

Modelagem de Qualidade da Água na Situação Atual (P03)

23003_AGEVAP_MOD01_R04

Etapa técnico-propositiva do enquadramento das águas superficiais
da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.



QUADRO DE CODIFICAÇÃO

Código do Documento	23003_AGEVAP_MOD01_R04		
Título	Modelagem de Qualidade da Água na Situação Atual		
Aprovação por:	Lawson Francisco de Souza Beltrame		
Data da Aprovação:	-		
Controle de Revisões			
Revisão Nº	Natureza	Data	Aprovação
00	Capítulo 2	10/10/2024	LB
00	Capítulo 3	21/11/2024	LB
00	Revisão Cap.3	13/02/2025	LB
00	Versão Completa	06/05/2025	LB
01	Revisão 01	28/07/2025	LB
02	Revisão 02	06/08/2025	LB
03	Revisão 03	08/08/2025	LB
04	Revisão 04	11/08/2025	LB

EQUIPE DA CONTRATANTE

AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas do Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul

Diretora-Presidente Interina – Aline Raquel Alvarenga

AGEVAP - Gerência Contrato Gestão ANA nº 27/2020

Gerente de Contrato de Gestão Interino – Júlio César da Silva Ferreira

Gerente Técnico Interino – Flávio Augusto Monteiro dos Santos

Especialista em Recursos Hídricos – Raissa Guedes

CEIVAP - Diretoria Colegiada Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul

Presidente – Ana Larronda Asti - Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro - SEAS/RJ

Vice-Presidente – Elias Adriano dos Santos – Associação Jaguamimbaba para o Desenvolvimento Sustentável - AJADES

Secretária – Maria Aparecida Borges Pimentel Vargas – Associação Brasileira de Geração de Energia Limpa - ABRAGEL

GT ENQUADRAMENTO - Grupo de Trabalho para Acompanhamento do Desenvolvimento do Projeto

De 2022 a 2025:

Allan de Oliveira Mota - IGAM/MG (Coordenador)

Luis Roberto Barretti – Câmara Técnica Consultiva (CTC-CEIVAP)

Alex Leão – INEA/RJ

Lilian Barrella Peres – CETESB/SP

Ana Paula Montenegro Generino – ANA

Renato Traballi Veneziani – Comitê Paulista Afluentes do Rio Paraíba do Sul

João Marcos Almeida da Silva - Comitês Mineiros Afluentes do Rio Paraíba do Sul

Eduardo de Araújo Rodrigues - Comitês Mineiros Afluentes do Rio Paraíba do Sul

Erika Cortines – Comitês Fluminenses Afluentes do Rio Paraíba do Sul - Piabanha

Carin von Mühlen - Comitês Fluminenses Afluentes do Rio Paraíba do Sul

João Gomes de Siqueira - Comitês Fluminenses Afluentes do Rio Paraíba do Sul - Baixo

Antônio Carlos Simões – Usuários de Recursos Hídricos do CEIVAP – Rio de Janeiro

Roberto da Silva Santos - Usuários de Recursos Hídricos do CEIVAP – São Paulo

Luis Fernando Oliveira Cuco – Usuários de Recursos Hídricos do CEIVAP – Minas Gerais

Ingrid Delgado Ferreira – AGEVAP

Marina Mendonça Costa de Assis – AGEVAP

De 2025 a 2029:

Ana Paula Montenegro Generino – ANA (Coordenadora)

Daniel Izoton Santiago – ANA

Raquel Emerick Pereira Mencarini – INEA/RJ

Allan de Oliveira Mota - IGAM/MG (Coordenador Substituto)

Lilian Barrella Peres – CETESB/SP

Aguardando indicação – Diretoria ou Câmara Técnica Consultiva (CTC-CEIVAP)

Alexandre Vilella – Usuários de Recursos Hídricos do CEIVAP – São Paulo

Mylene Nascimento Rodrigues de Oliveira – Usuários de Recursos Hídricos do CEIVAP – Minas Gerais

Aguardando indicação – Usuários de Recursos Hídricos do CEIVAP – Rio de Janeiro

Carin von Mühlen – Comitê Médio Paraíba do Sul

Aguardando indicação – Comitê Piabanha

João Gomes de Siqueira – Comitê Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana

Lício de Sá Freire – Comitê Rio Dois Rios

João Marcos Almeida da Silva – Comitê Preto e Paraibuna

Eduardo de Araújo Rodrigues – COMPÉ

Aguardando indicação – Comitê das Bacias Hidrográficas do rio Paraíba do Sul/Trecho Paulista

Raissa Guedes – AGEVAP

Marina Mendonça Costa de Assis – AGEVAP

EQUIPE DA ÁGUA E SOLO ESTUDOS E PROJETOS

EQUIPE TÉCNICA PERMANENTE

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO

Lawson Francisco de Souza Beltrame – Eng. Agrônomo – CREA RS010020

Larissa da Silva Soares – Eng. Ambiental – CREA RS254720

GERENTE TÉCNICO

Lucas Rodrigo Kehl – Eng. Ambiental - CREA RS261618

ESPECIALISTA EM GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – PLENO

Antonio Eduardo Leão Lanna – Eng. Civil – CREA RS006673

ESPECIALISTA EM QUALIDADE DA ÁGUA – PLENO

Luiz Fernando de Abreu Cybis - Eng. Civil – CREA RS039005

ESPECIALISTA EM QUALIDADE DA ÁGUA – JUNIOR

Elisa de Mello Kich - Eng. Ambiental – CREA RS211253

ESPECIALISTA EM MOBILIZAÇÃO SOCIAL – SÊNIOR

Pomy Yara Meirelles – Geógrafa e Gestora Ambiental – CRQ 032053764

EQUIPE TÉCNICA DE CONSULTORES

Laís Helena Mazzali Gaeversen – Eng. Ambiental – CREA RS245799

Daniel Gustavo Allasia Piccilli – Eng. Civil – CREA RS150106

Fernando Meirelles – Eng. Agrônomo – CREA RS054128

EQUIPE COMPLEMENTAR

Alessandro Gustavo Franck – Eng. Hídrico – RS274779

Deborah Hannah Nascimento Ferreira da Silva – Graduanda em Geologia

Fabiane Cazulo Juchen – Eng. Hídrica

Julia Rei de Oliveira – Eng. Ambiental – CREA RS273266

Lucas Ronzoni Calviera – Eng. Ambiental – CREA RS267835

Luiza Vivian Santos – Eng. Ambiental – CREA RS267900

Pedro Henrique Boff – Eng. Ambiental – CREA RS219731

Marcela Teixeira – Graduanda em Eng. Ambiental

Margareth Haas de Moraes – Graduanda em Geografia

SUMÁRIO

1	Introdução.....	19
2	Segmentação dos trechos de rios	21
2.1	Metodologia	21
2.2	Critérios utilizados	23
2.3	Oficinas de trabalho com os CBHs afluentes	25
2.4	Segmentação proposta.....	28
2.4.1	UP1 - Paraíba do Sul - Trecho paulista.....	28
2.4.2	UP2 - Rios Preto e Paraibuna	32
2.4.3	UP3 - Rios Pomba e Muriaé.....	36
2.4.4	UP4 - Médio Paraíba do Sul.....	39
2.4.5	UP5 - Piabanha.....	43
2.4.6	UP6 - Rio Dois Rios	46
2.4.7	UP7 - Baixo Paraíba do Sul	49
2.4.8	UP8 - Rio Pirai	53
3	Modelagem de qualidade	56
3.1	Síntese metodológica	56
3.2	Modelo matemático	56
3.3	Metodologia	58
3.3.1	Disponibilidade hídrica	58
3.3.2	Demanda hídrica.....	59
3.3.3	Balanço hídrico	60
3.3.4	Parâmetros avaliados	61
3.3.5	Cargas poluidoras	65
3.3.6	Processamento da modelagem.....	72
4	Resultados da modelagem	80

4.1	Calibração do modelo matemático de qualidade da água	80
4.1.1	UP1	80
4.1.2	UP2	83
4.1.3	UP3	85
4.1.4	UP4	87
4.1.5	UP5	88
4.1.6	UP6	91
4.1.7	UP7	93
4.1.8	Rio Paraíba do Sul	96
4.2	Análise da influência dos reservatórios	97
4.2.1	Paraibuna Paraitinga.....	98
4.2.2	Santa Branca	98
4.2.3	Jaguari	99
4.2.4	Funil	99
4.2.5	Lagoa da Turfeira	100
4.3	Simulação de qualidade da água.....	100
4.3.1	Demanda bioquímica de oxigênio	101
4.3.2	Oxigênio dissolvido	109
4.3.3	Coliformes termotolerantes	117
4.3.4	Fósforo total	126
4.3.5	Nitrogênio amoniacal	134
4.3.6	Nitrato	143
4.3.7	Alumínio	151
4.3.8	Manganês	159
4.4	Análise de conformidade	167

4.4.1	UP1	168
4.4.2	UP2	170
4.4.3	UP3	172
4.4.4	UP4	174
4.4.5	UP5	176
4.4.6	UP6	178
4.4.7	UP7	180
4.5	Índice de conformidade ao enquadramento	182
4.6	Análise da pior classe	188
4.7	Análise da influência das cargas difusas e pontuais.....	210
5	Matriz de enquadramento.....	224
6	Considerações finais	227
	Referências bibliográficas.....	229
	Anexo I – Cargas de esgotamento sanitário	235
	Anexo II – Cargas industriais	239
	Anexo III – Cargas difusas.....	246
	Anexo IV – Matriz de enquadramento	247
	Anexo V – Mapas	248

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1. Fluxograma dos produtos a serem entregues.	20
Figura 2.1. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP1 - Paraíba do Sul - Trecho Paulista.	30
Figura 2.2. Segmentação proposta para a UP1 - Paraíba do Sul - Trecho Paulista.	31
Figura 2.3. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP2 - Rios Preto e Paraibuna.	34
Figura 2.4. Segmentação proposta para a UP2 - Rios Preto e Paraibuna.	35
Figura 2.5. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP3 - Rios Pomba e Muriaé.	37
Figura 2.6. Segmentação proposta para a UP3 - Rios Pomba e Muriaé.	38
Figura 2.7. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP4 - Médio Paraíba do Sul.	41
Figura 2.8. Segmentação proposta para a UP4 - Médio Paraíba do Sul.	42
Figura 2.9. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP5 – Piabanha.	44
Figura 2.10. Segmentação proposta para a UP5 – Piabanha.	45
Figura 2.11. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP6 - Rio Dois Rios.	47
Figura 2.12. Segmentação proposta para a P6 - Rio Dois Rios.	48
Figura 2.13. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP7 - Baixo Paraíba do Sul.	51
Figura 2.14. Segmentação proposta para a UP7 - Baixo Paraíba do Sul.	52
Figura 2.15. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP8 – Rio Piraí.	54
Figura 2.16. Segmentação proposta para a UP8 – Rio Piraí.	55
Figura 3.1. Representação das principais variáveis de simulação por microbacia.	57
Figura 3.2. Fluxograma simplificado da metodologia adotada para a modelagem de qualidade d'água.	58
Figura 3.3. Esquema de representação do módulo de Balanço Hídrico do WARM-GIS.	61
Figura 3.4. Localização dos pontos de monitoramento com dados na BHPS.	77
Figura 4.1. Calibração para o trecho “a” da UP1.	82
Figura 4.2. Calibração para o trecho “b” da UP1.	83
Figura 4.3. Calibração para o trecho “a” da UP2.	84
Figura 4.4. Calibração para o trecho “b” da UP2.	85
Figura 4.5. Calibração para o trecho “a” da UP3.	86
Figura 4.6. Calibração para o trecho “b” da UP3.	87
Figura 4.7. Calibração para o trecho “a” da UP4.	88
Figura 4.8. Calibração para o trecho “a” da UP5.	90

Figura 4.9. Calibração para o trecho “b” da UP5.	91
Figura 4.10. Calibração para o trecho “a” da UP6.	92
Figura 4.11. Calibração para o trecho “b” da UP6.	93
Figura 4.12. Calibração para o trecho “a” da UP7.	94
Figura 4.13. Calibração para o trecho “b” da UP7.	95
Figura 4.14. Calibração para o Canal das Flechas.	96
Figura 4.15. Calibração para a calha principal do rio Paraíba do Sul a jusante da UP4.	97
Figura 4.16. Modelagem de qualidade (DBO – Q ₁₀).	102
Figura 4.17. Modelagem de qualidade (DBO – Q ₂₅).	103
Figura 4.18. Modelagem de qualidade (DBO – Q ₅₀).	104
Figura 4.19. Modelagem de qualidade (DBO – Q ₇₅).	105
Figura 4.20. Modelagem de qualidade (DBO – Q ₉₀).	106
Figura 4.21. Modelagem de qualidade (DBO – Q ₉₅).	107
Figura 4.22. Modelagem de qualidade (DBO – Q _{7,10}).	108
Figura 4.23. Modelagem de qualidade (OD – Q ₁₀).	110
Figura 4.24. Modelagem de qualidade (OD – Q ₂₅).	111
Figura 4.25. Modelagem de qualidade (OD – Q ₅₀).	112
Figura 4.26. Modelagem de qualidade (OD – Q ₇₅).	113
Figura 4.27. Modelagem de qualidade (OD – Q ₉₀).	114
Figura 4.28. Modelagem de qualidade (OD – Q ₉₅).	115
Figura 4.29. Modelagem de qualidade (OD – Q _{7,10}).	116
Figura 4.30. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q ₁₀).	119
Figura 4.31. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q ₂₅).	120
Figura 4.32. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q ₅₀).	121
Figura 4.33. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q ₇₅).	122
Figura 4.34. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q ₉₀).	123
Figura 4.35. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q ₉₅).	124
Figura 4.36. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q _{7,10}).	125
Figura 4.37. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q ₁₀).	127
Figura 4.38. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q ₂₅).	128
Figura 4.39. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q ₅₀).	129
Figura 4.40. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q ₇₅).	130

Figura 4.41. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q ₉₀).	131
Figura 4.42. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q ₉₅).	132
Figura 4.43. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q _{7,10}).	133
Figura 4.44. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q ₁₀).	136
Figura 4.45. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q ₂₅).	137
Figura 4.46. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q ₅₀).	138
Figura 4.47. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q ₇₅).	139
Figura 4.48. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q ₉₀).	140
Figura 4.49. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q ₉₅).	141
Figura 4.50. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q _{7,10}).	142
Figura 4.51. Modelagem de qualidade (nitrato – Q ₁₀).	144
Figura 4.52. Modelagem de qualidade (nitrato – Q ₂₅).	145
Figura 4.53. Modelagem de qualidade (nitrato – Q ₅₀).	146
Figura 4.54. Modelagem de qualidade (nitrato – Q ₇₅).	147
Figura 4.55. Modelagem de qualidade (nitrato – Q ₉₀).	148
Figura 4.56. Modelagem de qualidade (nitrato – Q ₉₅).	149
Figura 4.57. Modelagem de qualidade (nitrato – Q _{7,10}).	150
Figura 4.58. Modelagem de qualidade (alumínio – Q ₁₀).	152
Figura 4.59. Modelagem de qualidade (alumínio – Q ₂₅).	153
Figura 4.60. Modelagem de qualidade (alumínio – Q ₅₀).	154
Figura 4.61. Modelagem de qualidade (alumínio – Q ₇₅).	155
Figura 4.62. Modelagem de qualidade (alumínio – Q ₉₀).	156
Figura 4.63. Modelagem de qualidade (alumínio – Q ₉₅).	157
Figura 4.64. Modelagem de qualidade (alumínio – Q _{7,10}).	158
Figura 4.65. Modelagem de qualidade (manganês – Q ₁₀).	160
Figura 4.66. Modelagem de qualidade (manganês – Q ₂₅).	161
Figura 4.67. Modelagem de qualidade (manganês – Q ₅₀).	162
Figura 4.68. Modelagem de qualidade (manganês – Q ₇₅).	163
Figura 4.69. Modelagem de qualidade (manganês – Q ₉₀).	164
Figura 4.70. Modelagem de qualidade (manganês – Q ₉₅).	165
Figura 4.71. Modelagem de qualidade (manganês – Q _{7,10}).	166
Figura 4.72. Análise de conformidade de DBO para a UP1.	169

Figura 4.73. Análise de conformidade de OD para a UP1.....	169
Figura 4.74. Análise de conformidade de coliformes para a UP1.....	169
Figura 4.75. Análise de conformidade de fósforo total para a UP1.....	169
Figura 4.76. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP1.	170
Figura 4.77. Análise de conformidade de nitrato para a UP1.	170
Figura 4.78. Análise de conformidade de alumínio para a UP1.....	170
Figura 4.79. Análise de conformidade de manganês para a UP1.....	170
Figura 4.80. Análise de conformidade de DBO para a UP2.....	171
Figura 4.81. Análise de conformidade de OD para a UP2.	171
Figura 4.82. Análise de conformidade de coliformes para a UP2.	171
Figura 4.83. Análise de conformidade de fósforo total para a UP2.....	171
Figura 4.84. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP2.	172
Figura 4.85. Análise de conformidade de nitrato para a UP2.	172
Figura 4.86. Análise de conformidade de alumínio para a UP2.....	172
Figura 4.87. Análise de conformidade de manganês para a UP2.....	172
Figura 4.88. Análise de conformidade de DBO para a UP3.....	173
Figura 4.89. Análise de conformidade de OD para a UP3.....	173
Figura 4.90. Análise de conformidade de coliformes para a UP3.....	173
Figura 4.91. Análise de conformidade de fósforo total para a UP3.....	173
Figura 4.92. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP3.	174
Figura 4.93. Análise de conformidade de nitrato para a UP3.	174
Figura 4.94. Análise de conformidade de alumínio para a UP3.....	174
Figura 4.95. Análise de conformidade de manganês para a UP3.....	174
Figura 4.96. Análise de conformidade de DBO para a UP4.....	175
Figura 4.97. Análise de conformidade de OD para a UP4.....	175
Figura 4.98. Análise de conformidade de coliformes para a UP4.....	175
Figura 4.99. Análise de conformidade de fósforo total para a UP4.....	175
Figura 4.100. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP4.	176
Figura 4.101. Análise de conformidade de nitrato para a UP4.	176
Figura 4.102. Análise de conformidade de alumínio para a UP4.....	176
Figura 4.103. Análise de conformidade de manganês para a UP4.....	176
Figura 4.104. Análise de conformidade de DBO para a UP5.....	177

Figura 4.105. Análise de conformidade de OD para a UP5.....	177
Figura 4.106. Análise de conformidade de coliformes para a UP5.	177
Figura 4.107. Análise de conformidade de fósforo total para a UP5.....	177
Figura 4.108. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP5.	178
Figura 4.109. Análise de conformidade de nitrato para a UP5.	178
Figura 4.110. Análise de conformidade de alumínio para a UP5.....	178
Figura 4.111. Análise de conformidade de manganês para a UP5.....	178
Figura 4.112. Análise de conformidade de DBO para a UP6.....	179
Figura 4.113. Análise de conformidade de OD para a UP6.....	179
Figura 4.114. Análise de conformidade de coliformes para a UP6.	180
Figura 4.115. Análise de conformidade de fósforo total para a UP6.....	180
Figura 4.116. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP6.	180
Figura 4.117. Análise de conformidade de nitrato para a UP6.	180
Figura 4.118. Análise de conformidade de alumínio para a UP6.....	180
Figura 4.119. Análise de conformidade de manganês para a UP6.....	180
Figura 4.120. Análise de conformidade de DBO para a UP7.....	181
Figura 4.121. Análise de conformidade de OD para a UP7.....	181
Figura 4.122. Análise de conformidade de coliformes para a UP7.	182
Figura 4.123. Análise de conformidade de fósforo total para a UP7.....	182
Figura 4.124. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP7.	182
Figura 4.125. Análise de conformidade de nitrato para a UP7.	182
Figura 4.126. Análise de conformidade de alumínio para a UP7.....	182
Figura 4.127. Análise de conformidade de manganês para a UP7.....	182
Figura 4.128. Mapa do ICE para cada ponto analisado na BHPS.	186
Figura 4.129. Frequência de resultados do ICE para cada UP.....	187
Figura 4.130. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q ₁₀	190
Figura 4.131. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q ₂₅	191
Figura 4.132. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q ₅₀	192
Figura 4.133. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q ₇₅	193
Figura 4.134. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q ₉₀	194
Figura 4.135. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q ₉₅	195
Figura 4.136. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q _{7,10}	196

Figura 4.137. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q_{10} .	197
Figura 4.138. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q_{25} .	198
Figura 4.139. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q_{50} .	199
Figura 4.140. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q_{75} .	200
Figura 4.141. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q_{90} .	201
Figura 4.142. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q_{95} .	202
Figura 4.143. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a $Q_{7,10}$.	203
Figura 4.144. Análise de conformidade da pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q_{90} .	207
Figura 4.145. Análise de conformidade da pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q_{95} .	208
Figura 4.146. Análise de conformidade da pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a $Q_{7,10}$.	209
Figura 4.144. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (DBO – Q_{95}).	211
Figura 4.145. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (DBO – Q_{95}).	212
Figura 4.146. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (OD – Q_{95}).	213
Figura 4.147. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (OD – Q_{95}).	214
Figura 4.148. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (coliformes – Q_{95}).	215
Figura 4.149. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (coliformes – Q_{95}).	216
Figura 4.150. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (fósforo total – Q_{95}).	217
Figura 4.151. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (fósforo total – Q_{95}).	218
Figura 4.152. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (nitrogênio amoniacal – Q_{95}).	219
Figura 4.153. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (nitrogênio amoniacal – Q_{95}).	220
Figura 4.154. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (nitrato – Q_{95}).	221
Figura 4.155. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (nitrato – Q_{95}).	222

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Segmentos por UP.....	28
Tabela 3.1. Relação das cargas <i>per capita</i> no efluente doméstico dos parâmetros avaliados.....	68
Tabela 3.2. Cargas unitárias de poluentes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) por tipo de uso do solo (valores entre parênteses são médios).	69
Tabela 3.3 Reclassificação das classes de uso do solo para metodologia.	70
Tabela 3.4. Descrição dos coeficientes de transformação dos parâmetros do modelo.	74
Tabela 3.5. Pontos de monitoramento na BHPS.	76
Tabela 3.6. Reservatórios indicados para análise de influência na qualidade d'água do corpo hídrico.	78
Tabela 4.1. Avaliação do reservatório Paraibuna Paraitinga.	98
Tabela 4.2. Avaliação do reservatório Santa Branca.	99
Tabela 4.3. Avaliação do reservatório Jaguari.	99
Tabela 4.4. Avaliação do reservatório Funil.	100
Tabela 4.5. Avaliação da Lagoa da Turfeira.	100
Tabela 4.6. Categorias de interpretação do ICE.....	184
Tabela 4.7. Parâmetros removidos no conjunto reduzido (75%) para cada vazão.	205

LISTA DE SIGLAS

SIGLA	DESCRIPTIVO
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
BHPS	Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CBH	Comitê da Bacia Hidrográfica
CBH R2R	Comitê de Bacia da Região Hidrográfica do Rio Dois Rios
CBH-BPSI	Comitê de Bacia da Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana
CBH-MPS	Comitê da Bacia da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul
CBH-Piabanha	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto
CBH-PS	Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul
CBH-PS1	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna
CBH-PS2	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba-Muriaé
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEPTA	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Peixes Continentais
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CNUC	Cadastro Nacional de Unidades de Conservação
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EDH-PS	Estudo de Disponibilidades Hídricas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
GT	Grupo de Trabalho
HGE	Hidrologia de Grande Escala
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDE-SISEMA	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IEH	Índice de Estresse Hídrico
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas

SIGLA	DESCRIPTIVO
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
MG	Minas Gerais
OD	Oxigênio Dissolvido
PAN	Plano de Ação Nacional
PIRH-PS	Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PT	Fósforo Total
RJ	Rio de Janeiro
SGB/CPRM	Serviço Geológico do Brasil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SP	São Paulo
UC	Unidade de Conservação
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UP	Unidade de Planejamento

APRESENTAÇÃO

O presente documento visa atender aos preceitos estipulados pelo Contrato Nº 024/2023/AGEVAP firmado entre a empresa Água e Solo Estudos e Projetos LTDA (CNPJ: 02.563.448/0001-49) e a Contratante Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul – AGEVAP (CNPJ: 05.442.000/0001-01) referente ao projeto **“CONTRATAÇÃO DE EMPRESA ESPECIALIZADA PARA ELABORAÇÃO DA ETAPA TÉCNICO-PROPOSITIVA PARA A CONSTRUÇÃO DO ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL, NA FORMA DE SEU ANEXO I – ATO CONVOCATÓRIO E TERMO DE REFERÊNCIA”**.

O presente documento, intitulado “Modelagem da Situação Atual” (Produto 3), contempla detalhadamente a modelagem de qualidade da água do cenário atual, a partir dos dados coletados e aprovados na etapa anterior de Diagnóstico.

1 Introdução

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é orientada por princípios da descentralização, da participação social e do planejamento integrado, conforme previsto na Lei Federal nº 9.433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Entre os seus instrumentos, destaca-se o enquadramento dos corpos de água em classes, que visa assegurar padrões de qualidade compatíveis com os usos mais exigentes da água, além de orientar ações de controle da poluição e de ordenamento do uso e ocupação do solo.

O enquadramento é um dos instrumentos centrais para a efetivação da gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos. Ele orienta o planejamento das ações públicas e privadas, define prioridades de investimento, e serve como referência para a emissão de outorgas, o licenciamento ambiental e a fiscalização. Em regiões como a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHPS), marcadas por múltiplos usos e crescente pressão sobre os recursos hídricos, a definição de metas de qualidade torna-se essencial para conciliar os interesses setoriais e promover a melhoria contínua das condições ambientais.

O PIRH-PS (Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul) (CEIVAP, 2021) apresentou diretrizes e matrizes de enquadramento preliminares para serem discutidas e analisadas em momentos posteriores à sua conclusão. Desta forma, o escopo da proposta de enquadramento para o rio Paraíba do Sul foi dividido em duas etapas:

- **Etapla técnico-propositiva**, subsídios técnicos necessários para construção de diferentes propostas de enquadramento, detalhadas com base nos usos atuais e pretensos, bem como metas intermediárias e o orçamento necessário para atingir o enquadramento desejado; e
- **Etapla político-institucional**, processo de discussão e pactuação para a seleção da alternativa de enquadramento pelo comitê, segundo critérios técnicos, econômicos, sociais e políticos, bem como a elaboração do programa de efetivação.

O presente projeto tem como objeto a construção da **etapla técnico-propositiva do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul**. Os principais objetivos são: avaliar a condição atual da bacia, conhecer os principais e atuais usos da água, identificar os usos desejados, definir diferentes cenários

futuros e construir alternativas de enquadramento com suas estimativas de ações, custos, metas finais e intermediárias.

Este relatório integra o **Produto 3** do projeto. Seu objetivo é apresentar a modelagem da situação atual da qualidade da água, de modo a subsidiar, com embasamento técnico robusto, a definição das propostas de metas de enquadramento a serem discutidas nas etapas seguintes. Nos próximos capítulos, são detalhados os métodos utilizados, as análises de balanço hídrico e qualidade da água, a construção da matriz de enquadramento e os resultados consolidados por Unidade de Planejamento (UP), fornecendo os insumos necessários para o processo decisório que se seguirá.

As etapas de trabalho, conforme a organização dos itens a serem executados, estão apresentadas a seguir em formato de fluxograma pela Figura 1.1, em destaque a etapa a qual se refere este produto.

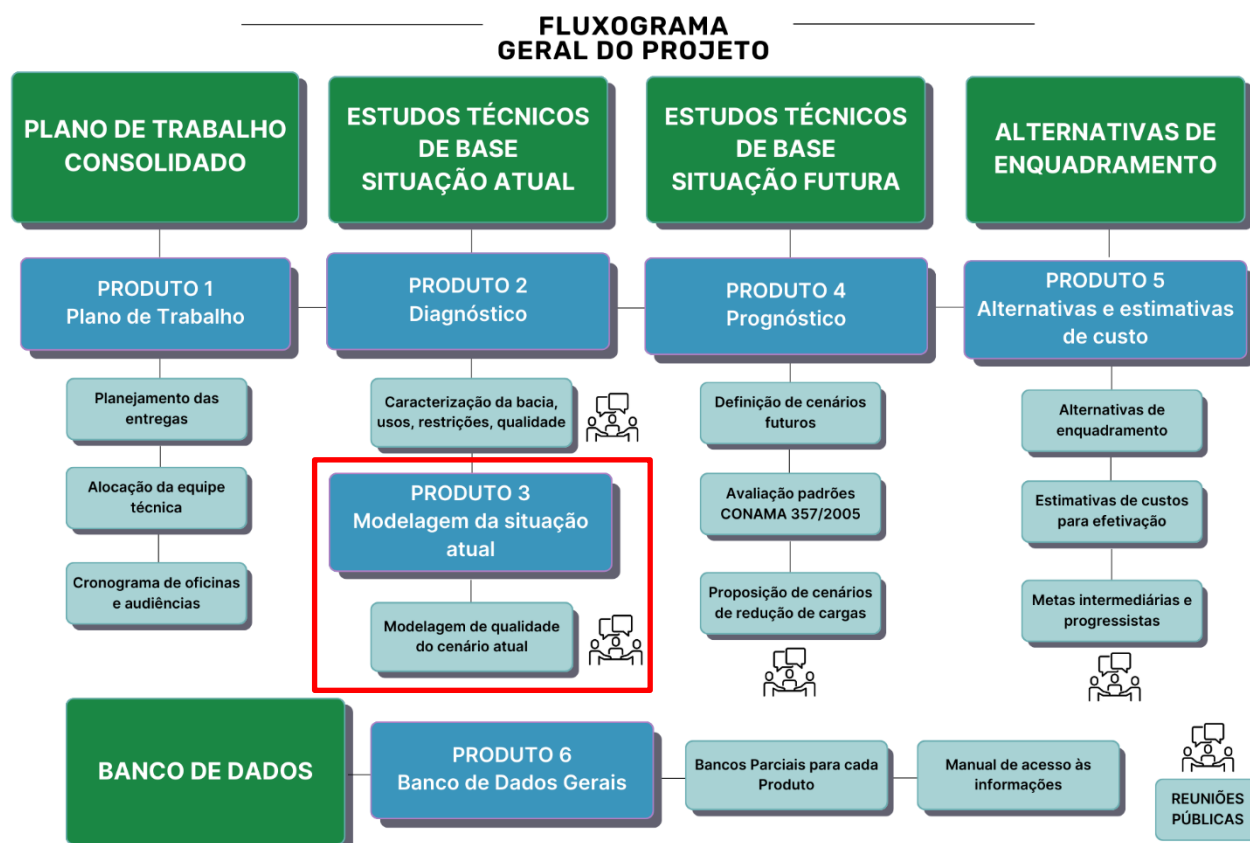


Figura 1.1. Fluxograma dos produtos a serem entregues.

