7051)

A Barragem Cachoeiras do Macacu, de uso industrial e de propriedade da Ambev – Cervejaria Cachoeira de Macacu, está localizada em um tributário do Rio Guapiaçu, no município de Cachoeiras de Macacu. Esta barragem apresenta uma altura estimada em 14,00 metros e volume da ordem de 0,79 hm³. Segundo registros da base de dados do INEA, seu CRI é “baixo”, o que torna o primeiro quilômetro mapeado a jusante do barramento como tendo um ”perigo moderado”.

Possui mancha de inundação extensa, calculada a partir do uso do MS 2.1 da ANA (Quadro 5-20) atingindo o percurso ao longo do curso do rio, compreendendo grande trecho do vale e alcançando reservatórios de abastecimento de água. Conforme ilustrado Mapa 5-88, observa-se que embora não haja diversas estruturas mapeadas associadas ao saneamento básico, como pontos de captação e ETEs, inseridas na mancha de inundação, ainda assim a área de perigo atinge grande porção populacional. Ainda, a área associada à distância de 1 a 5 km é de ”baixo perigo” e a área vinculada a distâncias superiores a 5 km é classificada como ”muito baixo perigo”.



Mapa 5-88 – Mancha de inundação da Barragem Cachoeiras do Macacu, código SNISB 7051, presente na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

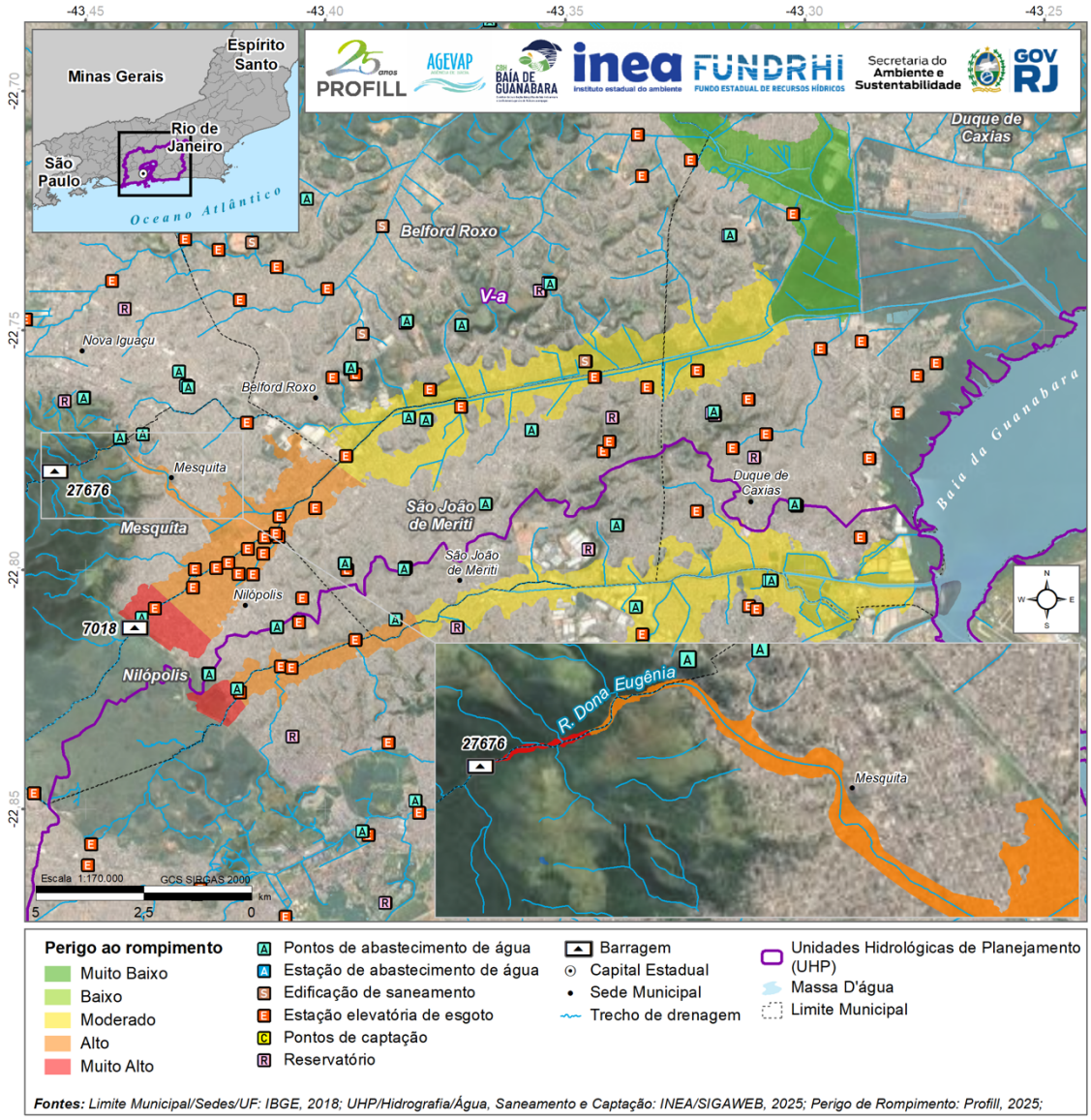
5.4.2.9 Represa Epaminondas Ramos (Código SNISB 27676)

Por fim, a Barragem denominada Represa Epaminondas Ramos, situada no município de Nova Iguaçu, não apresenta dados geométricos (altura da barragem e volume do reservatório) na base de dados. Dessa forma, estima-se para fins de simulação uma altura de 10,000 metros e volume de reservatório na ordem de 0,033 hm³ (Quadro 5-20).

Após simulações realizadas no *software* HEC-RAS, foi obtida uma mancha de inundação de baixa extensão (Mapa 5-89), com menor comprimento longitudinal de mancha se comparada às obtidas para outras barragens da RH-V, devido ao amortecimento potencial do hidrograma de ruptura calculado.

Considerando que a base de dados do INEA aponta, para esta barragem, um CRI e um DPA “Não Classificado”, a área de jusante da mancha localizada a distâncias de até 1 km da barragem é ranqueada como de “muito alto perigo”, enquanto áreas localizadas a distâncias entre 1 e 5 km ficam ranqueadas como de “alto perigo”.

Ainda, o mapa evidencia que a ruptura tem potencial para atingir uma ETE da região. Também, se destaca que apesar da menor área total de inundação, a intensidade do impacto projetado indica que a ruptura desta barragem poderia causar danos significativos às possíveis zonas rurais locais.



Mapa 5-89 – Mancha de inundação da represa Epaminondas Ramos, código SNISB 27676, presente na RH-V (em conjunto com mancha de inundação da Barragem Gericinó).
Fonte: Elaboração própria.

5.5 INTRUSÃO SALINA

A intrusão salina é um fenômeno que ocorre na confluência ou na zona de transição entre cursos hídricos de água doce e regiões marítimas, como observado na RH-V para os principais e maiores cursos d'água da região. Esse fenômeno, que se caracteriza pelo avanço de uma cunha de água salgada em corpos hídricos de água doce continente adentro, tem relação direta com a zona de mistura e a zona de

influência a qual os mares conseguem exercer sob os cursos hídricos de água doce. Neste sentido, na zona de mistura, o equilíbrio hidrodinâmico (associado ao nível da maré e às vazões do curso hídrico de água doce) e o equilíbrio químico (associado às concentrações de sal, tanto na água do mar, quanto no curso hídrico em questão) são fatores preponderantes que determinam, em geral, até onde a intrusão salina pode se propagar para dentro do continente.

Em casos desta natureza, o avanço de água salgada no sentido contrário ao fluxo natural de cursos hídricos de água doce tem relação direta com a “força” da maré, que pode superar a “força” do rio no sentido natural de montante e jusante, gerando também efeitos de remanso significativos. Dentre os fatores que intensificam o avanço da influência do mar sob cursos hídricos nestas condições pode-se ressaltar principalmente o efeito sinérgico associado à existência conjunta de marés altas e períodos de estiagem.

Os trechos de cursos hídricos sujeitos à intrusão salina estão tipicamente vinculados a estuários, que podem ser definidos como aquelas áreas onde as águas doces de corpos de água costeiros se misturam com a água salgada do mar. De acordo com Kjerfve (1990), esses ecossistemas costeiros podem ser divididos em três regiões distintas:

- Zona de maré do rio (ZR): corresponde ao trecho fluvial composto exclusivamente por água doce, mas que sofre a influência das marés;
- Zona de mistura (ZM): representa o estuário em si, caracterizado pela interação entre águas doces e salgadas, o que resulta em forte variabilidade espacial e temporal de suas propriedades. Essa faixa localiza-se entre a ZR e a desembocadura do estuário, podendo, em alguns casos, ser delimitada por formações físicas, como uma barra arenosa de maré enchente ou um delta de maré vazante;
- Zona costeira (ZC): abrange o setor marinho adjacente, no qual a turbidez é mais elevada em relação à ZR e à ZM. Horizontalmente, estende-se até a chamada zona frontal.

Outras classificações associadas às diferentes zonas que ocorrem em estuários, entretanto, também são observadas. Conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (Coppetec, 2013), essas regiões também podem ser separadas e definidas como:

- Zona de oscilação de níveis de água (ZNA): Também conhecida como “cabeça do estuário”, é o trecho a partir do qual se começa a registrar oscilações de nível com períodos típicos de marés. A caracterização da ZNA é fundamental para a avaliação de projetos de macrodrenagem em áreas de baixada;
- Zona de inversão de correntes (ZIC): é o trecho a partir do qual se registra inversão de sentido nas correntes por efeitos de maré em certo período, e que pode ficar a uma distância considerável para jusante da cabeça do estuário. Na zona a jusante da ZIC, ao longo de um período de maré, tipicamente de 12h e 25min, ocorrem correntes de enchente (nível do mar em elevação) que fluem para montante (continente adentro), e correntes de vazante (nível do mar em diminuição), que fluem para jusante;
- Zona de mistura (ZM): é o trecho a partir do qual a água começa a ficar salobra, com valores de salinidade variando entre 0,5 ‰ e 30 ‰. Tal trecho se inicia a jusante da ZIC e se estende para fora da embocadura, na zona costeira adjacente. A caracterização da ZM é fundamental para definição de pontos de captação de água doce.

Inúmeros são os impactos causados pela intrusão salina, podendo ser divididos em impactos ambientais, sociais e econômicos. Dentre eles, está o comprometimento da qualidade da água utilizada para diversos fins, como o abastecimento humano e o industrial. O setor agrícola também pode sofrer com este fenômeno, uma vez que a irrigação com água salinizada pode causar a salinização dos solos, reduzindo sua fertilidade e produtividade, além de ter potencial para gerar problemas estruturais na infraestrutura utilizada para adução das águas.

Do ponto de vista estrutural, a água salina acelera o processo de corrosão de infraestruturas como tubulações, bombas, estruturas de captação e reservatórios, elevando os custos com manutenção e substituição de equipamentos. De modo similar, a salinização dos corpos hídricos pode tornar a água imprópria para consumo, exigindo tratamento mais complexo e oneroso caso esse fenômeno alcance Estações de Bombeamento de Água Bruta (EBABs). Portanto, a intrusão salina e a consequente salinização de corpos hídricos podem ser consideradas um fator limitador para diversos usos da água (RHA, 2020).

Inclusive, é comum também a existência de diversas alternativas estruturais para lidar com a intrusão salina em estuários, de modo a evitar que esse fenômeno cause efeitos danosos à sociedade ou à economia. Conforme citado em Campos *et. al.* (2003), a contenção desse processo pode envolver a construção de barragens e de canais, bem como a definição de áreas de restrição de uso d'água, e até mesmo a revisão de outorgas concedidas, visando-se aumentar o fluxo natural de água doce que ajuda a "barrar" a incursão da intrusão salina continente adentro.

5.5.1 *Registros Históricos e Dados Existentes*

A Baía de Guanabara é uma região extremamente propensa à ocorrência de intrusão salina em seus principais cursos hídricos, conforme demonstrado no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro RT07 – Estudos de Avaliação da Intrusão Salina (Coppetec, 2013) e na Atualização e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (RHA, 2020).

Nos estudos de Andrade (2018), esse fenômeno também é analisado com enfoque principal na porção marítima da Baía de Guanabara, sendo os resultados também apresentados em RHA (2020). Segundo Andrade (2018), as oscilações de salinidade no interior da baía estão associadas a diferentes descargas de água doce por parte dos cursos hídricos locais, bem como à ocorrência de marés de sizígia e de quadratura. De um modo geral, a autora identificou valores médios de salinidade na Baía de Guanabara que se situam na faixa dos 30 ‰. Conforme observado na Figura

5-58, é possível identificar a variação da salinidade média da baía conforme ocorrência do verão e do inverno, que, por sua vez, tem relação direta com maiores e menores vazões médias dos cursos hídricos locais.

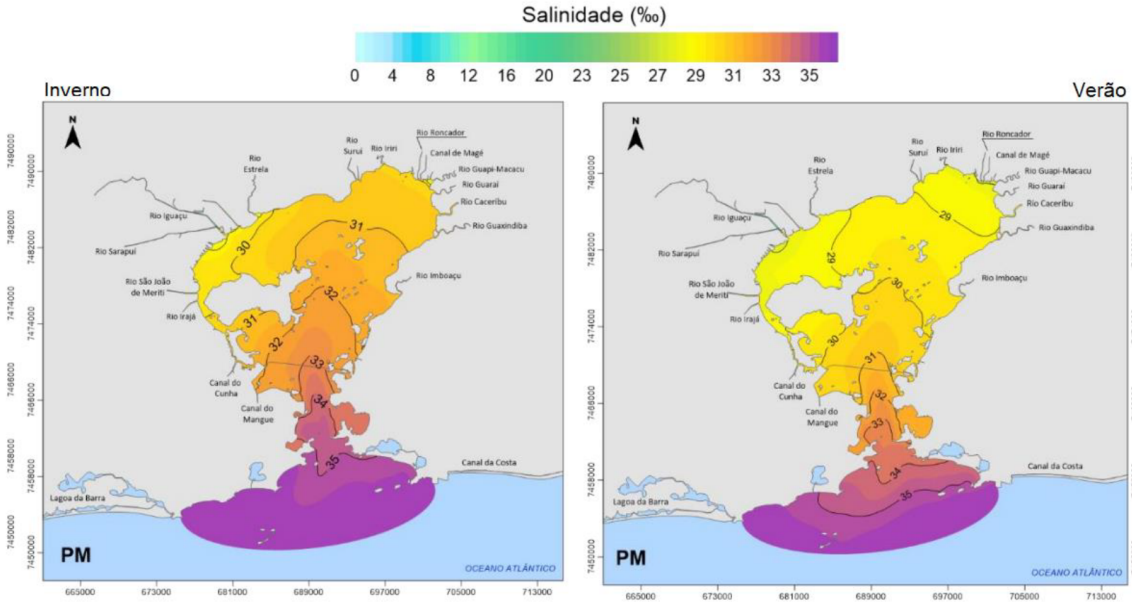


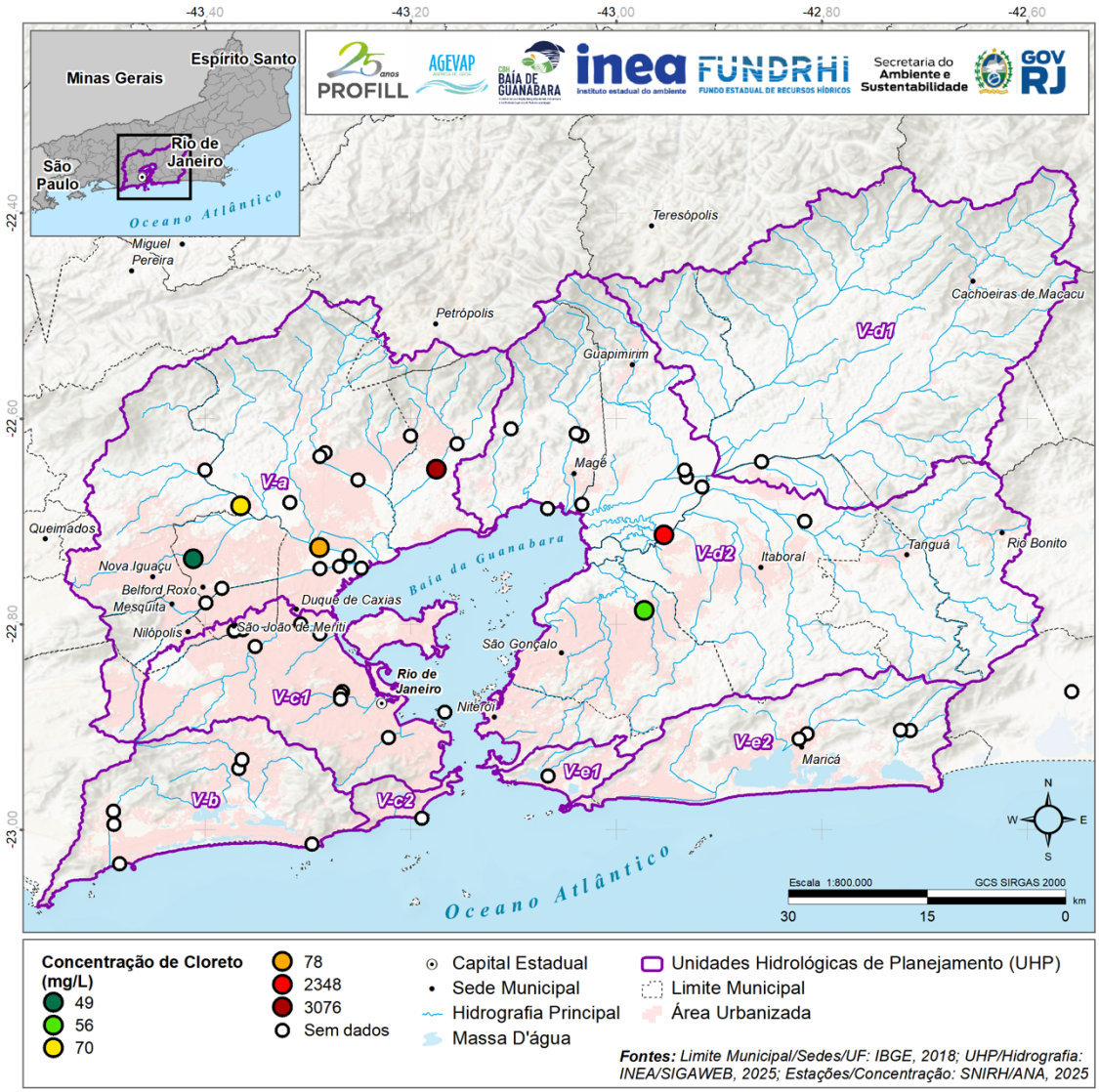
Figura 5-58 – Intrusão salina na Baía de Guanabara.
Fonte: RHA (2020).

A intrusão salina a qual os municípios litorâneos do Estado do Rio de Janeiro estão suscetíveis, bem como os municípios que fazem parte da RH-V, já impactou decisões por parte da gestão regional no passado. Conforme notícia relatada pela mídia em 2015[14], por exemplo, já se registrou a necessidade de diminuição do abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro, com o intuito de aumentar o fluxo natural dos cursos hídricos e, consequentemente, evitar que a ZM estivesse presente em zonas de abstrações de volumes d'água para fins de abastecimento ou industriais.

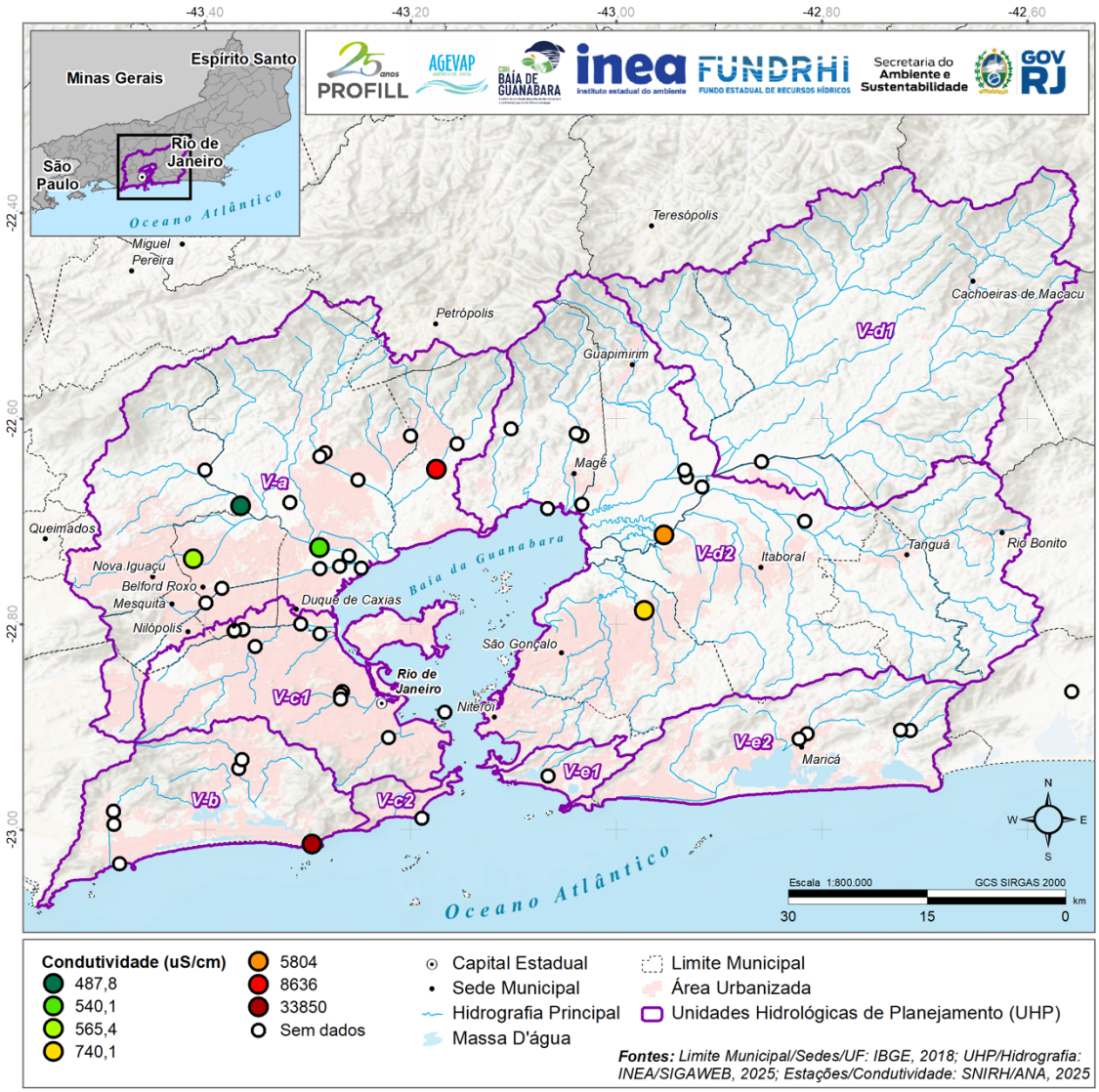
Visando a identificação de dados disponíveis de qualidade da água que pudessem fundamentar o diagnóstico quanto à salinidade associada a diferentes porções dos principais cursos hídricos da RH-V, foram avaliados dados de qualidade da

[14]https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-06/rio-de-janeiro-passa-por-grave-situacao-de-abastecimento-de-agua-diz

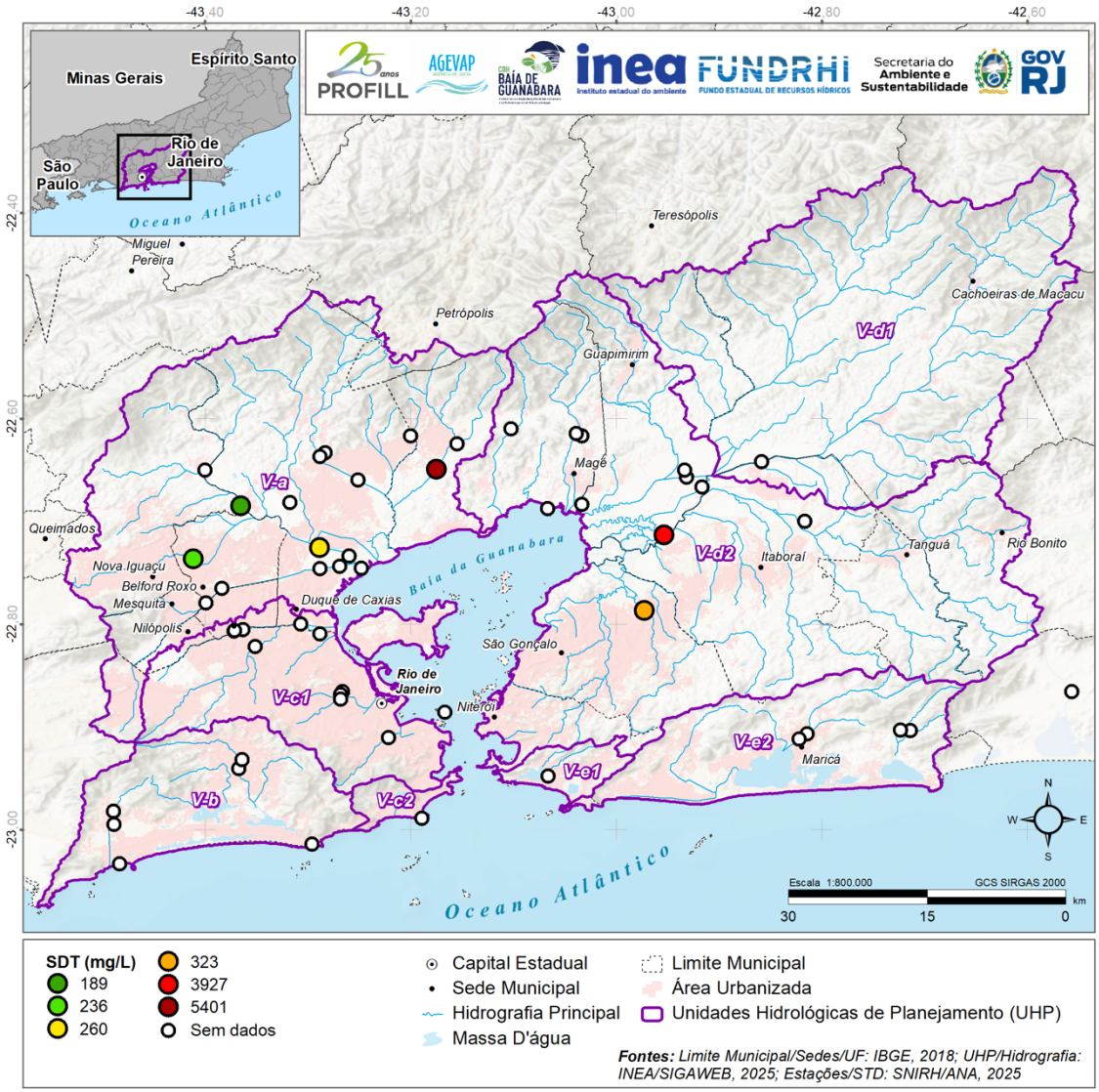
água disponibilizados no SNIRH e no Hidroweb da ANA para todas as estações da RH-V localizadas em cotas de até 10 m de altura. Sabendo-se que águas salinas e salobras estão altamente correlacionadas com altos valores de condutividade elétrica, de concentrações de cloreto, e de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), as estações de qualidade da água presentes na RH-V que tinham esses parâmetros monitorados foram mapeadas, conforme pode-se observar no Mapa 5-90 para as concentrações de cloreto, no Mapa 5-91 para análise da condutividade elétrica e no Mapa 5-92 para concentrações de SDT.



Mapa 5-90 – Mapa de concentrações de cloreto nas estações da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-91 – Mapa de condutividade elétrica nas estações da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.



Mapa 5-92 – Mapa de concentrações de SDT nas estações da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

A identificação de limiares quanto à condutividade e às concentrações de cloreto e SDT para caracterização de águas salinas e salobras varia na literatura específica. Segundo Shevah (2013), a água salobra é definida como aquela que apresenta teor de cloreto superior a 400 mg/L ou condutividade elétrica maior que 1,5 dS/m, ou 1.500 uS/cm, enquanto a Resolução CONAMA n° 357/2005 aponta que concentrações de cloreto para águas doces de Classe 1 de enquadramento devem ser de, no máximo, 250 mg/L.

Tratando-se da condutividade elétrica, como limites para caracterização da salinidade das águas, Von Sperling (2007) aponta que as águas naturais possuem condutividades da ordem de 10 a 100 uS/cm, podendo chegar a valores próximos de 1.000 uS/cm em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais. De modo similar, Nthunya *et al*. (2018) afirma que águas doces tem valores de condutividade elétrica variando de 150 a 500 uS/cm, enquanto águas salobras e águas oceânicas tem valores superiores a 1.000 e 55.000 uS/cm, respectivamente. Rudsy *et al.* (2018) aponta, de modo complementar, que águas não salinas geralmente apresentam limites de condutividade elétrica da ordem de 700 uS/cm, enquanto águas ligeiramente salinas apresentam valores entre 700 e 2.000 uS/cm. Águas moderadamente salinas tem valores de condutividade entre 2.000 e 10.000 uS/cm, enquanto águas muito salinas possuem condutividades superiores a esse valor, chegando até 45.000 uS/cm.

Oliveira (2005), bem como Nthunya *et al.,* (2018), também apontam que a salinidade da água tem forte relação com a concentração de SDT, bem como outros autores, como, Ferreira (2005) e Damasceno (2021). Essa forte associação ocorre pois os SDT de uma amostra englobam todos os sólidos dissolvidos da solução, incluindo sais dissolvidos (como íons inorgânicos Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, responsáveis pelo transporte de corrente elétrica, medida pela condutividade) e também quantidades de compostos orgânicos dissolvidos, que não apresentam tão alta condutividade[15].

Segundo Ferreira (2005), águas com concentrações de SDT de até 500 mg/L podem ser consideradas doces, enquanto águas com concentrações entre 500 e 1.000 mg/L podem ser consideradas salobras, e águas com concentrações superiores a 1.000 mg/L de SDT podem ser consideradas salgadas. Damasceno (2021), entretanto, pontua que águas salobras podem ter concentrações de SDT variando de 500 a 1.500 mg/L. Nthunya *et al.* (2018), por fim, pontua que a água doce deve ter

[15]Entretanto, altas concentrações de outros tipos de sólidos dissolvidos, especificamente associados a metais como ferro, manganês, cobre, zinco, entre outros compostos, podem também exercer grande influência nos valores medidos de condutividade elétrica, uma vez que estes íons metálicos apresentam alta mobilidade iônica, que contribuem diretamente para a condutividade elétrica.

concentrações de SDT de até 1.000 mg/L, podendo chegar até valores da ordem de 5.000 para águas salobras. Rudsy *et al*. (2018) aponta, de modo similar, que águas doces tipicamente tem valores de SDT de até 1.000 mg/L, enquanto águas salobras podem apresentar concentrações de até 10.000 mg/L.

Outra forma mais consolidada para a distinção de águas salobras e salinas de águas doces está definida na Resolução CONAMA n° 357/2005. Tal Resolução determina os padrões de qualidade de águas em território nacional conforme os percentuais de salinidade, que tem o limite de, no máximo, 0,5 ‰ para água doce, 30 ‰ para água salobra e superior à 30 ‰ para água salina.

Cabe também destacar que usando-se um coeficiente de correlação entre os parâmetros de condutividade elétrica e o SDT que varia de 0,50 a 0,75 (Rudsy *et al.,* 2018), em conjunto com os limites da Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas doces, salobras e salinas, pode-se inferir que águas doces (vinculadas ao limite de 0,5 ‰ de salinidade segundo a referida Resolução) com valores de condutividade elétrica da ordem máxima de 700 uS/cm, podem indicar a existência de águas doces, enquanto águas salobras tipicamente apresentam valores de condutividades que vão de 700 uS/cm a valores da ordem de 40.000 uS/cm[16].

Neste contexto, para fins de categorização das águas da RH-V quanto a parâmetros de qualidade da água indiretos, no contexto deste estudo, foram adotados os seguintes limites: Estações de qualidade da água indicando valores de condutividade elétrica variando de 0 a 700 uS/cm indicam águas potencialmente doces; e Estações de qualidade da água com medições de condutividade elétrica superiores a 700 uS/cm indicam águas potencialmente salobras.

[16]Importante salientar que esses valores são aqui considerados como ordens de grandeza referenciais, utilizadas para interpretação qualitativa dos dados. A condutividade elétrica de uma amostra pode ter influência de diversos tipos de contaminantes não associados diretamente à salinidade, como por exemplo, metais dissolvidos. Portanto, esses limiares são apenas utilizados como indicação da potencialidade de água ser doce, salobra ou salina, em análises comparativas a partir do uso de dados indiretos.

De modo similar, adota-se, a partir dos estudos anteriormente citados, que águas com concentrações de SDT de até 500 mg/L estão associadas a águas doces, enquanto valores superiores (principalmente aqueles muito maiores a 1.000 mg/L) estão fortemente vinculados a águas salobras. Por fim, considera-se, quanto ao cloreto, que concentrações acima de 400 mg/L são indicativas de águas salobras.

Conforme observado nos mapas apresentados, 54 estações de qualidade da água foram avaliadas, identificando-se apenas algumas com dados associados à identificação indireta de salinidade existentes, as quais são apresentadas no Quadro 5-21. A partir da análise dos parâmetros físico-químicos associados a estas estações, é possível inferir que, mesmo desconsiderando-se aqui a sazonalidade envolvendo tanto época de secas e características de marés (não consideradas devido à carência de dados mais consistentes), concentrações relevantes de cloretos e SDT são observados em alguns corpos hídricos, observando-se comportamento similar para a condutividade elétrica.

Ainda, conforme os critérios aqui estabelecidos, os parâmetros de qualidade da água são hachurados conforme sua potencial associação a águas doces, salobras e salinas, sendo eles: azul (águas doces), laranja (águas salobras) e vermelho (águas salinas), respectivamente. A partir da análise dos dados existentes (considerando-se dados de 2024 ou de 2025 em uma abordagem conservadora), observa-se que as estações 59251780 e 59241150 apresentam características físico-químicas fortemente vinculadas às características de águas salobras, enquanto as outras estações tendem a não apresentar características tão evidentes, indicando a existência predominante de água doce nestes pontos.

Quadro 5-21 – Estações com dados associados à salinidade e indicação quanto à intrusão salina.

Código da Estação	Nome	Corpo Hídrico	Cloreto (mg/L)	Condutividade Elétrica (uS/cm)	SDT (mg/L)
59305097	Barra da Tijuca	Oceano	-	33.850,0	-
59251780	Estrada Rio-Teresópolis	Rio Inhomirim	3.076	8.636,0	5.401
59241150	Próximo a Itambi	Rio Caceribu	2.348	5.804,0	3.927
59280800	Heliópolis	Rio da Bota	49	565,4	236

Código da Estação	Nome	Corpo Hídrico	Cloreto (mg/L)	Condutividade Elétrica (uS/cm)	SDT (mg/L)
59279500	Próximo Clube Catavento	Rio Iguaçu	70	487,8	189
59279300	Rodovia Washington Luiz (Rio Iguaçu)	Rio Iguaçu	78	540,1	260
59229000	Estrada Niterói-Campos	Rio Guaxindiba	56	740,1	323

Fonte: Elaboração própria.

Conforme pôde ser inicialmente observado no Mapa 5-90, concentrações de cloreto compatíveis com águas doces de Classe 1, que segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005 são aquelas que contam com até 250 mg/L de concentração do parâmetro, podem ser observados em distâncias até 22 km adentro do continente, como é o caso da estação Heliópolis, de código 59280800 e que tem concentrações de cloreto da ordem de 50 mg/L. O mesmo vale para a estação de nome “Próximo Clube Catavento”, de código 59279500, que se encontra 15 km adentro do continente e cuja última medição aponta concentrações de 70 mg/L de cloreto. Também se observa isso para a estação Estrada Niterói-Campos, que também apresenta baixas concentrações de cloreto. Neste caso, esses valores não são suficientes para indicar a existência de águas salobras nestes locais, que, por exclusão, podem ser consideradas como águas doces.

Entretanto, de modo antagônico, se destacam as medições associadas à estação fluviométrica “Estrada Rio-Teresópolis”, de código 59251780, localizada aproximadamente a 11 km a montante da foz entre o Rio Inhomirim e a linha de costa. Nesta estação, valores muito superiores de concentrações de cloreto, compatíveis a características de águas que não são doces (3.076 mg/L) já foram observadas. Isso também vale para a estação localizada no Rio Caceribu, de código 59241150, que apresentou concentrações de cloreto superiores a 2.000 mg/L, que ultrapassa o limite estabelecido neste estudo de 400 mg/L associado a águas doces, anteriormente citado.

A distribuição espacial da condutividade elétrica, por sua vez, reforça o padrão identificado para cloreto, especialmente para as estações “Estrada Rio-Tere-

sópolis", de código 59251780, e "Próximo a Itambí", de código 59241150, no Rio Caceribu. Nessas estações, valores extremamente altos de condutividade elétrica (8.636 uS/cm e 5.804 uS/cm, respectivamente) foram observados recentemente, reforçando a presença de intrusão salina nesses locais.

A correlação entre condutividade e concentrações de cloreto também é percebida para a Estação Heliópolis, de código 59280800, que apresenta concentrações de cloreto e de condutividade incompatíveis com águas salobras, segundo o referencial adotado. O mesmo vale para a estação "Próximo Clube Catavento", de código 59279500. De forma dissociada a essas questões, nota-se também os resultados da estação de código 59279300 (Rodovia Washington Luiz), no Rio Iguaçu, que embora fique a uma distância não muito grande da foz do Rio Iguaçu na Baía de Guanabara (em torno de 5,5 km), não apresenta concentrações de cloretos e de condutividade compatíveis com águas salobras, considerando as medições avaliadas.

Por fim, no Mapa 5-92 foi apresentada a espacialização das concentrações máximas de SDT mensuradas na RH-V para as estações mencionadas nos últimos anos. Conforme observado, destaca-se novamente a estação "Próximo a Itambí", de código 59241150, com registro de concentrações de aproximadamente 3.927 mg/L do parâmetro, sendo esses valores compatíveis a águas salobras. O mesmo vale para a estação Estrada Rio-Teresópolis, de código 59251780, que teve valores de 5.401 mg/L mensurados recentemente. Dessa forma, as estações com maiores valores de SDR coincidem com aquelas que apresentam concentrações elevadas de cloreto e alta condutividade elétrica, evidenciando a consistência entre os indicadores de qualidade da água. De forma complementar, também se destacam aquelas estações cujas concentrações não são claramente compatíveis com águas salinas ou salobras, como a estação "Próximo Clube Catavento", de código 59279500, onde os SDT atingiram valores próximos de 189 mg/L ou a estação Heliópolis, de código 59280800, com valores da ordem de 236 mg/L.

Também é importante, no contexto do diagnóstico da RH-V quanto à intrusão salina, a caracterização da maré que ocorre na Baía de Guanabara. Segundo

Miguens (1996), as forças de atração da Lua e do Sol, bem como outras condições ambientais, determinam o comportamento geral das marés, normalmente divididas em Marés de sizígia e Marés de quadratura:

- Maré de sizígia: ocorre quando as forças de atração da Lua e do Sol se somam (durante a Lua Cheia e a Lua Nova), resultando marés com preamares[17] muito altas e baixa-mares[18] muito baixas, gerando uma amplitude de maré[19] mais alta durante um ciclo. Nesses casos, a força da maré oceânica intensifica o avanço da cunha salina rio adentro, aumentando o risco de interrupção do abastecimento público e industrial, caso existam pontos de captação em áreas suscetíveis ao fenômeno;

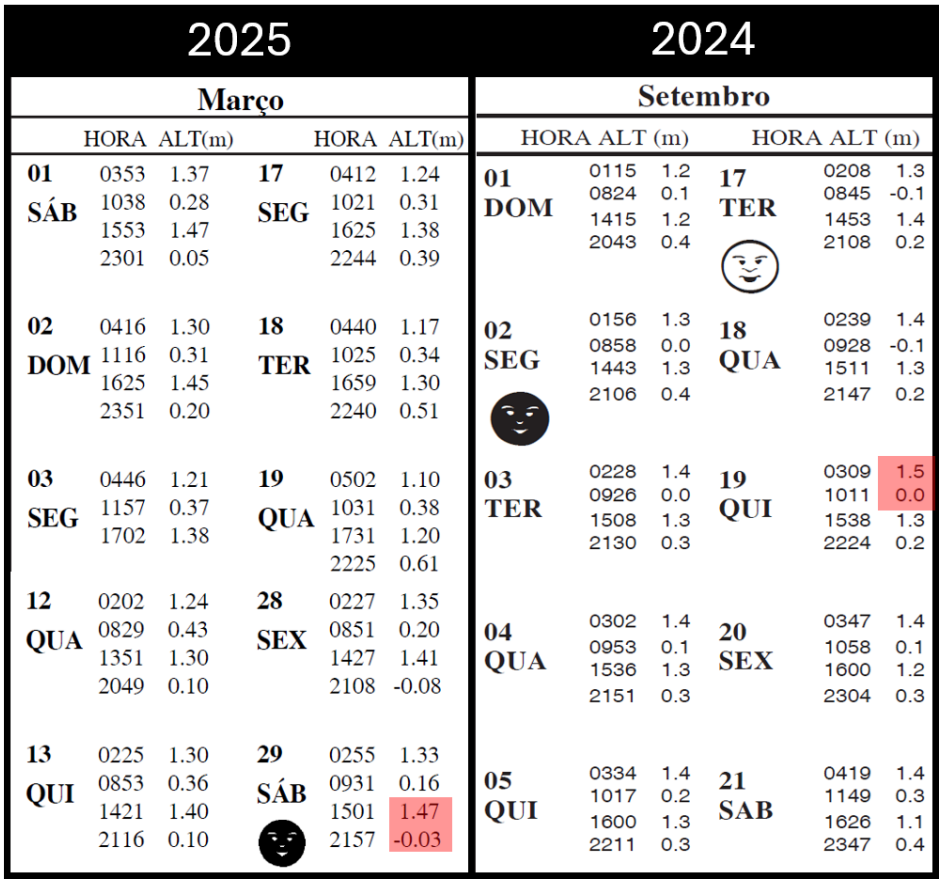
- Maré de quadratura: ocorre quando as forças gravitacionais do Sol e da Lua se opõem (casos do quarto crescente e do quarto minguante da Lua), produzindo marés com preamares mais baixas e baixa-mares mais altas, gerando uma amplitude de maré mais baixa durante um ciclo. Nesse cenário, a penetração da cunha salina tende a ser menos intensa, uma vez que a força das marés sobre a água doce é reduzida.

Especificamente para a Baía de Guanabara, RHA (2020) destaca que a região apresenta uma maré mista com predominância semidiurna e uma altura média da maré tipicamente sendo da ordem de 0,7 m, mesmo que já tenham sido observadas alturas em torno de 1,1 m nos períodos de sizígia, durante a primavera. Observando-se alturas calculadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), da Marinha do Brasil, para os anos de 2024 e 2025, observam-se amplitudes dessa ordem de grandeza, com valores máximos de 1,5 m para o período.

Na Figura 5-59, uma janela temporal das alturas estimadas para os meses de março e setembro na estação Ilha Fiscal, esses valores são observados, destacando-se, em vermelho, dias de grande amplitude de maré. Por fim, também cabe

[17] Maior altura que alcançam as águas em uma oscilação
[18] Menor altura que alcançam as águas em uma oscilação
[19] Distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas

destacar que a Baía de Guanabara também pode ser influenciada por marés meteorológicas, que são aquelas vinculadas a efeitos atmosféricos, como ventos fortes e baixas pressões que podem resultar em elevações temporais e anormais do nível das águas.



2025

Março

	HORA	ALT(m)		HORA	ALT(m)
01 SÁB	0353	1.37	17 SEG	0412	1.24
	1038	0.28		1021	0.31
	1553	1.47		1625	1.38
	2301	0.05		2244	0.39
02 DOM	0416	1.30	18 TER	0440	1.17
	1116	0.31		1025	0.34
	1625	1.45		1659	1.30
	2351	0.20		2240	0.51
03 SEG	0446	1.21	19 QUA	0502	1.10
	1157	0.37		1031	0.38
	1702	1.38		1731	1.20
				2225	0.61
12 QUA	0202	1.24	28 SEX	0227	1.35
	0829	0.43		0851	0.20
	1351	1.30		1427	1.41
	2049	0.10		2108	-0.08
13 QUI	0225	1.30	29 SÁB	0255	1.33
	0853	0.36		0931	0.16
	1421	1.40		1501	1.47
	2116	0.10		2157	-0.03

2024

Setembro

	HORA	ALT (m)		HORA	ALT (m)
01 DOM	0115	1.2	17 TER	0208	1.3
	0824	0.1		0845	-0.1
	1415	1.2		1453	1.4
	2043	0.4		2108	0.2
02 SEG	0156	1.3	18 QUA	0239	1.4
	0858	0.0		0928	-0.1
	1443	1.3		1511	1.3
	2106	0.4		2147	0.2
03 TER	0228	1.4	19 QUI	0309	1.5
	0926	0.0		1011	0.0
	1508	1.3		1538	1.3
	2130	0.3		2224	0.2
04 QUA	0302	1.4	20 SEX	0347	1.4
	0953	0.1		1058	0.1
	1536	1.3		1600	1.2
	2151	0.3		2304	0.3
05 QUI	0334	1.4	21 SAB	0419	1.4
	1017	0.2		1149	0.3
	1600	1.3		1626	1.1
	2211	0.3		2347	0.4

Figura 5-59 – Janela para os meses de março de 2025 e setembro de 2024 da tabua de maré da Estação Ilha Fiscal.
Fonte: Elaboração própria.

5.5.2 *Periculosidade à Intrusão Salina*

A Baía de Guanabara está sujeita a fenômenos de maré como quaisquer outros corpos d'água localizados junto à costa brasileira, refletindo, assim, efeitos típicos na circulação e renovação das águas da região, bem como efeitos associados à existência de águas salobras em estuários. Neste sentido, todos os cursos hídricos em áreas mais baixas da RH-V conectados à Baía de Guanabara estão suscetíveis a sofrer com intrusão salina, necessitando-se compreender os processos que ocorrem

na região para estimar quais são as zonas de maior e de menor perigo quanto ao fenômeno.

Segundo Silva *et a*l. (2019) a região a qual se encontra a Baía de Guanabara possui maré mista, com predominância semidiurna (ocorrência de duas preamares e duas baixa-mares durante o dia) e desigualdades diurnas, com ocorrência de uma preamar e uma baixa-mar durante o dia. Em situação de maré enchente, há uma maior penetração da água marinha nos cursos hídricos locais, como, por exemplo, os Rios Iguaçu, São João de Meriti, Sarapupi, Inhomiri, Macacu e Caceribu, dentre outros. Entretanto, quando em situação de maré vazante, a salinidade diminui, diminuindo a influência da intrusão salina continente adentro.

O potencial de avanço da intrusão salina na Baía de Guanabara em direção ao continente tem também relação direta com as vazões que os estuários podem atingir, dependendo, portanto, da sazonalidade pluviométrica observada na região. Neste sentido, há uma sinergia relevante entre períodos de baixas vazões na RH-V e a existência de marés de sizígia, de forma que a intrusão salina tende a se estender de maneira mais significativa continente adentro especialmente em épocas de baixas chuvas.

Conforme apresentado na Figura 5-60, que representa o hidrograma da estação 59240000 (localizada no Rio Macacu), é possível identificar padrões sazonais nos cursos hídricos da região, havendo uma marcação relevante de períodos de altas vazões e baixas vazões. Na Figura 5-61, que mostra as vazões médias para esta mesma estação, a marcação fica mais evidente, uma vez que vazões médias que ocorrem no período de inverno tendem, para ela, a ser da ordem de 50% das vazões médias observadas durante o período do verão.

Esse comportamento dos cursos hídricos locais e especialmente do padrão pluviométrico da região é também destacado em RHA (2020), que aponta precipitações médias locais variando de cerca de 200 mm/mês no verão, a menos de 100

mm/mês no inverno. Portanto, conclui-se que processos de intrusão salina tem potencial para serem mais intensos durante os meses de inverno na RH-V, podendo nesses períodos alcançar maiores distâncias continente adentro.

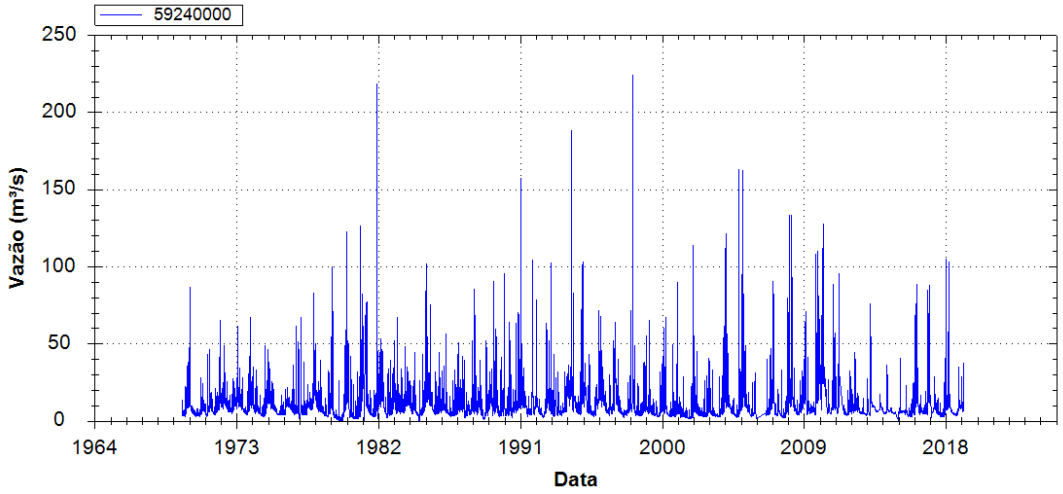


Figura 5-60 – Hidrograma da Estação Parque Ribeira (59240000) mostrando a sazonalidade das vazões registradas entre o início da década de 1970 e o ano de 2019.
Fonte: Elaboração própria.

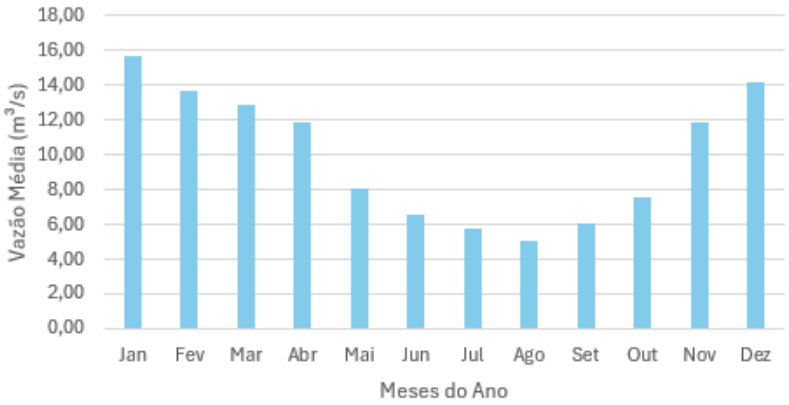


Figura 5-61 – Vazões médias para a Estação Parque Ribeira (59240000).
Fonte: Elaboração própria.

Melo *et al.* (2014) também destaca essas relações, pontuando que a dinâmica da intrusão salina no estuário dos Rios Macacu/Guapimirim é fortemente controlada pela interação entre os processos físicos da maré e da descarga de água doce dos rios que compõem a bacia hidrográfica. Durante as marés de sizígia (maior amplitude), a coluna d'água tende a ser mais homogeneizada verticalmente, devido à

maior energia gerada pelas correntes de maré, que induz uma mistura mais eficiente entre as águas doce e salina. Já durante as marés de quadratura (menor amplitude), observa-se uma forte estratificação vertical, com águas salinas se concentrando no fundo e águas doces na superfície, formando uma estrutura em cunha salina (Melo, *et al.,* 2014).

Considerando-se esta complexidade regional, o uso de resultados oriundos de simulações hidrodinâmicas e de qualidade da água para a região se fazem necessários para poder representar fisicamente os processos envolvidos. O uso de modelos matemáticos que possam representar os processos físicos locais permite o conhecimento e mapeamento das características regionais da intrusão salina locais, se fazendo fundamental para o planejamento de uso do solo e para, principalmente, a identificação de periculosidades e conservação de ecossistemas sensíveis como os manguezais. Diante do avanço de empreendimentos como o COMPERJ e da expansão urbana na RH-V, estudos como este se tornam essenciais para a tomada de decisões sustentáveis.

O mapeamento quanto à periculosidade à intrusão salina nos cursos hídricos da RH-V foi realizado a partir do uso de dados resultantes de simulações hidrodinâmicas realizadas no contexto do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, RT-07: Estudos de Avaliação da Intrusão Salina (Coppetec, 2013), que deu origem ao Relatório Síntese do CBH Baía de Guanabara (2023). Neste sentido, estas simulações procuraram identificar e delimitar ZM (para diferentes cenários) nos Rios Iguaçu/Sarapuí, Guaraí/Caceribu e Macacu/Guapimirim, que desaguam na Baía de Guanabara.

O estudo foi conduzido a partir da determinação de dois macro cenários: atual e futuro, sendo cada um deles dividido em dois outros cenários: típico e extremo. Considerando o cenário atual, as simulações foram realizadas levando em conta os seguintes critérios:

- Cenário típico: consideradas marés de sizígia e de quadratura em sinergia com condições de estiagem dos recursos hídricos e consequente baixo aporte de vazões de água doce nos estuários;
- Cenário extremo: consideradas marés de sizígia com maré meteorológica de 7 dias com altura de 0,8 m, em épocas de estiagem.

No cenário futuro (50 anos à frente), associado a efeitos de mudanças climáticas, considera-se que algumas condicionantes são alteradas, como: nível médio do mar, que é acrescido em 0,5 m em comparação com o nível médio atual, e as alturas das marés meteorológicas, que poderão chegar à 1,0 m. Também se considera que vazões de estiagem poderão ser mais baixas. Para divisão do cenário futuro em típico e extremo, considera-se, portanto:

- Cenário típico: marés de sizígia e quadratura típicas em condição de estiagem;
- Cenário extremo: marés de sizígia com maré meteorológica de 7 dias e altura de 1,0 m em épocas de estiagem.

Os resultados destas simulações são apresentados na Figura 5-62, Figura 5-63, Figura 5-64 e Figura 5-65 para os cenários atuais, enquanto a Figura 5-66, Figura 5-67, Figura 5-68 e Figura 5-69 apresentam os resultados obtidos para os cenários futuros. As simulações foram realizadas para o período de 30 dias, em todos os casos, contemplando dois períodos de maré de quadratura e de sizígia.

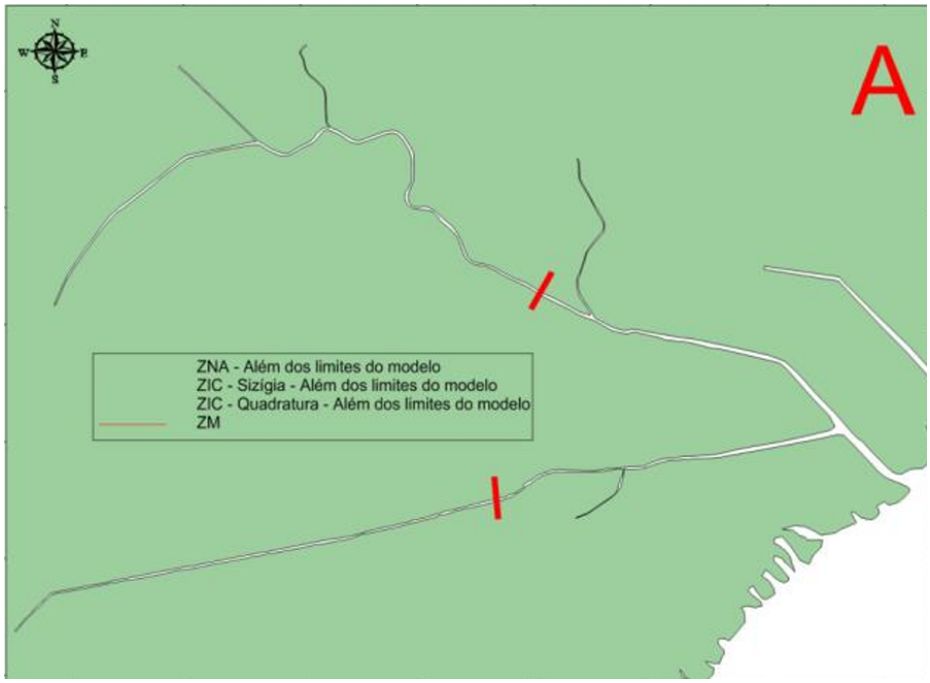


Figura 5-62 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário atual – típico).
Fonte: Coppetec (2013).

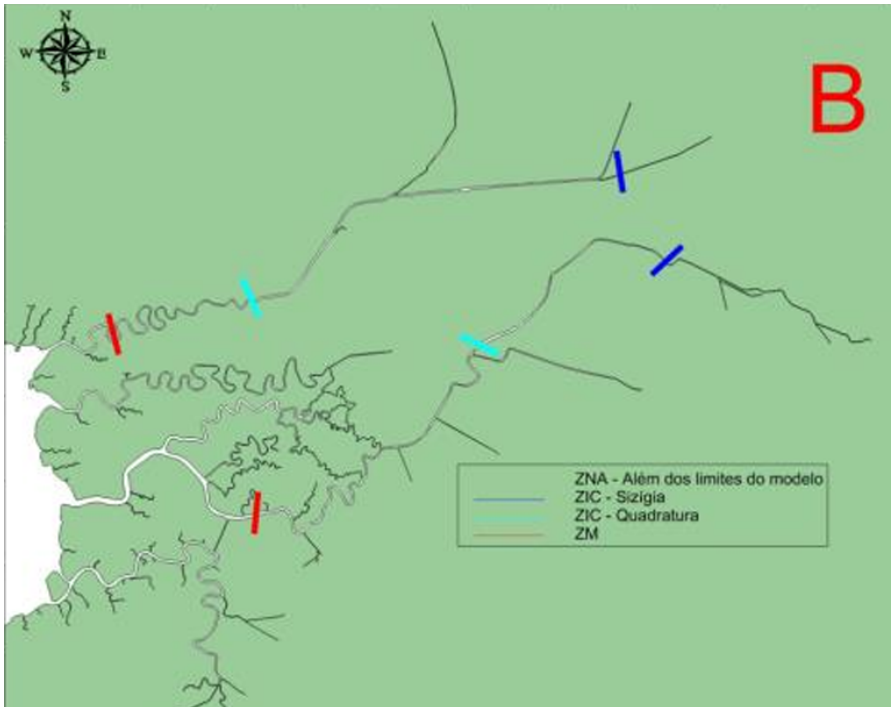


Figura 5-63 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário atual – típico).
Fonte: Coppetec (2013).

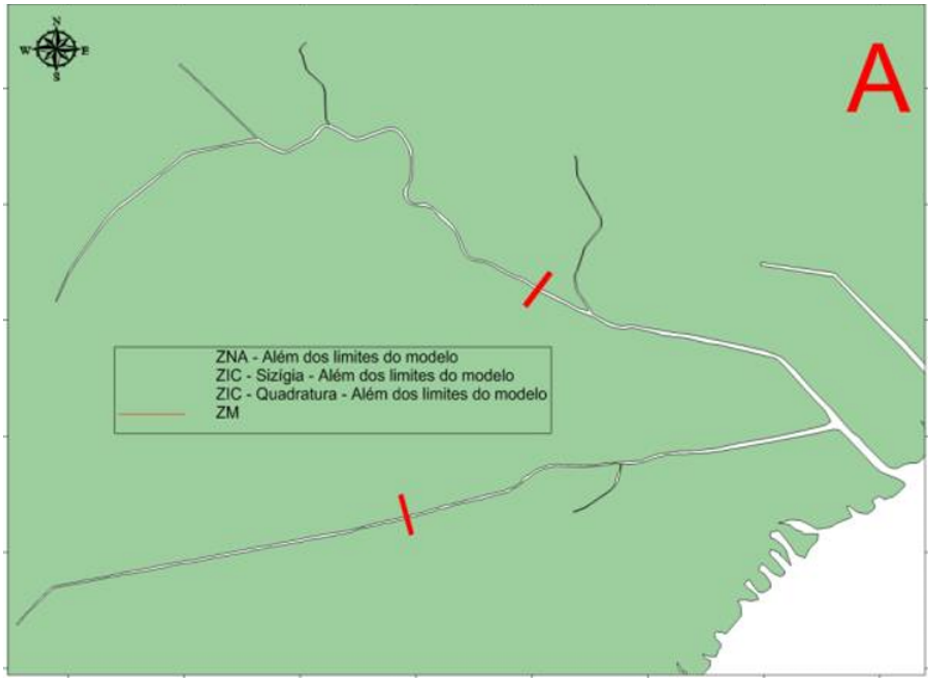


Figura 5-64 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário atual – extremo).
Fonte: Coppetec (2013).

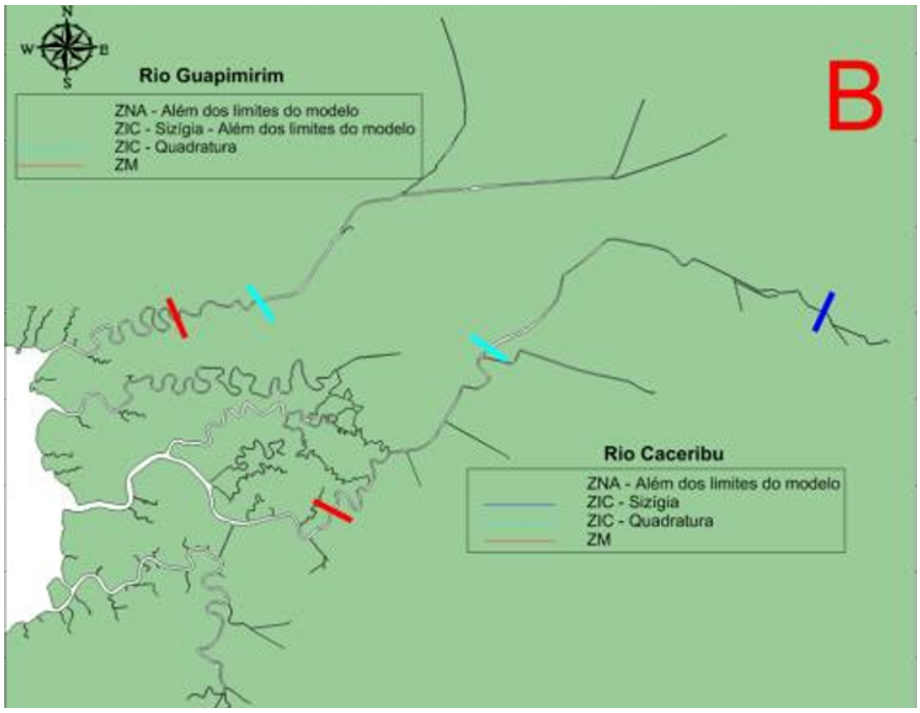


Figura 5-65 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário atual – extremo).
Fonte: Coppetec (2013).

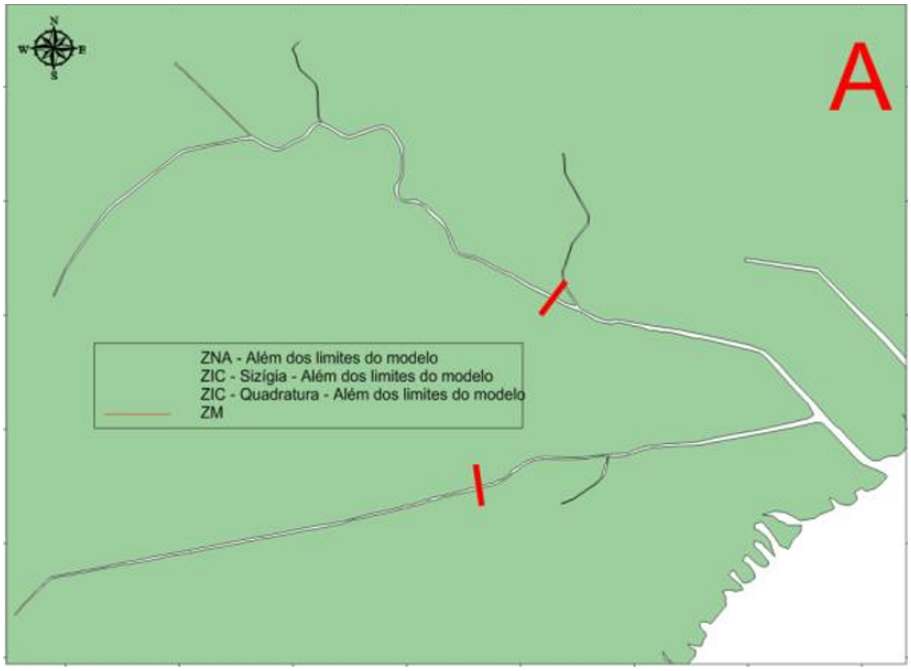


Figura 5-66 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário de 50 anos – típico).
Fonte: Coppetec (2013).

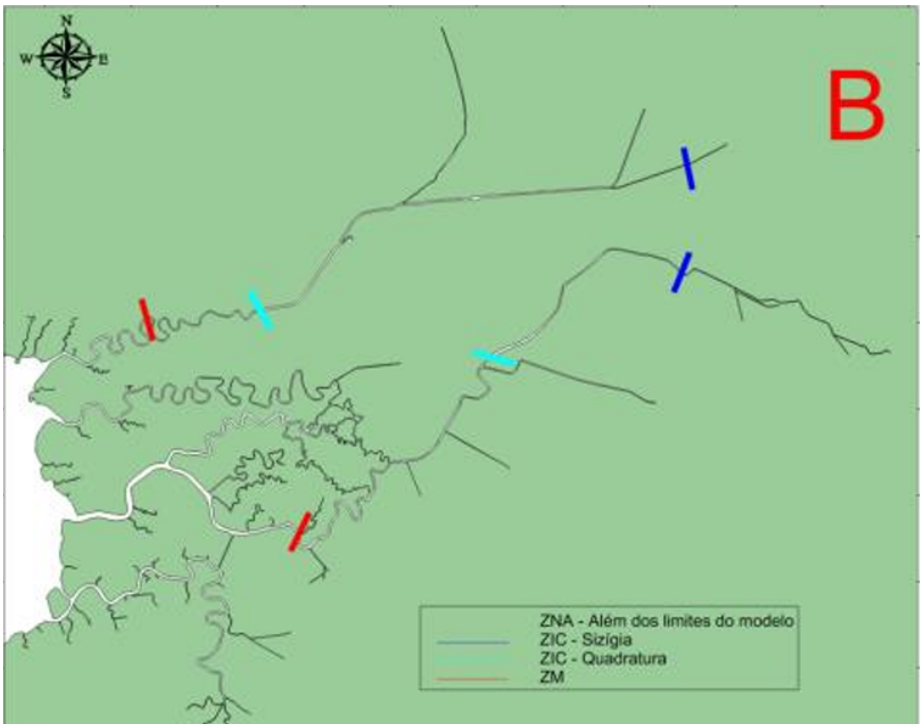


Figura 5-67 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário de 50 anos – típico).
Fonte: Coppetec (2013).

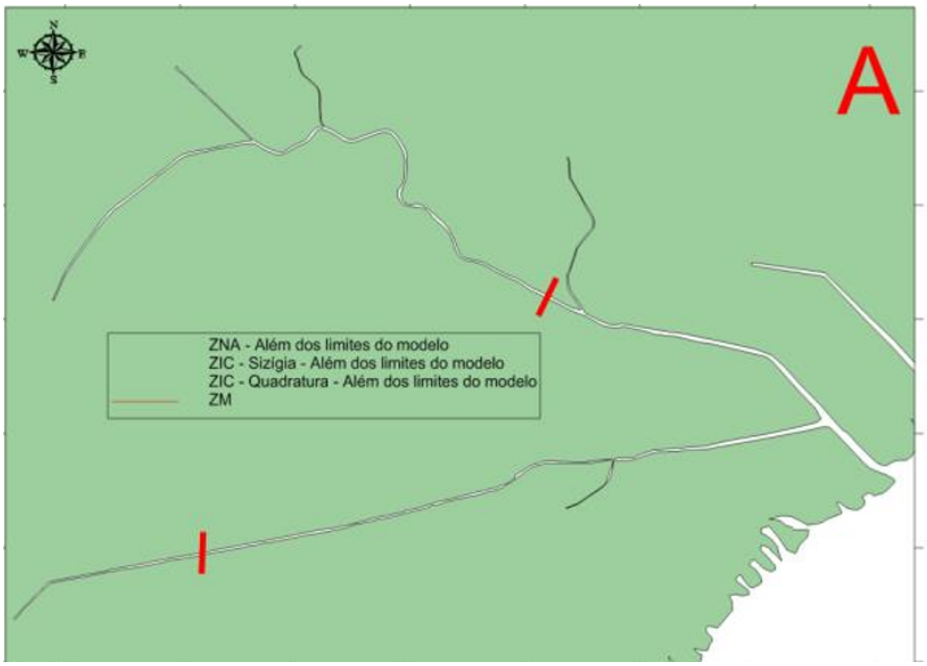


Figura 5-68 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Sarapuí e Iguaçu (cenário de 50 anos – extremo).
Fonte: Coppetec (2013).

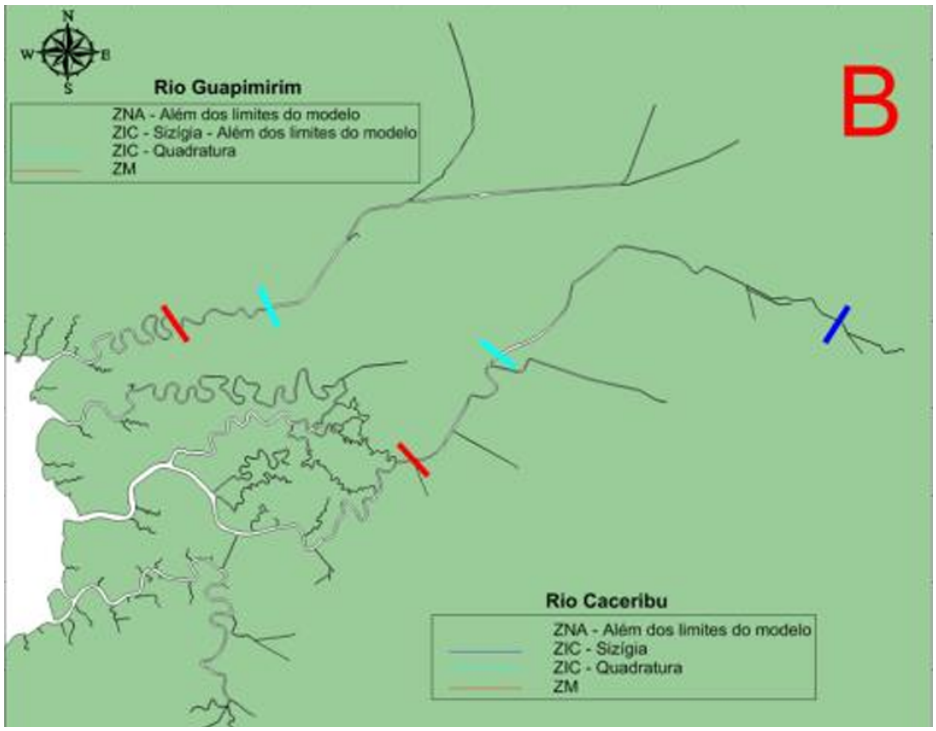


Figura 5-69 – Intrusão salina na Baía de Guanabara, nos Rios Macacu e Caceribu (cenário de 50 anos – extremo).
Fonte: Coppetec (2013).

Os dados mostram que a influência das marés, sobretudo durante períodos de sizígia, provoca um avanço expressivo das zonas de intrusão salina (ZIC e ZM) rio acima. Segundo os resultados das simulações, a comparação entre o cenário mais conservador e o mais extremo revela um avanço de até 5,5 km no Rio Caceribu, sinalizando riscos crescentes à disponibilidade de água doce (AGEVAP, 2023). O comportamento da intrusão salina simulada demonstra significativa variação espacial e temporal. Em marés de sizígia durante o período seco, a ZM pode avançar de 3 a 6 km estuário adentro. Já nas marés de quadratura, esse avanço é bem menor, variando de 0,6 e 2,5 km, dependendo da descarga fluvial nas simulações realizadas, para os rios simulados e considerando os critérios adotados.

Dessa forma, com base nos estudos realizados, procedeu-se ao georreferenciamento das imagens constantes no relatório de Coppetec (2013) com o objetivo de se identificar e delimitar as ZM e a ZIC nos cursos hídricos simulados. A partir deste georreferenciamento, as ZM e ZIC de outros cursos hídricos foram preliminarmente estimadas a partir da adoção de uma metodologia simplificada que levou em conta unicamente dados topográficos representados pelo MDE utilizado (ANADEM), que conta com 30 m de resolução espacial, considerado satisfatório para a escala do estudo. Essa metodologia simplificada, destaca-se, é fundamentada unicamente na identificação, no MDE de referência, das cotas aproximadas associadas aos limites da ZM e da ZC nos cursos hídricos modelados. Posteriormente essas cotas são utilizadas para ranquear (para toda a RH-V) cursos hídricos submetidos a diferentes níveis de perigo, partindo do seguinte critério: cursos hídricos de áreas muito planas e baixas, próximos do oceano, tem maior probabilidade de sofrerem com processos de intrusão do que trechos de rios mais distantes e de maior altitude.

Neste sentido, mesmo que a metodologia aplicada desconsidere processos físicos relevantes quanto à mensuração da intrusão salina, em especial as vazões dos cursos hídricos, destaca-se que o objetivo de sua aplicação não recai sob à busca da localização exata de trechos de grande periculosidade quanto à intrusão, mas sim, à estimativa precoce e inicial de trechos que podem ter periculosidade quanto à intrusão salina, separando trechos menos perigosos de trechos mais perigosos.

Portanto, via de regra, a aplicação desta metodologia simplificada de ranqueamento de trechos de rios quanto à periculosidade à intrusão considera, indiretamente, que as vazões de estiagem de cursos hídricos associados a pequenas bacias hidrográficas não simulados por Coppetec (2013) associados a pequenas bacias hidrográficas, são similares às vazões de estiagem ($Q_{7,10}$) de grandes cursos hídricos simulados pelo SisBahia. Em outras palavras, pode-se considerar que, para pequenas bacias hidrográficas, os resultados obtidos poderiam ser válidos não para vazões de estiagens (condições mais críticas), mas para condições menos críticas para o processo de intrusão, associadas a vazões maiores de outros pontos da curva de permanência. Portanto, em decorrência da carência de dados, salienta-se que essa metodologia pode subestimar o avanço da intrusão salina em trechos não simulados por Coppetec (2013), uma vez que ela procura representar a existência desse processo em condições não extremas, para rios associados a pequenas bacias hidrográficas.

Tendo em vista o exposto, estabeleceu-se um ranqueamento de periculosidade quanto à intrusão que variou de 1 a 5, sendo a nota 5 atribuída à maior periculosidade e a nota 1 à menor, conforme os intervalos de cota apresentados na Tabela 5-47. Os intervalos de cotas vinculados às notas foram obtidos a partir da consideração que a ZM para o cenário atual típico varia de 0,0 a 0,5 m no MDE, associada, portanto, a notas de 5 a 3. Em se tratando do cenário atual extremo, quando vazões de estiagem com pouca probabilidade de ocorrência são consideradas, as cotas do MDE aproximadas associadas à marcação da ZM são da ordem de 0 a 0,9 m, vinculando-se de modo conservador à nota de periculosidade igual à 2 para a faixa que varia de 0,5 a 1,0 m. Por fim, o valor de 2,0 m foi conservadoramente considerado a partir da premissa de que variações típicas da maré astronômica da Baía de Guanabara estão na ordem de 1,0 m, com valores máximos observados sendo da ordem de 1,5 m, conforme apresentado na Figura 5-59.

Tabela 5-47 – Classificação da intrusão salina para a RH-V.

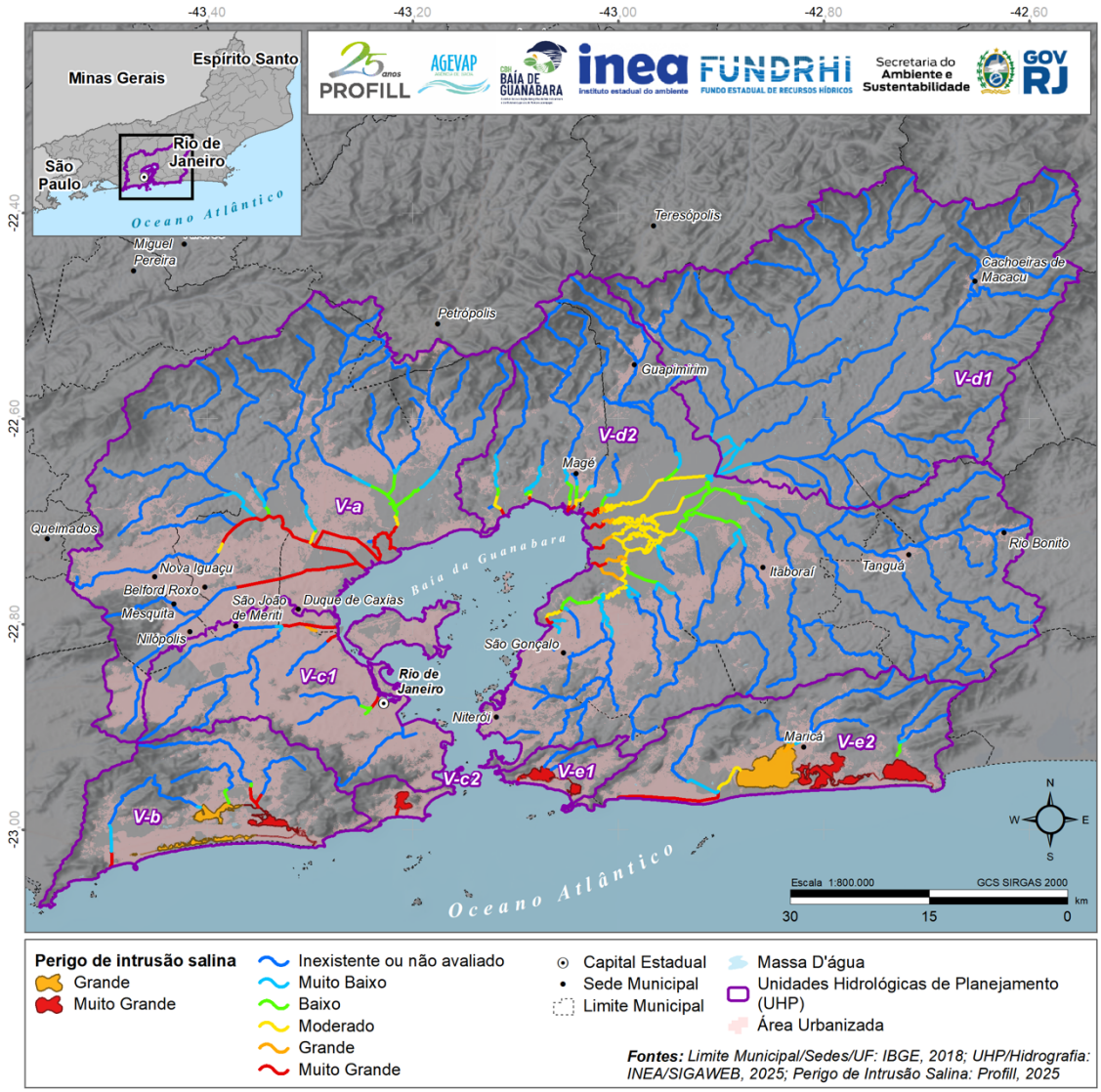
Cota	Nota de Periculosidade
Inferiores a 0,10 m	5
Entre 0,10 e 0,25 m	4

Cota	Nota de Periculosidade
Entre 0,25 e 0,50 m	3
Entre 0,50 e 1,00 m	2
Entre 1,00 e 2,00 m	1

Fonte: Elaboração própria.

A partir desses critérios, e considerando-se o MDE de referência, foi gerada uma reclassificação desse *dataset* topográfico considerando os limites anteriormente apresentados, para posteriormente classificar os grandes cursos hídricos da RH-V passíveis de visualização na escala de trabalho. De forma similar, e fundamentado nas observações de RHA (2020), os sistemas lagunares da RH-V também foram classificados quanto a sua periculosidade à salinidade, de forma conservadora.

Para tal, utilizou-se como base para a classificação a proximidade desses sistemas com o mar, conexões diretas associadas, taxas de renovação das águas e classificações quanto à salinidade desses corpos hídricos, fundamentando-se também na metodologia anteriormente exposta associada ao uso de cotas do MDE de referência. O Mapa 5-93 apresenta estes resultados para a RH-V, podendo-se observar que os trechos de maior periculosidade avaliados se concentram nas regiões localizadas em áreas próximas ao oceano e à baía, onde a salinidade é naturalmente mais elevada. Em direção a montante dos cursos hídricos, a periculosidade tende a diminuir em função da diluição provocada pelo aporte de água doce dos rios, que se mistura gradativamente com a água salgada marinha.



Mapa 5-93 – Mapa de perigo à intrusão salina nos cursos hídricos da RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Conforme pode ser observado, ressalta-se que a metodologia simplificada para ranqueamento de periculosidade quanto à intrusão para a RH-V foi capaz de identificar zonas de interesse mapeadas a partir do uso de simulação hidrodinâmica para os Rios Macacu, Caceribu, Sarapuí e Iguaçu, ranqueando-as como áreas de "muito alto perigo", "alto perigo" ou "perigo moderado". Esse resultado reflete uma abordagem assertiva da metodologia preliminar aplicada, embora diversos fatores agreguem incerteza aos resultados. Dentre esses fatores, podem ser citados os critérios adotados quanto às vazões dos corpos hídricos de água doce, e as incertezas

associadas ao modelo digital de referência utilizado, bem como a sua acurácia e precisão vertical.

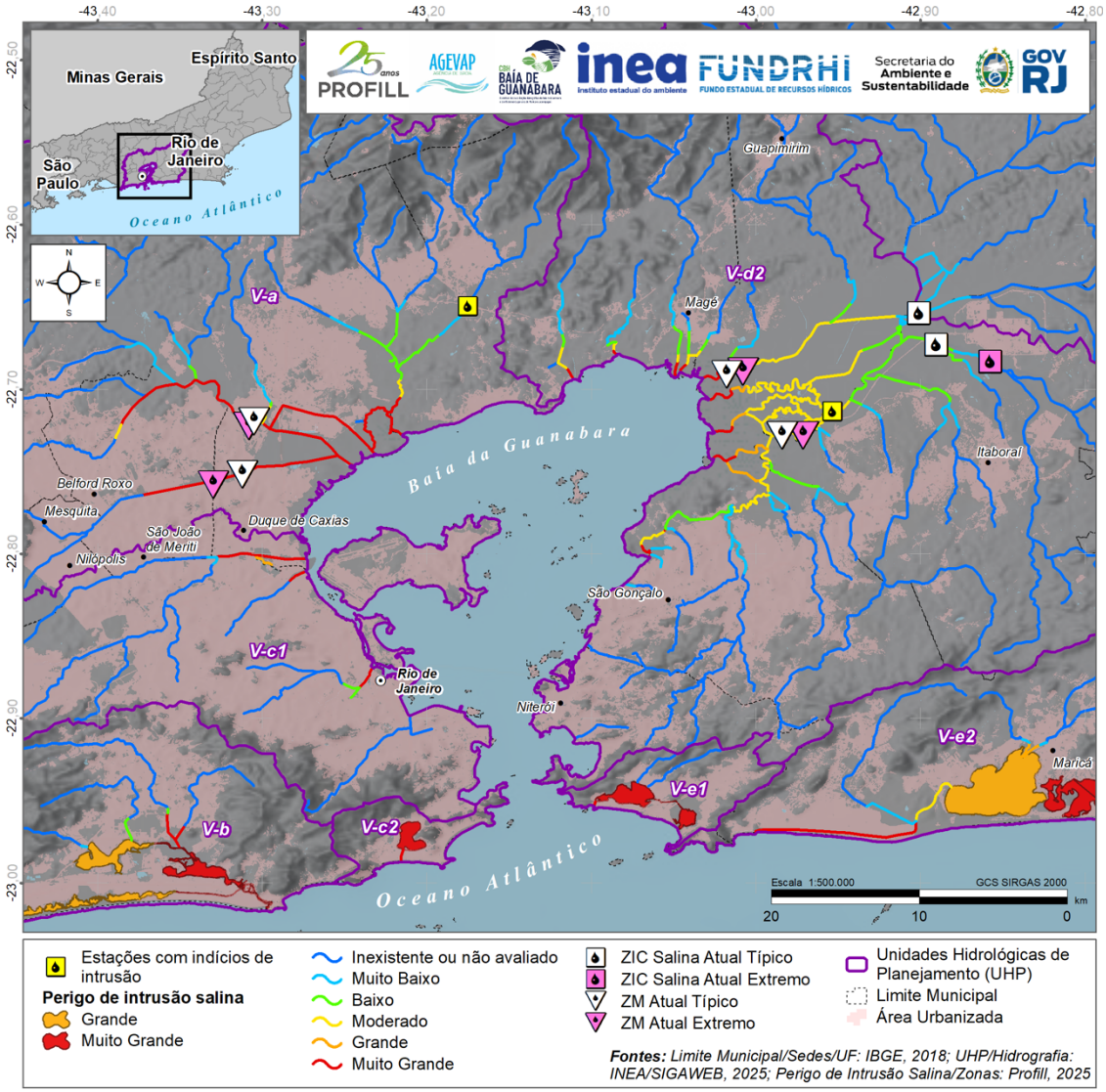
Dessa forma, reconhece-se que, em alguns cursos hídricos que estavam fora do escopo de simulações de Coppetec (2013) e que foram aqui avaliados, a periculosidade quanto à intrusão salina pode estar subestimada. Sugere-se, portanto, que futuramente novos estudos sejam realizados considerando dados topográficos e batimétricos precisos, bem como dados hidrológicos atualizados, abrangendo-se todos os grandes cursos hídricos da RH-V.

5.5.3 *Validação de Resultados*

O mapeamento da periculosidade de cursos hídricos quanto a processos de intrusão salina foi, também, validado a partir da comparação dos resultados obtidos com dados oriundos de modelagem (Coppetec, 2013) e dados de qualidade associados à salinidade das águas medidos *in situ* por estações locais, previamente apresentados no capítulo 5.5.1. Esta validação é apresentada no Mapa 5-94, que mostra em conjunto com a classificação de cursos hídricos quanto à periculosidade, alguns pontos de interesse, como estações cujos dados de qualidade da água apontam fortemente para existência de processos de intrusão relevantes, e pontos associados à ZM e à ZIC referentes ao cenário atual do estudo de simulação de qualidade da agua para a Baía de Guanabara (Coppetec, 2013).

Conforme pode ser observado, a metodologia preliminar aqui utilizada foi capaz de identificar cursos hídricos que potencialmente sofrem com processos associados à intrusão salina, segundo dados obtidos junto às estações de monitoramento, e que não fizeram parte das simulações de Coppetec (2013). Da mesma forma, também foi capaz de classificar de modo conservador aqueles trechos em que as simulações de Coppetec (2013) aponta como sendo de alta periculosidade para processos de intrusão salina, entendendo-se esses trechos como aqueles a jusante das marcações identificadas como sendo os limites de montante das ZM calculadas. Portanto, os dados de qualidade da água referentes aos níveis de salinidade inferidos

para estações localizadas próximas aos cursos hídricos classificados mostraram-se coerentes com a classificação adotada.



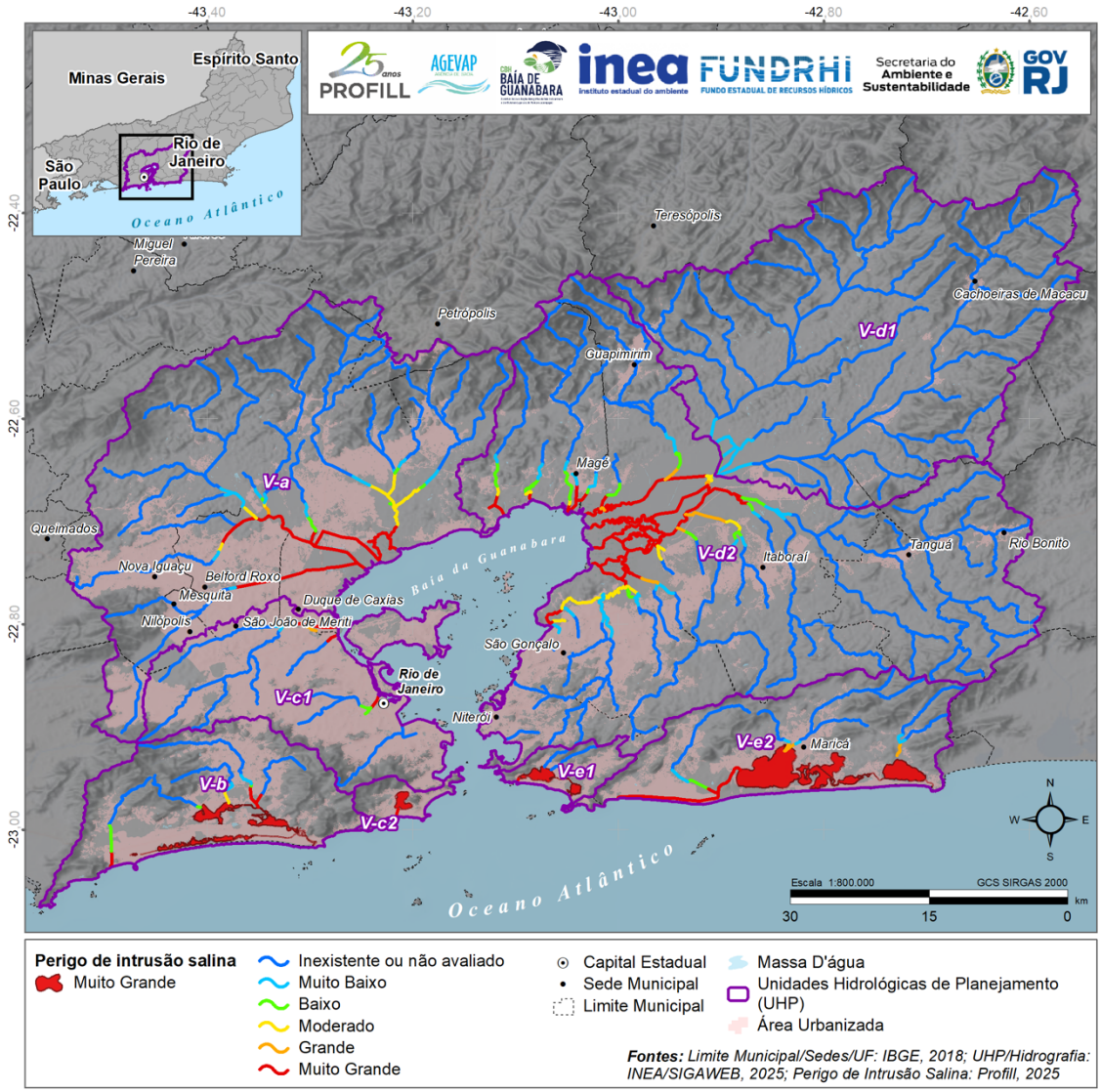
Mapa 5-94 – Validação da metodologia aplicada para identificação da periculosidade local quanto à intrusão salina.
Fonte: Elaboração própria.

5.5.4 *Cenário Futuro*

Neste capítulo são apresentadas estimativas de como cenários de mudanças climáticas podem impactar a periculosidade dos trechos da RH-V quanto à intrusão salina. Neste contexto, destaca-se que considerando a ausência de dados

mais consistentes e precisos para a região (conforme observado anteriormente), para a realização destes cálculos foi aplicada a mesma metodologia preliminar anteriormente descrita, com a diferença de se ter acrescido 0,5 m nas cotas-limites associadas à nota da periculosidade. Esse valor foi definido como critério considerando que nos cenários futuros apresentados em Coppetec (2013) utilizou-se essa magnitude como estimativa de acréscimo de nível do mar em cenários futuros.

Da mesma forma como anteriormente apresentado, por outro lado, a localização das ZM e ZIC futuras obtidas por meio de simulação de qualidade da água em cenário de mudanças climáticas também foram consideradas neste processo. Os resultados são apresentados no Mapa 5-95, que mostra uma extensão de trechos de maior periculosidade registrados na RH-V, quando comparados ao cenário presente. Do mesmo modo, observa-se ou a manutenção da nota de periculosidade ou o aumento da mesma, para os trechos que já estão na zona de suscetibilidade mapeada para o cenário presente.



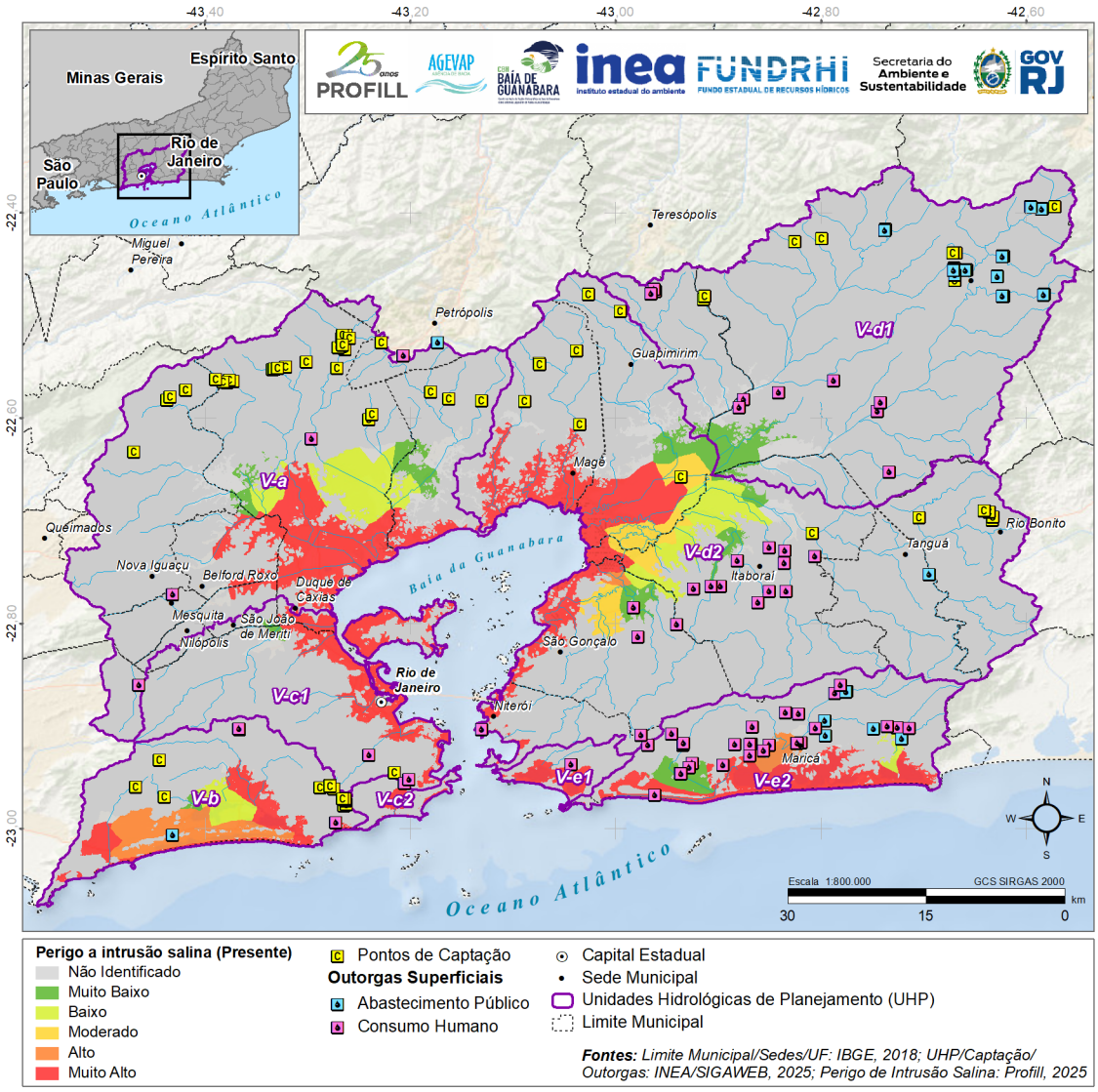
Mapa 5-95 – Expectativa de periculosidade quanto à intrusão salina no cenário futuro para a RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

5.5.5 *Intrusão Salina e Infraestrutura Hídrica*

A avaliação do perigo à intrusão salina na RH-V foi também realizada no contexto de sub-bacias, a partir da identificação da periculosidade máxima de cada curso hídrico e do repasse dessa nota de perigo para cada sub-bacia[20] associada. Essas sub-bacias, ranqueadas quanto à periculosidade para o presente, foram então

[20]Obtida a partir da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas (BHO, 2017) da ANA para a RH-V

correlacionadas com a localização de infraestruturas de abastecimento de água, visando-se identificar o risco potencial da RH-V quanto a processos de intrusão salina atingirem pontos de captação da CEDAE. Também foram correlacionadas com pontos de outorga de uso da água vinculados à captação para abastecimento público e para consumo humano. Os resultados dessa avaliação são apresentados no Mapa 5-96.



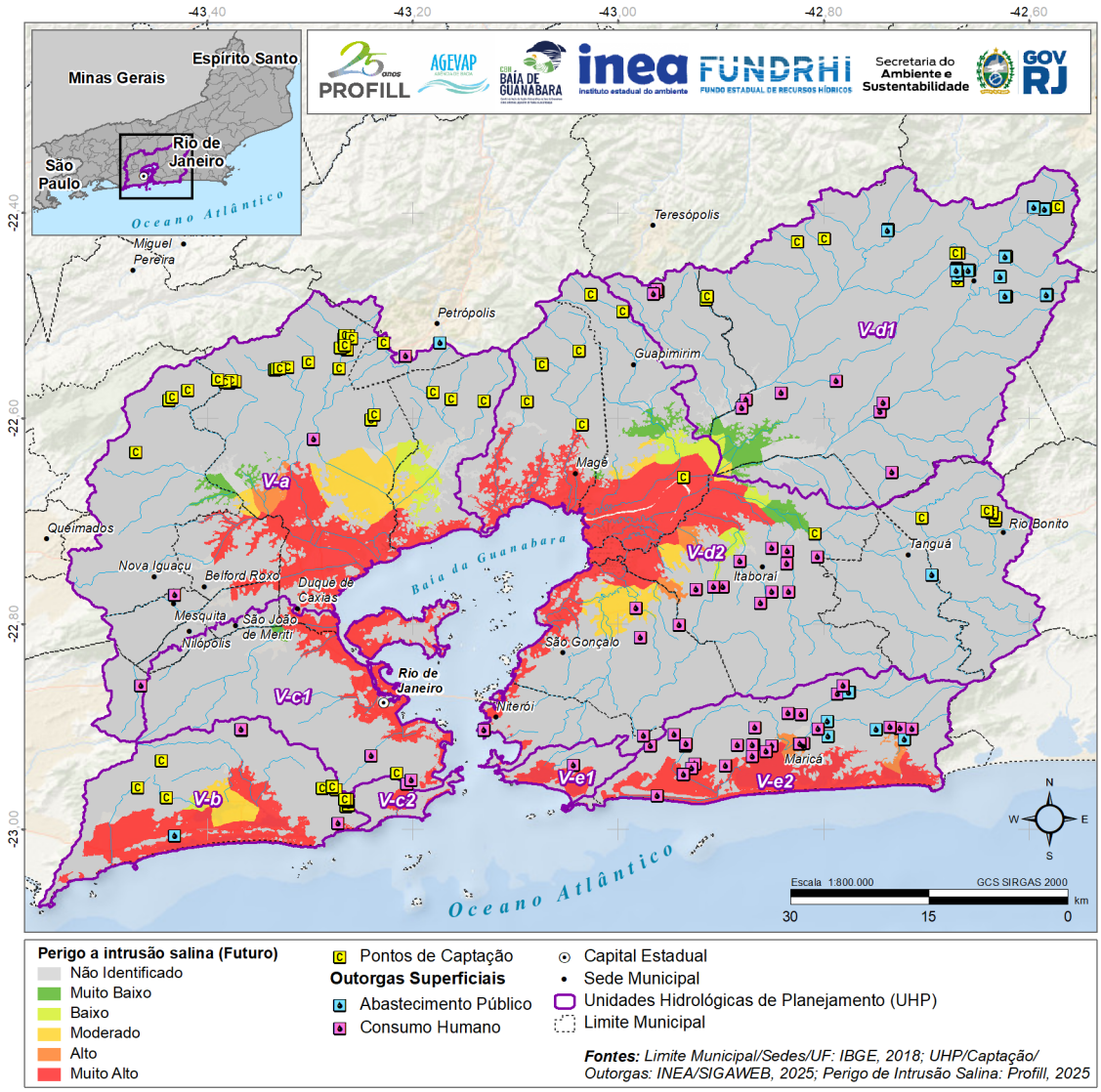
Mapa 5-96 – Mapa de perigo quanto à intrusão salina no cenário presente e infraestrutura hídrica na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

No total, foram identificados 171 pontos de interesse, sendo 90 vinculados a outorgas referentes à captação para consumo humano e abastecimento, e 81 pontos de captação de sistemas públicos de abastecimento. Desse conjunto, 48 pontos (aproximadamente 28% do total) encontram-se inseridos em áreas classificadas como de perigo elevado para a ocorrência de intrusão salina no presente, evidenciando situações críticas já em andamento. Da infraestrutura hídrica pública avaliada, entretanto, 17 pontos de captação (dentre os 81) se encontram em sub-bacias com alguma periculosidade para intrusão salina calculada, o que corresponde a uma ordem de 20% do total desses pontos. Entretanto, cabe ressaltar que, avaliando-se localmente estes pontos, a partir dos trechos ranqueados (e não a partir das sub-bacias), observa-se que apenas o ponto de captação da CEDAE localizado no Município de Guapimirim (no Rio Macacu), está localizado em trecho cuja periculosidade para intrusão salina é existente. Outra estação da CEDAE, localizada no Rio Doce (Município de Maricá), ressalta-se que também está bastante próxima do fim de um trecho mapeado como sendo de muito baixa periculosidade para intrusão salina.

Esse resultado indica que, embora parte relevante dos pontos de outorga avaliados estejam em áreas propensas a sofrer com esses processos, os pontos de captação por parte das companhias de saneamento, em geral estão protegidos quanto à intrusão salina. Ainda, ressalta-se o ponto de captação da CEDAE no Sistema Imuana Guapimirim, localizado no Rio Macacu, que embora esteja em uma área propensa para intrusão salina, possui uma pequena soleira para a proteção a eventos dessa natureza que poderiam vir a impactar na qualidade das águas captadas na estação. Também se destaca que a distribuição espacial dessas captações mostra que a vulnerabilidade atual não está restrita a um único setor da RH-V, mas se estende a diferentes trechos, com maior intensidade nas áreas próximas ao estuário da Baía de Guanabara. Nessas regiões, a influência estuarina e as pressões antrópicas já favorecem o avanço da cunha salina, podendo impactar diretamente a disponibilidade e a qualidade da água destinada ao abastecimento, caso medidas estruturais adequadas não sejam feitas.

Importante destacar também que o risco de salinização das águas dos principais cursos hídricos que compõe a Baía de Guanabara pode estar subestimado, considerando os critérios adotados e premissas associadas, conforme demonstrado anteriormente. Nesse sentido, se faz relevante a manutenção de um sistema de monitoramento contínuo, uma vez que mudanças climáticas, variações hidrológicas e pressões antrópicas adicionais podem alterar a dinâmica estuarina e ampliar a extensão das zonas de risco no futuro.

Ainda, destaca-se que essa análise também foi realizada para o cenário futuro. Conforme pode ser observado no Mapa 5-97 verifica-se uma ampliação das áreas classificadas com maior perigo, especialmente em trechos próximos ao estuário da Baía de Guanabara e ao longo de cursos hídricos que apresentam forte influência das marés. Essa intensificação do risco decorre, principalmente, de possíveis efeitos associados às mudanças climáticas, que tendem a favorecer o avanço da cunha salina sobre os corpos hídricos no cenário de aumento do nível do mar.



Mapa 5-97 – Mapa de perigo quanto à intrusão salina no cenário futuro e infraestrutura hídrica na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

No conjunto analisado, permanecem os anteriormente identificados 171 pontos de interesse, associados tanto a captações vinculadas a outorgas como a pontos de captação por parte de companhias de saneamento. No cenário futuro, 55 pontos (aproximadamente 32% do total) passam a se encontrar em áreas de perigo elevado, representando um crescimento em relação à situação presente, de modo que 48 captações (28% do total) já estavam inseridas em zonas críticas. Esse acréscimo de sete novas estações em áreas de risco elevado indica um agravamento da vulnerabilidade, uma vez que é esperada a expansão das zonas de influência da salinidade

sobre os pontos de captação. A análise espacial dessas regiões mostra que a distribuição dessas captações, localizadas em sub-bacias de risco elevado, mantém forte concentração nas áreas litorâneas e estuarinas, mas também avança sobre regiões que, no presente, encontram-se sob menor perigo.

Por outro lado, do mesmo modo como a análise realizada para o cenário presente, apenas os mesmos dois pontos de captação anteriormente citados se mantêm em zonas de periculosidade quanto à intrusão, salientando-se o ponto de captação do Rio Macacu, que tem sua nota de periculosidade intensificada, passando de perigo "moderado" no cenário presente para perigo "muito alto" no futuro, segundo as premissas adotadas.

5.6 MOVIMENTOS DE MASSA

Tipicamente, movimentos de massa se referem a processos naturais envolvendo escorregamentos de material rochoso que ocorrem nas escarpas dos terrenos declivosos, sendo definidos como todo e qualquer movimento que envolva materiais terrosos e/ou rochosos que sofram deslocamentos movidos sempre pelo agente da gravidade (Popp, 2007). No que tange aos tipos de movimentos gravitacionais de massa, podem ser considerados os deslizamentos, os rastejos e as corridas de massa. Dentre estes, ganham relevância devido ao alto potencial de destruição os deslizamentos e as corridas de massa.

Segundo Brasil (2014), por deslizamento entende-se o movimento gravitacional caracterizado pela alta velocidade com que ocorre, desenvolvendo-se em encostas com declive e amplitude média a alta, geralmente ocasionado por eventos de precipitação intensa. Já o rastejo configura-se como um movimento relativamente lento em comparação ao processo anterior, podendo ocorrer até mesmo em terrenos de baixa declividade. E, em razão do deslocamento em baixa velocidade, é possível identificar no terreno feições de instabilidade como trincas no solo, degraus e deformações da superfície.

Adicionalmente, o autor afirma que as corridas de massa podem ser compreendidas como movimentos gravitacionais de maior complexidade por possuírem alta energia de transporte, caracterizando-se por fluxos concentrados de blocos rochosos, troncos vegetais, além da concentração de sedimentos de diferentes granulometrias. Este tipo de movimento gravitacional tem forte relação com a ocorrência de precipitações intensas (Brasil, 2014).

A alta pluviosidade constitui, portanto, um dos principais fatores que provocam movimentos de massa em terrenos declivosos com condições críticas ao equilíbrio (Popp, 2007). Diante do exposto, neste capítulo são mapeadas as áreas da RH-V quanto à periculosidade à ocorrência de movimentos de massa, iniciando-se essa análise a partir do levantamento de desastres históricos envolvendo à temática para a região.

5.6.1 *Registros Históricos e Dados Existentes*

Ao longo da história, diversos foram os movimentos de massa registrados em municípios que compõem a RH-V, conforme dados mapeados por AGEVAP (2024) e complementados por AGEVAP (2025). Na Tabela 5-48 é possível verificar esses dados, que mesclam informações de Coppetec (2014) com dados obtidos a partir do portal S2ID no que se refere aos decretos reconhecidos.

Tabela 5-48 - Histórico de desastres associados a movimentos de massa nos municípios que compõem a RH-V.

Município	Percentual na RH-V	Ocorrências	Fora de Casa	Mortes	Afetados	Decretos Reconhecidos
Belford Roxo	100%	2	986	2	57.132	1
Cachoeiras de Macacu	94%	5	35	0	53	-
Duque de Caxias	99%	1	88	0	88	-
Guapimirim	100%	10	26	3	66	-
Itaboraí	100%	1	1.624	0	1.624	-
Magé	100%	2	1.021	5	39.500	2
Maricá	95%	1	32	0	32	-
Mesquita	100%	0	8	0	8	-
Nilópolis	100%	3	60	1	84	1
Niterói	99%	6	304	15	304	-
Nova Iguaçu	50%	2	9	4	14	-

Município	Percentual na RH-V	Ocorrências	Fora de Casa	Mortes	Afetados	Decretos Reconhecidos
Petrópolis	5%	-	-	-	-	4
Rio Bonito	43%	3	255	0	259	-
Rio de Janeiro	60%	9	5.692	75	1.000.000	1
São Gonçalo	100%	12	502	0	767	1
São João de Meriti	100%	2	102	1	6.937	1
Tanguá	100%	3	6.276	0	5.5010	-

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados apresentados, é possível verificar números que, embora contrastantes em termos de totalidade de ocorrências e de decretos reconhecidos, ilustram a problemática da região em relação a movimentos de massa. Segundo estes dados, referentes ao período que vai de 2000 a 2020 (para as ocorrências, estimativa de pessoas que tiveram que ficar fora de suas casas, mortes e afetados) e referentes ao período de 1991 a 2024 para decretos reconhecidos, estima-se que ao menos um total de 62 ocorrências associadas a movimentos de massa já foram registradas em municípios que fazem parte (de forma total ou parcial) da RH-V.

Um dos casos mais antigos que se tem notícia a respeito de ocorrência de deslizamentos para áreas que fazem parte da RH-V é referente ao ano de 1966, quando uma grande enxurrada vitimou mais de 200 pessoas e deixou mais de 30.000 desabrigados na cidade do Rio de Janeiro, segundo noticiado na mídia (O Globo, 2013). A mesma matéria destaca, ainda, desastres associados a deslizamentos e inundações em eventos que ocorreram nos anos de 1967, 1988 e 1996.

O município do Rio de Janeiro também registrou, segundo seu Plano de Contingência Municipal (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2024), diversos registros de movimentos de massa (da ordem de 50) nos últimos 5 anos, o que reforça a importância de mapeamento da periculosidade das áreas do munícipio. De modo similar, em Nova Iguaçu, o Plano de Contingência Municipal aponta que de 2013 a 2021 foram registradas 177 moradias afetadas com eventos relacionados a deslizamentos, impactando 634 pessoas. Para São Gonçalo, por outro lado, Bertolino *et al.* (2012) destaca que até 2007, mais de 400 casos envolvendo deslizamentos no município haviam sido

historicamente registrados, o que ilustra o problema associado à subnotificação de ocorrência de deslizamentos para órgãos de fiscalização.

Para o município de Mesquita, segundo o seu Plano Municipal de Contingência, diversos eventos relacionados a movimentos de massa foram observados. Em janeiro de 2024, por exemplo, registrou-se que comunidades assentadas em encostas padeceram com as consequências das intensas chuvas e de deslizamentos. O mesmo ocorreu em abril de 2022, devido às fortes chuvas que chegaram a atingir um volume acumulado de 279 mm. Neste evento, registrou-se deslizamentos que impactaram residências e geraram necessidade de realocação de famílias para abrigos públicos, gerando, inclusive, vítimas fatais.

Registros relevantes associados a movimentos de massa também são observados no Plano de Contingência Municipal de Rio Bonito, que aponta que em dezembro de 2021, janeiro de 2022 e abril de 2022 o município sofreu com altos índices pluviométricos, causando deslizamentos que atingiram residências, derivando relevante impacto socioeconômico. Outro evento histórico nesse município ocorreu em 2008, quando foram registradas ocorrências de deslizamentos associadas a vítimas fatais.

O município de Cachoeiras do Macacu também tem registro histórico de movimentos de massa, uma vez que parte do seu território se encontra em áreas suscetíveis a deslizamentos. Conforme notícia vinculada na mídia (Multiplix, 2019), fortes chuvas que ocorreram em 2019 resultaram em deslizamentos que causaram danos socioeconômicos e necessidade de realocação de pessoas.

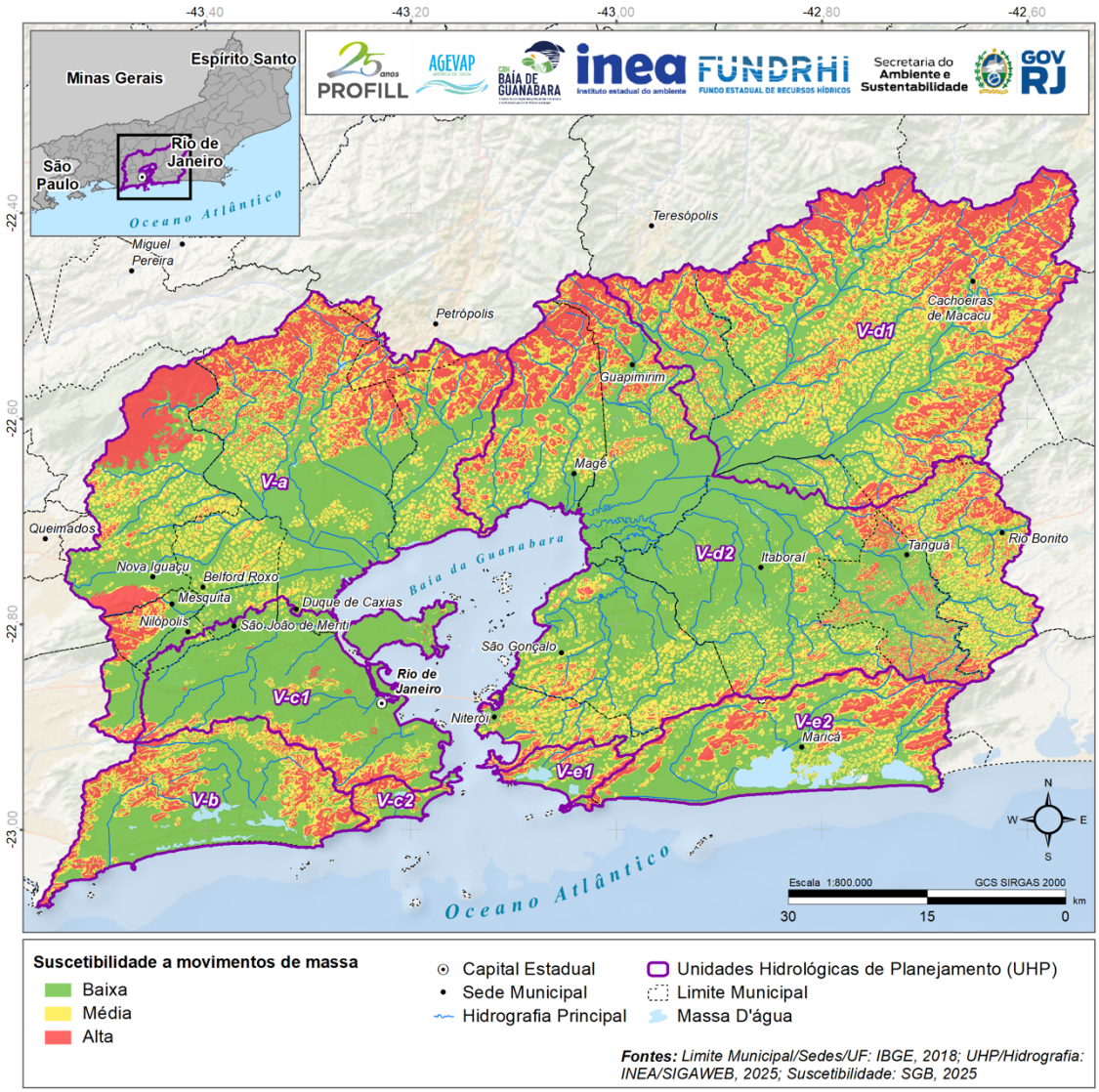
Foi no município de Niterói, no ano de 2010, entretanto, que se tem registro de um dos mais trágicos eventos de movimentos de massa registrados em áreas da RH-V. Na ocasião, ocorreu o deslizamento do Morro do Bumba, um antigo lixão desativado, que cedeu após fortes chuvas, soterrando dezenas de casas e resultando em 43 mortes (G1, 2025). Destaca-se, por fim, a existência de comunicados municipais relatando deslizamentos de terra em regiões propícias a esses eventos nos municípios que compõem a RH-V, como pode ser observado para o município de Duque

de Caxias, em aviso de entrada do município em Estágio de Atenção (Duque de Caxias, 2025).

Considerando o histórico, não só regional, mas também nacional, associado a desastres decorrentes de movimentos de massa, a identificação de zonas suscetíveis à ocorrência deste tipo de processo foi foco de um extenso mapeamento nacional realizado pelo SGB, cujo projeto foi chamado de “Cartografia de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações” e cuja aplicação foi feita para diversos municípios brasileiros[21]. Neste projeto, que também contemplou os municípios da RH-V, foi mapeada a interação entre fatores como declividade, características geológicas, uso e cobertura do solo, e condições geomorfológicas para identificar zonas suscetíveis a movimentos de massa.

As áreas foram classificadas com de "alta", "média" e "baixa" suscetibilidade a movimentos de massa. Zonas de "alta" suscetibilidade correspondem predominantemente a setores de relevo montanhoso e escarpado, onde a combinação de elevada inclinação e maior fragilidade geotécnica favorece a ocorrência de processos de desestabilização de encostas. As áreas de suscetibilidade "média" localizam-se em faixas de transição entre terrenos acidentados e porções de relevo suavizado, refletindo condições intermediárias de estabilidade. Já as áreas de "baixa" suscetibilidade concentram-se nas planícies costeiras e nas zonas de relevo menos acentuado, onde o potencial de movimentos gravitacionais de massa é reduzido. Esse mapeamento preliminar para a RH-V é apresentado no Mapa 5-98.

[21] https://www.sgb.gov.br/cartografia-de-suscetibilidade



Mapa 5-98 – Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na RH-V com base no estudo de SGB (2025).
Fonte: Elaboração própria.

A análise da suscetibilidade a movimentos de massa por UHPs evidencia diferenças significativas entre as áreas, em função das condições geomorfológicas predominantes. Por exemplo, a UHP do Rio Macacu (V-d1), apresenta amplo predomínio de setores com suscetibilidade "alta" e "média", sobretudo em áreas serranas e escarpas, configurando-se como uma das mais críticas em termos de instabilidade. Em contraste, a UHP dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (V-d2) mostra grandes extensões de "baixa" suscetibilidade associadas a planícies e

relevo suavizado, ainda que apresente setores pontuais de suscetibilidade "média" e "alta" em suas bordas.

As UHPs Lagoas de Niterói (V-e1) e Sitema Lagunar de Maricá (V-e2), por sua vez, exibem um padrão heterogêneo, combinando áreas planas de "baixa" suscetibilidade, com setores fragmentados de "média" e "alta" em encostas. Já as UHPs dos Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão (V-c1) e Lagoa Rodrigo de Freitas (V-c2) apresentam prevalência de suscetibilidade "baixa" em planícies e áreas costeiras, mas diferem pela maior presença de setores contínuos de suscetibilidade "média" e trechos pontuais definidas como "alta" suscetibilidade (V-c2), associados à proximidade de áreas serranas.

Da mesma forma, a UHP dos Rios Iguaçu e Saracuruna (V-a) concentra áreas expressivas de "alta" suscetibilidade à noroeste, onde o relevo é fortemente inclinado e geologicamente frágil, contrastando com a UHP das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendí (V-b), que apresenta predominância de "baixa" suscetibilidade, restrita a alguns setores "médios" e poucos núcleos de "elevados".

De modo geral, esse mapeamento preliminar de áreas suscetíveis a movimentos de massa evidencia que regiões serranas concentram áreas mais suscetíveis a sofrerem com estes eventos, enquanto as planícies e baixadas apresentam condições mais estáveis, ressaltando a importância do relevo como fator determinante na distribuição da suscetibilidade.

5.6.2 *Precipitação e Movimentos de Massa*

Conforme relatado por Chaves (2024), no Brasil e no mundo, alguns fatores são determinantes para ocorrência de movimentos de massa, como a pluviosidade, a declividade, o formato de encosta, a orientação da vertente, as características pedológicas e geológicas, bem como a ação antrópica. Dentre estes, a correlação entre agente e causa mais evidente está associado ao agente “água”, que pode influenciar na estabilidade de uma encosta de diversas formas, seja por umedecimento do solo (que resulta em aumento de cargas atuantes), ou seja pela redução da sucção

ou aumento da poropressão, que resulta na redução da resistência ao cisalhamento. Portanto, a relação entre a intensidade das chuvas e a ocorrência de movimentos de massa em encostas é clara: índices pluviométricos elevados levam à saturação do solo ou da rocha, diminuindo sua resistência à desagregação e comprometendo a estabilidade de regiões suscetíveis a ocorrência destes eventos. Assim, em áreas de relevo acentuado, a elevada pluviosidade constitui um dos principais fatores deflagradores desses processos (Chaves, 2024).

Neste contexto, é corriqueira a existência de sistemas de alerta implementados em regiões cuja suscetibilidade a movimentos de massa é "alta", uma vez que esse tipo de abordagem é classificado como uma medida não estrutural, e tem uma relação custo-benefício muitas vezes maior que medidas estruturais[22] (UNICAMP, 2022). Em termos gerais, esse tipo de sistema adota algum modelo de correlação entre desastre e agente deflagrador (no caso, a precipitação) para fundamentar a emissão de alertas à população.

Como exemplo para a RH-V, se destaca um sistema de alerta considerado como o segundo mais antigo implantado em nível global (Chaves, 2024). Instituído em 1996, o Sistema Alerta-Rio, em resposta aos episódios de movimentos de massa ocorridos na cidade do Rio de Janeiro nos anos anteriores, disponibiliza em seu portal dados de precipitação registrados, além de relatórios anuais elaborados a partir de 2001. O funcionamento do sistema baseia-se no monitoramento automático da pluviometria por meio de 33 estações distribuídas em quatro zonas consideradas como sendo de alerta. A Fundação Geo-Rio, vinculada à Prefeitura do Rio de Janeiro, é responsável não apenas pelo acompanhamento desses dados pluviométricos, mas também pela elaboração de boletins referentes a todos os movimentos de massa registrados no município.

Segundo Chaves (2024), o monitoramento das chuvas que atingem as zonas de alerta da Guanabara, Zona Sul, Jacarepaguá e Sepetiba é realizado em

[22] Aquelas associadas a intervenções de infraestrutura ou ações de formatação de ambiente.

tempo real por meio de pluviógrafos e radares meteorológicos. As informações coletadas são transmitidas à estação central do sistema a cada 15 minutos, permitindo a análise de intensidades pluviométricas nesse intervalo. Com base na integração entre os registros de precipitação e a identificação das ocorrências, foram estabelecidas correlações empíricas que possibilitam estimar a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa (Quadro 5-22), sendo consideradas diferentes faixas de intensidade de chuva acumulada em períodos de 1h, 24h e 96h. Assim, dentro do Sistema Alerta-Rio, as sirenes de evacuação em áreas de risco do município do Rio de Janeiro são disparadas quando os limiares críticos de intensidade e duração da chuva são alcançados em, no mínimo, três estações de uma mesma zona de alerta (Sepetiba, Jacarepaguá, Zona Sul ou Guanabara).

Quadro 5-22 – Probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, com base em Chaves (2024).

Intensidade/ Acumuladas Pluviométricas	Probabilidade de Ocorrência de Movimentos de Massa		
	Média	Alta	Muito Alta
mm/h	10 a 30 mm	30 a 50 mm	> 50 mm
mm/24h	50 a 100 mm	100 a 175 mm	> 175 mm
mm/96h	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h	> 250mm e > 100 mm/24h

Fonte: Elaboração própria.

Na avaliação do desempenho do Sistema Alerta-Rio, no que se refere à análise das precipitações mínimas e máximas registradas por cada pluviômetro em cada zona de alerta, Calvello *et al.* (2015) identificaram uma significativa variabilidade, inclusive dentro de uma mesma zona. Entre as quatro zonas de alerta existentes, a da Guanabara foi considerada a mais heterogênea. Guzzetti *et al. (*2020) ratificam a análise de Calvello *et al.* (2015) de que o sistema de alerta atual produz bons resultados, embora apresente número significativo de falsos-positivos. Como conclusão a respeito do sistema, Chaves (2024) destaca que o limiar pluviométrico é conservador, sendo necessário o investimento em ações socioeducativas que mostrem aos moradores a importância da percepção de risco, que está diretamente relacionada com a credibilidade do sistema e com a baixa taxa de eventos falsos-positivos.

Em outros estudos mais clássicos, que evidenciam a preocupação a respeito dessa temática desde os anos 1980, destacam-se os desenvolvidos por VARGAS *et al.* (1986), que propôs que precipitações acima de 50 mm/h já poderiam ser críticas e consideradas como agentes deflagradores de deslizamentos, e os estudos de Almeida *et al.* (1993). Baseados em índices pluviométricos para o Município de Petrópolis, Almeida *et al.* (1993) elaboraram um estudo probabilístico do risco de ocorrência de escorregamentos, utilizando 1.131 registros de ocorrências entre 1938 a 1989. Segundo estes autores, a maior probabilidade de escorregamento para a região estudada ocorre quando a precipitação acumulada de 4 dias é superior a 300 mm.

Adicionalmente às métricas referentes a potenciais limiares pluviométricos que podem ser considerados como agentes deflagradores de movimentos de massa na RH-V, destacam-se aqueles existentes em alguns Planos de Gestão de Risco municipais da RH-V. Em geral, estes Planos indicam limiares a serem adotados para o acionamento de alertas em situações de risco geológico e hidrológico. Tais dados são apresentados nos itens a seguir.

5.6.2.1 Mesquita

O Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil do município de Mesquita aponta que sempre que forem identificadas condições que caracterizem um dos cenários de risco previstos, alarmes e avisos para a população devem ser emitidos. Essa ativação pode ocorrer a partir da análise da evolução das condições climáticas monitoradas, da ocorrência de eventos adversos ou ainda da gravidade dos impactos observados.

De forma específica, o Plano será colocado em prática conforme os índices pluviométricos forem atingindo os níveis críticos de chuva, como demonstrado na Tabela 5-49, destacando-se que estes dados não estão diretamente associados a movimentos de massa, mas sim a todas as periculosidades associadas a chuvas intensas no município.

Tabela 5-49 - Limiares para acionamento de alertas no município de Mesquita, conforme o Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil Municipal.

Período	Vigilância	Atenção	Alerta	Alerta Máximo
Últimos 15 minutos	5 mm	> 5 mm	≥10 mm	≥30 mm
1 hora	≤10 mm	>10 mm	≥25 mm	≥40 mm
24 horas	≤30 mm	>40 mm	≥50 mm	≥75 mm
48 horas	≤60 mm	>80 mm	≥90 mm	≥110 mm
96 horas	≤110 mm	>110 mm	≥120 mm	≥130 mm

Fonte: Elaboração própria.

5.6.2.2 Nova Iguaçu

Já na cidade de Nova Iguaçu, segundo consta no Plano de Contingência Municipal, a Defesa Civil Municipal estabeleceu seis estágios, como: Vigilância, Observação, Atenção, Alerta, Alerta Máximo e Crise, de modo que cada estágio tem como gatilho de entrada um nível de precipitação ou de chuva acumulada.

O Plano destaca que no estágio de Atenção há aumento significativo de chances de inundação e deslizamentos. Isso ocorre quando há previsão de continuidade de chuva moderada, com acumulado pluviométrico associado às seguintes durações e volumes:

- Ocorrência de mais de 10mm acumulados em 15 minutos;
- Ocorrência de mais de 30mm acumulados em 60 minutos;
- Ocorrência de mais de 70mm acumulados em 24 horas.

Para o estágio de Alerta, onde se considera risco hidrológico e geológico alto (movimentos de massa pontuais em setores críticos da cidade), as condições que apontam este estado são:

- Ocorrência de mais de 20mm acumulados em 15 minutos;
- Ocorrência de mais de 50mm acumulados em 60 minutos;
- Ocorrência de mais de 110mm acumulados em 24 horas;
- Ocorrência de mais de 140mm acumulados em 48 horas.

Para o estágio de Alerta Máximo, onde se considera risco muito alto para deslizamentos e inundações na cidade, as condições que apontam este estado são:

- Ocorrência de mais de 30mm acumulados em 15 minutos;
- Ocorrência de mais de 70mm acumulados em 60 minutos;
- Ocorrência de mais de 135mm acumulados em 24 horas;
- Ocorrência de mais de 165mm acumulados em 48 horas;
- Ocorrência de mais de 180mm acumulados em 96 horas.

5.6.2.3 Rio Bonito

No contexto de movimentos de massa para o município de Rio Bonito, destaca-se que os limiares presentes no Plano de Contingência de Proteção serão ativados sempre que forem constatadas as condições e pressupostos que caracterizam alguns cenários previstos (Tabela 5-50), seja pela evolução das informações monitoradas, pela ocorrência do evento ou pela dimensão do impacto.

Tabela 5-50 - Limiares para risco geológico no município de Rio Bonito, conforme o Plano de Contingência de Proteção Municipal.

Período	Quantidade de Chuva
1 hora	45 mm
24 horas	85 mm
96 horas	100 mm
Mensal	300 mm

Fonte: Elaboração própria.

5.6.2.4 São Gonçalo

O Plano de Contingência Municipal de São Gonçalo considera para o município a precipitação acumulada em 1 hora, 24 horas, 96 horas e 30 dias como índice para acionamento dos alertas sonoros em decorrência de potenciais movimentos de massa. O acionamento do sistema de alerta e alarme ocorre quando qualquer um dos gatilhos da Tabela 5-51 é atingido.

Tabela 5-51 - Limiares para acionamento de sirenes de alertas no município de São Gonçalo, conforme o Plano de Contingência Municipal.

Gatilho	Acumulado (em mm)			
	1 hora	24 horas	96 horas	30 dias
1	> 55			
2		> 100		
3			> 150	
4				> 270

Fonte: Elaboração própria.

5.6.2.5 São João do Meriti

No município de São João do Meriti, conforme definido em seu Plano de Contingência Municipal, os limiares adotados para a alteração dos níveis de aviso de potencial risco (não diretamente associados a movimentos de massa) estão vinculados aos dados de precipitação da estação meteorológica da Vila Militar (Rio de Janeiro) coletados para o intervalo de anos entre 2002 e 2011. A partir dos valores obtidos, definiram-se os seguintes limiares (Quadro 5-23) para a alteração de nível de aviso no município:

Quadro 5-23 - Limiares para alertas no município de São João do Meriti, conforme Plano de Contingência Municipal.

Níveis de aviso	Limiares
Vigilância	Até 29 mm em 24h
Observação	30 mm em 24h (com previsão de continuidade)
Atenção	60 mm em 24h + 75 mm em 48h
Alerta	85 mm em 24h + 100 mm em 48h + 120 mm em 72h
Alerta Máximo	100 mm em 24h + 120 mm em 48h + 140 mm em 72h

Fonte: Elaboração própria.

5.6.2.6 Consolidação de Informações

A partir das informações apresentadas, foi consolidado na Tabela 5-52 um resumo dos limiares identificados como gatilhos de alerta para municípios da RH-V que continham Plano de Contingência Municipal com informações que pudessem ser utilizadas no contexto de previsão de potencial ocorrência de movimentos de massa. Observa-se que, em geral, valores precipitados que variam de 25 mm a 55

mm em 1h já são suficientes para emitir alertas que estão associados a altas probabilidades de ocorrência de movimentos de massa nestes municípios. Do mesmo modo, precipitações menos intensas da ordem de 10 mm em 1h já são suficientes para que alguns municípios da região entrem em estado de Atenção ou similar.

Desta forma, considera-se no contexto desse documento que, conservadoramente, previsões de chuvas com precipitações maiores do que 10mm em 1h já podem ser consideradas como potenciais agentes deflagradores de movimentos de massa em áreas de grande periculosidade. De modo similar, precipitações de mais de 30 mm em 1h previstas para as regiões da RH-V podem ser consideradas como agentes deflagradores de movimentos de massa ainda maiores.

Tabela 5-52 - Resumo de limiares para alertas nos municípios analisados.

Tempo	Vigilância	Atenção	Alerta	Alerta Máximo	Município
15 minutos	5 mm	>5 mm	≥10 mm	≥30 mm	Mesquita
1 hora	≤10 mm	>10 mm	**≥25 mm**	≥40 mm	
24 horas	≤30 mm	>40 mm	≥50 mm	≥75 mm	
48 horas	≤60 mm	>80 mm	≥90 mm	≥110 mm	
96 horas	≤110 mm	>110 mm	≥120 mm	≥130 mm	
15 minutos	-	>10 mm	>20 mm	>30 mm	Nova Iguaçu
1 hora	-	>30 mm	**>50 mm**	>70 mm	
24 horas	-	>70 mm	>110 mm	>135 mm	
48 horas	-	-	>140 mm	>165 mm	
96 horas	-	-	-	>180 mm	
1 hora	-	-	**45 mm**	-	Rio Bonito
24 horas	-	-	85 mm	-	
96 horas	-	-	100 mm	-	
Mensal	-	-	300 mm	-	
1 hora	-	-	**>55 mm**	-	São Gonçalo
24 horas	-	-	>100 mm	-	
96 horas	-	-	>150 mm	-	
30 Dias	-	-	>270 mm	-	
24 horas	≥29 mm	60 mm	85 mm	100 mm	São João do Meriti
48 horas	-	75 mm	100 mm	120 mm	
72 horas	-	-	120 mm	140 mm	
1 hora	-	10 – 30 mm	**30 – 50 mm**	>50 mm	Sistema Alerta-Rio, Chaves (2024)
24 horas	-	50 – 100 mm	100 – 175 mm	>175 mm	
96 horas	-	100 – 175 mm	175 – 250 mm	>250 mm	

Fonte: Elaboração própria.

5.6.3 *Periculosidade a Movimentos de Massa*

Segundo Cerri & Amaral (1998), a definição de áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa está associada à identificação da predisposição que tem determinada área para a ocorrência destes eventos. Ainda, a identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa é extremamente importante para a determinação do grau de periculosidade que tais áreas podem vir a desenvolver, quando ela é avaliada em conjunto a probabilidade de ocorrência. Considerando que o mapeamento de áreas quanto à periculosidade para movimentos de massa envolve não só a identificação de zonas suscetíveis a deslizamentos, mas também a distinção quanto à probabilidade de ocorrência desses processos, nos itens a seguir são apresentadas as bases metodológicas utilizadas para realizar o ranqueamento da periculosidade quanto à temática para a RH-V.

5.6.3.1 Mapeamento de Características Associadas à Movimentos de Massa

A identificação do perigo relacionado aos movimentos de massa deve considerar fatores relevantes como perfil pluviométrico (distinguindo áreas de maiores índices pluviométricos daquelas em que há menor probabilidade de ocorrência de grandes tempestades) e características geomorfológicas. Estes dois fatores combinados possibilitam o diagnóstico das áreas mais suscetíveis à ocorrência destes eventos. Tendo em vista a necessidade de analisar como o perigo relacionado a esse tipo de desastre distribui-se no território da RH-V, aplicou-se a presente metodologia baseada em três índices: (i) Pluviométrico; (ii) Geomorfológico; e (iii) de Suscetibilidade.

A análise individual e posterior agregação dos índices supracitados foi desenvolvida em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando camadas vetoriais e *rasters*. A Figura 5-70 apresenta um esboço da metodologia utilizada, exemplificando que a camada final que demonstra o Índice de Perigo a Movimentos de Massa é o resultado da agregação dos Índices Pluviométrico, Geomorfológico e de Suscetibilidade.

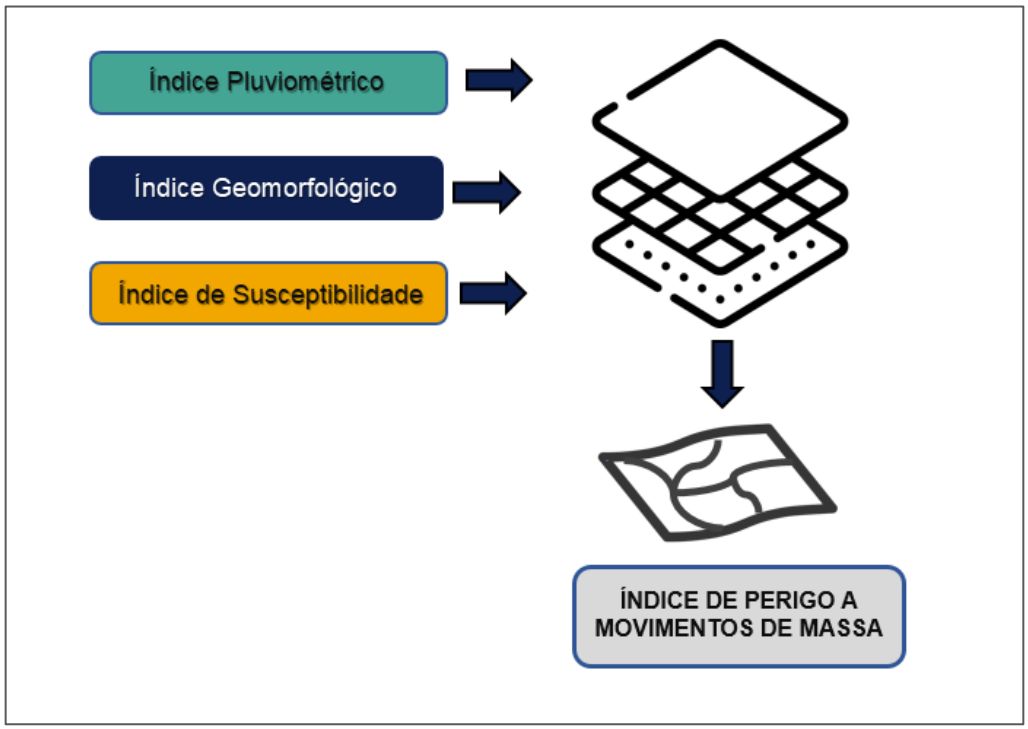
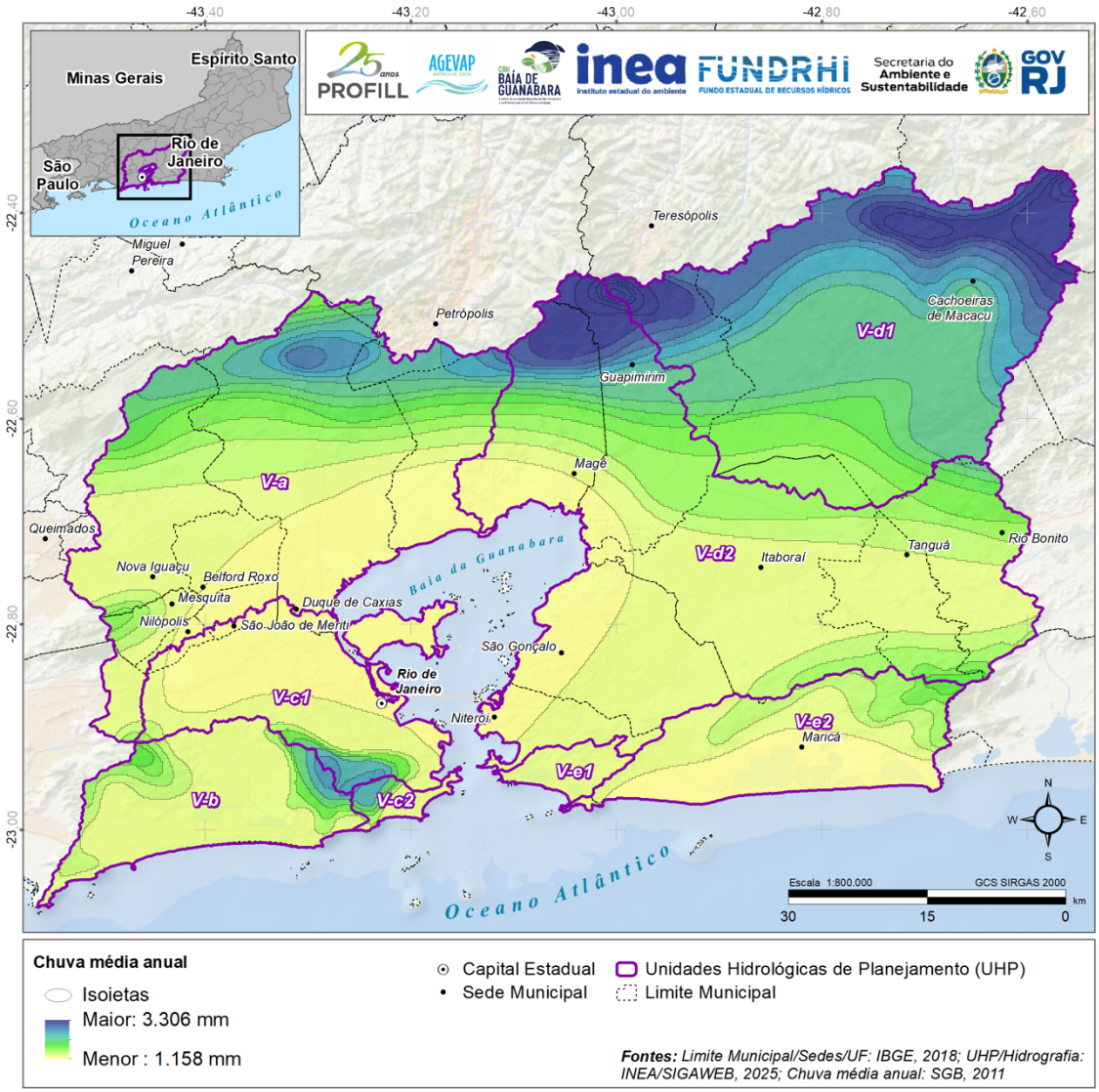


Figura 5-70 - Esboço metodológico da obtenção do mapa de perigo à movimentos de massa.
Fonte: Elaboração Própria

A combinação da precipitação média anual com variáveis geomorfológicas (como grau de declividade e padrão de relevo), aliados à suscetibilidade previamente mapeada para movimentos de massa possibilitaram classificar as áreas da RH-V em cinco classes de perigo, sendo: 1 – Muito Baixo; 2 – Baixo; 3 – Moderado; 4 – Alto e; 5 – Muito Alto. A seguir serão apresentados cada um dos supracitados índices.