2 Segmentação dos trechos de rios

Este capítulo apresenta os aspectos metodológicos considerados na proposta de segmentação da hidrografia da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (BHPS), no contexto do Enquadramento dos corpos de água da bacia.

2.1 Metodologia

Nas indicações metodológicas do Termo de Referência é informado que o ponto de partida para a definição dos trechos a serem utilizados para a elaboração do enquadramento são os 154 trechos definidos pelo Produto Parcial 4.2 – Diretrizes para os Instrumentos de Gestão (CEIVAP, 2019). O Termo de Referência também define que devem ser consideradas as informações:

- hidrografia principal;
- presença de unidades de conservação (UCs);
- presença de áreas urbanas;
- dominialidade do curso d'água;
- limites de Estados;
- limites de UPs;
- presença de cargas poluidoras;
- uso do solo;
- mudanças marcantes na qualidade da água atual; e
- presença de pontos de monitoramento.

A partir da segmentação existente e de uma série de bases de dados, foi elaborada uma proposta de segmentação apresentada em reuniões com os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs), visando colher subsídios e contribuições para a consolidação da proposta de segmentação.

Para a segmentação da rede hidrográfica foram consideradas como dados de entrada bases de dados que permitiram a análise dos usos, restrições de usos e potenciais fontes de poluição. Foram considerados os seguintes dados sobre os quais foi analisada a necessidade de segmentação dos trechos:

- **Limites das Unidades da Federação e Limites Municipais:** Dados fornecidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e limites municipais recortados com a ferramenta *clip* de acordo com os limites das UPs. Fonte: IBGE (2010);
- **Raster de Uso e Ocupação do Solo:** Uso do solo Mapbiomas, recortado para a área do projeto em SIRGAS 2000. Fonte: Mapbiomas (2023);
- **Limites da Bacia Hidrográfica Paraíba do Sul.** Fonte: CEIVAP (Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul) (2021);
- **Hidrografia BHO6 5K:** Classificação conforme Strahler, classificação no campo *nustrahler*. Fonte: ANA (2022);
- **Áreas de Massas de Água.** Fonte: ANA (2020);
- **Unidades de Planejamento.** Fonte: PIRH (2021);
- **Cargas Remanescentes de Esgoto Sanitário:** Dados de DBO, Coliformes, Fósforo Orgânico e Inorgânico, Nitrogênio Orgânico e Amoniacal, conforme o Atlas de Esgoto. Fonte: ANA (2019);
- **Lançamentos de efluentes industriais:** Cadastrados pelos órgãos gestores estaduais. Fonte: IGAM (2022), ANA (2023) e INEA (2023);
- **Lançamento de efluentes domésticos:** Localização conforme Atlas de Esgoto. Fonte: ANA (2019);
- **Pontos de Monitoramento:** Geridos por ANA, SGB/CPRM (Serviço Geológico do Brasil), CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), IGAM e INEA. Fonte: CBH Piabanha (2023), CBH MPS (2023), CETESB (2023), IGAM (2023), INEA (2023);
- **Usos de Água Consuntivos e não consuntivos:** Conforme outorgas dos órgãos gestores e oficinas participativas. Fonte: DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) (2023), IGAM (2023), CNARH (2023), INEA (2023) e oficinas (2023);
- **Pontos de Captação de Água:** Atlas Águas. Fonte: ANA (2021);
- **Áreas Quilombolas e Terras Indígenas:** *Shapefiles* disponibilizados por INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e FUNAI (Fundação Nacional dos Povos Indígenas). Fonte: INCRA (2024) e FUNAI (2023);
- **Áreas prioritárias disponibilizadas pelo Núcleo PANs ICMBio/CEPTA** (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Peixes Continentais). Fonte: ICMBIO (2023);

- **Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável.** Dados do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) e do ICMBio de UCs presentes na área do projeto. Fonte: CNUC (2023), ICMBio (2023), IDE-SISEMA-MG (Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) (2023), INEA-RJ (2023), SIGAM-FUNDAÇÃO FLORESTAL (2023);
- **Áreas Urbanizadas.** Fonte: IBGE (2019).

2.2 Critérios utilizados

Os principais critérios considerados foram (em ordem decrescente de prioridade):

1. UCs de Proteção Integral;
2. Lançamentos de esgoto;
3. Lançamentos industriais;
4. Captações;
5. Áreas urbanas;
6. UCs de Uso Sustentável;
7. Balneários;
8. Pecuária;
9. Outros usos
10. Presença de pontos de monitoramento¹;

A segmentação foi realizada a partir da hierarquização e integração dos dados descritos acima. A análise espacial foi conduzida utilizando a classificação *Strahler* da rede hidrográfica, partindo da segmentação inicial definida no PIRH-PS sobreposta à BHO6 5K filtrada com índice de *Strahler* ≥ 4 . Em casos de intervenções significativas, como grandes aglomerados urbanos ou UCs, a escala foi detalhada até *Strahler* 3, conforme necessário.

Como a bacia do Paraíba do Sul tem grandes dimensões e os critérios estabelecidos geram muitos pontos de intervenção, o processo de segmentação não é automatizado, pois isso geraria milhares de trechos. É necessário fazer uma identificação manual, “varrendo” a bacia considerando os critérios definidos como relevantes. Onde foi possível, por exemplo,

¹ A presença de pontos de monitoramento foi considerada, porém, não foi considerada como determinante. Entende-se que quando um trecho é considerado prioritário, mesmo que não seja monitorado, deve ser segmentado e seu monitoramento deve ser proposto na fase propositiva do processo de Enquadramento.

identificar uma concentração maior de pontos de lançamento, de captação, ou outra intervenção relevante, foi definida a segmentação daquele trecho.

Com base nos usos identificados recebidos, foi realizada uma relação entre os usos e adequabilidade das classes de qualidade atual com base no conteúdo na Resolução CONAMA N° 357/2005 (CONAMA, 2025).

Ressalta-se que esta **não é uma previsão para o enquadramento dos cursos hídricos**, mas sim uma diretriz para realizar a segmentação do trecho já prevendo a necessidade de enquadramento baseada nos seus usos, e uma identificação dos usos mais exigentes e a ocorrência de potenciais conflitos com atividades poluidoras. Por exemplo, se há um ponto de contato primário com a água, já prevendo a necessidade de se enquadrar este trecho de rio em classe 2, segmenta-se esse trecho, para garantir que no momento de definir as classes de Enquadramento seja possível avaliá-lo separadamente.

Trechos dentro de UCs de Proteção Integral foram priorizados na segmentação, devido ao impacto direto no enquadramento, que deve ser classificada como classe especial. UCs de Uso Sustentável também foram consideradas, porém, sem a mesma prioridade que as de Proteção Integral.

Proximidade às captações e lançamentos também foi um critério priorizado. A segmentação levou em conta a localização de captações a jusante de lançamentos de esgoto e indústrias, especialmente em áreas urbanas densas. Neste caso há uma interface importante entre lançamentos e áreas urbanas (que tendem a piorar a qualidade), captações (que exigem classe 2 ou 1) e UCs de PI (que exigem classe especial). Pontos onde há presença de intervenções com efeitos divergentes (lançamentos e UCs) são especialmente importantes de serem segmentados, pois sinalizam possibilidade de conflitos de usos. O rio Paraíba do Sul passa por diversas áreas onde há zonas urbanas e UCs de proteção integral muito próximas, ou áreas urbanas dentro de UCs de uso sustentável.

Considerando estes critérios principais - UCs de Proteção Integral, lançamentos de esgoto, lançamentos industriais, captações e áreas urbanas -, a bacia foi analisada visualmente, sendo identificada a presença destes elementos, e principalmente a presença de elementos divergentes, sendo dada especial atenção para segmentos contendo estes conflitos.

Também foi identificada presença de pecuária, que tem o potencial de gerar carga difusa, mais difícil de identificar que os lançamentos, mas que impacta na qualidade da água; e a presença de balneários, onde o contato primário com a água também gera a necessidade de classes mais exigentes.

Em resumo, a definição dos segmentos foi pautada principalmente pela presença de UCs, áreas urbanas, captações de água, lançamento de efluentes, contato humano primário, grandes concentrações de usos e pecuária.

2.3 Oficinas de trabalho com os CBHs afluentes

Para contribuição ao processo de segmentação dos trechos para o enquadramento, foram realizadas sete oficinas, uma com cada comitê afluente responsável pelas sete UPs da BHPS, nos meses de agosto e setembro de 2024:

- UP1 - Paraíba do Sul - Trecho paulista no dia 10 de setembro;
- UP2 - Rios Preto e Paraibuna no dia 21 de agosto;
- UP3 - Rios Pomba e Muriaé no dia 22 de agosto;
- UP4 - Médio Paraíba do Sul no dia 20 de agosto;
- UP5 - Piabonha no dia 19 de agosto;
- UP6 - Rio Dois Rios no dia 13 de agosto;
- UP7 - Baixo Paraíba do Sul no dia 15 de agosto.

Foram mobilizados todos os membros das plenárias dos CBHs, através dos contatos disponibilizados para comunicações. Foi elaborado convite do evento e material de apoio contendo as principais informações para contextualização da oficina. No total participaram 178 pessoas, entre representantes dos setores do poder público, usuários e sociedade civil.

Durante as reuniões foram apresentadas duas segmentações para a UP: aquela apresentada ao final do PIRH-PS (2021) e a proposta para a construção da etapa técnico-propositiva do enquadramento atual. As oficinas tiveram duração aproximada de duas horas, onde foi apresentada detalhadamente a segmentação proposta, com a manipulação dos *shapefiles* com as camadas de informações consideradas e da rede hidrográfica segmentada. Os participantes puderam, então, solicitar a inclusão de trechos e critérios aos técnicos da equipe responsáveis pela segmentação. A seguir será apresentado resumo das contribuições trazidas durante as oficinas:

UP1 – Paraíba do Sul (trecho paulista) - 10/09/24

- Inclusão da nascente do rio do Peixe;
- Inclusão dos rios Araraquara, Piracuma, ribeirão Grande, ribeirão Guaratinguetá, rio Piagui, ribeirão das Motas, ribeirão São Gonçalo, ribeirão Água Limpa e ribeirão das Oliveiras;
- Avaliar a inclusão do Parque Natural Municipal do Trabiçu de Pindamonhangaba (enviado secretaria). O parque foi incluído na base de dados geográfica das UCs, mas não possui segmentos no seu interior;
- Avaliar documento do zoneamento do reservatório Jaguari (não foi enviada resposta pela secretaria).

UP2 – PS1 – Preto-Paraibuna - 21/08/24

- Inclusão do córrego da represa São Pedro;
- Inclusão do rio Santana;
- Inclusão do rio Conceição;
- Inclusão do rio Caguincho;
- Avaliação do Plano Estadual de Segurança Hídrica no que diz respeito às áreas prioritárias;
- Avaliação da DN COPAM nº 16/1996.

UP3 – PS2 – Pomba e Muriaé - 22/08/24

- Deverá ser realizada avaliação do Plano Estadual de Segurança Hídrica no que diz respeito às áreas prioritárias.

UP4 – Médio Paraíba do Sul - 20/08/24

- Sugestão de inclusão do rio Alambari, do corpo hídrico que deságua na represa do Funil;
- Inclusão do rio/córrego Carioca, que passa pelo bairro da Siderlândia, em Barra Mansa, e deságua no rio Bananal. Necessária devido à passagem próximo à uma CTR (Central de Tratamento de Resíduos);

- Avaliar possibilidade de divisão do rio Preto;
- Divisão do trecho 88 antes do município de Resende.

UP5 – Piabanha - 19/08/24

- Foi realizada discussão sobre o Alto Piabanha, que será foco de contratação específica demandada pelo CBH;
- Foi definido que não será retirado o trecho na modelagem, mas não será dada alternativa de enquadramento para o trecho, deixando isso a cargo do CBH.

UP6– Rio Dois Rios - 13/08/24

- Inclusão do rio Cônego, córrego Santa Teresa e córrego do Sossego;
- Incluir cabeceira do rio Macuco;
- Incluir avaliação das AIPMs (Áreas de Interesse para Proteção de Mananciais);
- Incluir cabeceira do rio do Colégio.

UP7 – Baixo Paraíba do Sul - 15/08/24

- Proposta de segmentação já considerou inclusão de trechos na parte baixa da bacia que não estavam no PIRH-PS, o que foi bem avaliado pelo CBH;
- Inclusão do canal Coqueiros e Antônio Resende (impossibilitada pela falta de inclusão na rede hidrográfica);
- Divisão do rio Imbé, dividido à alteração de uso da parte alta e baixa.

Ao final de cada oficina foram disponibilizados os dados para solicitações adicionais com prazo de 10 dias para alterações na segmentação proposta.

A partir da segmentação proposta e das contribuições das oficinas foi definida a segmentação para as sete UPs da BHPS, apresentada no capítulo a seguir. É apresentada uma breve descrição de cada UP, com os critérios considerados, uma comparação da segmentação apresentada no PIRH-PS e a revisão da segmentação apresentada no atual processo de Enquadramento.

Ao final de cada subcapítulo é apresentado um mapa detalhado da segmentação da UP, com a rede hidrográfica e alguns critérios principais considerados.

2.4 Segmentação proposta

Os critérios e análise considerados resultaram na segmentação de 600 trechos para a BHPS e principais afluentes, apresentados na Tabela 2.1. Ressalta-se que, conforme já discutido e alertado durante as reuniões com atores e GT (Grupo de Trabalho), a segmentação proposta poderá ser adequada na fase de modelagem e cenarização.

Tabela 2.1. Segmentos por UP.

UP		Número de segmentos
1	Paraíba do Sul - Trecho paulista	102
2	Rios Preto e Paraibuna	112
3	Rios Pomba e Muriaé	129
4	Médio Paraíba do Sul	75
5	Piabanha	97
6	Rio Dois Rios	40
7	Baixo Paraíba do Sul	37
8	Sub-Bacia do Rio Pirai	8
Total		600

Destaca-se que o rio Paraíba do Sul está localizado, em alguns casos, na divisão entre duas UPs. Assim, a localização do trecho entre uma UP ou outra foi definida conforme apresentado nos mapas da segmentação proposta e pode ser observada entre as UPs 2, 3, 5, 6 e 7.

2.4.1 UP1 - Paraíba do Sul - Trecho paulista

A UP1 - Paraíba do Sul - Trecho paulista pertence ao estado de São Paulo e corresponde à UGRHI 02 na divisão hidrográfica do estado. É a UP mais a montante do rio Paraíba do Sul, onde está localizada sua nascente. Ela inclui como principais afluentes ao rio Paraíba do Sul, considerados para a segmentação, os rios Jacuí, Paraibuna, Bonito, Negro, Pirai, Parateí, Una, Paraitinga, Jaguari, Claro, Turvo e Bravo.

Esta UP é caracterizada por intensa urbanização ao longo da calha principal do rio Paraíba do Sul, cabendo destaque aos municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Pindamonhangaba, Aparecida, Guaratinguetá, Lorena, Cachoeira Paulista e Cruzeiro. Há outras zonas urbanas de maior área também concentradas nos rios Parateí e Jaguari, dos municípios de Igaratá e Santa Isabel.

A análise dos principais usos identificados na UP1, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH (Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos), o

lançamento de efluentes aparece com o maior número de cadastros e o maior volume anual. Segundo o banco de dados do DAEE (SP Águas), o maior número de cadastros também é do lançamento de efluentes, enquanto o uso com maior volume anual cadastrado é o abastecimento humano. Para fins de classificação de usos preponderantes mais restritivos, escopo da construção de alternativas de enquadramento no rio Paraíba do Sul, o maior volume cadastrado para abastecimento humano indica a necessidade de águas com boa qualidade para seu uso. Ao longo da calha principal, foram identificados usos que demandam qualidade elevada (classe 1 ou 2) combinados com usos que não demandam qualidade, mas que devem manter as condições de quantidade e qualidade dos recursos hídricos utilizados. Nas nascentes do rio Paraíba do Sul foram identificados usos cadastrados que necessitam de boa qualidade para sua manutenção (classe 2 ou 3), como a pesca amadora e o contato humano com água.

Em relação às UCs, destacam-se uma série de áreas na encosta da serra, mais ao norte da UP, a APA (Área de Proteção Ambiental) Bacia do Paraíba do Sul, a APA Serra da Mantiqueira, uma série de RPPNs, o Parque Estadual Mananciais de Campos do Jordão e o Parque Estadual da Serra do Mar.

Na Figura 2.1 está apresentada a segmentação proposta no PIRH-PS, e na Figura 2.2 a proposta no contexto deste projeto. A proposta original segmentava a UP em 40 trechos, e a revisão propôs uma segmentação em 102 trechos.

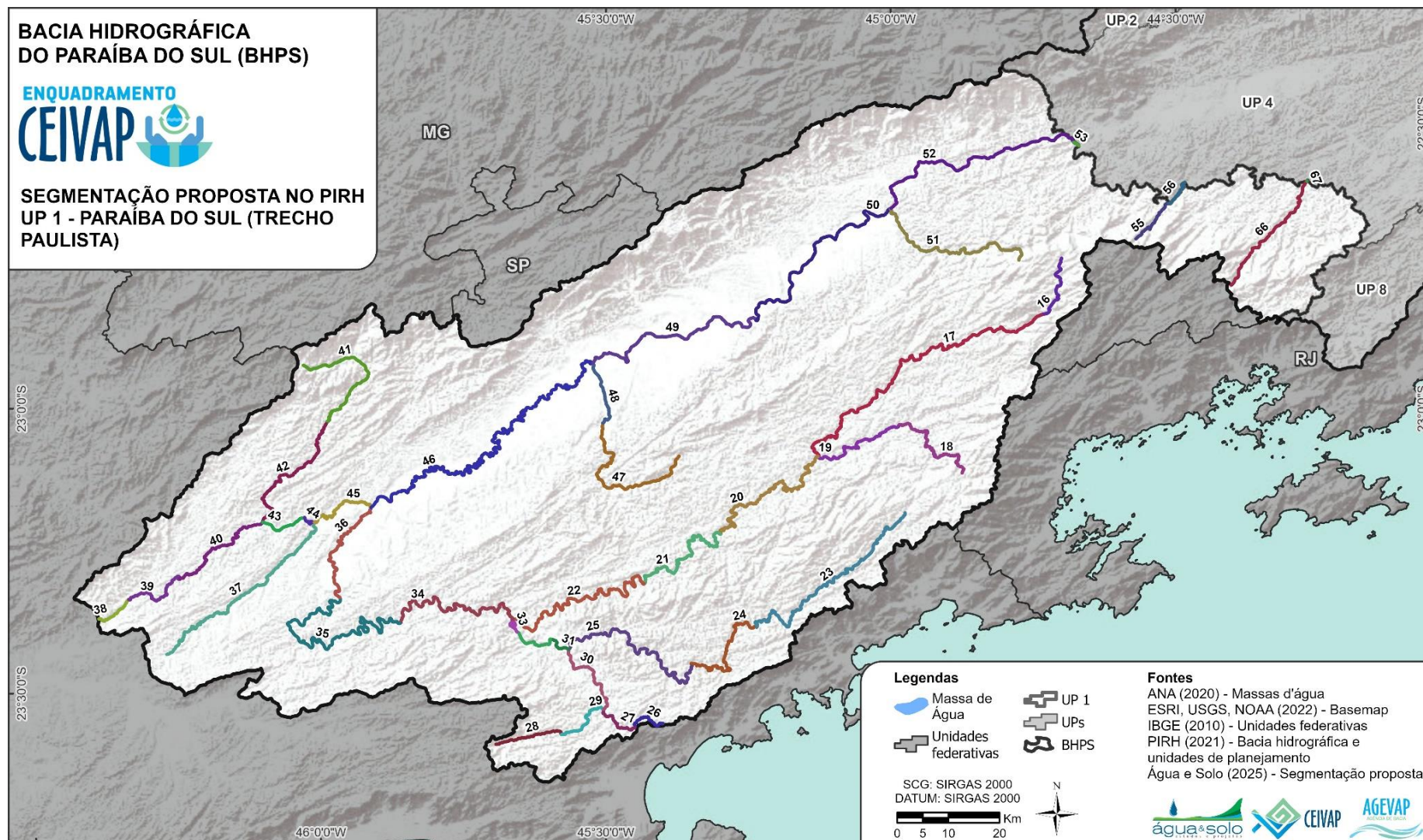


Figura 2.1. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP1 - Paraíba do Sul - Trecho Paulista.

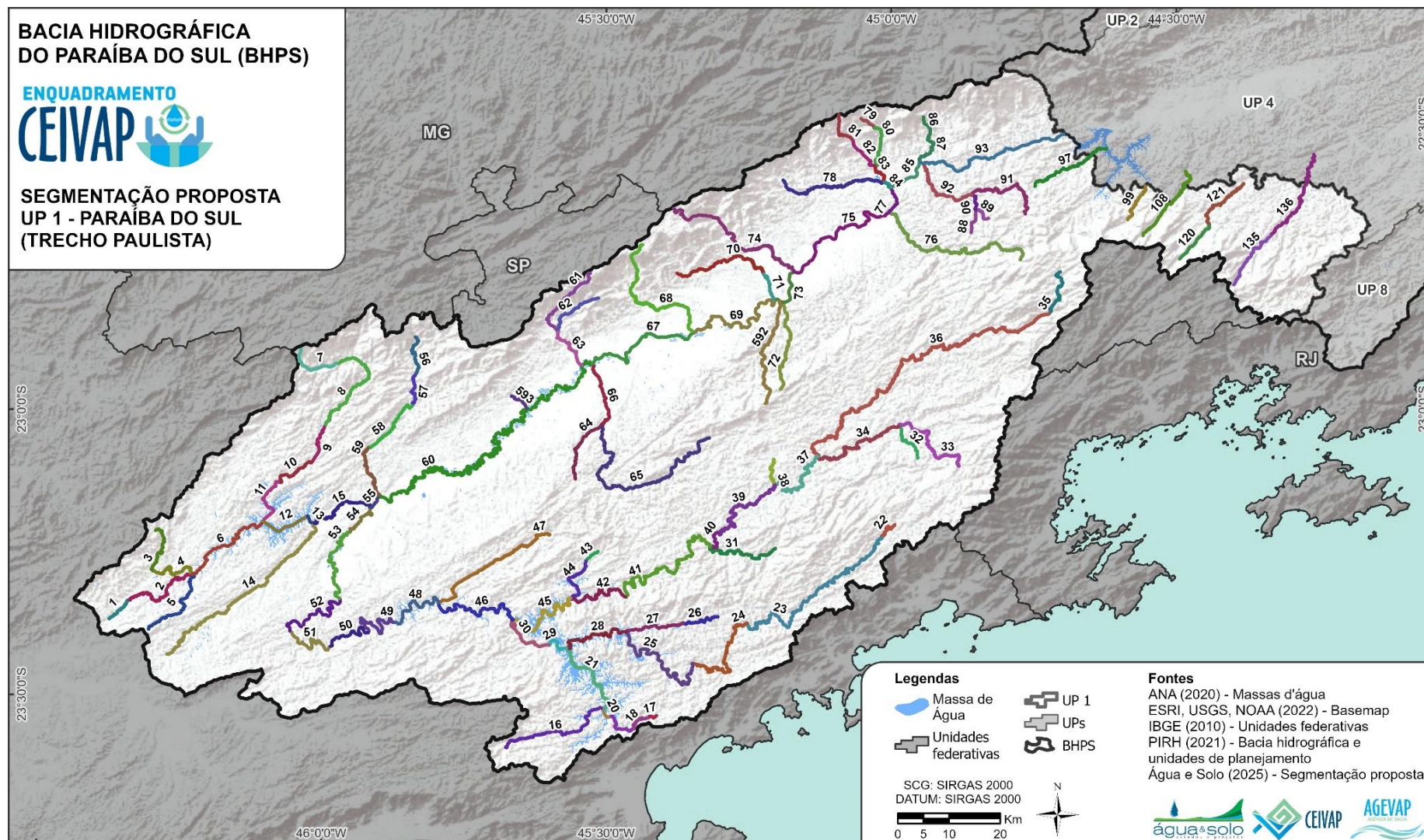


Figura 2.2. Segmentação proposta para a UP1 - Paraíba do Sul - Trecho Paulista.

2.4.2 UP2 - Rios Preto e Paraibuna

A UP2 - Rios Preto e Paraibuna pertence ao estado de Minas Gerais, e corresponde à bacia PS1 na divisão hidrográfica do estado. Ela é a bacia formada pelos afluentes da margem esquerda do rio Preto, cujos rios principais são o rio Paraibuna e o rio do Cágado. Outro afluente importante ao Paraibuna é o rio do Peixe, e afluentes menores também considerados na segmentação foram os rios Monte Verde ou Santa Bárbara, do Salto, Vermelho, Grão-Mogol, do Bananal e ribeirão dos Burros.

Esta UP é menos urbanizada que a UP1. A maior concentração se dá na região urbana de Juiz de Fora, enquanto os demais municípios possuem manchas urbanas menos expressivas, e a maior parte da bacia tem características rurais.

A análise dos principais usos identificados na UP2, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH e do IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), a mineração aparece com o maior número de cadastros, embora o maior volume anual seja referente ao abastecimento humano e o abastecimento para a indústria.

Assim como a mineração, o abastecimento para indústria deve manter a classe de qualidade de enquadramento ou na sua ausência, a classe existente conforme determina o Art. 42 da CONAMA 357/2005. O uso preponderante mais restritivo observado nesta UP é o abastecimento humano, que pode demandar qualidade da água elevada para sua utilização. Ainda, foram identificadas lacunas em diversos trechos da UP, principalmente na porção oeste, onde poucas informações sobre usos cadastrados são disponibilizadas. Os rios Preto e Paraibuna se destacam como os corpos hídricos com a maior quantidade de outorgas cadastradas, com usos que não demandam qualidade distribuídos ao longo dos seus eixos principais.

Em relação às UCs, destacam-se a APA Serra da Mantiqueira, o Parque Nacional do Itatiaia, o Parque Estadual Serra Negra da Mantiqueira, Parque Nacional da Ibitipoca e uma série de RPPNs.

A UP2 possui uma particularidade de já contar com uma segmentação de enquadramento em vigor, estabelecido pela Deliberação Normativa COPAM nº 016, de 24 de setembro de 1996. Esta DN foi o ponto de partida para a segmentação realizada, mas não se restringiu a ela. Foi proposta uma segmentação que contemplasse os principais trechos da bacia que pudessem ser simulados e analisados neste estudo.

Na Figura 2.3 está apresentada a segmentação proposta no PIRH-PS, e na Figura 2.4 a proposta no contexto deste projeto. A proposta original segmentava a UP em 19 trechos, e a revisão propôs uma segmentação em 112 trechos.

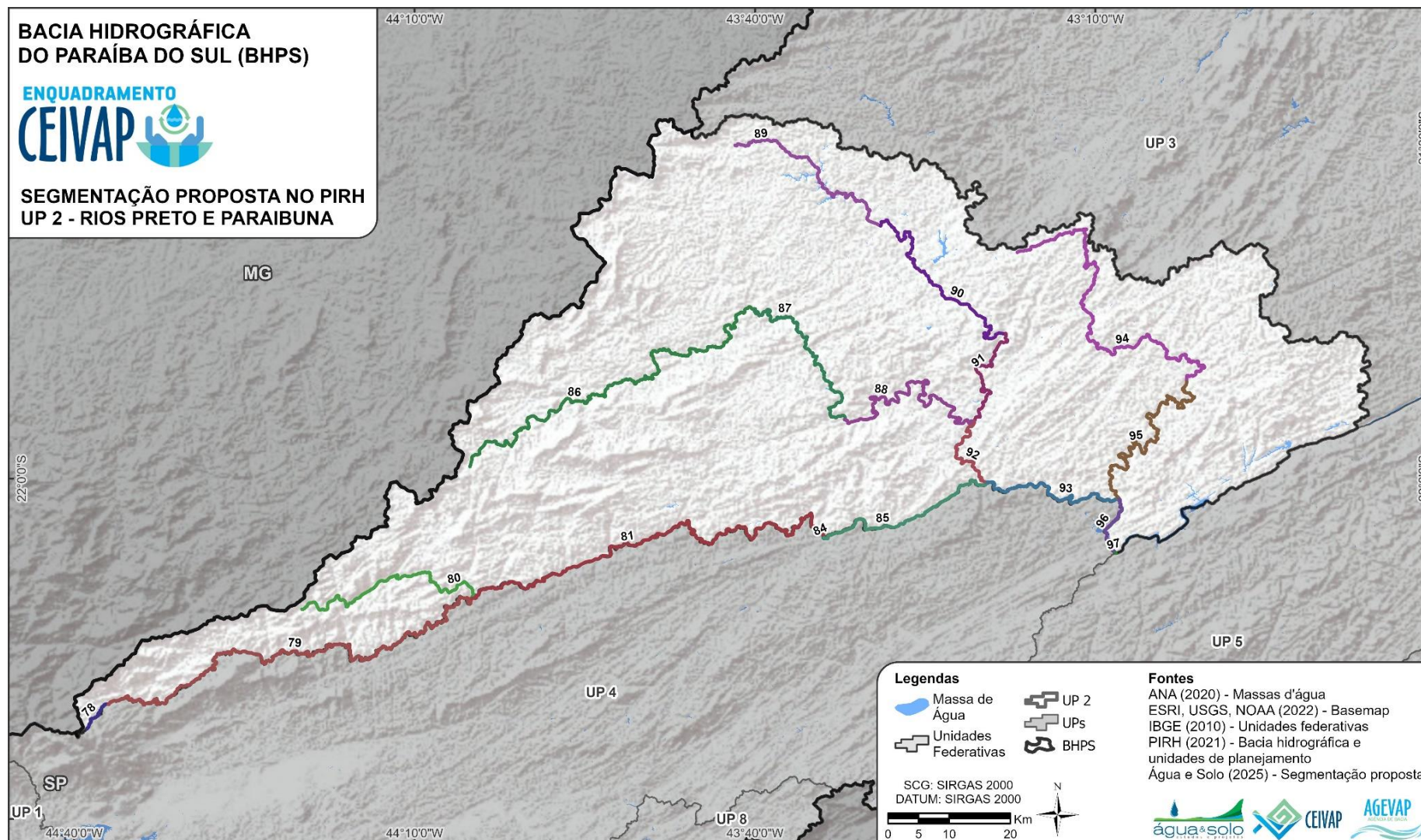


Figura 2.3. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP2 - Rios Preto e Paraibuna.