5.6.3.1.1 *Índice Pluviométrico*

No que tange à identificação de como diferentes índices pluviométricos podem atuar na definição da periculosidade das distintas regiões de estudo, foi utilizado o arquivo matricial representativo do perfil pluviométrico referente à área da RH-V. Este mapeamento foi desenvolvido em escala nacional pelo SGB, pelo projeto “Atlas Pluviométrico e Estudos de Chuvas Intensas“, a partir do qual foi identificada a distribuição da precipitação média anual da área de interesse (Mapa 5-99), variável considerada como Índice Pluviométrico.



Mapa 5-99 – Distribuição espacial da chuva média anual para a RH-V.
Fonte: Elaboração Própria

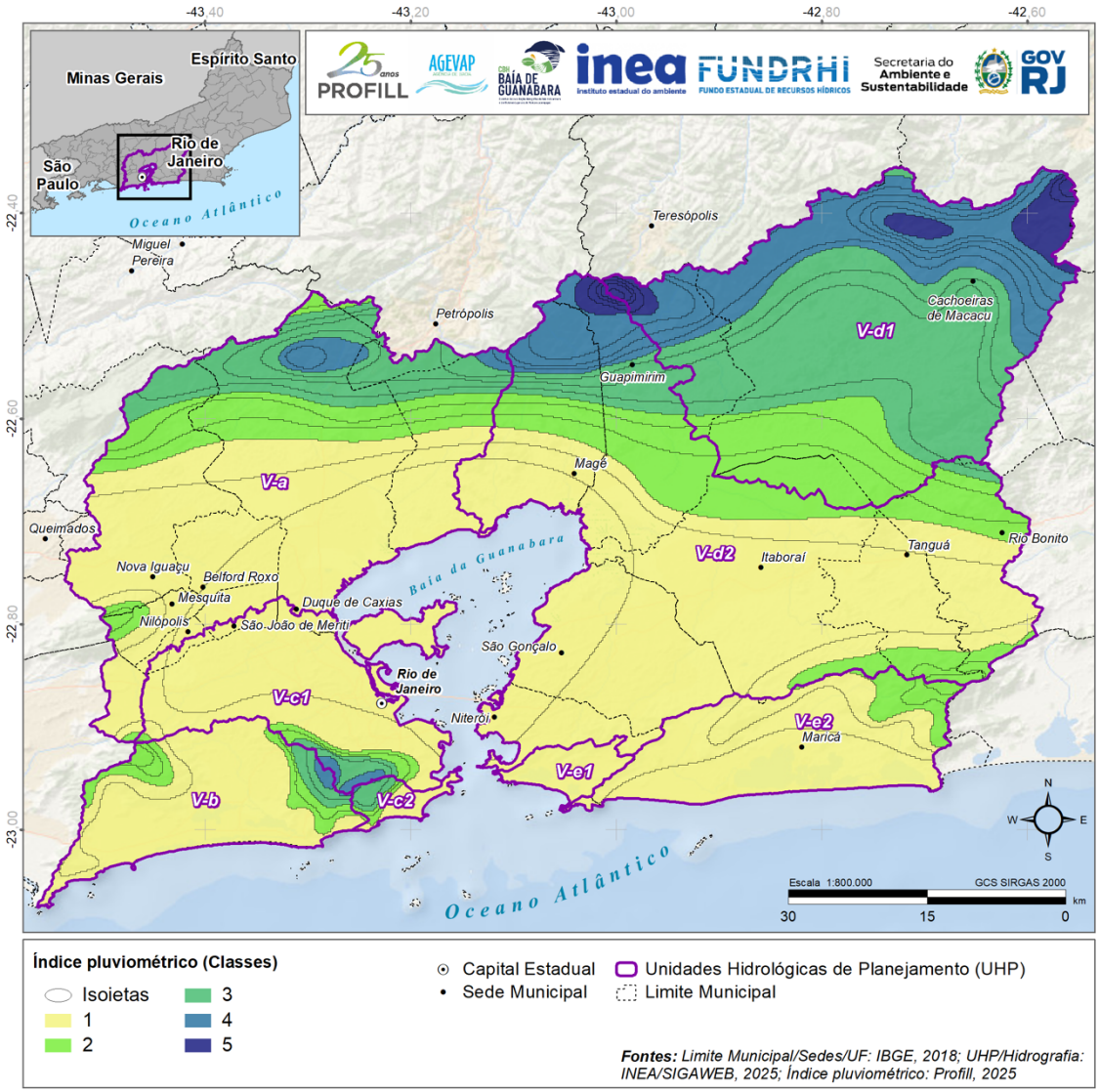
Para a determinação das classes de probabilidade de ocorrência de chuvas deflagradoras de movimentos de massa, analisou-se espacialmente a distribuição da chuva média anual na RH-V, de modo que os valores do conjunto de dados foram distribuídos em grupos heterogêneos entre si, mas internamente homogêneos, ou seja, maximizando a variância dos dados entre as classes e minimizando-a internamente. Dessa maneira, cinco grupos heterogêneos foram obtidos, cada um representando uma classe, conforme o apresentado no Quadro 5-24.

Quadro 5-24 – Constituição de classes de perigo relacionadas à precipitação média anual.

Classe		Intervalo de Precipitação Média Anual (mm)
1	Muito Baixo	1.158 a 1.345
2	Baixo	1.346 a 1.644
3	Moderado	1.645 a 2.048
4	Alto	2.049 a 2.546
5	Muito Alto	2.547 a 3.306

Fonte: Elaboração própria.

Cabe ressaltar que como critério adotado para ranqueamento da probabilidade de ocorrência de chuvas deflagradoras de movimentos de massa, considerou-se que quanto maior fosse o volume médio anual de precipitação, maior é a probabilidade de ocorrência de precipitações intensas e, consequentemente, maior é o índice de periculosidade local. A distribuição espacial das classes acima representadas pode ser observada no Mapa 5-100.



Mapa 5-100 – Distribuição espacial do Índice Pluviométrico.
Fonte: Elaboração Própria

A partir do referido mapa, é possível também identificar a relação entre precipitação e altitude de relevo. As áreas de relevo mais acidentado, localizadas ao norte, assim como as áreas com maior altitude que representam formações isoladas, localizadas a sudoeste, são as que apresentam maiores volumes, característica marcada pela ocorrência de precipitações do tipo orográficas. Já as áreas mais centrais e ao sul, com predomínio de declividades mais planas, tendem a apresentar menores volumes médios de precipitação anual. Esse tipo de comportamento regional é também destacado em Collischonn & Dornelles (2013).

5.6.3.1.2 *Índice Geomorfológico*

O presente índice contemplou a análise de variáveis relacionadas ao padrão de relevo e ao grau de declividade, classificando, assim, o grau de perigo geomorfológico. Para tanto, utilizou-se as classes geomorfológicas previamente mapeadas pelo SGB no projeto "Cartografia de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações – Rio de Janeiro[23]" para a RH-V.

A atribuição das classes de perigo conforme as características geomorfológicas foi baseada, por sua vez, no "Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial – Cartas de Padrão de Relevo Multiescala Volume 7 do Serviço Geológico do Brasil", descrito em Dantas (2024). Neste trabalho, o SGB analisou, para cada padrão de relevo e respectivas declividades, o nível de suscetibilidade a movimentos de massa. Segundo os autores, a análise dos padrões de relevo foi determinada a partir do estudo de compartimentação morfológica dos terrenos, da estrutura superficial das paisagens, consistindo na avaliação dos mantos de alteração *in situ*, e da fisiologia da paisagem que se obteve da análise integrada de variáveis ambientais. O Quadro 5-25 apresenta as classes de um a cinco consideradas, bem como os respectivos padrões de relevo contemplados.

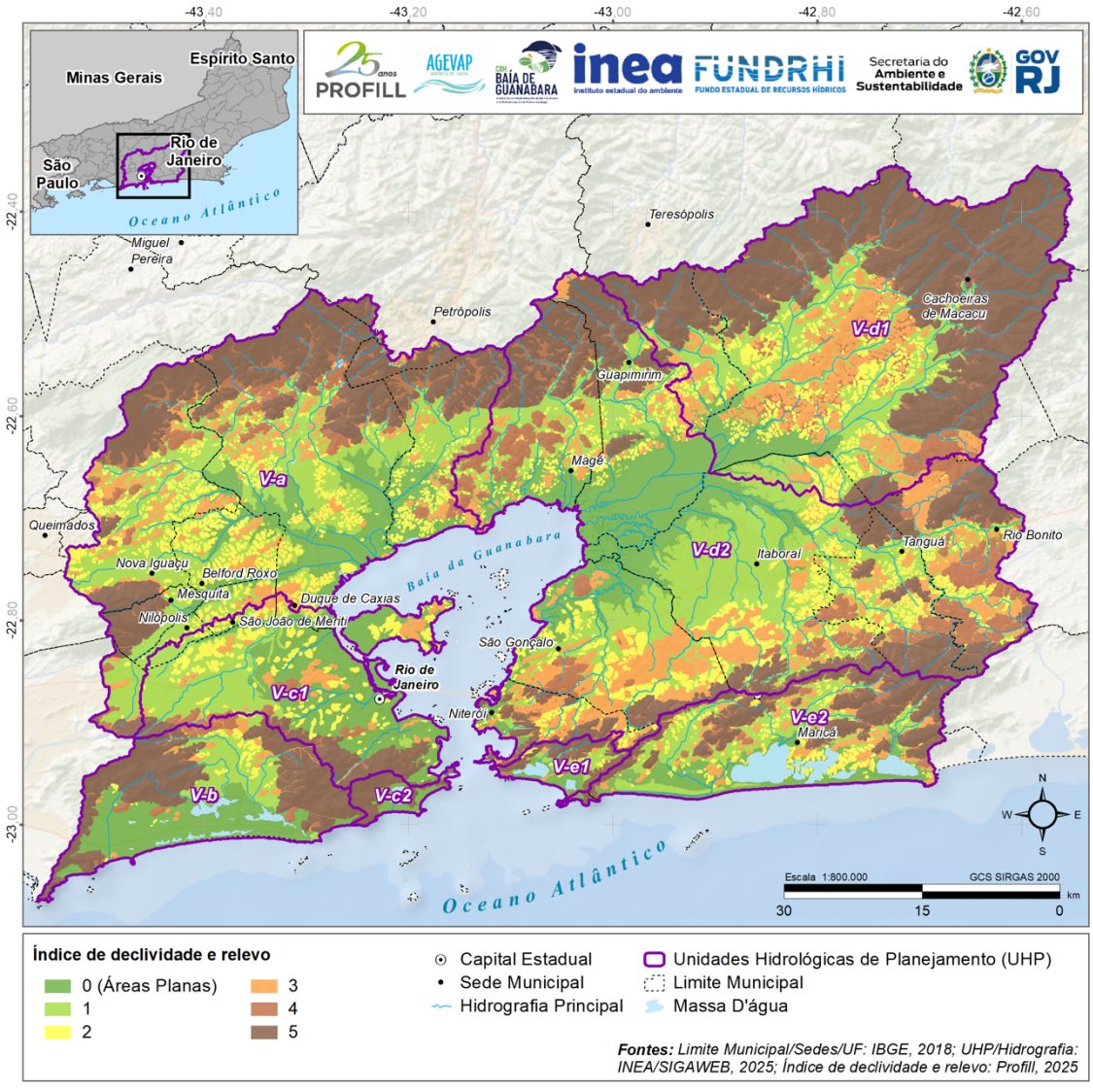
[23]https://www.sgb.gov.br/pt/web/guest/rio-de-janeiro-cartografia-de-suscetibilidade

Quadro 5-25 – Constituição de classes de perigo conforme a distribuição do padrão de relevo, com base em Dantas (2024).

Classe	Suscetibilidade	Padrão de Relevo
0	Não há	Corpos D'água
		Depósitos Tecnogênicos (aterros sobre corpos d'água)
		Planícies Fluviomarinhas (brejos)
		Planícies Costeiras (restingas)
		Planícies Fluviolacustres (brejos)
		Planícies Fluviolagunares (brejos)
		Planícies Fluviomarinhas (mangues)
		Planícies Lagunares (brejos)
1	Muito Baixa	Baixadas Alúvio-Coluviais
		Lajes, Lajedões e Plataformas de Abrasão
		Planícies de Inundação (várzea)
		Planícies e terraços fluviais
		Planícies Fluviais (Várzeas)
		Planícies Fluviais ou Fluviolacustres
		Superfícies aplainadas conservadas
		Superfícies aplainadas degradadas
		Tabuleiros
		Terraços Fluviais
		Terraços Marinhos
2	Baixa	Colinas
		Colinas Amplas e Suaves
3	Moderada	Altos Platôs
		Colinas Dissecadas e Morros Baixos
		Morros Baixos
		Morrotes
		Rampas de Colúvio-Alúvio
4	Alta	Alinhamentos Serranos Isolados
		Depósitos Tecnogênicos (aterros sanitários)
		Morros Altos
		Rampas de Colúvio/Depósito de Talus
		Vertentes recobertas por depósitos de encostas (colúvios e tálus)
		Cristas isoladas e serras baixas
5	Muito Alta	Domínio Alto Montanhoso
		Domínio Alto Serrano
		Domínio de Morros Elevados
		Escarpa Serrana
		Formações Tecnogênicas (terrenos alterados pela atividade de mineração)
		Inselbergs e outros relevos residuais (pontões)
		Serras

Fonte: Elaboração própria.

A distribuição espacial das classes acima apresentadas para a RH-V pode ser observada no Mapa 5-101. É possível constatar que as áreas de maior elevação, localizadas sobretudo na porção norte e intrusões ao sul, são as que apresentam as maiores suscetibilidades à ocorrência de movimentos de massa. Enquanto as áreas de planície, localizadas na porção central da RH-V, e nas áreas litorâneas, apresentam as menores classes.

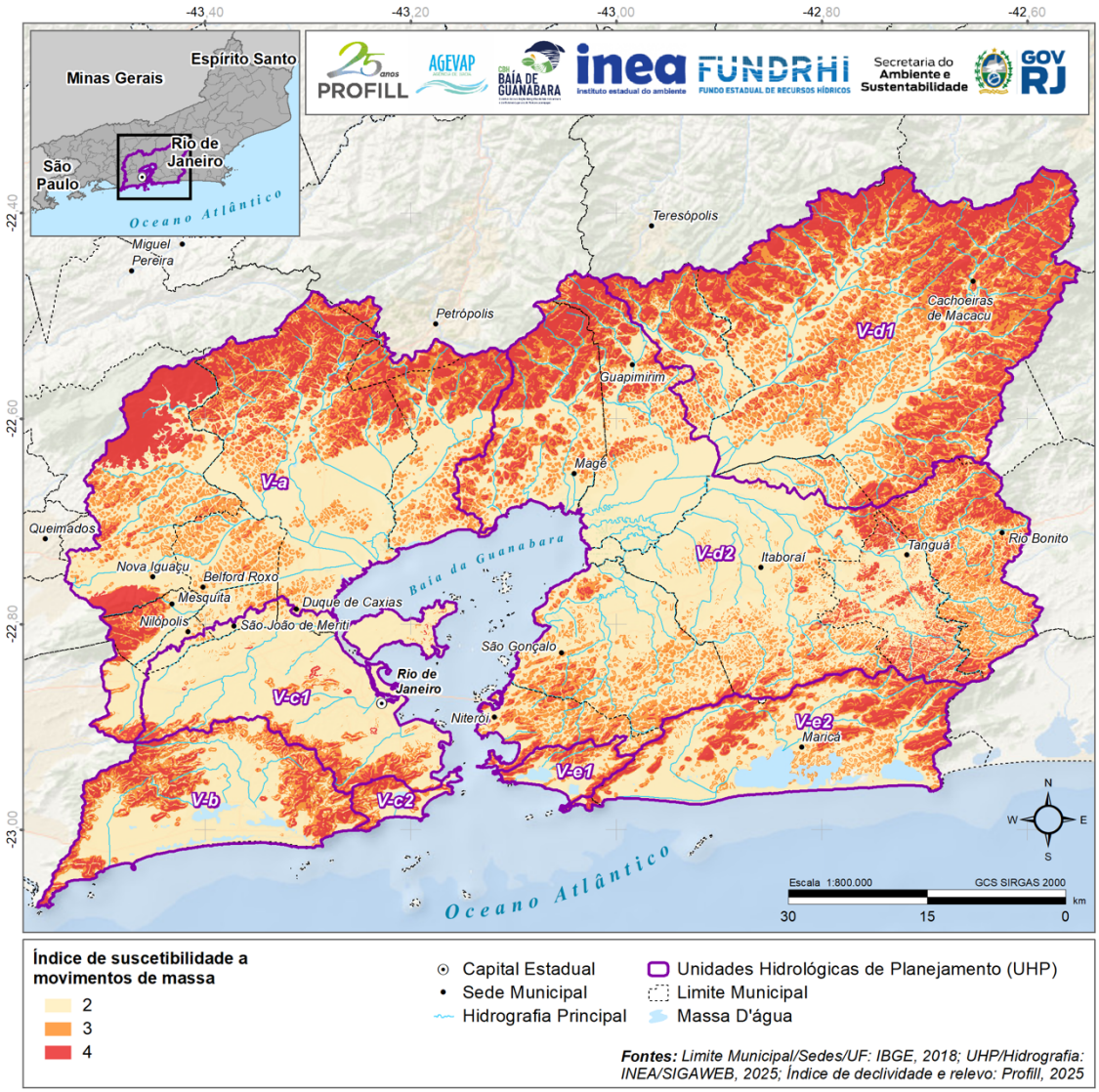


Mapa 5-101 – Distribuição espacial do Índice Geomorfológico.
Fonte: Elaboração Própria

5.6.3.1.3 *Índice de Suscetibilidade*

Este índice foi embasado exclusivamente na camada vetorial de suscetibilidade a movimentos de massa desenvolvida pelo SGB, anteriormente apresentado no Mapa 5-98, desenvolvido no projeto intitulado “Cartas de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações”. Conforme anteriormente observado, tal produto apresenta um total de três classes (“baixa“, “média“ e “alta“) que é resultado da combinação da análise por modelagem matemática da declividade, dos padrões de relevo, da hidrologia e da litologia, além da verificação *in loco*.

A partir da utilização deste produto, atribuiu-se as classes 2, 3 e 4 para aquelas zonas com “baixa“, “média“ e “alta“ suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa. Esse critério foi adotado para poder melhor diferenciar zonas de perigo intermediário (entre aquelas com perigo “muito baixo“, ranqueadas com nota 1, e aquelas com perigo “muito alto“, ranqueadas com perigo 5, conforme posteriormente explanado). O Mapa 5-102 ilustra a distribuição espacial dessas classes de perigo para a RH-V.



Mapa 5-102 – Distribuição espacial do Índice de Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa.
Fonte: Elaboração Própria

A distribuição espacial do perigo relacionado à suscetibilidade também demonstra os maiores valores para as regiões mais elevadas. Também se destaca que a semelhança deste índice ao Índice Geomorfológico é esperada, considerando as variáveis que compõem o Índice Geomorfológico. Neste contexto, a seguir, será apresentada a obtenção do Índice de Perigo a Movimentos de Massa, resultante da agregação dos três índices apresentados.

5.6.3.2 Índice de Perigo a Movimentos de Massa

O Índice de Perigo a Movimentos de Massa foi obtido a partir da combinação dos três índices anteriormente apresentados. A escolha metodológica fundamentou-se na avaliação da importância das variáveis de precipitação e de geomorfologia, além da suscetibilidade, na definição dos graus de perigo relacionado aos movimentos gravitacionais no terreno.

A obtenção deste índice final foi realizada a partir da agregação dos três índices intermediários, de modo a considerar todas as variáveis relevantes para definição do grau de periculosidade. Entretanto, considerando que os índices não possuem padronização das classes e considerando a relevância das variáveis geomorfológicas na análise de movimentos de massa, foram atribuídos pesos diferentes às classes de cada índice.

Na agregação dos índices, considerando a relevância das características geomorfológicas e da suscetibilidade a movimentos de massa, ponderou-se os pesos das classes, atribuindo-se maior valor a esses dois. No entanto, em razão da diferença relacionada ao número de classes de cada um, foi necessário atribuir pesos diferenciados. Nesse sentido, destaca-se que as classes 2, 3 e 4 por possuírem correspondência em ambos os índices, receberam peso de 40% para cada índice. Já as classes 1 e 5, por não possuírem correspondência no Índice de Suscetibilidade, tem um peso de 80% atribuído. Também se destaca que todas as classes do Índice Pluviométrico receberam peso de 20%. A Tabela 5-53 apresenta os pesos aplicados às respectivas classes de cada índice.

Tabela 5-53 - Ponderação dos pesos das classes e respectivos índices.

Índice Pluviométrico			Índice Geomorfológico			Índice de Suscetibilidade		
Classe	Peso	Classe Final	Classe	Peso	Classe Final	Classe	Peso	Classe Final
			0	1	**0**			
1	0,2	**0,2**	**1**	0,8	**0,8**			
2	0,2	**0,4**	**2**	0,4	**0,8**	**2**	0,4	**0,8**
3	0,2	**0,6**	**3**	0,4	**1,2**	**3**	0,4	**1,2**
4	0,2	**0,8**	**4**	0,4	**1,6**	**4**	0,4	**1,6**

Índice Pluviométrico			Índice Geomorfológico			Índice de Suscetibilidade
5	0,2	**1**	**5**	0,8	**4**	

Fonte: Elaboração própria.

Em cada uma das camadas vetoriais dos respectivos índices, foi calculado um novo atributo, no qual aplicou-se a multiplicação da classe ao respectivo peso. Em seguida, esses vetores foram convertidos em arquivos matriciais, nos quais foram considerados os respectivos valores ponderados das classes. Posteriormente, foi realizada a agregação dos arquivos do tipo *raster* correspondentes a cada índice, a partir do somatório dos valores de cada região. A partir desse processo, obteve-se o arquivo matricial final referente à periculosidade da área quanto à ocorrência de movimentos de massa, cujos valores de *pixel* representam a soma dos valores das classes ponderadas de cada um dos índices. A Figura 5-71 ilustra esse processo.

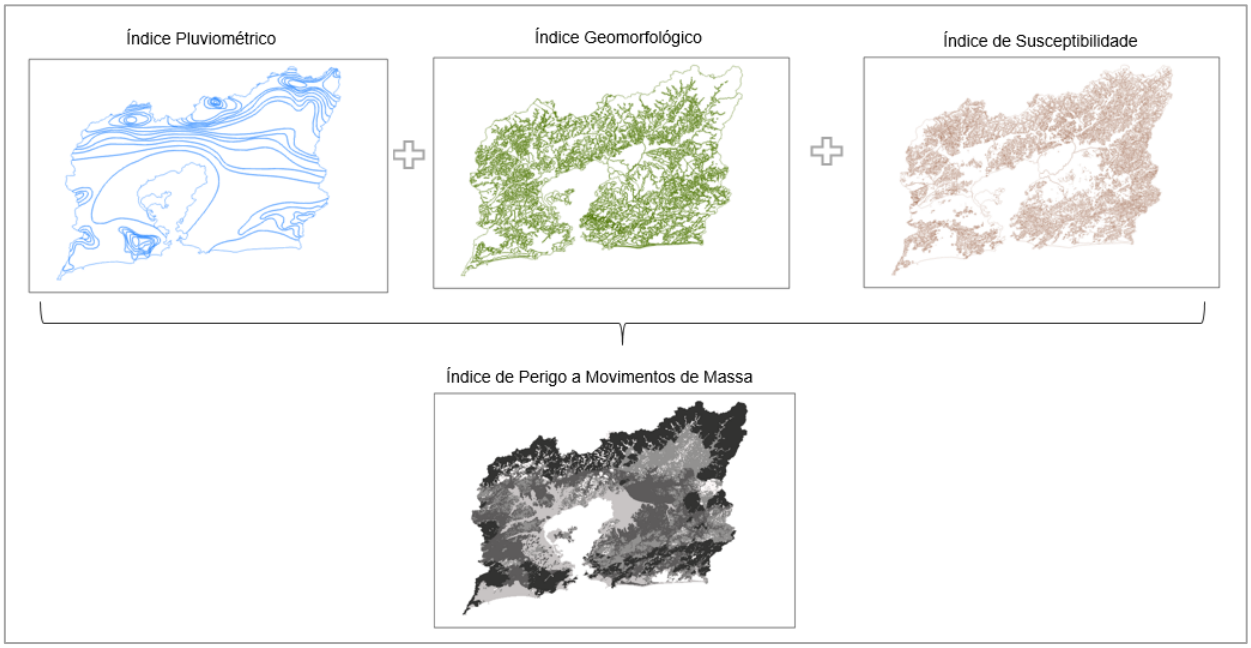
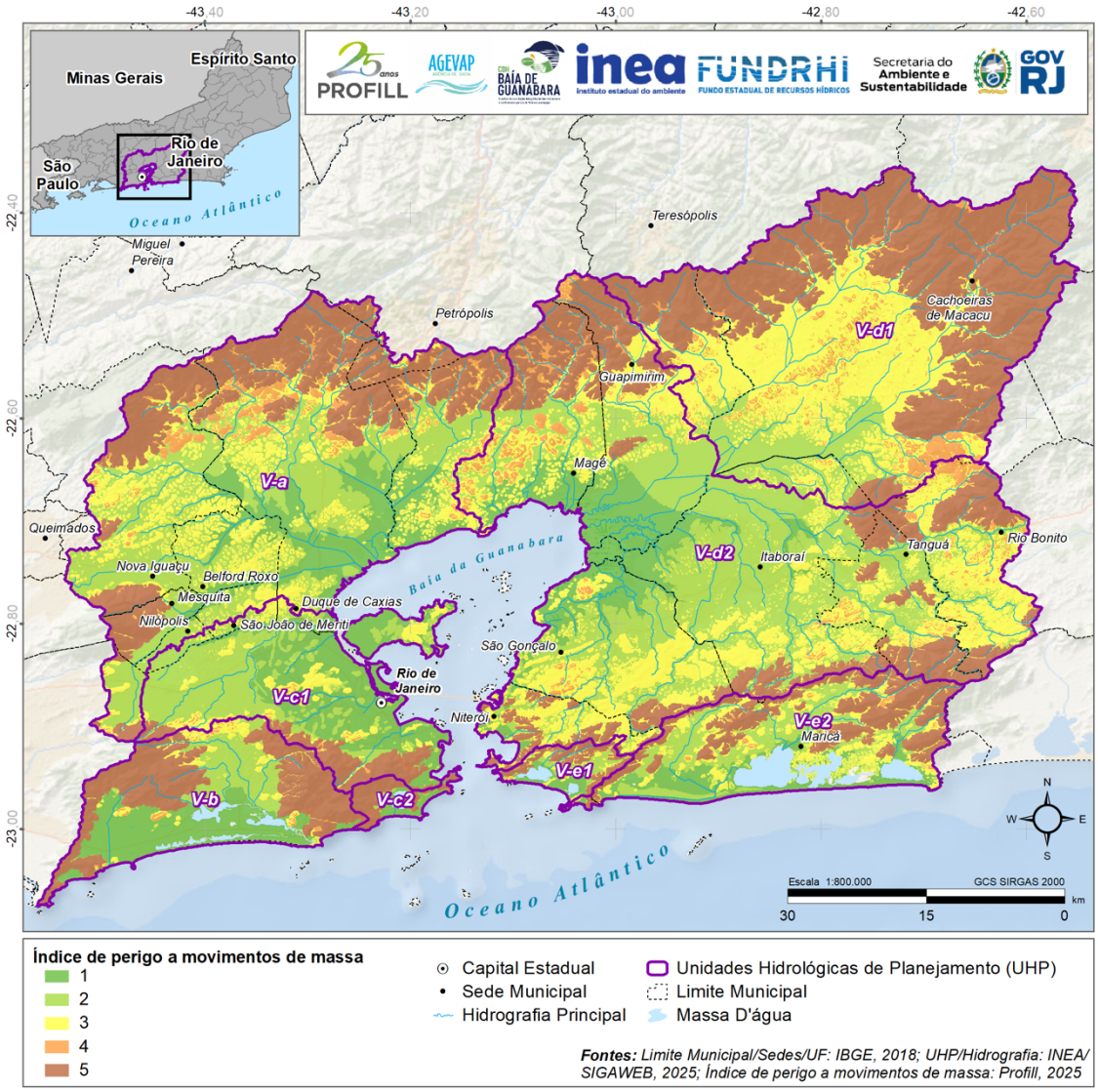


Figura 5-71 - Esquema ilustrativo da metodologia de obtenção do Índice de Perigo a Movimentos de Massa.
Fonte: Elaboração Própria

No Mapa 5-103, por fim, é apresentado o Índice de Perigo a Movimentos de Massa composto para a RH-V. Conforme pode ser observado, a partir do uso da metodologia proposta, é possível identificar a distribuição espacial do perigo no território da RH-V, relacionado à periculosidade quanto a movimentos de massa a fatores como declividade, precipitação e aspectos geomorfológicos.



Mapa 5-103 - Distribuição espacial do Índice de Perigo a Movimentos de Massa.
Fonte: Elaboração Própria

Analisando-se o referido mapa, observa-se que as regiões de topografia mais elevada foram classificadas com maiores graus de perigo (4 - “alto“ e 5 - “muito alto“), destacando-se principalmente a porção norte da RH-V. Essa região é constituída, sobretudo, pelas formações da Serra do Mar e Serra dos Órgãos, caracterizadas por apresentar superfícies fortemente inclinadas, eventualmente rica em blocos, constituídas por depósitos de encosta. Ainda, destaca-se que essas áreas tipicamente apresentam declividades acima de 10°, podendo atingir valores maiores que 45°.

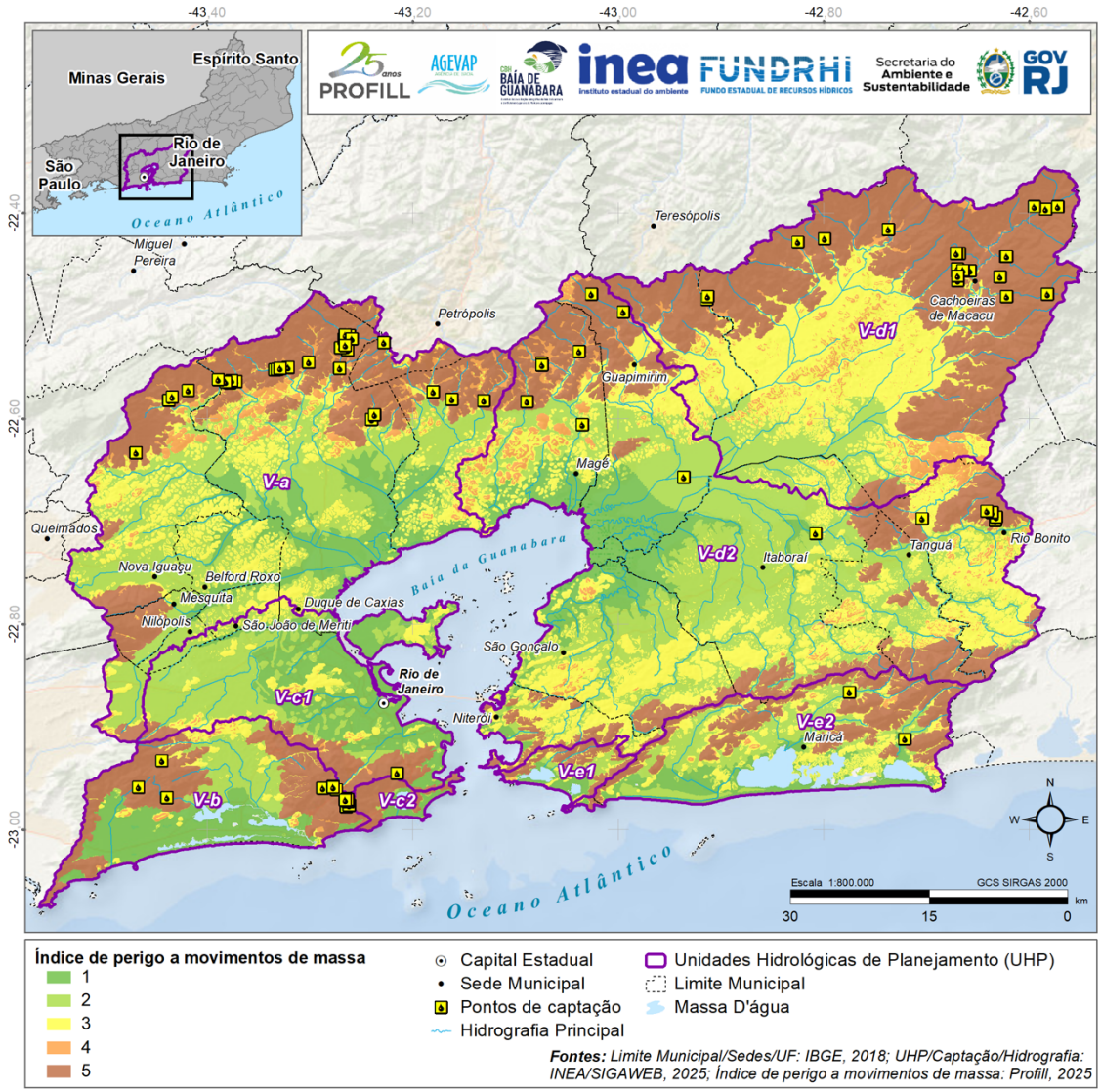
Na porção sul também se observam formações elevadas, porém mais isoladas do que a região ao norte. Nestas porções, o grau de periculosidade atribuído também variou de “alto“ a “muito alto“, uma vez que estas regiões apresentam, em alguns pontos específicos, declividades que podem ser superiores a 60°, conforme Dantas *et al.* (2024). As áreas classificadas como perigo “moderado“ (classe 3) se constituem por superfícies deposicionais com inclinações de vertente que variam de 5° a 20°, e por colinas e morros baixos, conforme Dantas *et al.* (2024).

Por fim, também se destacam as áreas classificadas como de “muito baixo“ (classe 1) e “baixo“ perigo (classe 2), que se constituem predominantemente por planícies e áreas de relevo fortemente desgastado, apresentando graus de declividade entre 3° e 10°, sendo algumas totalmente planas, com grau de declividade 0°.

5.6.4 *Movimentos de Massa e Infraestrutura Hídrica*

Conforme é possível visualizar no Mapa 5-104, a maior parte dos pontos de captação utilizados para abastecimento da RH-V se encontram em zonas de “muito alta“ ou de “alta“ periculosidade à ocorrência de movimentos de massa, com exceção de 4 captações, localizadas nos Rios Caceribu, Macacu e Roncador, nos municípios de Itaboraí, Rio Bonito, Guapimirim e Magé, sendo todas da CEDAE.

Essa exposição de pontos de captação em áreas de “alta“ ou “muito alta“ periculosidade a esses eventos mostra a necessidade de se avaliar a estratégia de captação de água na RH-V, principalmente considerando a possibilidade de falha no abastecimento em decorrência de grandes precipitações, que podem vir a deflagrar movimentos de massa locais.



Mapa 5-104 - Distribuição territorial do Índice de Perigo a Movimentos de Massa e Infraestrutura Hídrica na RH-V.
Fonte: Elaboração Própria

6 CONSTITUIÇÃO DA MATRIZ DE RISCO

Uma vez identificadas e ranqueadas as áreas propensas a suscetibilidades a desastres e associação quanto às probabilidades de ocorrência, gerando, portanto, zonas de perigo a desastres, foram realizados os cruzamentos dessas informações com as associadas à vulnerabilidade ambiental, econômica e social para os diversos eixos de desastres avaliados no contexto desse trabalho.

Esse cruzamento dará origem a informações que permitem quantificar os riscos aos quais diferentes porções da RH-V estão submetidas, para diferentes tipologias, seguindo a conceitualização de Bissacot e Oliveira, 2016 (Figura 6-1) adaptada para este trabalho, conforme mostra a Figura 6-2. Nesta adaptação, em que é modificada apenas a forma de organização das variáveis multiplicadas para obtenção do risco, a vulnerabilidade (apresentada no capítulo 4) é destacada do conceito de "Impacto" e é explicitada em conjunto com o perigo associado às probabilidades de ocorrência.

Risco = P x I		Probabilidade (P)				
		1 - Muito Baixa	2 - Baixa	3 - Possível	4 - Alta	5 - Muito Alta
Impacto (I)	5 - Catastrófico	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Muito Alto	Risco Muito Alto	Risco Muito Alto
	4 - Grande	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Muito Alto	Risco Muito Alto
	3 - Moderado	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Muito Alto
	2 - Pequeno	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto
	1 - Insignificante	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado

Figura 6-1 – Matriz de classificação de risco de probabilidade e impacto.
Fonte: AGEVAP, 2020a.

Risco = Vulnerabilidade x (Probabilidade x Suscetibilidade)		Vulnerabilidade (V)				
		1 - Muito Baixa	2 - Baixa	3 - Possível	4 - Alta	5 - Muito Alta
Perigo = (Suscetibilidade x Probabilidade)	5 - Muito Grande	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Muito Alto	Risco Muito Alto	Risco Muito Alto
	4 - Grande	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Muito Alto	Risco Muito Alto
	3 - Moderado	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Muito Alto
	2 - Pequeno	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto
	1 – Muito Baixo	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado

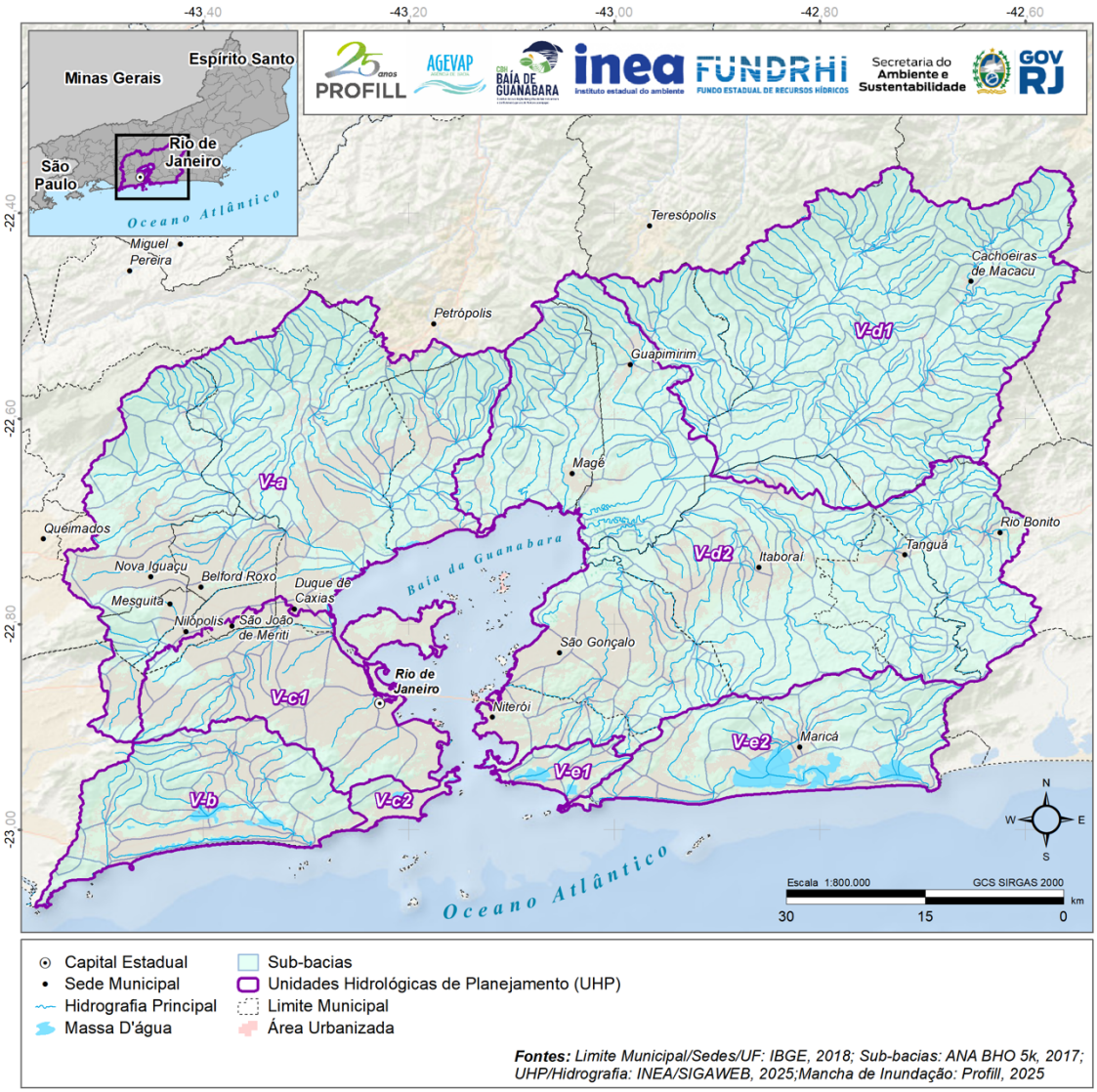
Figura 6-2 – Matriz de classificação de risco de probabilidade e impacto adaptada.
Fonte: Elaboração Própria.

A partir da matriz da Figura 6-2, portanto, foi possível transformar informações associadas à identificação de áreas suscetíveis a desastres e informações relativas à vulnerabilidade local, em informações que permitem quantificar o risco da RH-V em quatro categorias, para diversos tipos de desastres: “risco muito alto“, “risco alto“, “risco moderado“ e “risco baixo“. Essa categorização de risco foi espacializada para a RH-V de formas distintas, entretanto próximas, considerando os diferentes produtos obtidos para os desastres. Neste sentido, os mapas de risco obtidos podem ser visualizados da seguinte forma:

- Considerando-se a Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas (BHO, 2017) da ANA[24], utilizando-se a delimitação oficial de ottobacias nível 7 para a RH-V; ou
- Em escala local ou regional, quando os resultados obtidos permitem a identificação mais precisa de limites de, por exemplo, áreas inundáveis ou áreas suscetíveis a serem atingidas por rupturas de barragens.

Nesse sentido, destaca-se no Mapa 6-1 as ottobacias que são utilizadas no contexto da aplicação da matriz de risco para a área da RH-V, quando aplicável. Essas ottobacias, conforme destacado, são oriundas da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas (BHO, 2017) da ANA, que foi adaptada para a região de interesse, considerando os limites da RH-V disponibilizadas no SIGA-BG. Destaca-se também que essa versão adaptada, pelo fato de ter sido gerada por outras fontes, não necessariamente possui limites idênticos a outras feições previamente mapeadas para a RH-V e disponibilizadas no SIGA-BG, como, por exemplo, limites de UHPs. Isso vale para a relação entre os cursos hídricos mapeados em escala de 1:25.000 (disponibilizados no SIGA-BG) e os limites das sub-bacias que, em sua maioria, não são compatíveis. Neste sentido, a avaliação dos resultados obtidos tem caráter regional, não havendo possibilidade de se analisar os resultados de risco em escalas locais, considerando a resolução espacial dos produtos disponíveis para a execução deste trabalho.

[24]https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48d8b5e-a58a5dfcc989



Mapa 6-1 – Bacias hidrográficas utilizadas para discretização regional de perigos e riscos, quando aplicável.
Fonte: Elaboração própria.

6.1 CHEIAS E INUNDAÇÕES

A partir do mapeamento da periculosidade da RH-V quanto a inundações, e da identificação das vulnerabilidades social, ambiental e econômica associadas, foi possível obter a matriz de risco na RH-V referente à temática de inundações, seguindo o exposto no início deste capítulo. Destaca-se, portanto, que os mapas de risco aqui apresentados são associados ao cruzamento (multiplicação) do mapa de

perigo calculado para áreas inundáveis com os mapas de vulnerabilidade social, ambiental e econômica, apresentados anteriormente no capítulo 4.

Combinando essas dimensões (o perigo, representado pela extensão e limites das manchas de inundação, a vulnerabilidade social, a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade econômica) foi possível realizar uma avaliação integrada que expressa o risco da RH-V quanto às inundações conforme definido neste estudo, com os dados e a escala disponível. Essa integração permite não apenas identificar as áreas com maior probabilidade de ocorrência desse tipo de desastre, olhando-se para diferentes vulnerabilidades, mas também considerar a sensibilidade e a exposição da sociedade e do meio ambiente em geral nessas regiões. A seguir estes riscos são apresentados.

6.1.1 *Risco Social*

O risco social quanto às inundações é aqui representado pela multiplicação entre dois *datasets*: o mapa de periculosidade quanto à inundação e o mapa de vulnerabilidade social, apresentado anteriormente no capítulo 4.1. Observa-se, portanto, que as áreas de risco aqui apresentadas estão associadas apenas às áreas regionalmente mapeadas como sendo propensas a sofrer com inundações, excluindo-se, portanto, análises locais associadas a processos de alagamento urbano[25], entre outros.

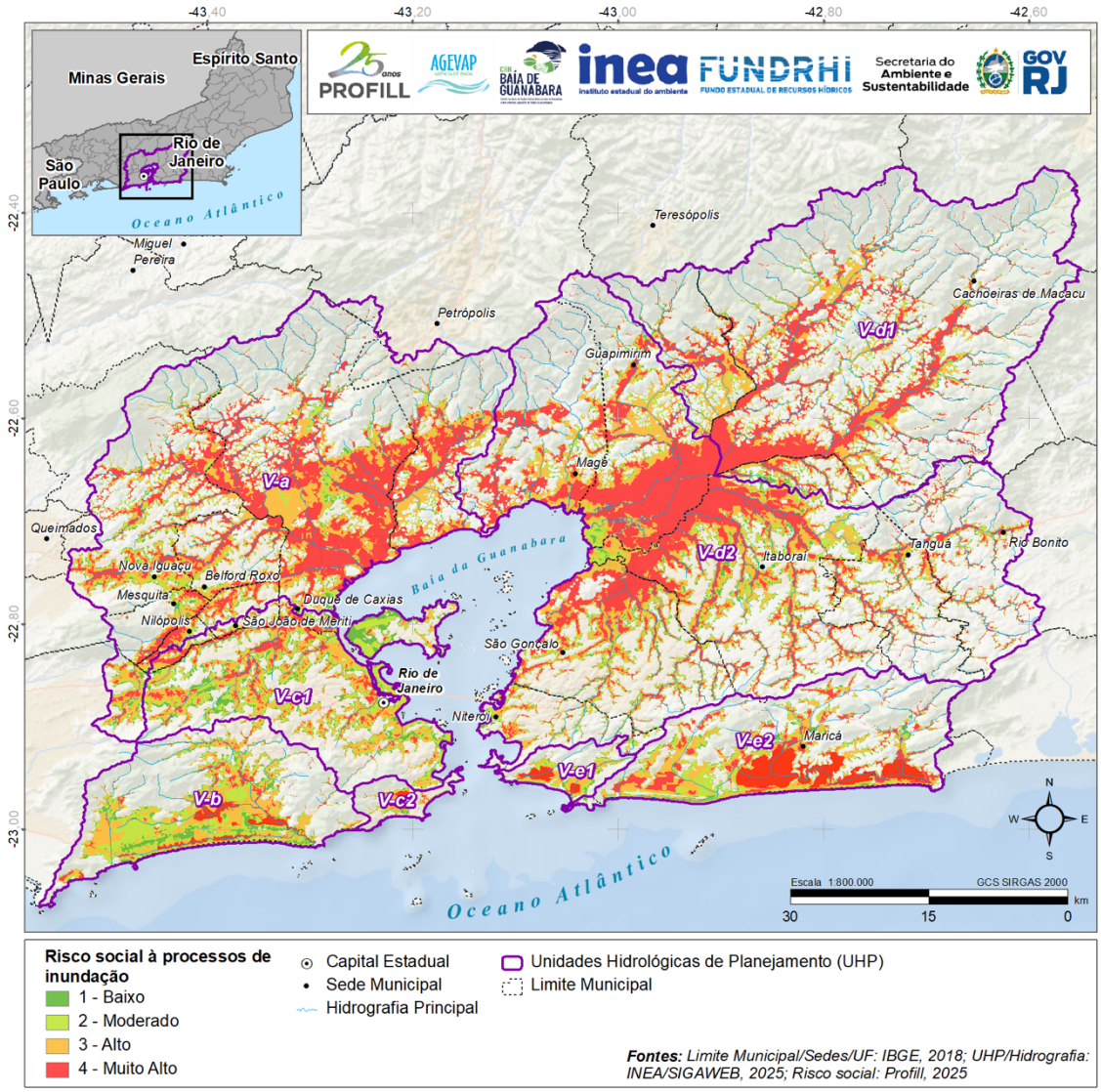
Neste contexto, a partir da análise do Mapa 6-2, é possível identificar que parcela significativa da RH-V se encontra em zonas classificadas como sendo de ”alto risco” e “muito alto risco” para inundações, termo aqui associado ao extravasamento de calha de grandes rios, mapeados em escala de 1:50.000, sejam elas bruscas (normalmente vinculadas ao nome “*flash-floods*” ou “enxurradas”) sejam elas graduais. O risco social quanto às inundações apresenta variações significativas ao longo

[25]Por “alagamento” entende-se a existência de lâminas d’água relevantes no interior das cidades decorrentes da falha dos dispositivos de drenagem, como sarjetas, bocas de lobos e galerias de pluviais. De modo contrastante, o termo “inundação” está associado a processos que ocorrem na macrodrenagem, vinculados muitas vezes ao extravasamento de calhas de cursos hídricos de porte médio ou grande.

da RH-V, destacando-se regiões que demandam maior atenção no contexto da gestão ambiental e dos recursos hídricos, e regiões que se encontram sob menor risco.

Observa-se também que a metodologia aqui proposta foi possível diferenciar zonas que são igualmente expostas ao perigo de inundação, mas que apresentam diferentes vulnerabilidades, como verificado nas classificações de risco associadas às margens do Rio Pavuna, que, na divisa de São João de Meriti com o município do Rio de Janeiro, apresenta classificação de risco variando de “muito alto” à “alto” para regiões muito próximas e de similares características físicas. O mesmo ocorre inclusive para a região próxima da Barragem Gericinó e para o Rio Maranga (que corta o município do Rio de Janeiro), que passa de zonas de ”risco alto” para zonas de ”risco baixo” quando deixa de cruzar setores censitários de alta vulnerabilidade para interceptar setores censitários classificados como sendo de muito baixa vulnerabilidade.

Também é notável o fato de algumas áreas mais baixas, como as regiões associadas às UCs Federais de Proteção Integral ESEC da Guanabara e a UC Federal de Uso Sustentável APA de Guapimirim, apresentarem risco social ”muito alto”. Nesse contexto, destaca-se que o Mapa 6-2 foi constituído a partir da consideração de setores censitários para toda a RH-V, havendo ranqueamento de vulnerabilidade social, portanto, para toda a área da bacia, inclusive para porções do território com ausência de populações.



Mapa 6-2 – Mapa de risco social à inundação na RH-V
Fonte: Elaboração própria.

A Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), por exemplo, apresenta predominância de áreas com ”risco alto” e ” risco muito alto”, associado às áreas de suscetibilidade à inundação mapeadas, muito devido às vulnerabilidades locais. Ao mesmo tempo, também ganha destaque as regiões de serra ao norte da referida UHP, que apresenta riscos inexistentes em grande parte devido, principalmente, ao fato da periculosidade quanto às inundações nestes locais estar muito mais associada às proximidades das calhas dos rios encaixados.

A Região dos Rios São João do Meriti, Pavuna, Acari, Maracanã, Faria Timbó e Irajá (que compõe a UHP V-c1), exibe, por sua vez, uma distribuição mista de classes de risco, com predominância de áreas de ”risco alto” e ”risco muito alto” principalmente junto às calhas dos Rios Pavuna, Acari e São João do Meriti. Entretanto, também se destacam outras regiões de ”risco moderado” ou “risco baixo” nessa UHP. Nas áreas associadas às UHPs V-b e V-c2, por outro lado, há poucas regiões classificadas como sendo de “risco muito alto”, embora ainda existam áreas associadas a esse tipo de risco, muito devido à sinergia observada entre áreas de periculosidade e áreas de existência de aglomerados subnormais, que representam alta vulnerabilidade social. Neste sentido, a Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (UHP V-b), destaca-se por concentrar a maior proporção de áreas com “risco moderado” ou ”risco baixo”, uma vez que associa áreas de menor vulnerabilidade social a áreas de menor perigo quanto à inundação.

Já a Região do Rio Macacu (UHP V-d1), situada no nordeste da RH-V, embora apresente uma maior proporção de regiões com ausência de risco de inundação, devido à geomorfologia local, as áreas baixas combinam regiões de alta periculosidade com regiões de alta vulnerabilidade, resultando em porções significativas de áreas classificadas como tendo ”risco alto” e “muito alto” para inundações. Complementarmente, a Região dos Rios Guapimirim, Caceribu e Guaxindiba (UHP V-d2), localizadas na porção central da RH-V, configuram-se como uma das áreas mais críticas, com forte predominância de zonas de ”risco alto” e “risco muito alto”.

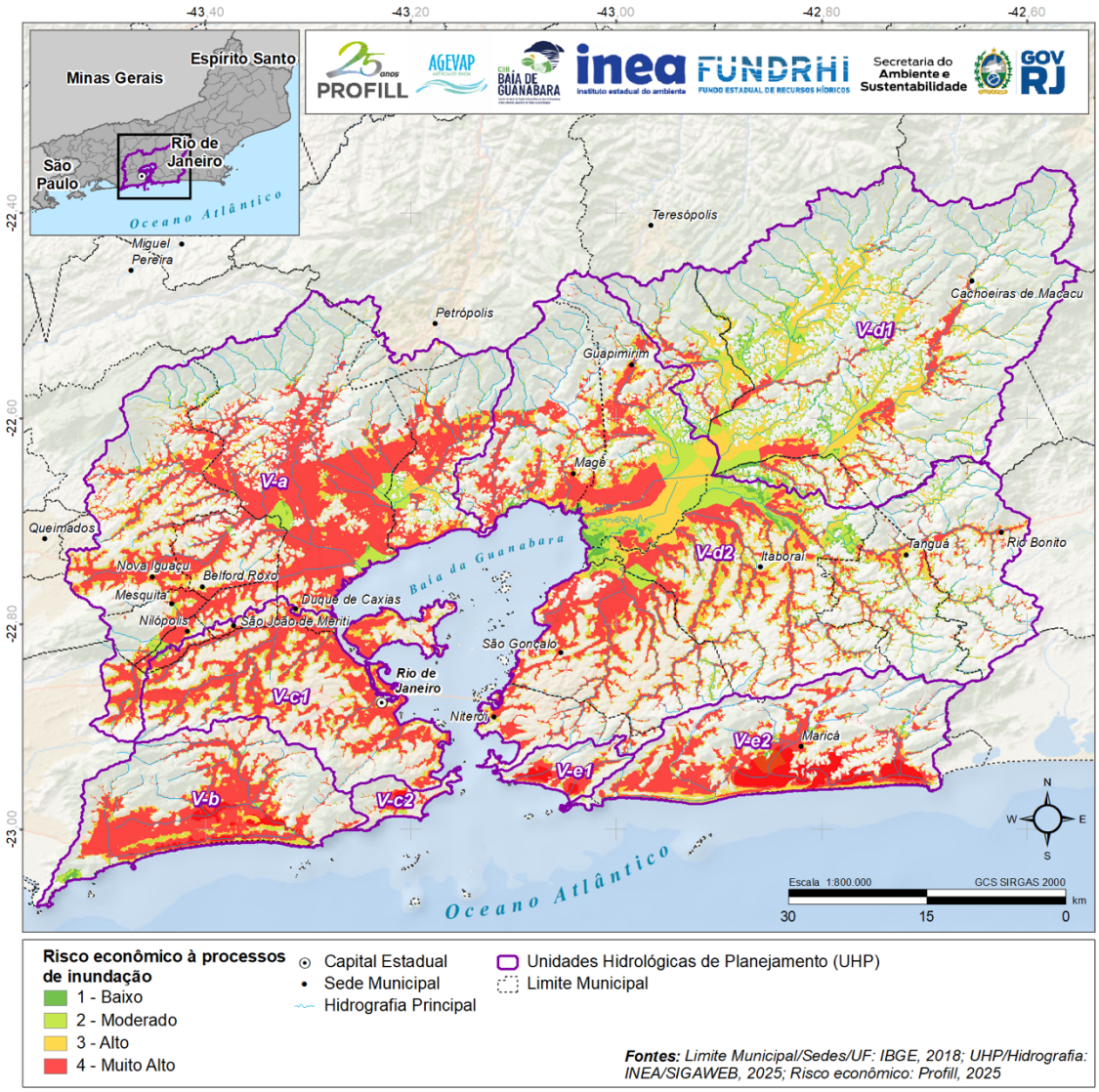
Por fim, a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2), situadas no sudeste da bacia, apresentam, em sua maioria, ”risco alto” e ”risco moderado”, com algumas manchas de ”risco muito alto”, comportamento esse que está associado à heterogeneidade do local, tanto quanto às vulnerabilidades mapeadas, como quanto às características fluviais.

6.1.2 *Risco Econômico*

Observa-se, a partir da análise do Mapa 6-3, que o risco econômico associado a processos de inundação é predominantemente maior na porção oeste e sul da RH-V, bem como na região noroeste, onde a vulnerabilidade econômica se mostra proporcionalmente maior, conforme apresentado no capítulo 4.3, e tem sinergia com as áreas inundáveis de maior expressão.

Neste contexto, as UHPs V-b, V-c1 e V-c2 se encontram majoritariamente caracterizadas como sendo de ”muito alto risco” em termos econômicos, uma vez que as vulnerabilidades econômicas nestas regiões, que expressam ou relativizam o custo potencial associado aos desastres, são altas ou muito altas. Similarmente, as UHPs V-a, V-e1 e V-e2 também apresentam suas regiões baixas classificadas majoritariamente como sendo de ”muito alto risco”, pelo mesmo motivo anteriormente observado. Exceção relevante se faz, entretanto, para a área de reservatório da Barragem Gericinó, cujo risco econômico calculado para ela é de ”baixo” a majoritariamente ”moderado”. O mesmo vale para a região logo a jusante do ponto de encontro entre o Rio Iguaçu e o Rio Capivari, classificada como sendo de risco econômico ”moderado” e ”baixo” devido à ausência de atividades econômicas locais.

De modo contrastante, destaca-se que a região hidrográfica dos Rios Macacu, Iconha entre outros (V-d1) tem predominância de riscos econômicos minorados, como ”baixo”, ”moderado” e “alto”, observando-se zonas de “muito alto risco” para algumas regiões e pontos específicos. Esse comportamento não é observado, entretanto, para a Região dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba entre outros. Nessa região hidrográfica (V-d2) são observados riscos econômicos categorizados como sendo majoritariamente ”altos” ou ”muito altos”.



Mapa 6-3 – Mapa de risco econômico à inundação na RH-V
Fonte: Elaboração própria.

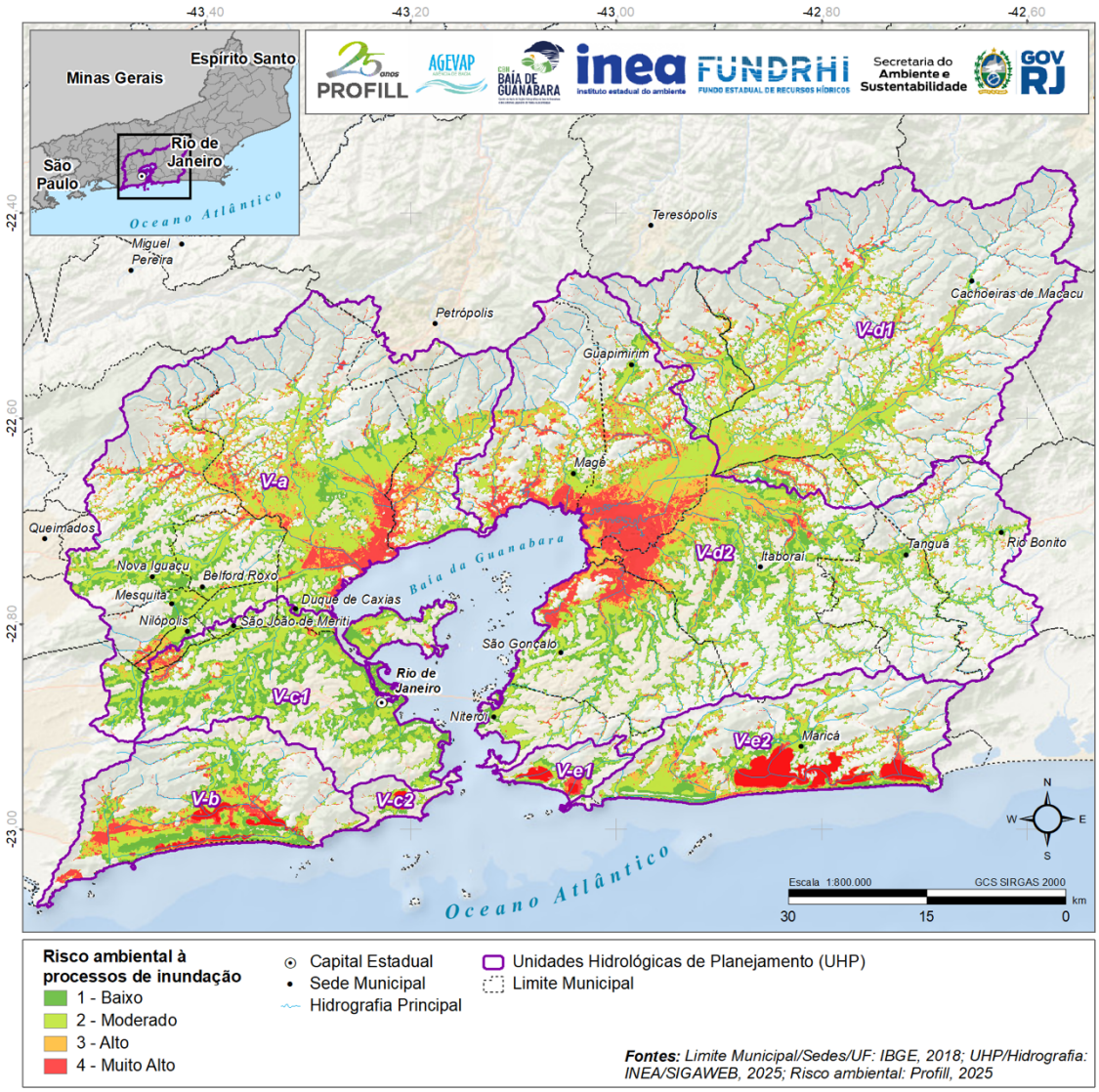
6.1.3 *Risco Ambiental*

O risco ambiental associado à inundação na RH-V, de modo contrastante ao risco econômico, em geral, é categorizado como sendo ”baixo” e ”moderado”, em detrimento de regiões com grande relevância ambiental, como a APA de Guapimirim e a ESEC de Guanabara, localizadas na confluência dos Rios Macacu, Guaraí e Caceribu com o mar. Também se destacam áreas de interesse ambiental, vinculadas à UCs municipais e estaduais, que também acabam se categorizando como áreas

de ”risco alto” para inundações, quando estas cruzam regiões de grande periculosidade para os eventos aqui mencionados.

No Mapa 6-4 é possível verificar o contraste do risco ambiental destas regiões para outras em que há pouco ou nenhum extrato vegetal natural, como ocorre nas manchas urbanas de grande adensamento populacional, conforme demonstrado ao longo do capítulo 4.2. Verifica-se, portanto, que as regiões classificadas como sendo de maior risco ambiental são aquelas localizadas, principalmente, em áreas em que há a presença conjunta de grande vulnerabilidade ambiental com áreas baixas, que são suscetíveis a processos de inundação associados a TRs menores (que ocorrem com maior frequência).

De modo similar, grande parte das lagoas regionais, localizadas ao sul da RH-V também são classificadas como sendo de ”risco alto” ambiental. Ou seja, são áreas de muita vulnerabilidade e suscetíveis a inundações, que ocorrem com alta frequência. Também, se destacam os trechos de rios de cabeceira localizados ao norte da RH-V, cujos resultados apontam, embora concentrados nas calhas principais, para riscos ambientais ”muito altos”, por estarem principalmente associados à alta vulnerabilidade ambiental de forma concomitante a regiões categorizadas como sendo de alto perigo para inundação por enxurradas.



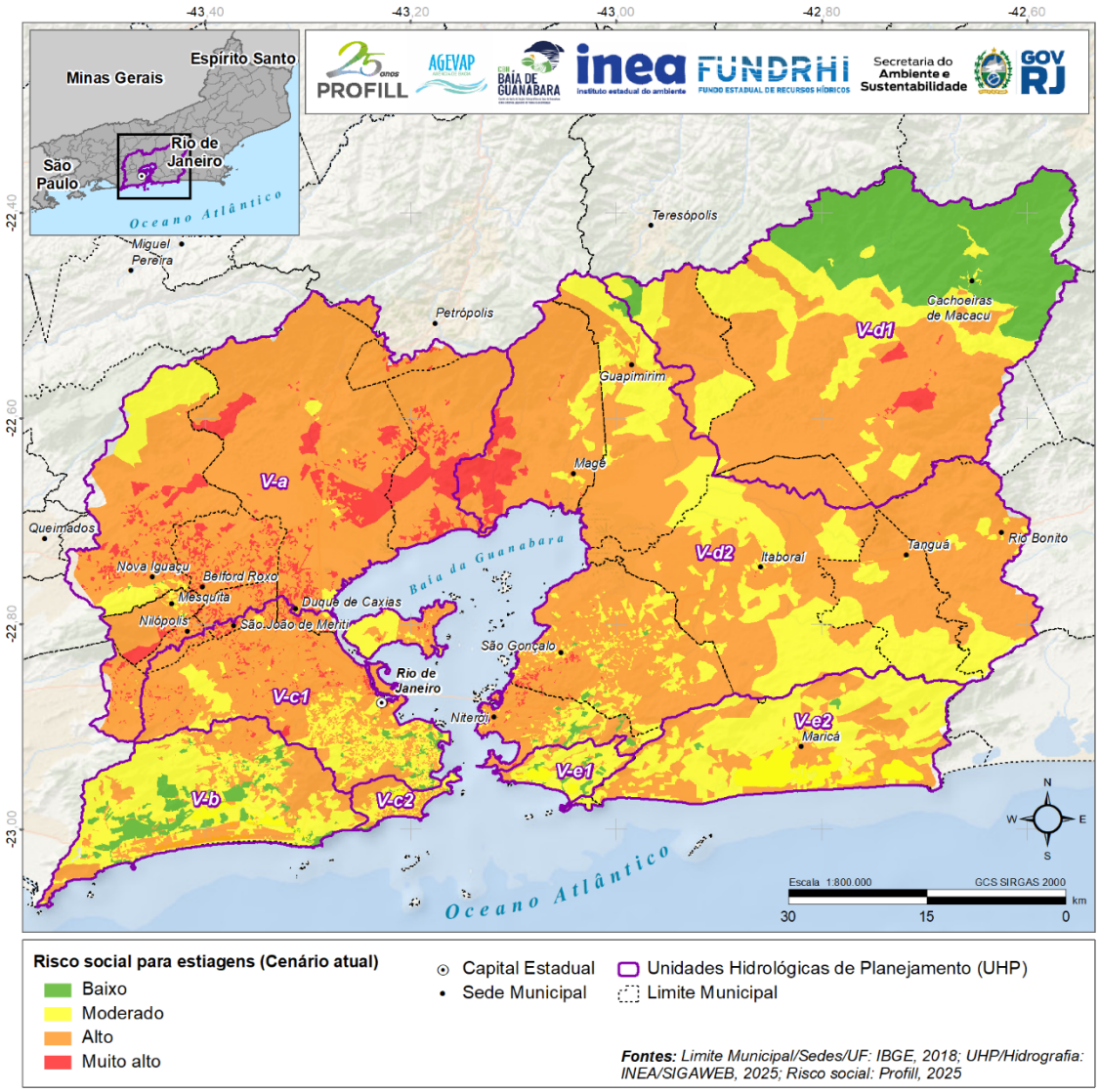
Mapa 6-4 – Mapa de risco ambiental à inundação na RH-V
Fonte: Elaboração própria.