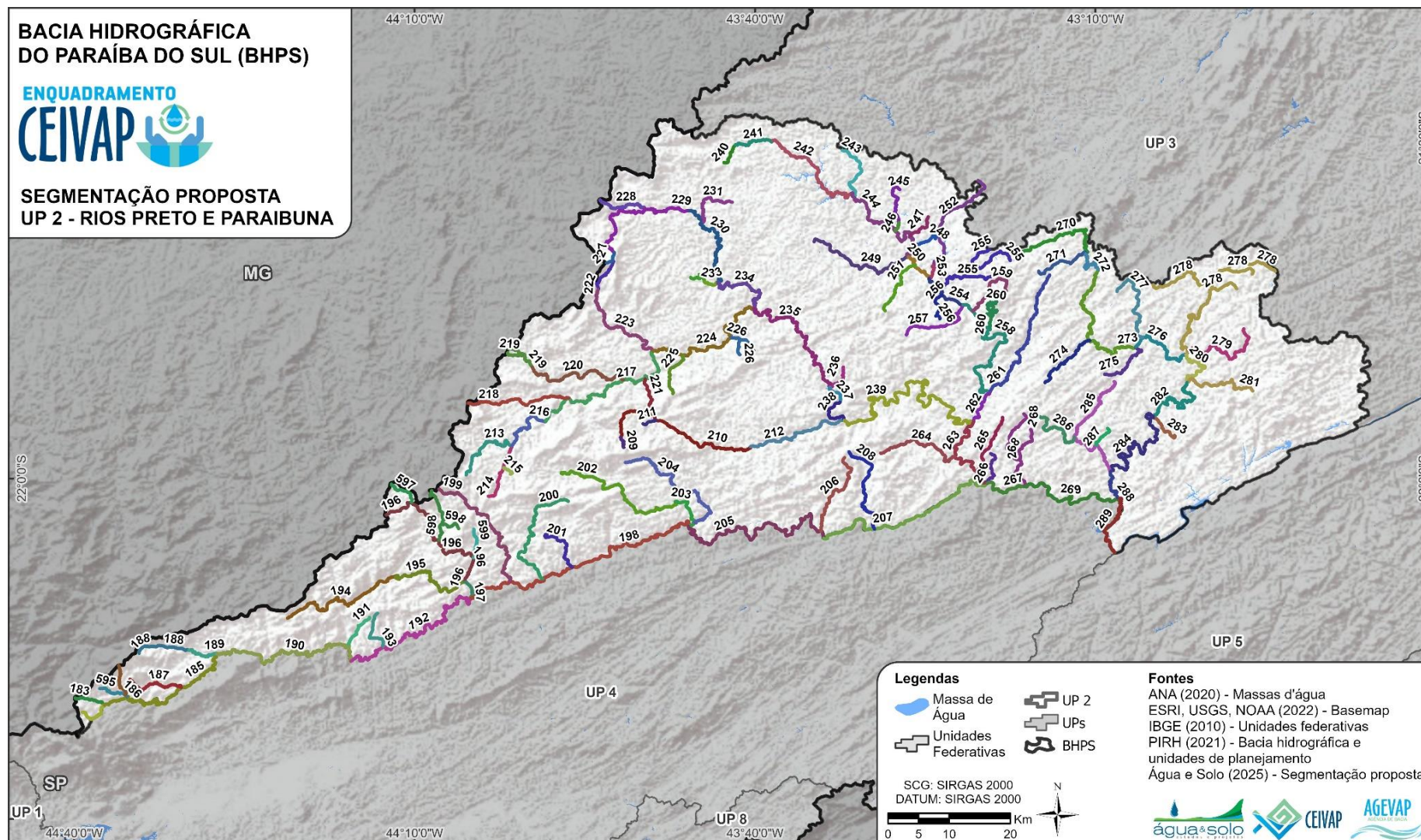


Figura 2.4. Segmentação proposta para a UP2 - Rios Preto e Paraibuna.

2.4.3 UP3 - Rios Pomba e Muriaé

A UP3 - Rios Pomba e Muriaé pertence ao estado de Minas Gerais, e corresponde à bacia PS2 na divisão hidrográfica do estado. Ela é a bacia formada pela parcela mineira de dois importantes afluentes do Paraíba do Sul, os rios Pomba e Muriaé. Ambos nascem no estado de Minas Gerais e correm para dentro do estado do Rio de Janeiro antes de afluir ao Paraíba do Sul. Além dos rios Pomba e Muriaé, a UP conta com outros rios importantes como o Angu e o Pirapetinga, ambos afluentes do Paraíba do Sul, os rios Gavião, Glória, Preto e Carangola, afluentes do Muriaé, e os rios Pardo, Preto, Novo, Xopotó, Paraopeba, Formoso, São Manoel e ribeirão Meia-Pataca, afluentes do Pomba.

Esta UP é a menos urbanizada da bacia do Paraíba do Sul, possuindo apenas três municípios com manchas urbanas mais expressivas: Ubá, Muriaé e Cataguases.

A análise dos principais usos identificados na UP3, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH, a mineração aparece com o maior número de cadastros, embora o maior volume anual seja referente ao abastecimento humano. Já segundo o banco de dados do IGAM, o maior número de cadastros recai sobre a irrigação, ao passo que o maior volume anual cadastrado é para abastecimento industrial. Usos como mineração e abastecimento industrial não demandam água de qualidade específica, sendo orientados a utilizar a água conforme sua qualidade disponível na fonte hídrica e manter sua qualidade após o uso. Ainda, foi observado um predomínio de usos que demandam água com boa qualidade no rio Pomba, com outros usos que não demandam qualidade sendo observados no seu trecho a jusante (próximo aos limites da UP). Em todas as cabeceiras observadas na UP há usos compatíveis com possíveis demandas elevadas de qualidade da água.

Em relação às UCs, destaca-se a presença de mais áreas localizadas ao norte da UP, como o Parque Nacional da Serra do Brigadeiro, a Estação Ecológica Estadual de Água Limpa e uma série de RPPNs e de APAs municipais.

Na Figura 2.5 está apresentada a segmentação proposta no PIRH-PS, e na Figura 2.6 a proposta no contexto deste projeto. A proposta original segmentava a UP em 33 trechos, e a revisão propôs uma segmentação em 129 trechos.

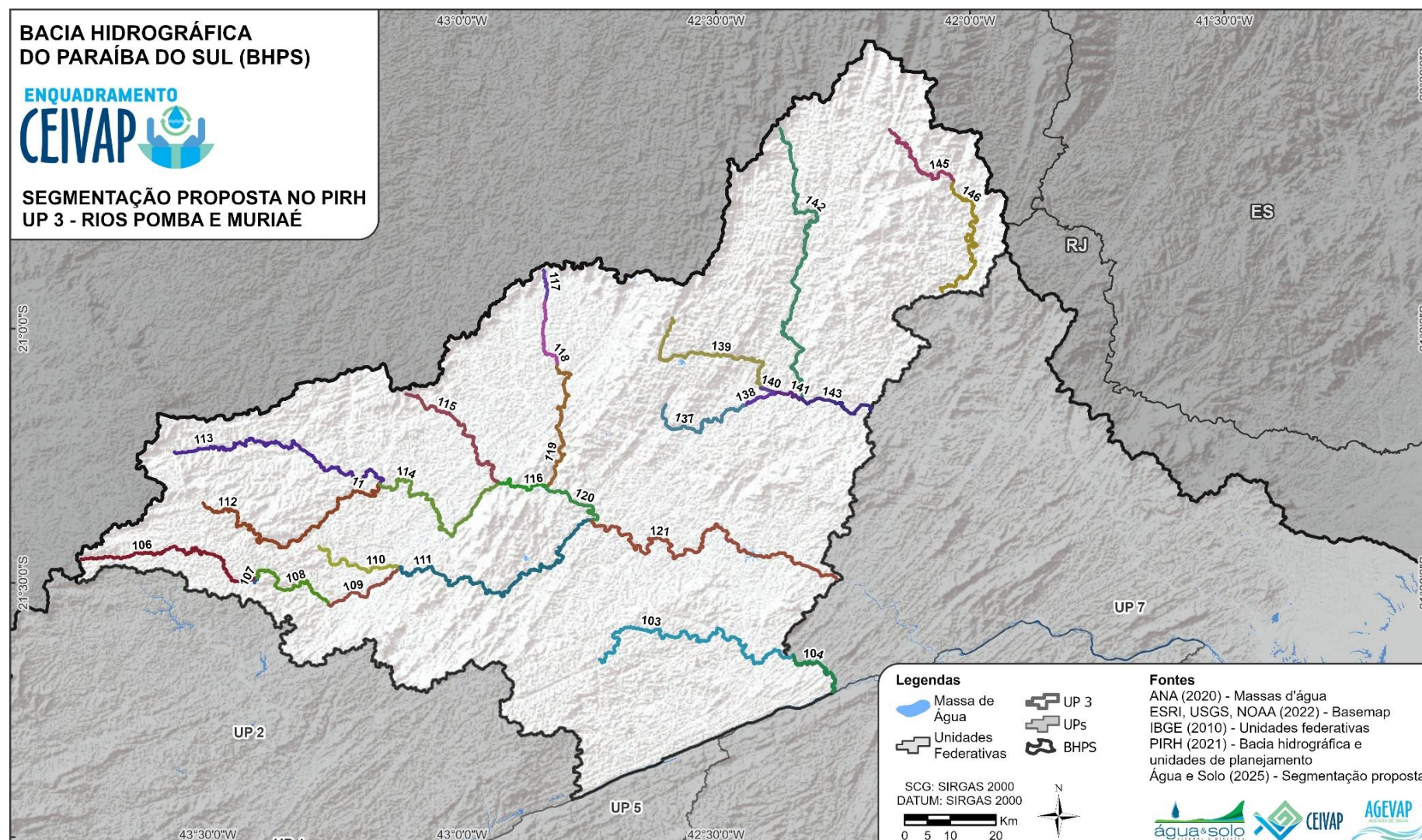


Figura 2.5. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP3 - Rios Pomba e Muriaé.

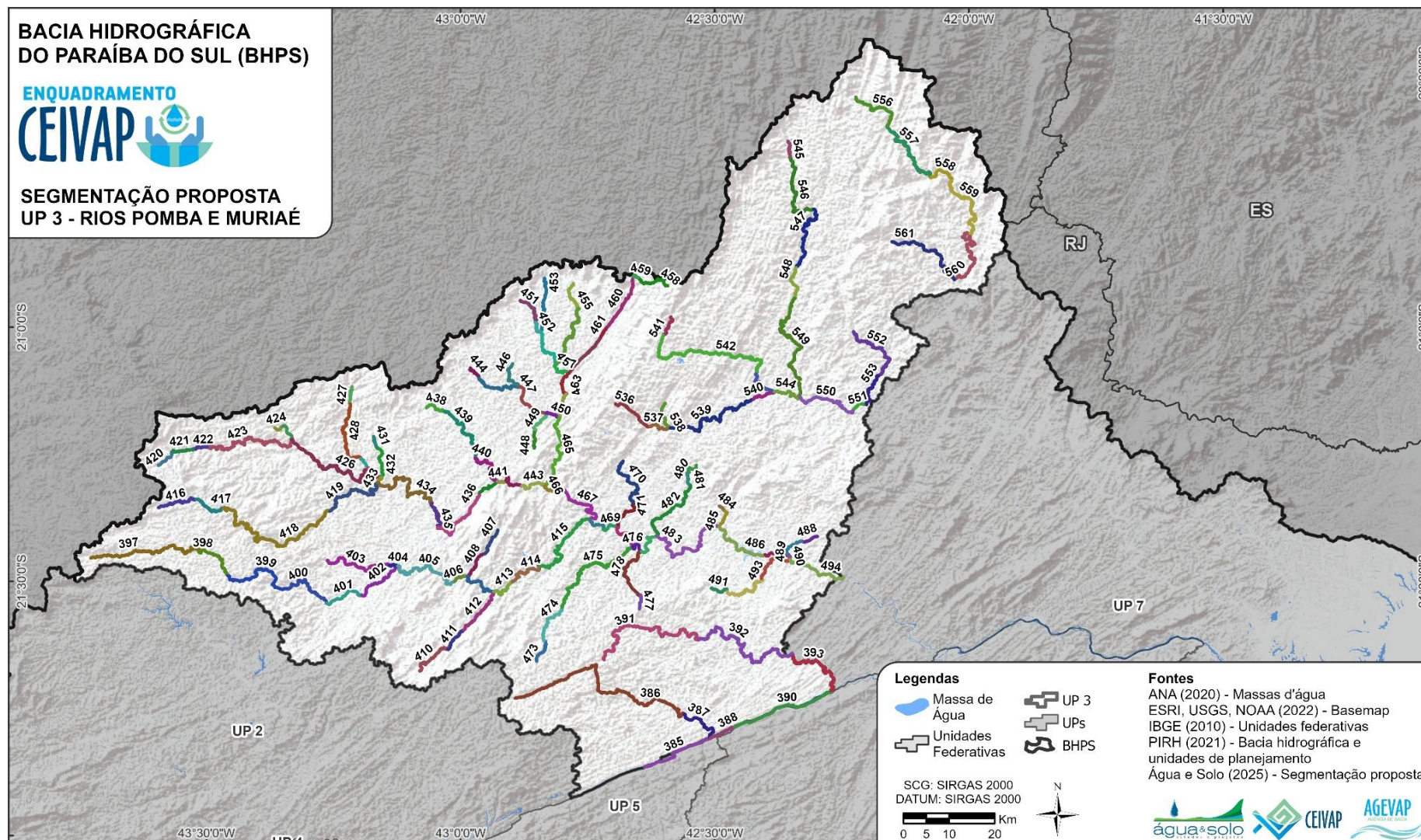


Figura 2.6. Segmentação proposta para a UP3 - Rios Pomba e Muriaé.

2.4.4 UP4 - Médio Paraíba do Sul

A UP4 - Médio Paraíba do Sul pertence ao estado do Rio de Janeiro, e corresponde à RH - III na divisão hidrográfica do estado. Esta UP é formada pela calha principal do rio Paraíba do Sul no seu trecho médio, seus afluentes em ambas as margens e os afluentes da margem direita do rio Preto, que faz divisa com o estado de Minas Gerais. Possui como rios principais, além do próprio rio Paraíba do Sul, outros rios de domínio federal, como o Preto e o Bananal, e de domínio estadual, como os rios Pirapetinga, Turvo, Bonito, das Flores, Ubá, do Saco e Piraí.

Possui em sua área alguns grandes municípios com manchas urbanas densas e de grandes dimensões, como as conurbações formadas por Itatiaia, Resende, Quatis e Porto Real, outra formada por Volta Redonda, Barra Mansa e Pinheiral.

A análise dos principais usos identificados na UP4, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH, o lançamento de efluentes aparece com o maior número de cadastros, embora o maior volume anual seja referente ao abastecimento para indústrias. Já segundo o banco de dados do INEA (Instituto Estadual do Ambiente), o maior número de cadastros recai sobre a irrigação, ao passo que o maior volume anual cadastrado é para o abastecimento humano. Diferenças entre os dois bancos de dados são esperadas, contudo, o banco de dados do INEA se apresenta mais representativo dos usos preponderantes mais restritivos identificados. Enquanto lançamento de efluentes e abastecimento para indústria são usos que devem manter a qualidade da água encontrada na fonte hídrica, irrigação e abastecimento humano são mais restritivos e demandam qualidade da água em boas condições para sua utilização.

Toda a calha do rio Preto e praticamente toda a calha do Paraíba do Sul nesta UP possui áreas do PAN (Plano de Ação Nacional para Conservação das Espécies Aquáticas da Bacia do Rio Paraíba do Sul) nos entornos.

Em relação às UCs, destaca-se a APA Rainha das Águas, o Parque Nacional do Itatiaia, o Refúgio de Vida Silvestre Estadual do Médio Paraíba, o Parque Estadual da Pedra Selada, o Parque Estadual da Serra da Concordeia, o Monumento Natural da Serra da Beleza, e uma série de APAs e RPPNs.

Foram identificadas duas comunidades quilombolas na UP, a de São José da Serra, no município de Valença, e de Santana, no município de Quatis. A de Santana possui um curso hídrico passando dentro de sua área, que teve um segmento específico.

Na Figura 2.7 está apresentada a segmentação proposta no PIRH-PS, e na Figura 2.8 a proposta no contexto deste projeto. A proposta original segmentava a UP em 24 trechos, e a revisão propôs uma segmentação em 75 trechos.

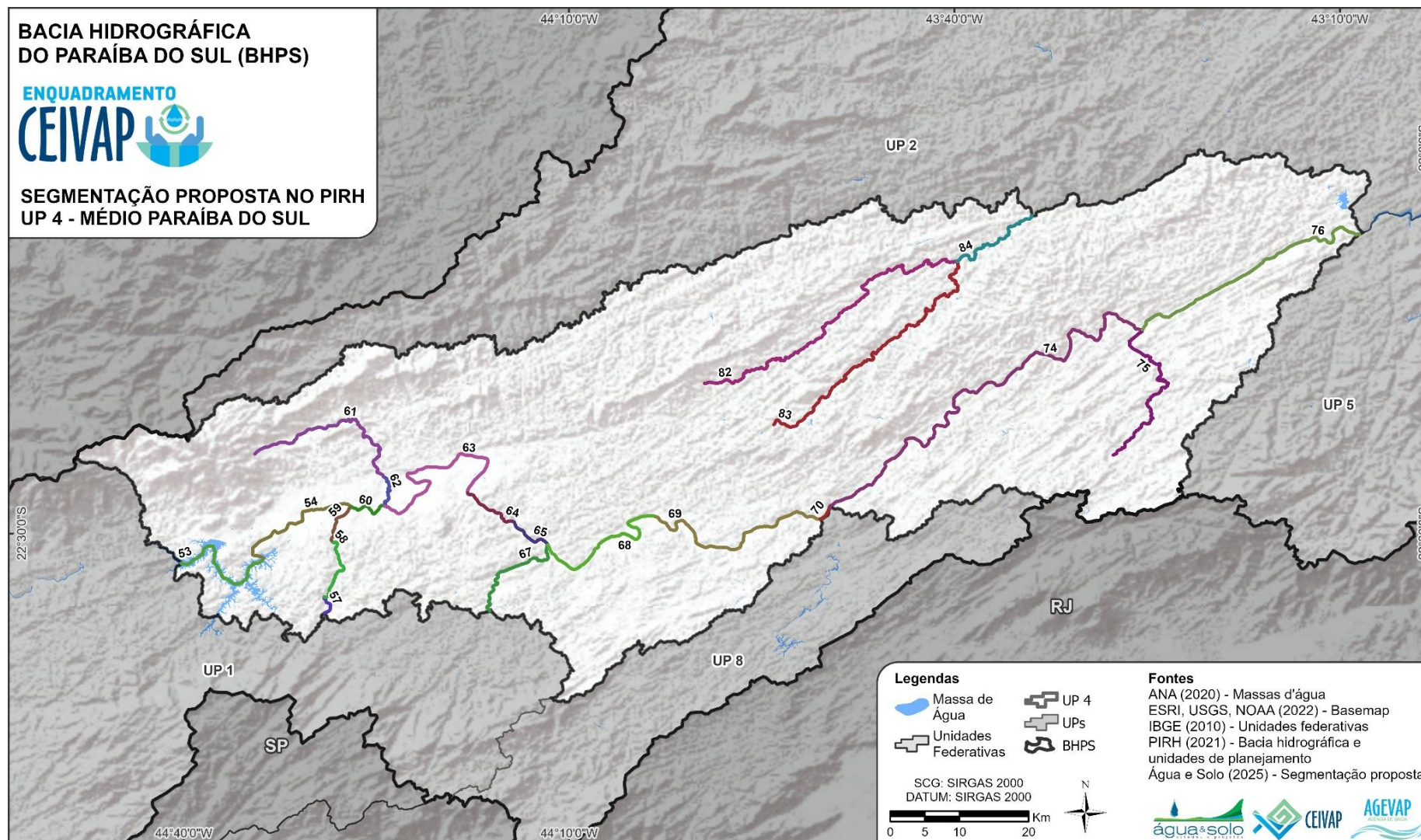


Figura 2.7. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP4 - Médio Paraíba do Sul.

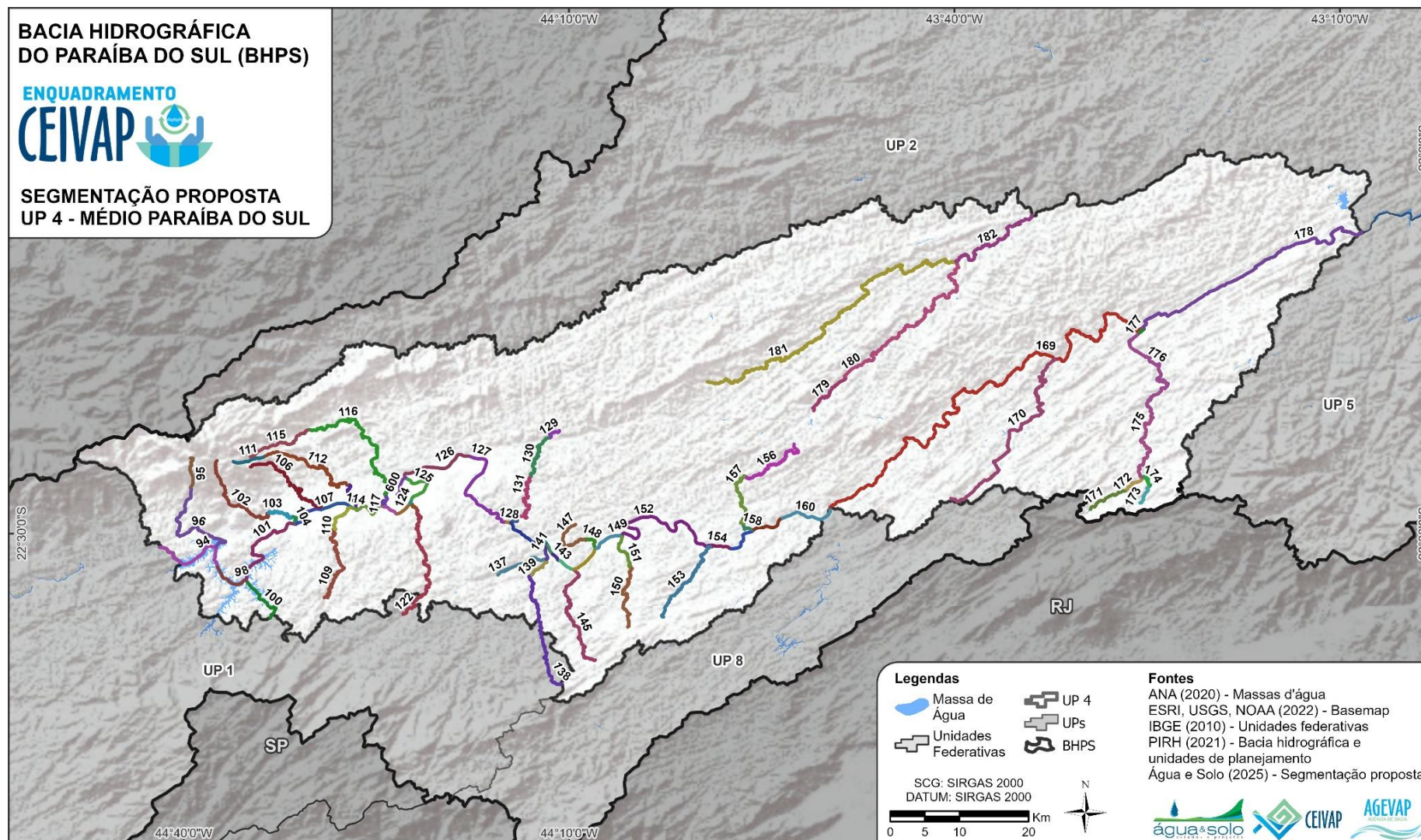


Figura 2.8. Segmentação proposta para a UP4 - Médio Paraíba do Sul.

2.4.5 UP5 - Piabanha

A UP5 - Piabanha pertence ao estado do Rio de Janeiro, e corresponde à RH - IV na divisão hidrográfica do estado. Esta UP é formada pelos afluentes da margem direita do Paraíba do Sul e pela bacia hidrográfica do rio Piabanha, cujos principais afluentes são os rios Pardo, Pequeno, Cuiabá, Cidade, Preto, Bonito e Fagundes. Dentre os afluentes ao Paraíba do Sul, destaca-se o Paquequer, seu afluente, São Francisco, e o rio Calçado.

A UP é bastante urbanizada na sua parte alta, com as nascentes dos rios Preto e Piabanha localizadas nas áreas urbanas de dois grandes municípios fluminenses, Teresópolis e Petrópolis, cuja mancha urbana ocupa toda a porção sul da bacia, na sua parte alta. A região nordeste da bacia, mais próxima da calha do rio Paraíba do Sul, é pouco urbanizada e mais rural.

A análise dos principais usos identificados na UP5, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH, o o abastecimento humano aparece com o maior número de cadastros e o maior volume anual. Já segundo o banco de dados do INEA (Instituto Estadual do Ambiente), o maior número de cadastros recai sobre a irrigação. Tanto irrigação quanto o abastecimento humano podem ser usos mais restritivos, pois, demandam qualidade da água em condições boas (classe 1 ou 2, abastecimento Humano pode permitir classe 3 com determinado nível de tratamento). Ainda, foi observado que as zonas de cabeceira na UP possuem usos que demandam boa qualidade (abastecimento humano e irrigação - classe 1, 2 ou 3 com determinado nível de tratamento). Zonas próximas aos limites norte e nordeste da UP, próximo ao rio Paraíba do Sul, apresentam usos que demandam qualidade da água razoável para sua existência (dessedentação de animais - classe 3).

A UP5 se destaca pela elevada presença de áreas protegida. Destaca-se a APA da Região Serrana de Petrópolis, a APA Bemposta, a APA Rainha das Águas, o Parque Estadual dos Três Picos, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, o Parque Natural Municipal Montanhas de Teresópolis, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, entre outros.

Foi identificada uma comunidade quilombola na UP, a de Boa Esperança, no município de Areal. Há um trecho de rio segmentado que passa nos limites dessa comunidade.

Na Figura 2.9 está apresentada a segmentação proposta no PIRH-PS, e na Figura 2.10 a proposta no contexto deste projeto. A proposta original segmentava a UP em 20 trechos, e a revisão propôs uma segmentação em 97 trechos.

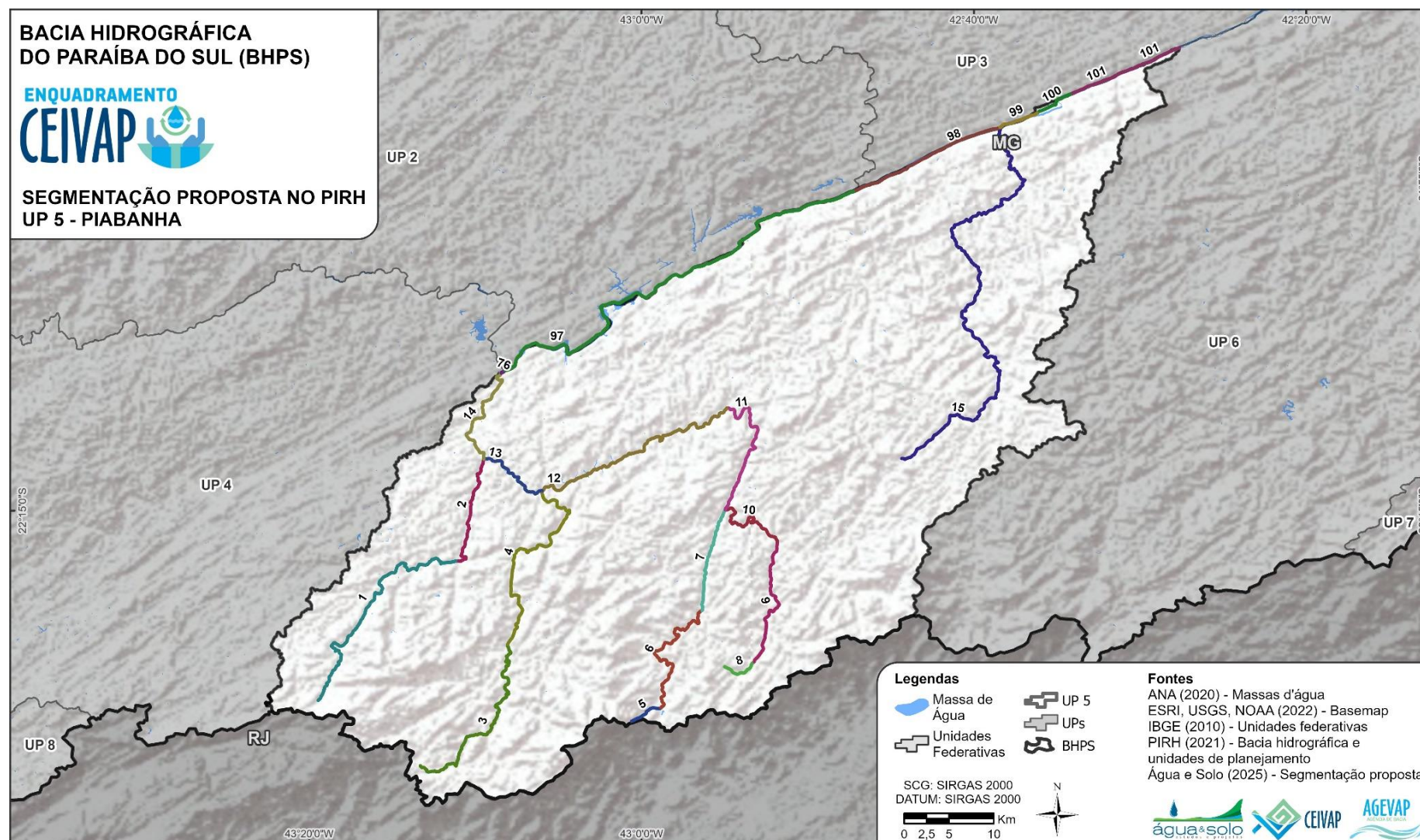


Figura 2.9. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP5 – Piabanha.

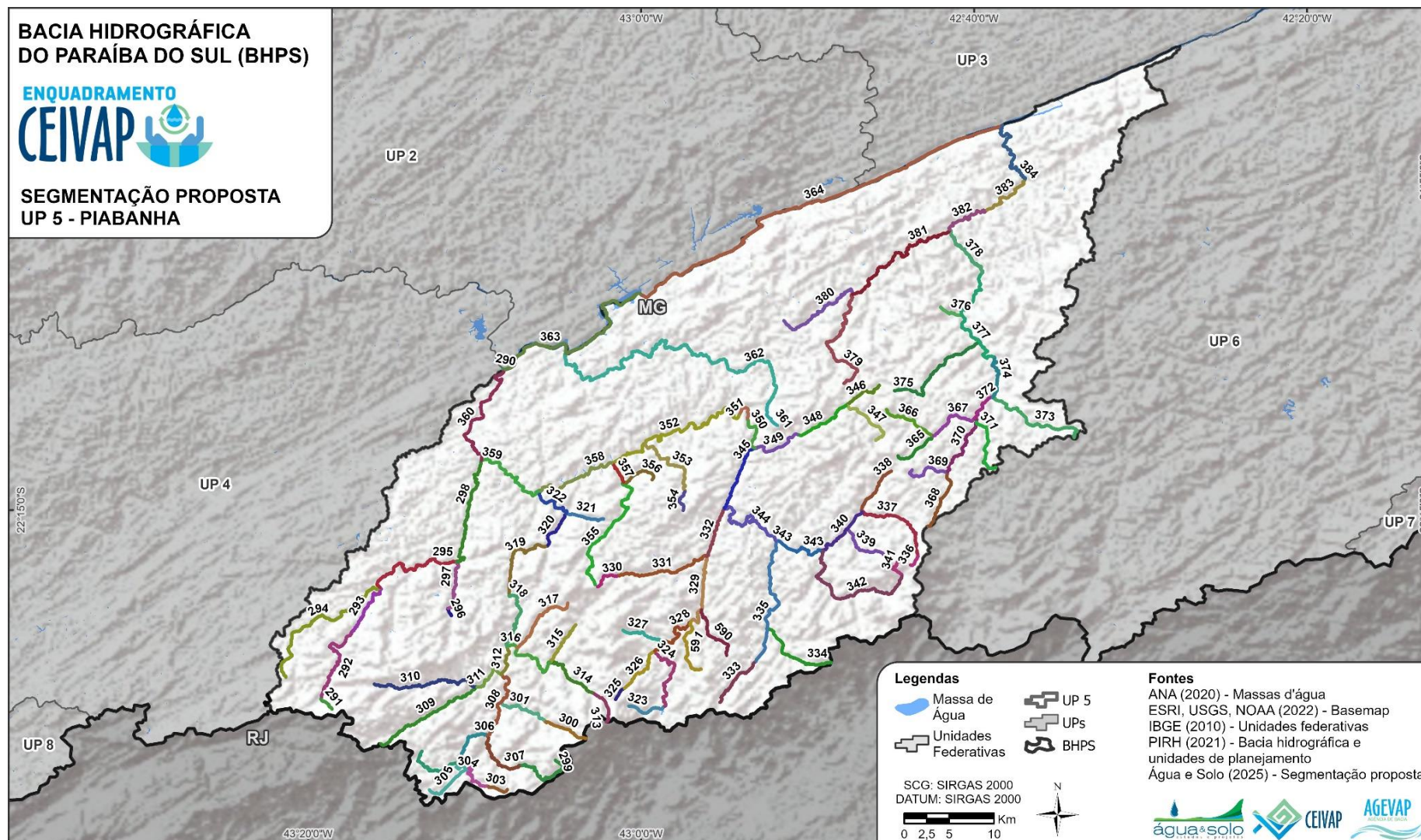


Figura 2.10. Segmentação proposta para a UP5 – Piabanha.

2.4.6 UP6 - Rio Dois Rios

A UP6 – Rio Dois Rios, pertence ao estado do Rio de Janeiro, e corresponde à RH – VII na divisão hidrográfica do estado. Esta UP tem como principais afluentes o rio Paraíba do Sul o rio dois Rios (formado pelo encontro dos rios Grande e Negro), o ribeirão das Areias e o rio do Colégio.

A análise dos principais usos identificados na UP6, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH, o o abastecimento humano aparece com o maior número de cadastros e o maior volume anual. Já segundo o banco de dados do INEA (Instituto Estadual do Ambiente), o maior número de cadastros recai sobre a dessedentação de animais e a irrigação. Os cadastros apresentados apontam o abastecimento humano como uso preponderante mais restritivo na UP, com demandas de águas de boa qualidade (classes 1 ou 2).

Esta UP é caracterizada por grande concentração de pecuária e agricultura irrigada, sendo a irrigação concentrada mais na parte alta da bacia e a pecuária na parte média e baixa. Ambos estes usos – com maior destaque para a pecuária – possuem potencial de geração de carga difusa de poluentes, que foi um ponto de atenção a ser considerado na segmentação. Destaca-se ainda a prática da aquicultura e/ou pesca voltada à truta, espécie de pescado que requer uma qualidade da água superior à indicada pela Resolução CONAMA Nº 357/2005.

Na parte alta da UP está localizado o município de Nova Friburgo, com uma grande zona urbana que concentra diversas captações de água e pontos de lançamento de efluentes no rio Bengala, afluente do rio Grande. Outras zonas urbanas de maior destaque são as dos municípios de Bom Jardim, Cordeiro, Macuco e Duas Barras.

Nesta UP destaca-se a presença de áreas protegidas como o Parque Estadual dos Três Picos, algumas APAs, o Parque Estadual do Desengano, o Refúgio de Vida Silvestre do Macuco, o Monumento Natural da Serra Vermelha e uma série de RPPNs. Foi identificada uma comunidade quilombola na UP, a de São Benedito, no município de São Fidélis, porém, nenhum trecho de rio segmentado passa por dentro da sua área.

Na Figura 2.11 está apresentada a segmentação proposta no PIRH-PS, e na Figura 2.12 a proposta no contexto deste projeto. A proposta original segmentava a UP em 21 trechos, e a revisão propôs uma segmentação em 40 trechos.

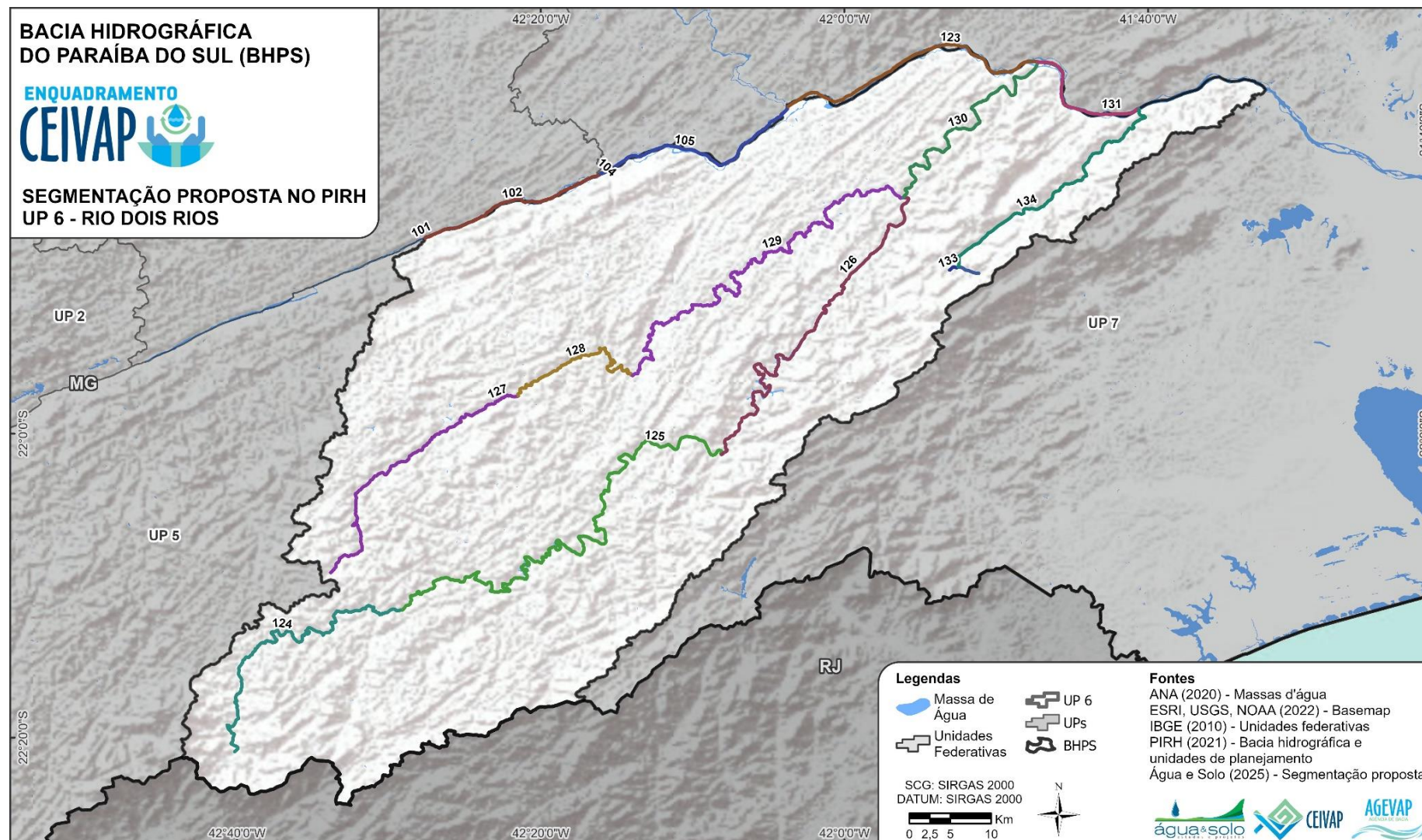


Figura 2.11. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP6 - Rio Dois Rios.

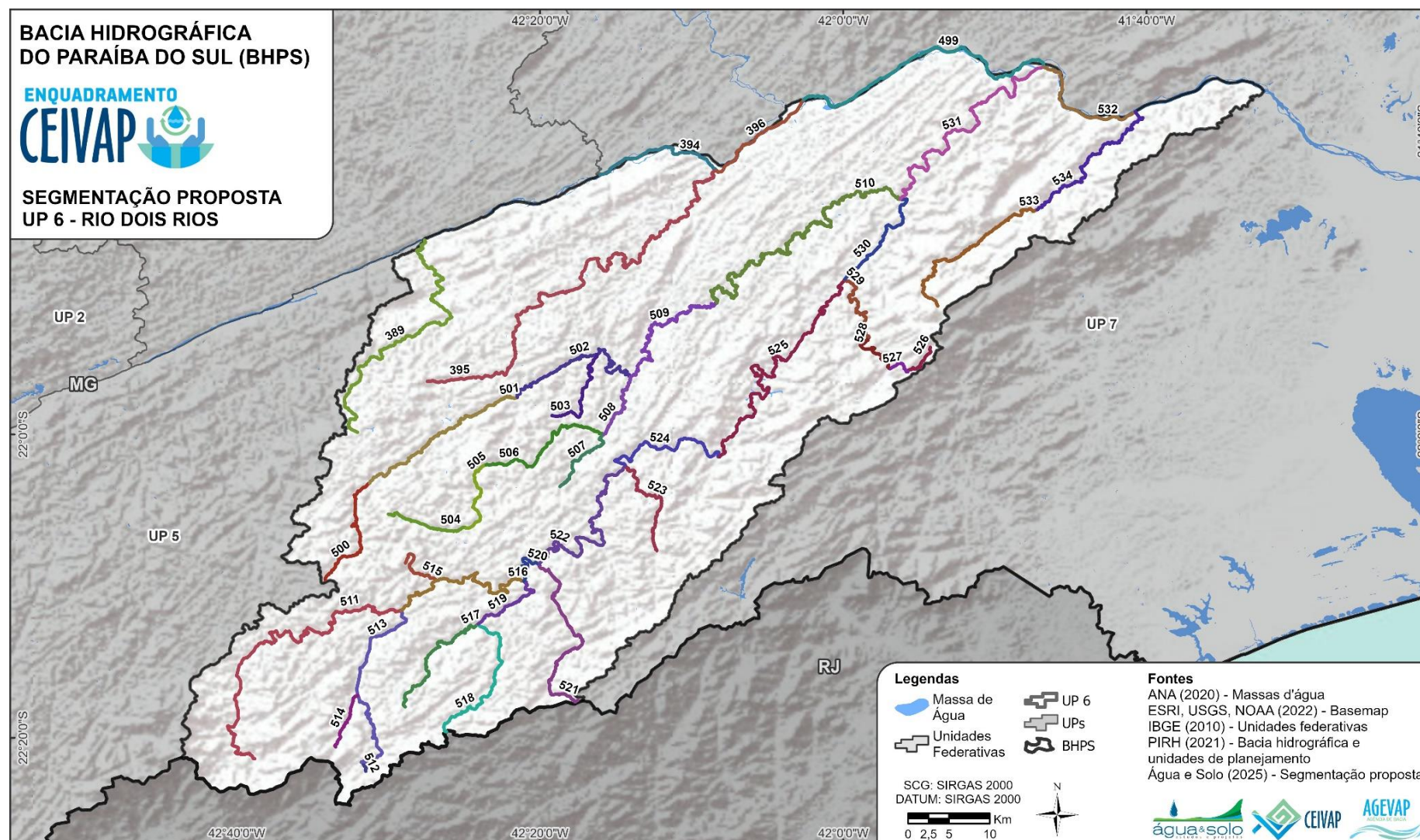


Figura 2.12. Segmentação proposta para a P6 - Rio Dois Rios.

2.4.7 UP7 - Baixo Paraíba do Sul

A UP7 – Baixo Paraíba do Sul, pertence ao estado do Rio de Janeiro, e corresponde à RH – IX na divisão hidrográfica do estado. Esta UP está mais a jusante do rio Paraíba do Sul, onde é localizada a sua foz. Ela também inclui outros rios litorâneos não afluentes ao Paraíba do Sul, que correm paralelos e desaguam no mar. Os principais afluentes considerados nessa UP foram os trechos fluminenses do rio Muriaé e do rio Pomba, seus afluentes, como o rio Carangola, ribeirão Conceição, ribeirão São Sebastião, valão da Onça e ribeirão Santo Antônio. Os rios litorâneos considerados na segmentação foram o rio Macabu, o rio Uraí, o rio do Imbé, o canal das Flechas e o rio Preto. Ressalta-se ainda, que o a bacia hidrográfica do rio Itabapoana não faz parte do estudo de enquadramento por não estar incluída na BHPS.

Está UP é caracterizada por grande concentração de pecuária na sua porção norte, nos arredores dos rios Pomba e Muriaé, mas não na parte sul, nos rios litorâneos.

No rio Muriaé e seus afluentes, há uma grande área urbanizada com concentração de captações no município de Itaperuna no rio Muriaé, e áreas menores nos municípios de Porciúncula, Natividade, Italva e Cardoso Moreira; no rio Pomba há a zona urbana de Santo Antônio de Pádua, Aperibé e Miracema, e na calha do Paraíba do Sul, a zona urbana de Campos de Goytacazes concentra muitas captações e lançamentos em locais próximos, além da presença de mineração e uso industrial.

A análise dos principais usos identificados na UP7, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH, a irrigação aparece com o maior número de cadastros, embora o maior volume anual seja referente ao lançamento de efluentes. Já segundo o banco de dados do INEA, o maior número de cadastros recai sobre a dessedentação animal, ao passo que o maior volume anual cadastrado é para o abastecimento para indústrias. O abastecimento industrial e o lançamento de efluentes devem ser compatíveis com a manutenção da classe de enquadramento do corpo d'água ou, na sua ausência, com a classe 2 ou melhor existente, conforme estabelecido pelo Art. 42 da Resolução CONAMA 357/2005. Também foi possível observar diferentes usos distribuídos nas margens esquerda (norte) e direita (sul) do rio Paraíba do Sul. Enquanto na margem esquerda (norte) há predomínio de usos que demandam qualidade razoável (dessedentação de animais – classe 3) associado com usos que demandam boa qualidade (irrigação e abastecimento

humano – classe 1 a 3), na margem direita (sul) há predomínio de usos que demandam maior qualidade da água (abastecimento humano e irrigação – classe 1 a 3; e pesca amadora – classe 3). No eixo principal do rio Paraíba do Sul observa-se o predomínio de usos que demandam boa qualidade das águas (classe 1 e 2).

Nesta UP destaca-se a presença da APA do Alto do Rio Macabu, o Parque Estadual do Desengano, o Parque Nacional Restinga de Jurubatiba, o Parque Nacional da Lagoa do Açu, o Refúgio de Vida Silvestre do Chauga, entre outros. Foi identificada a presença de uma comunidade quilombola na UP, a de Cruzeirinho, no município de Natividade, porém, nenhum trecho de rio passa na comunidade.

Na Figura 2.12 está apresentada a segmentação proposta no PIRH-PS, e na Figura 2.13 a proposta no contexto deste projeto. A proposta original segmentava a UP em 17 trechos, e a revisão propôs uma segmentação em 37 trechos.

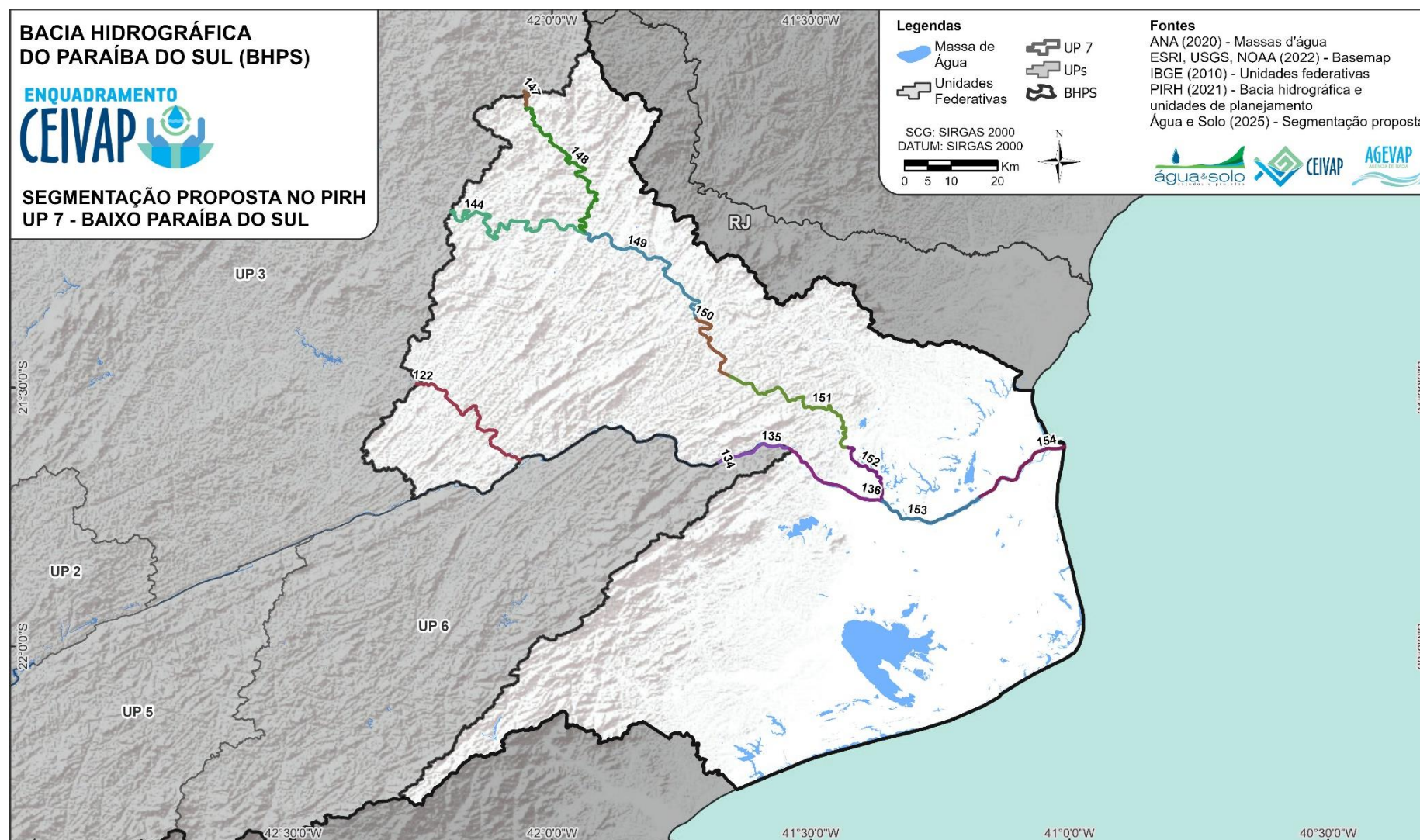


Figura 2.13. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP7 - Baixo Paraíba do Sul.

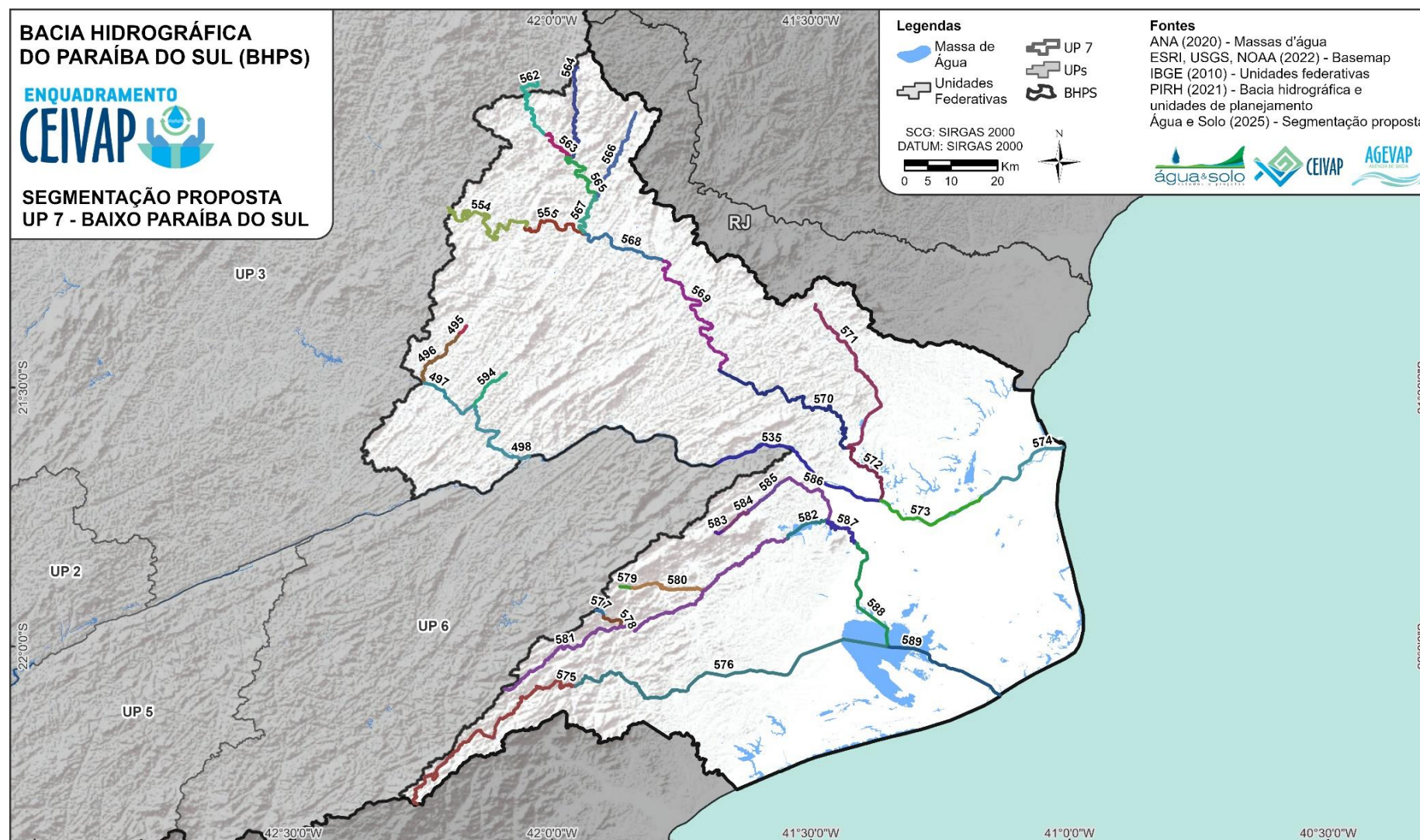


Figura 2.14. Segmentação proposta para a UP7 - Baixo Paraíba do Sul.

2.4.8 UP8 - Rio Pirai

A UP8 – Rio Pirai, pertence ao estado do Rio de Janeiro, e faz parte da RH -II na divisão hidrográfica do estado. De acordo com o que foi apresentado no Diagnóstico, apesar de ser abrangida pela BHPS, a sub-bacia do rio Pirai está inserida no contexto da gestão da RH - II, dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. Assim, a UP8 não será tratada na proposta de enquadramento. Todavia, foi proposta uma segmentação da sub-bacia do rio Pirai com nove trechos, apresentados no mapa da Figura 2.16. A segmentação será utilizada apenas para fins de modelagem de qualidade da água que influencia no rio Paraíba do Sul, e conta com 8 trechos nesta UP.

A análise dos principais usos identificados na UP8, conforme o diagnóstico, tomando por base os dados do CNARH, o abastecimento humano aparece com o maior número de cadastros, embora o maior volume anual seja referente ao lançamento de efluentes. Já segundo o banco de dados do INEA, o maior número de cadastros recai sobre a dessedentação de animais e o abastecimento humano. Os usos com maior restrição a qualidade da água (abastecimento humano) estão localizados nas cabeceiras do rio Pirai (porção nordeste da UP) enquanto na porção mais a jusante (sudoeste) os usos possuem menor restrição em termos de qualidade da água (dessedentação de animais).

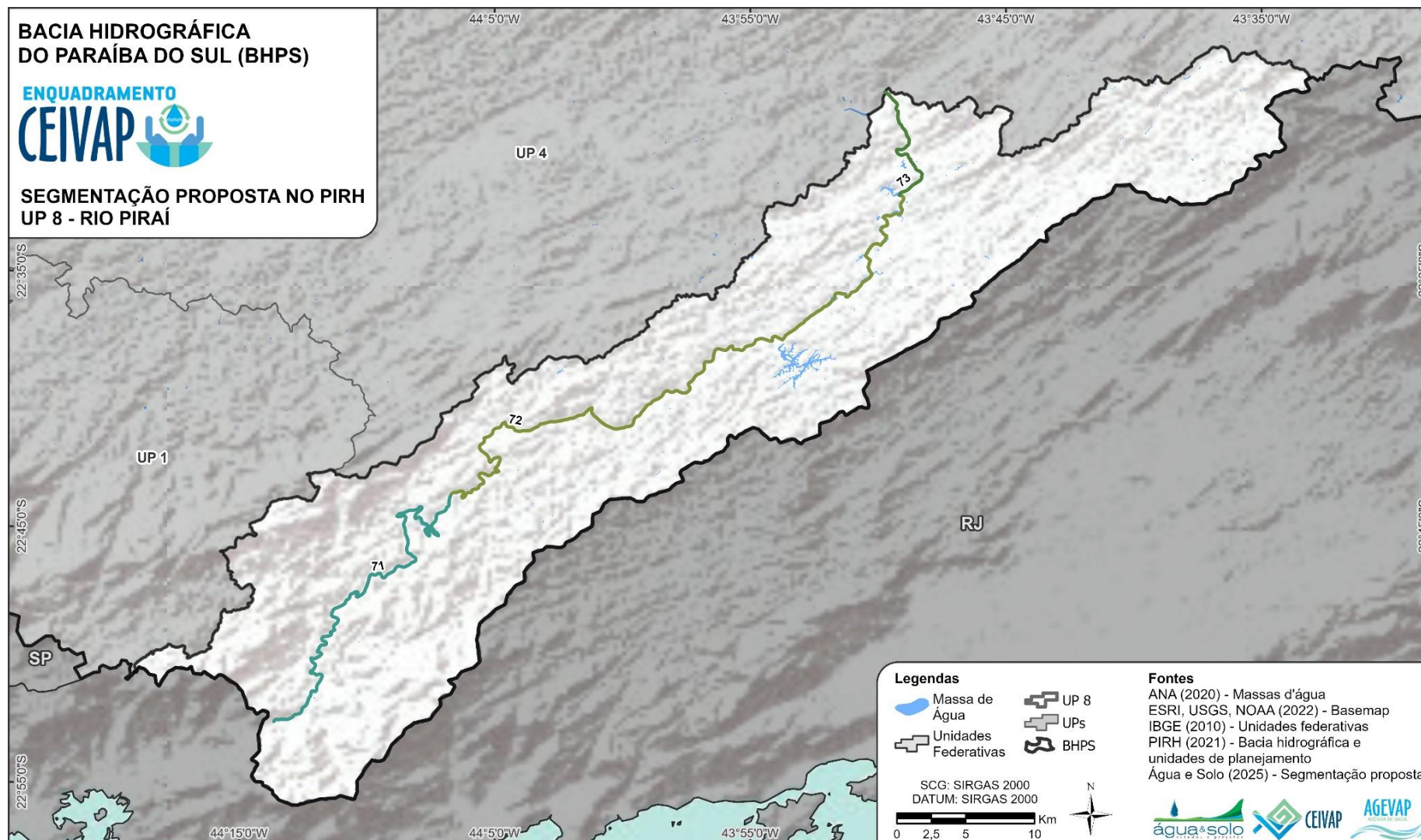


Figura 2.15. Segmentação proposta no PIRH-PS para a UP8 – Rio Piraí.

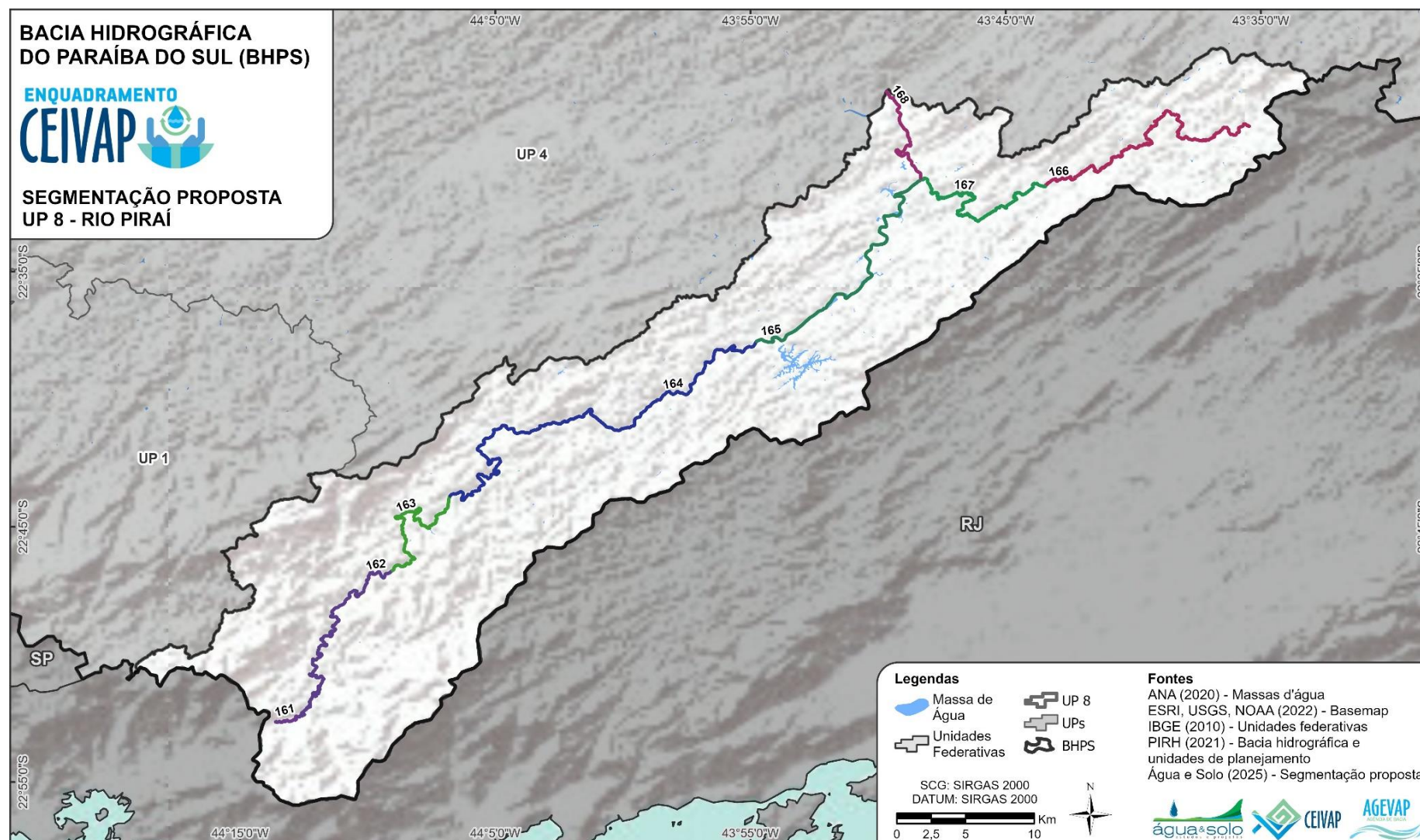


Figura 2.16. Segmentação proposta para a UP8 – Rio Piraí.