6.2 ESTIAGENS PROLONGADAS

A seguir, são apresentados os resultados referentes ao risco social, econômico e ambiental para dois cenários, atual e futuro, quanto às estiagens prolongadas na RH-V.

6.2.1 *Risco Social no Cenário Atual*

O Mapa 6-5 evidencia que o risco social no cenário atual associado às estiagens prolongadas na RH-V é particularmente elevado nas áreas de maior densidade populacional e de maior vulnerabilidade socioeconômica, sobretudo nas UHPs V-a e V-c1. Nessas, ocorre a intersecção entre regiões com menores pluviosidades, secas de características mais intensas e setores censitários de alta vulnerabilidade, resultando em manchas contínuas de risco ”muito alto”, principalmente na UHP V-a. Essa característica diferencia zonas que compartilham a mesma periculosidade, mas que apresentam distintos níveis de vulnerabilidade social, resultando em classificações de risco contrastantes em áreas fisicamente próximas. Destaca-se que há ocorrência de risco ”alto” em quase toda a RH-V, excetuando-se o norte e a região costeira, onde há maiores pluviosidades e secas menos intensas, resultando em áreas de risco ”moderado” e ”baixo”.



Mapa 6-5 – Mapa de risco social às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

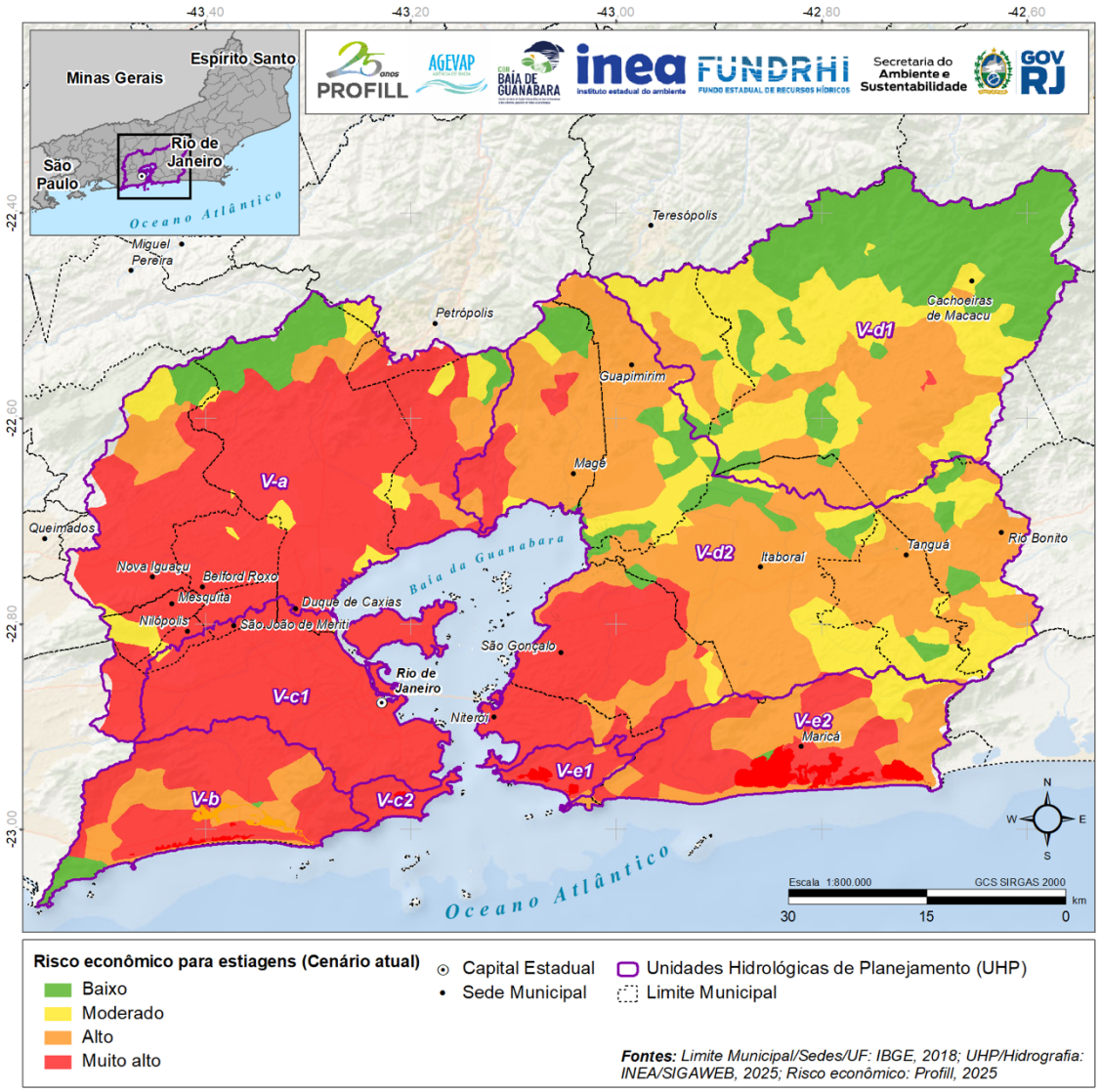
6.2.2 *Risco Econômico no Cenário Atual*

A análise do Mapa 6-6 indica que o risco econômico no cenário atual associado às estiagens prolongadas na RH-V concentra-se principalmente na região oeste, onde ocorre a predominância de riscos ”muito altos”, principalmente devido à alta ocupação desta região, caracterizada por setores de maior relevância econômica. As UHPs V-a, V-b, V-c1 e V-c2, destacam-se por apresentar, quase na sua totalidade, risco ”alto” e ”muito alto”, refletindo a presença de infraestrutura urbana consolidada,

atividades industriais e densidade populacional que potencializam os custos associados quanto aos impactos da ocorrência de estiagens. Nesta região, há, também, menor incidência de precipitações, aumentando o risco.

As UHPs V-e1, V-e2 e parte da V-d2 também se destacam por trechos de risco ”muito alto” e ”alto”, que combinam a vulnerabilidade local com a periculosidade econômica calculada anteriormente. Também se destaca que nesta região as precipitações não são tão elevadas quanto no norte da RH-V (V-d1), que apresenta risco econômico variando de ”moderado” a ”baixo”.

Observa-se também que a região oeste da RH-V é a que tem maior potencial de sofrer com impactos econômicos ocasionados pelas secas, devido, em grande parte, à vulnerabilidade econômica local interagindo com áreas onde há maior periculosidade quanto ao fenômeno de estiagens.



Mapa 6-6 – Mapa de risco econômico às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.2.3 *Risco Ambiental no Cenário Atual*

A partir da análise do Mapa 6-7, observa-se que o risco ambiental no cenário atual associado às estiagens prolongadas na RH-V apresenta distribuição heterogênea, concentrando-se principalmente nas áreas mais a norte e noroeste da região, bem como nas margens à norte e à leste da Baía de Guanabara. Regiões como as UHPs V-a e V-b destacam-se por apresentarem predominância de risco ambiental

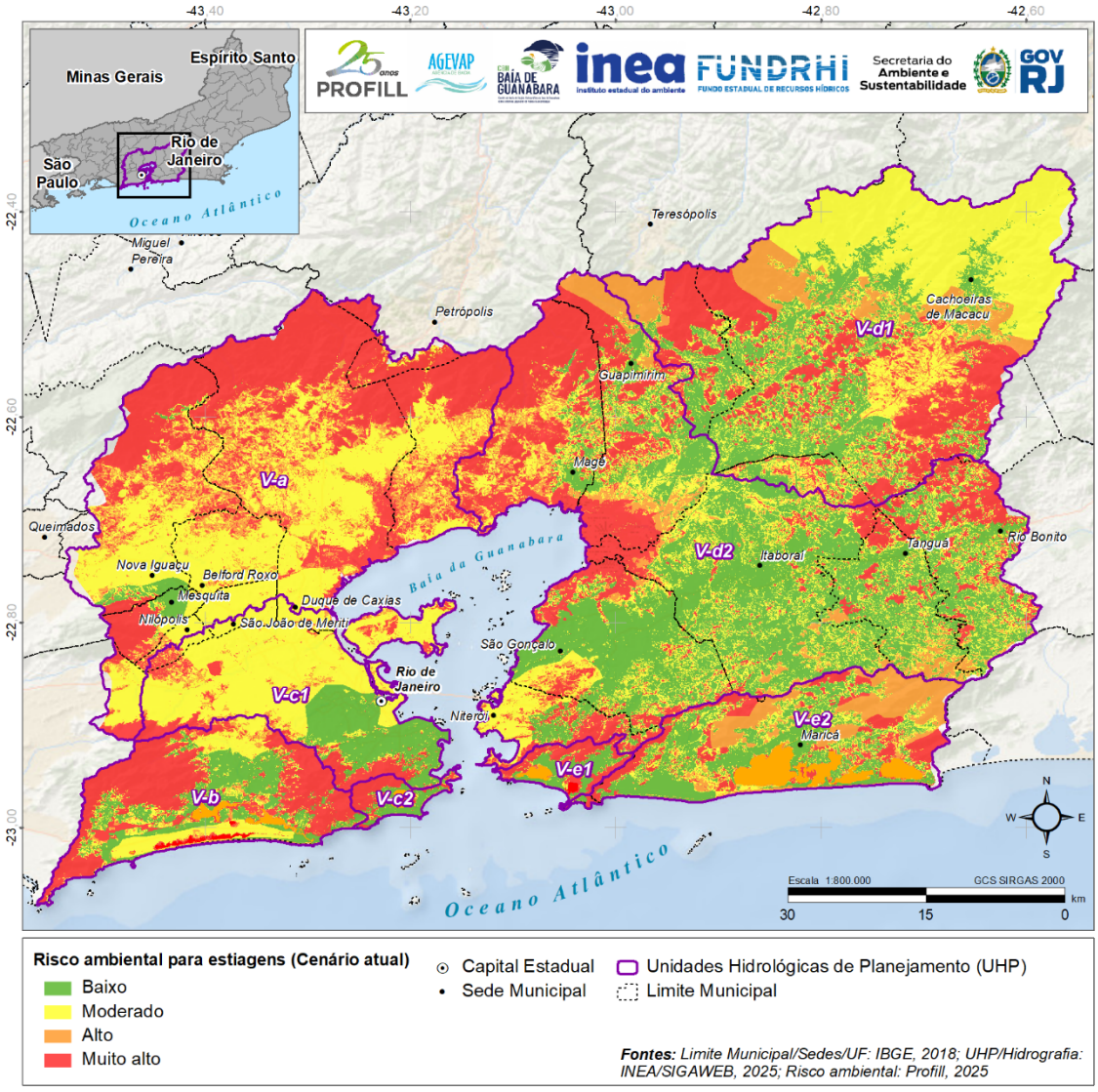
classificado como ”muito alto”, resultado da combinação entre áreas de elevada suscetibilidade a estiagens e alta vulnerabilidade ambiental, sobretudo em setores com presença de ecossistemas frágeis e de grande relevância ecológica. Ainda, delas, se destaca a UHP dos Rios Iguaçu e Saracuruna (V-a), que ganha notoriedade pelo fato de apresentar maiores áreas vinculadas a riscos ”altos” e ”moderados” ao se comparar à UHP das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (V-b).

Também se destacam as UHPs V-c1 e V-c2, que apresentam riscos ambientais médios distintos quanto às estiagens. Enquanto na UHP dos Rios Pavuna e Meriti (V-c1) os riscos ambientais são minorados (variando de ”baixo” para ”moderado”), devido à ausência de extratos vegetais relevantes, a UHP da Lagoa Rodrigo de Freitas (V-c2) apresenta grande parcela categorizada como sendo de ”muito alto” risco para estiagens, enquanto a porção mais baixa tem risco ”baixo” muito em função das chuvas convectivas que ocorrem no local, atreladas a baixas vulnerabilidades ambientais.

Ao norte da UHP V-d1, por sua vez, é observado risco ambiental reduzido, variando de ”baixo” à ”moderado” devido a presença de altos índices pluviométricos locais, associados à alta incidência de chuvas orográficas, e à predominância de menores vulnerabilidades ambientais. De modo similar, o risco ambiental para estiagens na porção interna da UHP V-d2 varia de forma bastante heterogênea, com a existência, entretanto, de regiões de concentração de riscos com nota similar. Na foz dos Rios Caceribu e Guaxindiba na Baía de Guanabara, na Estação Ecológica de Guanabara, por exemplo, é observado um alto risco de impacto relativo a estiagens, ao passo que nas regiões mais urbanizadas, na porção interna da UHP V-d2, esse risco é minorado.

Por sua vez, as regiões das UHPs V-e1 e V-e2 também se destacam pela heterogeneidade. Riscos ambientais ”altos”, ”moderados” e ”baixos” se mesclam na malha de riscos calculada para a UHP V-e2. Para a UHP das Lagoas de Niterói (V-e1), por outro lado, observam-se maiores riscos nas porções mais altas, muito em função das vulnerabilidades locais.

De modo geral, por fim, o risco ambiental às estiagens prolongadas reflete a coincidência entre zonas de grande valor ecológico e baixas pluviosidades, ou regiões cujas secas foram classificadas como mais severas conforme o SPI, o que demanda estratégias específicas de conservação e manejo.



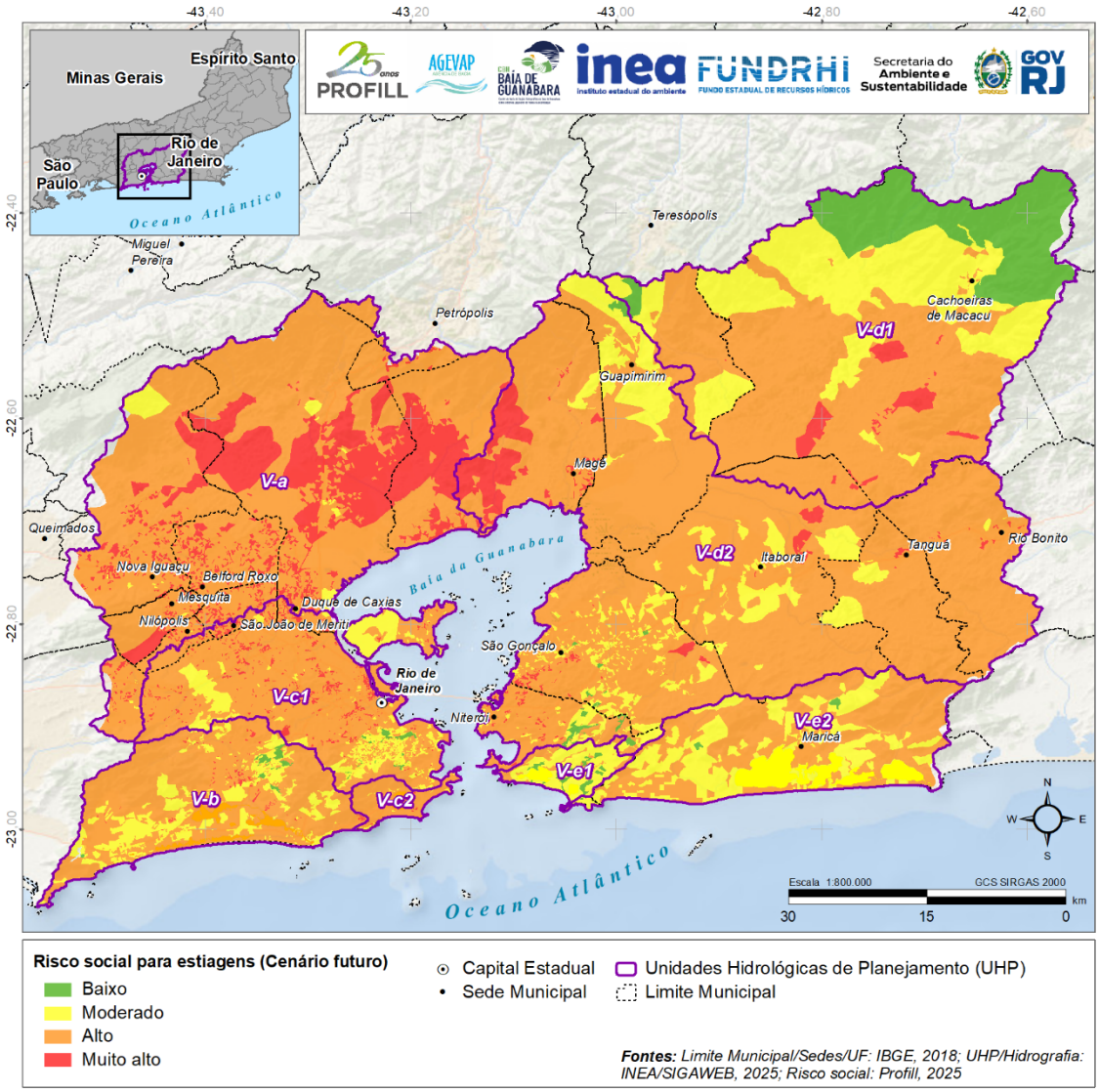
Mapa 6-7 – Mapa de risco ambiental às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.2.4 *Risco Social no Cenário Futuro*

O risco social associado às estiagens severas que potencialmente ocorrerá no cenário futuro na RH-V é apresentado no Mapa 6-8. Conforme pode ser observado, há intensificação relevante em relação aos índices calculados para o cenário atual, havendo maior incidência de risco social ”muito alto” e “alto” de um modo geral na RH-V. Observa-se, por exemplo, a UHP V-a, em que há um aumento de risco relevante na sua porção central, deflagrada pela combinação de setores censitários de maior vulnerabilidade social com menores pluviosidades e secas mais severas, conforme o índice SPI. Os municípios mais afetados são Duque de Caxias, Magé e Belford Roxo.

Além desta região, na parte leste da RH-V, as UHP V-d1 e V-d2 também apresentam risco ”muito alto” em alguns pontos, e avanço de zonas classificadas como risco ”moderado” para áreas anteriormente categorizadas como sendo de risco ambiental ”baixo”. No caso da UHP V-d1, embora a região não seja tão intensamente afetada pelas secas, é observado esse avanço ao norte, junto à região serrana. Já no caso da UHP V-d2 nos municípios de Itaboraí e São Gonçalo, ocorre uma combinação destes fatores, que resultam em áreas anteriormente definidas como sendo de risco ”moderado” passando para regiões de ”alto” risco ambiental à ocorrência de períodos de secas.

Esse tipo de comportamento é observado para outras UHPs da RH-V, como, por exemplo, a UHP das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (V-b), que tem diversas regiões anteriormente classificadas como sendo de ”baixo” e ”moderado” risco, migrando para ”moderados” e ”altos” riscos associados. Além disso, destaca-se que nas demais UHPs da RH-V, de um modo geral, há a predominância de risco social ”alto”, com algumas parcelas de risco social ”moderado” mescladas com algumas áreas de risco social ”muito alto”.



Mapa 6-8 – Mapa de risco social às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

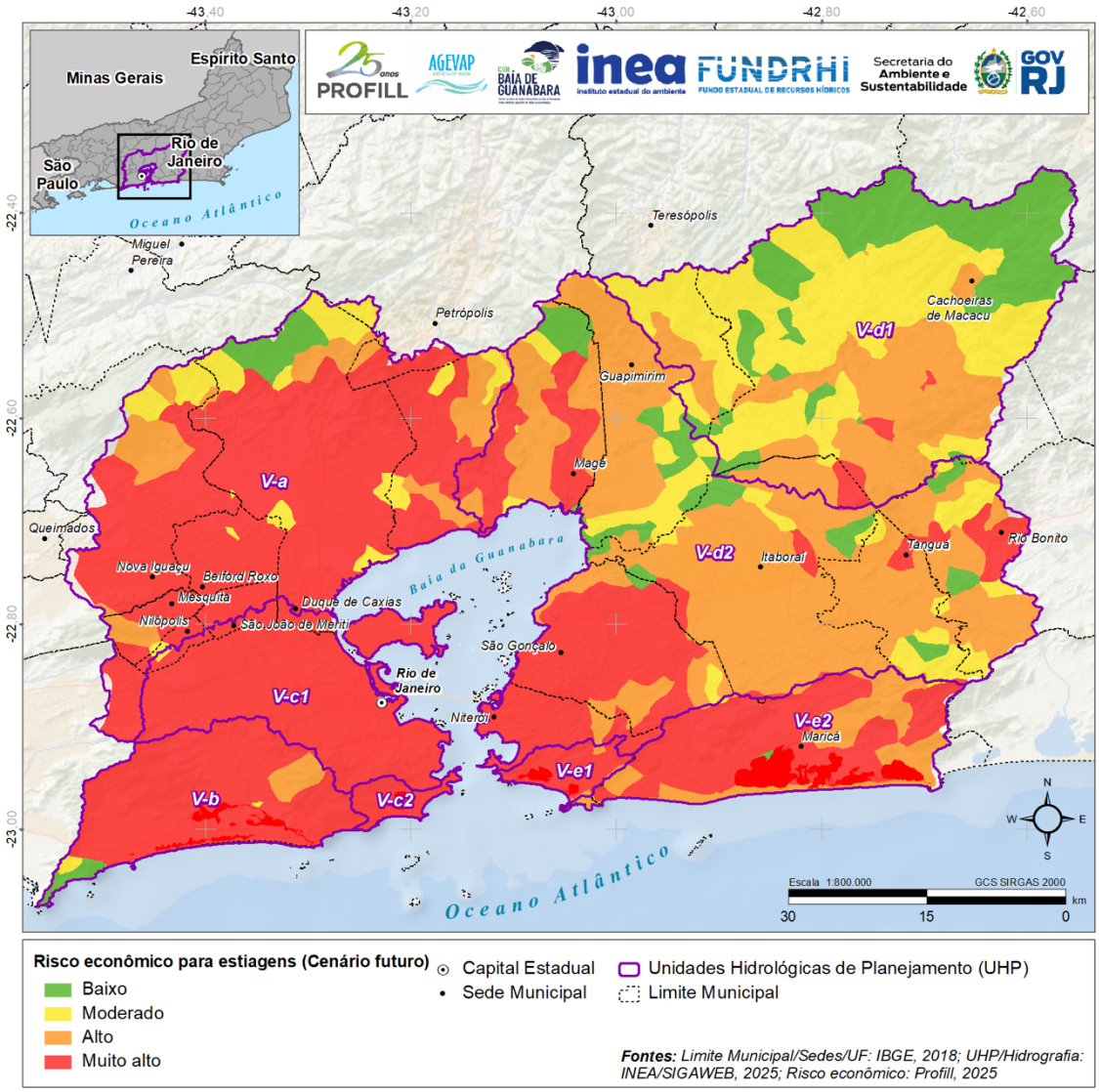
6.2.5 *Risco Econômico no Cenário Futuro*

No que diz respeito ao risco econômico (Mapa 6-9) no cenário futuro, observa-se que os impactos associados às estiagens prolongadas tendem a se concentrar nas regiões oeste, centro e sul da RH-V, justamente onde há maior adensamento urbano e atividades econômicas. As UHPs V-c1, V-c2 e V-b destacam-se pela predominância de risco econômico ”muito alto”, reflexo da elevada vulnerabilidade das atividades produtivas e da infraestrutura urbana, associada à menores pluviosidades

e secas com maiores intensidades. O mesmo vale para a UHP dos Rios Iguaçu e Saracuruna (V-a), que tem maior parte de sua extensão territorial vinculada a áreas de ”muito alto” risco econômico.

De forma contrastante, a Região do Rio Macacu (UHP V-d1) apresenta riscos econômicos mais baixos, com predominância de áreas classificadas como “moderado”, havendo regiões classificadas como sendo de ”baixo” risco e de ”alto” risco com proporcionalidade semelhante. Em geral, se destaca que essa região alia a menor densidade de atividades econômicas e chuvas orográficas, o que acaba gerando áreas de menor risco econômico. Esse comportamento, entretanto, não se repete na Região dos Rios Guapimirim, Caceribu e Guaxindiba (UHP V-d2), onde predominam áreas de risco econômico ”alto”, especialmente em regiões onde há ocorrência de maiores vulnerabilidades econômicas associadas à maior periculosidade quanto as secas.

Por sua vez, a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2) também apresenta um quadro de risco econômico elevado, com classes de risco ”muito alto” e ”alto”, em função da vulnerabilidade anteriormente calculada aliada às altas periculosidades locais observadas no seu entorno.



Mapa 6-9 – Mapa de risco econômico às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.2.6 *Risco Ambiental no Cenário Futuro*

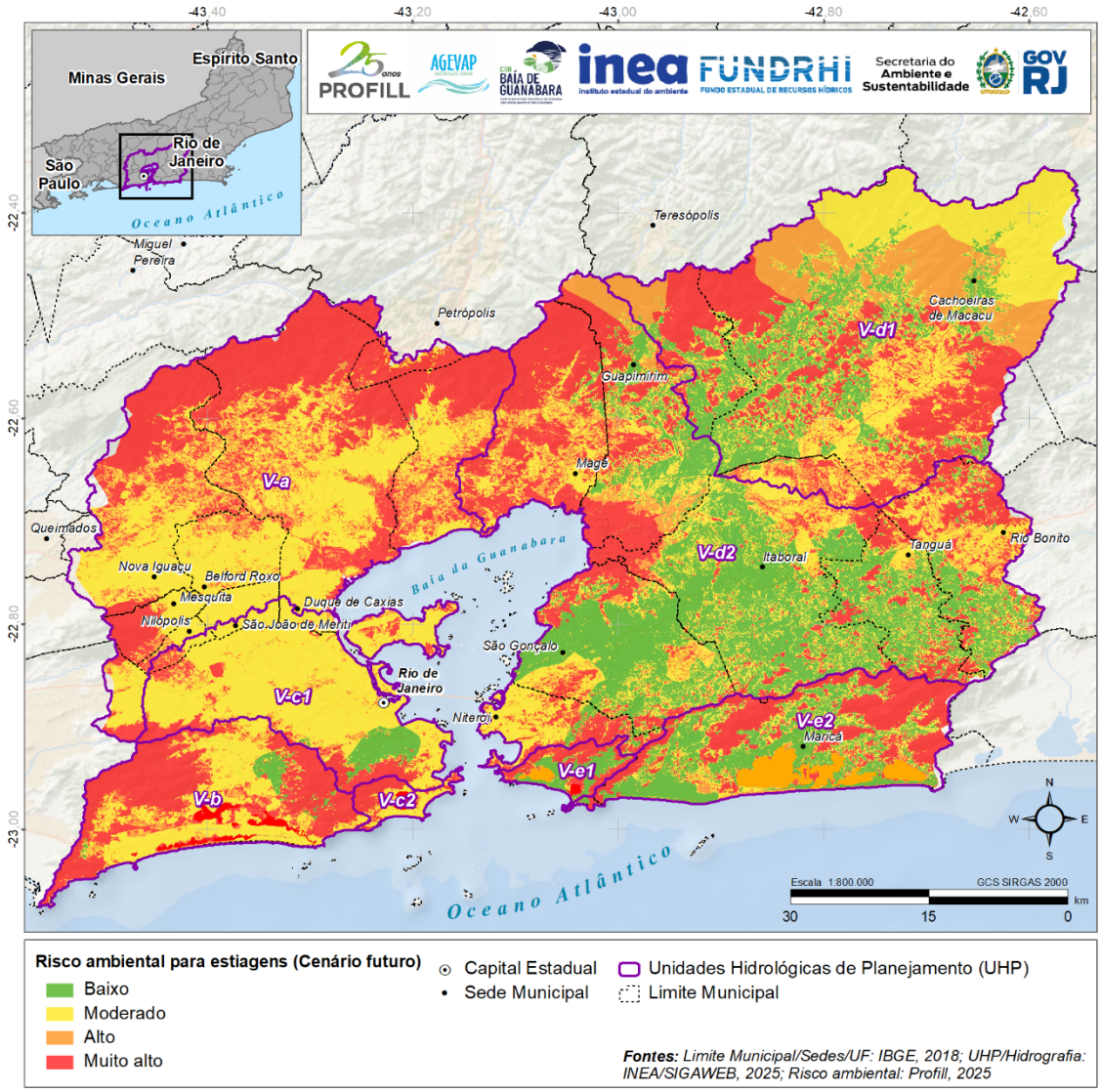
Por fim, o risco ambiental quanto à ocorrência de estiagens prolongadas no cenário futuro é apresentado no Mapa 6-10, onde se observa que maiores riscos manifestam-se principalmente nas áreas de maior relevância ecológica da RH-V, como as zonas estuarinas, lagoas costeiras e UCs. Como exemplo, se destaca a região da Estação Ecológica da Guanabara, na UHP V-d2, que se apresenta com ele-

vado risco ambiental futuro em relação a estiagens prolongadas. Outras áreas de conservação, como o Parque Nacional da Tijuca (UHPs V-c1 e V-c2), o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (UHP V-d2) e a Reserva Biológica do Tinguá (UHP V-a), que estão localizadas em áreas de grande periculosidade futura quanto a estiagens, também são ranqueadas como sendo de ”muito alto” risco ambiental.

De um modo geral, o risco ambiental futuro para a temática de estiagens intensifica o risco ambiental calculado para o cenário presente. Em algumas regiões específicas, como a UHP das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (V-b), por exemplo áreas anteriormente calculadas como sendo de risco ”baixo” passam para risco ”moderado”, o mesmo ocorrendo para as UHPs V-c2 e V-c1. Já a Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a) nota-se tanto no futuro, como no presente, uma situação similar em termos de risco. A exceção se dá para porções a oeste da UHP que tem seu risco majorado.

De modo contrastante, as UHPs V-d1 e V-d2 apresentam diferenças relevantes entre os cenários presente e futuro. Observa-se que ao norte da UHP V-d1 há intensificação do risco ambiental, que passa de regiões anteriormente classificadas como sendo de risco ”moderado” para risco ”alto”, enquanto outras regiões anteriormente classificadas como sendo de risco ”baixo” passam a ser classificadas como de risco ”moderado”.

Por sua vez, a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2), apresenta classificação geral futura que mescla regiões de ”muito alto” risco ambiental, com regiões de ”alto” e ”baixo” risco, em função principalmente da diversificada vulnerabilidade calculada para a região, aliada aos diferentes graus de periculosidade.



Mapa 6-10 – Mapa de risco ambiental às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.3 CONTAMINAÇÃO POR POLUENTES

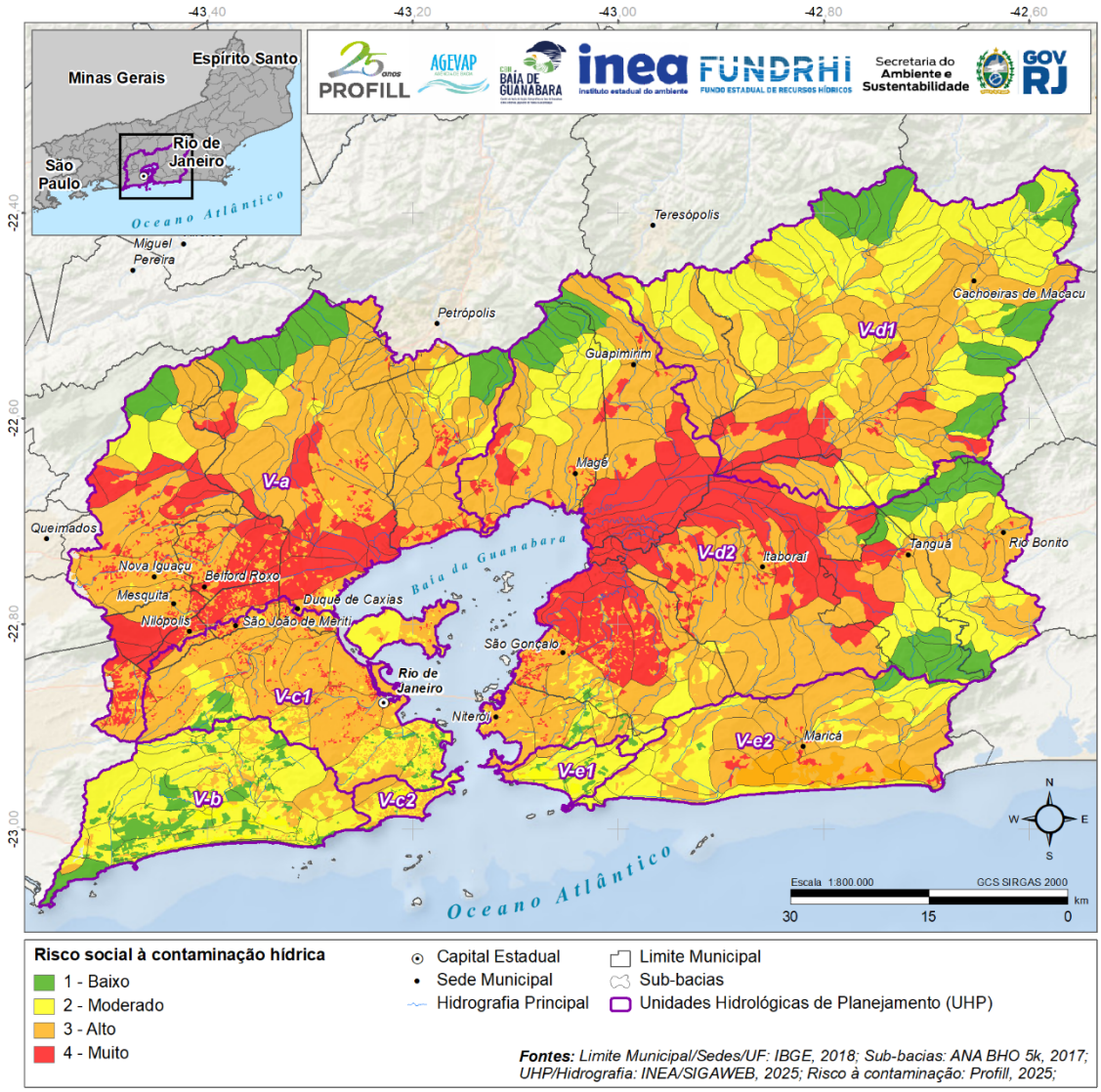
A partir do mapeamento do perigo à contaminação dos cursos hídricos locais e das vulnerabilidades social, ambiental e econômica associadas, foi possível obter a matriz de risco na RH-V referente à temática de contaminação por poluentes, seguindo o exposto no início deste capítulo. Destaca-se, portanto, que os mapas de risco aqui apresentados são associados ao cruzamento (multiplicação) do mapa de

perigo calculado para contaminações e dos mapas de vulnerabilidade social, ambiental e econômica, apresentados anteriormente no capítulo 4.

Combinando essas dimensões (o perigo, representado pela classificação dos trechos e suas respectivas sub-bacias, a vulnerabilidade social, a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade econômica) foi possível realizar uma avaliação integrada que expressa o risco de contaminação hídrica na RH-V. Essa integração permite não apenas identificar as áreas com maior probabilidade de ocorrência de contaminação olhando-se para diferentes vulnerabilidades, mas também considerar a sensibilidade e a exposição da sociedade e do meio ambiente em geral nessas regiões. A seguir, estes riscos são apresentados.

6.3.1 *Risco Social*

Observa-se, a partir da análise do Mapa 6-11, que o risco social de contaminação apresenta variações significativas ao longo da RH-V, destacando-se regiões que demandam maior atenção no contexto da gestão ambiental e dos recursos hídricos, e regiões que se encontram sob menor risco.



Mapa 6-11 – Mapa de risco social à contaminação hídrica na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

A Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), localizada na porção noroeste da bacia, por exemplo, apresenta predominância de áreas com ”risco alto” e ”risco muito alto”, evidenciando a pressão antrópica exercida nos cursos hídricos locais associada a uma condição crítica de vulnerabilidade. Ao mesmo tempo, também ganha destaque as regiões de serra ao norte da UHP V-a, que apresenta riscos baixos devido, principalmente, ao efeito sinérgico associado à baixa vulnerabilidade local e à baixa classificação de perigo.

A Região dos Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó, Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão, e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHPs V-c1 e V-c2), exibem, por sua vez, uma distribuição mista de classes de risco, com predominância de áreas de ”risco moderado” e ”risco alto”, intercaladas por pontos isolados de ”risco muito alto” e fragmentos de ”risco baixo”, principalmente vinculados às porções mais de sudoeste associadas à pequenas manchas urbanas locais. Nas áreas de maior adensamento urbano, especialmente na UHP V-c1, observa-se a predominância de áreas de ”risco alto” para contaminações.

A Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (UHP V-b), localizada no sudoeste da RH-V, destaca-se por concentrar a maior proporção de áreas com ”risco baixo”, uma vez que associa áreas de menor vulnerabilidade social à áreas de menor perigo quanto à contaminação.

Já a Região do Rio Macacu (UHP V-d1), situada no nordeste da RH-V, apresenta um padrão mais heterogêneo, combinando áreas de ”risco baixo” e ”risco moderado”, com porções significativas em ”risco alto” e “risco muito alto”, exigindo atenção especial em pontos específicos, principalmente mais a jusante, na proximidade de alguns pontos estratégicos de captação de águas superficiais.

Complementarmente, a Região dos Rios Guapimirim, Caceribu e Guaxindiba (UHP V-d2), localizadas na porção central da RH-V, configuram-se como uma das áreas mais críticas, com forte predominância de zonas de ”risco alto” e “risco muito alto”.

Por fim, a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2), situadas no sudeste da bacia, apresentam, em sua maioria, ”risco alto” e ”risco moderado”, com algumas manchas de ”risco muito alto”, caracterizando riscos de menor magnitude quanto à contaminação, em termos médios.

6.3.2 *Risco Econômico*

Observa-se, a partir da análise do Mapa 6-12, que o risco econômico associado a processos de contaminação é predominantemente maior na porção oeste

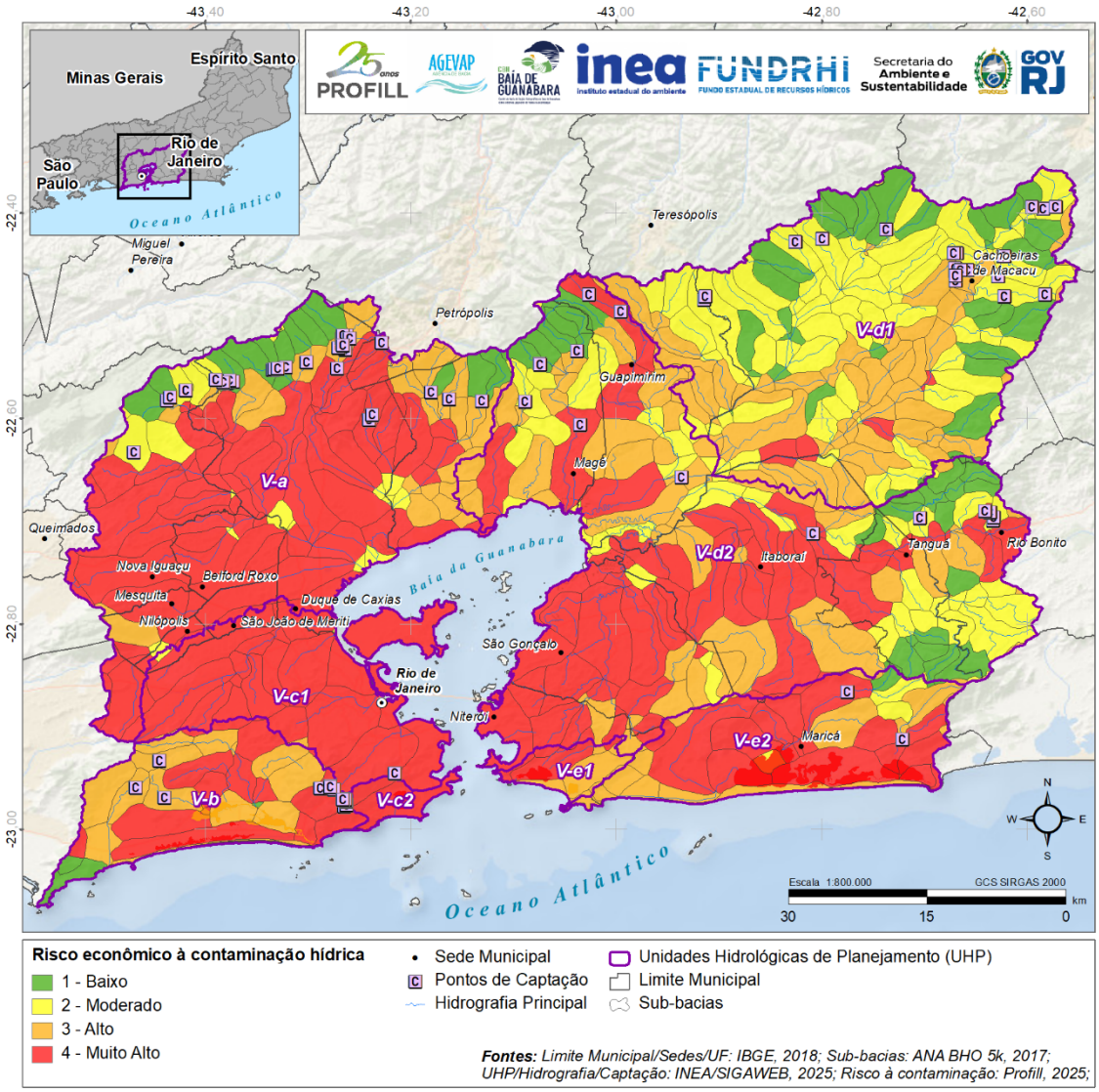
e sul da RH-V, onde a vulnerabilidade econômica se mostra proporcionalmente maior, conforme apresentado no capítulo 4.

Neste contexto, UHPs como a V-c1 e V-c2 se encontram majoritariamente caracterizadas como sendo de ”risco muito alto” em termos econômicos, enquanto a V-d1 tem predominância de riscos econômicos minorados, variando de ”risco baixo” em sub-bacias de cabeceira, a ”risco alto” na região mais próximas do exutório dessa sub-bacia.

Esse comportamento não é similar, entretanto, na UHP V-d2, onde são observados riscos econômicos mais relevantes em caso de desastres associados à contaminação das águas superficiais.

Importante contextualizar também que um dos principais sistemas de abastecimento da RH-V, representada pela Estação de Tratamento de Águas (ETA) da CEDAE, do Sistema de Imunana Guapimirim, se encontra em uma zona classificada como sendo de alto risco econômico em relação a contaminações, segundo a metodologia adotada.

Da forma contrastante, entretanto, outros pontos de captação de água da RH-V se encontram em zonas de variado risco econômico, destacando-se aquelas localizadas ao norte da RH-V, que majoritariamente tem suas captações associadas a zonas classificadas como ”risco baixo” ou ”risco moderado”.



Mapa 6-12 – Mapa de risco econômico à contaminação hídrica na RH-V
Fonte: Elaboração própria.

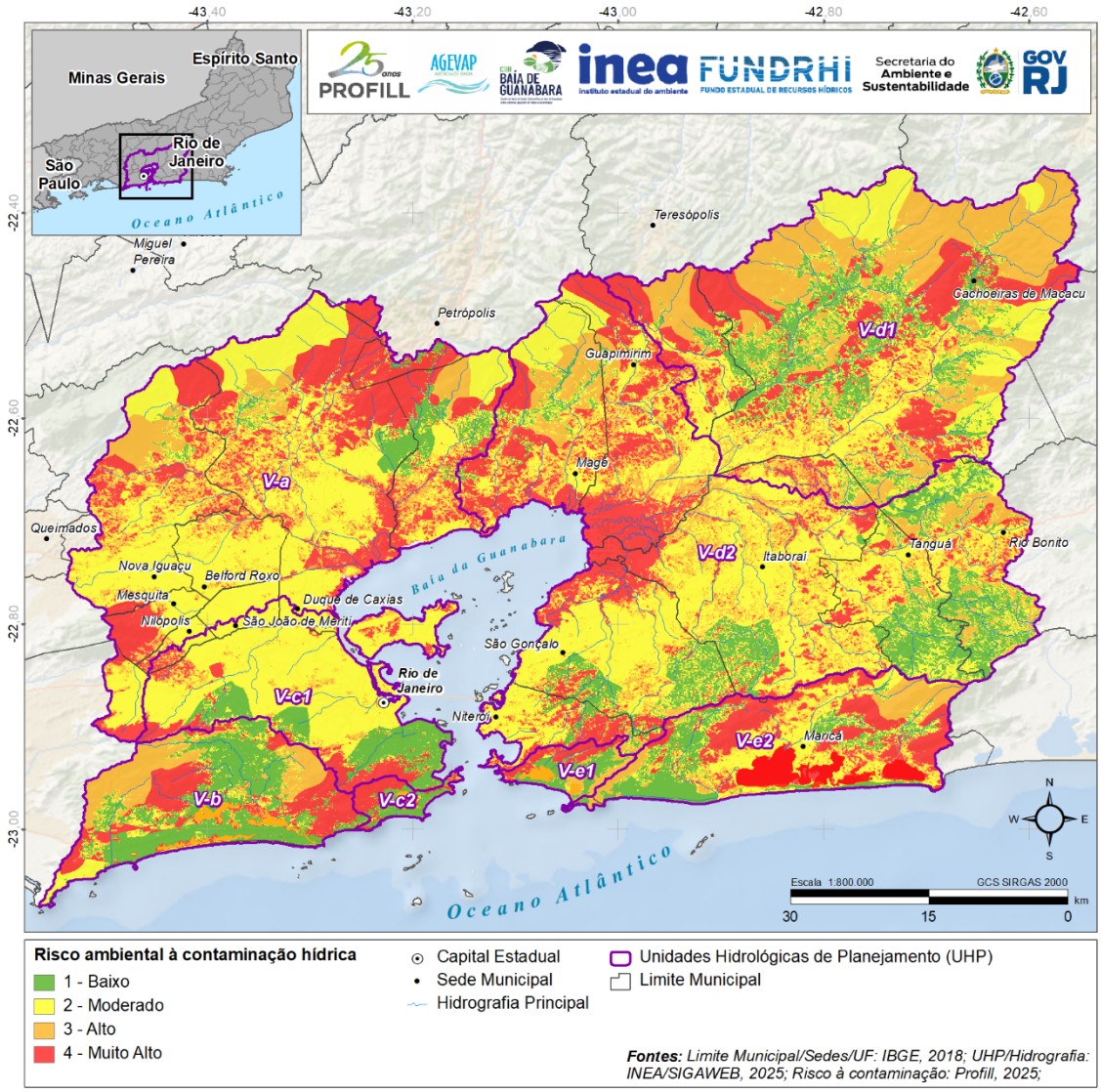
6.3.3 *Risco Ambiental*

O risco ambiental associado à contaminação de águas superficiais na RH-V também apresenta grande variação, conforme pode ser observado a partir do Mapa 6-13, que mostra grande heterogeneidade para essa avaliação. O mapa de risco ambiental é decorrente da multiplicação do mapa de perigo, apresentado no capítulo 5, pelo mapa de vulnerabilidade ambiental apresentado no capítulo 4, tendo, portanto, alta relação com as vulnerabilidades mapeadas.

Verifica-se que as regiões classificadas como sendo de maior risco ambiental são aquelas localizadas, principalmente, em áreas em que há a presença conjunta de grande vulnerabilidade ambiental com grande pressão antrópica quanto à contaminação dos cursos hídricos. Nesse sentido, regiões próximas do encontro dos Rios Caceribu, Macacu e Guaraí, que ao mesmo tempo em que são áreas ambientalmente sensíveis, recebem efluentes oriundos das bacias hidrográficas contribuintes, são classificadas como sendo de ”risco muito alto”.

De modo similar, grande parte das lagoas regionais, localizadas ao sul da RH-V também são classificadas como sendo de ”alto risco” ambiental, enquanto algumas áreas de pouca vulnerabilidade, associadas à pouca suscetibilidade e pequena probabilidade de ocorrência de desastres, apresentam ”baixo risco” quanto à contaminação.

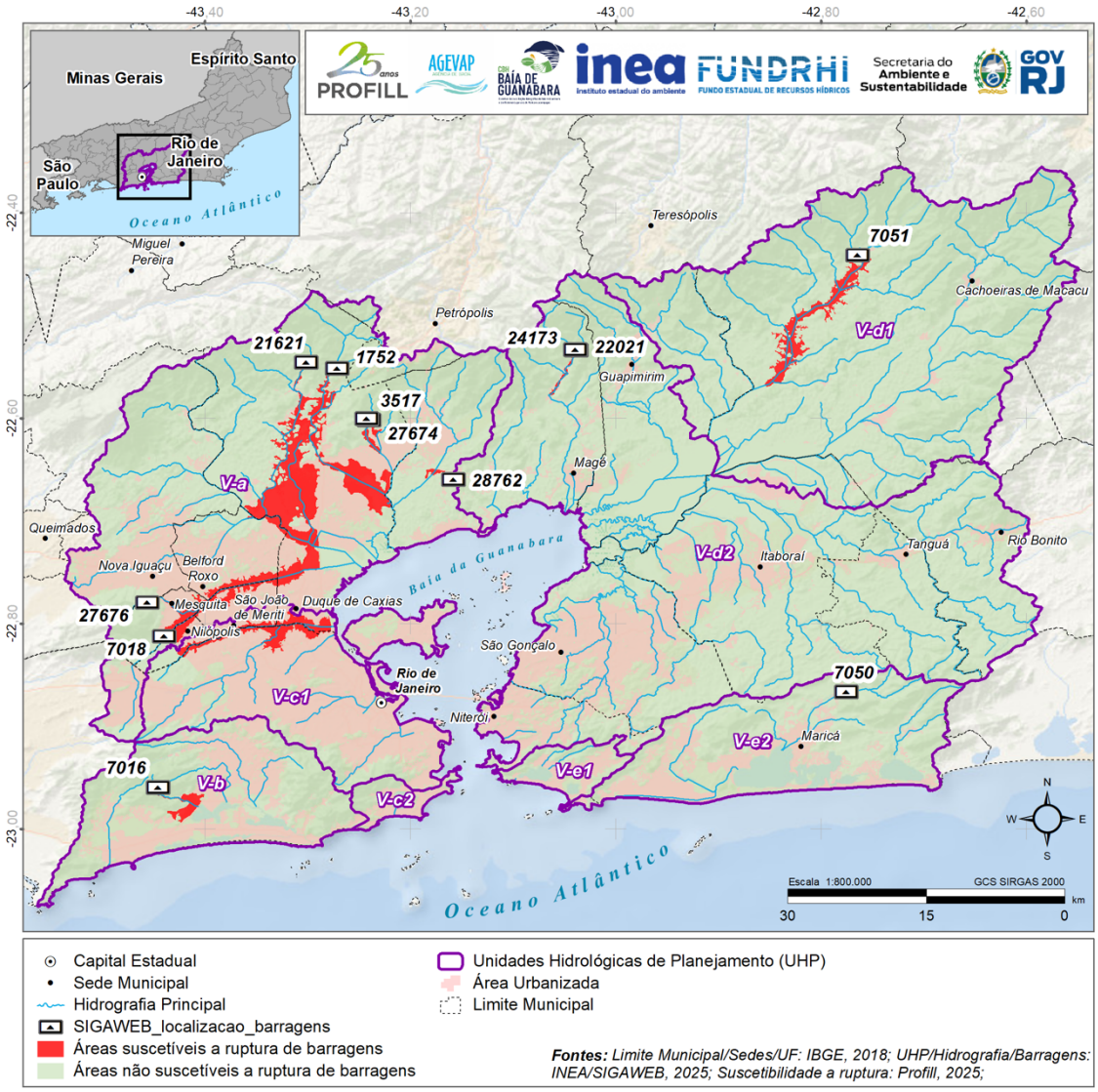
Também se destacam algumas bacias de cabeceira localizadas ao norte da RH-V, cujos resultados apontam para uma classificação de ”risco muito alto”, por estarem principalmente associadas à alta vulnerabilidade de forma concomitante à sub-bacias categorizadas como sendo de ”alto perigo” quanto à contaminação. Tal fato se dá pela existência de pressões antrópicas associadas a manchas urbanas, ou pela existência de modais de transporte ou dutos industriais que cortam os cursos hídricos a montante.



Mapa 6-13 – Mapa de risco ambiental à contaminação hídrica na RH-V
Fonte: Elaboração própria.

6.4 ROMPIMENTO DE BARRAGENS

A constituição de mapas de risco associados a processos de ruptura de barragens passa inicialmente pela identificação de áreas na RH-V que não são suscetíveis a desastres dessa natureza. No Mapa 6-14 é apresentada a diferenciação entre áreas suscetíveis e áreas não suscetíveis, considerando-se as barragens foco deste estudo. Conforme pode ser observado, considerando as 10 barragens destacadas no capítulo 5.4, a maior parte da RH-V que se encontra suscetível a desastres dessa natureza se encontra na porção oeste do território.



Mapa 6-14 – Áreas suscetíveis e não suscetíveis à ruptura de barragens na RH-V
Fonte: Elaboração própria.

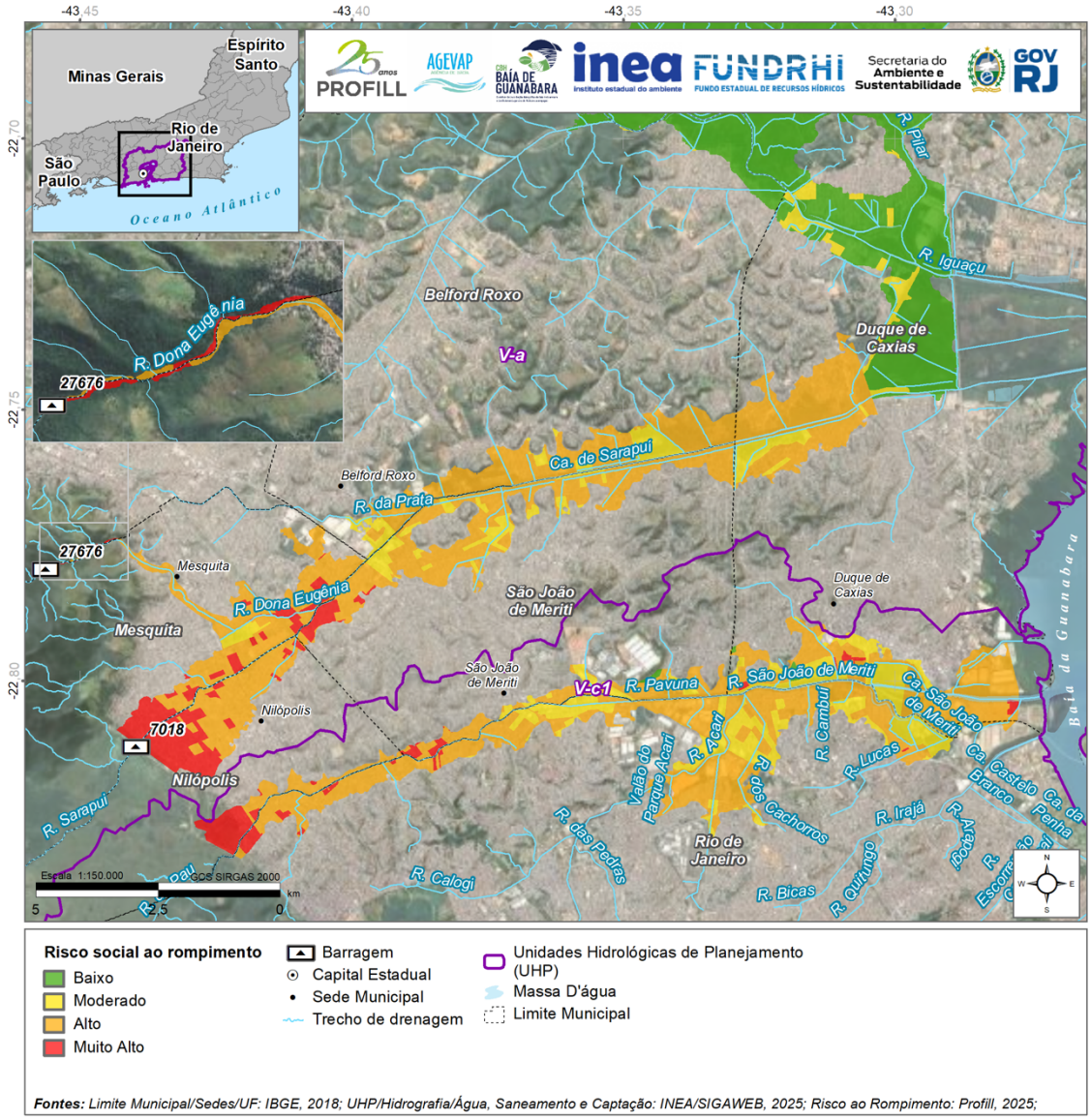
Considerando promover uma melhor visualização das áreas suscetíveis a riscos associados a rompimentos de barragens na RH-V, são a seguir apresentados os resultados conforme proximidade das áreas potencialmente atingidas. Neste sentido, são apresentados, para cada área, os seguintes riscos associados: (i) risco social; (ii) risco ambiental; e (iii) risco econômico, em consonância com os mapas de vulnerabilidade apresentados ao longo deste trabalho.

6.4.1 *Barragens Gericinó (Código SNISB 7018) e Represa Epaminondas Ramos (Código SNISB 27676)*

Neste item, são apresentados os riscos (social, ambiental e econômico) relativos à Barragem Gericinó e à Represa Epaminondas Ramos, por serem estruturas cujos impactos compartilham a mesma zona de jusante.

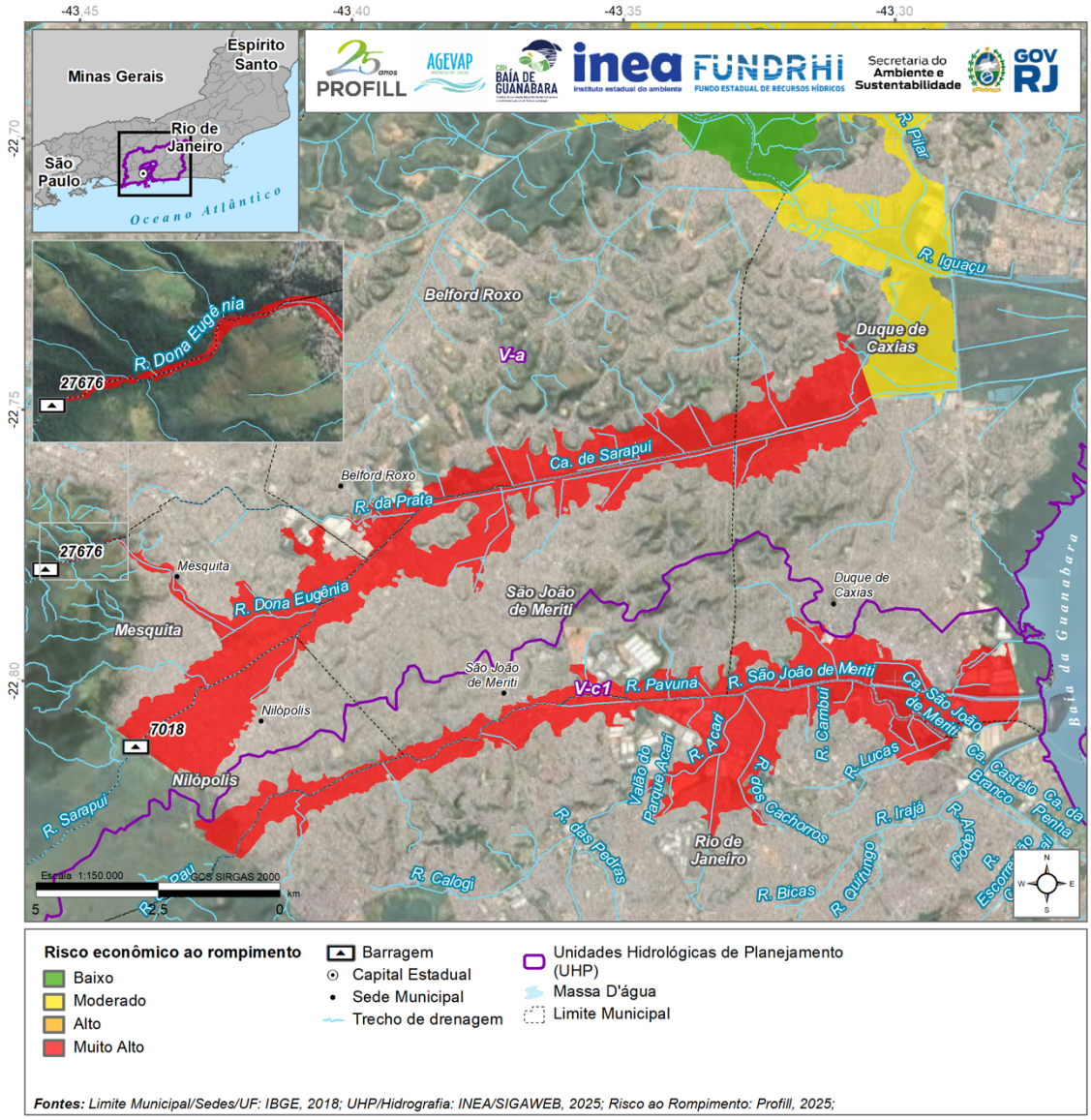
Em se tratando do risco social, conforme pode ser observado no Mapa 6-15, se destaca que o rompimento da Barragem Gericinó (em situação associada à presença de grandes volumes d'água no seu reservatório) tem potencial para atingir diversas cidades da RH-V, como Nilópolis, Mesquita, São João do Meriti, Belford Roxo, Duque de Caxias e Rio de Janeiro. Da forma complementar, o rompimento potencial da Represa Epaminondas Ramos gera níveis altos de periculosidade principalmente vinculados ao trecho de jusante do Rio Eugênia. O risco social representado pela ruptura destas barragens é categorizado de "muito alto" quando mais próximo da barragem à "baixo" quando mais afastado, conforme classificação definida ao longo deste estudo. Observam-se áreas com maior risco social na proximidade da barragem, uma vez que nesta região há maior perigo vinculado a áreas de maior vulnerabilidade social. À medida que a mancha se desloca para leste, o risco a qual está submetida a população que reside no interior da mancha se mantém entre "alto" e "moderado".

Cabe ressaltar também que as premissas adotadas para calcular o risco destas barragens consideram a existência de volumes expressivos de água em seus reservatórios. Neste sentido, destaca-se que a Barragem de Gericinó tem a finalidade de contenção de cheias, de forma que em pleno funcionamento, esta barragem deverá amortecer volumes excessivos de chuvas na região. No entanto, em caso de falhas, ela poderá intensificar uma eventual cheia. Destaca-se também que a Barragem de Gericinó tem potencial para impactar distintas zonas de jusante pelo fato de ter um maciço de grande extensão, tendo sido utilizado como critério a existência de um maciço para cada rio barrado para a simulação de potencial ruptura nos cálculos de mancha de jusante.



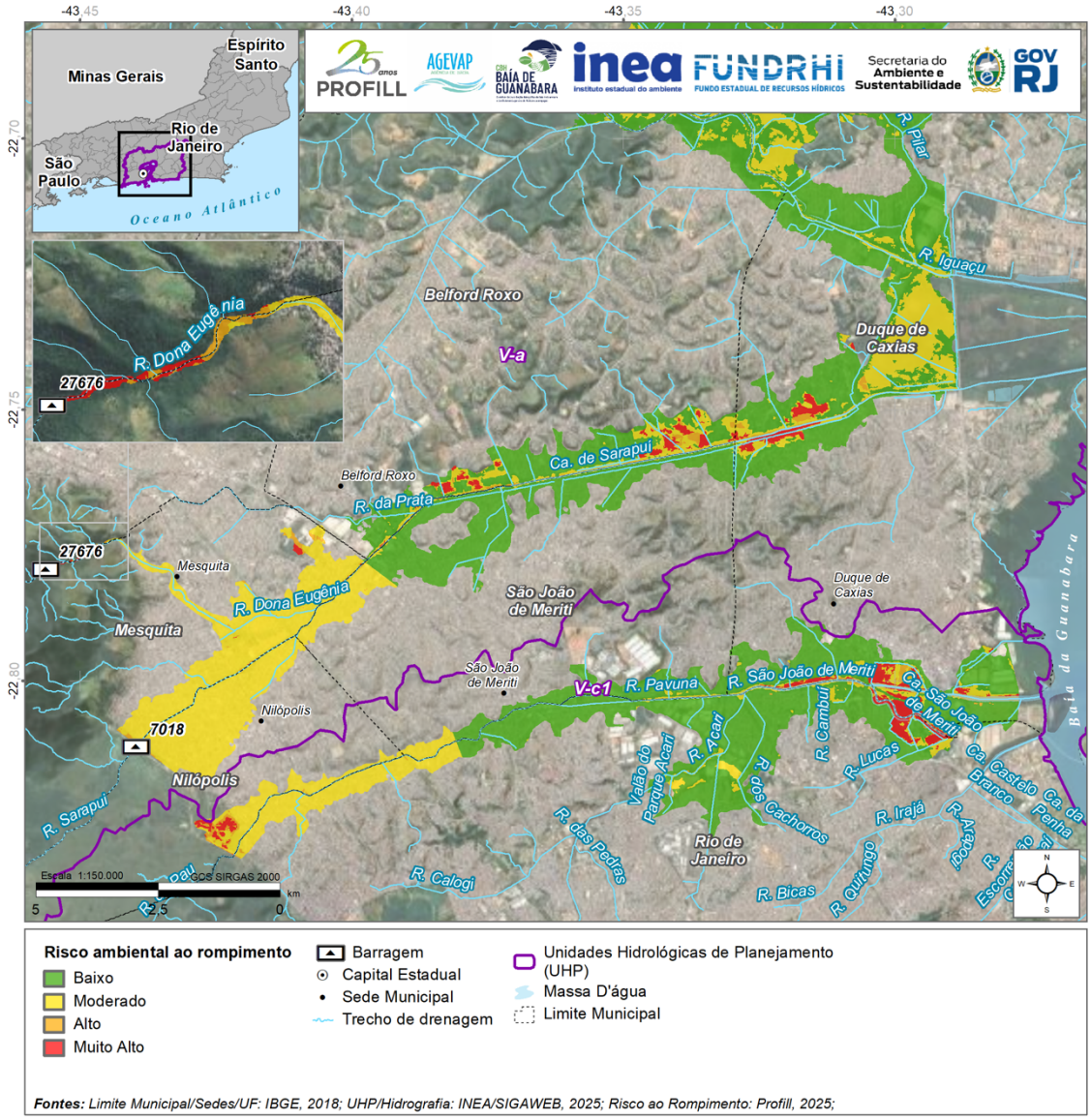
Mapa 6-15 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Gericinó (código SNISB 7018) e da Represa Epaminondas Ramos (código SNISB 27676) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Em se tratando do risco econômico, conforme pode ser observado no Mapa 6-16, verifica-se que toda a região mapeada associada a esses barramentos é definida como de “muito alto” risco, uma vez que são observados, na região potencialmente impactada, atividade econômica intensa.



Mapa 6-16 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Gericinó (código SNISB 7018) e da represa Epaminondas Ramos (código SNISB 27676) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

O Mapa 6-17, por sua vez, destaca o risco ambiental associado. Importante destacar que o risco ambiental da região foi categorizado como “moderado” ou ”baixo” em sua maioria pelo fato de haver pouca vulnerabilidade ambiental no trecho mapeado como sendo de potencial passagem da onda de cheia. Isso decorre do fato de existirem poucas regiões internas à mancha associadas a densas regiões naturais ou florestadas.



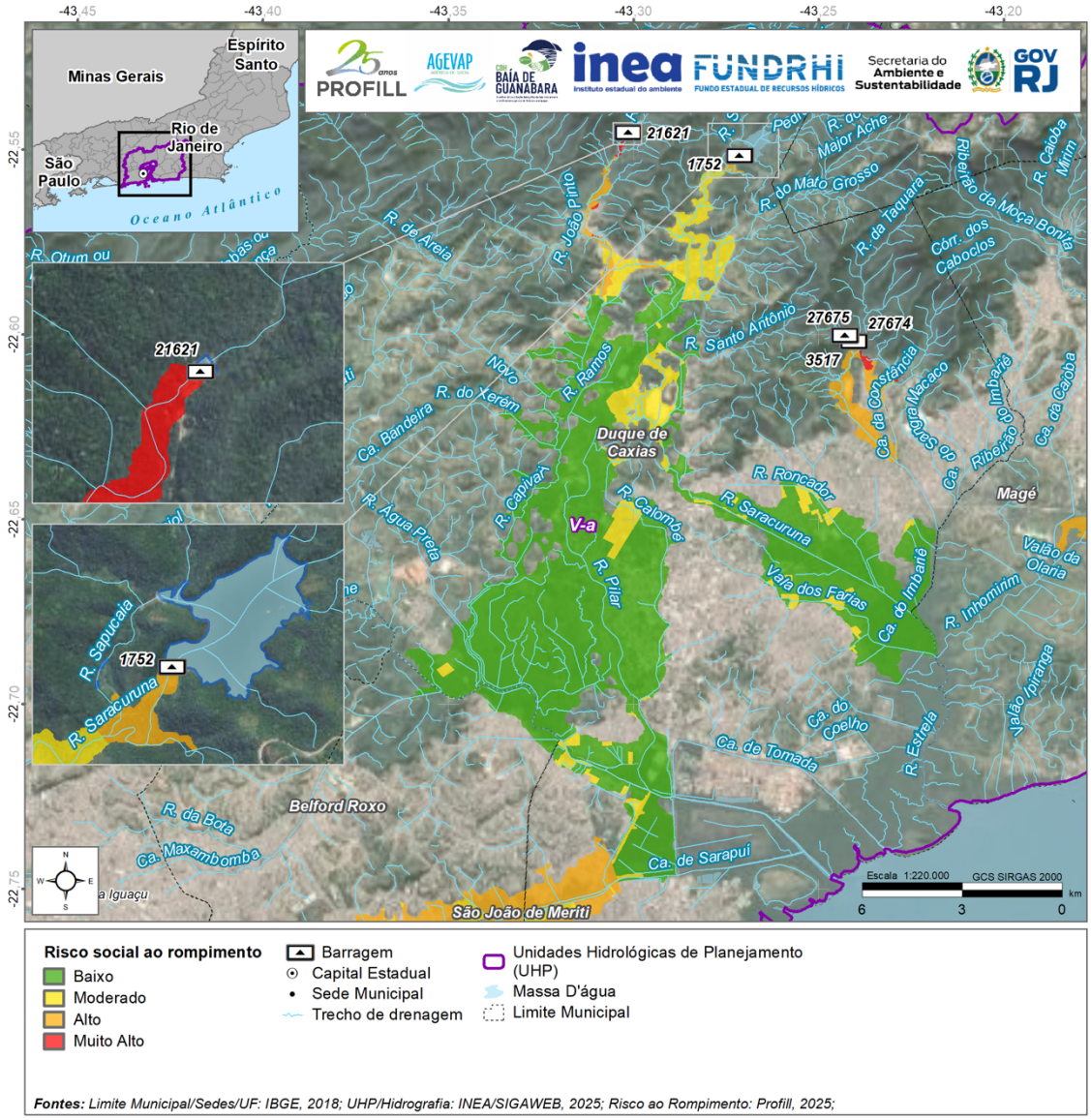
Mapa 6-17 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Gericinó (código SNISB 7018) e da represa Epaminondas Ramos (código SNISB 27676) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.4.2 *Barragens Saracuruna (Código SNISB 1752) e João Pinto (Código SNISB 21621)*

Neste item, são apresentados os riscos (social, ambiental e econômico) relativos à Barragem Saracuruna e à Barragem João Pinto, por serem estruturas cujos impactos compartilham a mesma zona de jusante. Conforme observado, a potencial

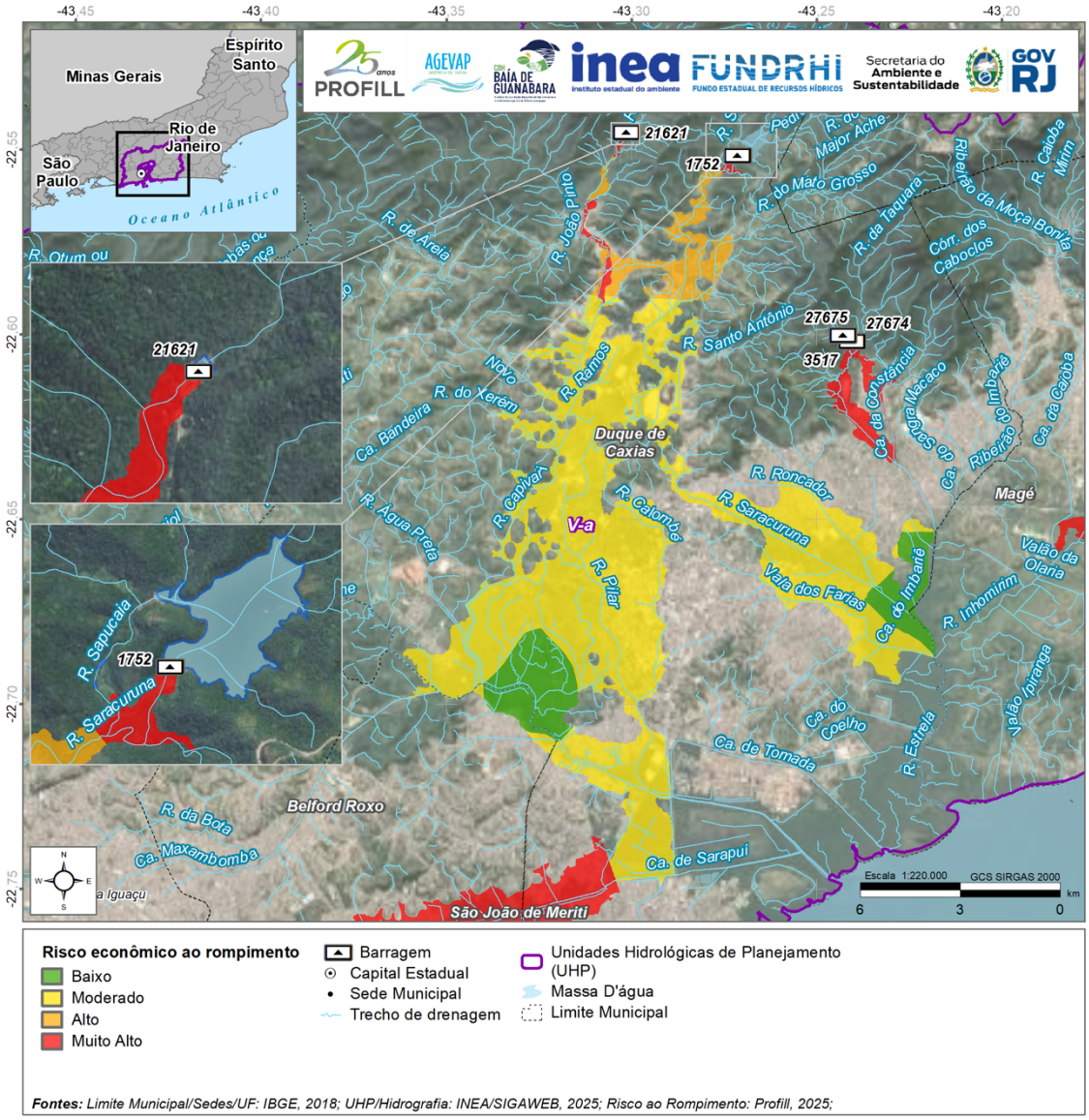
mancha de inundação associada à ruptura destes barramentos é extensa, tendo potencial para atingir grande parte da RH-V, embora a mancha fique concentrada no município de Duque de Caxias. Dessa forma, os riscos também variam de forma considerada.

Em se tratando do risco social (Mapa 6-18), observam-se maiores riscos nos primeiros quilômetros a jusante dos barramentos, que variam de ”muito alto”, para ”moderado”. Após 5 km a jusante destes barramentos, o risco, embora ainda existente, passa a ser considerado como ”baixo” em sua maioria, havendo, entretanto, algumas regiões associadas a risco ”moderado”, por apresentarem maiores vulnerabilidades.



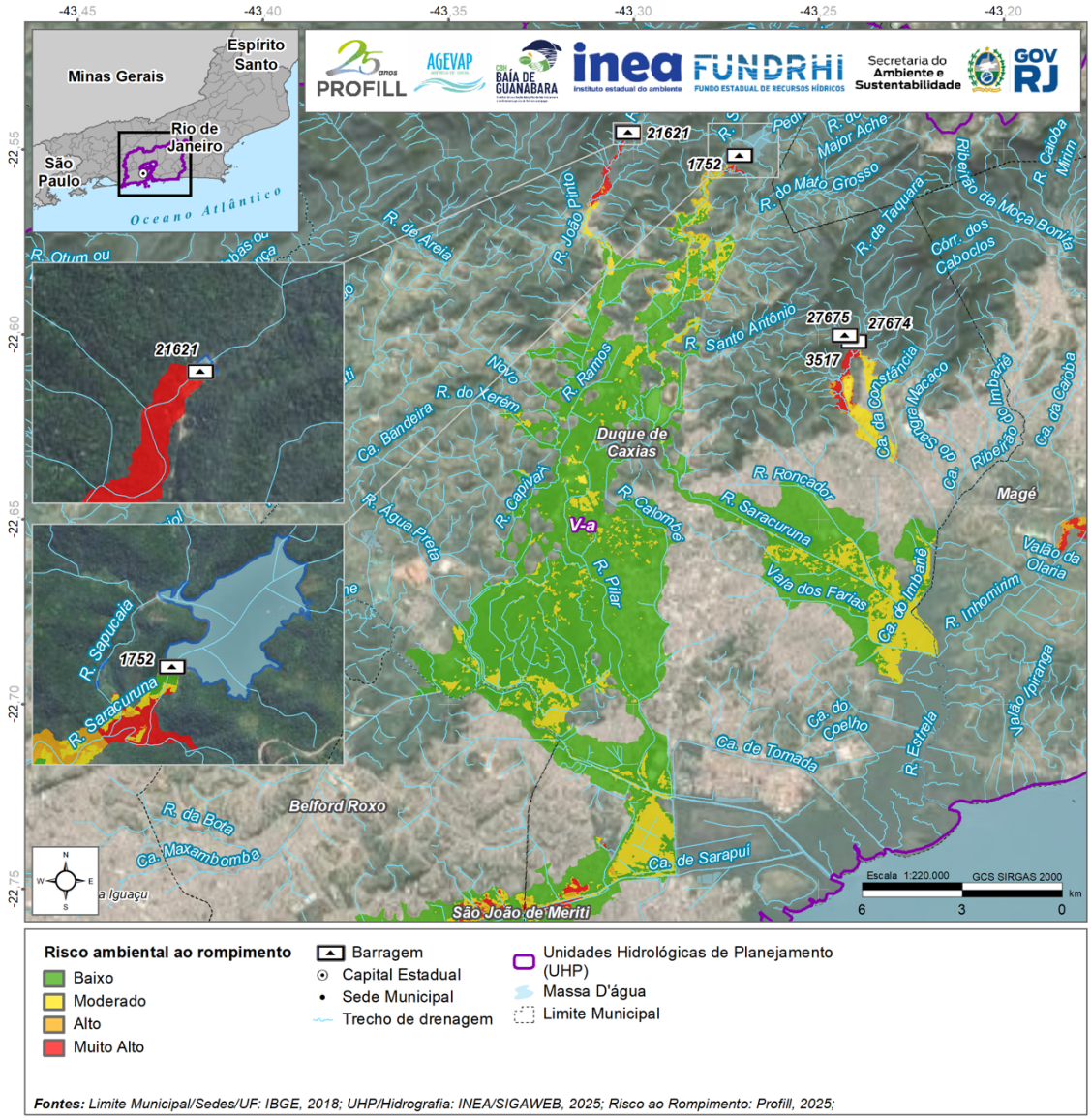
Mapa 6-18 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Saracuruna (código SNISB 1752) e da Barragem João Pinto (código SNISB 21621) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Em se tratando do risco econômico (Mapa 6-19), também é observado um decréscimo conforme há o deslocamento da avaliação no sentido norte-sul, partindo das barragens. Esse comportamento é notável e esperado, pois as manchas de perigo calculadas apontam áreas de maior perigo em regiões mapeadas próximas ao barramento. Conforme observado, poucas zonas potencialmente atingidas pelo rompimento dessas estruturas são classificadas como sendo de ”baixo” risco econômico, sendo a maioria vinculada a risco ”muito alto”, ”alto” ou ”moderado”.



Mapa 6-19 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Saracuruna (código SNISB 1752) e da Barragem João Pinto (código SNISB 21621) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, no Mapa 6-20 são apresentados os riscos ambientais da área mapeada, onde se observam áreas classificadas como sendo de ”muito alto” risco nas regiões próximas aos barramentos avaliados. Entretanto, destaca-se que a grande maioria das áreas localizadas mais a jusante apresentam classificação de risco ”baixo” para o quesito ambiental.

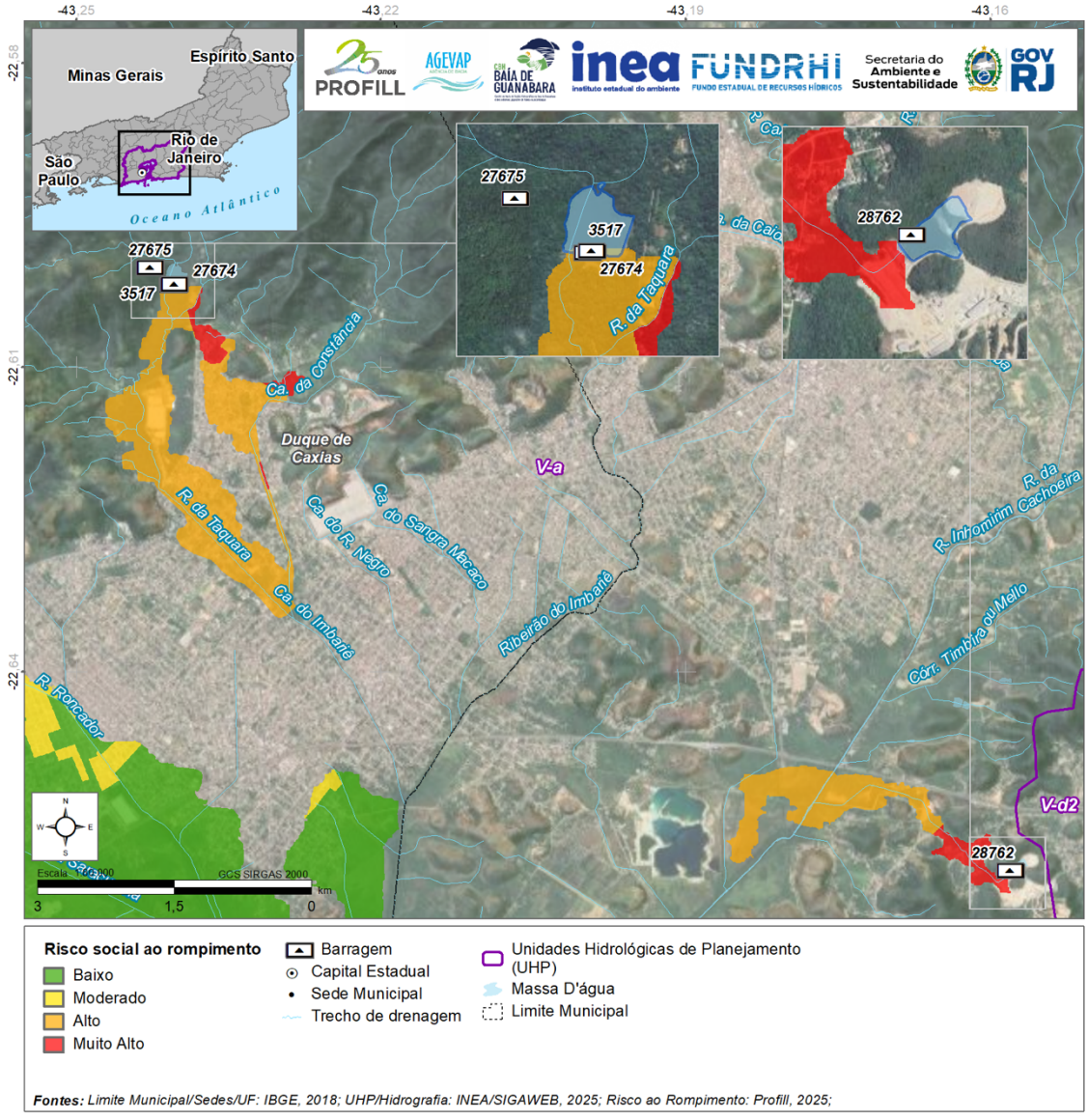


Mapa 6-20 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Saracuruna (código SNISB 1752) e da Barragem João Pinto (código SNISB 21621) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.4.3 *Barragens A - RJR (Código SNISB 3517) e Convém (Código SNISB 28762)*

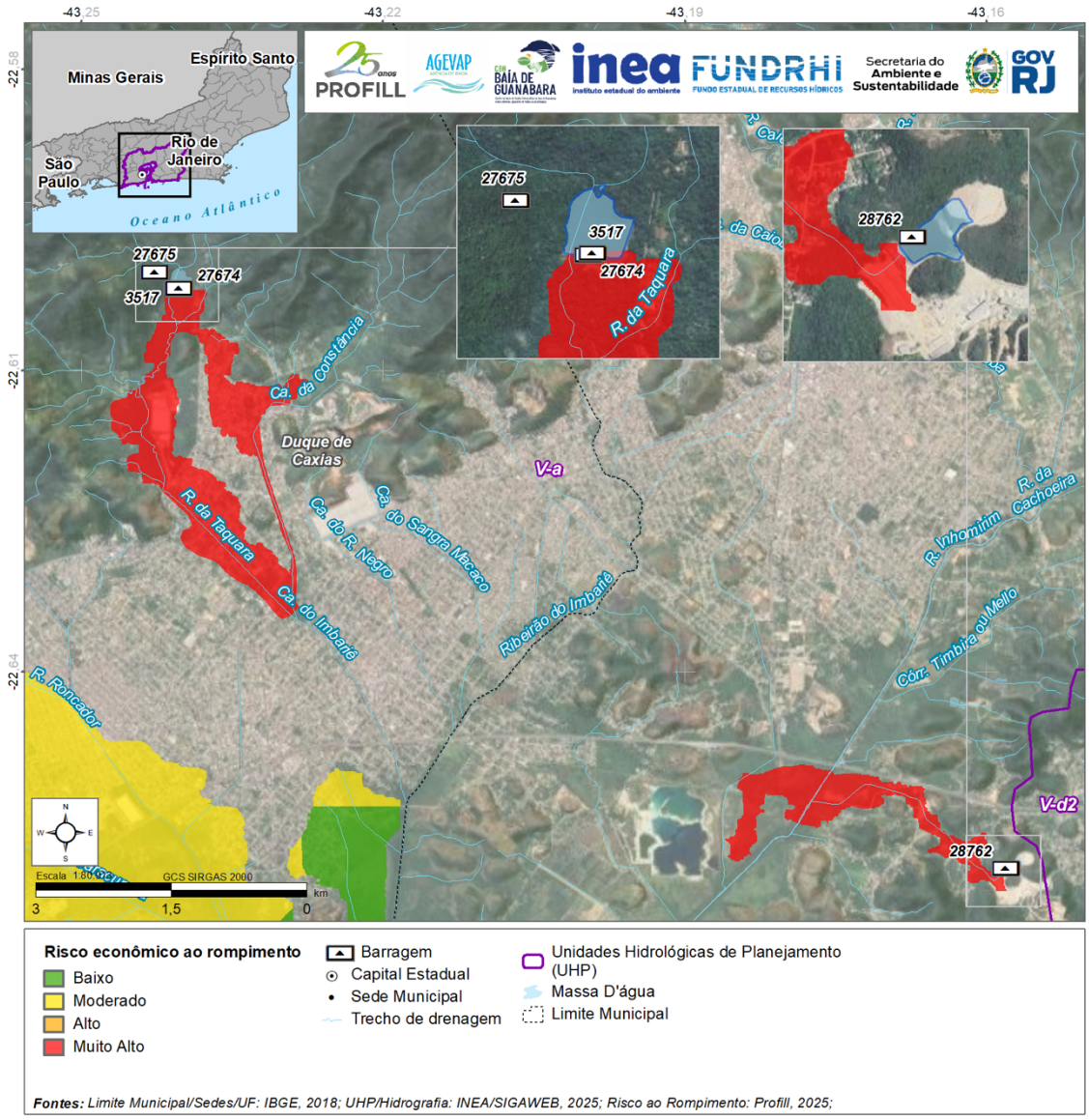
Neste item, são apresentados os riscos (social, ambiental e econômico) relativos à Barragem A - RJR e à Barragem Convém, por serem barragens cujos impactos mapeados são relativamente próximos.

Conforme pode ser observado no Mapa 6-21, o risco social associado a potencial ruptura desses barramentos é classificado como de “muito alto” ou “alto”, devido às particularidades associadas às vulnerabilidades locais e ao mapa de perigo obtido para tais barragens. Especialmente se destaca a potencial divisão de fluxo da mancha de inundação associada à Barragem A - RJR, que devido à condicionantes topográficas observadas no *dataset* utilizado, tem potencial para se encontrar novamente na confluência do Rio da Taquara com o Canal da Constância.



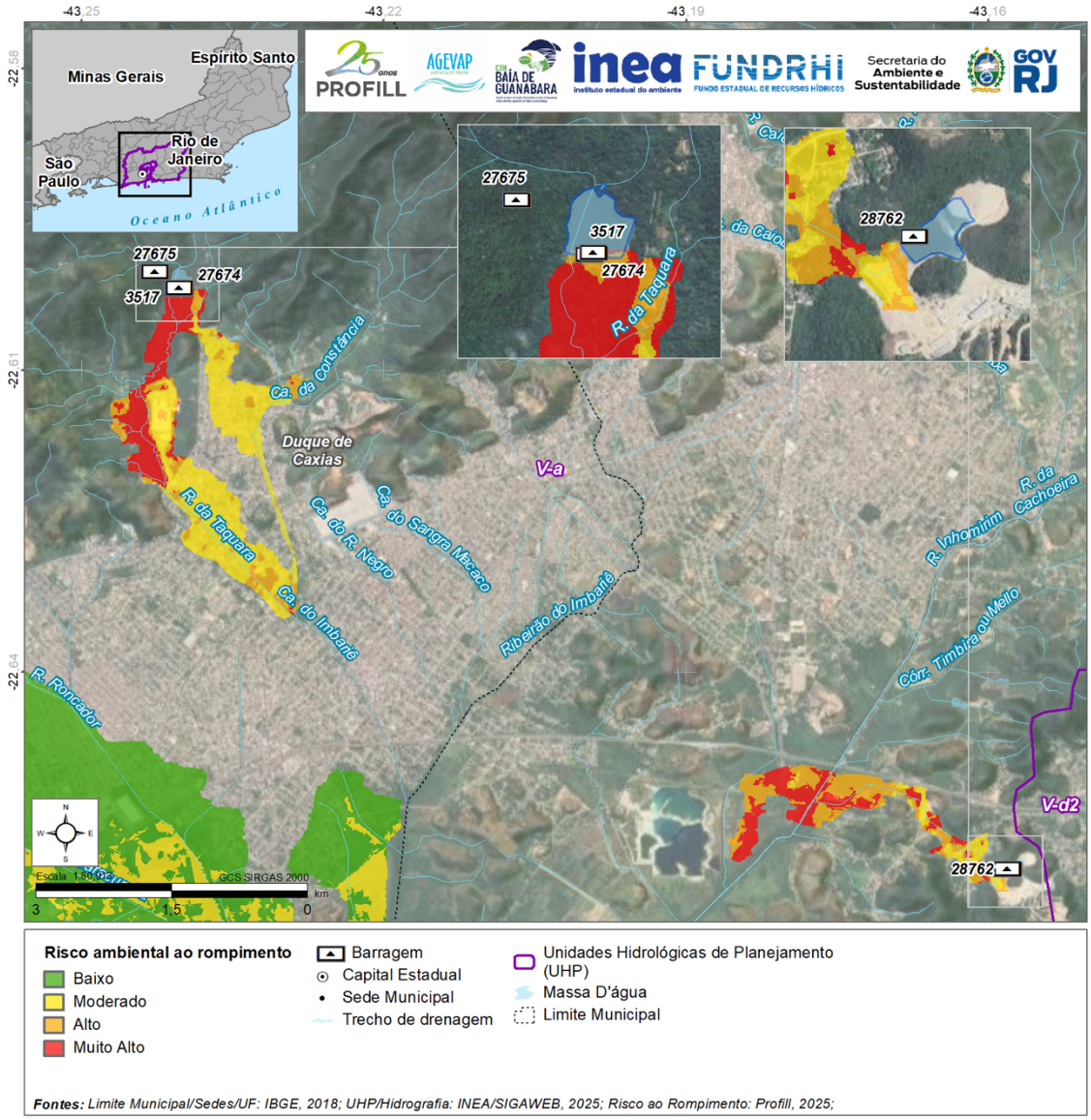
Mapa 6-21 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem A – RJR (código SNISB 3517) e da Barragem Convém (código SNISB 28762) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

O risco econômico associado à ruptura desses barramentos também é relevante, sendo considerado como “muito alto” (Mapa 6-22), considerando a metodologia adotada. Neste sentido, destaca-se que, embora as manchas ocorram em diferentes municípios, o alto risco econômico se mantém para ambas.



Mapa 6-22 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem A – RJR (código SNISB 3517) e da Barragem Convém (código SNISB 28762) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o risco ambiental calculado (Mapa 6-23) segue a padronização associada à existência de riscos minorados para locais com ausência de áreas naturais ou florestadas, e de riscos majorados para áreas com extratos vegetais densos conforme vulnerabilidade anteriormente calculada. Nesse sentido, são observados riscos variando de “moderado” para “muito alto“ nas áreas potencialmente atingidas. Para a Barragem A - RJR, o risco ambiental é maior nas porções mais próximas do maciço (“muito alto“), e menor nas áreas densamente povoadas (moderado). Para a Barragem Convém, por outro lado, o risco ambiental varia majoritariamente de “alto” para “muito alto”, pelo fato de a mancha ter potencial para atingir áreas naturais apenas após de percorrer distâncias relevantes.

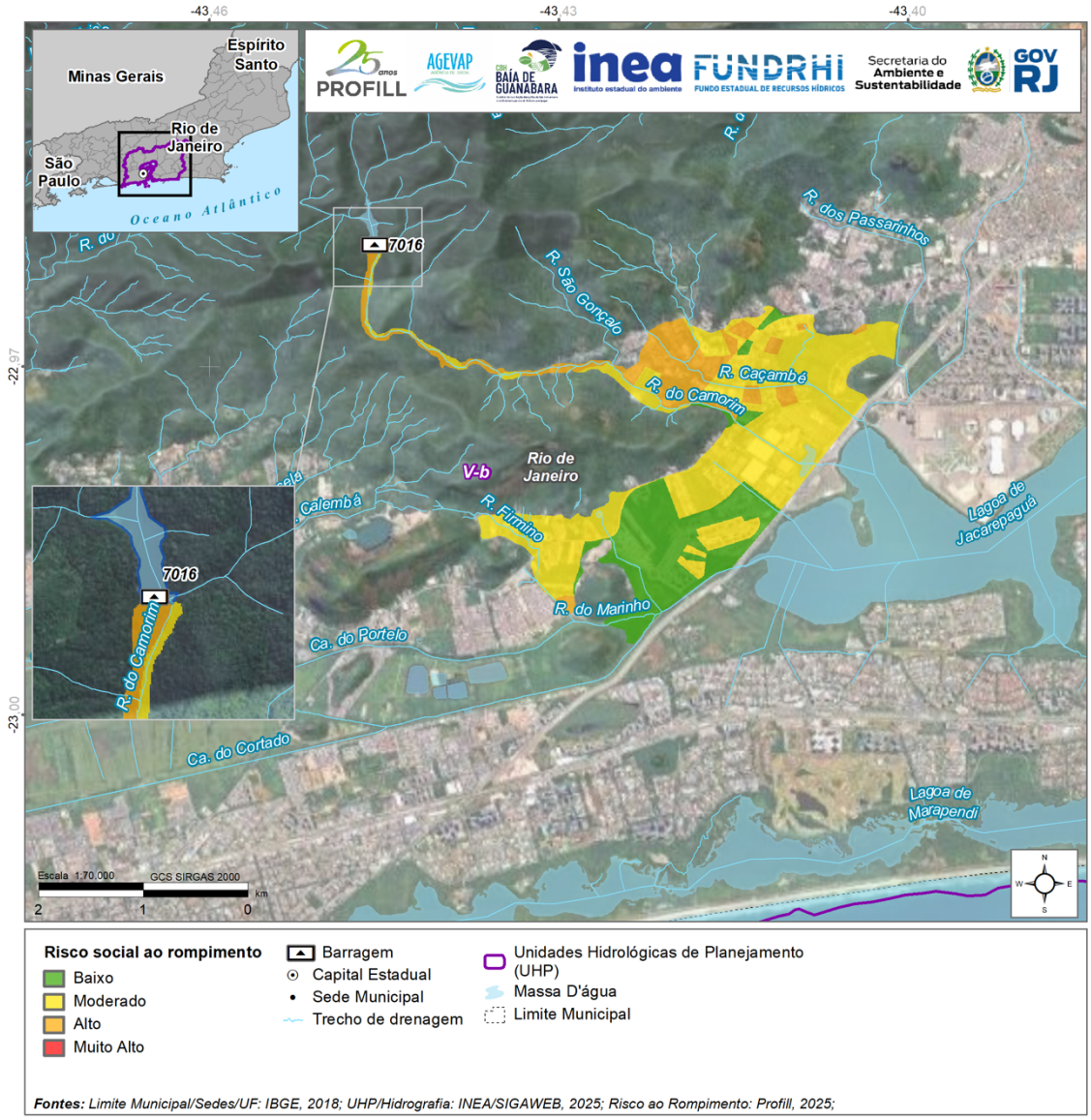


Mapa 6-23 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem A – RJR (código SNISB 3517) e da Barragem Convém (código SNISB 28762) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.4.4 *Barragem Açude Camorim - CGQ-40 (Código SNISB 7016)*

A Barragem Açude Camorim apresenta risco social que varia de “alto“ à “baixo“ para as áreas identificadas como sendo de potencial perigo a jusante do barramento, conforme definido no Mapa 6-24. Destaca-se que há variabilidade quanto ao risco dentro da área da mancha, mas também se nota a predominância de risco social categorizado como “alto” para locais logo a jusante do barramento. Também merece

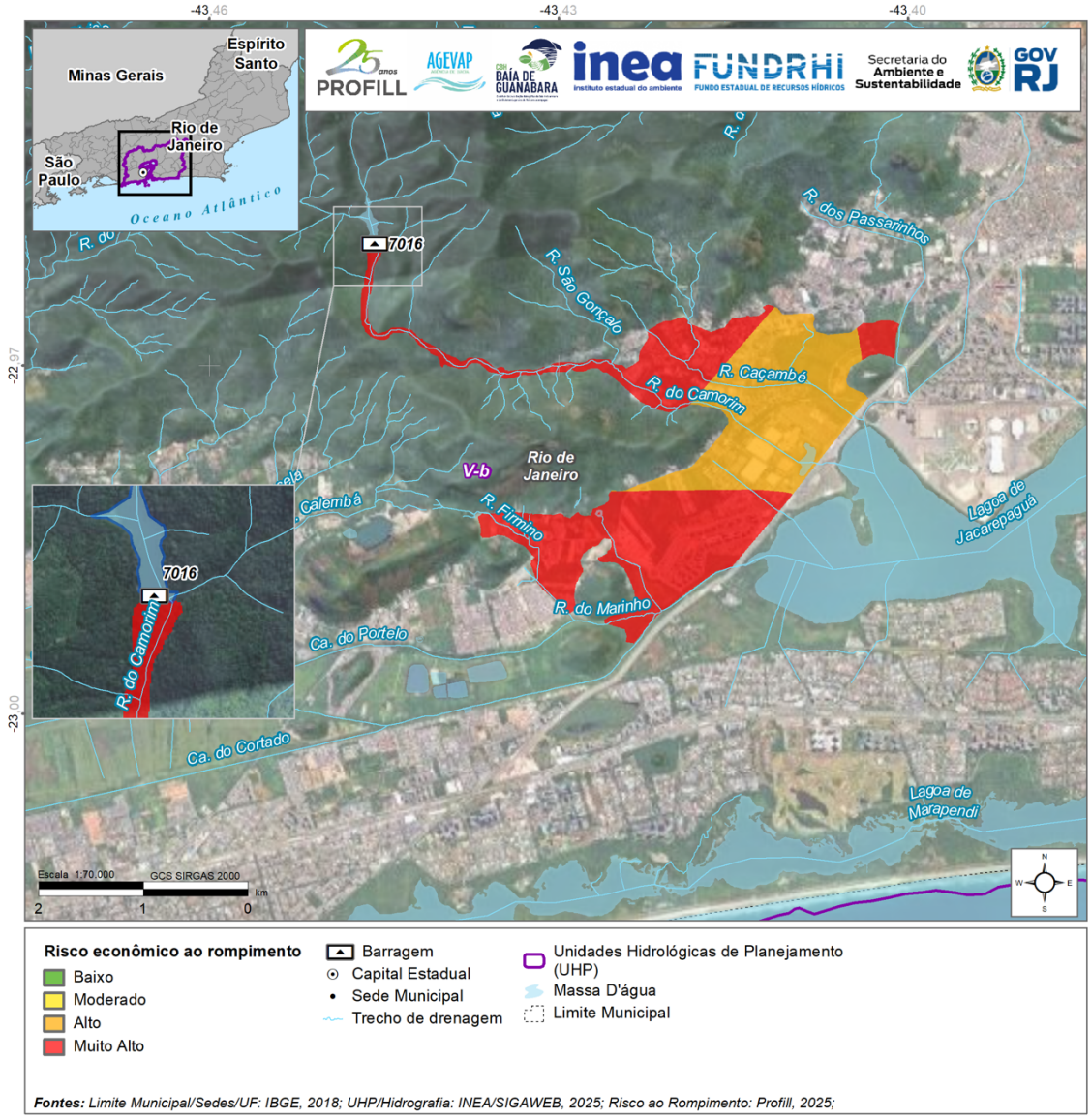
destaque o fato de haver pequenas zonas de “baixo“ risco logo a jusante do barramento. Isso ocorreu devido ao fato de haver uma diferença no cálculo da vulnerabilidade local, associada ao limite de setores censitários com características distintas.



Mapa 6-24 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Açude Camorim (código SNISB 7016) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Por sua vez, o Mapa 6-25 apresenta a distribuição do risco econômico nas regiões atingidas pela hipotética ruptura da barragem, abrangendo os bairros Barra da Tijuca, Camorim e Jacarepaguá. Salienta-se que Camorim e Jacarepaguá

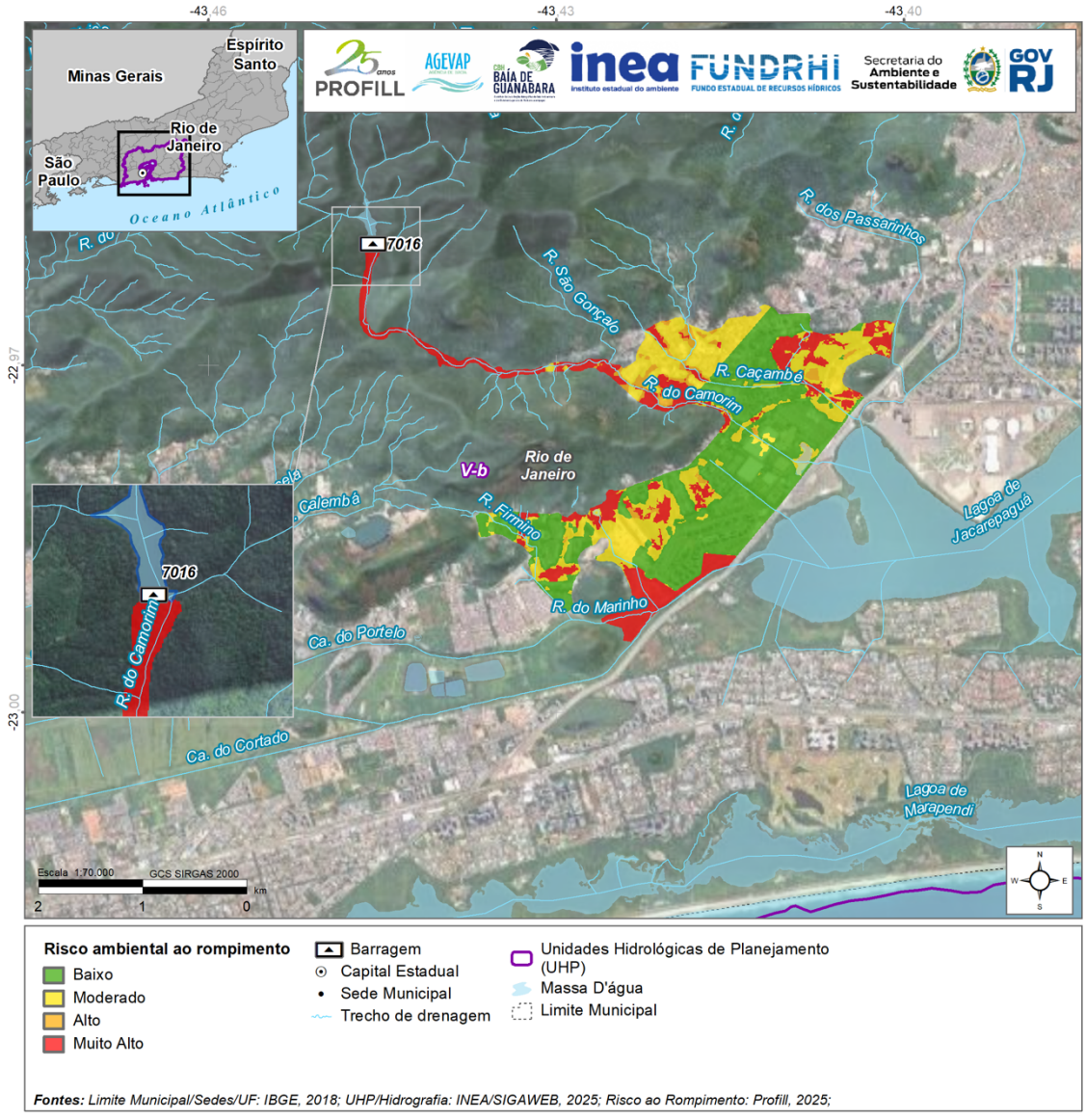
apresentam risco econômico classificado como “muito alto”, enquanto na Barra da Tijuca, predomina a classe de risco econômico “alto“, segundo a metodologia adotada.



Mapa 6-25 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Açude Camorim (código SNISB 7016) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao risco ambiental (Mapa 6-26), destaca-se que as porções de maior presença de vegetação e áreas naturais estão associadas a maiores riscos, conforme observado no primeiro quilômetro a jusante do barramento. De forma antagônica, em locais com presença de infraestrutura urbana, o risco ambiental é baixo

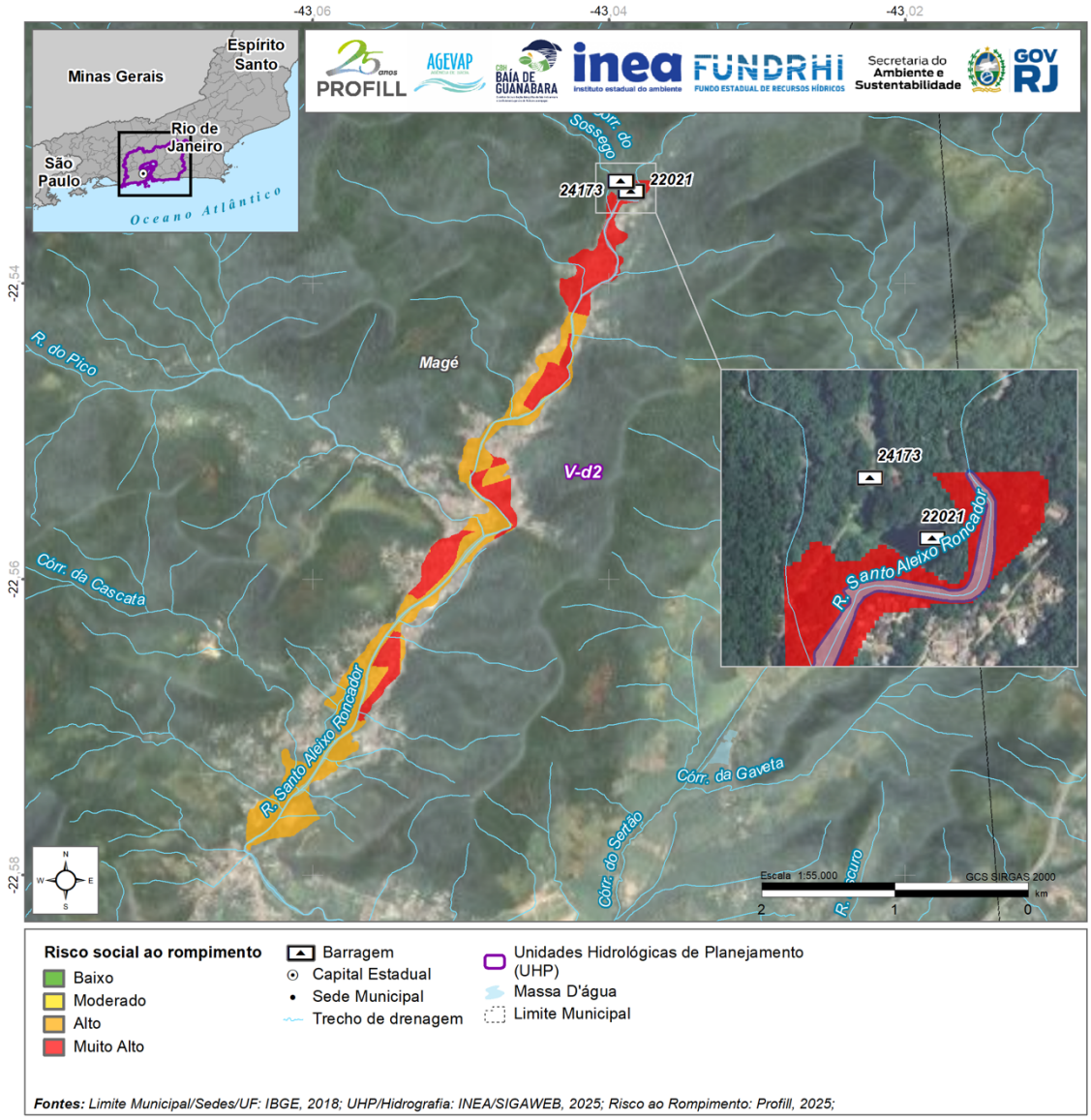
devido à ausência de extratos naturais. Destaca-se que o bairro Camorim é o majoritariamente atingido, apresentando grande heterogeneidade quanto ao risco ambiental com pontos de risco “baixo“, mas também áreas de “alto“ e “muito alto“ risco. O bairro Jacarepaguá, que também pode ser atingido, tem risco bem heterogêneo, variando de baixo a muito alto.



Mapa 6-26 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Açude Camorim (código SNISB 7016) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

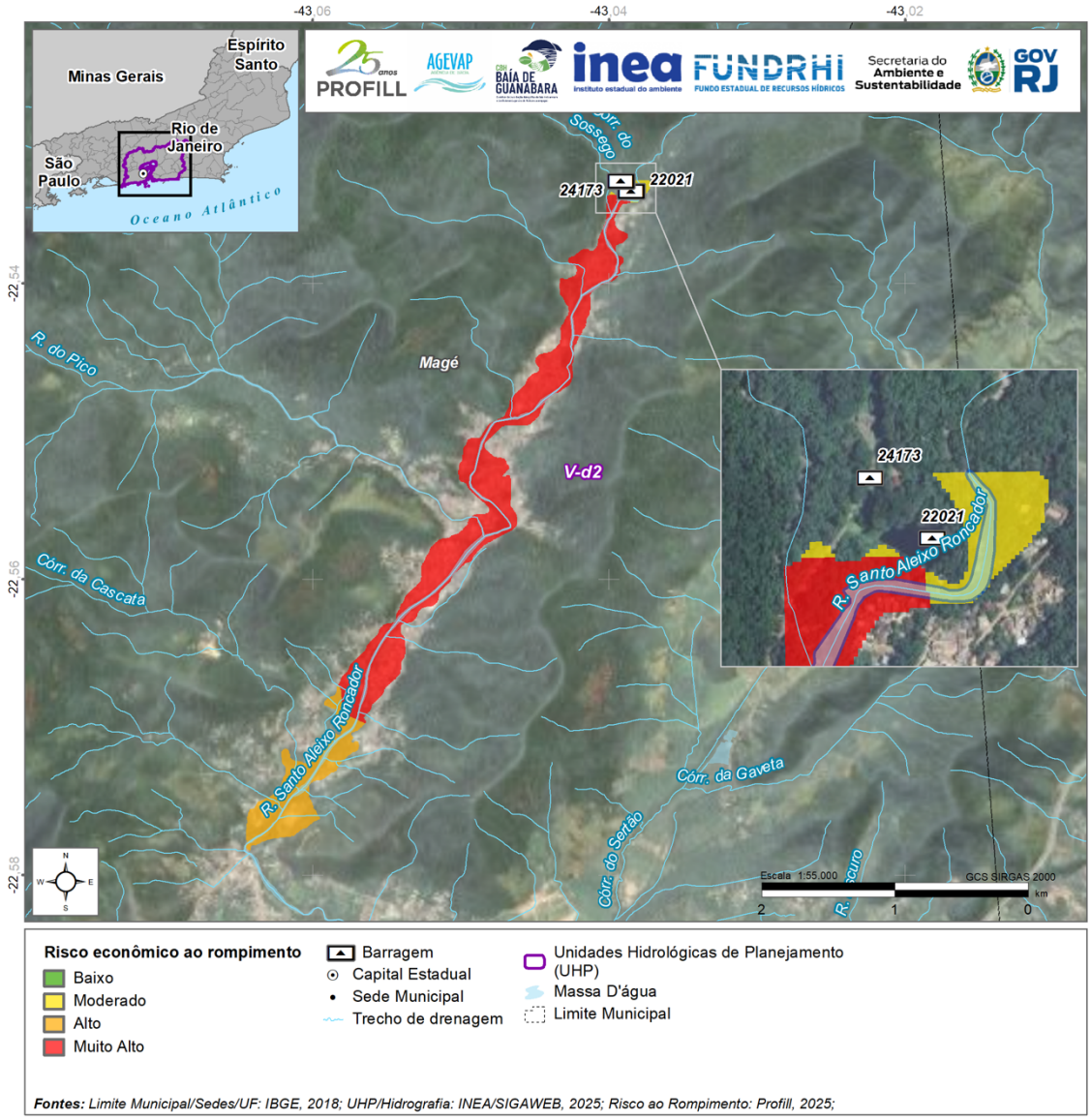
6.4.5 *Barragem Açude Grande (Código SNISB 22021)*

Conforme pode ser verificado no Mapa 6-27, a população que reside a jusante da Barragem Açude Grande, especialmente no primeiro quilômetro, dentro da área da mancha calculada, está numa zona classificada como sendo de “muito alto“ risco social para desastres dessa natureza. A classificação de risco para esse barramento não varia ao longo da mancha de, aproximadamente, 6 km de extensão, sendo todas as zonas classificadas como de risco “alto“ ou “muito alto“, dadas as características populacionais e a vulnerabilidade social local.



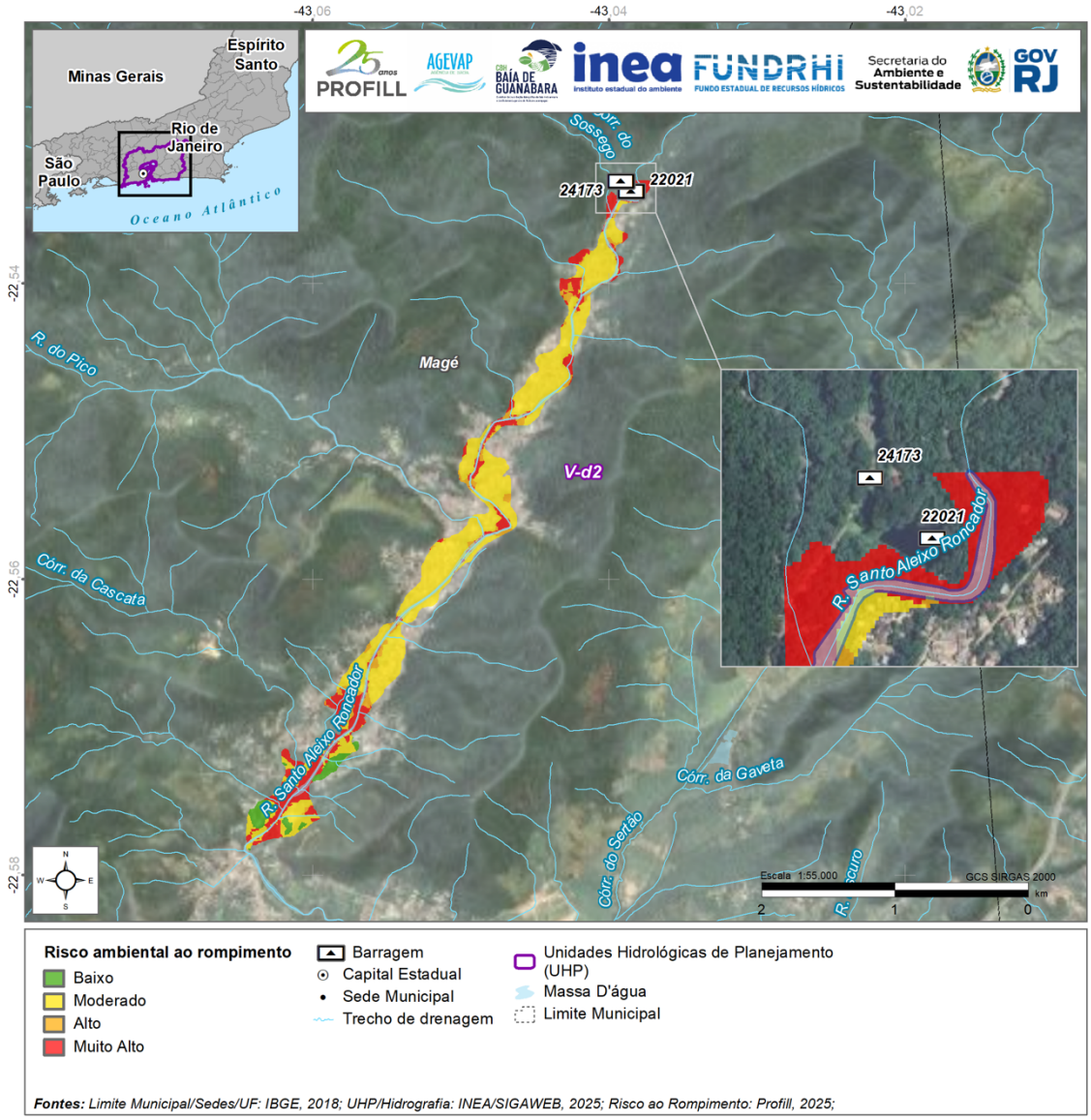
Mapa 6-27 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Açude Grande (código SNISB 22021) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

De forma similar, o risco econômico, evidenciado pelo Mapa 6-28 apresenta categorias que variam de “muito alto” a “alto”, na sua grande porção, ao longo de sua extensão, devido às características de vulnerabilidade econômica local.



Mapa 6-28 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Açude Grande (código SNISB 22021) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o Mapa 6-29 apresenta o risco ambiental associado a potencial ruptura deste barramento, se caracterizando de forma heterogênea, com poucos pontos de “muito alto“ risco ambiental no meio e no final do vale, caracterizado majoritariamente por “moderado“ risco ambiental devido à mancha urbana local. Também, se destacam algumas regiões de risco “baixo“ no final da mancha, dadas as características de vulnerabilidade ambiental levantadas.

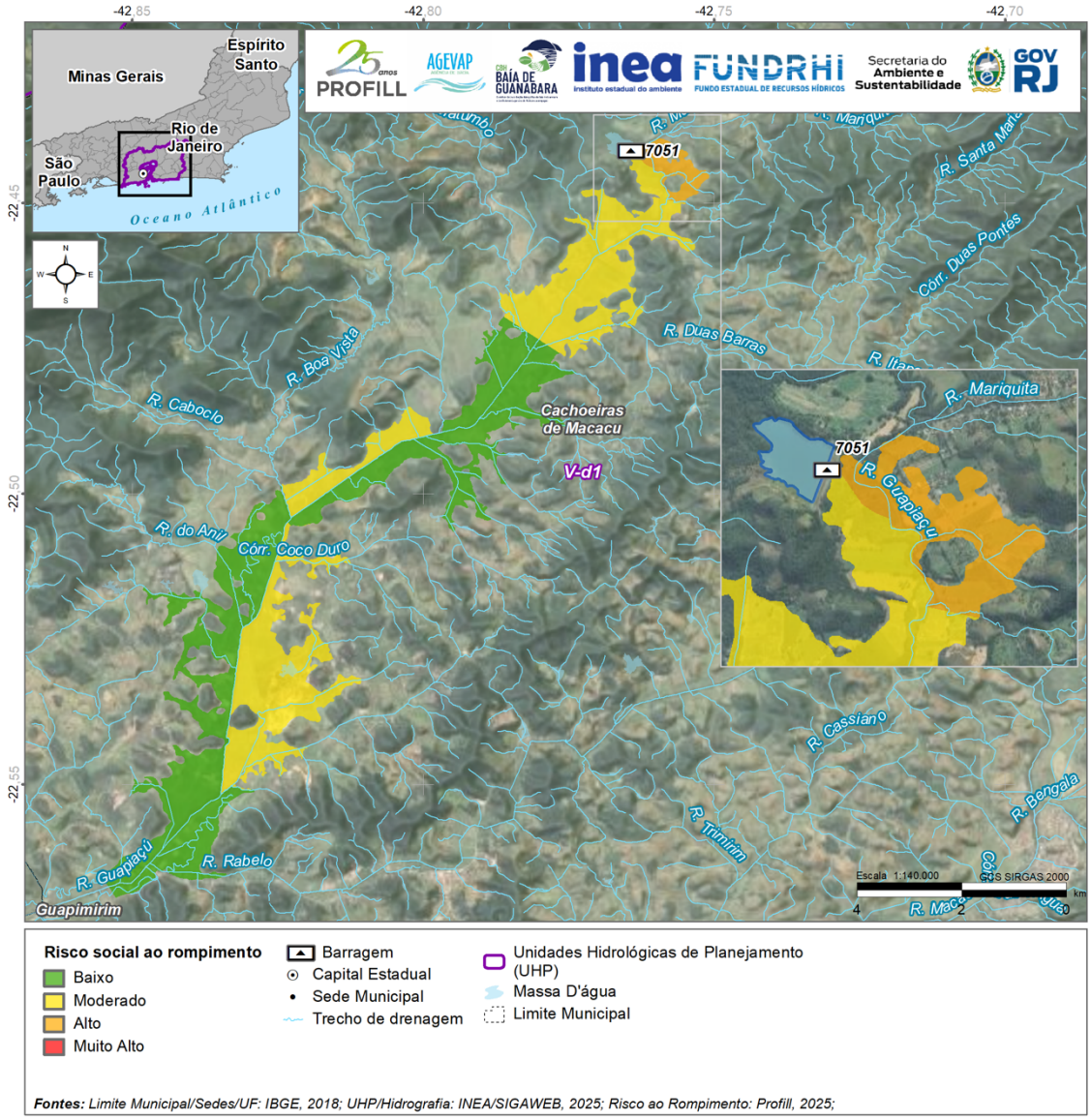


Mapa 6-29 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Açude Grande (código SNISB 22021) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.4.6 *Barragem Cachoeiras do Macacu (Código SNISB 7051)*

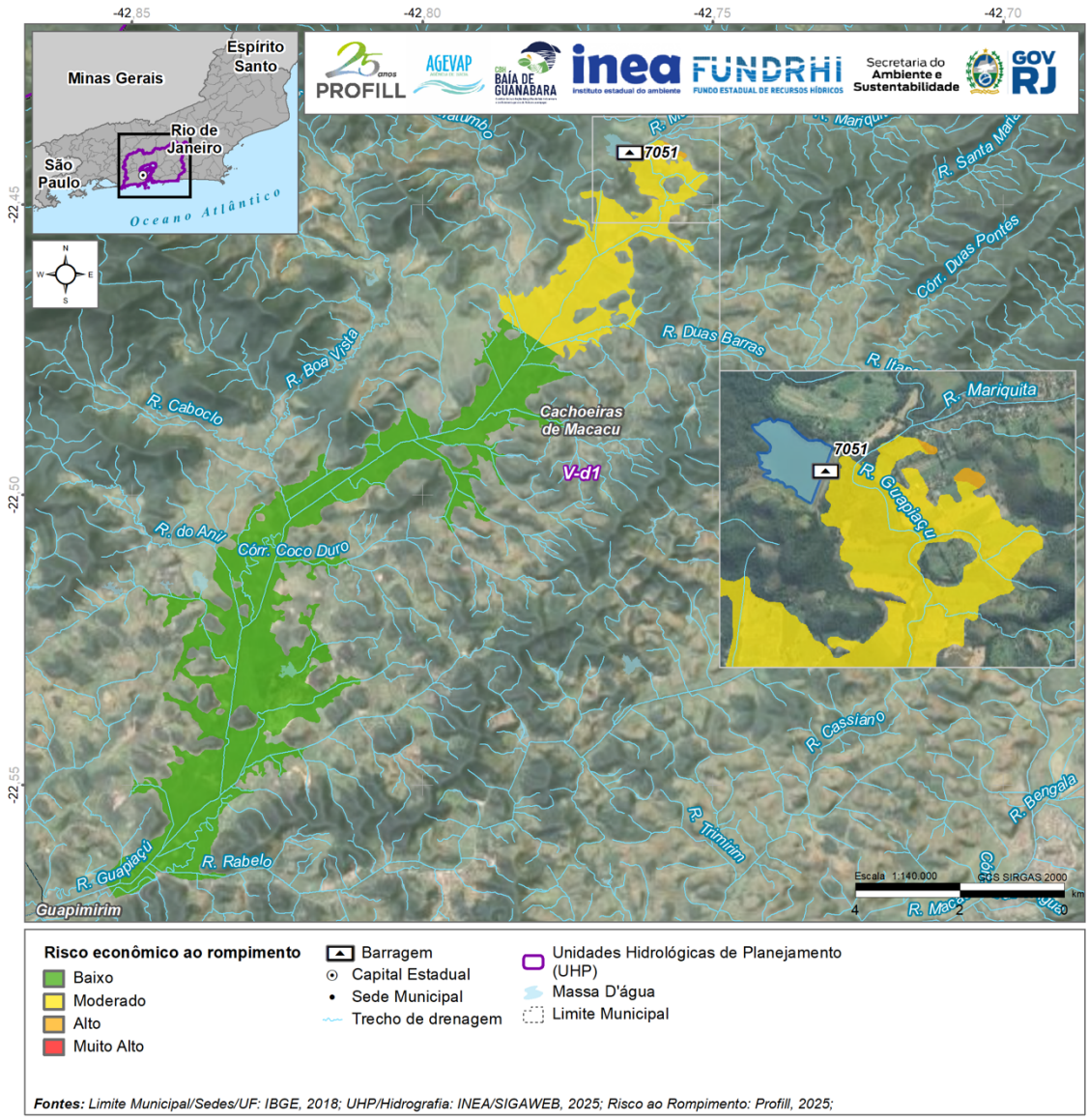
A partir do Mapa 6-30, é possível verificar que a área mapeada como sendo de perigo para ruptura da Barragem Cachoeiras do Macacu apresenta distintas características quanto ao risco social. Evidencia-se que há uma divisão das áreas de jusante a partir do Rio Guapiaçu, sendo que as áreas da margem esquerda apresentam risco social contrastantes dos riscos associados às áreas da margem direita. Esse

resultado foi obtido devido ao fato de que há uma divisão importante dos setores censitários nessa região, havendo distintas características socioeconômicas para cada margem do curso hídrico. Neste sentido, considera-se que as regiões dentro da mancha localizadas em áreas distantes até 1 km a jusante do barramento têm riscos sociais que variam de “alto“ a “moderado“, havendo, após 5 km, equivalência em riscos considerados como “baixos“ ou “moderados”.



Mapa 6-30 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem Cachoeiras do Macacu (código SNISB 7051) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

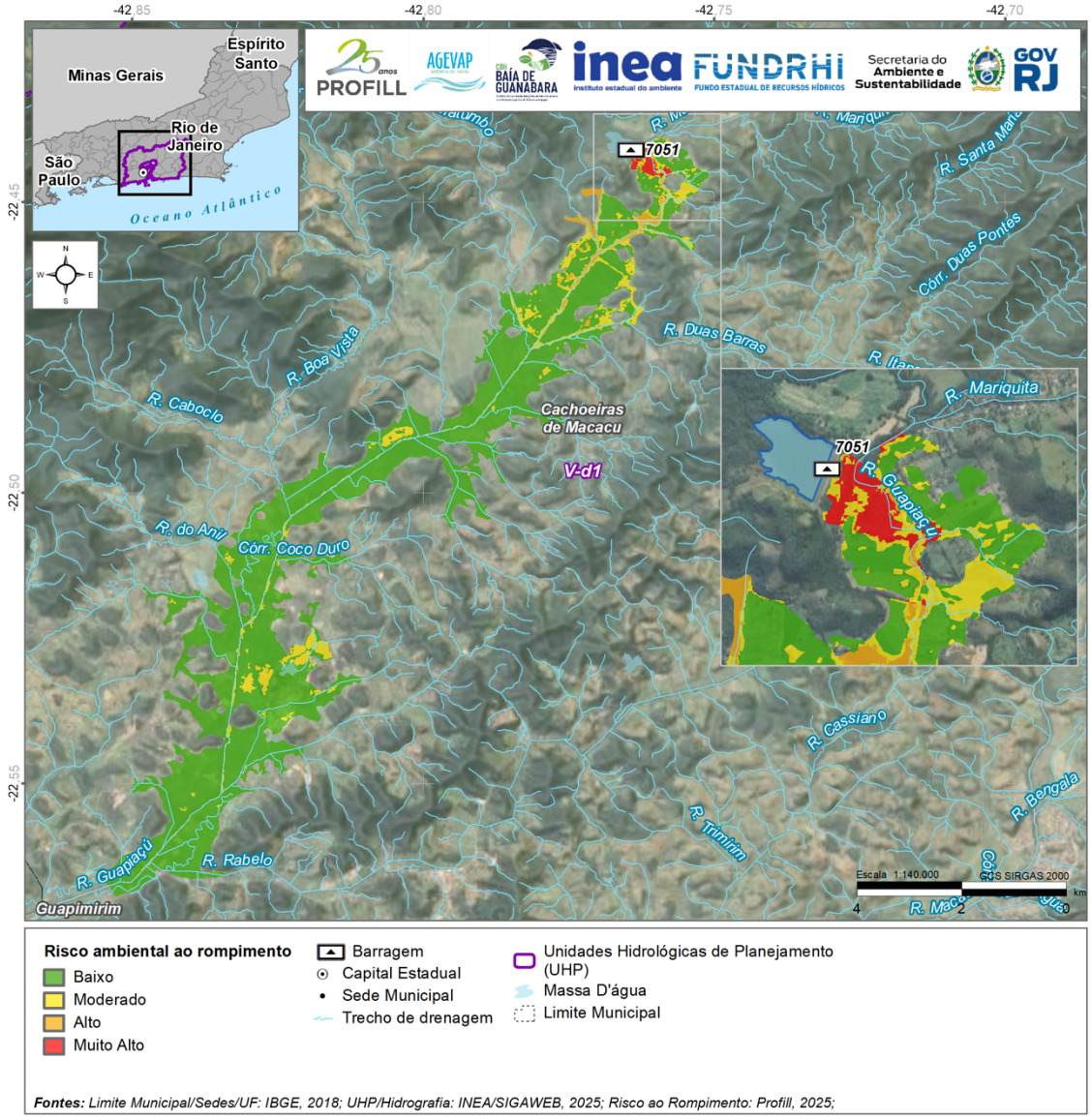
Ainda, o Mapa 6-31 apresenta o risco econômico associado a potencial ruptura dessa barragem, evidenciando risco majoritariamente “moderado“ nos primeiros quilômetros a jusante do barramento, e risco “baixo“ nos demais trechos.



Mapa 6-31 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem Cachoeiras do Macacu (código SNISB 7051) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o Mapa 6-32 apresenta o risco ambiental associado à mancha calculada, que se apresenta como “muito alto“ e “alto“ nos primeiros quilômetros, e

risco “baixo“ em seguida, com alguns pontos de risco “moderado“ nos demais trechos do vale, também em áreas rurais onde há possíveis populações instaladas.

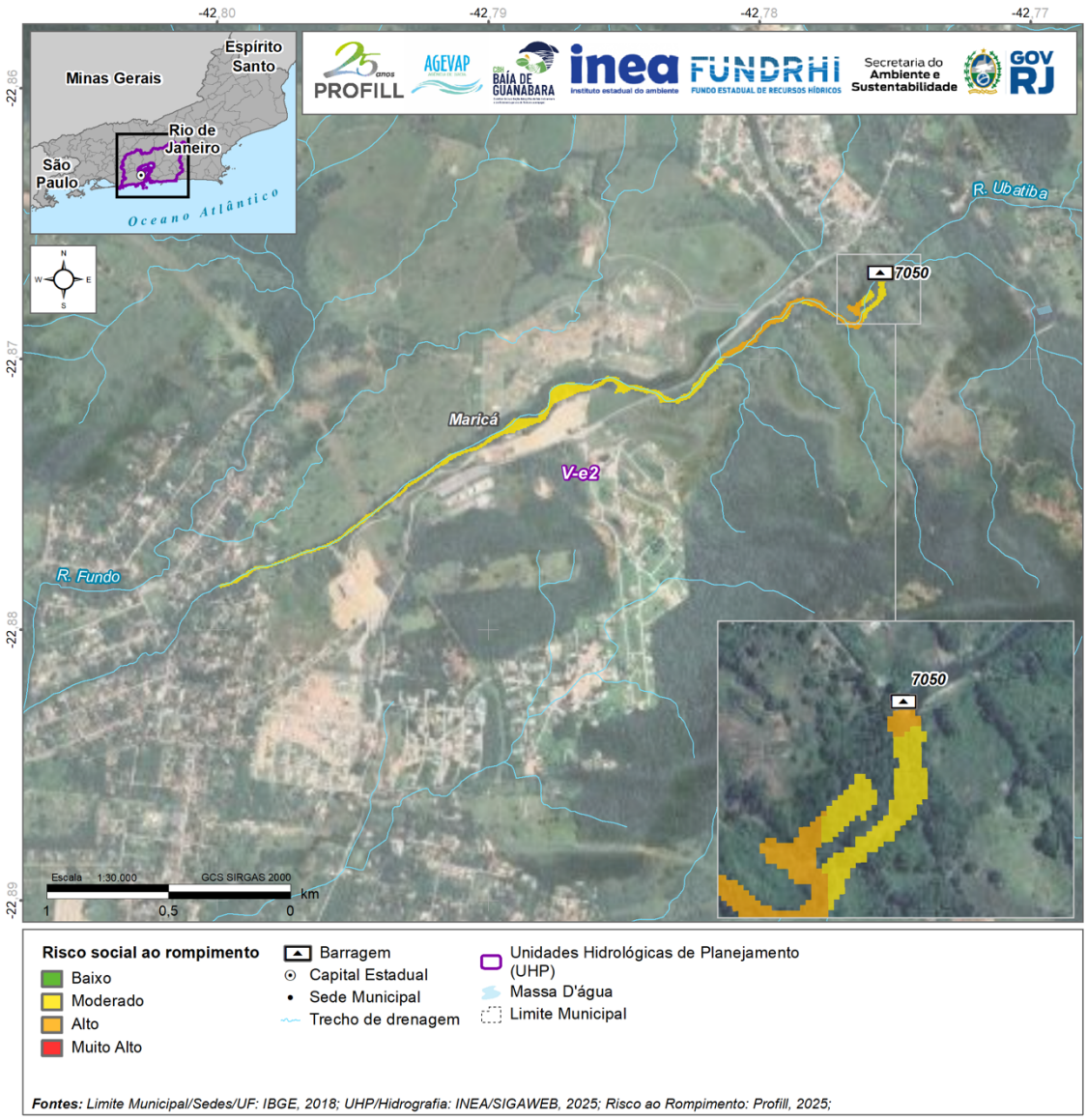


Mapa 6-32 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem Cachoeiras do Macacu (código SNISB 7051) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.4.7 *Barragem GLE-12 – ETA Maricá (Código SNISB 7050)*

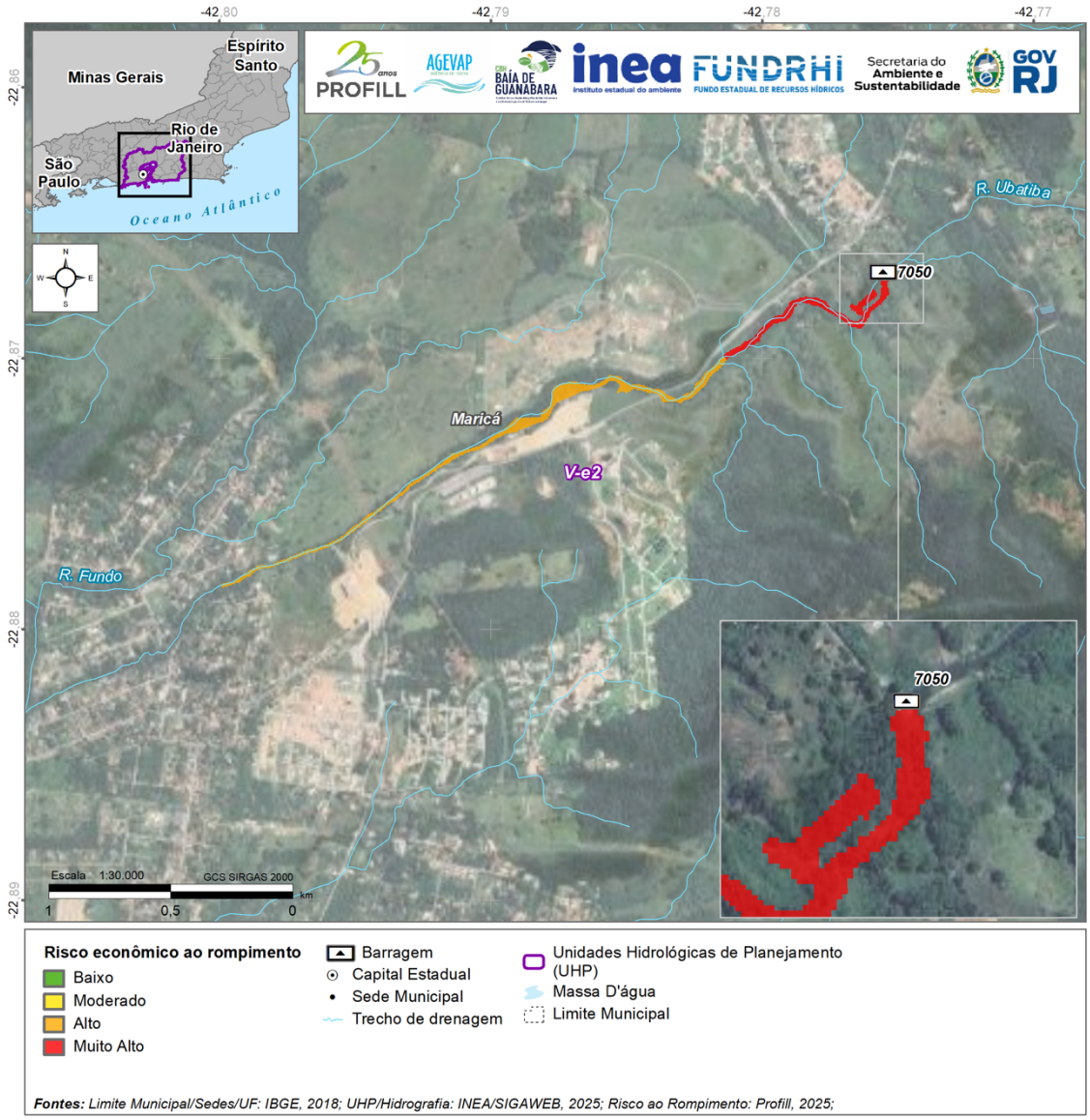
O risco social da Barragem GLE-12, de captação da ETA Maricá, é apresentado no Mapa 6-33, que mostra riscos variando de “alto“ a “moderado“. Importante destacar que a área de impacto se encontra nos limites de setores censitários, o que

impacta necessariamente no cômputo do risco para a mancha dessa barragem. Em regiões com presença populacional próxima a área de perigo, há risco categorizado como “alto“.