3 Modelagem de qualidade

Neste item serão abordados o balanço hídrico e a modelagem de qualidade de água no cenário atual para a BHPS, tendo como objetivo simular as condições de qualidade de água para auxiliar na etapa de enquadramento dos corpos hídricos e avaliar as demandas hídricas em termos de qualidade.

3.1 Síntese metodológica

Para a realização do balanço hídrico qualitativo foi realizado um levantamento das cargas de diferentes poluentes presentes em efluentes urbanos e rurais. Foi considerado o abatimento proveniente do tratamento nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) presentes na bacia para os esgotos domésticos, os lançamentos industriais outorgados na bacia e as cargas difusas foram inseridas como pontos distribuídos por toda a bacia.

Essas cargas foram lançadas nos corpos hídricos nos cenários de vazão de referência (Q_{95} , Q_{90} , e $Q_{7,10}$) calculados no EDH-PS (Estudo de Disponibilidades Hídricas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul) (PROFILL, 2024). Para a calibração do modelo utilizaram-se dados de pontos de monitoramento identificados na área de influência da BHPS.

O modelo para avaliação da qualidade da água utilizado foi o WARM-GIS (Kayser e Collischonn, 2012 e 2017; HGE, 2017), de forma integrada ao software QGIS, versão 3.4.11. Este modelo foi aplicado nos ambientes lóticos da BHPS para todos os cenários de baixa vazão e também para alguns cenários de alta e média vazão, buscando verificar assim, o comportamento da qualidade da água na BHPS em diferentes situações e regimes hidrológicos.

3.2 Modelo matemático

De acordo com Kayser e Collischonn (2017), o processo de modelagem qualitativa realizado pelo WARM-GIS Tools corresponde à inserção de lançamentos de efluentes de forma contínua no sistema hídrico, adotando um conjunto de soluções analíticas em regime permanente, utilizando modelos de transporte advectivo com reações cinéticas simplificadas. As equações utilizadas são apresentadas em Sperling (2007), todas em sua forma analítica de resolução. As variáveis da qualidade da água que podem ser simuladas pelo modelo incluem:

- Demanda bioquímica de oxigênio;
- Oxigênio dissolvido;
- Nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal e nitrato);
- Fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico);
- Coliformes termotolerantes (fecais) ou E. Coli.

A Figura 3.1 apresenta um esquema do modelo de balanço hídrico qualitativo do WARM-GIS.

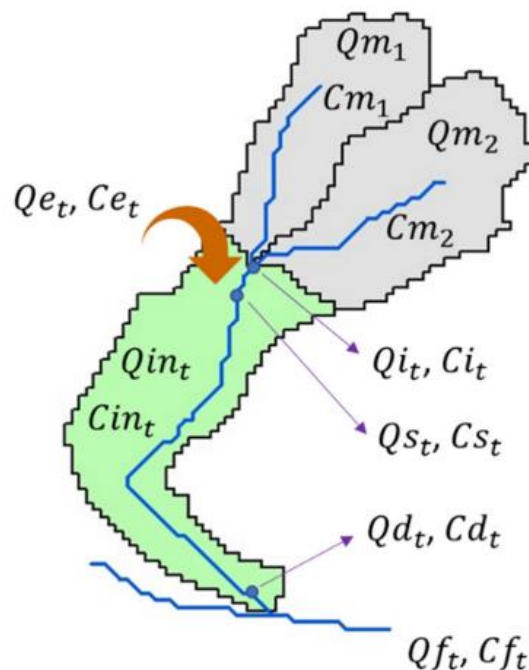


Figura 3.1. Representação das principais variáveis de simulação por microbacia.

Fonte: Kayser e Collischonn, (2017).

Onde:

Qm_j e Cm_j : vazão e concentração final do trecho j à montante do trecho;

Qi_t e $Ci_{t,p}$: vazão e concentração inicial do trecho t ;

Qe_t e $Ce_{t,p}$: vazão e concentração (ou somatório) das cargas pontuais existentes em qualquer ponto da microbacia correspondente ao trecho t ;

Qs_t e $Cs_{t,p}$: vazão e concentração de mistura após a entrada das cargas pontuais no trecho t ;

Qd_t e $Cd_{t,p}$:vazão e concentração após os processos de transformação dos constituintes ao longo do trecho t ;

Qin_t e Cin_t :vazão e concentração incremental;

Qf_t e $Cf_{t,p}$: vazão e concentração final do trecho t , após a inserção da vazão e concentração incremental.

3.3 Metodologia

Nesse tópico é descrito em maiores detalhes o procedimento metodológico adotado para a determinação do cenário atual de qualidade na BHPS. A Figura 3.2 apresenta um fluxograma simplificado da metodologia adotada.

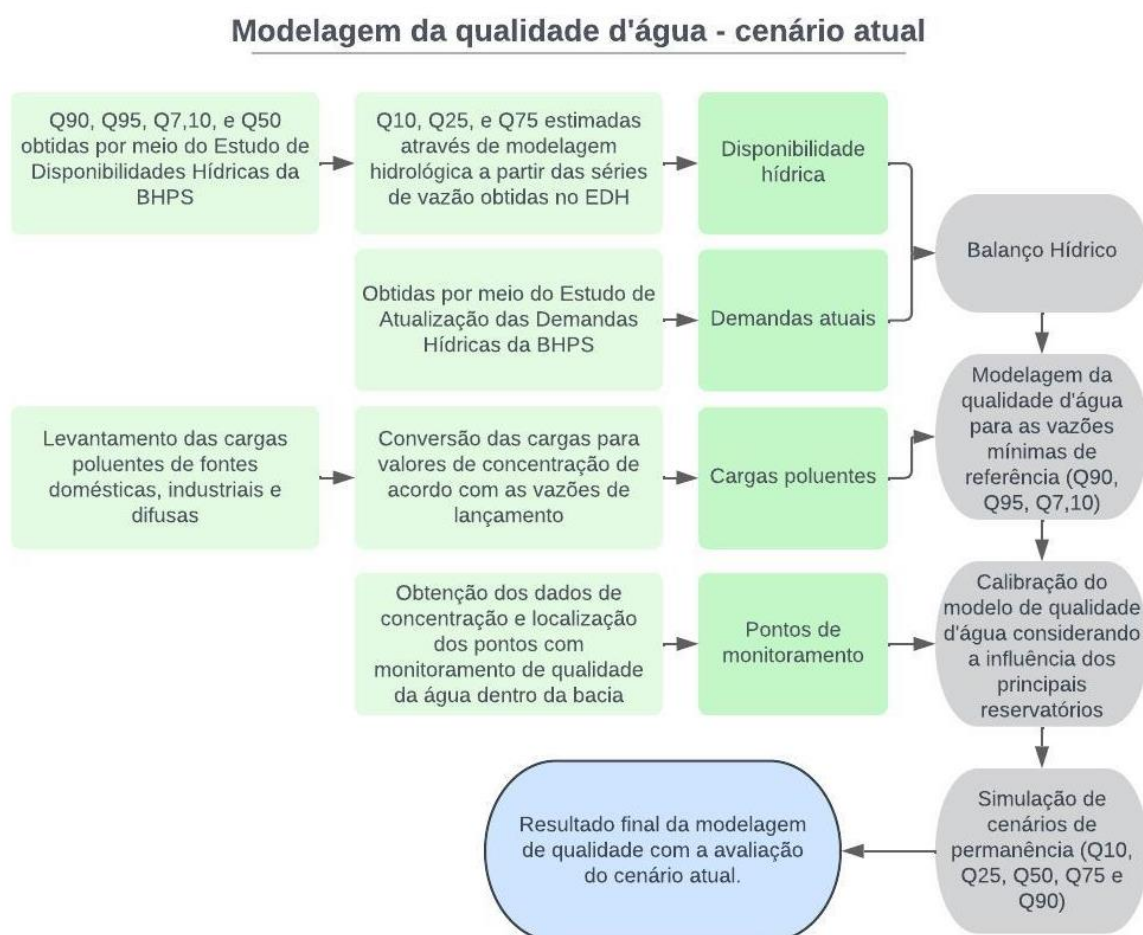


Figura 3.2. Fluxograma simplificado da metodologia adotada para a modelagem de qualidade d'água.

3.3.1 Disponibilidade hídrica

A estimativa da disponibilidade hídrica foi construída a partir de contratação específica da AGEVAP (Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul),

o EDH-PS, onde foram estimadas as vazões de referência Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, e a vazão média Q_{50} para toda a bacia na base hidrográfica BHO 6 da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) (PROFILL, 2024). No entanto, para fins de avaliação computacional da qualidade da água na bacia essa escala apresenta um detalhamento excessivo. Isso torna inviável a simulação matemática computacional dos parâmetros de qualidade, pois o custo computacional é elevado demais em comparação com os benefícios de uma simulação nessa escala. Assim, optou-se por aumentar a escala dessa rede de drenagem para valores mais adequados para uma avaliação em grande escala (toda a BHPBS simultaneamente).

Para aumentar a escala da rede de drenagem, optou-se por utilizar a drenagem segmentada, descrita em maiores detalhes anteriormente no capítulo 2, e que será utilizada também no enquadramento final. As vazões Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, e a vazão média Q_{50} para cada trecho dessa drenagem segmentada foram obtidas a partir das vazões calculadas anteriormente no EDH-PS.

Adicionalmente, foram avaliados os cenários de maiores vazões, incluindo a Q_{10} , Q_{25} e Q_{75} , que não foram contemplados no EDH-PS. Para determinar essas vazões para cada trecho da drenagem filtrada, foram utilizadas as séries de vazão simuladas ou assimiladas de cada trecho do rio resultantes do processo de modelagem numérica das vazões no EDH-PS. A partir dessas séries foi construída uma curva de permanência para cada trecho, onde foram retirados os valores de Q_{10} , Q_{25} e Q_{75} . Assim, foi elaborada uma drenagem (similar à drenagem segmentada) com os valores dessas vazões para cada trecho avaliado.

3.3.2 Demanda hídrica

As demandas de uso da água na BHPBS foram estimadas no Estudo de Atualização do Quadro de Demandas Hídricas (NIPPON KOEI LAC – REGEA – RHAMA, 2025). Os dados foram recebidos e avaliados pela equipe de Água e Solo, sendo posteriormente compatibilizados quanto ao formato e à escala de entrada no modelo hidrológico.

As demandas foram inseridas no modelo como pontos de retirada, com a indicação das coordenadas geográficas e da respectiva vazão extraída em cada área. Para contabilizar as demandas localizadas em trechos menores, a montante do início dos trechos efetivamente simulados, foi realizado um processo de acumulação desses valores, de forma a representá-los no trecho simulado mais próximo da segmentação.

Em resumo, todas as retiradas que ocorreriam nos trechos a montante, os quais foram excluídos da simulação, foram consolidadas em um único ponto de retirada no trecho inicial do corpo hídrico considerado. Essa acumulação é válida, uma vez que, no modelo, todas as retiradas a montante são naturalmente incorporadas ao balanço hídrico, sendo a vazão propagada a jusante correspondente à vazão remanescente de cada trecho. Dessa forma, o procedimento adotado não compromete a qualidade da simulação do balanço hídrico.

3.3.3 *Balanço hídrico*

O cálculo do balanço hídrico foi realizado no modelo WARM-GIS considerando as vazões e as demandas já discutidas nos tópicos anteriores, elaboradas pelo EDH-PS (PROFILL, 2024) e pelo Estudo de Atualização do Quadro de Demandas Hídricas e Atualização dos Balanços Hídricos da BHPS (NIPPON KOEI LAC – REGEA – RHAMA, 2025). Destaca-se que o cálculo de balanço hídrico foi realizado com base nos estudos mencionados especificamente para a modelagem de qualidade da água a ser aplicada no estudo de Enquadramento. Consultas à disponibilidade, demanda e balanço hídrico da BHPS devem ser realizadas diretamente nos estudos mencionados.

O modelo utiliza um equacionamento simples para o cálculo do balanço hídrico, onde a vazão remanescente que sai de um determinado trecho é a vazão que entra menos as retiradas que foram realizadas dentro da área de contribuição desse trecho. A vazão remanescente do trecho anterior é a vazão de entrada do próximo trecho, e assim sucessivamente.

O modelo opera em regime permanente, ou seja, sem variação no tempo, permitindo um retrato da bacia hidrográfica em um determinado momento, geralmente em um cenário definido de pouca disponibilidade hídrica, podendo ser caracterizado estatisticamente como uma vazão de referência. A Figura 3.3 apresenta um esquema do modelo de balanço hídrico do WARM-GIS.

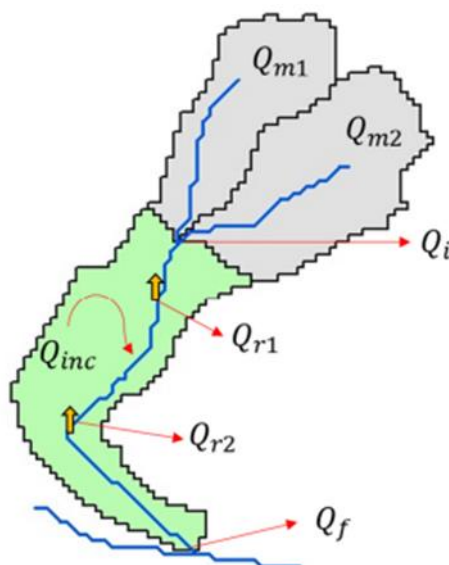


Figura 3.3. Esquema de representação do módulo de Balanço Hídrico do WARM-GIS.

Onde:

Q_{m1} , Q_{m2} , ..., Q_{mn} são as vazões remanescentes das minibacias de montante;

Q_i é a vazão inicial da minibacia;

Q_{inc} é a vazão incremental da minibacia; Q_{r1} , Q_{r2} , ..., Q_{rn} são os pontos de retirada localizados em qualquer local no interior da minibacia;

Q_f é a vazão remanescente final da minibacia.

O resultado do módulo do balanço hídrico é expresso através do Índice de Estresse Hídrico (IEH), índice que relaciona a quantidade de água disponível (Q_{disp}), representada pela vazão natural acrescida do efeito dos reservatórios e transposições, e a quantidade de água remanescente (Q_f) em cada trecho de rio (Kayser e Collischonn, 2017).

$$IEH = \frac{Q_{disp} - Q_f}{Q_{disp}} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

O balanço hídrico para a BHPS foi realizado para os sete cenários de vazão descritos no tópico 3.3.1 (Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} , $Q_{7,10}$).

3.3.4 Parâmetros avaliados

Nessa seção são apresentados os parâmetros simulados e suas respectivas equações de decaimento.

3.3.4.1 Demanda bioquímica de oxigênio

A DBO é uma medida da quantidade de oxigênio necessária para a decomposição biológica da matéria orgânica na água por microrganismos em condições específicas, geralmente durante 5 dias (DBO₅). Esse parâmetro é um indicador da carga de poluição orgânica em um corpo d'água. Altos valores de DBO indicam que há uma grande quantidade de matéria orgânica na água, o que pode levar à depleção do oxigênio dissolvido e afetar negativamente a vida aquática. A DBO decai à medida que essa matéria orgânica é decomposta pelos microrganismos em troca do consumo de OD.

A equação de decaimento utilizada no modelo para a DBO é a seguinte:

$$Cd_{t,DBO} = Cs_{t,DBO} \cdot e^{-((Kd+Ks).T)} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo $Cd_{t,DBO}$ a concentração resultante e a $Cs_{t,DBO}$ a concentração inicial da DBO e os demais parâmetros estão descritos no item 3.3.6.1.

3.3.4.2 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é a quantidade de oxigênio que está dissolvida na água e disponível para os organismos aquáticos. O OD é crucial para a sobrevivência de peixes e outros organismos aquáticos, pois eles dependem do oxigênio dissolvido para a respiração. Níveis baixos de OD podem levar a condições anóxicas (sem oxigênio), o que pode causar a morte de organismos e prejudicar o equilíbrio ecológico.

Em geral diz-se que o OD em um efluente doméstico é menor que 2 mg/L, e em casos mais extremos utiliza-se o valor de 0 mg/L. Em termos práticos para a modelagem adota-se um valor padrão de OD, condizente com o tipo de efluente, para o lançamento. Nas simulações realizadas na presente avaliação adotou-se o valor de 1 mg/L para o OD nos efluentes.

O OD é consumido naturalmente pelos microrganismos nos processos de decomposição dos demais poluentes, principalmente da DBO (matéria orgânica) e nos processos de nitrificação das frações de Nitrogênio.

As equações de decaimento utilizadas no modelo para o OD são as seguintes:

$$Cd_{t,OD} = Cod_s - Def_{pon} - Def_{DBO} - Def_{Nitri} \quad \text{Equação 3}$$

$$Def_{pon} = (Cod_s - Cs_{t,OD}) \cdot e^{-(Ka.T)} \quad \text{Equação 4}$$

$$Def_{DBO} = \left(\frac{Cd_{t,DBO} \cdot Kd}{Ka - Kr} \right) \cdot (e^{-(Kr.T)} - e^{-(Ka.T)}) \quad \text{Equação 5}$$

$$Def_{Nitri} = \left(\frac{Ro2_{amon} \cdot Kan \cdot Cs_{t,NA}}{Ka - Kan} \right) \cdot (e^{-(Kan.T)} - e^{-(Ka.T)}) \quad \text{Equação 6}$$

Sendo $Cd_{t,OD}$ a concentração resultante OD, Cod_s a concentração de saturação de OD, Def_{pon} o déficit pontual de OD, Def_{DBO} o déficit de OD ocasionado pela concentração de DBO e Def_{Nitri} o déficit de OD ocasionado por processos de nitrificação. Os demais parâmetro estão descritos no item 3.3.6.1.

3.3.4.3 Coliformes termotolerantes

Coliformes termotolerantes, como a E. coli, são bactérias que vivem no intestino de animais de sangue quente. Sua presença na água indica contaminação fecal. A presença de coliformes fecais ou E. coli é um indicador de contaminação por matéria fecal, que pode conter patógenos causadores de doenças. Monitorar esses parâmetros é fundamental para garantir a segurança da água para consumo humano e recreação, prevenindo surtos de doenças transmitidas pela água.

O decaimento dos coliformes termotolerantes segue uma exponencial simples, onde o expoente define a velocidade do decaimento (quanto maior, mais rápido decai). A equação de decaimento utilizada no modelo para os coliformes é a seguinte:

$$Cd_{t,coli} = Cs_{t,coli} \cdot e^{-(Kcol.T)} \quad \text{Equação 7}$$

Sendo $Cd_{t,coli}$ a concentração resultante e a $Cs_{t,coli}$ a concentração inicial dos coliformes. Os demais parâmetros estão descritos no item 3.3.6.1.

3.3.4.4 Fósforo total

O fósforo total na água é a soma de todas as formas de fósforo, incluindo fósforo orgânico e inorgânico. O Fósforo Orgânico envolve fósforo presente em compostos orgânicos, que podem ser biodegradados para formas inorgânicas. Já o Fósforo Inorgânico inclui ortofosfatos (PO_4^{3-}), que são formas facilmente utilizáveis pelos organismos aquáticos. O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento de plantas e algas. No entanto, em excesso, pode causar eutrofização, levando ao crescimento descontrolado de algas e degradação da qualidade da água. A gestão adequada dos níveis de fósforo é crucial para evitar esses problemas.

O fósforo orgânico decai à medida que é transformado em fósforo inorgânico e uma pequena parcela através da decantação. Já o fósforo inorgânico decai primariamente através da decantação e ao ser consumido por diversos organismos.

As equações de decaimento utilizadas no modelo para o fósforo e suas frações são as seguintes:

$$Cd_{t,PO} = Cs_{tPO} \cdot e^{-((Koi+Kspt).T)} \quad \text{Equação 8}$$

$$Cd_{t,PI} = Cs_{tPI} \cdot e^{-((Kspt).T)} + \left(\frac{Koi \cdot Cs_{t,PO}}{Kspt - Koi} \right) \cdot (e^{-(Koi.T)} - e^{-(Kspt.T)}) \quad \text{Equação 9}$$

Sendo $Cd_{t,PO}$ a concentração resultante e Cs_{tPO} a concentração inicial do fósforo orgânico, enquanto $Cd_{t,PI}$ e Cs_{tPI} as concentrações resultante e inicial do fósforo inorgânico. Os demais parâmetro estão descritos no item 3.3.6.1.

3.3.4.5 Nitrogênio amoniacal e nitrato

O nitrogênio total na água inclui todas as formas de nitrogênio, como amônia, nitrito, nitrato e nitrogênio orgânico. O Nitrogênio Amoniacal, presente na forma de amônia (NH_3) ou íons amônio (NH_4^+), pode ser tóxico para a vida aquática em altas concentrações. Já o Nitrato é uma forma de nitrogênio que resulta da oxidação da amônia. Elevados níveis de nitrato podem indicar poluição por fertilizantes ou esgoto doméstico e levam à eutrofização dos corpos d'água. Por fim, o nitrogênio orgânico está associado a compostos orgânicos, como aminoácidos, proteínas e ureia e provêm da decomposição de matéria orgânica, excrementos de animais, e efluentes de esgoto. Monitorar o nitrogênio total e suas frações ajuda a identificar fontes de poluição e potenciais problemas de eutrofização, que podem causar crescimento excessivo de algas e degradação da qualidade da água.

O nitrogênio passa por diversas transformações dentro de um corpo hídrico relacionadas ao ciclo natural do nitrogênio. Esse passa da forma orgânica e amoniacal para o Nitrito e em seguida para o Nitrato, consumindo nesse processo OD. Ao atingir a forma de Nitrato vai decaindo naturalmente ao ser consumido por diversos organismos.

As equações de decaimento utilizadas no modelo para o nitrogênio e suas frações são as seguintes:

$$Cd_{t,NO} = Cs_{tNO} \cdot e^{-((Koa).T)} \quad \text{Equação 10}$$

$$Cd_{t,NA} = Cs_{tNA} \cdot e^{-((Kan).T)} + \left(\frac{Koa \cdot Cs_{t,NO}}{Kan - Koa} \right) \cdot (e^{-(Koa.T)} - e^{-(Kan.T)}) \quad \text{Equação 11}$$

$$Cd_{t,NN} = (Cs_{tNA} - Cd_{t,NA} + Cs_{tNN}) \cdot e^{-(Kden.T)} \quad \text{Equação 12}$$

Sendo $Cd_{t,NO}$ e Cs_{tNO} a concentração resultante e inicial do nitrogênio orgânico; $Cd_{t,NA}$ e Cs_{tNA} a concentração resultante e inicial do nitrogênio amoniacal e $Cd_{t,NN}$ e Cs_{tNN} a concentração resultante e inicial do nitrato. Os demais parâmetro estão descritos no item 3.3.6.1.

3.3.4.6 Alumínio

Para verificar a dinâmicas dos metais na bacia, foram simulados dois metais monitorados na BHPS, o alumínio e o manganês. As suas cargas foram incluídas na modelagem por se tratarem de metais com significativa representatividade nas análises de qualidade da água realizadas na bacia. A escolha desses elementos considerou dois principais fatores: a disponibilidade de séries históricas de monitoramento e a relevância ambiental e industrial associada à região estudada. O alumínio foi incluído por sua relevância potencial nas atividades industriais locais e por recomendação durante o processo de validação e revisão do diagnóstico. Para tal, foi utilizada uma abordagem onde a concentração do metal possui um decaimento de primeira ordem, representado pela sua sedimentação no decorrer de um trecho de rio, similar ao decaimento do fósforo inorgânico, já descrito.

3.3.4.7 Manganês

O manganês foi selecionado como um dos metais representativo por possuir uma maior quantidade de pontos de monitoramento com dados. Assim, foi utilizado para avaliar sua dispersão na bacia e enriquecer o diagnóstico da situação atual de qualidade das águas. Para tal, foi utilizada uma abordagem onde a concentração do metal possui um decaimento de primeira ordem, representado pela sua sedimentação no decorrer de um trecho de rio, similar ao decaimento do fósforo inorgânico, já descrito.

3.3.5 Cargas poluidoras

As cargas de poluição podem ser originadas de fontes pontuais, dos esgotos industriais e domésticos urbanos, e de fontes difusas, atribuídas ao processo de escoamento superficial e a lavagem do solo provenientes principalmente de áreas com atividades antrópicas.

Dentre os constituintes dessas cargas poluentes presentes nos efluentes existem diversos parâmetros importantes para avaliações da qualidade de um determinado corpo hídrico. Os parâmetros avaliados pelo WARM-GIS, sua definição e metodologia de estimativa serão apresentados a seguir.

Para estimar as cargas dos poluentes presentes nos lançamentos domésticos, foram levantados dados de população, geração e tratamento de efluentes em cada município da BHPS. Já para os lançamentos industriais fez-se um levantamento de lançamentos presentes na bacia, com base nos dados das outorgas e nas declarações de carga poluidora disponibilizadas pelos órgãos gestores. Por fim, as cargas difusas foram estimadas de acordo com a área de cada uso e ocupação do solo na bacia multiplicada por um valor de referência para uso e para cada poluente.

O WARM-GIS não permite a representação espacialmente contínua da carga difusa em toda a bacia hidrográfica. Por essa limitação, a dispersão das cargas difusas foi estimada com base na acumulação por sub-bacias, definidas conforme a segmentação previamente aprovada. As cargas foram inseridas no modelo como contribuições associadas à vazão incremental do rio em cada trecho, representando uma espécie de "concentração inicial" de poluentes. Essas concentrações também estão sujeitas às equações de decaimento previstas no modelo.

As cargas estimadas nas etapas anteriores estavam em uma unidade de massa diária ou anual (kg/dia; kg/ano). No entanto, para a simulação com o WARM-GIS é necessário que esses valores sejam fornecidos no formato de concentração (mg/L). Para que essa conversão fosse realizada, foi necessário primeiramente que se estimasse a vazão em cada ponto de lançamento. A vazão foi então estimada da seguinte forma:

- Lançamentos domésticos: estimou-se a vazão para cada ponto de lançamento multiplicando-se o consumo de água *per capita* no município proveniente da Série Histórica do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2024) por um fator 0,8, considerando que 80% do consumo de água retorna como esgoto (SPERLING, 2007). Esse valor foi então multiplicado pela população atual do município;
- Cargas industriais: A vazão utilizada para as cargas industriais foi a que consta na licença de operação (outorgas) e nas declarações de lançamento de poluentes;

- Cargas difusas: Essas cargas foram inseridas no modelo na vazão incremental do próprio rio, atuando como uma "concentração inicial" de poluente no rio também sujeitas às equações de decaimento de poluentes.

Vale ressaltar que as cargas domésticas, em municípios que possuem mais de uma ETE, foram acumuladas para um único ponto de lançamento no corpo hídrico principal que passa mais próximo do município. Isso deve-se ao fato de que, além dos dados de porcentagem de atendimento de cada ETE no município não estarem disponíveis para que seja feita essa discretização, esse detalhamento maior não causa um impacto significativo no resultado da modelagem.

Com as vazões de lançamento estimadas, realizou-se então a conversão das unidades das cargas poluentes para o formato de mg/L.

O detalhamento metodológico utilizado para o cálculo das cargas e concentrações é apresentado a seguir.

3.3.5.1 Cargas pontuais

3.3.5.1.1 Esgotamento sanitário

Para o cálculo das cargas de efluentes domésticos, utilizou-se a Equação 13 para estimar a carga gerada e a Equação 14 para calcular a concentração dos efluentes de esgotamento sanitário lançados nos rios. O fator 0,8 corresponde à proporção do consumo de água que retorna como esgoto, conforme indicado por Sperling (2007), ou seja, considera-se que 80% da água consumida é convertida em esgoto.

$$Carga = Pop_{Cx} * f * (1 - T_{Cx}) \quad \text{Equação 13}$$

$$Concentração = \frac{Pop_{Cx} * f * (1 - T_{Cx})}{Dm_{Cx} * 0,8} \quad \text{Equação 14}$$

Sendo:

- Pop_{Cx} : População estimada pelo no último censo (IBGE, 2022);
- f : Cargas *per capita* no efluente doméstico (Tabela 3.1) – definidas no Produto 2²;

² Diagnóstico (P02) - Etapa técnico-propositiva do enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

- Dm_{Cx} : c – obtida a partir do consumo médio *per capita* por município, disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2024);
- T_{Cx} : Taxa de esgoto gerado efetivamente tratado e eficiência do tratamento em cada cenário – dados levantados no Produto 2 e apresentados em seus anexos.

Tabela 3.1. Relação das cargas *per capita* no efluente doméstico dos parâmetros avaliados.

Parâmetro		Carga <i>per capita</i> (g/(hab.*dia))
DBO		54,0
Fósforo	Orgânico	0,3
	Inorgânico	1,7
Nitrogênio	Orgânico	3,5
	Amônia	4,5
	Nitrito	0,0
	Nitrato	0,0
Coliformes Fecais*		10 ⁷

*Carga em NMP/hab./dia. Fonte: SPERLING (2007).

Os resultados das concentrações utilizadas nas simulações para os parâmetros do esgotamento sanitário estão apresentados no Anexo I – Cargas de esgotamento sanitário.

3.3.5.1.2 Indústrias

As cargas industriais foram estimadas para os parâmetros DBO, alumínio e manganês. As informações de DBO foram obtidas a partir de um extenso levantamento de dados na bacia e outras estimativas e consolidadas em toneladas de DBO por ano para cada indústria identificada, conforme detalhado no produto de Diagnóstico. A partir desses dados e da vazão anual de efluentes, obtida deste mesmo levantamento, foram calculadas as concentrações dos efluentes gerados em cada indústria, conforme Equação 15.

$$Concentração = \frac{DBO}{Q_{efl}} \quad \text{Equação 15}$$

Em que, DBO é a carga anual obtida em cada indústria e Q_{efl} é a vazão do efluente para cada indústria.

Como não há dados sistemáticos sobre os lançamentos diretos de cargas dos metais alumínio e manganês por fontes industriais na bacia, optou-se por uma estratégia inversa para a sua definição: foram utilizados valores médios observados nos pontos de monitoramento para estimar, de forma inicial, a carga aportada ao sistema. Em seguida, essas estimativas foram ajustadas diretamente no modelo, compatibilizando os resultados

simulados com os dados observados. Nesse processo, foram assumidos valores médios dos parâmetros de transporte e decaimento no modelo, priorizando-se o ajuste das cargas. Os resultados das concentrações utilizadas nas simulações para os três parâmetros da indústria estão apresentados no Anexo II – Cargas industriais.

3.3.5.2 Cargas difusas

As cargas difusas representam o escoamento superficial, carreando poluentes presentes na superfície da área. Uma vez que depende de diversos fatores, a quantificação de poluição difusa é um desafio técnico. Os fatores mais comuns que controlam a carga difusa são: intensidade e duração das precipitações, tipo do solo, acúmulo de material no solo, formas de uso e fisiografia do terreno. O carreamento e disponibilização desta carga para a rede de drenagem (rios, lagos e reservatórios) geralmente ocorre nos primeiros instantes dos eventos de precipitação, quando o escoamento superficial formado tem força suficiente para carrear o material acumulado sobre a superfície do solo para os corpos hídricos.

A abordagem tradicional para quantificação de cargas difusas prevê a utilização de coeficientes de exportação. Estes coeficientes representam valores típicos de carga de acordo com o uso do solo. Em Larentis (2004) foi realizada uma compilação de diversos trabalhos, trazendo coeficientes de exportação típicos para tipos de solos comuns em estudos hidrológicos. A Tabela 3.2 apresenta estes coeficientes.

Tabela 3.2. Cargas unitárias de poluentes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) por tipo de uso do solo (valores entre parênteses são médios).

Uso do Solo	Carga típica de poluentes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)			
	DBO	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Coliformes Fecais*
Floresta	2,0 - 7,0 (5,0)	1,3 - 13,0 (3,0)	0,01 - 0,9 (0,1)	-
Campo	6,0 - 17,0 (11,5)	1,5 - 12,0 (6,2)	0,1 - 2,1 (0,5)	$2,63 \times 10^{15}$
Urbano	5,0 - 112,0 (50,0)	0,2 - 20,0 (5,0)	0,1 - 10,0 (1,0)	$1,50 \times 10^9$
Agrícola	4,0 - 31,0 (18,0)	0,1 - 50,0 (5,0)	0,03 - 5 (0,5)	$2,51 \times 10^{13}$

*unidades em $\text{NMP} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Fonte: Larentis (2004).

Afim de caracterizar os usos do solo e atribuir a cada um deles as cargas unitárias apresentadas acima, optou-se por utilizar o produto MapBiomas referente a Cobertura e Uso do Solo para o ano de 2022. Para cada classe foi atribuída uma nova classificação para compatibilizar com as referências propostas por Larentis (2004). Essa compatibilização é apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Reclassificação das classes de uso do solo para metodologia.

Classificação do MapBiomias		Descrição	Classe atribuída
Floresta	Formação Florestal	Mata Atlântica: Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea	Floresta
	Formação Savânica	Mata Atlântica: Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas	Floresta
	Mangue	Formações florestais, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de Manguezal.	Floresta
	Restinga Arbórea	Mata Atlântica: Formações florestais que se estabelecem sobre solos arenosos ou sobre dunas na zona costeira.	Floresta
	Campo Alagado e Área Pantanosa	Mata Atlântica: Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre.	Sem classificação
	Formação Campestre	Mata Atlântica: Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas	Sem classificação
Formação Natural não Florestal	Apicum	Apicuns ou Salgados são formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme.	Sem classificação
	Afloramento Rochoso	Mata Atlântica: Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade	Sem classificação
	Restinga Herbácea	Mata Atlântica: Vegetação herbácea com influência fluviomarinha.	Sem classificação
	Outras Formações não Florestais	Mata Atlântica: Outras Formações Naturais não florestais que não puderam ser categorizadas.	Sem classificação
	Pastagem	Áreas de pastagem predominantemente plantadas, diretamente relacionadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo. Na Amazônia, podem ocorrer áreas desmatadas recentemente, sem ainda ter iniciado a atividade agropecuária.	Campo
Agropecuária	Lavoura temporária - Soja	Áreas cultivadas com a cultura da soja	Agrícola
	Lavoura temporária - Cana	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar.	Agrícola
	Lavoura temporária - Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.	Agrícola
	Lavoura perene - Café	Áreas cultivadas com a cultura do café.	Agrícola
	Lavoura perene - Outras	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo	Agrícola

Classificação do MapBiomass		Descrição	Classe atribuída
Área Não Vegetada	Lavouras Perenes	plantio. Nessa versão, o mapa abrange majoritariamente áreas de caju, no litoral do nordeste e dendê na região nordeste do Pará, porém sem distinção entre eles.	Agrícola
	Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).	
	Mosaico de Usos	Mata Atlântica: Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.	Agrícola
	Praia, Duna e Areal	Cordões arenosos, de coloração branco brilhante, onde não há o predomínio de vegetação de nenhum tipo.	Sem Classificação
	Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura	Urbano
	Mineração	Áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação antrópica. Somente são consideradas áreas próximas a referências espaciais de recursos mineiros do SGB/CPRM (GeoSGB), da AhkBrasilien (AHK), do projeto DETER (INPE), do Instituto Socioambiental (ISA) e de FL Lobo et al. 2018	Sem Classificação
Corpos D'água	Outras Áreas não Vegetadas	Mata Atlântica: Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.	Sem Classificação
	Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.	Sem Classificação
	Aquicultura	Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura	Sem Classificação
Não Observado		Áreas bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico, ou com ausência de observação.	Sem Classificação

Fonte: MapBiomass e Larentis (2004).

Para viabilizar a simulação das cargas difusas no modelo, optou-se por concentrá-las em 58 bacias hidrográficas representativas, definidas com base na segmentação do modelo e nas UPs. Essa simplificação foi necessária devido às limitações da versão atual da ferramenta, que não permite a inserção de cargas difusas distribuídas espacialmente por área — apenas no formato de cargas pontuais.

Dessa forma, as cargas difusas geradas por diferentes tipos de uso e ocupação do solo foram agregadas e associadas a pontos específicos da rede hidrográfica. Para cada uma das 58 bacias, a área ocupada por cada classe de uso do solo foi calculada e multiplicada por um fator de exportação específico, resultando em uma carga total por parâmetro. Esses valores foram então inseridos no modelo como contribuições concentradas nos trechos de rio correspondentes a cada bacia.

A conversão das cargas totais em concentrações foi realizada com base na vazão incremental dos trechos de rio associados, de modo que essas cargas atuem como uma "concentração inicial" de poluentes, sujeita aos processos de transporte e decaimento previstos no modelo.

Os resultados das cargas difusas para cada parâmetro calculado estão apresentadas no Anexo III – Cargas difusas.

3.3.6 *Processamento da modelagem*

A modelagem de qualidade d'água realizada pelo modelo WARM-GIS é obtida através dos seguintes arquivos de entrada:

- Topologia da bacia: arquivos vetoriais da drenagem e das minibacias (área de contribuição de cada trecho), os mesmos gerados na etapa de estimativa da disponibilidade hídrica durante a modelagem hidrológica, esses arquivos devem conter uma série de informações como, por exemplo, a área acumulada de cada trecho, vazão, e área de contribuição do trecho;
- Dados de disponibilidade hídrica: os dados quantitativos das vazões de referência utilizados pelo modelo para o balanço qualiquantitativo são retirados das informações da tabela de atributos do arquivo vetorial da drenagem, onde consta uma coluna para cada cenário de vazão, discretizada para cada trecho. Desta forma, pode-se avaliar diferentes cenários de disponibilidade hídrica, basta ter uma coluna para cada cenário;
- Pontos de lançamento de cargas de poluição: dados referentes às cargas de poluentes, contendo as coordenadas geográficas do local do lançamento, os valores de vazão do efluente em cada um desses pontos de lançamento, e a concentração de cada poluente presente no efluente em cada ponto que será avaliado;
- Definição das condições iniciais: é necessário informar ao modelo as condições iniciais de qualidade do corpo hídrico receptor inserindo as concentrações dos parâmetros – OD, DBO, nitrogênio, fósforo e coliformes termotolerantes – na condição inicial dos rios (antes de receber o lançamento dos efluentes). Essa condição inicial pode ser variável para cada trecho avaliado, de acordo com as condições iniciais locais;

- Definição dos parâmetros de cálculo: Por fim, devem ser fornecidos os valores dos coeficientes utilizados nas equações de decaimento dos poluentes do modelo para os parâmetros avaliados. Esses coeficientes são também uma forma de calibração do resultado do modelo (Tabela 3.4).

O balanço de qualidade foi simulado para todos os cenários de vazão descritos no tópico 3.3.1, no entanto, o modelo foi calibrado para a vazão Q_{50} . Após a calibração, o modelo foi aplicado com os mesmos parâmetros para os demais cenários de permanência, buscando assim, avaliar o comportamento da qualidade d'água em diferentes condições de vazão (máximas, médias e mínimas).

O resultado do modelo apresenta a concentração dos poluentes em cada trecho de rio após o lançamento e decaimento de acordo com a distância do ponto de lançamento. Além do valor de concentração para cada trecho, o modelo apresenta também a drenagem discretizada com a classe de qualidade de cada trecho em relação aos limites do parâmetro analisado de acordo com a CONAMA nº 357/2005. Vale ressaltar que o modelo foi aplicado em uma drenagem mais discretizada (com cerca de 1700 trechos) do que a apresentada nos resultados (trechos da segmentação) para possibilitar uma melhor avaliação do decaimento dos poluentes localmente. Posteriormente os resultados foram transferidos para a segmentação proposta, que possui os 600 trechos.

Na transferência de informações da drenagem mais detalhada para os trechos definidos no processo de enquadramento, foi adotado o pior valor obtido entre os segmentos que compõem cada trecho para definir a sua classe de qualidade atual. Esse procedimento, de natureza conservadora, pode resultar na atribuição de uma classe de qualidade inferior àquela que efetivamente prevalece no trecho.

3.3.6.1 Parâmetros de decaimento

A calibração dos coeficientes do modelo WARM-GIS Tools foi executada manualmente, por intermédio da alteração direta dos valores dos coeficientes. Para tanto, utilizou-se o procedimento de tentativa e erro, alterando-se os valores dos coeficientes de calibração, em conjunto com a observação da variação das métricas de avaliação.

As faixas de variação dos valores dos parâmetros de reação calibrados dos poluentes simulados foram obtidas na bibliografia. Os valores do decaimento para alguns poluentes foram estimados trecho a trecho considerando características físicas do local, como a

velocidade, profundidade e largura do trecho. A Tabela 3.4 apresenta as faixas de variação utilizadas dos coeficientes dos parâmetros do modelo.

Tabela 3.4. Descrição dos coeficientes de transformação dos parâmetros do modelo.

Parâmetro (unidade)	Descrição	Obtenção	Faixa de valores
T (d)	tempo de percurso no trecho	razão entre a velocidade e o comprimento do trecho	-
K_d (d ⁻¹)	Coeficiente de decomposição	parâmetro calibrado	0,1 a 1,0
K_s (d ⁻¹)	Coeficiente de sedimentação da matéria orgânica	razão entre a velocidade de sedimentação da matéria orgânica e a profundidade	0,1 a 0,5
V_{smo} (m.d ⁻¹)	Velocidade de sedimentação da matéria orgânica	parâmetro calibrado	0,01 a 0,1
K_r (d ⁻¹)	Coeficiente de remoção	$K_d + K_s$	-
K_a (d ⁻¹)	Coeficiente de reaeração	parâmetro calibrado ou calculado	0,12 a 10,0
C_{OD_s} (mg.L ⁻¹)	Oxigênio dissolvido de saturação	condição inicial (verificar dados observados sem influência antrópica)	8,5 a 10
K_{oi} (d ⁻¹)	Coeficiente de transformação do fósforo orgânico para inorgânico	parâmetro calibrado	0,01 a 0,7
K_{spt} (d ⁻¹)	Coeficiente de sedimentação do fósforo total	razão entre a veloc. de sedimentação do fósforo total e a profundidade	0,001 a 0,1
V_{spt} (m.d ⁻¹)	Velocidade de sedimentação do fósforo total	parâmetro calibrado	0,01 a 0,05
K_{col} (d ⁻¹)	Coeficiente de decaimento dos coliformes termotolerantes	parâmetro calibrado	0,5 a 1,5
K_{oa} (d ⁻¹)	Coeficiente de transformação do nit. orgânico para nit. amoniacal	parâmetro calibrado	0,02 a 0,4
K_{an} (d ⁻¹)	Coeficiente de transformação do nit. amoniacal para nitrato	parâmetro calibrado	0,1 a 2,0
K_{den} (d ⁻¹)	Coeficiente de desnitrificação	parâmetro calibrado	0,01 a 0,5
$R_{O_2 amon}$ (mgO ₂ /mgNa)	*Relação entre o oxigênio consumido por cada unidade de amônia oxidada	parâmetro fixo	4,3

Fonte: Kayser e Collischonn (2017).

3.3.6.2 Métricas de calibração

Para a calibração do modelo de qualidade de água é necessário que se ajustem as informações simuladas com os dados observados nos pontos de monitoramento presentes na bacia. Dessa forma, nessa etapa buscou-se uma boa representatividade do modelo utilizando-se de métricas de calibração sugeridas pelo modelo. Essas métricas são abordadas a seguir.

- *Root Mean Squared Error* (RMSE): é uma medida que calcula "a raiz quadrática média" dos erros entre valores observados (reais) e predições (hipóteses).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_p)^2}{n}}$$
Equação 16

- Coeficiente *Percent BIAS* (PBIAS): é a medida da tendência média das vazões simuladas serem maiores ou menores que as observadas,

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p) * 100}{\sum_{i=1}^n y_i}$$
Equação 17

onde, y_i são os valores observados; y_p os valores preditos; n o número de observações.

Tanto para o RMSE quanto para o coeficiente PBIAS um menor valor indica um melhor ajuste dos valores simulados e observados. Ou seja, quanto mais próximo de zero, melhor o modelo representará a realidade (MORIASI *et al.*, 2007).

3.3.6.3 Pontos de monitoramento

Os pontos de monitoramento, levantados de acordo com a metodologia descrita no Diagnóstico, foram utilizados no processo de calibração do modelo. No total foram levantados 388 pontos na BHPS, conforme apresentado na Tabela 3.5 e na Figura 3.4. Destaca-se que não foram considerados todos os 388 pontos de monitoramento na calibração, tendo em vista que nem todos apresentam resultados para os parâmetros simulados. Na calibração para os seis parâmetros do modelo que não consideram os metais (DBO, OD, coliformes, fósforo, nitrogênio amoniacal e nitrato) foram usadas 261 estações. Já para os metais, para o manganês foram usadas 113 e para o alumínio 105 estações.

O mesmo conjunto de pontos de monitoramento foi utilizado para análise do ICE, conforme apresentado no item 4.5.

Tabela 3.5. Pontos de monitoramento na BHPS.

Fonte	Número de pontos
ANA	61
CBH PIABANHA	120
CBH-MPS	34
CETESB	34
IGAM	42
INEA	64
Monitorar - CEIVAP	33
Total Geral	388

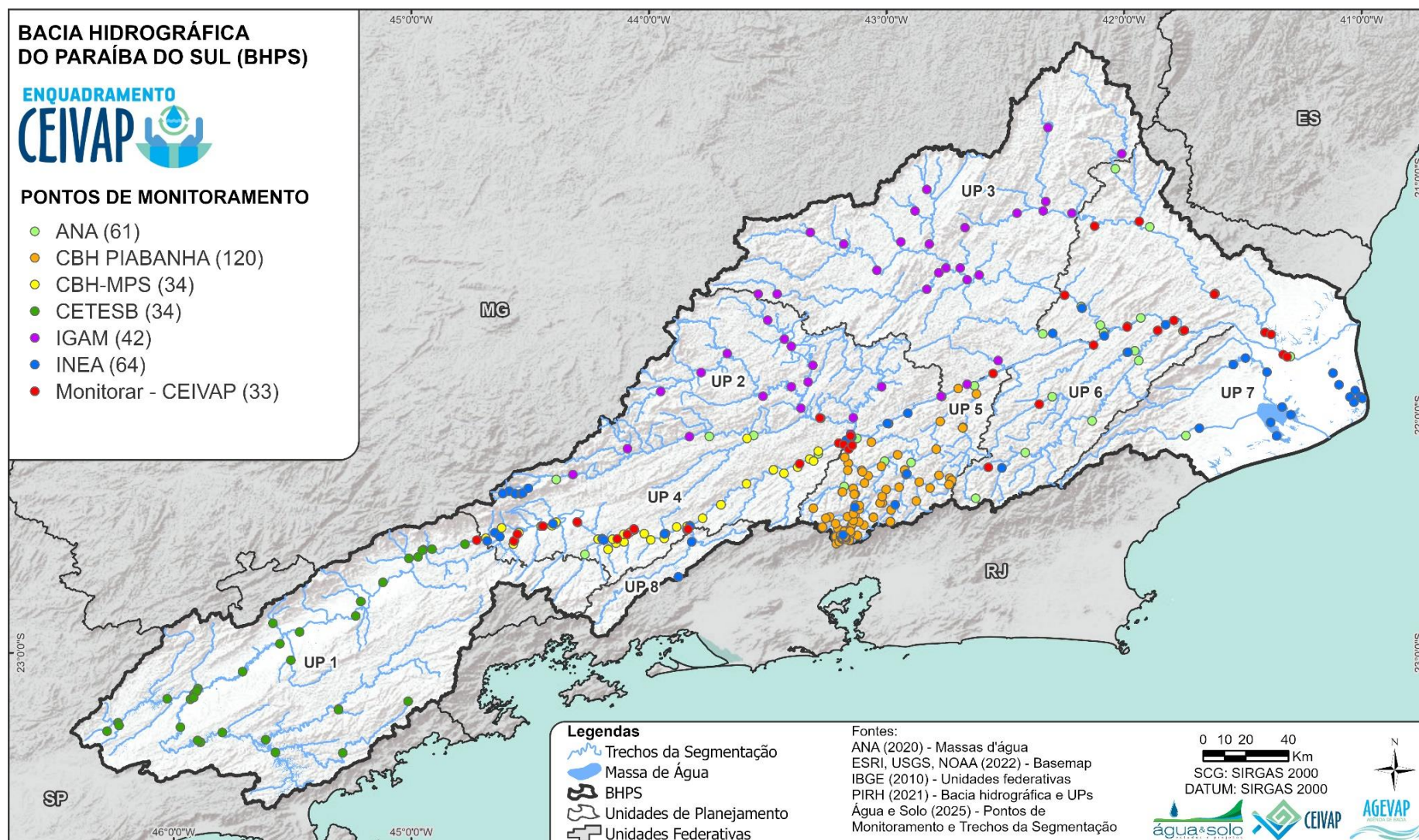


Figura 3.4. Localização dos pontos de monitoramento com dados na BHPS.

3.3.6.4 Influência dos principais reservatórios

Os grandes reservatórios impactam a qualidade da água de várias maneiras, e esses impactos podem ser tanto positivos quanto negativos, dependendo de fatores como o uso do reservatório, a gestão ambiental, as características da bacia hidrográfica e as atividades humanas nas áreas adjacentes.

Ao avaliarmos a qualidade d'água em uma bacia com grandes reservatórios, devemos considerar certa influência por parte desses tanto na retenção de poluentes (caso mais comum) quanto no aumento da concentração destes (quando o reservatório atua concentrando mais poluentes do seu entorno). Desta maneira, na etapa de modelagem e calibração dos resultados, avaliou-se a possibilidade de considerar esse efeito nos principais reservatórios da bacia, indicados conforme apresentado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Reservatórios indicados para análise de influência na qualidade d'água do corpo hídrico.

Coordenadas	Reservatório	Proprietário	Operação	UP
(-45,66; -23,36)	Paraibuna/Paraitinga	EBDE Energia S.A.	Regularização	1
(-45,87; -23,37)	Santa Branca	Light Energia S.A.	Regularização	1
(-46,13; -23,20)	Jaguari		Transposição	1
(-43,40; -21,68)	Chapéu Duvas	CESAMA	Abastecimento	2
(-43,52; -21,58)	Doutor João Penido	CESAMA	Abastecimento	2
(-44,56; -22,53)	Funil	Furnas Centrais Elétricas S.A.	Regularização	4
(-44,39; -22,45)	Lagoa da Turfeira	REVIS	Recebe efluentes	4
(-44,12; -22,75)	Tócos		Regularização	8

Avaliando a disponibilidade de dados monitorados para os parâmetros analisados neste estudo, dos reservatórios indicados foi realizado um ajuste considerando os seguintes reservatórios: Paraibuna Paraitinga, Santa Branca, Jaguari, Funil e a Lagoa da Turfeira, conforme apresentado no item 4.2.

O efeito foi considerado através de um balanço simples de qualidade entre um ponto monitorado a montante do reservatório e um ponto monitorado a jusante. Desta forma, a diferença entre a média dos valores dos parâmetros observados entre um ponto e outro foi considerada como influência direta do reservatório.

Assim, durante a calibração da modelagem de qualidade, os valores dos parâmetros poluentes nos trechos imediatamente após o reservatório foram ajustados para considerar

essa influência. Esse ajuste consistiu na redução ou aumento da concentração de um poluente em uma determinada porcentagem, obtida através da análise dos dados monitorados e do balanço simplificado.

4 Resultados da modelagem

Neste item são apresentados os resultados da modelagem de qualidade de água no cenário atual para a BHPS. São apresentados os resultados da calibração, e da modelagem de qualidade da água para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$.

4.1 Calibração do modelo matemático de qualidade da água

Nesse item será apresentada a calibração realizada para o cenário Q_{50} . A calibração do modelo adotou o procedimento descrito no item 3.3.6, onde os dados simulados foram comparados com os dados observados. A calibração foi executada em todas as UPs com exceção da UP8, que não possui dados de monitoramento suficientemente consistentes.

O modelo lê e plota os dados observados em um diagrama boxplot, onde os pontos discrepantes aparecem como pontos transparentes externos ao diagrama, a caixa azul representa onde se concentram a maioria dos dados observados e a linha amarela no centro da caixa representa a mediana dos dados observados. Esses dados plotados no boxplot são então comparados estatisticamente com a linha preta, que corresponde aos dados simulados.

A calibração priorizou obter boas métricas como descrito anteriormente. No entanto, vale ressaltar, que em diversas estações com dados observados a dispersão dos valores medidos (amplitude da série), principalmente nos coliformes, foi muito grande, impossibilitando a obtenção de valores muito bons para as métricas. Nesse caso, o procedimento de calibração consistiu em fazer com que a informação simulada se aproximasse o máximo possível do valor da mediana (traço amarelo no diagrama de boxplot). Em algumas UPs com maior disponibilidade de dados monitorados, a calibração foi realizada em mais de um trecho. Assim, a seguir serão apresentados os resultados da calibração por trecho calibrado de cada UP, nomeados sequencialmente como “a” e “b”.

4.1.1 UP1

A Figura 4.1 apresenta o resultado da calibração na UP1 para os parâmetros simulados. Nota-se que, em geral, o resultado da calibração nessa UP é satisfatório. Para a maioria dos parâmetros as métricas apresentaram bons valores. O fato do parâmetro coliformes ter apresentado um valor elevado, é resultado da grande amplitude de valores registrados nas campanhas de medição, variando de 0 a 10^7 org/100ml em alguns locais. Vale ressaltar

que isso ocorre em praticamente todas as UPs, e é no entanto, é uma característica da calibração de coliformes devido a essa alta amplitude dos valores. Ainda, observa-se que em praticamente todas as estações do rio principal (trecho b) na UP, os valores de coliforme simulados ficaram próximos da mediana.

Já para os demais parâmetros, nota-se que os dados simulados se ajustaram satisfatoriamente aos dados observados, tanto no trecho “a”, que inicia no rio Paraitinga e vai até o encontro do rio Jaguari com o rio Paraíba do Sul em São José dos Campos quanto no trecho “b”, que vai da cabeceira do rio Jaguari até o rio Paraíba do Sul na altura de Queluz (final da UP1).

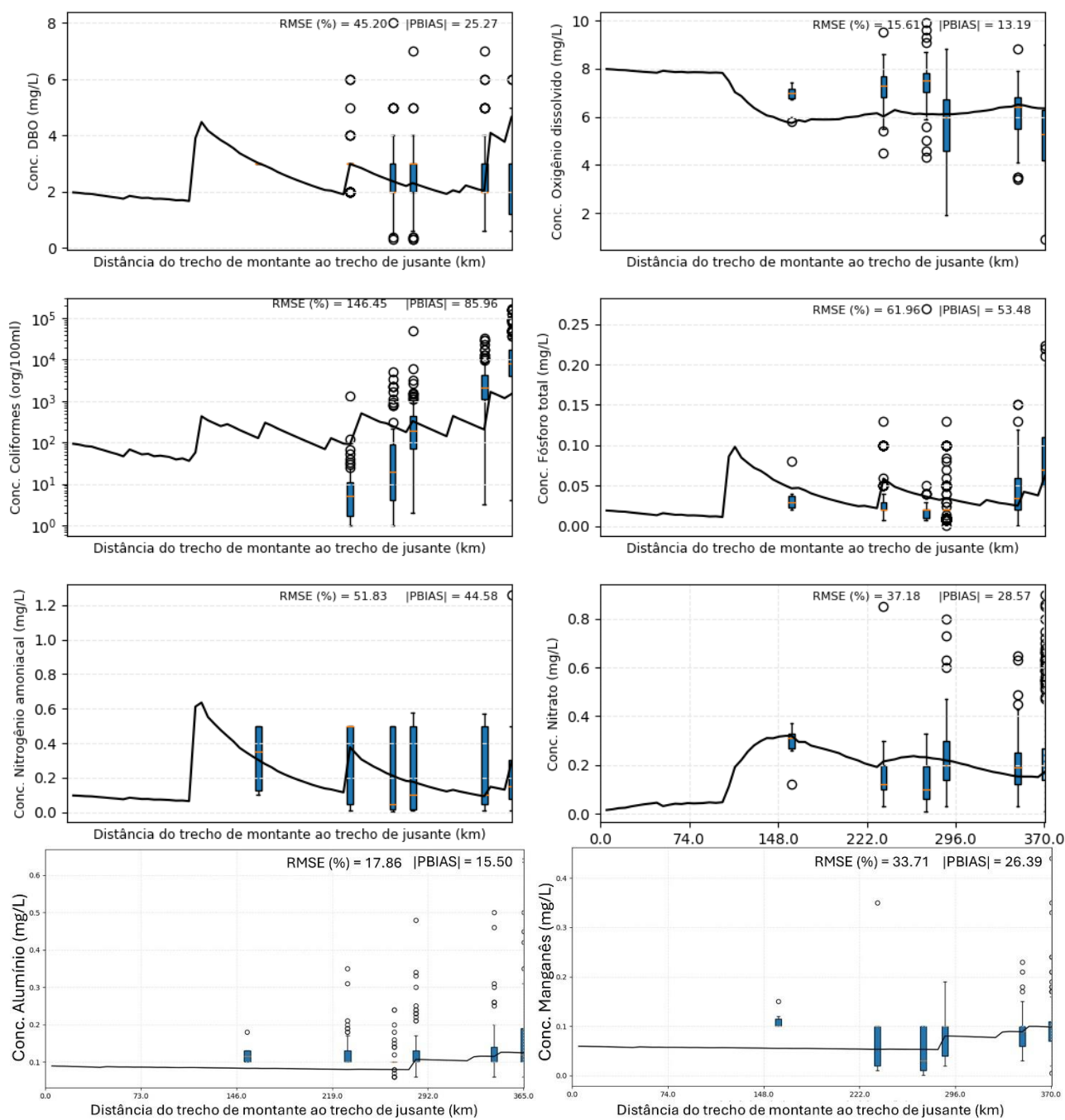


Figura 4.1. Calibração para o trecho "a" da UP1.

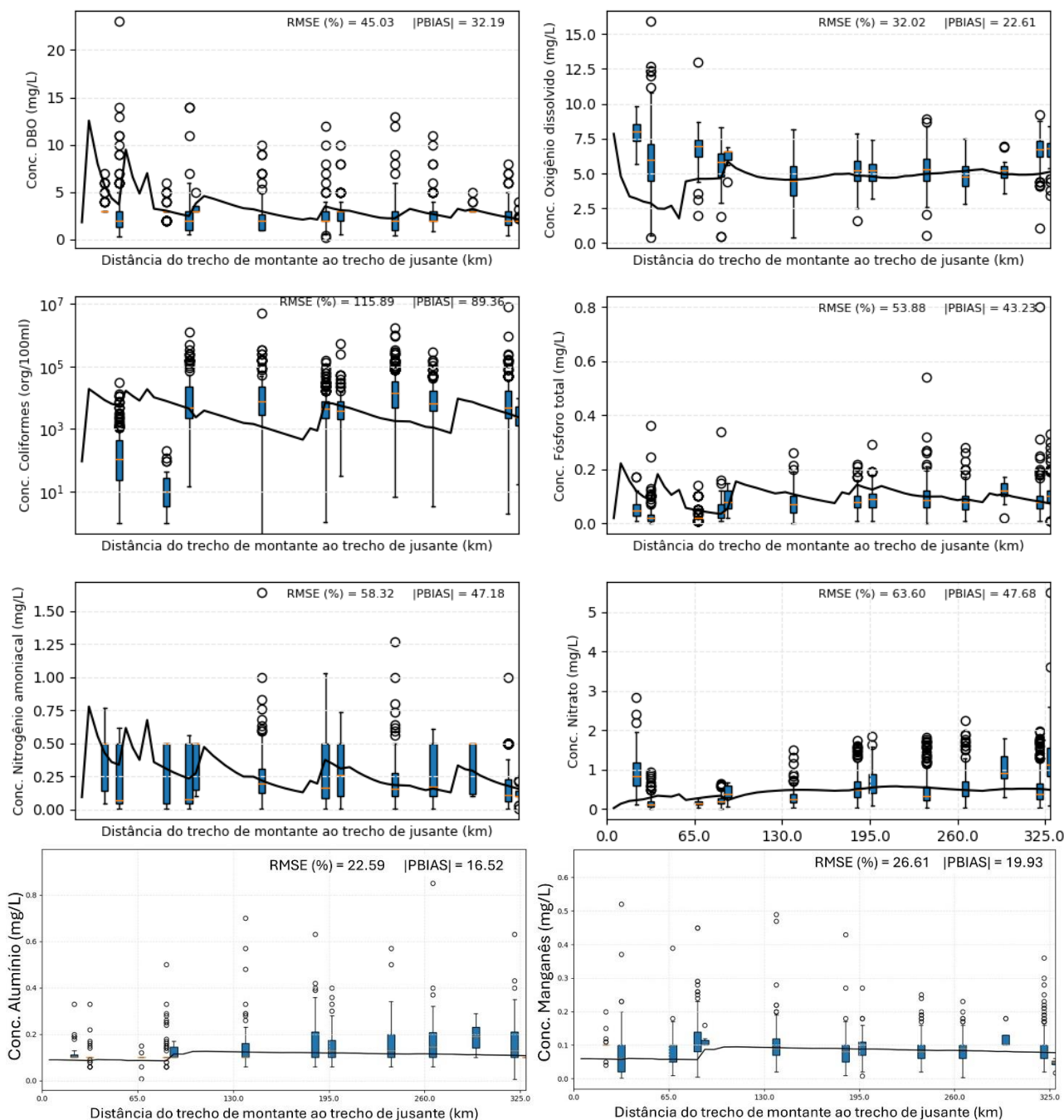


Figura 4.2. Calibração para o trecho “b” da UP1.