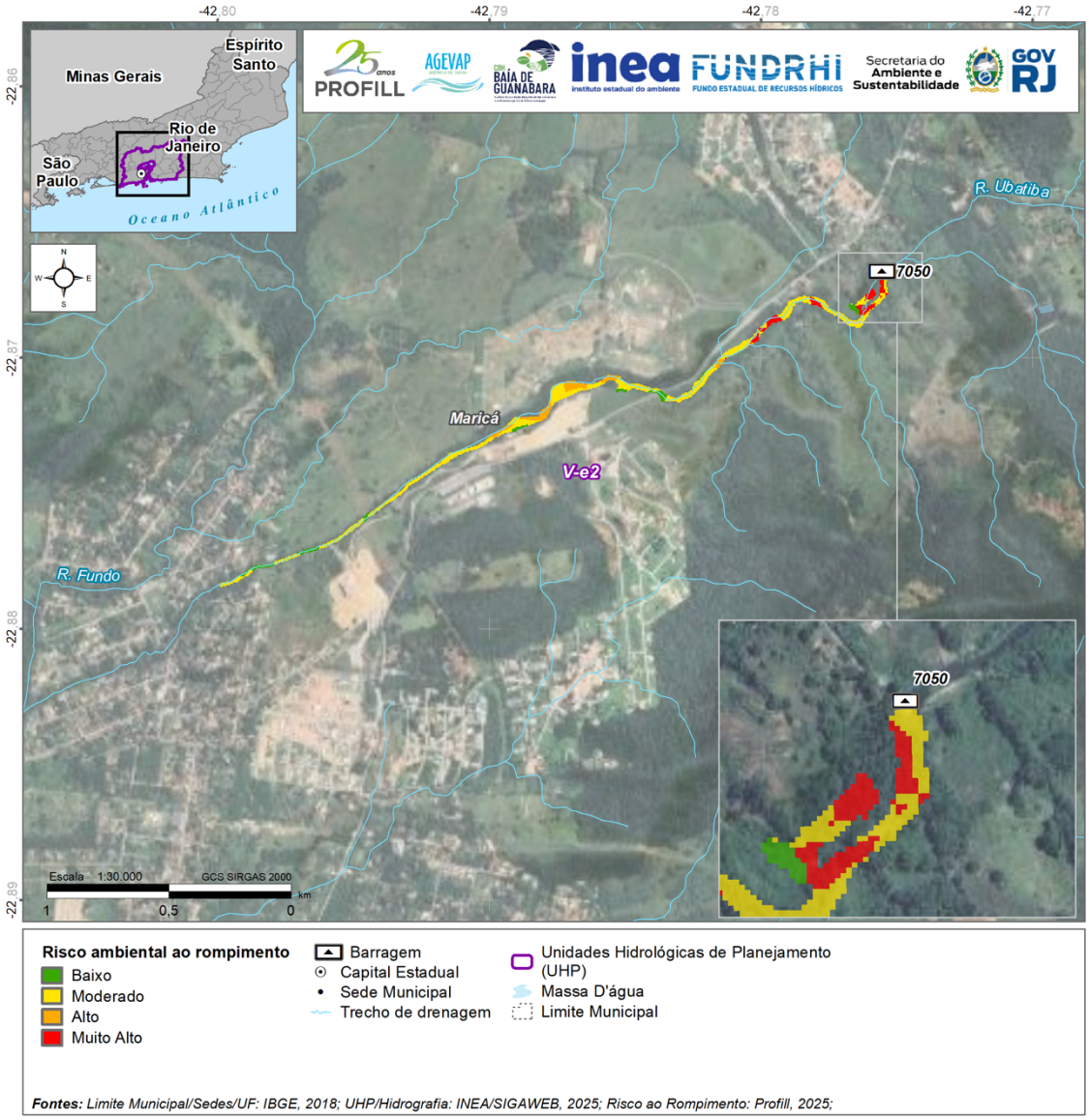
Mapa 6-33 – Mapa de risco social à ruptura da Barragem GLE-12 – ETA Maricá (código SNISB 7050) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

O Mapa 6-34, por sua vez, apresenta o risco econômico associado à referida barragem, calculado como sendo “muito alto“ ou “alto“ devido à sua localização em uma região cuja vulnerabilidade econômica é relevante, segundo metodologia empregada e apresentada anteriormente.



Mapa 6-34 – Mapa de risco econômico à ruptura da Barragem GLE-12 – ETA Maricá (código SNISB 7050) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

O Mapa 6-35, por fim, apresenta o risco ambiental, indicando que a mancha da barragem, embora pequena, possui classificação de risco ambiental “moderada“ nos primeiros quilômetros, com manchas pontuais ao longo do curso com classes “muito alta“ e “alta“, provavelmente devido à fragilidade da vegetação local e ao amortecimento observado na mancha de inundação, que poucos quilômetros após o rompimento, tem pouco potencial de extravasar as margens.



Mapa 6-35 – Mapa de risco ambiental à ruptura da Barragem GLE-12 – ETA Maricá (código SNISB 7050) na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.5 INTRUSÃO SALINA

Os riscos relativos à intrusão salina para a RH-V foram calculados por trecho de rio e espacializados em área segundo os limites das sub-bacias hidrográficas da ANA (nível 7). Portanto, ressalta-se que mesmo que a origem da definição da periculosidade quanto à intrusão esteja associada a simulações hidrodinâmicas anteriormente realizadas, a espacialização dos resultados por sub-bacia gera, em alguns pontos, inconsistências visuais que devem ser analisadas com parcimônia. Casos dessa natureza recaem sob a existência de algumas regiões altas classificadas como tendo “alto“ risco para a temática, por estarem associadas a sub-bacias que, de alguma forma, tem uma porção relativa de trechos baixos, previamente categorizados como de periculosidade relevante para a intrusão salina. Dessa forma, salienta-se que o risco, para as sub-bacias destacadas no início deste capítulo deve ser considerado apenas para as partes baixas dessas sub-bacias, tipicamente associadas a cotas de até 2,5 m acima do nível adotado para o mar, conforme critérios estabelecidos no item correspondente.

6.5.1 *Risco Social no Cenário Atual*

O Mapa 6-36 evidencia que o risco social associado à intrusão salina na RH-V é particularmente elevado nas áreas de maior densidade populacional e de maior vulnerabilidade socioeconômica, sobretudo nas UHPs V-c1 e V-c2. Nessas regiões, a sobreposição entre áreas expostas ao avanço da intrusão salina e setores censitários de alta vulnerabilidade resulta em manchas de risco “muito alto“ ou “alto”, notadamente ao longo das margens dos Rios Irajá, Timbó, Maracanã e São João de Meriti, que apresentam grande concentração de assentamentos precários e aglomerados subnormais. Essa característica diferencia zonas que compartilham a mesma periculosidade, mas que apresentam distintos níveis de vulnerabilidade social, resultando em classificações de risco contrastantes em áreas fisicamente próximas.

Também se destaca a Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (V-b), que se apresentam com riscos menores à intrusão salina em suas sub-bacias,

havendo majoritariamente regiões classificadas como sendo de “alto“ e “moderado“ risco social. Também são notáveis algumas manchas vinculadas a risco “baixo“ e, de modo contrastante, à “muito alto“ risco26.

A UHP V-a, dos Rios Iguaçu e Saracuruna, também apresenta em sua porção mais baixa “alto“ risco social à ocorrência de processos associados a intrusão salina, destacando-se, além das porções baixas do Rio Iguaçu e do Rio Sarapuí, zonas do Rio Pilar e do Rio Estrela. Quanto mais distante da Baía de Guanabara, por outro lado, menores são os riscos associados à existência de processos de intrusão.

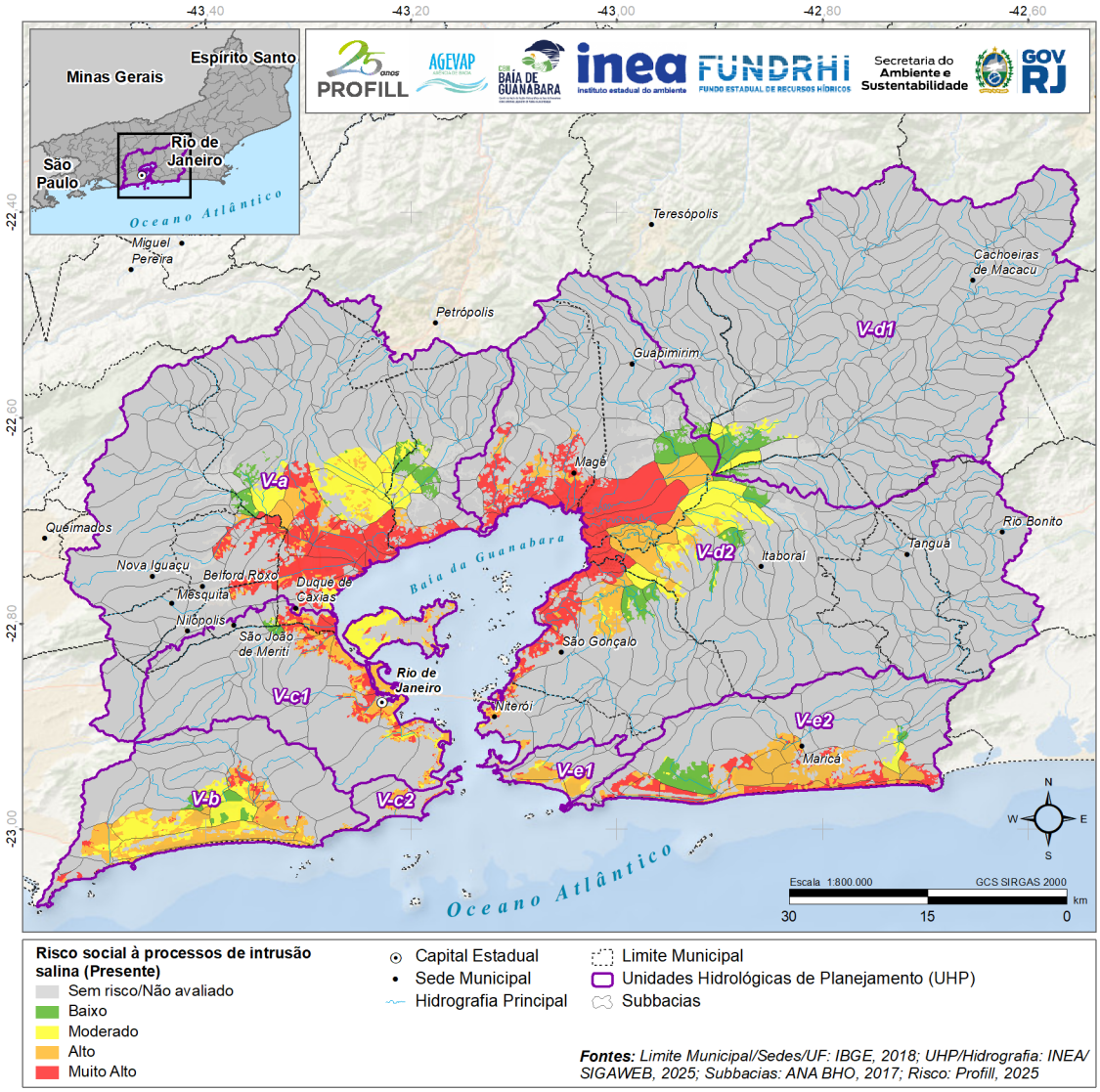
As Regiões das Lagoas Costeiras (UHPs V-e1 e V-e2) também apresentam significativa proporção de áreas classificadas como risco “alto“ e “muito alto“, associadas tanto à baixa altitude e alta suscetibilidade à intrusão salina, quanto à presença de setores vulneráveis socialmente. Entretanto, nestas mesmas regiões são observados cursos hídricos (como o Rio Bambu e Rio Padreco) vinculados a “baixos“ riscos sociais.

A região central da RH-V, especialmente na UHP V-d2, apresenta comportamento semelhante, destacando-se como um dos pontos críticos para o risco social na bacia hidrográfica. Nesta região, observa-se que quanto mais próxima da baía, maiores são os riscos de ocorrência de processos de intrusão salina que possam vir a impactar a sociedade. Em contraposição, áreas mais distantes da baía apresentam menores riscos, como é o caso da porção de montante do Rio Macacu e do Rio Caceribu, entre outras regiões serranas localizadas na UHP V-d1, bem como em e setores mais afastados da influência direta do mar. Nestes casos, nota-se risco social reduzido ou inexistente, devido à combinação entre a menor periculosidade e baixa vulnerabilidade social.

Dessa forma, o risco social da intrusão salina reflete diretamente a interação entre a exposição física ao fenômeno e as condições socioeconômicas locais,

[26]Ressalta-se também que algumas áreas altas da UHP V-b foram classificadas como sendo de “alto“ risco em razão do critério adotado quanto à utilização de sub-bacias da ANA para espacialização dos resultados

principalmente para a população que, por ventura, utilize as águas destes cursos hídricos para usos consuntivos. Do mesmo modo, o risco social vinculado à intrusão salina também recai sob potenciais influências no abastecimento da RH-V, conforme contextualização realizada anteriormente. Por fim, a identificação de áreas de risco quanto à intrusão salina na RH-V evidencia a necessidade de existência de políticas públicas direcionadas à proteção de populações vulneráveis em áreas costeiras e estuarinas da RH-V.



Mapa 6-36 – Mapa de risco social à processos de intrusão salina no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.5.2 *Risco Econômico no Cenário Atual*

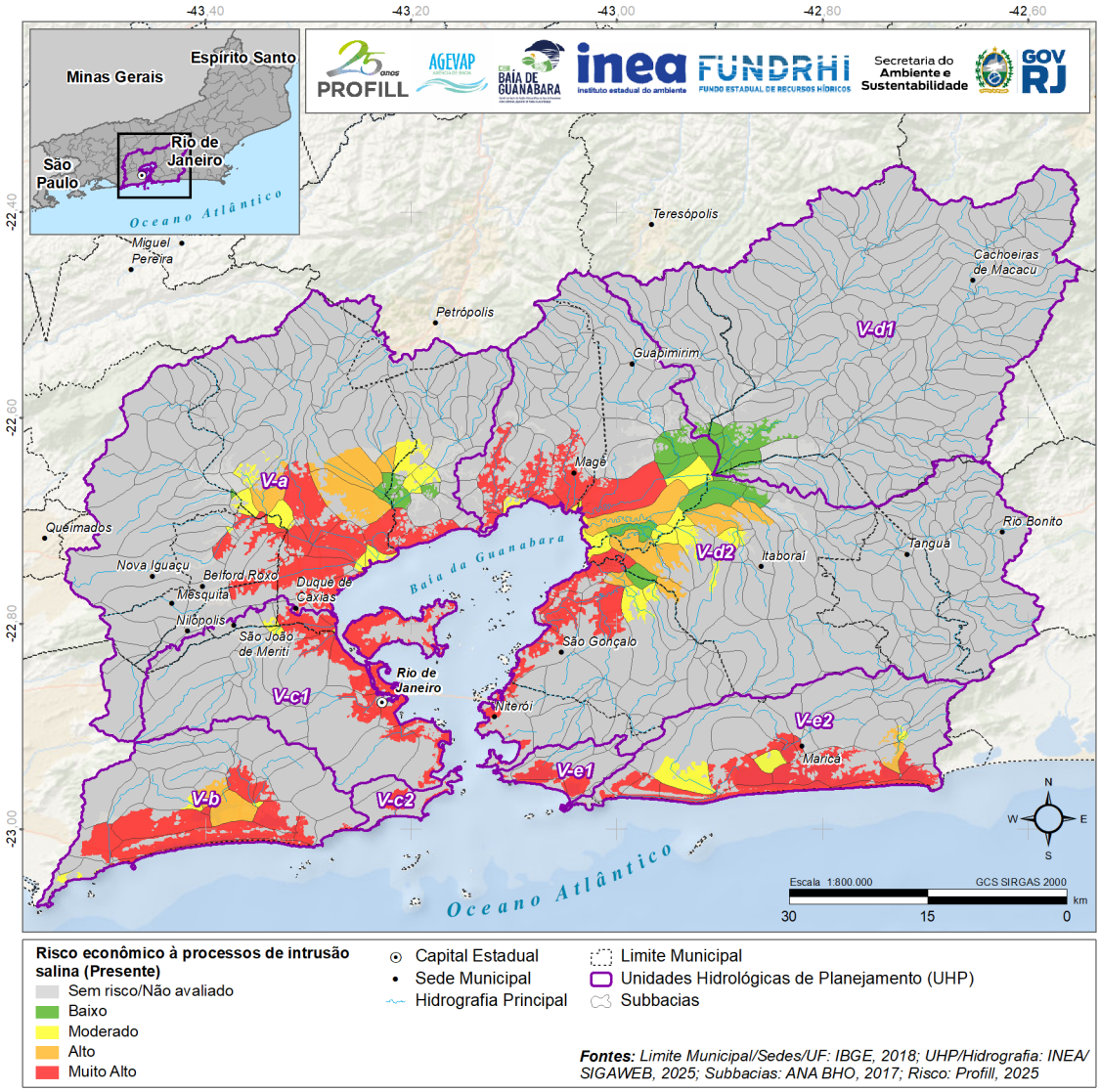
A análise do Mapa 6-37 indica que o risco econômico associado à intrusão salina se concentra principalmente na porção costeira da RH-V, onde a interação entre zonas de alta periculosidade e setores de maior valor econômico resulta em classificações elevadas de risco. As UHPs V-c1 e V-c2, que abrangem as Regiões dos Rios São João de Meriti, Pavuna, Acari e áreas centrais da Baía de Guanabara, destacam-se por apresentar predominância majoritária de risco classificado como sendo “muito alto“, refletindo a presença de infraestrutura urbana consolidada, atividades industriais e densidade populacional. Tal fato potencializa os custos associados aos impactos que processos de intrusão salina podem gerar quando suas águas são captadas e utilizadas em processos industriais ou para consumo.

Destaca-se também a UHP V-a, Região dos Rios Iguaçu e Sarapuí, cujos riscos econômicos são variados, observando-se majoritariamente áreas de “muito alto“, “alto“ e “moderado“ risco, havendo pequena parcela definida como de “baixo“ risco econômico, dentre as classificadas. Já a Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (UHP V-b) apresenta risco majoritariamente classificado como sendo “muito alto” quanto à intrusão salina, muito embora algumas zonas com menores riscos sejam também identificadas.

De forma similar à UHP V-b, as UHPs V-e1 e V-e2 apresentam faixas contínuas de risco ”muito alto” ao longo da linha de costa e lagoas costeiras, onde atividades imobiliárias, turísticas e de lazer são relevantes, com algumas áreas mais a montante classificadas com riscos menores (”alto” e ”moderado”). Em contraste, as Regiões do Rio Macacu, Guapimirim, Caceribu e outros (UHP V-d1 e UHP V-d2) apresentam, em locais de risco existente, uma heterogeneidade marcante quanto a riscos econômicos, havendo regiões de riscos econômicos ”baixos” e ”moderados”, bem como regiões de risco ”altos”.

Assim, observa-se que o risco econômico por intrusão salina acompanha a distribuição espacial das áreas urbanizadas e de uso intensivo, destacando regiões

críticas na Baía de Guanabara e nas lagoas costeiras, em contraste com as áreas serranas, que apresentam riscos inexpressivos.



Mapa 6-37 – Mapa de risco econômico à processos de intrusão salina no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.5.3 *Risco Ambiental no Cenário Atual*

A partir da análise do Mapa 6-38, observa-se que o risco ambiental associado à intrusão salina na RH-V apresenta distribuição heterogênea, concentrando-se principalmente nas áreas mais baixas e próximas à linha de costa, com presença

relevante de extratos vegetais, bem como nas margens da Baía de Guanabara e lagoas costeiras. Como exemplo, pode-se destacar a região da UHP V-c1, altamente urbanizada, que, de modo geral, apresenta riscos ambientais ”moderados” à intrusão salina. Isto é, embora a região esteja vinculada a altas periculosidades associadas à temática, observa-se a ausência de riscos ”altos” e ”muito altos” pelo fato de existir poucos extratos relevantes de vegetação natural nessa UHP. A UHP V-c2, bem como a UHP V-b, por outro lado, apresentam áreas de risco ambiental classificado como ”muito alto” (aplicados à regiões baixas), que se mesclam com riscos ”moderados” e poucas parcelas de riscos ”baixos”, para regiões mais afastadas.

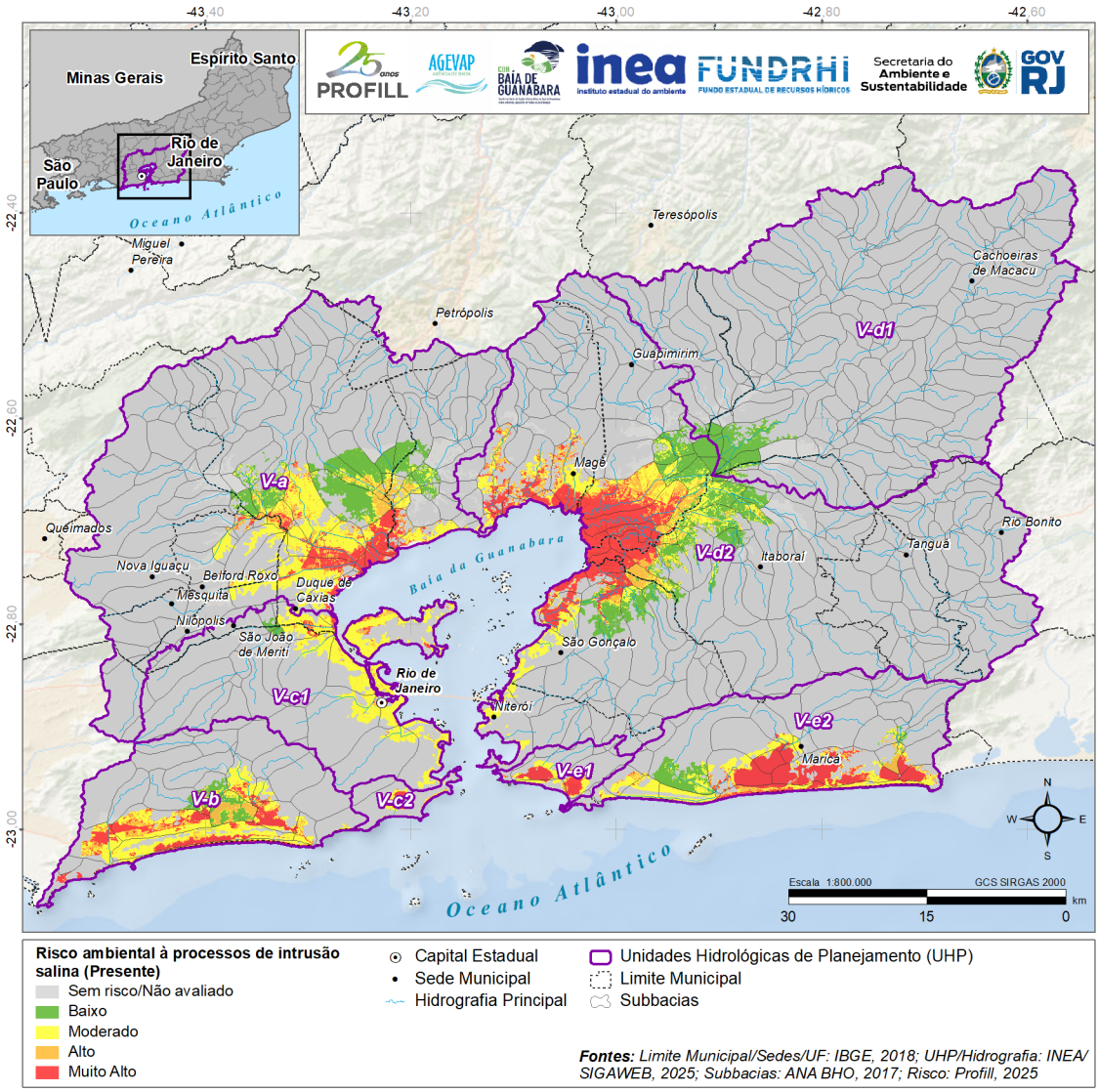
Por outro lado, a UHP V-a, área dos Rios Iguaçu e Saracuruna, apresenta mais regiões de ”baixo” risco ambiental do que as UHPs V-c1 e V-c2. Isso ocorre pelo fato de existirem áreas de baixa periculosidade quanto à intrusão salina, identificadas mais ao norte dessa UHP, que em conjunto com a existência de regiões de baixa vulnerabilidade, resultam em regiões de ”baixo” risco. Nesse contexto, destaca-se as áreas de cabeceira localizadas nas UHPs V-a e V-d1, que apresentam risco ambiental “baixo“ ou inexistente, dada a ausência de influência marinha direta e a predominância de setores serranos e de maior altitude.

A UHP V-d2, Região dos Rios Guapimirim, Caceribu e outros, por outro lado, apresenta grande risco ambiental categorizado para a região da Estação Ecológica da Guanabara, localizada junto à foz dos Rios Guapimirim e Caceribu na Baía de Guanabara. Essa categorização está vinculada à alta vulnerabilidade local com a alta periculosidade associada à existência corriqueira de processos de intrusão salina na área. Entretanto, cabe também ressaltar que regiões estuarinas como esta são altamente vinculadas aos processos naturais envolvendo a salinidade das águas que banham essas regiões.

Por fim, regiões como a das UHPs V-e1 e V-e2, associadas às Lagoas de Niterói e Maricá, destacam-se por apresentarem predominância de risco classifi-

cado como “alto“ a “muito alto“, resultado da combinação entre áreas de elevada suscetibilidade à salinização e alta vulnerabilidade ambiental, sobretudo em setores com presença de ecossistemas frágeis e de grande relevância ecológica.

Neste sentido, destaca-se que os cursos d’água que possuem foz na Baía de Guanabara e que estão suscetíveis a processos de intrusão salina possivelmente apresentam diferentes espécies de fauna e flora adaptadas ao meio. Entretanto, o aumento da zona de intrusão pode gerar impactos indiretos relevantes ao meio ambiente não previamente adaptado, reforçando a necessidade de monitoramento integrado. De modo geral, o risco ambiental por intrusão salina reflete a interseção entre zonas de grande valor ecológico e elevada suscetibilidade à salinização, o que pode vir a demandar estratégias específicas de conservação e manejo.



Mapa 6-38 – Mapa de risco ambiental à processos de intrusão salina no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.5.4 *Risco Social no Cenário Futuro*

O risco social associado à intrusão salina que potencialmente ocorrerá no futuro na RH-V é apresentado no Mapa 6-39. Conforme pode ser observado, na Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), localizada na porção noroeste da região hidrográfica, observa-se que o cenário futuro mostra manutenção ou intensificação e ampliação das áreas de risco, quando comparadas ao cenário atual. Como exemplo, pode ser observado um incremento de área com risco calculado para mon-

tante do Rio das Velhas e do Rio Iguaçu. Se destaca, no cenário futuro, a predominância de áreas classificadas como de risco “muito alto“ e de manchas de risco “alto“ nos trechos de baixa cota, entretanto, mais distantes da Baía de Guanabara, de um modo geral. Esse comportamento se deve à combinação de condições físicas favoráveis à intrusão com a presença de setores censitários de maior vulnerabilidade social.

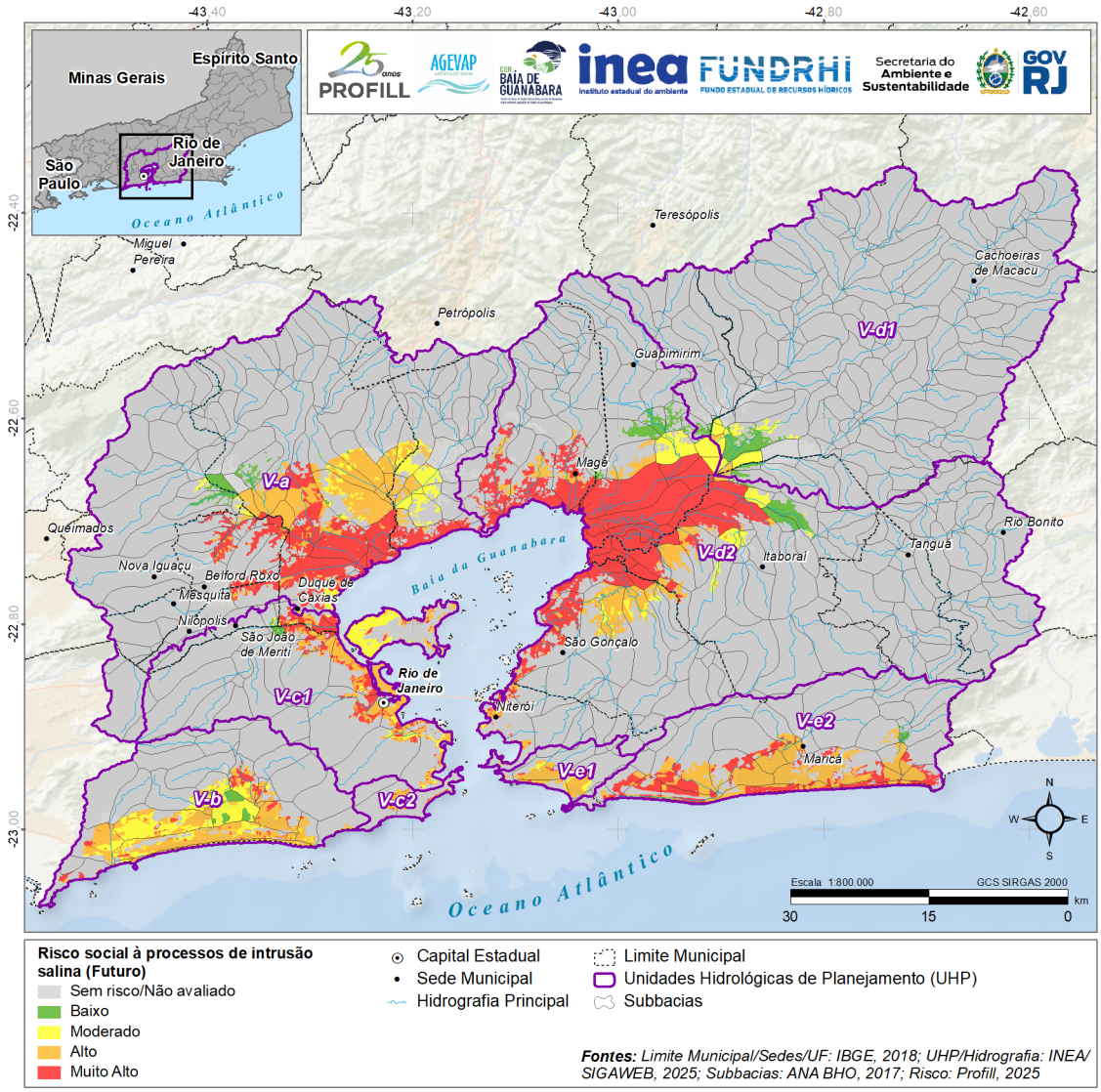
Na Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (UHP V-b), situada no sudoeste da bacia, o risco social futuro se apresenta com poucas alterações em relação ao estimado para o presente, uma vez que, embora haja suscetibilidade física à intrusão salina, parte significativa da população residente apresenta menor vulnerabilidade social. Entretanto, em áreas de ocupação mais precária junto às margens das lagoas, são verificadas manchas de “alto“ risco social, exigindo atenção especial. Em comparação ao risco presente, houve pouca alteração no padrão geral do risco de intrusão para regiões classificadas como sendo de risco social “moderado“ ou “baixo“.

Já a Região dos Rios São João de Meriti, Pavuna, Acari, Maracanã, Faria Timbó e Irajá (UHP V-c1) e Lagoa Rodrigo de Freitas (UHP V-c2), localizada na porção central da região hidrográfica, se observa um quadro complexo, assim como no cenário presente, com forte predominância de áreas de risco “alto“ e “muito alto“, especialmente ao longo das calhas dos Rios Pavuna, Faria-Timbó e São João de Meriti. Nesses trechos, a sobreposição entre elevada vulnerabilidade social e forte periculosidade física cria uma situação de alta criticidade. Em algumas áreas observa-se uma distribuição mista, com algumas regiões apresentando risco “muito alto“, em especial aquelas onde a presença de aglomerados subnormais coincide com zonas de intrusão mais intensa. Entretanto, há algumas pequenas áreas das UHPs que apresentam risco “moderado“, resultado da menor densidade populacional exposta a zonas de periculosidade relevante.

A Região do Rio Macacu (UHP V-d1), localizada no nordeste da RH-V, por sua vez, apresenta risco social futuro majoritariamente “baixo“ e inexistente, o que reflete uma região longínqua da Baía de Guanabara, cuja maior parte do território

corresponde a áreas de cabeceira e serra, não influenciadas pela intrusão salina. Apenas nos trechos mais próximos ao estuário, é que se observam manchas de risco, em função da sobreposição entre vulnerabilidade local e suscetibilidade física. Por outro lado, a Região dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e a Ilha de Paquetá (UHP V-d2), localizada na porção central da RH-V, configura-se como uma das áreas mais críticas. Nota-se um aumento considerável no risco social em comparação ao cenário atual, com predominância de zonas de risco “alto“ e “muito alto“. Isso se deve à vulnerabilidade social elevada de comunidades costeiras, associados a setores censitários maiores do que os existentes em áreas mais urbanizadas. Essa característica se soma à forte influência da intrusão salina sobre ecossistemas estuarinos e recursos hídricos locais, impactando potenciais usos consuntivos locais.

Por fim, a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2), no sudeste da bacia, apresenta um padrão heterogêneo, com áreas classificadas como de risco “muito alto“ e outras como de risco “alto“, sendo verificadas também pequenas manchas de risco “moderado“ em localidades onde populações de maior vulnerabilidade se encontram diretamente expostas à salinização das lagoas.



Mapa 6-39 – Mapa de risco social à processos de intrusão salina no cenário futuro na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.5.5 *Risco Econômico no Cenário Futuro*

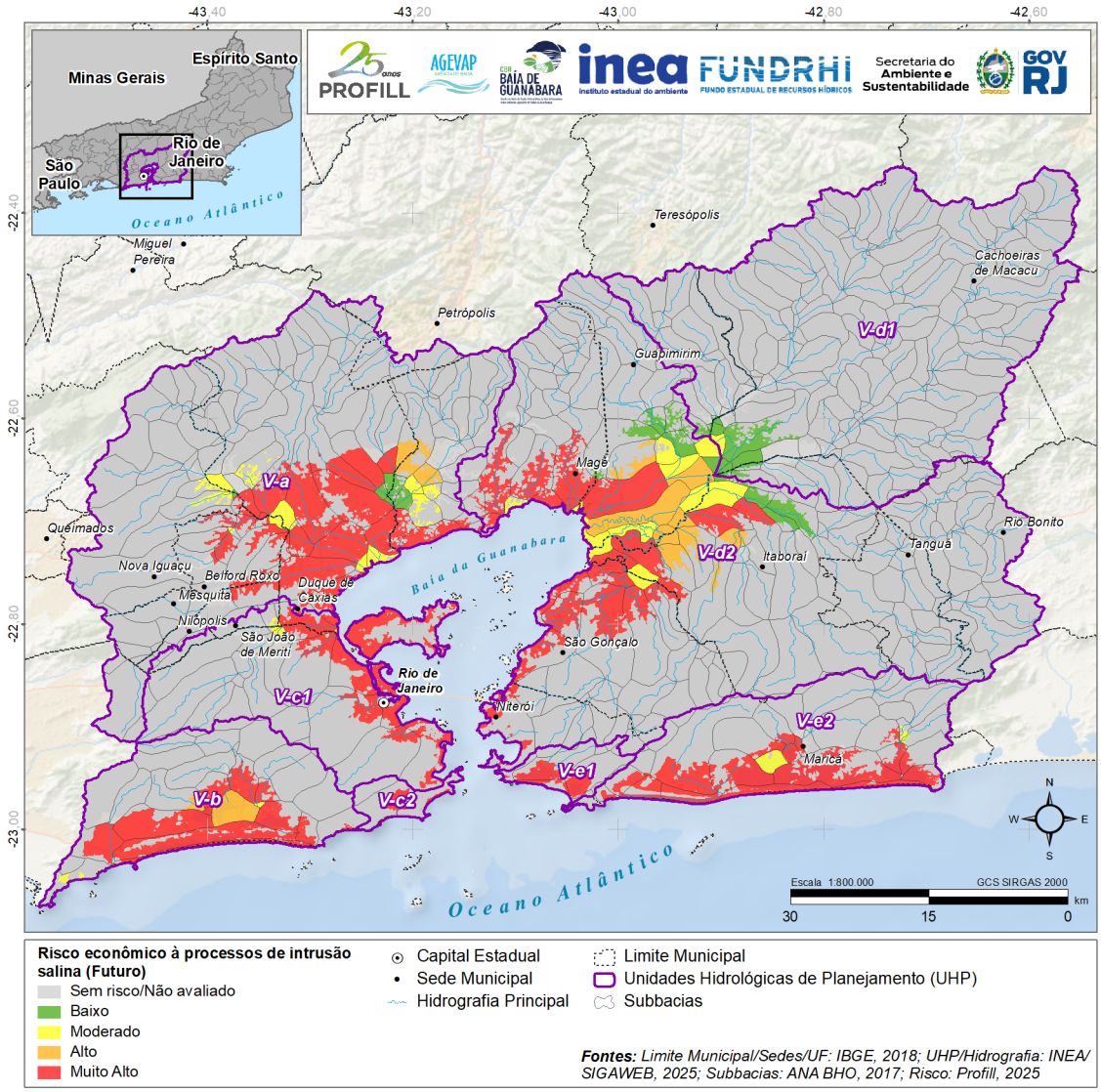
No que diz respeito ao risco econômico futuro (Mapa 6-40), observa-se que os impactos associados à intrusão salina estimados para o futuro tendem a se concentrar nas regiões oeste, central e sudeste da RH-V, justamente onde há maior adensamento urbano e atividades econômicas que dependem de água doce.

A Região dos Rios São João de Meriti, Pavuna, Acari e afluentes (UHP V-c1), a UHP V-c2 (Lagoa Rodrigo de Freitas), a UHP V-b (Lagoas de Jacarepaguá e

Marapendí) e a UHP V-a (Rios Iguaçu e Saracuruna) destacam-se pela predominância de risco econômico “muito alto“, reflexo da elevada vulnerabilidade das atividades produtivas e da infraestrutura urbana à salinização dos corpos hídricos, embora a UHP V-b e V-a apresentem algumas regiões com riscos “alto“ e “moderado“. Em comparação ao cenário atual, a UHP V-a torna-se mais crítica no futuro, com ampliação e intensificação do risco. Nas demais UHPs, não há significativa diferença em classes, apenas o avanço territorial da intrusão salina.

De forma contrastante, a Região do Rio Macacu (UHP V-d1) apresenta riscos econômicos praticamente inexistentes, com algumas áreas classificadas com riscos “baixos“, devido à menor densidade de atividades econômicas suscetíveis e à distância de grande parte do território à influência salina. Esse comportamento não se repete na Região dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHP V-d2), de modo que em comparação ao cenário atual, há um potencial aumento de risco na região, principalmente para áreas onde predominam riscos classificados como sendo “moderado“ no presente, e que passam para risco “alto“ ou “muito alto“ no futuro.

Por sua vez, a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2) também apresenta um quadro de risco econômico “muito alto“, em função da alta vulnerabilidade calculada para a região, e o alto risco de periculosidade futuro local para intrusão salina.



Mapa 6-40 – Mapa de risco econômico à processos de intrusão salina no cenário futuro na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.5.6 *Risco Ambiental no Cenário Futuro*

O risco ambiental (Mapa 6-41) associado à intrusão salina futura potencial manifesta-se principalmente nas áreas de maior relevância ecológica da RH-V, como as zonas estuarinas, de lagoas costeiras e UCs. Neste sentido, se destacam algumas regiões litorâneas, como a Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (UHP V-b) e a Região das Lagoas de Niterói e Maricá (UHPs V-e1 e V-e2), que apresentam classificação variando de, majoritariamente, “muito alto“ à “moderado“ risco ambiental futuro. Em comparação ao cenário presente, destaca-se que as diferenças

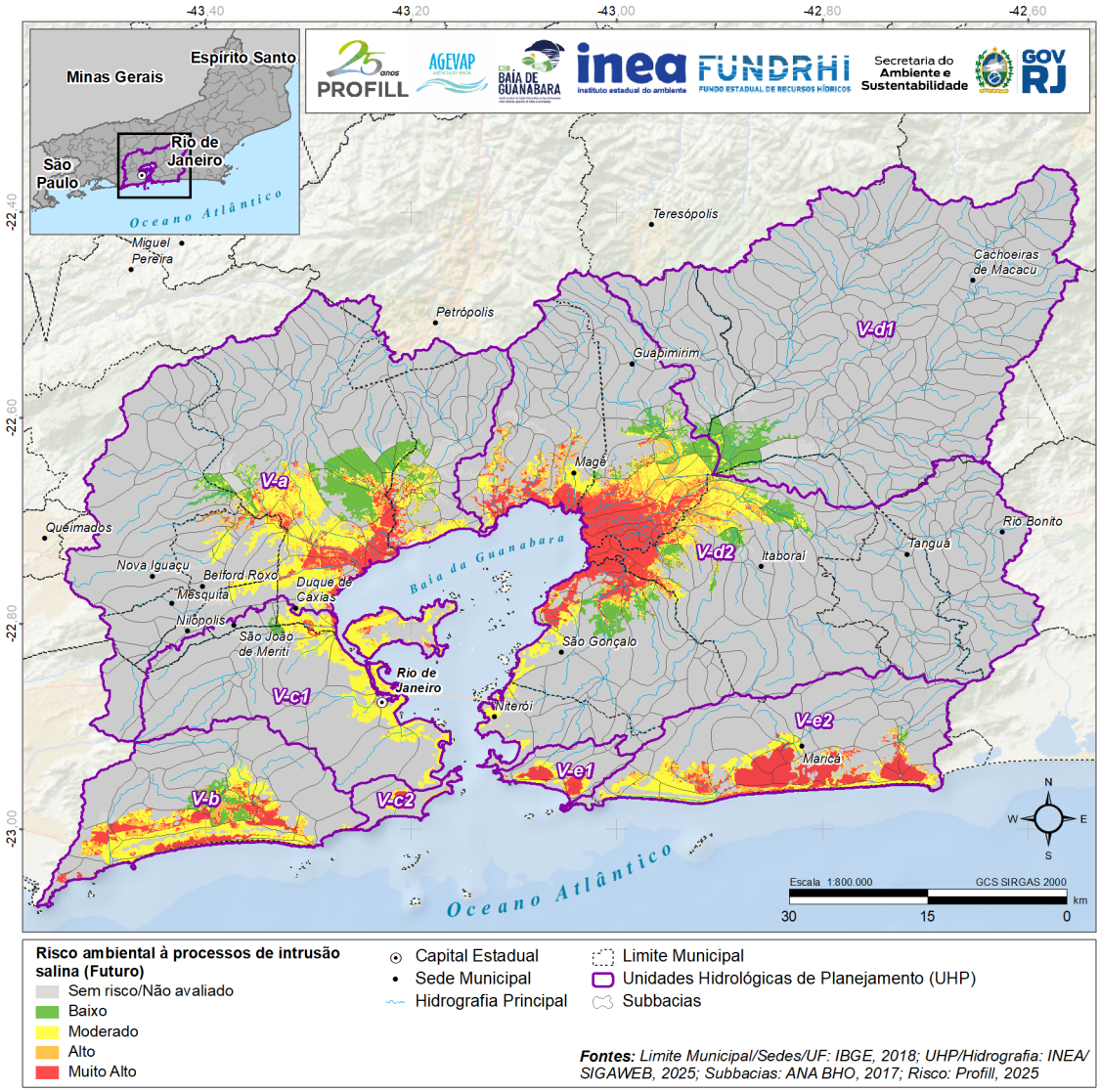
observadas para essas UHPs variam em intensidade, embora seja observado que para todas há manutenção ou intensificação do risco ambiental associado.

Nesse sentido, a UHP V-b apresenta um agravamento de risco, com ampliação da áreas classificadas anteriormente como sendo de risco “moderado“, que passam a se tornar áreas de risco “alto“. Já para as UHPs V-e1 e V-e2, observa-se que algumas regiões anteriormente classificadas como sendo de “baixo“ e “moderado“ risco ambiental passam a ser categorizadas, no futuro, para “alto“ e “muito alto“ risco ambiental.

Nas Regiões dos Rios Pavuna-Merití, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão, Lagoa Rodrigo de Freitas e Rios Iguaçu e Saracuruna (UHPs V-c1, V-c2 e V-a), o risco à intrusão salina futura também se intensifica ou se mantém. Como pode ser observado para a UHP V-c1, que apresenta risco “moderado“ em quase toda sua extensão classificada, há a manutenção do risco estimado para o presente. O mesmo ocorre para a UHP V-c2, em que são notadas áreas de perigo classificadas como “muito alto“ e “moderado“ tanto no futuro, quanto no presente. Quando comparado ao cenário presente, nota-se que não há expansão nem intensificação das áreas críticas das UHPs V-c1 e V-c2, entre o cenário futuro e o cenário atual. Quanto aos riscos ambientais futuros da UHP V-a quanto à intrusão salina e, comparando-a com o risco no cenário atual, observa-se uma classificação heterogênea, com expansão de áreas de risco ao oeste da UHP e intensificação de riscos classificados anteriormente como “moderados“ para riscos ambientais “altos“, em algumas áreas.

Já na Região do Rio Macacu (UHP V-d1), nota-se que as áreas de “baixo“ risco ambiental para intrusão salina calculadas para o cenário atual se mantêm no cenário futuro. A Região dos Rios Guapimirim, Caceribu e Ilha de Paquetá (UHP V-d2), por outro lado, apresenta expansão de risco em algumas sub-bacias e intensificação em outras. Salienta-se que nessa região constitui-se, novamente, em uma das áreas mais críticas, concentrando grande parte das classificações de risco ambiental “alto“ e “muito alto“. Quando comparado ao cenário atual, nota-se que houve um leve

aumento na UHP V-d1, e uma expansão (e intensificação de riscos) considerável em V-d2.



Mapa 6-41 – Mapa de risco ambiental à processos de intrusão salina no cenário futuro na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.5.7 *Análise dos Cenários*

Diante dos resultados apresentados, pode-se dizer que no cenário atual, o risco ambiental associado à intrusão salina na RH-V encontra-se concentrado nas áreas costeiras, estuarinas e lagoas, como Niterói e Maricá, onde ecossistemas frá-

geis e de grande relevância ecológica tornam a região especialmente vulnerável, enquanto as áreas serranas apresentam riscos reduzidos ou inexistentes. Do ponto de vista econômico, os maiores impactos recaem sobre zonas urbanizadas e industrializadas, em especial nos Rios São João de Meriti, Pavuna e Acari, além da Baía de Guanabara e das lagoas costeiras, contrastando com as áreas de cabeceira, como o Rio Macacu, que apresenta riscos “inexistentes“. No aspecto social, as regiões mais críticas são aquelas de maior densidade populacional e vulnerabilidade socioeconômica, sobretudo nas margens de rios urbanos e em assentamentos precários, enquanto os setores serranos permanecem pouco afetados.

Já no cenário futuro, observa-se a intensificação e a expansão territorial destes riscos: novas áreas localizadas nas UHPs V-a e V-d2, principalmente, passam a figurar entre as zonas com periculosidade à intrusão, e tem intensificação de riscos associados previstos para o futuro. Como exemplo, destaca-se a região mais de montante do Rio Guapimirim, que pode passar a sofrer com processos de intrusão salina no futuro. O risco econômico tende a se agravar principalmente nas áreas urbanas centrais e costeiras, com forte impacto sobre atividades locais, enquanto o risco social se amplia e se torna mais heterogêneo, atingindo não apenas os já conhecidos bolsões de vulnerabilidade, como Pavuna e São João de Meriti, mas também comunidades mais isoladas continente adentro, que no cenário atual não apresentam riscos significativos associados à temática.

Dessa forma, a transição do presente para o futuro revela um quadro de maior complexidade e criticidade, marcado pela sobreposição entre a suscetibilidade física, a relevância ecológica, as pressões econômicas e as desigualdades sociais, reforçando a necessidade de políticas públicas integradas e estratégias de manejo específicas para enfrentar os desafios decorrentes da intrusão salina na RH-V.

6.6 MOVIMENTOS DE MASSA

Nos itens a seguir, são apresentados os riscos social, econômico e ambiental associados à ocorrência de processos de movimentos de massa na RH-V.

6.6.1 *Risco Social*

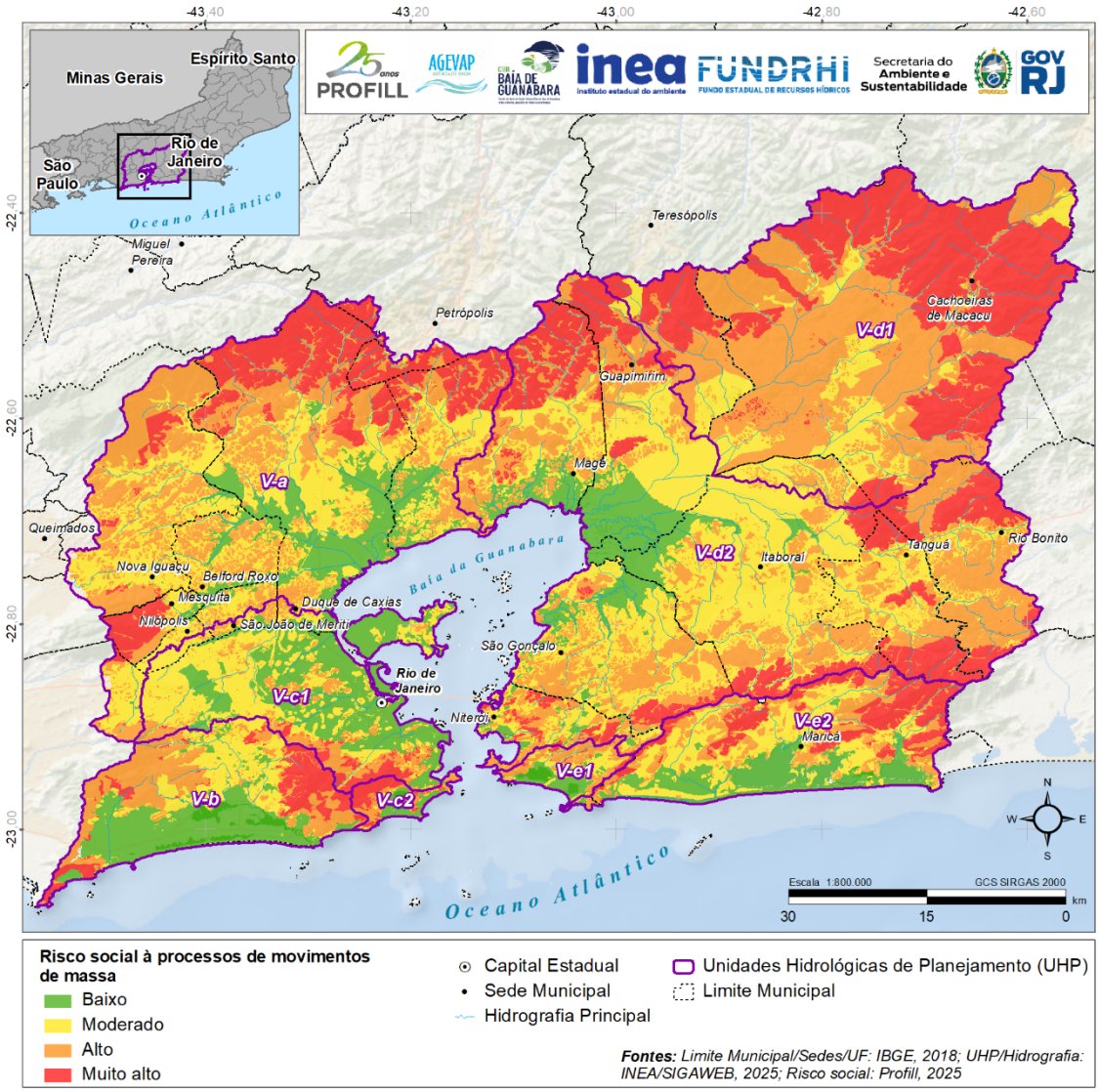
O risco social na RH-V para movimentos de massa (Mapa 6-42) apresenta variações relevantes entre suas diferentes UHPs. Na Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), observam-se áreas de risco “baixo“ principalmente vinculadas aos vales e planícies dos principais rios, onde o relevo é plano e com pouco risco à ocorrência de movimentos de massa. Entretanto, também são observadas regiões de risco “moderado“ e “alto“, principalmente nas regiões mais declivosas, mas que não fazem parte da serra ou de regiões elevadas. É o caso de bacias hidrográficas como as associadas ao Rio das Velhas, Rio da Bota e Rio Pilar na sua porção mais de montante. Ao norte da UHP V-a, entretanto, observam-se regiões com “alto“ ou “muito alto“ risco social para movimentos de massa, principalmente na porção mais alta das serras e escarpas.

Nas unidades referentes aos Rios Pavuna-Meriti, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão (UHP V-c1), observa-se situação similar, com exceção de existência de áreas categorizadas como sendo de “muito alto” de forma expressiva. Nessa UHP, é observado um mosaico diversificado, no qual se destacam áreas de risco “moderado“ e “alto“, complementadas por trechos de risco “muito alto“ em regiões específicas, mais ao sul, associadas principalmente à região do Parque Nacional da Tijuca, enquanto os setores de risco “baixo“ apresentam distribuição mais extensa vinculadas principalmente às áreas de planície vinculadas aos principais cursos hídricos da UHP.

De modo distinto, também se destaca a Região das Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (UHP V-b) bem como a UHP V-c2 (Lagoa Rodrigo de Freitas). Nestas regiões, ocorre uma predominância de manchas mais integrais, sendo grande parte da porção litorânea associada a “baixo“ risco social para movimentos de massa. Regiões mais altas e declivosas, por outro lado são ranqueadas com “alto“ ou “muito alto“ risco de movimentos de massa, inclusive em áreas densamente populosas e com alta vulnerabilidade local adjacentes ao Parque Nacional da Tijuca.

As Região Rio Macacu (UHP V-d1), por sua vez, evidencia maior concentração das classes de risco “alto“ e “muito alto“ em grande parte de sua extensão, com nenhuma região classificada como sendo de “baixo“ risco social. Se destacam também áreas de risco “moderado“, principalmente adjacentes aos maiores cursos hídricos da referida UHP. No caso dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHP V-d2), prevalecem, por outro lado, as classes de risco social “baixo“ e “moderado“, uma vez que grande parte dessa região se encontra em zonas de baixa declividade. Entretanto, também são observadas regiões de risco “alto“ e “muito alto“ em áreas de transição e nos limites com unidades vizinhas, principalmente ao norte e ao sul dessa UHP.

Já ao leste da Baía de Guanabara, a Região do Sistema Lagunar de Maricá (UHP V-e2) e de Niterói (UHP V-e1) apresentam predominância das classes de risco “moderado“ a “alto“, com áreas significativas classificadas como de “muito alto“ risco social, principalmente localizadas na região de divisor de água entre essas UHPs e a UHP V-d2. Enquanto isso, também se destacam as áreas de risco baixo ou nulo, vinculadas às lagoas litorâneas.



Mapa 6-42- Mapa de risco social à processos de movimentos de massa na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

De forma geral, a análise sugere que o risco social na RH-V possui distribuição heterogênea, marcada pela alternância entre áreas de risco reduzido e setores mais críticos, concentrados especialmente nas regiões que apresentam igualmente áreas de maior adensamento populacional e regiões declivosas.

6.6.2 *Risco Econômico*

De modo geral, observa-se que o risco econômico na RH-V é distribuído a partir de combinações variadas entre as diferentes classes, com maior destaque para as categorias “alto“ e “muito alto“ risco, que tendem a se concentrar em regiões

que aliam maior vulnerabilidade econômica à maior periculosidade anteriormente mapeada. A partir da análise do Mapa 6-43, observa-se que o risco econômico estimado para as diferentes unidades da RH-V apresenta distribuição heterogênea entre as diferentes unidades.

Na Região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), não é clara a predominância de uma classe de risco em relação a outras, destacando-se proporções similares de existência de risco “moderado“, “alto” e “muito alto”. Entretanto, nota-se a existência de poucas regiões classificadas como sendo de ”baixo” risco econômico. As áreas classificadas como sendo de ”muito alto” risco estão, sobretudo, associadas a regiões que vinculam maiores vulnerabilidades econômicas a maiores periculosidades quanto a movimentos de massa. Também, podem ser observadas regiões de escarpas (ao norte da UHP) que, embora apresentem grande periculosidade para movimentos de massa, não estão associadas a grandes vulnerabilidades econômicas. Neste caso, a maior parte das bacias ao norte dessa UHP tem risco classificado como sendo “moderado“.

Em contrapartida, nas unidades correspondentes aos Rios Pavuna-Meriti, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão (UHPs V-c1 e V-c2), observa-se um mosaico variado, no qual se destacam as classes de risco “alto“ e “moderado“, sobretudo em setores densamente ocupados, uma vez que a vulnerabilidade econômica nessa região é extremamente relevante. É possível observar também que regiões de grande pujança econômica, associadas à baixa periculosidade quanto a movimentos de massa por estarem em áreas, sobretudo, de baixa declividade ou em planícies, possuem risco “moderado“. Da mesma forma, regiões de altas declividades localizadas principalmente no divisor de águas entre as UHPs V-c1, V-c2 e V-b estão associadas a riscos econômicos “muito altos“, principalmente em função das sub-bacias utilizadas para espacialização dos resultados.

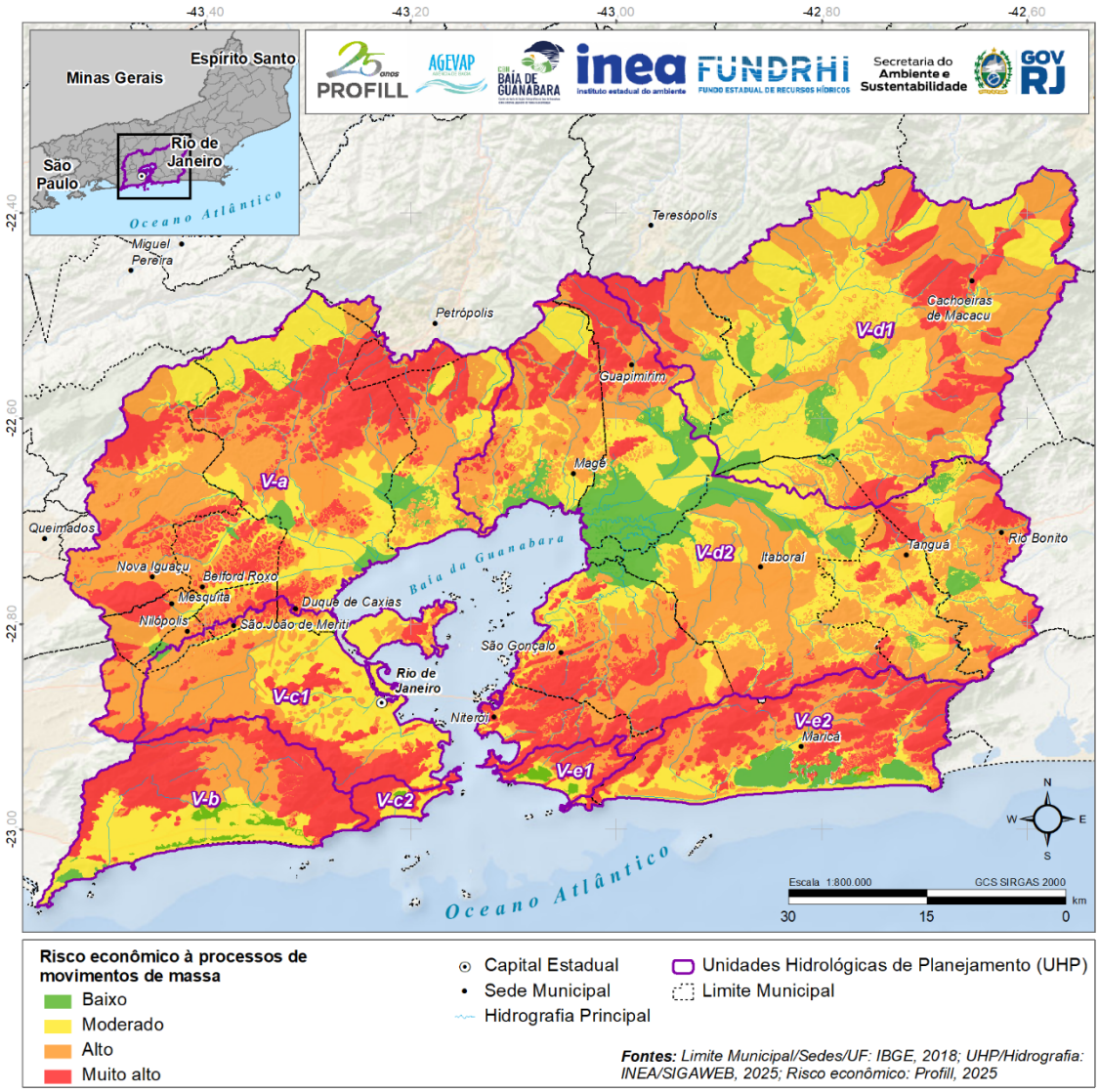
É observado para as Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi (UHP V-b) um cenário marcado por elevada heterogeneidade, com ocorrência expressiva de três classes de risco (“moderado“, “alto“ e “muito alto“), além de áreas de risco inexistente

associado às lagoas litorâneas. De modo similar, regiões de “muito alto“ risco econômico são observados em áreas adjacentes do Parque Nacional da Tijuca.

A bacia hidrográfica do Rio Macacu (UHP V-d1), por sua vez, concentra a maior parte de sua área nas classes de risco “alto“ e “moderado“, havendo registros de risco “muito alto“ em setores internos que vinculam regiões de alta periculosidade à ocorrência com áreas de maior vulnerabilidade econômica. Observa-se, também, poucas áreas de “baixo“ risco econômico, que são pouco representativas nessa região. Já na Região dos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHP V-d2), por sua vez, o risco econômico apresenta-se de forma mais heterogênea, com manchas de risco “alto“ sendo intercaladas com manchas de risco “baixo“ em regiões similares. Isso ocorre devido, principalmente, à existência de diferentes vulnerabilidades econômicas locais, que se associam a diferentes periculosidades, para resultar em regiões próximas, entretanto, distintas, em termos de classificação de risco.

Nesse sentido, destaca-se a Região de jusante dos Rios Macacu e Guapimirim, que estão em regiões baixas de pequena periculosidade para movimentos de massa e que, ao mesmo, tempo estão em regiões de baixa vulnerabilidade econômica. Nesses casos, o risco econômico nesses locais é definido como “baixo“. Diferentemente de porções ao norte da UHP V-d2, que mesclam regiões de alta vulnerabilidade econômica com a alta periculosidade à ocorrência de movimentos de massa. Do mesmo modo, é observado ao sul uma maior presença populacional, associada a maiores classificações de risco econômico para movimentos de massa.

Por fim, as UHPs associadas à Lagoa de Niterói (UHP V-e1) e ao Sistema Lagunar de Maricá (UHP V-e2) apresentam predomínio riscos categorizados como sendo “alto“ e “muito alto“, havendo poucas áreas classificadas como sendo de risco “moderado“ ou risco “baixo“. Isso ocorre, principalmente, devido à vulnerabilidade econômica local, que somada às altas periculosidades calculadas, resultam em tais classificações.



Mapa 6-43- Mapa de risco econômico à processos de movimentos de massa na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

6.6.3 *Risco Ambiental*

No que tange ao risco ambiental, conforme apresentado no Mapa 6-44, é possível observar heterogeneidade em relação às diferentes classes de risco, ocorrendo, de modo geral, predomínio de riscos “muito alto“, “moderado“ e “baixo“. Salienta-se que poucas áreas da RH-V apresentaram risco ambiental “alto“.

Quando se observa a região dos Rios Iguaçu e Saracuruna (UHP V-a), percebe-se o predomínio de classes de risco “muito alto“ localizadas ao norte, visto que é uma região com predomínio de relevos acidentados e elevada vulnerabilidade

ambiental em razão das áreas protegidas. No entanto, na sua porção central e sul a região apresenta predomínio de risco “baixo“ e pouco risco “moderado“, muito associado às áreas mais urbanizadas e com menor inclinação de vertente.

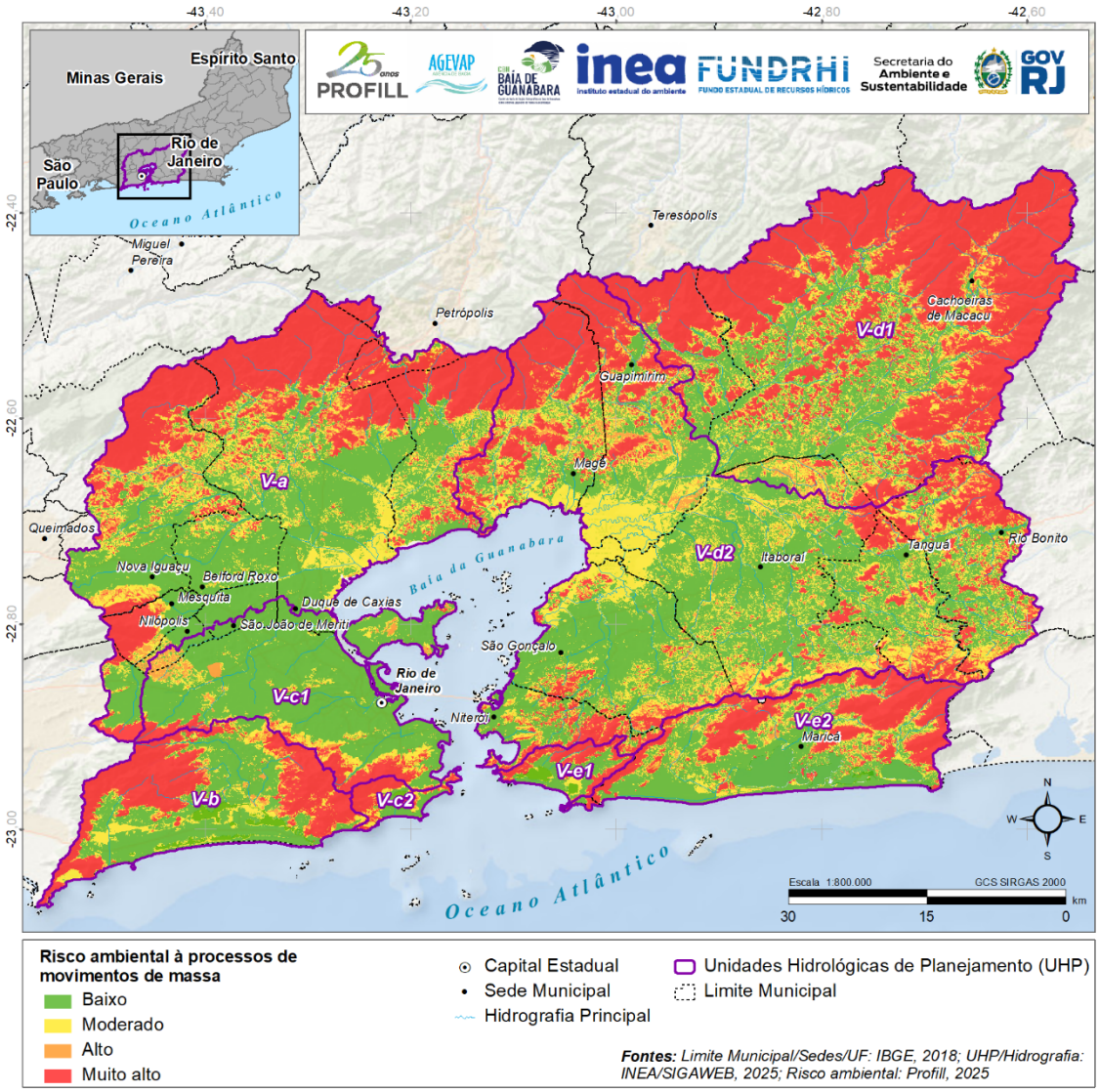
De modo semelhante, destaca-se a região do Rio Macacu (UHP V-d1) por apresentar predomínio de risco “muito alto“ em razão do relevo com maiores altitudes e declives localizados na sua porção norte. Nas demais áreas, predomina o risco “baixo“ e poucas parcelas de risco “moderado“, devendo-se, principalmente, ao uso do solo destinado às áreas agrícolas e de pastagem, e menores amplitudes do relevo.

Na unidade correspondente aos Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá (UHP V-d2), observa-se em sua porção norte, a concentração de risco “muito alto“ devido as áreas de relevo de maior altitude e declive, além das áreas de proteção ali presentes, como o Parque Nacional da Serra dos Órgãos. As outras áreas também classificadas como “muito alto“ risco ambiental, localizadas à leste, decorrem do relevo de maior amplitude e presença de formações florestais. Já em sua porção central e oeste, verifica-se o predomínio de riscos “moderados“ e “baixos“, associados às áreas com menores inclinações de vertentes, por serem regiões de planícies e tabuleiros, ou seja, mais planas.

Analisando-se a Lagoa de Jacarepaguá e Marapendí (UHP V-b), observa-se riscos “muito altos“ associado às áreas de formações rochosas mais isoladas, porém com elevada inclinação de vertente, como o caso do Parque Nacional da Tijuca. As demais áreas da região apresentam, sobretudo, “baixo“ risco a movimentos de massa, em razão da baixa declividade do relevo. O mesmo observa-se nas unidades Lagoa Rodrigo de Freitas (UHP V-c2) e Lagoas de Niterói (UHP V-e1), com áreas de risco “muito alto“ relacionadas às formações rochosas mais elevadas, e “moderado“ e “baixo“ risco predominando nas porções associadas às áreas de baixa declividade.

Nas unidades correspondentes aos Rios Pavuna-Meriti, Faria-Timbó e Maracanã, Ilhas do Governador e do Fundão (UHPs V-c1 e V-c2), observa-se predomínio de classes de risco “baixo“, em razão das planícies costeiras e planícies de inundação que se configuram como áreas planas. Observam-se classes de risco “moderado“ associadas à presença de colinas, formações com maior amplitude de relevo. Por fim, destaca-se, em sua porção sul, a presença de áreas classificadas com risco “muito alto“ em razão das formações rochosas, coo elevadas declividades pertencentes ao Parque Nacional da Tijuca.

Por fim, a região do Sistema Lagunar de Maricá (UHP V-e2) apresenta predomínio das classes de risco “baixo“ e poucas parcelas de risco “moderado“ em razão das áreas de planície costeira e algumas colinas de baixa declividade. Contudo, em sua porção norte identifica-se risco “muito alto“ devido às formações rochosas do domínio serrano, além de serem áreas classificadas como refúgio da vida silvestre, configurando maior vulnerabilidade ambiental.



Mapa 6-44 - Mapa de risco ambiental à processos de movimentos de massa na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

De modo geral, a análise indica que o risco ambiental na RH-V apresenta combinações variadas entre as diferentes classes, com predominância de risco “baixo“ em áreas urbanizadas e maior expressão de risco “muito alto“ em regiões de cabeceira e menos antropizadas, evidenciando um padrão espacial heterogêneo mas, entretanto, diretamente vinculado às feições geomorfológicas e às vulnerabilidades da região.

7 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os documentos de referência consultados ao longo da elaboração deste Produto 2, os quais foram utilizados diretamente ou indiretamente na execução deste diagnóstico, atualizando-se documentos de referência anteriormente apresentados no Plano de Trabalho (Produto 1) deste estudo.

Neste contexto, o Quadro 7-1 apresenta o levantamento dos principais planos e diretrizes municipais consultados para cada município da RH-V, com foco na identificação dos instrumentos existentes relacionados à gestão de riscos, meio ambiente e recursos hídricos. Dentre os documentos listados, destacam-se os Planos de Contingência de Proteção e Defesa Civil de diferentes municípios, que permitem identificar as estruturas institucionais voltadas à prevenção e resposta a desastres. Observa-se a partir da referida tabela que dos 17 municípios inseridos (total ou parcialmente) na RH-V, apenas 9 destes Planos foram encontrados, indicando para algumas regiões maior nível de organização e disponibilidade de informações acerca da temática. Adicionalmente, também podem ser destacadas diretrizes nacionais ou regionais consultadas ao longo da elaboração deste produto, como:

- Plano Diretor de Recursos Hídricos da Baia de Guanabara (2005);
- Plano Estadual de Recursos Hídricos (2014);
- Diagnóstico dos Acidentes Ambientais no Estado do Rio de Janeiro (2018);
- Plano Nacional de Segurança Hídrica (2019);
- Atualização e Complementação do PRH da RH-V e Sistemas Lagunares (2020);
- Atlas dos Mananciais do Rio de Janeiro (2023).

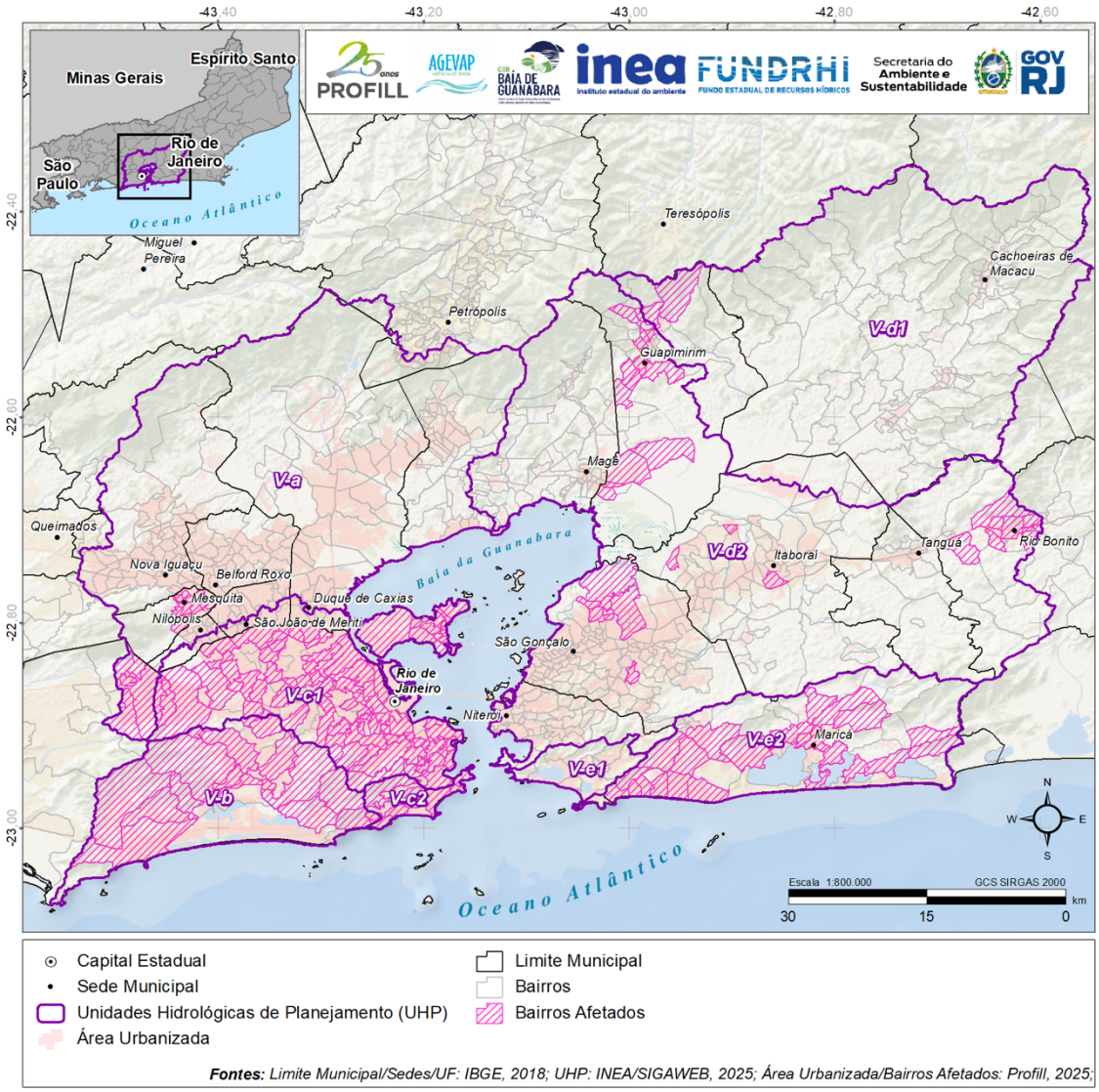
Quadro 7-1 – Documentos utilizados na elaboração do Produto 2.

Município	Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (PLANCON)/ Semelhante	Plano Municipal de Mata Atlântica (PMMA)	Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)
Belford Roxo			x
Cachoeiras de Macacu		x	x
Duque de Caxias			x
Guapimirim	x		x
Itaboraí	x	x	x
Magé		x	x
Maricá	x		x
Mesquita	x	x	x
Nilópolis			x
Niterói		x	x
Nova Iguaçu	x	x	x
Petrópolis			x
Rio Bonito	x	x	
Rio de Janeiro	x	x	x
São Gonçalo	x	x	
São João de Meriti	x		
Tanguá		x	x

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados observados em cada documento, foi realizado um levantamento das principais áreas com registros e/ou ocorrência de desastres na RH-V, considerando-se os eventos críticos aqui estudados. Esse levantamento é ilustrado no Mapa 7-1 que foi elaborado a partir da identificação das ocorrências de desastres registradas nos PLANCONs dos municípios indicados, por bairro. Assim, o objetivo deste mapa foi espacializar as áreas afetadas pelos eventos críticos na RH-V, mostrando onde há registros documentados. Entre os municípios considerados, estão Maricá, Itaboraí, Mesquita, Rio Bonito, São Gonçalo e Rio de Janeiro, cujos PLANCONs apresentaram registros de eventos relacionados a inundações, deslizamentos (movimentos de massa) e outros desastres.

Destaca-se, neste sentido que o referido mapa, bem como os consequentes, ilustra as localidades com registro associados a PLANCONs municipais consultados. Não significa, dessa forma, que outras regiões não mapeadas aqui não estejam suscetíveis a desastres, ou que não tenham ocorrências registradas em outros documentos ou fontes oficiais, algumas das quais já mapeadas em capítulos anteriores.



Mapa 7-1 - Bairros com ocorrências de desastres registrados, segundo os PLANCONs municipais.
Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 7-2 apresentado a seguir relaciona os bairros que registraram ocorrências de inundações nos municípios de Maricá, Mesquita, Guapimirim, Itaboraí Rio Bonito e São Gonçalo. Esses dados foram utilizados para a elaboração do Mapa 7-2, que representa espacialmente essas informações, evidenciando os bairros correspondentes. Observa-se que, em Mesquita, as ocorrências se concentraram, na sua maior parcela, em bairros como Chatuba, Santa Terezinha, Juscelino e Banco de Areia. No município de Maricá, se concentraram em bairros como Centro, Mumbuca e Itapema. Em Rio Bonito, destaca-se o apenas o Centro. Já em São Gonçalo, os

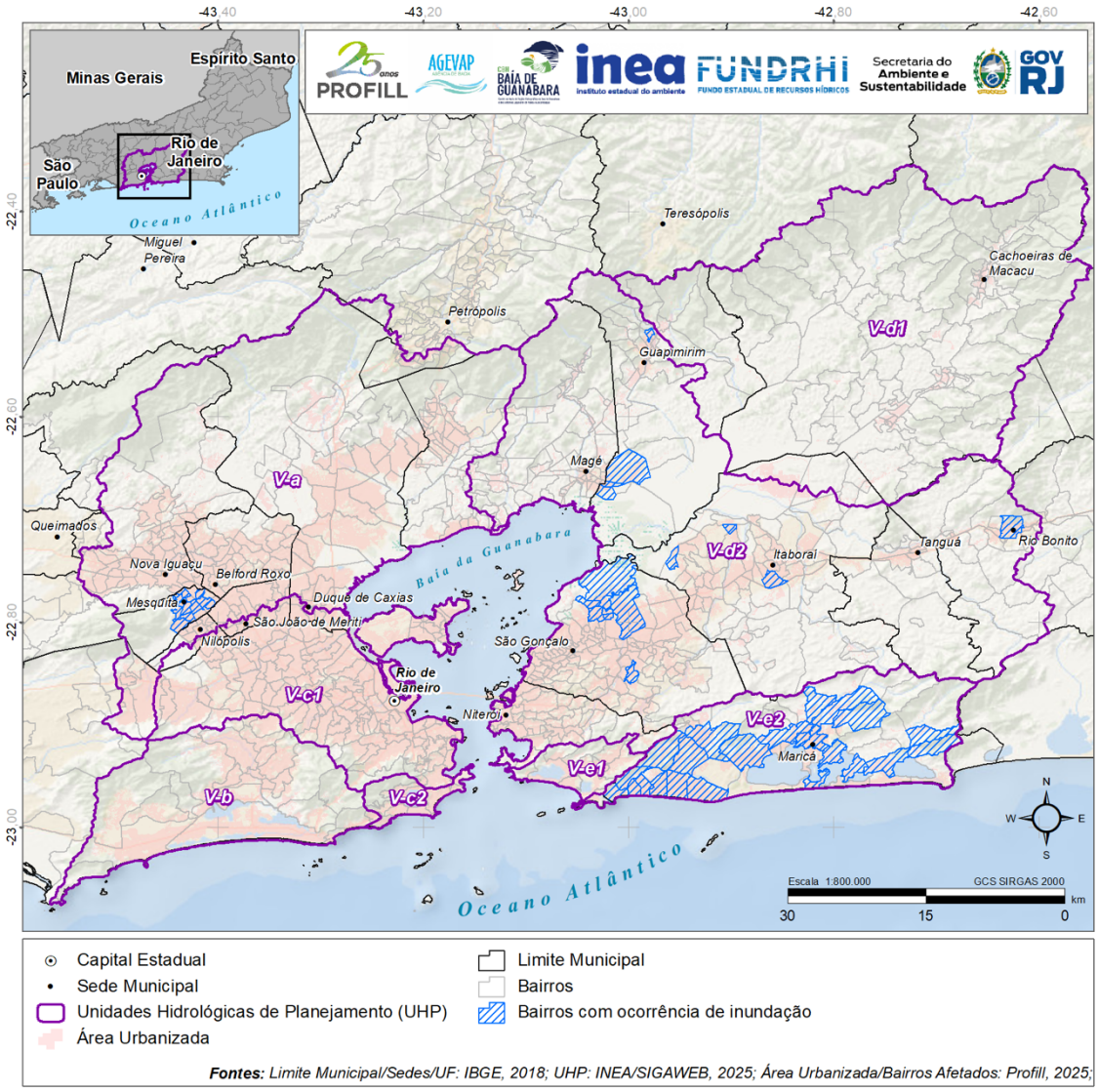
registros ocorreram em bairros como Palmeiras, Luiz Caçador e Itaúna. Em Guapimirim, as áreas afetadas incluem Vale das Pedrinhas, Centro, Várzea Alegre e Vila Olímpia. E, por fim, em Itaboraí, as inundações foram identificadas nos bairros Ampliação, Visconde e Itambi.

Quadro 7-2 – Bairros com ocorrência de inundações, segundo os PLANCONs municipais.

Município	Maricá	Mesquita	Guapimirim	Itaboraí	Rio Bonito	São Gonçalo
Bairros	Mumbuca	Banco De Areia	Várzea Alegre	Itambi	Centro	Luiz Caçador
	Centro	Juscelino	Centro	Visconde		Fazenda Dos Mineiros
	Praia De Itaipuaçu	Jacutinga	Vila Olímpia	Ampliação		Salgueiro
	Itapema	Rocha Sobrinho	Vale Das Pedrinhas			Itaúna
	São José Do Imbassaí	Vila Emil				Palmeiras
	Jacaroá	Santa Terezinha				Jockey
	Barra De Maricá	Chatuba				Jardim Catarina
	Caxito	Centro				
	Ubatiba	Edson Passos				
	Jardim Atlântico Oeste	Alto Uruguai				
	Recanto De Itaipuaçu	Coréia				
	Condado De Maricá					
	Balneário Bambuí					
	Jardim Interlagos					
	Jardim Atlântico Central					
	Vale Da Figueira					
	Jardim Atlântico Leste					
	Inoã					
	Bananal					
	Chácaras De Inoã					
	Morada Das Águia					
	Barroco					

Município	Maricá	Mesquita	Guapimirim	Itaboraí	Rio Bo-nito	São Gonçalo
	Itaocaia Val-ley					

Fonte: Elaboração própria.



Mapa 7-2 - Bairros com ocorrências de inundações na RH-V, segundo os PLANCONs municipais.
Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos alagamentos, o Quadro 7-3 apresenta os bairros que registraram ocorrências associadas nos municípios do Rio de Janeiro e de Guapimirim e o Mapa 7-3 ilustra espacialmente essa distribuição, destacando as áreas mais afetadas por eventos de alagamentos. No município do Rio de Janeiro, observa-se uma ampla concentração de registros distribuídos por diferentes regiões da cidade. Na Zona

Norte, destacam-se bairros como Manguinhos, Higienópolis, Rocha, Praça da Bandeira, Vila Kosmos, Penha, Bonsucesso, Jacaré e Vigário Geral. Na Zona Oeste, as ocorrências são mais frequentes em Bangu, Realengo, Padre Miguel, Senador Camará, Jacarepaguá e Vargem Pequena, enquanto na Zona Sul aparecem registros na Rocinha, Vidigal, Flamengo, Glória e Leblon. Em Guapimirim, as ocorrências de alagamentos concentram-se em áreas de vale, abrangendo bairros como Vila Olímpia, Vale das Pedrinhas e Várzea Alegre.

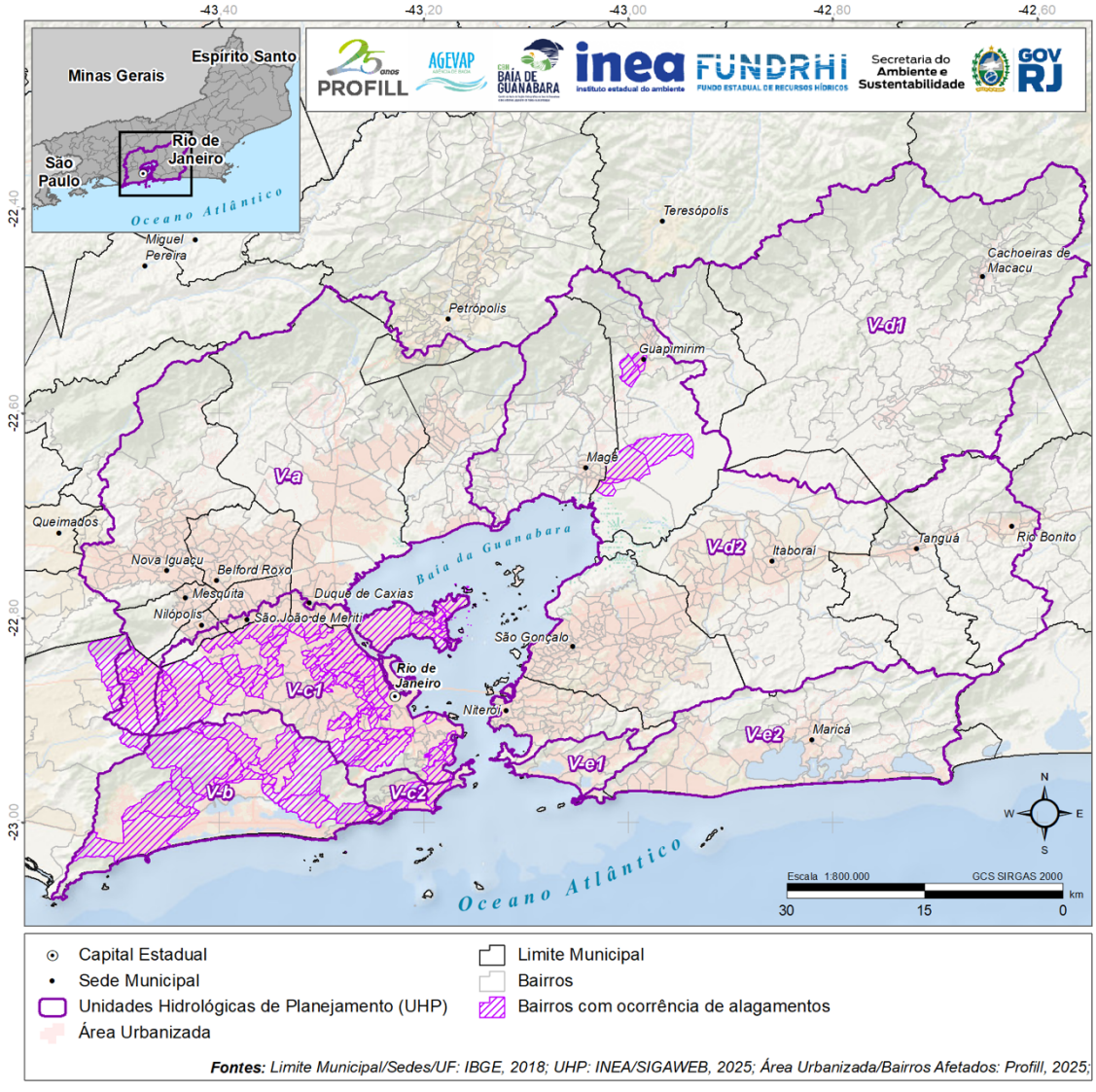
Quadro 7-3 - Bairros com ocorrência de alagamentos, segundo os PLANCONs municipais.

Município	Rio de Janeiro	Guapimirim
Bairros	Manguinhos	Várzea Alegre
	Higienópolis	Vila Olímpia
	Bangu	Vale Das Pedrinhas
	Vila Kosmos	Jardim Guapimirim
	Rocha Miranda	Parque Nossa Senhora Da Ajuda
	Coelho Neto	Parque Santa Eugênia
	Pitangueiras	Parada Modelo
	Parque Colúmbia	
	Rocinha	
	Praça da Bandeira	
	Rocha	
	Gardênia Azul	
	Vila da Penha	
	Catete	
	Andaraí	
	Acari	
	Tijuca	
	Jacarepaguá	
	Vila Militar	
	Bonsucesso	
	Penha	
	Engenho da Rainha	
	Realengo	
	Gamboa	
	Recreio dos Bandeirantes	
	Vila Isabel	
	Galeão	
	Ramos	
	Jardim Guanabara	
	Flamengo	

Município	Rio de Janeiro	Guapimirim
	Jacarezinho	
	Vidigal	
	Cacuia	
	Zumbi	
	Portuguesa	
	Bancários	
	Vigário Geral	
	Cocotá	
	Freguesia (Ilha)	
	Gericinó	
	Anchieta	
	Vargem Pequena	
	Jardim América	
	Marechal Hermes	
	Padre Miguel	
	Penha Circular	
	Jacaré	
	Complexo do Alemão	
	Praia da Bandeira	
	Curicica	
	Leblon	
	Deodoro	
	Senador Camará	
	Glória	
	Ribeira	
	Grajaú	
	Taquara	
	Olaria	
	Laranjeiras	
	Maracanã	
	Benfica	
	Itanhangá	
	Pavuna	
	Bento Ribeiro	
	Méier	
	Camorim	
	Maré	
	Copacabana	
	Jardim Carioca	
	Engenho Novo	
	Lagoa	
	Vila Kennedy	

Município	Rio de Janeiro	Guapimirim
	Botafogo	
	Tauá	
	Freguesia (Jacarepaguá)	
	Parada de Lucas	
	São Conrado	
	Moneró	
	Brás de Pina	

Fonte: Elaboração própria.



Mapa 7-3 - Bairros com ocorrências de alagamentos na RH-V, segundo os PLANCONs municipais.
Fonte: Elaboração própria.

Com relação a desastres relativos a movimentos de massas, o Quadro 7-4 relaciona os bairros que registraram ocorrências nos municípios de Mesquita, Rio

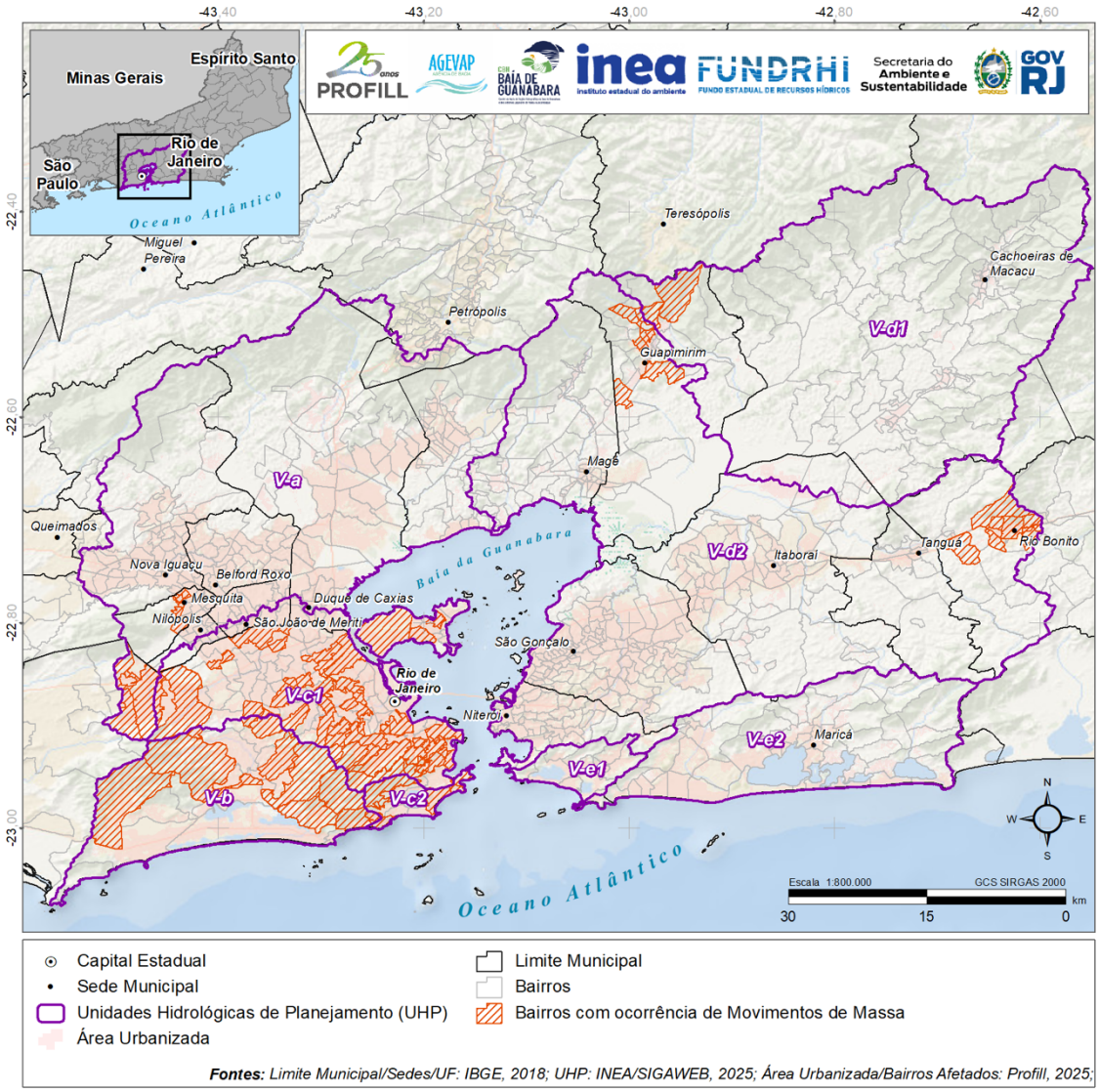
Bonito, Rio de Janeiro e Guapimirim, enquanto o Mapa 7-4 ilustra espacialmente essa distribuição, destacando os pontos onde foram observados eventos da temática. Em Mesquita, os registros concentram-se nos bairros Chatuba, Santa Terezinha, Coréia, Juscelino e Alto Uruguai. Em Rio Bonito, as ocorrências foram observadas em bairros como, por exemplo, Bela Vista, Boqueirão, Centro e Praça Cruzeiro. No município do Rio de Janeiro, há uma ampla distribuição de ocorrências em bairros como Higienópolis, Bangu, Mangueira e em Guapimirim, os registros incluem os bairros Limoeiro, Paiol e Caneca Fina, por exemplo.

Quadro 7-4 - Bairros com ocorrência de movimentos de massa, segundo os PLANCONs municipais.

Município	Rio de Janeiro	Mesquita	Guapimirim	Rio Bonito
Bairros	Higienópolis	Juscelino	Limoeiro	Praça Cruzeiro
	Bangu	Santa Terezinha	Barreiras	Rio Do Ouro
	Mangueira	Chatuba	Cantagalo	Serra Do Sambaê
	Ricardo de Albuquerque	Alto Uruguai	Centro	Cidade Nova
	Rocinha	Coréia	Paiol	Mangueira
	Catumbi		Parada Ideal	Centro
	Catete		Granja Cadetes Fabres	Boqueirão
	Andaraí		Caneca Fina	Parque Indiano
	Acari			Green Valle
	Del Castilho			Bela Vista
	Tijuca			Rio Vermelho
	Vaz Lobo			
	Jacarepaguá			
	Penha			
	Engenho da Rainha			
	Realengo			
	Vila Isabel			
	Pilares			
	Galeão			
	Jardim Guanabara			
	Flamengo			
	Madureira			
	Jacarezinho			
	Vidigal			
	Estácio			
	Alto da Boa Vista			
	Vicente de Carvalho			
	Lins de Vasconcelos			

Município	Rio de Janeiro	Mesquita	Guapimirim	Rio Bonito
	Cosme Velho			
	Sampaio			
	Vila Valqueire			
	Rio Comprido			
	São Cristóvão			
	Leme			
	Penha Circular			
	Praça Seca			
	Complexo do Alemão			
	Senador Camará			
	Engenho de Dentro			
	Quintino Bocaiúva			
	Grajaú			
	Urca			
	Laranjeiras			
	Itanhangá			
	Pavuna			
	Méier			
	Vargem Grande			
	Copacabana			
	Engenho Novo			
	Centro			
	Tauá			
	Freguesia (Jacarepaguá)			
	Santa Teresa			
	São Conrado			
	Brás de Pina			

Fonte: Elaboração própria.



Mapa 7-4 - Bairros com ocorrências de movimentos de massa na RH-V, segundo os PLANCONs municipais.
Fonte: Elaboração própria.

Por fim, destaca-se que além das ocorrências de inundações, alagamentos e movimentos de massa, também foram registrados episódios de estiagem em áreas rurais da RH-V, na região do município de Mesquita, evidenciando a diversidade dos eventos adversos que afetam o território. No referido município, as ocorrências de estiagem foram identificadas nas áreas rurais dos bairros Chatuba, Santa Terezinha e Alto Uruguai.

8 ANÁLISE DE VULNERABILIDADES E RISCOS INTEGRADOS

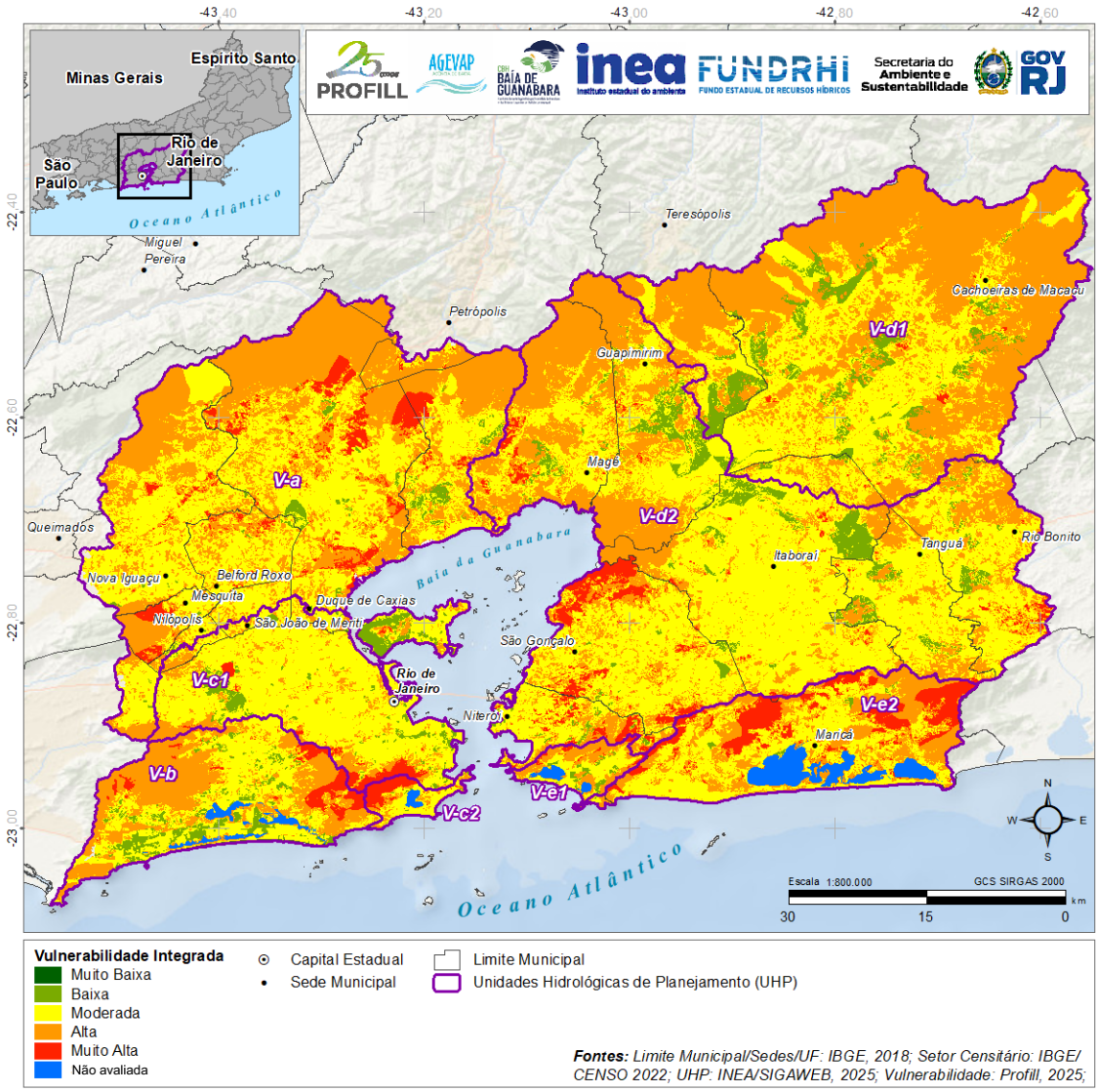
Para a construção do Índice de Vulnerabilidade Integrada, foram atribuídos pesos específicos a cada uma das três dimensões consideradas (social, econômica e ambiental), conforme sua relevância no contexto analisado. Esses pesos foram definidos a partir das preferências manifestadas pelos representantes dos seis subcomitês que compõem a RH-V, coletadas por meio de formulários estruturados segundo a metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ao longo da realização das oficinais de apresentação deste Produto 2.

A aplicação da metodologia AHP permitiu realizar comparações paritárias entre as três dimensões, levando os participantes a indicar, em cada par, qual componente julgavam mais importante e em que grau de importância. A partir dessas comparações, foi possível obter uma matriz e, posteriormente, calcular os vetores próprios normalizados que resultaram nos pesos finais atribuídos a cada dimensão. Esse procedimento garante coerência interna nas avaliações, além de refletir de forma transparente a percepção coletiva dos subcomitês quanto à contribuição relativa de cada tipo de vulnerabilidade para o contexto da RH-V.

Com base nas respostas obtidas, os pesos considerados para composição do Índice de Vulnerabilidade Integrada foram:

- Vulnerabilidade Social: 42,9%;
- Vulnerabilidade Ambiental: 34,1%;
- vulnerabilidade Econômica: 22,9%.

Salienta-se que a definição desses pesos permite uma representação integrada das contribuições relativas de cada componente para análise de uma vulnerabilidade total, gerando-se o resultado apresentado no Mapa 8-1.



Mapa 8-1 – Índice de Vulnerabilidade Integrada na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

Este mapa, o qual representa a vulnerabilidade total da RH-V, foi então cruzada com os mapas de perigo das seis tipologias de eventos críticos que fazem parte do escopo deste trabalho. Tal cruzamento permitiu a obtenção de Índices de Riscos Integrados para cada um dos eventos, procurando sintetizar em um só mapa a periculosidade dos eventos e a fragilidade das áreas afetadas.

Ainda, cabe destacar que para a análise de Riscos Integrados, diferentemente das análises individuais de riscos para os três eixos, estes não foram considerados nas lagoas da RH-V, visto que os eixos apresentam diferenças significativas

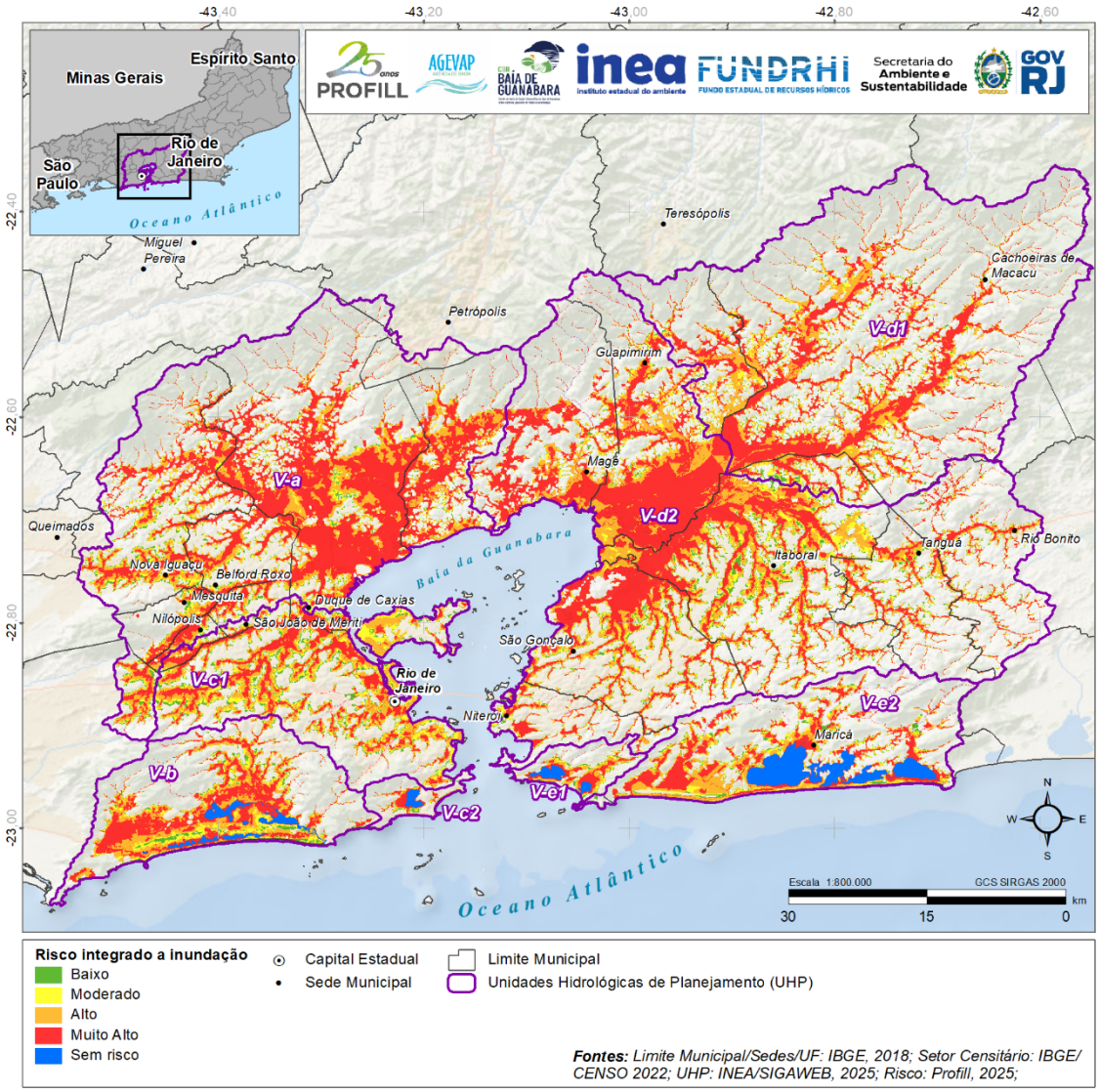
entre si para estes sistemas, de acordo com cada tipologia de evento crítico. Assim, nos resultados apresentados a seguir, a definição de ˆSem Riscoˆ para as lagoas não é definido por classe 0 de risco, e sim, pela não aplicação deste tipo de risco integrado para tais sistemas.

8.1 CHEIAS E INUNDAÇÕES

O risco integrado às cheias e inundações na RH-V (Mapa 8-2) evidencia contrastes entre as UHPs da RH-V e, ao mesmo tempo, destaca o risco associado às áreas de planície. De modo geral, verifica-se que os setores mais próximos do entorno da Baía de Guanabara e das planícies fluviais centrais concentram as maiores ocorrências de risco integrado para a temática. Nesses trechos, a presença de terrenos rebaixados, alta densidade populacional e intensa ocupação urbana se sobrepõem a ambientes naturalmente suscetíveis à ocorrência destes eventos críticos, resultando em áreas onde o risco final se intensifica, como pode ser observado, principalmente, na região central das UHPs V-a, V-b e V-c1.

Por outro lado, regiões de maior relevância ecológica distribuídas nas UHPs V-e1 (Parque Estadual da Serra da Tiririca) e V-e2 (Refúgio da Vida Silvestre das Serras de Maricá), bem como na região da Estação Ecológica de Guanabara (na UHP V-d2), também se destacam como áreas classificadas com elevado risco integrado. Apesar de apresentarem menor adensamento populacional, essas unidades apresentam elevada vulnerabilidade ambiental, que, multiplicada ao alto perigo associado às inundações frequentes, resulta em riscos elevados.

Nas porções mais elevadas das UHPs V-d1 e V-d2, observa-se por outro lado um comportamento distinto, caracterizado pela concentração do risco principalmente ao longo das calhas de drenagem de cabeceira. Embora menos extensas que as áreas de risco associadas a planícies, essas regiões retratam áreas de ˆaltoˆ perigo previamente mapeado.



Mapa 8-2 - Mapa de risco integrado à inundação na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

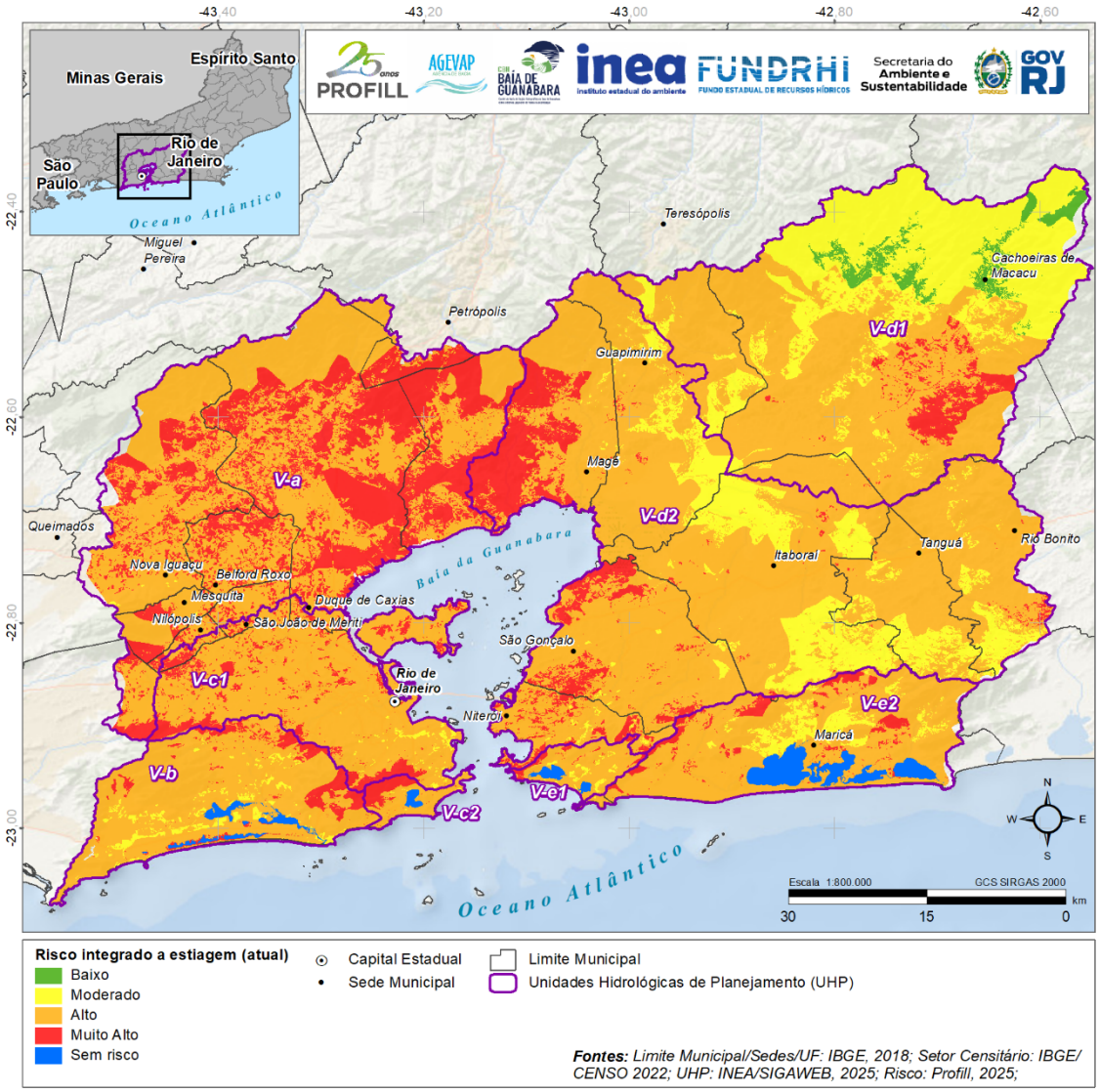
8.2 ESTIAGENS PROLONGADAS

A seguir, são apresentados os riscos integrados nos cenários atual e futuro para a temática de estiagens prolongadas.

8.2.1 *Risco Integrado no Cenário Atual*

Com base no mapeamento da periculosidade referente às estiagens prolongadas considerando-se o cenário atual, bem como a vulnerabilidade integrada, foi também elaborado o risco integrado para a temática. De maneira geral, no Mapa 8-3,

observa-se que as áreas à oeste da RH-V concentram níveis mais elevados de riscos (como as UHPs V-a, V-b, V-c1 e V-c2), refletindo a sinergia entre a ˆaltaˆ vulnerabilidade econômica e os perigos relevantes observados nessa região. De modo antagônico, observa-se que a região leste da RH-V (principalmente as UHPs V-d1 e V-d2) com menores riscos integrados quanto às estiagens no cenário atual.



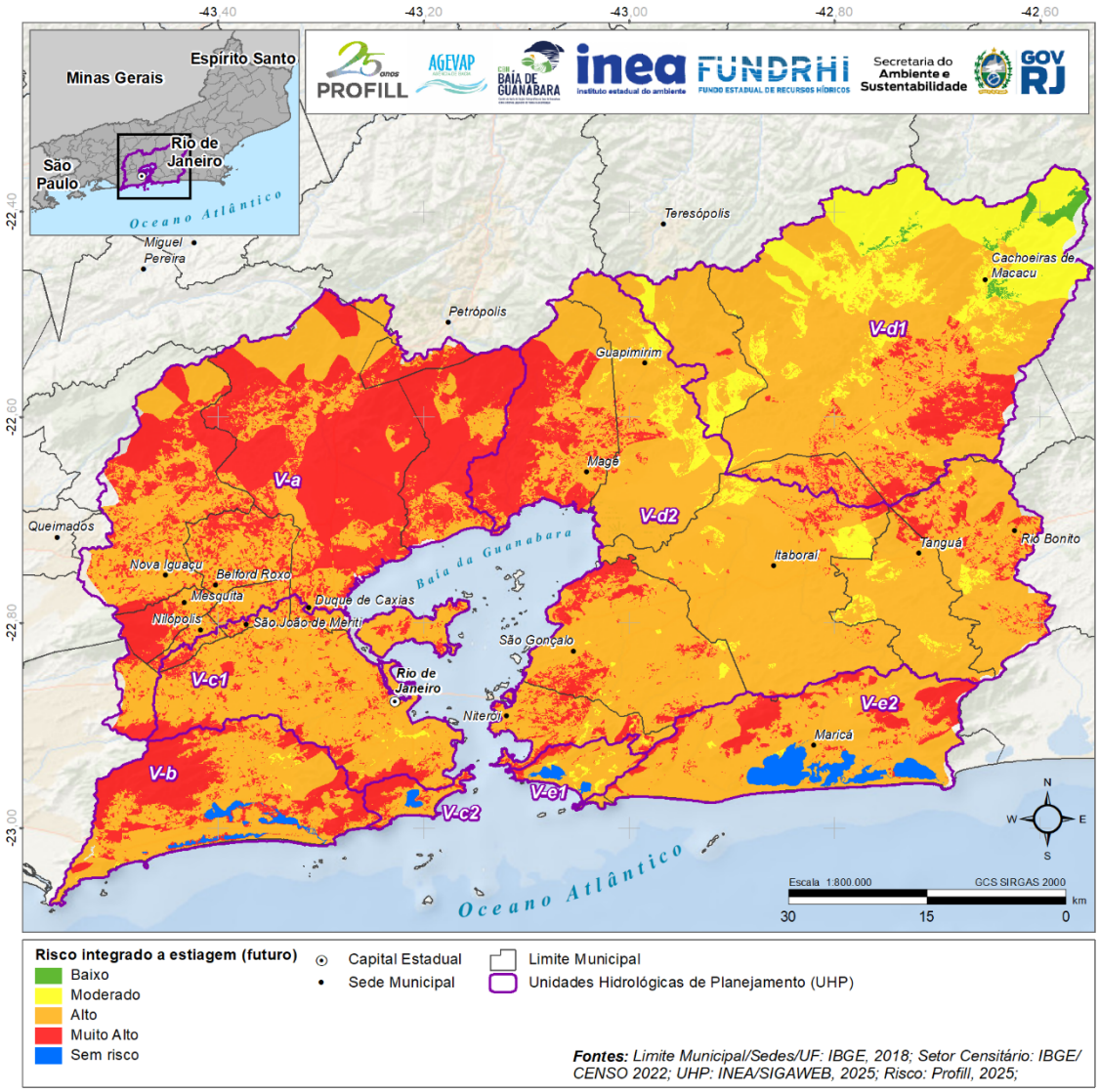
Mapa 8-3 - Mapa de risco integrado às estiagens prolongadas no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

8.2.2 *Risco Integrado no Cenário Futuro*

No cenário futuro (Mapa 8-4), observa-se uma manutenção dos riscos mapeados para o cenário atual em algumas regiões e ampliação da magnitude dos

riscos em outras. Nesse contexto, possuindo áreas com níveis mais elevados de risco de estiagem nas UHPs V-a, V-b e V-c1, mas também notando-se o incremento nas UHPs V-e2 e V-d2. Nessas áreas, a combinação entre o aumento da periculosidade à temático no futuro, atrelada à manutenção da vulnerabilidade integrada, resulta no incremento do risco para estiagens prolongadas. Esse resultado pode indicar um aumento relevante da sensibilidade dos sistemas sociais e ambientais no futuro, quando comparadas ao panorama atual.

Ainda, se destaca a UHP V-d1, que mesmo no cenário futuro continua apresentando risco relativamente menor quando comparado às demais áreas da RH-V, devido à baixa periculosidade calculada para essa região. Ainda assim, são perceptíveis pequenos incrementos nas classes de risco quando comparados ao cenário atual, embora em intensidade bem inferior à observada nas porções mais vulneráveis.



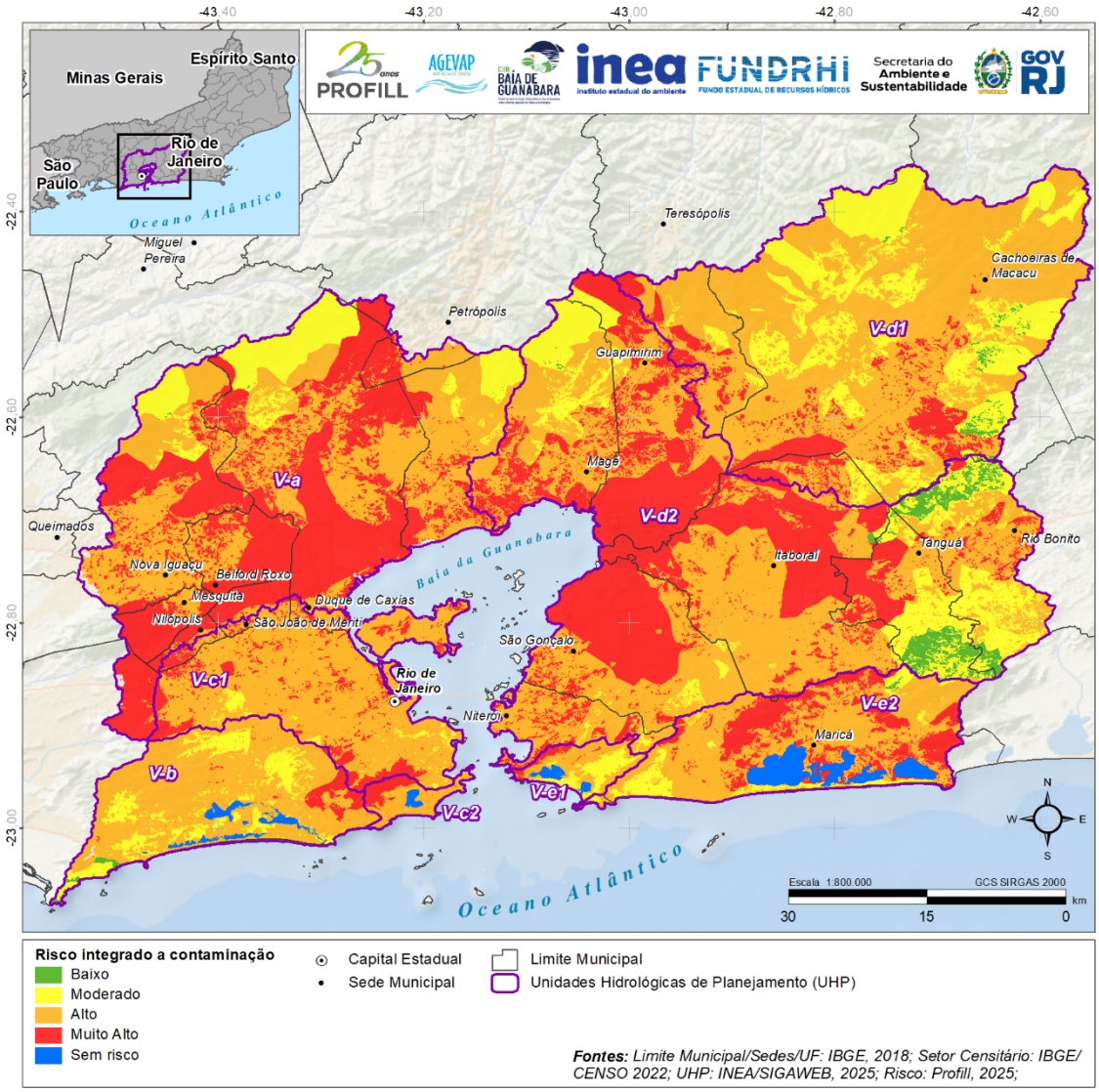
Mapa 8-4 - Mapa de risco integrado às estiagens prolongadas no cenário futuro na RH-V.V.
Fonte: Elaboração própria.

8.3 CONTAMINAÇÃO POR POLUENTES

No mapa de risco integrado à contaminação por poluentes (Mapa 8-5) observa-se que as UHPs com maior concentração urbana, combinadas com maior vulnerabilidade econômica, apresentam amplas manchas com classes elevadas de risco, reflexo direto da combinação entre densidade populacional, presença de atividades industriais potencialmente poluidoras e proximidade de corpos hídricos que funcionam como vetores de dispersão desses contaminantes. Nas UHPs localizadas nas

porções mais baixas, como V-b, V-c1 e V-e1, o risco integrado aparece de forma minorada, enquanto em UHPs como a V-a, V-d2 e V-e2 o risco integrado atinge maiores proporções devido à combinação entre as vulnerabilidades econômicas, ambientais e sociais.

Já nas regiões mais elevadas, com pouca influência antrópica, como a porção norte da UHP V-a, da V-d1 e partes mais altas da V-d2, observam-se riscos integrados menores. Em outras áreas, como a parte oeste da V-a, entretanto, embora haja menor carga poluidora direta, as vulnerabilidades ambiental e econômica fazem com que determinadas áreas acabem tendo elevado risco integrado.



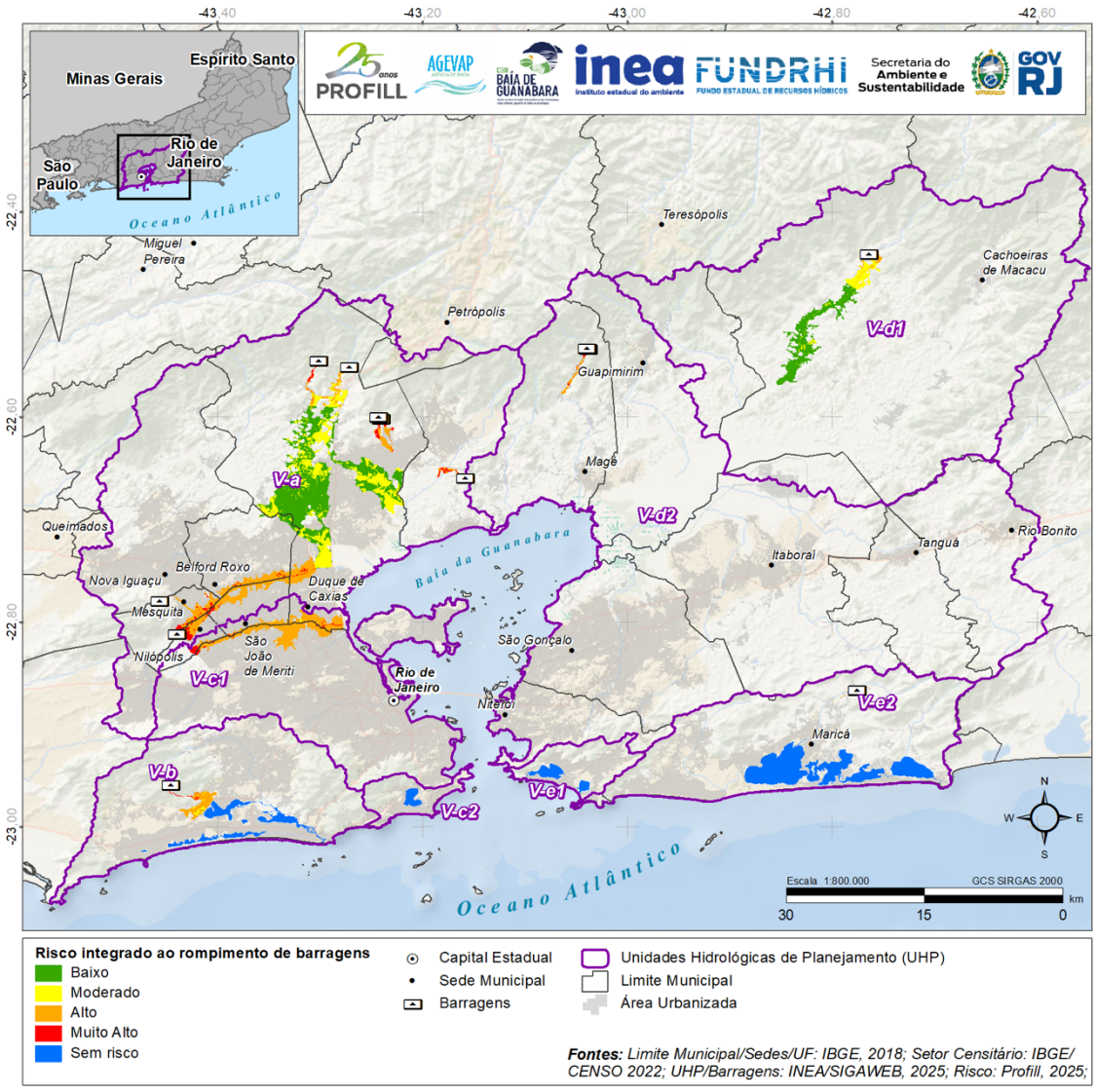
Mapa 8-5 - Mapa de risco integrado à contaminação na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

8.4 ROMPIMENTO DE BARRAGENS

No Mapa 8-6, o qual apresenta as manchas de risco integrado considerando a temática de rompimento de barragens, incluindo todas estudadas ao longo deste trabalho, observa-se que a UHP V-a destaca-se pelo agrupamento de manchas de inundação por ruptura de barragens de diferentes intensidades. Neste sentido, é possível observar que, embora áreas urbanas sejam atingidas, barragens mais ao norte apresentam manchas com maior extensão de ˆbaixoˆ risco, enquanto mais ao sul, como nas UHPs V-b, V-c1 e ao sul da V-a observam-se manchas classificadas

com risco mais elevado. Esse resultado é diretamente associado à existência, nestes locais, de grande adensamento populacional (e consequentes maiores vulnerabilidades sociais) e grande vulnerabilidade econômica.

Também se destaca a UHP V-d1, que apresenta uma mancha de inundação por ruptura de barragens expressiva, que se estende por áreas não muito habitadas e com ˆbaixaˆ vulnerabilidade ambiental e econômica, resultando em uma classificação de risco menor comparada a outras áreas.



Mapa 8-6 - Mapa de risco integrado a rompimento de barragens na RH-V.
Fonte: Elaboração própria

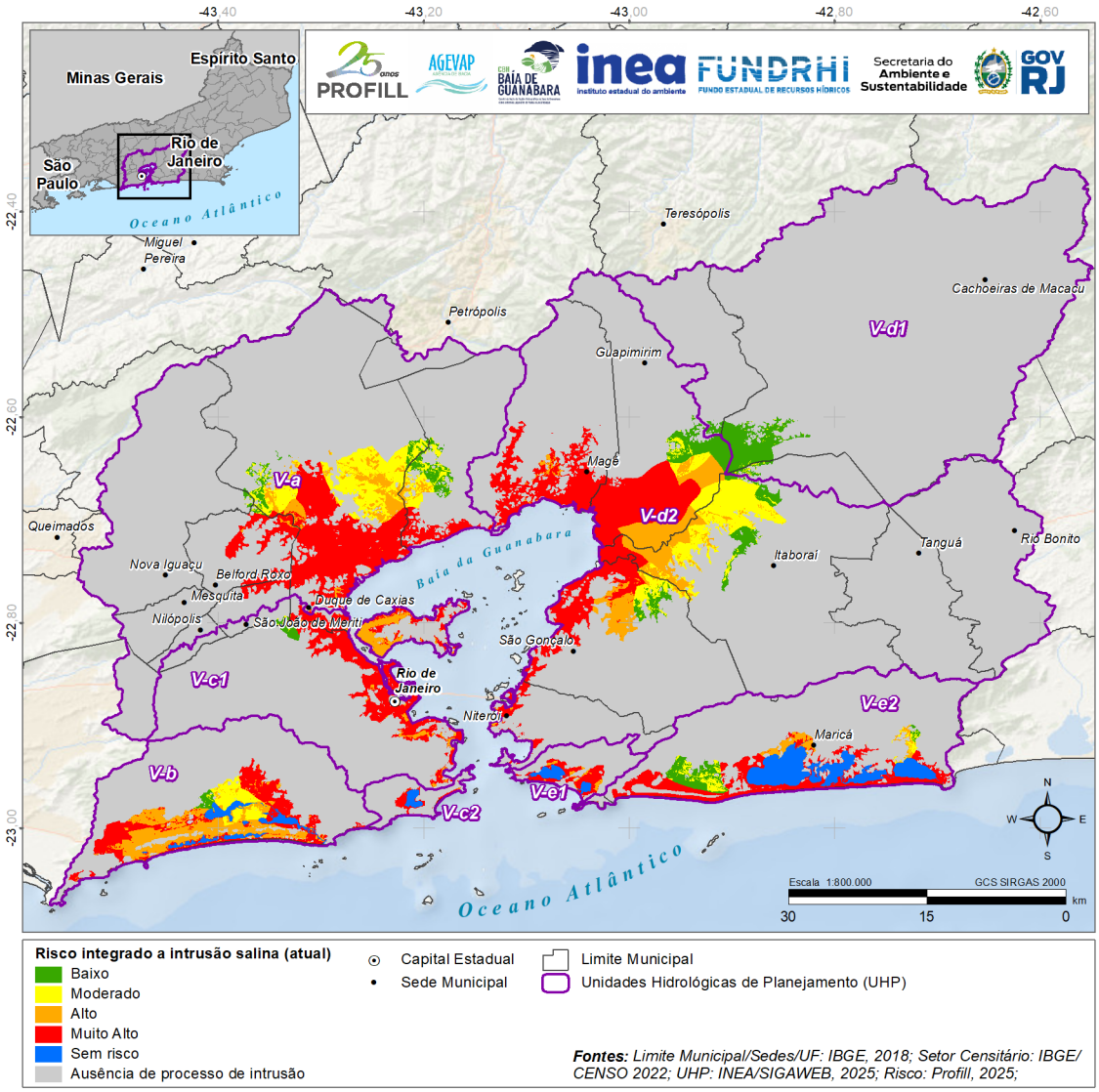
8.5 INTRUSÃO SALINA

A seguir, são apresentados os riscos integrados nos cenários atual e futuro para a temática de intrusão salina.

8.5.1 *Risco Integrado no Cenário Atual*

No contexto dos eventos relacionados à intrusão salina para o cenário atual, a análise do Mapa 8-7 revela que as áreas mais críticas se concentram nas faixas litorâneas e nas planícies fluviais, onde há existência de periculosidade para tais processos, seja ela classificada como ˆbaixaˆ ou ˆaltaˆ. Neste sentido as UHPs V-c1, V-c2 e V-e1 se destacam por estarem em regiões com riscos majoritariamente ˆmuito altosˆ, resultado da combinação das vulnerabilidades existentes para estas áreas, integradas com a periculosidade.

Outras UHPs, como por exemplo a V-a, V-b, V-d1, V-d2 e V-e2, nas porções mais continentais, apresentam uma redução progressiva dos níveis de risco, acompanhando o aumento do relevo e a diminuição da influência direta dos processos hidrológicos e costeiros, como é observado.



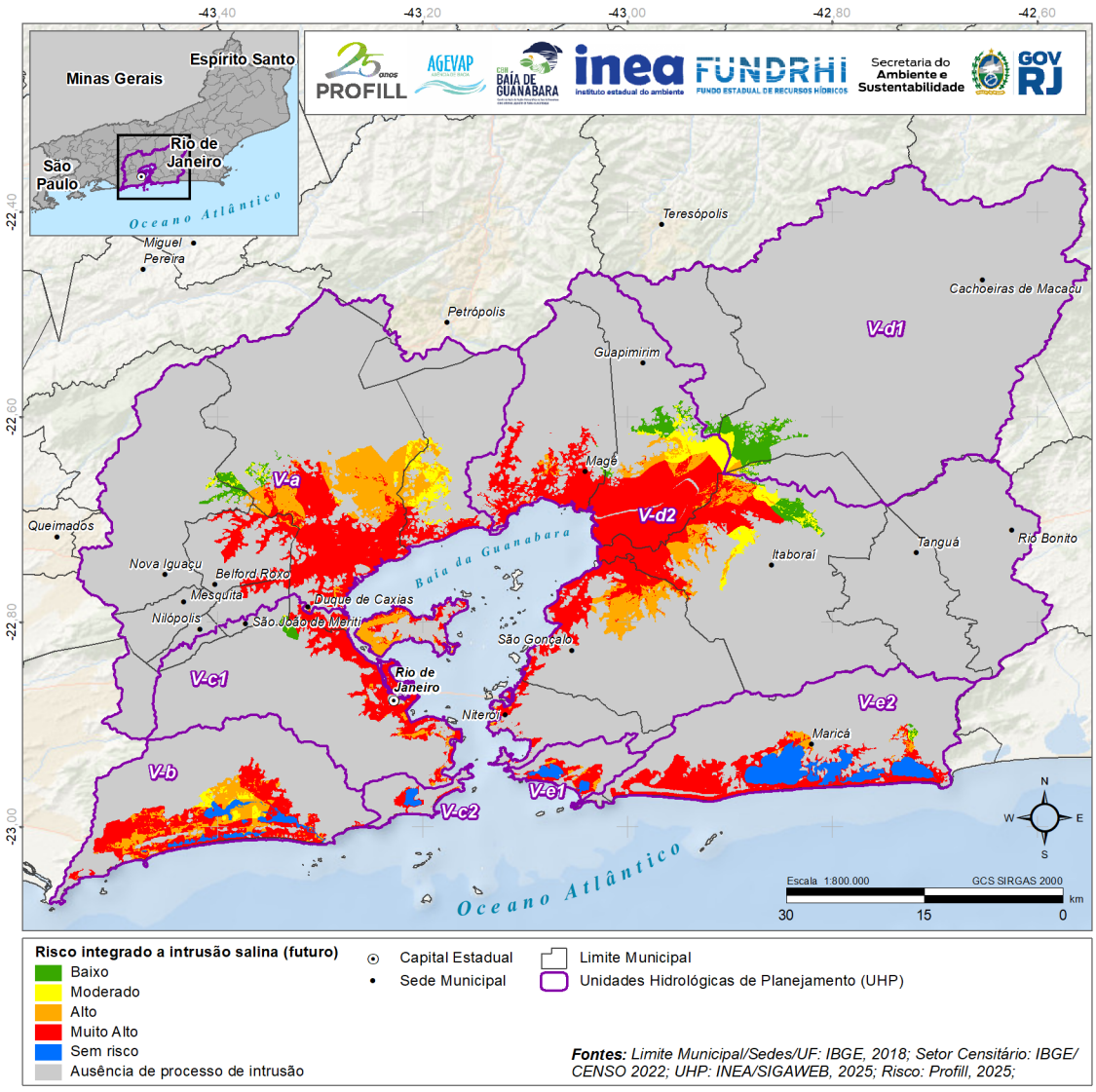
Mapa 8-7 - Mapa de risco integrado à intrusão salina no cenário atual na RH-V.
Fonte: Elaboração própria

8.5.1 *Risco Integrado no Cenário Futuro*

Já para o cenário futuro referente a processos de intrusão salina, (Mapa 8-8), observa-se uma ampliação significativa das áreas classificadas com maior nível de risco integrado ao longo de toda a faixa costeira. Em comparação ao cenário atual, as zonas críticas tornam-se mais contínuas, sobretudo nos trechos que circundam a Baía de Guanabara. Regiões que anteriormente apresentavam trechos pequenos de risco ou riscos pouco elevados, passam a exibir manchas de riscos mais elevadas,

como pode-se observar nas UHPs V-b e v-d2, indicando aumento tanto da exposição, quanto da vulnerabilidade.