4.1.2 UP2

Na UP2, o trecho “a” compreende o percurso do rio do Peixe até a confluência do rio Paraibuna com o rio Paraíba do Sul (fim da UP2) e o trecho “b”, a totalidade do rio Paraibuna, de sua cabeceira até sua confluência com o rio Paraíba do Sul. A Figura 4.3 e a Figura 4.4 apresentam o resultado da calibração para os parâmetros simulados na UP2. Em geral, a calibração dos parâmetros se ajustou bem aos dados observados. A exceção foi novamente os coliformes, em ambos os trechos. A DBO e o nitrogênio amoniacal no

trecho “b” também apresentaram valores ligeiramente elevados para as métricas de calibração, no entanto, em geral os valores simulados se aproximaram bem das medianas. No trecho “b” é possível visualizar nos dados monitorados uma qualidade pior, com diversos parâmetros atingindo valores compatíveis com a classe 4, como é o caso da DBO, do OD, dos coliformes e do fósforo, o que não ocorre no trecho “a”.

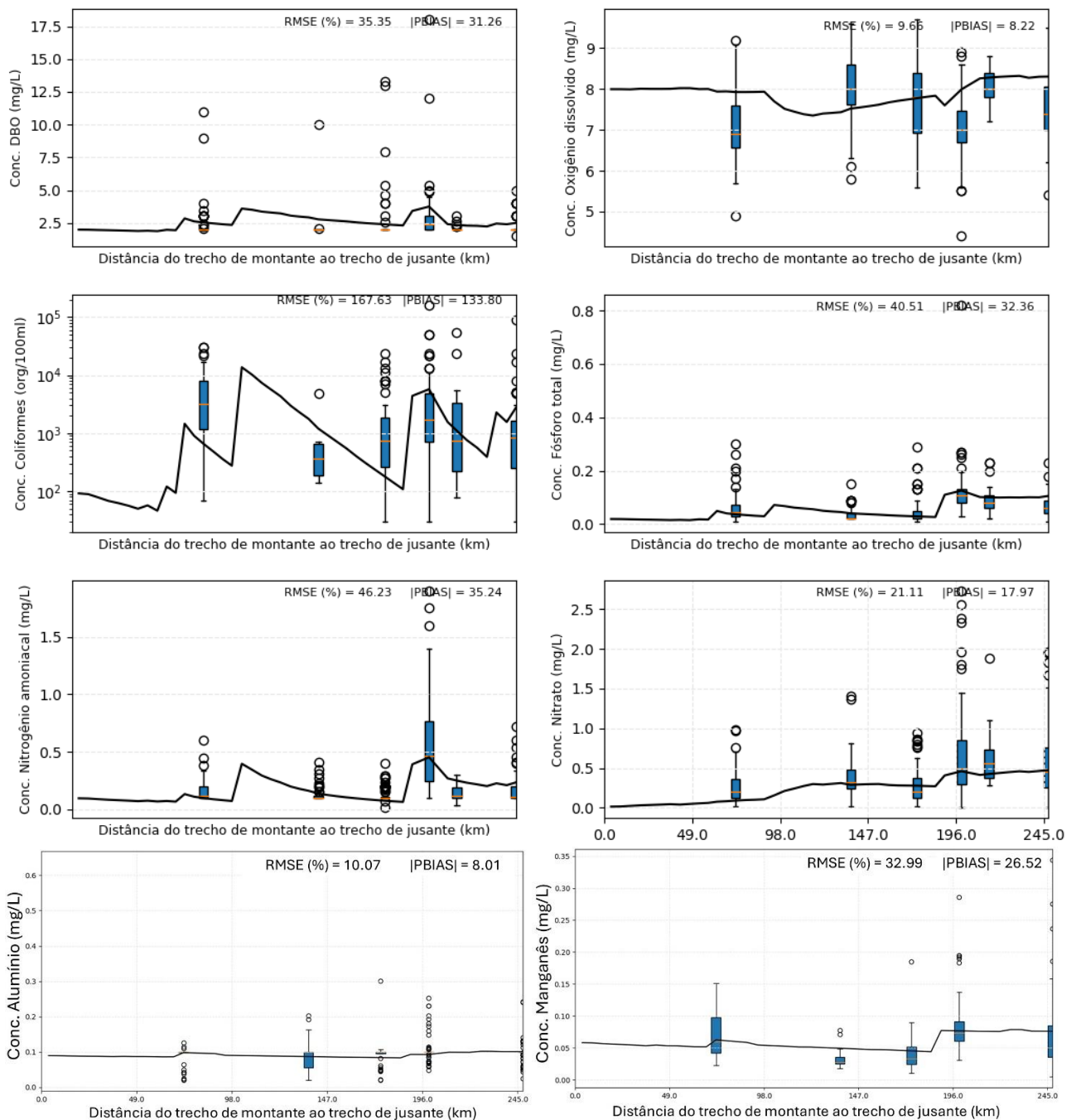


Figura 4.3. Calibração para o trecho “a” da UP2.

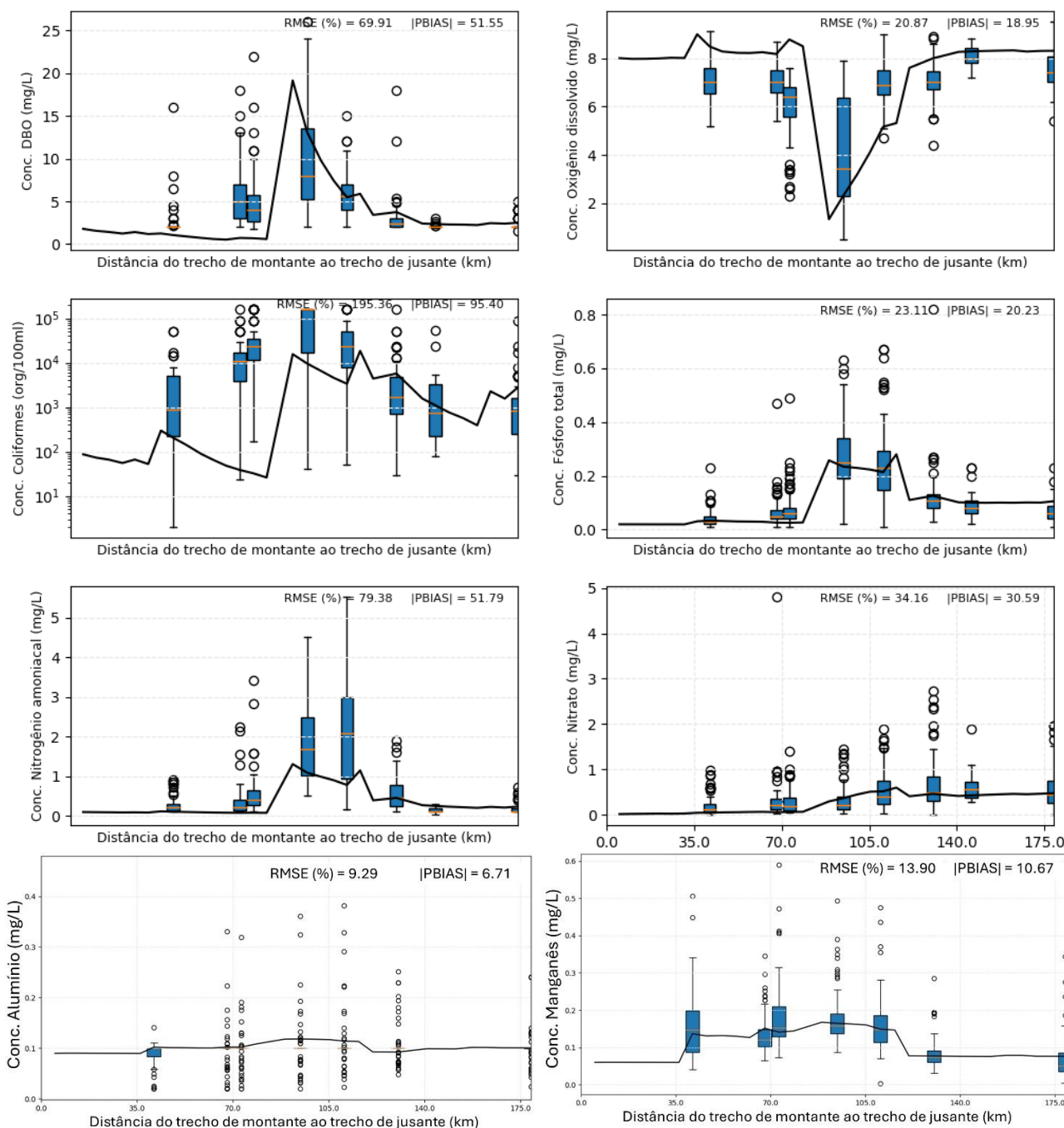


Figura 4.4. Calibração para o trecho "b" da UP2.

4.1.3 UP3

Nessa UP, o trecho "a" compreende a totalidade do rio Pomba, de sua cabeceira até sua confluência com o rio Paraíba do Sul (fim da UP3), e o trecho "b" compreende o percurso do rio do Pinho até o fim da UP3. Como é possível observar na Figura 4.5 e na Figura 4.6, em geral os resultados da calibração para a UP3 foram satisfatórios. Na UP3, os dados monitorados para a DBO apresentaram elevada dispersão, com muitos valores atípicos.

Consequentemente, o resultado da calibração para a DBO foi um pouco afetado. Isso também ocorreu para o nitrogênio amoniacal no trecho “b”. Para os demais parâmetros os resultados foram considerados satisfatórios.

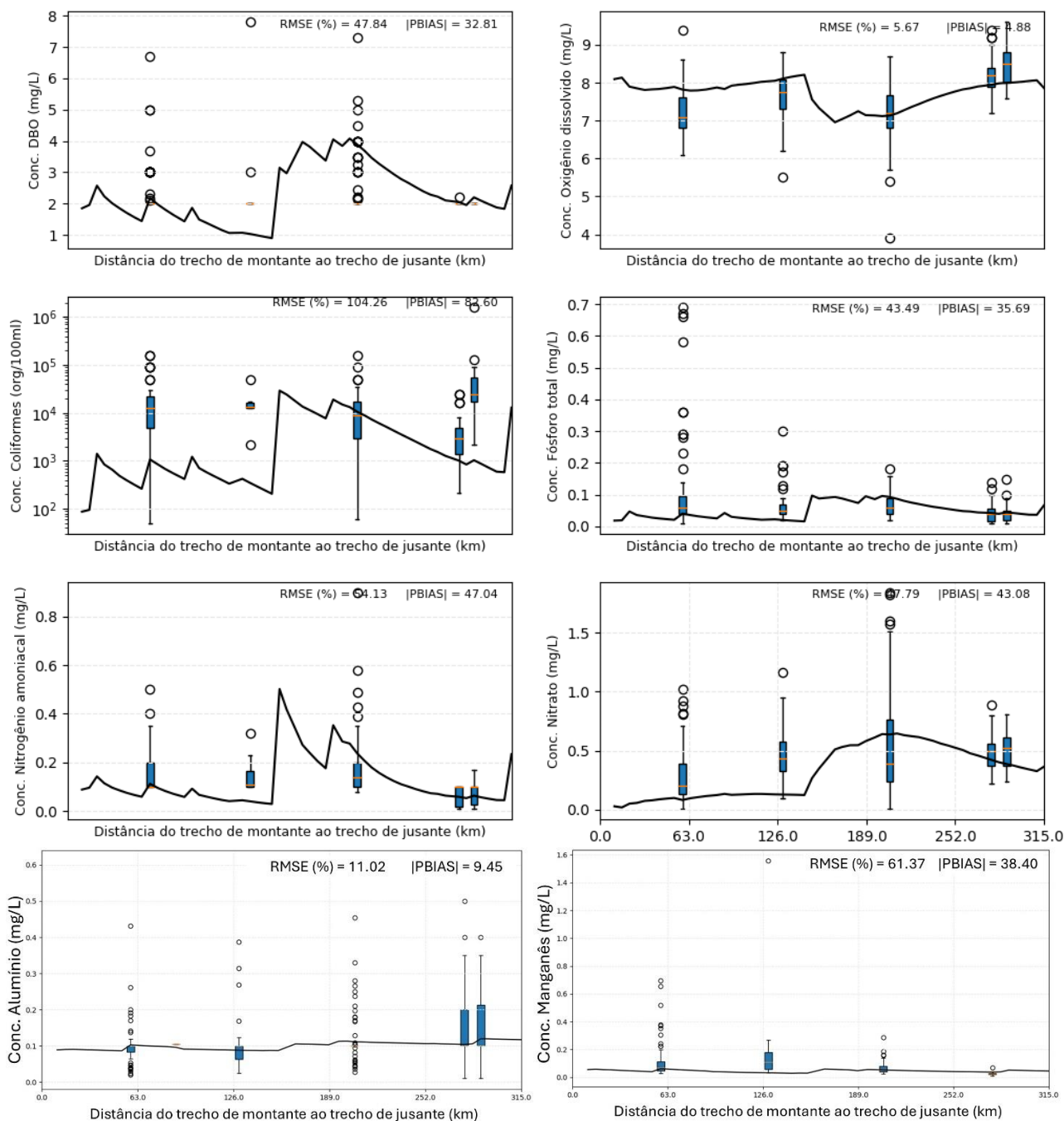


Figura 4.5. Calibração para o trecho “a” da UP3.

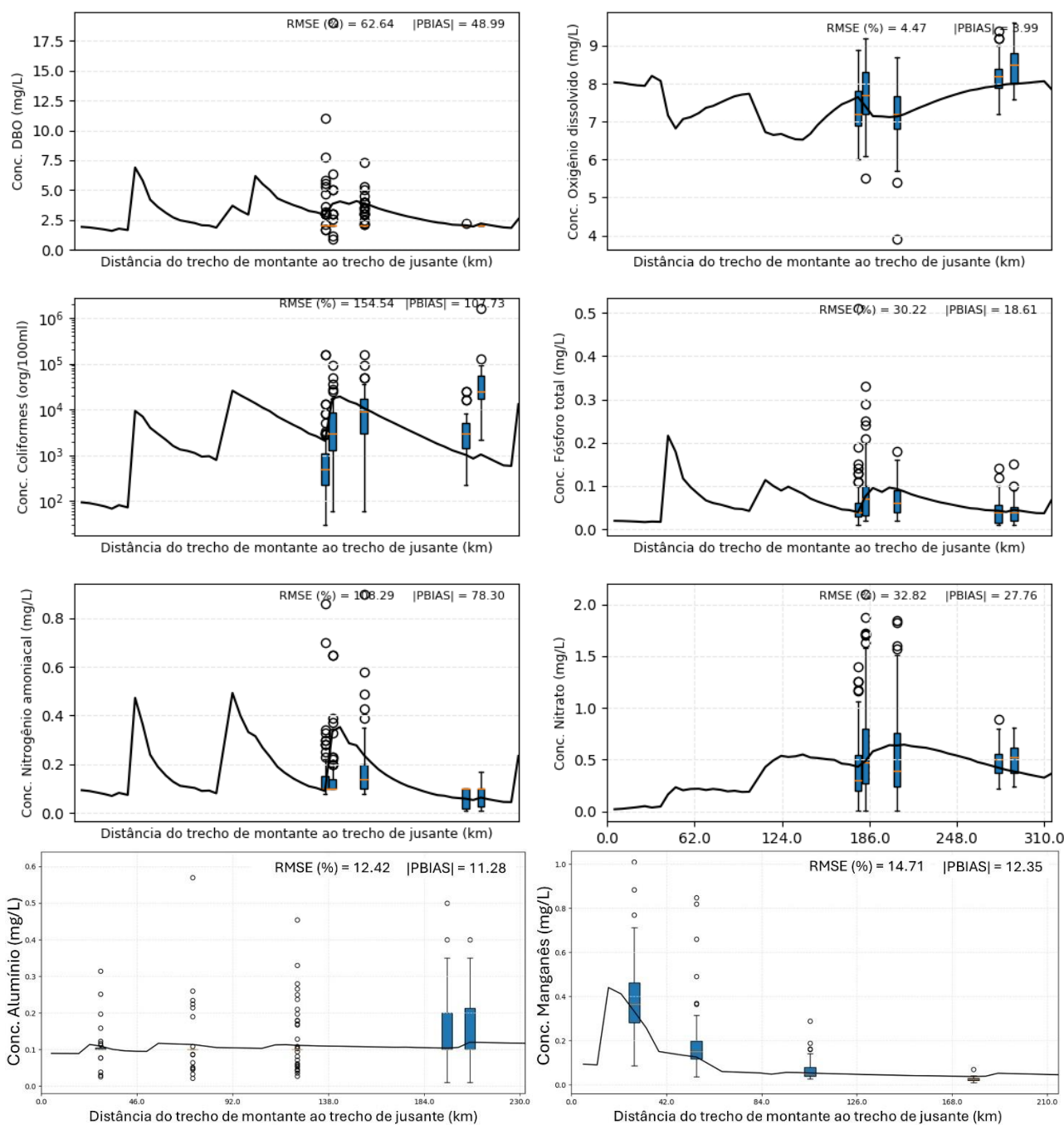


Figura 4.6. Calibração para o trecho “b” da UP3.

4.1.4 UP4

A calibração realizada na UP4 contempla um trecho do curso principal do rio Paraíba do Sul, indo de Queluz até o município de Paraíba do Sul. A Figura 4.7 apresenta o resultado da calibração para a UP4.

Em geral os resultados foram satisfatórios. Há um ponto onde observa-se um degrau, aumentando a concentração da maioria dos parâmetros e diminuindo a do OD próximo aos

150 km. Isso ocorre devido a estação elevatória Santa Cecília, que causa uma diminuição abrupta na vazão. No entanto, é possível observar que os dados simulados não se distanciam muito dos observados. Em geral, esse trecho apresentou métricas consideradas satisfatórias ou boas, mesmo com a grande quantidade de dados atípicos para a DBO.

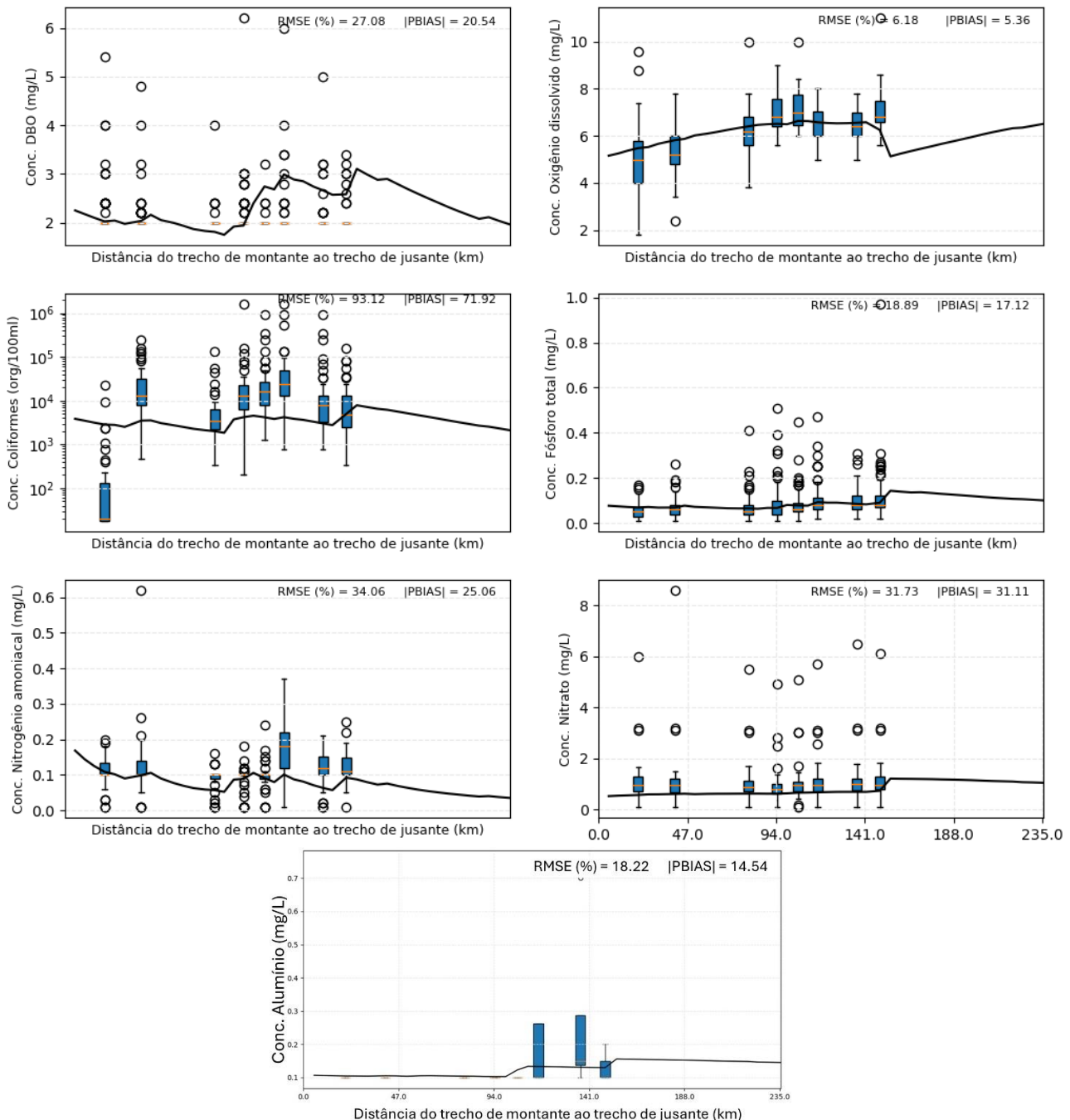


Figura 4.7. Calibração para o trecho "a" da UP4.

4.1.5 UP5

A UP5 é a menor em termos de extensão do rio principal. A calibração foi realizada no trecho "a", que compreende todo o rio Piabanha, de sua cabeceira em Petrópolis até sua

confluência com o rio Paraíba do Sul (fim da UP5). Já o trecho “b” abrange o rio Paquequer e o rio Preto, indo desde Teresópolis até o fim da UP5. A Figura 4.8 e a Figura 4.9 apresentam o resultado da calibração para essa UP.

Em geral os parâmetros se ajustaram bem, com valores de métricas um pouco elevados, mas apresentando uma boa proximidade com a mediana dos dados observados em quase todos os locais. Ao analisar os gráficos de calibração para ambos os trechos, observa-se que o trecho inicial (cabeceiras) apresenta, de acordo com os dados monitorados, uma qualidade da água ruim, com concentrações compatíveis com a classe 4 para quase todos os parâmetros (exceto o nitrogênio). Assim, observa-se que a presença de duas grandes cidades (Petrópolis e Teresópolis) nessas regiões geram um grande impacto na qualidade da água, cenário reproduzido adequadamente pelo modelo. O manganês possui poucos dados disponíveis para a calibração nessa UP, no entanto, ainda assim o modelo ajustou-se bem, obtendo um resultado satisfatório. Para o alumínio não foram encontrados dados suficientes para a calibração nessa UP.

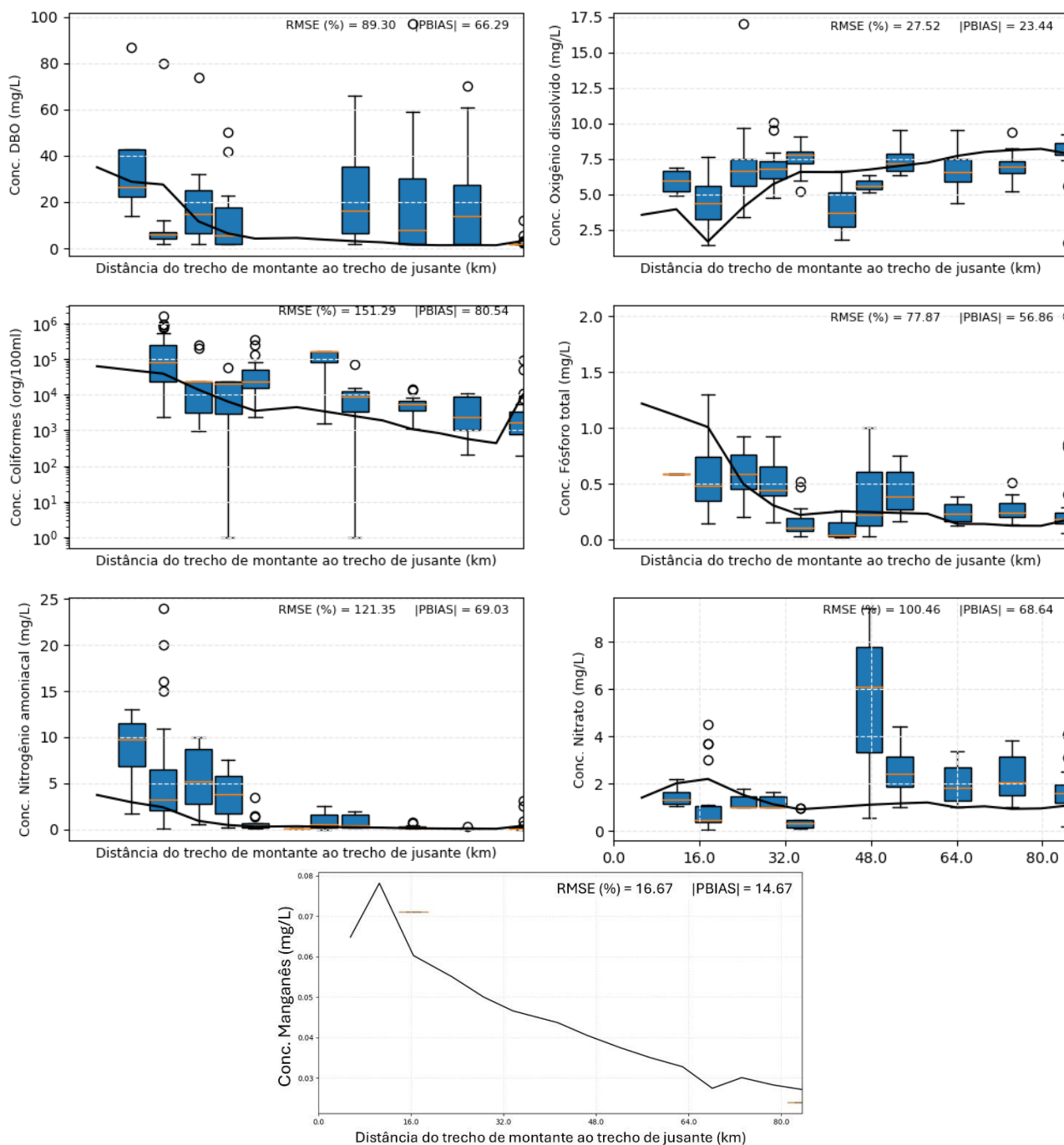


Figura 4.8. Calibração para o trecho "a" da UP5.

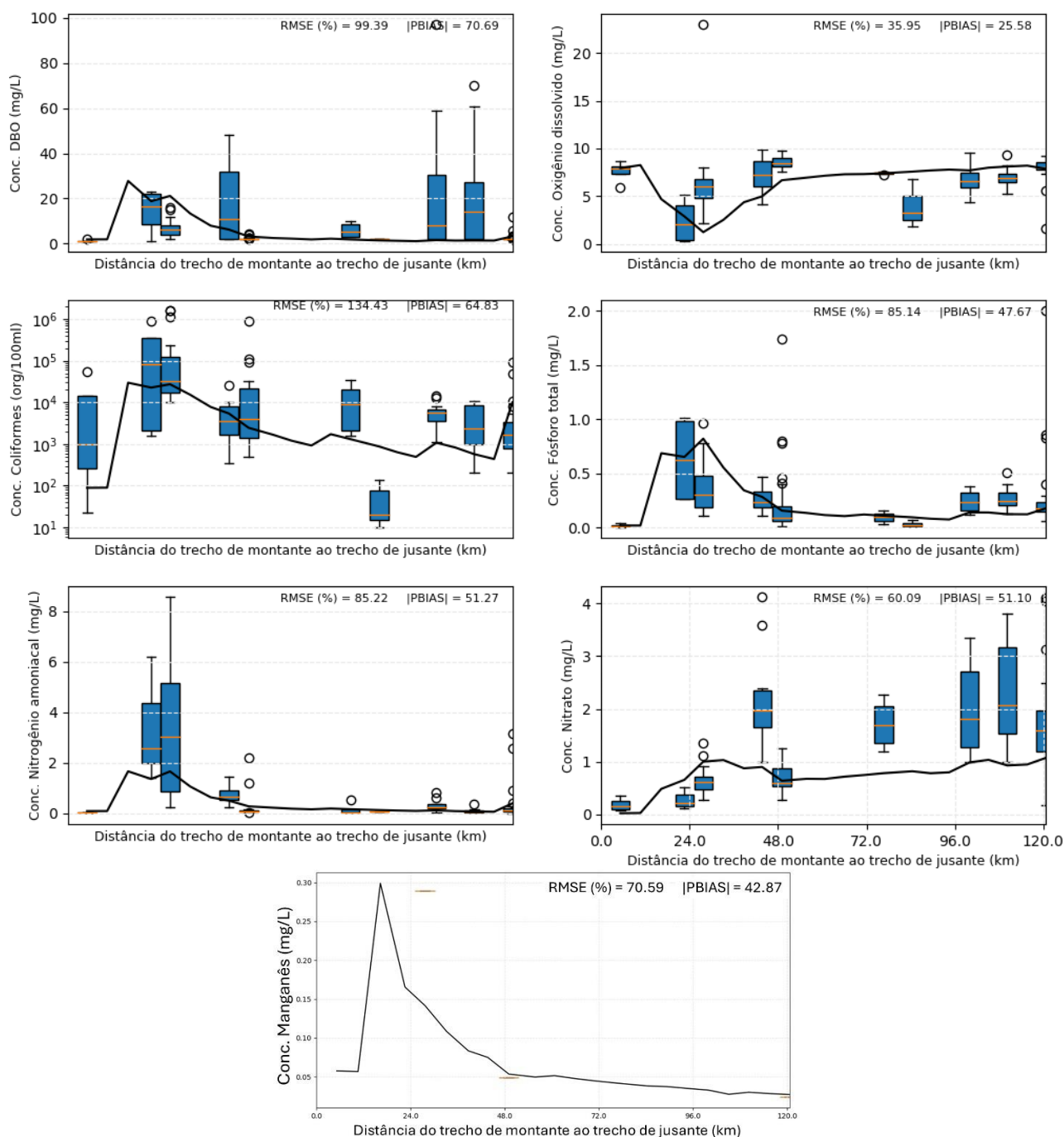


Figura 4.9. Calibração para o trecho “b” da UP5.