Outro exemplo, observado na UHP V-a, está associado ao avanço notável das áreas de risco ˆaltoˆ em direção ao interior dos municípios, alcançando zonas que, no cenário atual, apresentavam apenas riscos mais baixos. Em contrapartida, setores serranos e áreas de maior altitude, como na UHP V-d1 mantêm-se relativamente estáveis, com pouca alteração na distribuição espacial dos riscos.

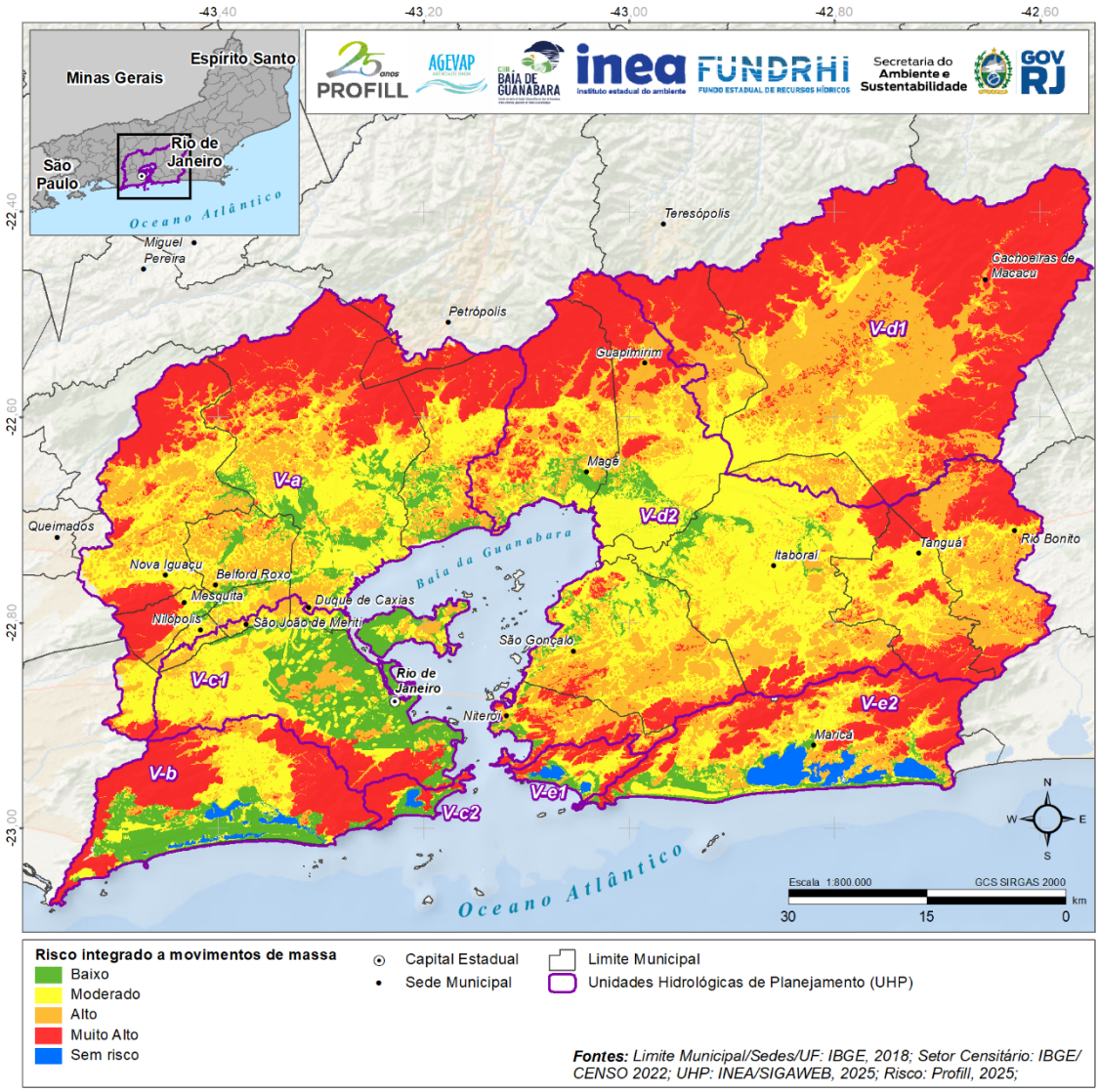


Mapa 8-8 - Mapa de risco integrado à intrusão salina no cenário futuro na RH-V.
Fonte: Elaboração própria

8.6 MOVIMENTOS DE MASSA

O Mapa 8-9, o qual apresenta o risco integrado à temática de movimentos de massa, revela que as UHPs instaladas nos setores serranos, como boa parte da V-d1, e a região norte da V-a, aparecem como áreas onde o risco integrado se manifesta de maneira mais intensa e contínua, devido principalmente aos perigos previamente mapeados. Já em porções localizadas em áreas intermediárias (entre serra e a área oceânica), como parte central da UHP V-a, V-c1 e V-d2, o risco assume um padrão mais heterogêneo. A alternância entre trechos instáveis e zonas de estabilidade relativa, possivelmente reflete a interação entre setores urbanizados, cortes em encostas e faixas de vegetação remanescente, e áreas protegidas. Embora menos contínuas que nas porções serranas, essas áreas apresentam núcleos de risco significativo, especialmente onde ocupações residenciais se aproximam de encostas.

De modo similar, as UHPs situadas nas planícies e faixas litorâneas, como V-b, V-c2, V-e1, V-e2, exibem um quadro onde as áreas baixas apresentam, em geral, risco reduzido, já que as condições geomorfológicas tendem a ser menos propícias ao desencadeamento de deslizamentos. Ainda assim, observa-se a partir do risco integrado que áreas de alta declividade associadas a áreas de alta vulnerabilidade social ou ambiental ganham destaque com riscos ˆaltosˆ ou ˆmoderadosˆ.



Mapa 8-9 - Mapa de risco integrado a movimentos de massa na RH-V.
Fonte: Elaboração própria.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Produto 2 apresentou a Análise dos Eventos Críticos e Probabilidade de Ocorrência destes na RH-V, desenvolvido com o objetivo de subsidiar tecnicamente a elaboração do PGR da referida região. O estudo estruturou-se a partir da integração entre as análises de vulnerabilidade e de periculosidade, resultando na constituição da matriz de risco, instrumento que permitiu identificar e espacializar os riscos sociais, econômicos e ambientais associados à ocorrência de diferentes tipos de eventos críticos.

As análises realizadas demonstraram que os riscos se manifestam de forma heterogênea na RH-V, variando conforme as características territoriais, socioeconômicas e ambientais de cada localidade, e de acordo com o tipo de evento avaliado. De modo geral, observou-se maior concentração de riscos sociais em áreas densamente povoadas (central e norte), riscos econômicos mais expressivos em regiões com elevada atividade industrial, comercial e de serviços (sul, central e noroeste), e riscos ambientais mais relevantes nas porções central e costeira da RH-V, especialmente em áreas com remanescentes naturais e zonas de influência direta da Baía de Guanabara.

Os seis eventos críticos considerados — cheias e inundações, estiagens prolongadas, contaminação por poluentes, rompimentos de barragens, intrusão salina e movimentos de massa — apresentaram padrões e escalas distintas de análise, refletindo a diversidade de processos e de dinâmicas que compõem o território da RH-V. Essa abordagem permitiu uma visão integrada dos riscos, considerando tanto os eventos de abrangência regional, quanto aqueles de natureza mais localizada.

Por fim, o presente produto oferece subsídios técnicos fundamentais para o aprimoramento da gestão integrada dos riscos na RH-V, servindo de base para o desenvolvimento do Produto 3 previsto neste contrato. Além disso, este produto também pode ser visto como um documento que apoia o planejamento de ações preventivas, mitigadoras e de contingência, fortalecendo a resiliência socioambiental e institucional frente à ocorrência de eventos críticos na região.

10 ANEXOS

Tabela 10-1 – Resultados da 40ª campanha de qualidade da água para a rede de monitoramento do contrato do CBH-BH.

Ponto	Campanha	Condutividade	Salinidade	Temp.ar	Temp. água	OD	DBO	Ph	Turbidez	Fósforo Total	Nitrato	NT	STD	Coliformes Termotolerantes
J1	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J1a	40	52	0,02	21,0	19,74	3,9	5	8,25	1,9	0,04	0,93	1,3	26	>160.000
J2	40	54,0	0,03	23,0	19,7	4,8	4,0	7,7	0,8	< 0,01	0,4	0,9	27	>160.000
J3	40	85,0	0,04	23,0	20,0	4,1	6,0	7,4	3,1	0,07	0,8	1,0	42,5	>160.000
J4	40	178,0	0,08	23,0	20,3	2,9	11,0	7,2	8,6	0,26	0,8	2,5	89,0	>160.000
J5	40	60,0	0,03	21,0	20,5	2,8	9,0	8,4	5,9	0,28	1,0	3,0	212,5	>160.000
J6	40	12.950,0	7,51	23,0	21,4	5,1	5,0	7,8	3,1	0,29	0,7	2,1	27.860,0	>160.000
J7	40	729,0	0,36	23,0	22,1	2,7	27,0	7,3	29,6	1,62	0,3	19,4	364,5	>160.000
J8	40	997,0	0,49	23,0	22,2	2,0	6,0	7,6	53,7	1,57	0,6	6,5	498,5	28.000,0
J9	40	1.127,0	0,56	22,0	21,3	4,8	17,0	7,4	14,0	1,28	0,4	14,2	563,5	>160.000
J10	40	290,0	0,44	21,0	21,9	1,6	6,0	7,3	15,8	1,32	0,2	9,3	145,0	>160.000
J11	40	596,0	0,29	23,0	22,0	1,2	5,0	7,0	3,2	1,51	0,4	21,7	298,0	>160.000
J12	40	59,0	0,03	23,0	18,9	5,0	5,0	6,1	1,7	0,04	1,4	1,5	29,5	>160.000
M1	40	88	0,04	24,0	22,95	3,82	9	7,05	3	0,01	<0,05	0,1	44	23
M2	40	167	0,08	24,0	22,33	3,06	6	7,21	10,7	0,07	0,22	0,5	83,5	160000
M3	40	26.490,0	13,2	24,0	25,9	4,8	6,0	7,3	5,9	0,1	0,2	1,1	18.543,0	>160.000
M4	40	190,0	0,1	24,0	22,8	3,9	5,0	7,7	3,2	0,1	1,0	2,1	95,0	480,0
M5	40	708,0	0,4	24,0	22,5	2,9	7,0	7,9	3,3	0,8	1,2	10,2	354,0	>160.000
M6	40	17.690,0	18,4	24,0	24,8	4,0	5,0	7,4	8,2	1,9	0,4	20,1	8.183,0	160.000,0
M6a	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M7	40	29.730,0	18,4	24,0	23,6	3,1	5,0	7,9	7,1	0,5	0,6	1,6	20.811,0	>160.000
M8	40	13.980,0	9,4	24,0	24,0	4,9	9,0	7,8	7,7	0,8	0,8	13,4	9.786,0	160.000,0

Ponto	Campanha	Condutividade	Salinidade	Temp.ar	Temp. água	OD	DBO	Ph	Turbidez	Fósforo Total	Nitrato	NT	STD	Coliformes Termotolerantes
M9	40	590,0	0,4	24,0	22,4	1,5	9,0	7,6	14,4	3,3	0,4	39,4	295,0	>160.000
M10	40	631,0	0,4	24,0	21,2	2,7	18,0	7,0	14,6	3,7	0,1	26,4	315,5	>160.000
O1	40	159	0,08	25,0	21,5	5,95	6	6,84	1,4	< 0,01	1,12	3,4	79,5	22.000
O1a	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O2	40	214	0,11	25,0	21,4	2,95	9	6,64	1,2	0,23	1,17	2,8	107	14.000
O3	40	409	0,22	26,0	21,9	1,2	6	7,34	4,9	0,3	1,04	3	204,5	1.300
O4	40	110	0,06	25,0	20,6	6,09	10	7,4	0,3	< 0,01	0,79	1,6	55	1.400
O5	40	254	0,13	25,0	21,5	1,7	10	7,45	2	0,29	0,11	6,8	127	35.000
O6	40	271	0,14	25,0	21,5	3,59	6	7,12	3,2	0,26	1,91	5,9	135,5	790
O7	40	133	0,07	25,0	20,5	6,17	10	6,59	0,4	< 0,01	1,74	3,7	66,5	24.000
O8	40	146	0,08	25,0	21,3	6,2	9	7,24	1,8	< 0,01	1,56	9,1	73	1.300
O9	40	724	0,39	25,0	20,2	5,2	10	6,96	4,2	0,15	2,69	29,4	362	4.900
O10	40	503	0,27	25,0	20,9	2,15	19	7,84	3,6	0,4	1,08	18,1	251,5	16.000
O11	40	607	0,33	25,0	22	1,37	28	7,82	6,6	1,54	0,81	20,9	303,5	>160.000
O12	40	525	0,28	26,0	22,5	2,18	86	7,35	4,6	1,66	N.D	17,6	262,5	>160.000
O13	40	566	0,3	25,0	23,09	1,42	79	6,97	4,4	1,76	0,46	10,5	283	>160.000
O14	40	572	0,31	24,0	22,5	1,2	91	7,54	5,4	1,08	1,05	20,4	286	>160.000
O15	40	510	0,27	25,0	23,2	2,32	97	7,37	5,2	1,79	0,59	22,8	255	>160.000
O16	40	506	0,27	25,0	22,7	2,24	76	7,21	1,8	1,4	1,01	21,2	253	>160.000
O17	40	528	0,28	25,0	22,4	2,31	69	7,39	4,2	1,43	0,5	20,3	264	>160.000
O18	40	628	0,34	25,0	23,07	1,67	87	8,02	8,5	2,18	0,06	30,3	314	>160.000
O19	40	480	0,25	25,0	23	2,94	64	7,32	4	1,29	0,53	17,5	240	>160.000
O20	40	468	0,24	25,0	27,13	1,74	88	6,99	2,5	1,42	0,91	17,8	234	>160.000
O21	40	535	0,28	25,0	23,5	1,4	70	7,18	3,3	1,71	0,92	18,7	267,5	>160.000
O21a	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ponto	Campanha	Condutividade	Salinidade	Temp.ar	Temp. água	OD	DBO	Ph	Turbidez	Fósforo Total	Nitrato	NT	STD	Coliformes Termotolerantes
O22	40	395	0,21	26,0	21,5	5,4	9	6,56	0,7	0,36	N.D	8,2	197,5	160.000
O23	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O23a	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O23b	40	387	0,19	26,0	23,7	3,15	14	7,12	0,5	0,49	0,45	1,3	193,5	16.000
R1	40	43	0,02	24,0	19,46	4,83	7	6,95	2,5	< 0,01	0,65	1,5	21,5	79
R2	40	162	0,08	24,0	19,49	4,91	10	6,87	4,2	< 0,01	1,43	2,4	81	1600
R3	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R3a	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R3b	40	648	0,32	24,0	22,47	2,15	9	6,78	3,9	0,32	8,47	9,1	324	>160.000
R4	40	324	0,15	24,0	20,49	3,87	12	6,7	3	< 0,01	1,47	2,3	12	<1,8
R5	40	234	0,12	24,0	20,58	3,97	10	6,62	5	< 0,01	3,72	7,1	117	1600
R6	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R6a	40	1587	0,8	24,0	23,67	3,21	10	6,98	12,2	1,72	0,06	23	793,5	>160.000
R7	40	145	0,07	24,0	20,12	4,12	10	5,8	7,1	< 0,01	1,32	2,2	72,5	>160.000
R8	40	280	0,13	24,0	20,29	4,01	9	5,91	0,8	< 0,01	1,82	2	140	>160.000
R9	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R9a	40	571	0,28	24,0	22,63	4,02	9	7,18	7,7	0,38	0,76	4,9	285,5	11000
R10	40	306	0,15	24,0	20,78	4,37	12	6,68	3,8	< 0,01	3,83	11,4	153	1600
R11	40	211	0,1	24,0	22,01	2,7	10	6,03	4,5	< 0,01	1,88	2	105,5	17.000
R12	40	324	0,15	24,0	22,47	3,1	9	6,38	2,1	0,24	0,78	3,9	162	6.300
R13	40	1282	0,64	24,0	23,43	4,31	12	7,18	9,7	1,76	0,71	21,9	641	7.000
R14	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1	40	53.750,0	35,4	30,0	28,9	7,6	8,0	9,1	7,0	0,4	0,6	2,0	37.625,0	<1,8
C2	40	51.840,0	33,9	30,0	30,4	7,1	10,0	9,5	8,2	0,3	2,0	3,8	36.288,0	940,0
C3	40	53.020,0	34,9	30,0	27,7	7,9	7,0	9,4	9,9	0,3	1,2	1,4	37.114,0	94,0

Ponto	Campanha	Condutividade	Salinidade	Temp.ar	Temp. água	OD	DBO	Ph	Turbidez	Fósforo Total	Nitrato	NT	STD	Coliformes Termotolerantes
C4	40	52.250,0	34,3	30,0	29,4	7,6	11,0	9,6	16,3	0,3	1,9	2,1	36.575,0	<1,8
C5	40	53.700,0	35,5	30,0	27,7	7,5	8,0	9,1	10,7	0,5	1,1	4,2	37.590,0	>160.000
C6	40	51.620,0	33,8	30,0	28,5	7,0	7,0	9,0	11,7	0,8	1,3	27,3	36.134,0	>160.000
C7	40	50.780,0	33,2	30,0	29,8	6,1	9,0	8,9	21,3	0,6	1,2	2,8	32.830,0	<1,8
C8	40	50.370,0	33,0	30,0	29,1	3,2	11,0	9,3	10,0	0,3	3,1	7,2	35.259,0	<1,8
C9	40	46.300,0	32,3	30,0	29,0	4,4	11,0	8,1	7,1	0,3	1,2	2,1	33.250,0	79,0
C10	40	50.580,0	33,1	30,0	28,5	4,1	5,0	9,1	5,5	0,2	0,6	2,0	33.740,0	<1,8
C11	40	50.190,0	32,9	30,0	28,2	3,6	9,0	8,1	8,0	0,2	1,8	2,0	35.133,0	<1,8
C12	40	46.400,0	32,4	30,0	29,4	4,0	6,0	8,1	4,5	0,2	1,2	1,5	33.810,0	>160.000
L1	40	65	0,03	24,0	18,5	7,2	6	7,24	0,2	< 0,01	0,22	0,3	32,5	49
L2	40	95	0,05	24,0	20,01	6,98	7	7,5	0,5	< 0,01	0,33	0,6	47,5	540
L3	40	124	0,06	24,0	20,8	7,17	7	8,04	1,2	0,07	0,44	1,2	62	920
L4	40	117	0,06	24,0	22,2	6,94	7	7,3	1,9	< 0,01	0,43	0,6	58,5	79
L5	40	142	0,07	25,0	21,87	5,96	6	6,55	2,7	< 0,01	0,8	1,2	71	54.000
L6	40	150	0,08	24,0	21,1	5,02	6	7,64	6,4	< 0,01	0,1	0,5	75	1.600
L7	40	176	0,09	24,0	22,6	3,84	7	7,6	5,8	0,09	0,86	1,2	88	280
L8	40	216	0,11	24,0	21,9	2,91	16	7,4	2,4	0,36	0,16	5	108	>160.000
L9	40	132	0,07	24,0	21,4	5,4	9	7,24	12,7	0,03	<0,05	0,2	66	>160.000
L10	40	163	0,08	24,0	21,3	6,27	6	6,59	4,1	0,05	0,62	0,8	81,5	>160.000
L11	40	159	0,08	24,0	21,7	6,1	9	6,81	4,1	0,03	0,51	0,8	79,5	>160.000
L12	40	172	0,09	24,0	22,4	5,4	17	6,83	8	0,04	0,95	1,5	86	>160.000
L13	40	113	0,06	24,0	20,8	6,76	5	7,1	3	< 0,01	0,52	0,7	56,5	1200
L14	40	118	0,06	23,0	21,3	5,94	6	6,99	2,3	0,03	0,38	3,6	59	>160.000
L15	40	105	0,05	22,0	19,5	6,99	6	7,1	0,4	< 0,01	0,15	0,2	52,5	>160.000
L16	40	110	0,06	22,0	20,7	6,9	6	7,32	0,8	0,01	0,51	1	55	>160.000

Ponto	Campanha	Condutividade	Salinidade	Temp.ar	Temp. água	OD	DBO	Ph	Turbidez	Fósforo Total	Nitrato	NT	STD	Coliformes Termotolerantes
L17	40	112	0,06	22,0	21,4	6,42	6	7,2	1	0,02	0,38	1	56	>160.000
L18	40	123	0,06	22,0	21,7	6,74	5	7,08	2,3	< 0,01	0,12	0,3	61,5	220
L19	40	114	0,06	22,0	22,1	5,66	9	7,01	2	0,02	0,37	0,6	57	>160.000
L20	40	220	0,11	24,0	23,6	6,5	16	7,02	2,2	0,03	0,47	0,9	110	9.200
L21	40	556	0,3	24,0	21,3	2,1	11	7,59	2,6	0,33	0,11	1,1	278	79
L22	40	1327	0,73	24,0	22,5	0,83	26	7,8	7,7	3,72	<0,05	34,6	663,5	130
L23	40	408	0,22	25,0	23,03	3,05	15	8,39	3,6	0,46	2	6,1	204	1.600

Fonte: Elaboração própria.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL. Acidente com caminhões derrama óleo no Rio Suruí. Agência Brasil, 2024.

AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). Termo de referência: contratação de empresa especializada para a elaboração do Plano de Gerenciamento de Risco da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Rio de Janeiro/RJ, 30 de setembro de 2024.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS – EPA. Technical fact sheet – Toluene. Washington, D.C., 2020. Disponível em: https://www.epa.gov/. Acesso em: 23 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas de vulnerabilidade a inundações [recurso eletrônico]. Brasília: ANA, 2014. 15 p. ISBN 978-85-8210-025-7. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/60545.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Indicadores de qualidade – índice de qualidade das águas (IQA), 2024

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Plano Nacional de Segurança Hídrica – PNSH. Brasília: ANA, 2019. 112 p. ISBN 978-85-8210-059-2. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Encarte especial sobre a crise hídrica. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/crisehidrica2014.pdf. Acesso em jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Monitor de secas: agosto de 2022. Disponível em: https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=8&ano=2022. Acesso jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Monitor de secas: junho de 2021. Disponível em: https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=6&ano=2021. Acesso jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Monitor de secas: março de 2025. Disponível em: https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=3&ano=2025. Acesso em jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Séries históricas de estações. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: jul. 2025.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano de Gerenciamento de Risco (PGR) para Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Produto 4 – Dimensionamento dos Impactos e Definição de Áreas de Ocorrência. São Paulo. 2021. Disponível em: https://sigaceivap.org.br/publicacoesArquivos/ceivap/arq_pubMidia_Processo_472-2019_P04.pdf. Consulta realizada em 01 de agosto de 2025.

Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L. and Forzieri, G., 2015, 'Global warming increases the frequency of river floods in Europe', Hydrology and Earth System Sciences 19(5), 2247–2260 (DOI: 10.5194/hess-19-2247-2015).

ALMEIDA , M. C. J., NAKAZAWA , A., TATIZANA , C. 1993. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, Poços de Caldas, 1993. Anais, 2: 129 – 133.

ALMEIDA, Vinicius Marques Lima et al. GESTÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS LÍQUIDOS: CASO TOLUENO IMUNANA-LARANJAL 2024. Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693, v. 17, 2025.

ALTINO, L. Janeiro de 2021 é um dos mais secos do século: entenda dos motivos da falta de chuva. O Globo, Rio de Janeiro, 28 jan. 2021. Disponível em:

https://oglobo.globo.com/rio/janeiro-de-2021-um-dos-mais-secos-do-seculo-entenda-os-motivos-da-falta-de-chuva-24859624. Acesso em jul. 2025.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; PAULO CESAR SENTELHAS, P. C.; GONÇAL-VES, J. L. M.; GERD SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorolo-gische Zeitschrift, V. 22, N. 6, p. 711–728, published online January 2014.

AMADOR, E. Bacia da Baía de Guanabara: características geoambientais, formação e ecossistemas. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. 405 p.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021. Brasília: ANA, 2021

Andrade, V. S. D. (2018). Análise de hidrodinâmica ambiental e de qualidade de água na Baía de Guanabara via modelagem computacional. Dissertação de Mestrado. UFRJ, COPPE. RJ. 2018

ARIAS, P. A. et al. Technical Summary. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC, 2021.

ARQUIVO NACIONAL (Brasil). Abastecimento de água no Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.gov.br/arquivonacional/pt-br/sites_eventos/sites-tematicos-1/brasil-oitocentista/documentos/abastecimento-de-agua-no-rio-de-janeiro. Acesso em jul. 2025.

Ashok K. Mishra a,*, Vijay P. Singh A review of drought concepts Journal of Hydrology 391 (2010) 202–216 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFI-CA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP 2025). SIGA Guanabara – Sistema de Informações de Gestão da Água da Baía de Guanabara. Disponível em: https://sigaaguas.org.br/home/sigaguanabara/ Acesso em: 30 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFI-CA DO RIO PARAÍBA DO SUL - AGEVAP (2020a). Elaboração do Plano de Gerenciamento de

Risco (PGR) para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: Consórcio Nippon Koei-lac e Regea. Disponível em: https://www.ceivap.org.br/pgr.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFI-CA DO RIO PARAÍBA DO SUL - AGEVAP (2020b). Atualização e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (PRH BG). Rio de Janeiro: Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH BG) e RHA Engenharia e Consultoria. Relatórios aprovados disponíveis em: http://www.comitebaíadeguanabara.org.br/projetos-do-comite/

Barfield, B.J., Warner, R.C. e Haan, C. T. Applied hydrology and sedimentology for disturbed areas. Oklahoma Technical Press. 104-108 p. 1981.

Bates, Paul D.; Horritt, Matthew S.; Fewtrell, Timothy J. A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. Journal of Hydrology, [s. l.], v. 387, p. 33–45, 2010.

BERTOLINO, A. V. F. A. et al. As repercussões pluviais e os movimentos de massa na porção leste da Baía de Guanabara: estudo de caso de São Gonçalo-RJ. SILVA, CA; FIALHO, ES (Org.). Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica, p. 233-256, 2012.

Bhola, Punit Kumar et al. Flood inundation forecasts using validation data generated with the assistance of computer vision. Journal of Hydroinformatics, v. 21, p. 1–17, 2018.

Birkholz, Sharon et al. Rethinking the relationship between flood risk perception and flood management. Science of the total environment, v. 478, p. 12-20, 2014.

Bissacot, T. C. C., & Oliveira, S. M. A. C. (2016). Instrumento para o gerenciamento de riscos ambientais. Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 227-232.

BRASIL, C. I. Rio, São Paulo e Minas fecham acordo de gestão do rio Paraíba do Sul. Agência Brasil, Rio de Janeiro, 20 mar. 2015. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-03/acordo-entre-rio-sao-paulo-e-minas-gerais-define-operacao-no-paraiba-do-sul. Acesso em jul. 2025.

BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL-SEPDEC. Sistema integrado de informações sobre desastres -S2ID. 2025. Disponível em: http://s2id.mi.gov.br/. Acesso em: 12 abr. 2025

BRASIL. Agência Brasil. Relatório pode gerar novas multas por vazamento de óleo depois de acidente de trem no Rio. Rio de Janeiro, 28 abr. 2005. Disponível em: . Acesso em: 11 jul. 2025.

BRASIL. Instituto de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022: Agregado por setores censitários preliminares: População e domicílio. Resultados do Universo. IBGE, Rio de Janeiro. 2025

BRASIL. Instituto de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022: Notas metodológicas 02/2025 – Rendimento do responsável pelo domicílio. Resultados do Universo. IBGE, Rio de Janeiro. 2025

BRASIL. Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil -PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil-SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil -CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos12.340, de 1ode dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2012

BRASIL. Lei n° 14.066, de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de

Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Diário Oficial da União, Basília, DF, 2020.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano CXLVII, n. 181, p. 1, 21 set. 2010.

BRASIL. Lei nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023. Altera as Leis nºs 12.608, de 10 de abril de 2012, e 12.340, de 1º de dezembro de 2010, para aprimorar os instrumentos de prevenção de acidentes ou desastres e de recuperação de áreas por eles atingidas, as ações de monitoramento de riscos de acidentes ou desastres e a produção de alertas antecipados. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 dez. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. CARVALHO, Celso S., MACEDO, Eduardo. S. de,OGURA, Agostinho T. (Orgs.). Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007. 176 p. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/185>.

BRASIL. Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovação. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Mapa Interativo Alerta-Secas. Disponível em: https://mapasecas.cemaden.gov.br/. Acesso em: 23 de abril de 2025

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações. Nota Técnica Explicativa. Brasília, DF. 2014.

BRASIL. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Pesquisa e Estudo sobre Desastres. Laboratório de Tecnologias Sociais em Gestão de Riscos de

Desastres. Metodologia de avaliação de vulnerabilidade para mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações: proposta piloto em Santa Cataria. Florianópolis: CEPED UFSC, 2014.

BRÊDA, J. P. L. F. et al. Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. Climatic Change, v. 159, n. 4, p. 503–522, 1 abr. 2020a.

CALVELLO, M., D'ORSI, R. N., PICIULLO, L., PAES, N., MAGALHAES, M., LACERDA, W. A. (2015) The Rio de Janeiro early warning system for rainfall induced landslides: Analysis of performance for the years 2010-2013, International Journal of Disaster Risk Reduction

CAMPOS, Jander Duarte et al. INTRUSÃO SALINA, DISPONIBILIDADE HÍDRICA E CONCESSÃO DE OUTORGAS: COMO INTER-RELACIONÁ-LAS NA BACIA DO RIO GUANDU?. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.

CANES, M. Estados assinam acordo para a gestão da bacia do Paraíba do Sul. Agência Brasil, Brasília, 10 dez. 2015. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-12/estados-assinam-acordo-para-gestao-da-bacia-do-paraiba-do-sul. Acesso em jul. 2025.

CAVALCANTI, J. E. O caso Guandu e a incúria das autoridades. Disponível em: https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2020/02/27/o-caso-guandu-e-a-incuria-das-autoridades/. Acesso em jul. 2025.

CEDAE (Rio de Janeiro). A empresa: história. Disponível em: https://www.cedae.com.br/ahistoria. Acesso em jul. 2025.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (Brasil). Boletim de Monitoramento de secas e impactos no Brasil: agosto de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-agosto-2022-1/Boletim_BRASIL_082022.pdf. Acesso em jul. 2025.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NA-TU-RAIS (Brasil). Boletim de Monitoramento de secas e impactos no Brasil: fevereiro de 2025. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-fevereiro-2025#:~:text=O%20%C3%8Dndice%20Integrado%20de%20Seca,saltou%20de%20220%20para%20523. Acesso em jul. 2025.

Cerri, L.E. da S. & Amaral, C.,1998, Riscos Geológicos, In: Oliveira, A.M dos S., Brito, S.N. (organizadores), Geologia de Engenharia, São Paulo, ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), p. 301-310

CETESB, 2017. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Indice de qualidade da água, 2017. Disponível em: Acesso em: 03 Jun. 2025.

CETESB, 2021. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Publicação e Relatórios – Águas Interiores. Apêndice C - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 28 jun. 2025.

CHAGAS, V. B. P.; CHAFFE, P. L. B.; BLÖSCHL, G. Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. Nature Communications, v. 13, n. 1, 1 dez. 2022.

CHAVES, Fabiana Leão. Uso de modelos de aprendizado de máquina para previsão de movimentos de massa na Cidade do Rio de Janeiro. 2024. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Christofoletti, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

Collins M., M. Sutherland, L. Bouwer, S.-M. Cheong, T. Frölicher, H. Jacot Des Combes, M. Koll Roxy, I. Losada, K. McInnes, B. Ratter, E. Rivera-Arriaga, R.D. Susanto, D. Swingedouw, and L. Tibig, 2019: Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

[H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 589–655. https://doi.org/10.1017/9781009157964.008.

Collischonn, W., & Dornelles, F. (2013). Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).

Collischonn, Walter et al. The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling. Hydrological Sciences Journal, v. 52, n. 5, p. 878-895, 2007.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA. Instrumentos de Gestão. Rio de Janeiro: CBH-BG, [s.d.]. Disponível em: https://comitebaíadeguanabara.org.br/instrumentos-de-gestao/.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA. Nota de esclarecimento: contaminação por combustível no Rio Suruí. CBH Baía de Guanabara, 4 out. 2024. Disponível em: . Acesso em: 23 jun. 2025.

COMITÊ DE BACIA DA BAÍA DE GUANABARA. Segurança hídrica ameaçada. Disponível em: https://www.comitebaiadeguanabara.org.br/boletim/emcurso/01/materia1.php. Aces-so em jul. 2025.

CONAMA. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 de março de 2005.

CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA. Live discute o abastecimento de água na crise hídrica. Disponível em: https://cfq.org.br/noticia/live-discute-o-abastecimento-de-agua-na-crise-hidrica/. Acesso em jul. 2025.

Correa, W. L. F. F. et al. Diagnóstico da precipitação e EVI em dois eventos de seca no nordeste do Brasil. Revista do Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. V.35, 2236-2878, 2018.

CORREIO BRAZILIENSE. Força-tarefa investiga poluição do rio Guapiaçu por tolueno. Brasília: Correio Braziliense, 2024. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2024/04/6833896-forca-tarefa-investiga-poluicao-do-rio-guapiacu-por-tolueno.html. Acesso em: 23 jun. 2025.

COSTA, L. F.; FARIAS JÚNIOR, J. E. F.; CORRÊA, J. S.; FORMIGA-JOHNSSON, R. M. Análise da precipitação da seca 2014-2016 no estado do Rio de Janeiro. XXII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 26 nov 2017 a 01 dez. 2017. Disponível em: https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2609. Acesso em jul. 2025.

Cristofoli, Felipe; Tschiedel, Arthur. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Bento Gonçalves, RS. IV Encontro Nacional de Desastres. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2024. Curitiba, PR.

Cristofoli, Felipe. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Bento Gonçalves. 2021. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geologia) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo, 2021.

DAMASCENO, Micael Batista et al. Caracterização hidroquímica de águas superficiais dos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do rio Doce, Nordeste do Brasil. Pesquisas em Geociências, v. 48, n. 1, p. e102566-e102566, 2021.

DANTAS, Flávia Bonolo. Investigando os riscos de contaminação de vias hídricas pela indústria do petróleo. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2015

DANTAS, M. E., LACERDA, A., SANTANA, M. S., SIMÃO, G. D. C. F., & MAIA, M. A. M. (2024). Cartas de padrão de relevo multiescala: volume 7-versão 2.

DEFESA CIVIL DE DUQUE DE CAXIAS REALIZA SIMULADO DE ROMPIMENTO DE BARRAGEM EM XERÉM. Prefeitura Municipal de Duque de Caxias, 5 fev. 2024. Disponível em: https://duquedecaxias.rj.gov.br/noticia/defesa-civil-de-duque-de-caxias-realiza-simulado-de-rompimento-de-barragem-em-xerem/5409

DUQUE DE CAXIAS. Plano Municipal de Saneamento Básico de Duque de Caxias – RJ. Duque de Caxias: Prefeitura Municipal de Duque de Caxias, 2017. Elaboração técnica: Equipe Serpen; Equipe Coba. Supervisão e Apoio técnico: Fundação COPPETEC UFRJ.

Earth Engine Data Catalog. USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1.

ECOLOGUS-AGRAR. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro: Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, out. 2005. Disponível em: https://comitebaíadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Plano-Diretor-de-Recursos-Hidricos-da-Baía-de-Guanabara-outubro-2005.pdf.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Agroindústria Tropical. Análise da Vulnerabilidade Ambiental. Fortaleza. 2010

ESTADÃO. INEA identifica vestígios de tolueno em outros rios da bacia Guapiaçu-Macacu. O Estado de S. Paulo, 2024. Disponível em: https://www.estadao.com.br/. Acesso em: 23 jun. 2025.

ESTEVES, F. A. Fundamentos da limmologia. 3. ed. Rio de Janeiro: FINEP: Interciência, 2011. 575 p.

EXAME. Transposição do Rio Paraíba do Sul pode ser julgada no Supremo. Disponível em: https://exame.com/tecnologia/transposicao-do-rio-paraiba-do-sul-pode-ser-julgada-no-supremo/. Acesso em jul. 2025.

FALA BRASIL. Estiagem destrói plantações na Região dos Lagos no Rio de Ja-neiro. Disponível em: https://youtu.be/0L5vz0vhhZ8?si=wZVVauQxpw74xLkB. Acesso em jul. 2025.

Fan, F. (2013). Simulação dos impactos de lançamentos de poluentes sobre a qualidade da água de bacias hidrográficas integrada com sistema de informação geográfica. Porto Alegre, 241 p., 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Fan, Fernando Mainardi et al. Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 137–147, 2014.

Fleck, L.; Tavares, M. H. F.; Eyng, E. (2013). “Principais modelos matemáticos de qualidade da água e suas aplicações: uma revisão.” Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, vol. 1, nº 7, p. 47–62.

Fleischmann, A. S., Tschiedel, A., Fan, F. M., & Collischonn, W. RESPOSTAS DE EMERGÊNCIA PARA ACIDENTES COM CARGAS PERIGOSAS EM CURSOS D’ÁGUA: ANÁLISE DE CENÁRIOS ATRAVÉS DO SOFTWARE SIAQUA-IPH. IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, RS. 2014

Fleischmann, Ayan et al. Modelling hydrologic and hydrodynamic processes in basins with large semi-arid wetlands. Journal of Hydrology, [s. l.], 2018.

Fleischmann, Ayan Santos. Processos hidrológicos e hidráulicos em grandes áreas inundáveis: assimetria de hidrogramas e simulação matemática. 2017 [dissertação]

FOLHA DE S.PAULO. Empresa é acusada de contaminar rio com mercúrio. 17 jan. 2000.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; BRITTO, A. L. Segurança hídrica, abastecimento metropolitano e mudanças climáticas: considerações sobre o caso do Rio de Janeiro. Revista Ambiente e Sociedade, São Paulo. v. 23, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/vhnpgf4ss5Bs6fVY5BmRGzF/?lang=pt&format=pdf. Acesso em jul. 2025.

G1 RIO. Rio Guapiaçu tem vazamento de tolueno e captação de água é suspensa por 40 horas. G1, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://g1.globo.com/. Acesso em: 23 jun. 2025.

G1. Caminhão com produto químico tomba e contamina o Rio Suruí, em Magé. G1 Rio , 2 out. 2024. Disponível em: . Acesso em: 23 jun. 2025.

G1. Descarrilamento de trem derrama óleo no Rio Caceribu. G1, 28 abr. 2005.

G1. Imagem aérea mostra mancha em rio que deságua no manancial de captação da Cedae no sistema Imunana-Laranjal. Rio de Janeiro, 4 abr. 2024. Disponível em: . Acesso em: 11 jul. 2025.

G1. Tragédia do Morro do Bumba em Niterói completa 15 anos e desabrigados ainda aguardam por moradias. Rio de Janeiro: G1, 7 abr. 2025. Disponível em: . Acesso em: set/2025

Goerl, R.F.; Kobiyama, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Anais... Porto Alegre, ABRH, 2005.

Gonçalves, S.T.N et al. Índices e metodologias de monitoramento de secas: Uma revisão. Revista Brasileira de Meteorologia. V.36, n.3, 495-511, 2021

GOUVEIA, A. G. de. Abastecimento de água e escassez hidrossocial no município de São Gonçalo, Rio de Janeiro. 2022. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Plano de Contingência Municipal para respostas aos desastres ocasionados pelas chuvas intensas: vigência 2020-2021. Rio de Janeiro, 2020. Plano de Contingência Municipal. Disponível em: https://www.defesacivil.rj.gov.br/images/PLANO-ESTADUAL-DE-PROTEO-E-DE-FESA-CIVIL---SEDEC.pdf Acesso em: 09 de abr. 2025.

GUAPIMIRIM. Plano Municipal de Saneamento Básico - Água e esgoto de Guapimirim – RJ. Guapimirim: Prefeitura Municipal de Guapimirim, 2012.

GUZZETTI, F.; GARIANO, S. L.; PERUCCACCI, S.; BRUNETTI, M. T.; MARCHESINI, I.; ROSSI, M.; MELILLO, M. (2020). Geographical landslide early warning systems. Earth-Science Reviews, v. 200. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102973

HIRABAYASHI, Y. et al. Global flood risk under climate change. Nature Climate Change, v. 3, p. 816–821, 2013.

IBAMA. Relatório de Impacto Ambiental do derramamento de óleo na Baía de Guanabara. Brasília: IBAMA, 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). IBGE_solos_250k: Mapa de Solos do Brasil do IBGE escala 1:250.000. [S.l.]: IBGE, [2021]. Disponível em: https://geoportal.sgb.gov.br/portal/home/item.html?id=18bf5a04b32d47189832933753a8b9f7. Acesso em: 29 ago. 2025.

INSTITO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Banco de dados. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1jOfCAhb8llozzsAOE-KW9NJYC_ivcgNx?usp=drive_link. Acesso em jul. 2025.

INSTITO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: R3-A - Temas Técnicos Estratégicos, RT-03 - Vulnerabilidade a Eventos Críticos, Volume 1. Elaboração: Fundação COPPETEC, Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

INSTITO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro - R3-A: Temas técnicos estratégicos - RT-03: Vulnerabilidade a Eventos Críticos. Disponível em: https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/Diagn%C3%B3stico-Vulnerabilidades-Vol.-II.pdf. Acesso em jul. 2025.

INSTITO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Nota Técnica DIGAT/INEA nº 01/2014. Disponível em: https://oglobo.globo.com/arquivos/nota-tecnica-25mar-2014.pdf. Acesso em jul.2025.

INSTITO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Relatório de Atendimento – Acidente Ferroviário Porto das Caixas. Rio de Janeiro: INEA, 2005.

INSTITO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Relatório de Emergência Ambiental – Acidente Rio Suruí. Rio de Janeiro: INEA, 2024.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Rio de Janeiro: INEA, 2018. 464 p. ISBN 978-85-63884-24-4. Disponível em https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/11/cartilha-mananciais.pdf. Acesso em 25 de março de 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Diagnóstico dos Acidentes Ambientais no Estado do Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Diagn%C3%B3stico-dos-Acidentes-Ambientais-no-Estado-do-Rio-de-Janeiro-1983-2016.pdf

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Fundação COPPETEC Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). Banco de dados meteorológicos. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). Normais Climatológicas do Brasil: 1991 a 2020. https://portal.inmet.gov.br/normais#. Acesso em jul. 2025.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). Parceria Rio-NASA. 2025. Disponível em: https://ipp.prefeitura.rio/category/parceria-rio-nasa/.

IPH/UFRGS – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: “Critérios Hidrológicos para Adaptação à Mudança Climática: Chuvas e Cheias Extremas na Região Sul do Brasil”. Porto Alegre/RS. 2024. Disponível em <

ITABORAÍ (RJ). Plano de Contingência de Enfrentamento em Desastres Naturais do Município de Itaboraí/RJ: 2022–2024. Itaboraí: Secretaria Municipal de Saúde, Departamento de Vigilância Ambiental em Saúde – VIGIDESASTRE, 2022. 189 p.

ITABORAÍ. Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Itaboraí - RJ. Itaboraí: Prefeitura Municipal de Itaboraí, 2019.

JABLONSKI, S.; AZEVEDO, A. F.; MOREIRA, L. H. A. Fisheries and Conflicts in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. Brazilian Archives of Biology and Technology. 49: 79-91, 2006.

Jarvis, C. S. 1936. Floods in the United States: Magnitude and frequency. Washington, DC: US Government Printing Office.

JORNAL DO BRASIL. Crivella inaugura o maior túnel de drenagem urbana do país. Disponível em: https://www.jb.com.br/rio/2019/04/996886-crivella-inaugura-o-maior-tunel-de-drenagem-urbana-do-pais.html. Acesso em jul. 2025.

Junk, W., Piedade, M.T., Lourival, R., Wittman, F., Kandus, P., Lacerda, L., bozelli, R., Esteves, F., da Cunha, C.N., Maltchik, L., Schöngart, J., Schaeffer-Novelli, Y., Agostinho, A. A., Nóbrega, R.L.B. (2015). Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. Instituto Nacional de Pesquisa e Tecnologia em Áreas Úmidas (INCT-Áreas Úmidas).

KJERFVE, B. Manual for investigation of hydrological Processes in Mangrove Ecosystems. UNESCO/UNDP. 79p. 1990.

KURY, C. Estiagem severa causa estado de emergência em quatro municípios do Rio. Band, Rio de Janeiro, 18 set. 2024. Disponível em: https://www.band.com.br/rio-de-

janeiro/noticias/estiagem-severa-causa-estado-de-emergencia-em-quatro-municipios-do-rio-202409180824. Acesso em jul. 2025.

Laipelt, L., Comini de Andrade, B., Collischonn, W., de Amorim Teixeira, A., Paiva, R. C. D. D., & Ruhoff, A. (2024). ANADEM: a digital terrain model for South America. Remote Sensing, 16(13), 2321.

LAIPELT, Leonardo et al. ANADEM: a digital terrain model for South America. Remote Sensing, v. 16, n. 13, p. 2321, 2024.

LIMA, Marcos. ICMBio relata poluição no rio Roncador em Magé. ((o))eco, 21 mar. 2024.

LONDE, Luciana de Resende et al. Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. Ambiente & Sociedade, v. 17, p. 133-152, 2014.

LOURENÇO, Rodrigo Sardinha. Poluição por mercúrio em sedimentos e peixes da Lagoa Rodrigo de Freitas (Rio de Janeiro, RJ): subsídios à avaliação de risco à saúde humana. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia)–Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

LUÍZ, Bruna Julianelli. Pluviosidade crítica e aspectos agravantes de deslizamentos nas encostas da cidade do Rio de Janeiro – período de 1998 a 2002. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, set. 2017

MAGÉ. Plano Municipal de Saneamento Básico - Água e Esgoto de Magé - RJ. Magé: Prefeitura Municipal de Magé, 2013.

MAR DE NOTÍCIAS. Rio Faria-Timbó: um símbolo do abandono ambiental. Mar de Notícias, 2016. Disponível em: https://www.mardenoticias.com.br/. Acesso em: 23 jun. 2025.

MARICÁ. Programa de Drenagem e manejo de águas pluviais de Maricá - PDMAP – MAR. Maricá: Prefeitura Municipal de Maricá - RJ.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Tábuas de Maré 2024. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2024.

MATA, A. Município do RJ decreta situação de emergência por causa da estiagem. CNN Brasil, Rio de Janeiro, 17 set. 2024. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/municipio-do-rj-decreta-situacao-de-emergencia-por-causa-da-estiagem/. Acesso em jul. 2025.

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (pp. 179–184). American Meteorological Society

Medeiros, F. S., Almeida, M. R., de Souza, M. A., & Avelar, K. E. S. (2020). A Urbanização Do Município Do Rio De Janeiro: Uma Visão Sobre As Enchentes E Inundações. Sustentare, 4(1), 46-60.

MELO, Carla Moreira; KOBIYAMA, Masato. Aplicação do modelo SHALSTAB no estudo de escorregamentos no Brasil: revisão. Revista brasileira de geomorfologia. Vol. 19, n. 4 (out./dez. 2018), p. 721-738, 2018.

MELO, Gustavo Vaz de, et. al. Salinity intrusion in the Guapimirim estuary, Rio de Janeiro State, Brazil. Revista Brasileira de Geofísica, v. 32, n. 1, p. 161–176, 2014.

MESQUITA (RJ), Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil – PLANCOM 2024/2025. Versão 11. Mesquita: Prefeitura Municipal de Mesquita, 2024.

MESQUITA. Plano Municipal de Saneamento Básico de Mesquita- RJ. Mesquita: Prefeitura Municipal de Mesquita, 2018.

MIGUENS, Altineu Pires. Navegação: a ciência e a arte - Navegação Costeira, estimada e em águas restritas. Rio de Janeiro: DHN, v. 1, p. 1. 1996.

MILLY, P. C. D. et al. On the stationarity of hydrological records and implications for water management. Water Resources Research, v. 44, W00A06, 2015.

Mishra, Ashok et al. An overview of flood concepts, challenges, and future directions. Journal of hydrologic engineering, v. 27, n. 6, p. 03122001, 2022.

Momo, M. R., Pinheiro, A., Severo, D. L., Cuartas, L. A., & Nobre, A. D. (2016). Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. RBRH, 21(1), 200-208.

Monte, B. E. O., Zanandrea, F., Abatti, B. H., Tavares, M. H., & Silveira, A. L. L. (2019). Capacidade do modelo HAND na representação de uma mancha de inundação comparado ao modelo hidrodinâmico HEC-RAS2D. In Proceedings of the XXIII SBRH 2019. Porto Alegre: ABRH.

MPRJ – MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Ações de investigação sobre contaminação do Rio Guapiaçu. Rio de Janeiro, 2024. [Nota oficial via imprensa].

Multiplix. Forte chuva causa deslizamentos e alaga ruas em Cachoeiras de Macacu. Portal Multiplix, 2019. Disponível em: . Acesso em: set/2025

NASCIMENTO, Matheus Teixeira do. Disposição terrestre de sedimentos dragados da foz do rio Meriti (Baía de Guanabara, RJ): análise de metais e risco ecotoxicológico. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020

NILÓPOLIS. Plano Municipal de Saneamento Básico de Nilópolis- RJ. Nilópolis: Prefeitura Municipal de Nilópolis, 2013.

NITERÓI. Plano Municipal de Saneamento Básico de Niterói - RJ. Niterói: Prefeitura Municipal de Niterói, 2020.

Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Momo, M. R., Severo, D. L., Pinheiro, A., & Nobre, C. A. (2016). HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. Hydrological Processes, 30(2), 320-333.

NOVA IGUAÇU (RJ). Secretaria Municipal de Defesa Civil. Plano de Contingência da Cidade de Nova Iguaçu – Verão 2021/2022. Versão 5.0. Nova Iguaçu, RJ: SMDC, 2021.

NOVA IGUAÇU. Plano Municipal de Saneamento Básico - Água e Esgoto – do Município de Nova Iguaçu - RJ. Nova Iguaçu: Prefeitura Municipal de Nova Iguaçu, 2014.

NTHUNYA, L. N. et al. Spectroscopic determination of water salinity in brackish surface water in Nandoni Dam, at Vhembe District, Limpopo Province, South Africa, Water 10 (2018) 1–13 [em linha]. 2018.

O GLOBO. As memórias da escassez em Rio e São Paulo. Disponível em: .

O Globo. Em 1966, enxurrada matou 200 pessoas e deixou mais de 30 mil desabrigados. Acervo O Globo, Rio de Janeiro, 9 jul. 2013 (publicado em acervo digital — matéria originalmente de 11 de janeiro de 1966). Disponível em: . Acesso em: set/2025

O GLOBO. Vazamento de mais de 1 milhão de litros de óleo na Baía de Guanabara completa 20 anos. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: . Acesso em: 11 jul. 2025.

O'CONNELL, P. E. et al. Climate uncertainty and risk in water management. Hydrological Sciences Journal, v. 61, p. 281–292, 2016.

Oliveira, J.I.R. Estudos da contribuição Potencial do Solo no Processo de Salinização de Águas Superficiais em uma pequena bacia hidrográfica do semiárido baíano. Dissertação. Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2005.

OLIVEIRA, R. R. de. Impactos das mudanças climáticas no Oceano Atlântico Equatorial e Sul: dos parâmetros biogeoquímicos à sensibilidade dos ecossistemas costeiros. 2025. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Paiva, R. C. D., Collischonn, W., Miranda, P. T., Fagundes, H.O., W., Kolling, A., Castro, L., Rossi, J., Matte, G., Laipelt, L., Alves. W, Petry. I, 2024. Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional. CLIMA: Impactos de Mudanças Climáticas em Extremos de Vazão (Cheias e Estiagens) – Relatório Final. IPH-ANA-HGE-CLIMA-A3. UFRGS: IPH, [Porto Alegre]. ANA, [Brasília].

PCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 2021.

Pedro Torres Miranda; Rodrigo Cauduro Dias de Paiva; Walter Collischonn; Hugo de Oliveira Fagundes; Larissa De Castro Ribeiro; Júlia Brusso Rossi; Arthur Kolling Neto; Gabriel Matte Rios Ingrid Petry; Wilany Rodrigues Galvão Alves; Saulo Aires de Souza & Alexandre Abdalla. SECAS NA AMÉRICA DO SUL: IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS PRÓXIMAS DÉCADAS. 2023. XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358).

PETRÓPOLIS. Plano de Contingência para Chuvas Intensas do verão de 2024 – 2025. Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Petrópolis - RJ.

PETRÓPOLIS. Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrópolis - RJ. Petrópolis: Prefeitura Municipal de Petrópolis, 2014. Elaboração técnica: HABI-TAT ECOLÓGICO LTDA.

PONTES, Paulo R. M. et al. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. Environmental Modelling & Software, [s. l.], v. 94, p. 1–20, 2017.

Popp, José Henrique. Geologia Geral. 5ª Edição. Rio de Janeiro; LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2007.

PORTO, M. F. S. et al. O desastre ambiental na Baía de Guanabara: Impactos do derramamento de óleo. Revista Ciência & Saúde Coletiva, v. 6, n. 2, p. 345-359, 2001.

PREFEITA MUNICIPAL DE CACHOEIRAS DE MACACU. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Cachoeiras de Macacu – RJ. 2020. Disponível em: https://pmma.etc.br/mdocs-posts/mosaico-central-fluminense-pmma-cachoeiras-de-macacu/. Acesso em: 15 de abr. de 2025.

Prefeitura de Duque de Caxias. Duque de Caxias passa para o estágio de atenção. Duque de Caxias, RJ: Prefeitura de Duque de Caxias, Disponível em: . Acesso em: set/2025

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABORAÍ. Plano de Contingência de Enfrentamento em Desastres Naturais do Município de Itaboraí / RJ – Vigilância Ambiental em Saúde – VIGIDESASTRE (2022-2024). Secretaria Municipal de Saúde, Subsecretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Ambiental em Saúde. Itaboraí, RJ.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABORAÍ. Plano de Contingência de Enfretamento em desastres naturais do município de Itaboraí - RJ: vigência 2022 - 2024. Itaboraí, 2022. Plano de Contingência Municipal. Disponível em: https://transparencia-novo.ib.itaborai.rj.gov.br/wp-content/uploads/2024/01/02-Plano-VIGIDESASTRE-2022-2024-atualizacao.pdf Acesso em: 09 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MAGÉ. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Magé - RJ. 2020. Disponível em: https://pmma.etc.br/mdocs-posts/mosaico-central-fluminense-pmma-mage/. Acesso em: 15 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MESQUITA. Plano de Contingência 2024/2025. Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos, Subsecretaria de Defesa Civil. Mesquita, RJ.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MESQUITA. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Mesquita - RJ. 2024. Disponível em: https://transparencia.mesquita.rj.gov.br/ver20240713/tmp/PortalServices/PLANOMUNICIPAL-DECONSERVACAOERECUPERACAODAMATAATLANTICA-MESQUITA-RJ.pdf. Acesso em: 15 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NITERÓI. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Niterói - RJ. 2024. Disponível em: https://meioambiente.niteroi.rj.gov.br/plano-municipal-de-conservacao-e-recuperacao-da-mata-atlantica/. Acesso em: 15 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA IGUAÇU. Plano de Contingência da Cidade de Nova Iguaçu – PLACON-NI – Versão 5.0 (2021-2022). Secretaria Municipal de Defesa Civil (SMDC). Nova Iguaçu, RJ.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA IGUAÇU. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Nova Iguaçu - RJ. 2020. Disponível em: https://pmma.etc.br/mdocs-posts/mosaico-central-fluminense-pmma-nova-iguacu/. Acesso em: 15 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS. Diagnóstico do Plano Diretor de Petrópolis. Petrópolis: Prefeitura Municipal, 2013. Disponível em: https://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/PDPDIAGMAR2013.pdf.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS. Lei Complementar nº 7.167, de 28 de março de 2014. Revê e atualiza o Plano Diretor de Petrópolis, instituído pela Lei nº 6.321 de dezembro de 2005. Petrópolis: Prefeitura Municipal, 2014. Disponível em: https://sig.petropolis.rj.gov.br/cpge/PD2014.pdf.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BONITO. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Rio Bonito - RJ. 2017. Disponível em: https://pmma.etc.br/mdocs-posts/lagos-sao-joao-pmma-rio-bonito/. Acesso em: 15 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BONITO. Plano Municipal de Contingência de Proteção e Defesa Civil – PLANCON (2023-2024). Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Rio Bonito, RJ.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO DE JANEIRO. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Rio de Janeiro - RJ. Disponível em:

https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5362208/4140310/PMMARJCOMPLETO-baixa.pdf. Acesso em: 15 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de São Gonçalo - RJ. Disponível em: https://www.sa-ogoncalo.rj.gov.br/wp-content/uploads/2024/08/anexo-7-plano-municipal-da-mata-atlantica.pdf Acesso em: 15 de abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO. Plano Municipal de Contingência de Proteção e Defesa Civil 2024 – 2025. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico de São Gonçalo.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO DE MERITI. Plano de Contingência para os Riscos Relacionados às Fortes Chuvas no Verão de 2024/2025. Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil. São João de Meriti, RJ.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. Plano Municipal de Desastres Naturais 2024 - 2026. Secretaria Municipal de Saúde do Rio de Janeiro, RJ.

R Core Team (2024) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

RANGEL, Sérgio. Óleo atinge reserva da baía de Guanabara. Folha de S.Paulo, Caderno Cotidiano, São Paulo, 28 abr. 2005. Disponível em: . Acesso em: 11 jul. 2025.

REDDIT. Discussão sobre poluição do Rio Acari após enchentes. Reddit Brasil, 2024.

Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., & Tomasella, J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, 112(9), 3469-3481.

RHA ENGENHARIA E CONSULTORIA. Relatório de diagnóstico: Tomo 02 de 03 – Atualização e complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica

da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá. Rio de Janeiro: Comitê da Bacia da Baía de Guanabara; AGEVAP, 2020. 518 p.

RHA ENGENHARIA E CONSULTORIA. Relatório síntese: atualização e complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá. Curitiba: AGEVAP, 2023. Contrato nº 40/2019/AGEVAP.

RIO BONITO (RJ). Defesa Civil. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (PLANCON): processos geológicos ou hidrológicos – deslizamentos, inundações e alagamentos. Rio Bonito: Redec Litorânea, 2024.

RIO BONITO (RJ). Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil: processos geológicos ou hidrológicos – deslizamentos, inundações e alagamentos (PLANCON 2023-2024). Rio Bonito: Prefeitura Municipal de Rio Bonito, Coordenadoria Municipal de Defesa Civil, 2022. 1 v.

RIO DE JANEIRO (Estado). Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Resolução INEA nº 163, de 26 de dezembro de 2018. Dá publicidade aos preços públicos unitários de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro para o exercício de 2019. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Poder Executivo, Rio de Janeiro, ano XLV, nº 016, parte I, 22 jan. 2019.

RIO DE JANEIRO (RJ). Plano Municipal de Contingência de Desastres Naturais: 2024–2026. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Saúde, 2024. 84 p

RIO DE JANEIRO (RJ). Plano Municipal de Contingência de Desastres Naturais: 2024–2026. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Saúde, 2024. 84 p

RIO DE JANEIRO. Casa Civil. Projeto Iguaçu é apresentado no Ministério das Cidades. Governo do Estado do Rio de Janeiro, 31 Jan. 2024. Disponível em: https://www.rj.gov.br/casacivil/node/562.

RIO DE JANEIRO. Plano Diretor de Manejo de águas pluviais da cidade do Rio de Janeiro – RJ. Rio de Janeiro: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2021 - 2041.

RIO MAIS. A Baía de Guanabara em perspectiva: alavanca do desenvolvimento metropolitano. Disponível em: https://riomais.org/a-baia-de-guanabara-em-perspectiva-alavanca-do-desenvolvimento-metropolitano/. Acesso em jul. 2025.

Rocha, Paulo Cesar. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. Caderno Prudentino de Geografia, v. 1, n. 33, p. 50-67, 2011.

RODRIGUES, T.; CALLEGARI, C. Com falta de chuva em pleno verão, número de incêndios na mata sobe 435% no Estado do Rio. O Globo, Rio de Janeiro, 11 mar. 2025. Disponível em: https://oglobo.globo.com/rio/noticia/2025/03/11/com-falta-de-chuva-em-pleno-verao-numero-de-incendios-na-mata-sobe-390percent-no-estado-do-rio.ghtml. Acesso em jul. 2025.

RUHOFF, A. et al. ANADEM: A digital terrain model for South America. Remote Sensing,, 2024. No prelo. Disponível em: https://chasquebox.ufrgs.br/public/6f0900

RUSDY, Ahmad F. Correlation between conductivity and total dissolved solids in various type of water: A review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 118, p. 012019, 2018. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019.

SÃO GONÇALO (RJ). Prefeitura Municipal. Defesa Civil. PLANCON: Plano Municipal de Contingência de Proteção e Defesa Civil. São Gonçalo, 2025.

Saraiva, Lorena Silva (2014). Comparação entre critérios para determinação de hidrogramas de ruptura de barragens. Monografia. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

Sartori, A., LOMBARDI NETO, F., & Genovez, A. M. (2005). Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 10(4), 5-18.

SCHINCARIOL, I. Guandu: água até o ano 2000. Disponível em: https://informe.ensp.fiocruz.br/noticias/37403. Acesso em jul. 2025.

SCS - United States Soil Conservation. (1973). Design of Small Dams.

SCS (1975). Urban Hydrology for Small Watersheds. Washington. U.S. Dept. Agr. (Technical Release. n. 55)

SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL DO RIO DE JANEIRO. Plano de Contingência do Estado do Rio de Janeiro para Chuvas Intensas – Verão 2024/2025. Rio de Janeiro: SEDEC-RJ, 2024. Disponível em: https://www.defesacivil.rj.gov.br/index.php/para-municipios/plano-de-contingencias-dc. Acesso em: 29 abr.

SERGIO M. VICENTE-SERRANO SANTIAGO BEGUERI´A JUAN I. LO ´ PEZ-MORENO A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (Manuscript received 28 October 2008, in final form 6 October 2009) JOURNAL OF CLIMATE VOLUME 23 DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1

SERRICCHIO, Claudio; CALAES, Virgínia; FORMIGA-JOHNSSON, Rosa Maria; LIMA, Angelo José Rodrigues; ANDRADE, Edilson de Paula. O CEIVAP e a gestão integrada dos recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul: um relato da prática. Coordenação de Rosa Maria Formiga Johnsson. Rio de Janeiro: GESTEC/CAIXA, 2005.

Serviço Geológico do Brasil - SGB. Levantamento da geodiversidade: projeto atlas pluviométrico do Brasil: mês mais chuvoso: período de 1977 a 2006. 2011.

SHEVAH, Y. 1.4 Adaptation to Water Scarcity and Regional Cooperation in the Middle East. Comprehensive water quality and purification, v. 42, n. 42, p. 40, 2013.

SILVA, Everaldo de Santana et al. Variação de pH, salinidade e temperatura viabilizantes para estabelecimento do Vibrio cholerae nas águas portuárias da cidade do

Rio de Janeiro, Brasil. Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 14–22, 2019.

SILVA, G. S. da; JARDIM, W. de F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaía, região de Campinas/Paulínia – SP. Quím. Nova, Campinas, v. 29, n. 4, p. 689–694, jul. 2006.

SILVA, R. F. et al. Avaliação dos impactos ambientais decorrentes de acidentes envolvendo produtos perigosos na região metropolitana do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 10, n. 1, p. 112-130, 2006.

Silveira, L. G. (2018). Estudo comparativo da utilização do IQA-NSF e IQA-CCME para análise da qualidade da água no Estado do Rio De Janeiro. Dissertação de Mestrado. PROF-Agua. Rio de Janeiro. 2018.

Siqueira, V. A.; et al. Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America, Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 4815-4842, https://doi.org/10.5194/hess-22-4815-2018, 2018.

SIQUEIRA, Vinícius Alencar et al. Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin. RBRH, v. 21, p. 587-602, 2016.

SIQUEIRA, Vinícius Alencar et al. IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open-source environment. Rbrh, v. 21, p. 274-287, 2016.

Souza, a. a. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. Remote Sensing.

SPERLING, E. V. Morfologia de lagos e represas. Belo Horizonte: DESA/ UFMG, 1999. 138 p.

TANGUÁ. Plano Municipal de Saneamento Básico - Água e Esgoto de Tanguá - RJ. Tanguá: Prefeitura Municipal de Tanguá, 2013.

TEMPO REAL RJ. Polícia Civil e INEA fazem operação em empresas para identificar origem do tolueno que contaminou água. Rio de Janeiro. 2024. Disponível em: . Acesso em: 11 jul. 2025.

Tominaga, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, 196 p.

Tschiedel A.F et al. Método Simplificado de Rompimento de Barragens MS-ANA 2.1: Performance para pequenas barragens. In Damweek 2025. Porto Alegre/RS. 2025

Tschiedel, A. D. F. et al. (2021). Impacto do novo esquema de solução numérica estabelecido no HEC-RAS 6.0 em estudos de rompimento de barragens. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (24.: 2021: Belo Horizonte). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRHidro, 2021.

TSCHIEDEL, A. da F. (2022) – “Abordagem de grande escala para simulações de cheias geradas por rompimentos de barragens de armazenamento de água”. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, RS.

TSCHIEDEL, A. da F.; BOMFIM, M.; MENESCAL, R. de A. e OLIVEIRA, R. C. (2023) “Novo Método Simplificado para estimativas de manchas de inundação associadas ao rompimento hipotético de barragens”. Comitê Brasileiro de Barragens. XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu – PR.

Tucci, C. E.M. Águas urbanas. Estudos Avançados, v.22, n.63, p. 97-112, 2008.

Tucci, C.E M.; BERTONI, J.C. (Orgs) Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Porto Alegre, 2003, p. 471.

Tucci, Carlos EM et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUSSINI, Gabriel. Contaminação causada por acidente entre caminhões em Magé (RJ) afeta biodiversidade e pescadores. O eco, 11 out. 2024. Disponível em: Acesso em: 11 jul. 2025.

UNICAMP (2022). Petrópolis: não foi um desastre natural. Jornal da UNICAMP. Disponível em: https:// https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2022/02/22/petropolis-nao-foi-um-desastre-natural. Acesso em: 30 de agosto de 2025.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. United Nations. https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030. Acesso em 25 de abril de 2025

UOL. Contaminação por tolueno afeta 2 milhões de pessoas na região metropolitana do RJ. UOL Notícias, 2024. Disponível em: https://www.uol.com.br/. Acesso em: 23 jun. 2025.

US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Hydrologic Engineering Center. California, EUA. 2016.

US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 6.6. 2024. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_Users_Manual_v6.6.pdf. Acesso em: 27/04/2025

US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 6.6. 2024. Disponível em: Acesso em: 27/06/2025.

US Army Corps of Engineers (USACE). Hydrologic modelling system HEC-HMS v3.2 user's manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, US.

USBR. (1989) – "Policy and procedures for dam safety modification decision-making". Department of the Interior, Denver, USA.

USGS (2023). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, Version 6.0. United States Geological Survey

VARGAS Jr, E., COSTA FILHO, L.M., PRADO CAMPOS, L.E.. “A study of the relationship between the stability of slopes in residual soils and rain intensity”. In: Proceedings of International Symposium on Environmental Geotechnology, pp.491-500, Bethlehem – Pennsylvania, EUA, 1986

VILLELA, G.; PONSO, F. Óleo vaza na Baía de Guanabara e causa desastres ecológicos em 75, 97 e 2000. O Globo, Rio de Janeiro, 30 ago. 2016. Disponível em: https://acervo.oglobo.globo.com/em-destaque/oleo-vaza-na-baia-de-guanabara-causa-desastres-ecologicos-em-75-97-2000-20018209. Acesso em jul. 2025.

VON SPERLING, M. Estudos de modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

VOZ DAS COMUNIDADES. Rio Acari sofre com esgoto a céu aberto e histórico de contaminação. 2023.

W. Sirko, S. Kashubin, M. Ritter, A. Annkah, Y.S.E. Bouchareb, Y. Dauphin, D. Keysers, M. Neumann, M. Cisse, J.A. Quinn. Continental-scale building detection from high resolution satellite imagery. arXiv:2107.12283, 2021.

WANG, Qiqing et al. GIS-based assessment of landslide susceptibility using certainty factor and index of entropy models for the Qianyang County of Baoji city, China. Journal of Earth System Science, v. 124, n. 7, p. 1399-1415, 2015.

WANICK, R. C. et al. Avaliação do IQA como ferramenta de avaliação da qualidade de água nos corpos hídricos interceptados pela Rodovia Br-163 (Guarantã Do Norte-Mt). Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/43791ccc22fd6c37382d7963fa2e9c80_547d54410916871229faf8f418e9b8bf.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

Whilite, D.A. A methodology for drought preparedness. Nat Hazards 13, 229–252 (1996).