4.1.6 UP6

A UP6 é o local com menos dados consistentes disponíveis para a calibração em toda a bacia. Nessa UP, o trecho “a” vai do rio Bengala em Nova Friburgo até a confluência do córrego Valão de Areia com o rio Paraíba do Sul (fim da UP6). O trecho “b” vai da cabeceira do rio Negro até o fim da UP6. Apenas três estações se encontram no percurso do trecho “a”, uma mais a montante e duas quase no exutório da UP6. No trecho “b” são identificadas quatro estações de monitoramento, todas próximas ao exutório.

A Figura 4.10 e a Figura 4.11 apresentam o resultado dessa calibração. Em geral, as métricas foram satisfatórias para todos os parâmetros, com exceção dos coliformes e da DBO no trecho “a” e do nitrato no trecho “b”, que apresentaram um valor um pouco elevado. Ainda, todos os parâmetros apresentaram resultados calibrados em escala compatível com os dados monitorados, demonstrando adequação da calibração nesta UP.

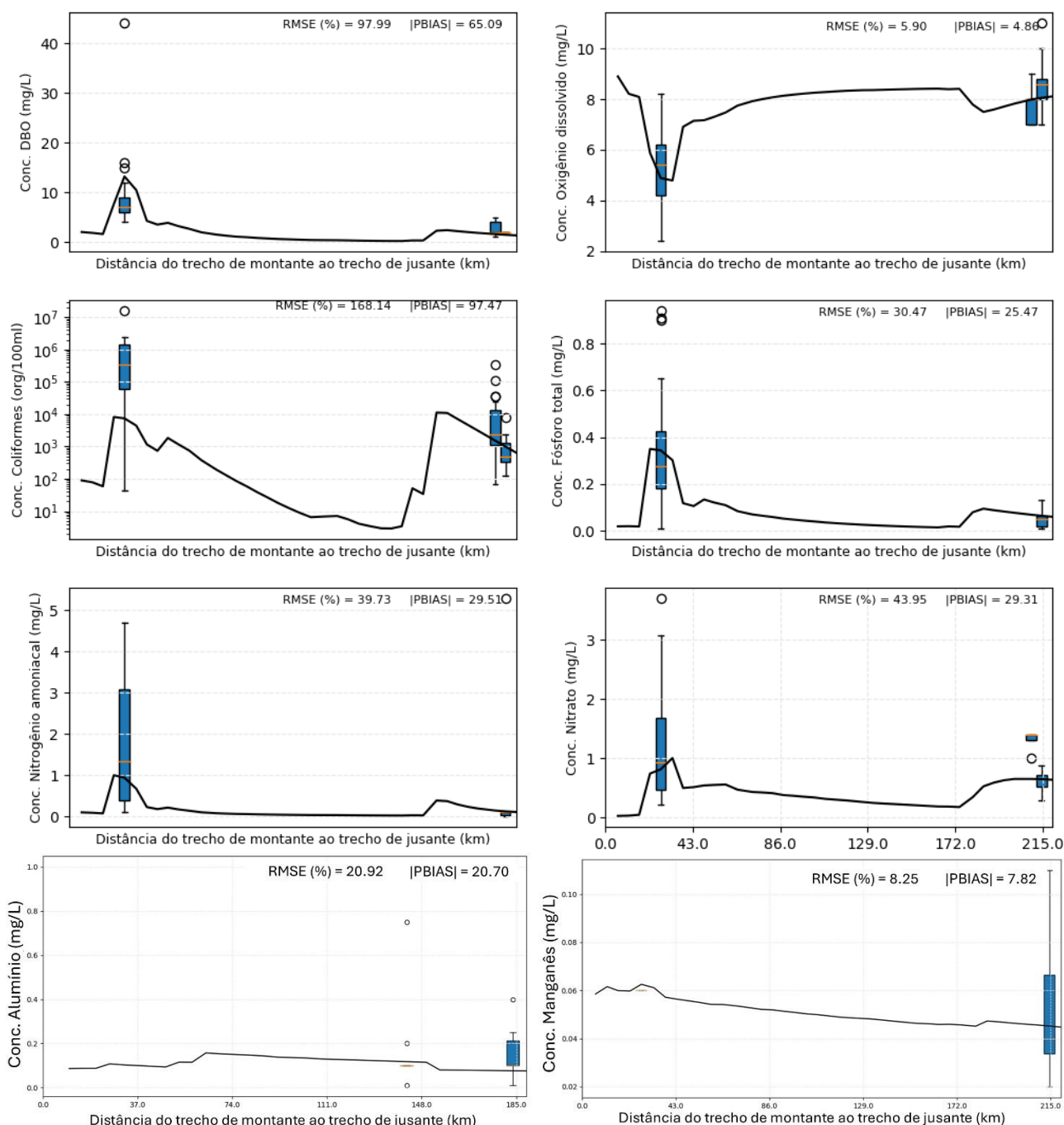


Figura 4.10. Calibração para o trecho “a” da UP6.

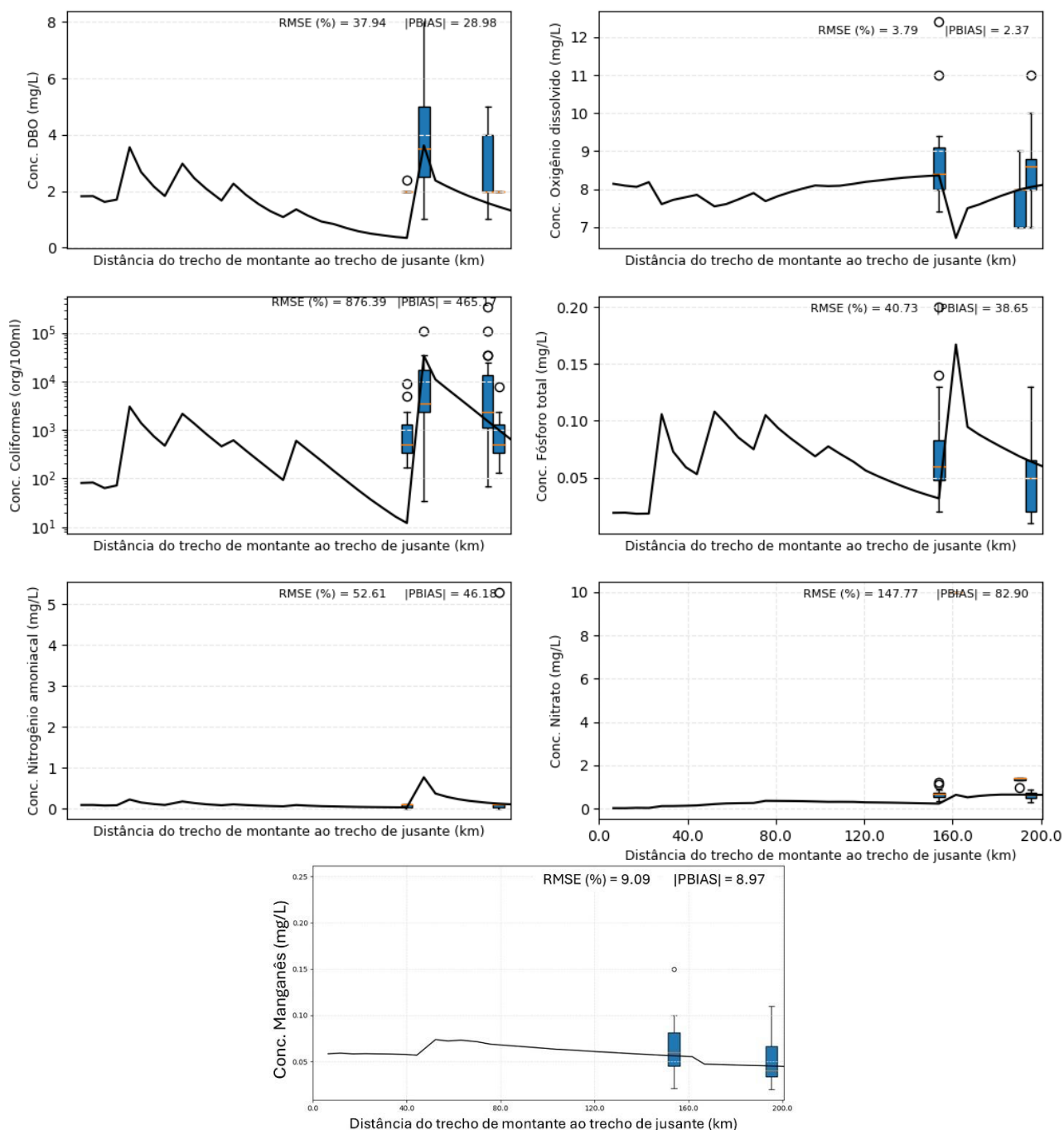


Figura 4.11. Calibração para o trecho "b" da UP6.

4.1.7 UP7

Nessa UP, o trecho "a" compreende o trecho do rio Glória até o fim da UP7, na confluência do rio Muriaé com o rio Paraíba do Sul. Já o trecho "b", compreende o trecho do córrego Rico, próximo a Orizânia, até o fim da UP7. A Figura 4.12 e a Figura 4.13 apresentam o resultado da calibração para a UP7.

Em geral os resultados da calibração nessa UP foram satisfatórios, com as métricas ficando elevadas apenas para os coliformes e ligeiramente elevadas para o nitrogênio amoniacal no trecho “b”. No entanto, esse resultado não impacta na classe de qualidade desse parâmetro, que se mantém na mesma classe em toda essa UP (classe 1, abaixo de 3,7 mg/L).

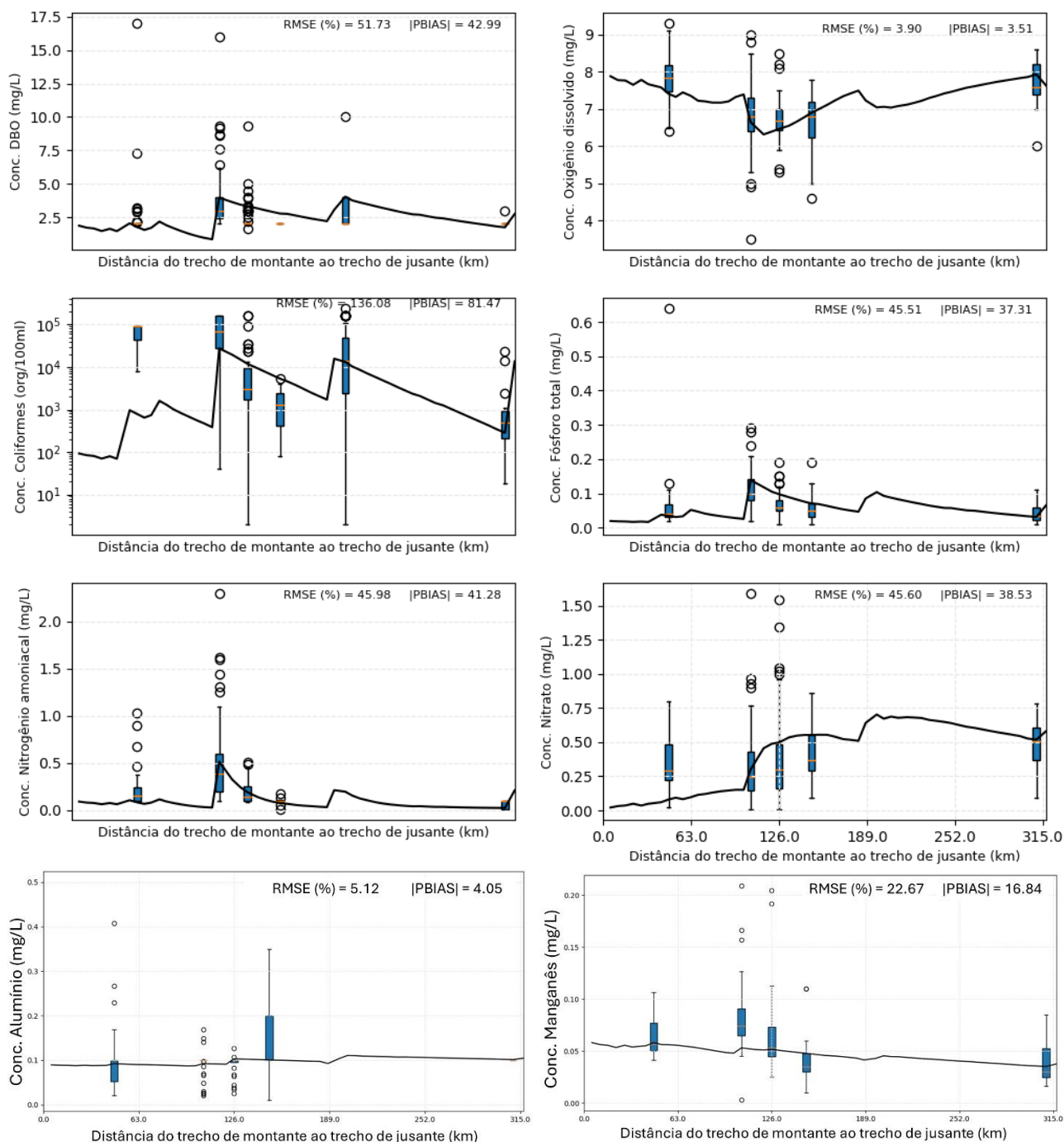


Figura 4.12. Calibração para o trecho “a” da UP7.

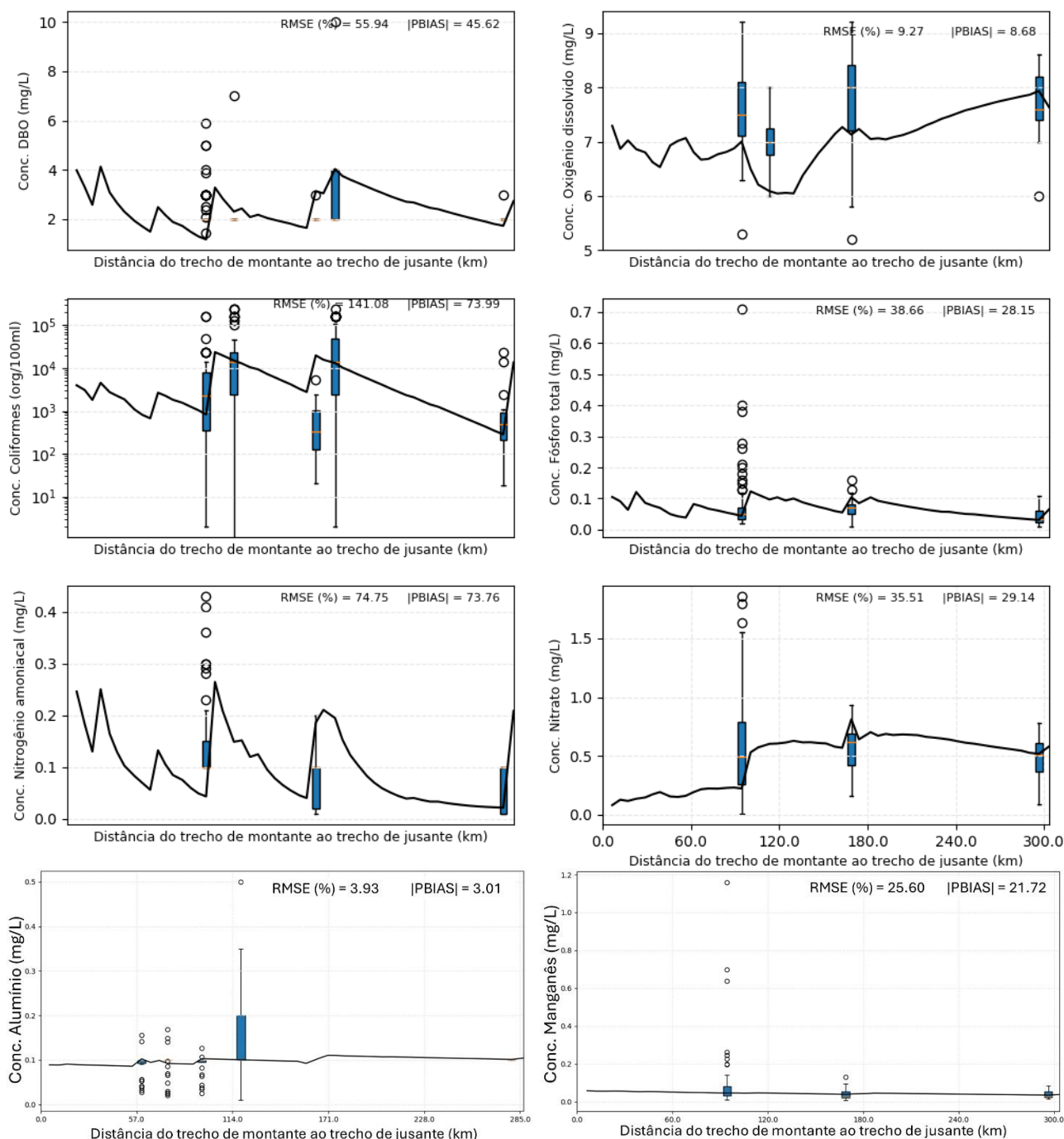


Figura 4.13. Calibração para o trecho "b" da UP7.

Como o Canal das Flechas e seus afluentes não desaguam no rio Paraíba do Sul, mas fazem parte da UP7, a sua calibração foi realizada de forma independente, conforme apresentado na Figura 4.14. Devido a quantidade de dados observados ser insuficiente, os metais não puderam ser calibrados. No entanto, os poucos dados medidos para o manganês próximo aos trechos mais a jusante apontavam baixas concentrações, condizentes com o que foi apontado pelo modelo no resultado da simulação.

Para os demais parâmetros os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, localizando-se próximos à mediana dos dados observados. Vale ressaltar que o valor elevado para os parâmetros (ou baixo no caso do OD) no início do trecho é causado pela presença do município Trajano de Moraes na cabeceira do rio do Imbé, em uma região onde a vazão do rio ainda é baixa, e, portanto, o lançamento de cargas domésticas atribuído a esse município causa uma piora na qualidade de todos os parâmetros (com exceção dos metais).

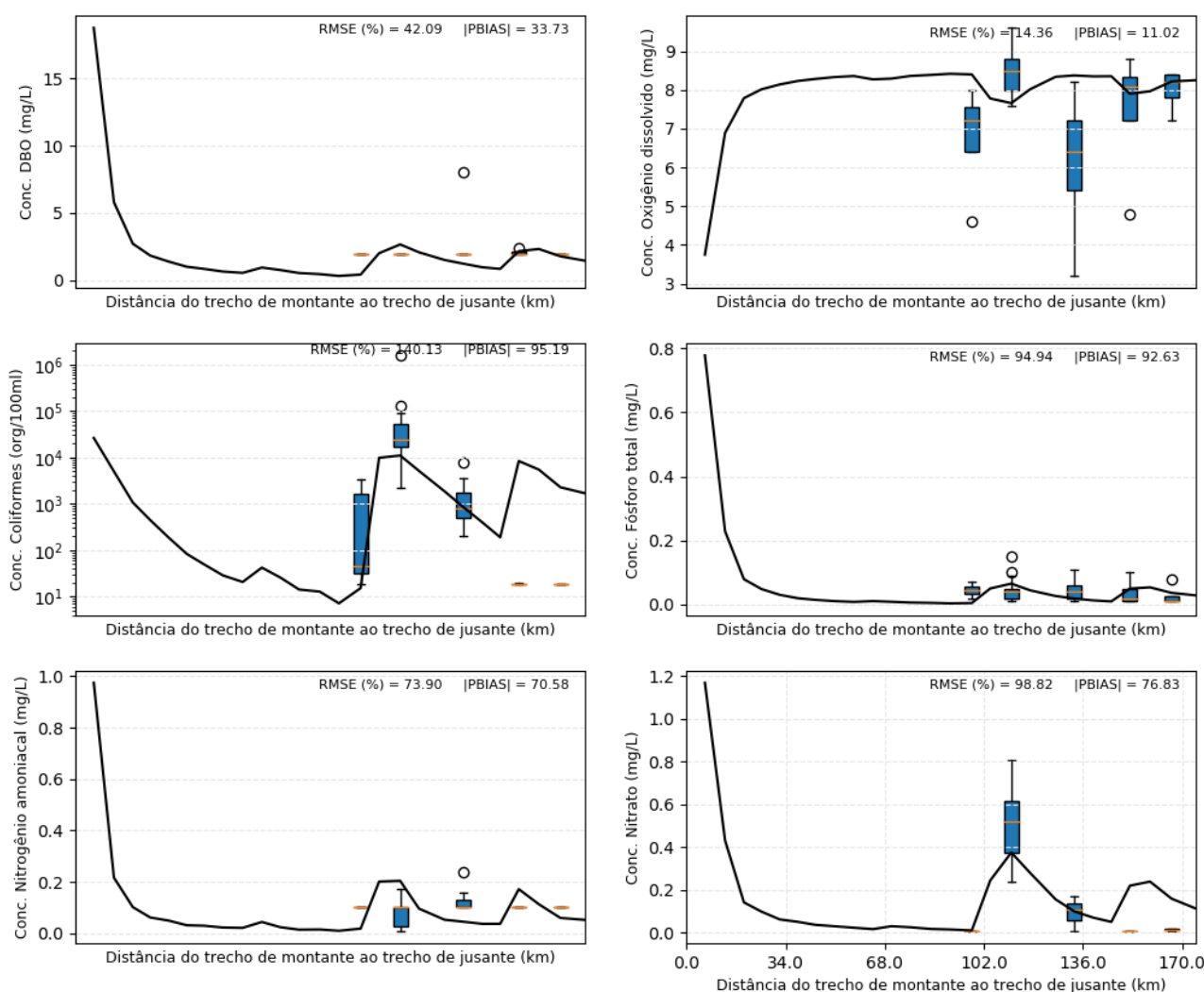


Figura 4.14. Calibração para o Canal das Flechas.

4.1.8 Rio Paraíba do Sul

Ainda, foi realizada uma calibração adicional considerando a calha principal do rio Paraíba do Sul a jusante da UP4 (próximo ao município de Paraíba do Sul) até o exutório, apresentada na Figura 4.15. Em geral, nesse trecho as métricas apresentaram valores considerados satisfatórios, bons ou muito bons, demonstrando que o modelo representou

bem os dados monitorados no trecho. Isso também demonstra que o modelo foi calibrado satisfatoriamente nos demais trechos, tendo em vista que a grande maioria dos outros trechos calibrados desagua nessa parte do rio Paraíba do Sul, e assim, impacta no resultado apresentado pelo modelo para esse trecho.

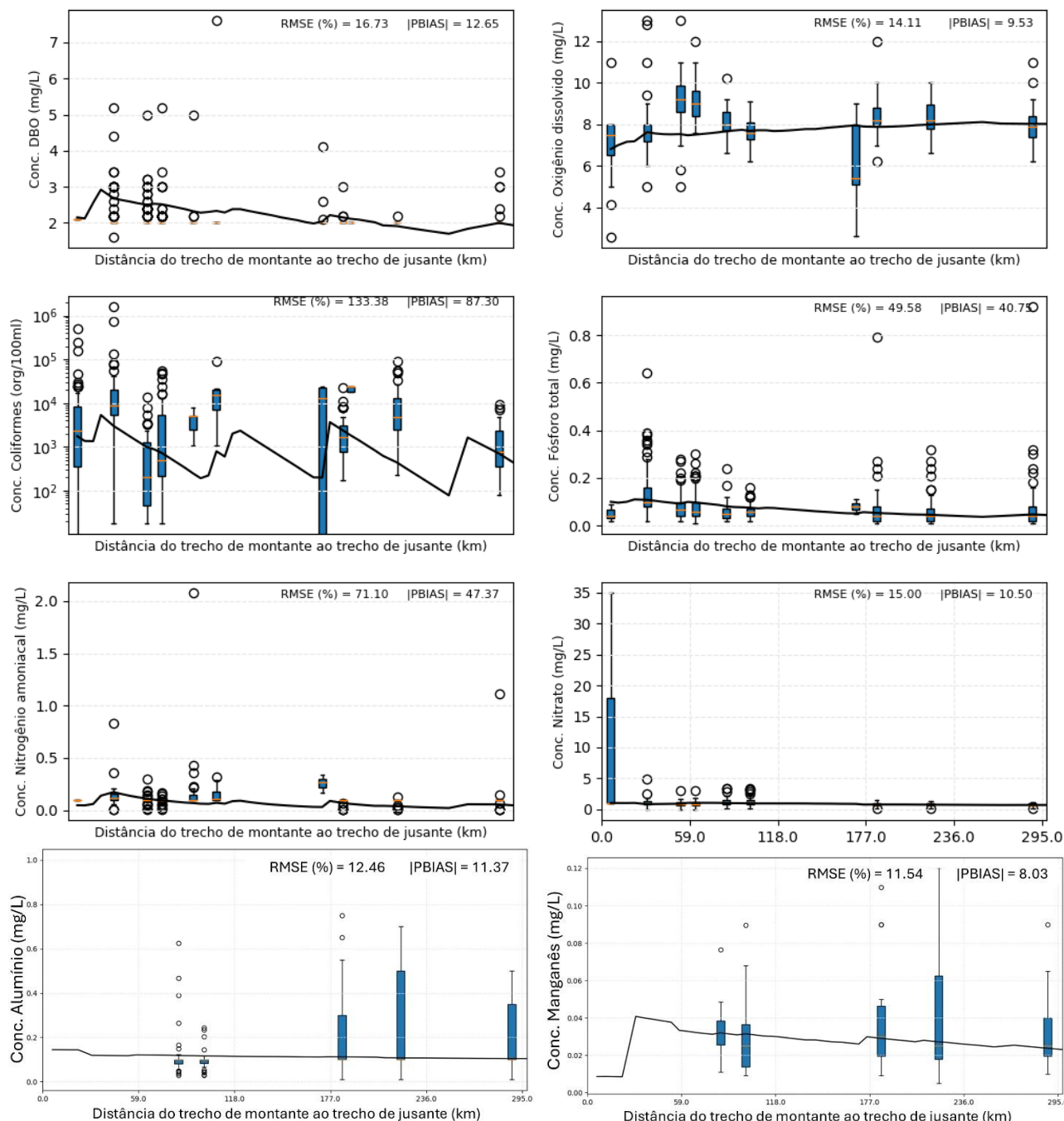


Figura 4.15. Calibração para a calha principal do rio Paraíba do Sul a jusante da UP4.

4.2 Análise da influência dos reservatórios

A análise da influência dos reservatórios no decaimento ou aumento dos parâmetros foi feita através de um balanço quantitativo simples, como já descrito anteriormente. Foram

utilizados os dados de qualidade de uma estação a montante e de estações a jusante do reservatório, que foram comparados para analisar a influência do reservatório no centro do trecho.

A seguir serão apresentados os resultados dessa análise para 4 dos 7 reservatórios solicitados assim como para a Lagoa da Turfeira. Para os demais (Doutor João Penido, Tocós e Chapéu Duvas) não foi possível realizar essa análise, tendo em vista que se localizam em trechos de cabeceira, sem estações de monitoramento a montante. A Tabela 4.1, Tabela 4.2, Tabela 4.3, Tabela 4.4 e a Tabela 4.5 apresentam os resultados para os reservatórios analisados.

A análise de aumento ou diminuição de um determinado parâmetro nos reservatórios aqui realizada foi inserida manualmente no resultado do modelo após a geração dos resultados. Considera-se esta etapa como uma etapa adicional de calibração que tem como objetivo incrementar a qualidade do modelo de qualidade da água.

4.2.1 Paraibuna Paraitinga

O primeiro reservatório analisado, Paraibuna Paraitinga, se localiza na UP1. Ele apresentou uma característica de diminuição para a maioria dos parâmetros, com aumento do valor para os coliformes e o OD. Essa é uma característica comum dos reservatórios, pois aumentam o tempo de detenção de um poluente no trecho, aumentando o tempo para que ocorra o seu decaimento. O valor maior dos coliformes pode ocorrer devido as condições no entorno do reservatório.

Tabela 4.1. Avaliação do reservatório Paraibuna Paraitinga.

Parâmetro	Valor médio a montante	Valor médio a jusante	Diferença absoluta (mg/L ou NMP/L)	Diferença (vezes)
DBO	2,910	2,282	- 0,628	- 0,22x
OD	7,111	7,430	+ 0,318	+ 0,04x
Coliformes	20,582	352,856	+ 332,274	+ 16,14x
PT	0,032	0,019	- 0,013	- 0,41x
Nam	0,329	0,214	- 0,116	- 0,35x
Nn	0,144	0,116	- 0,028	- 0,19x

4.2.2 Santa Branca

Já o reservatório de Santa Branca, também localizado na UP1, logo a jusante do reservatório de Paraibuna. Ambos apresentaram as mesmas características. A exceção foi o OD, que apresentou uma leve piora, contrariando o que ocorre no reservatório vizinho.

Com um tempo maior de detenção e um aumento no decaimento dos parâmetros a queda no valor de OD pode ser acentuada uma vez que os processos de decaimento da maioria dos parâmetros avaliados utiliza OD. Isso pode ser agravado ainda mais se a taxa de reoxigenação no lago do reservatório for baixa. O aumento no valor de nitrato, pode ocorrer devido ao maior tempo de detenção onde o processo natural de transformação das outras formas de nitrogênio em nitrato durante o ciclo do nitrogênio ocorre por um tempo maior.

Tabela 4.2. Avaliação do reservatório Santa Branca.

Parâmetro	Valor médio a montante	Valor médio a jusante	Diferença absoluta (mg/L ou NMP/L)	Diferença (vezes)
DBO	2,282	2,021	-0,262	- 0,11x
OD	7,430	6,755	-0,675	- 0,09x
Coliformes	352,856	756,036	+ 403,180	+ 1,14x
PT	0,019	0,026	+ 0,007	+ 0,37x
Nam	0,214	0,190	- 0,024	- 0,11x
Nn	0,116	0,178	+ 0,062	+ 0,53x

4.2.3 Jaguari

O reservatório de Jaguari, também localizado na UP1, apresentou uma característica distinta dos demais analisados ao concentrar e aumentar o valor da maioria dos parâmetros. As exceções foram o nitrato e os coliformes, que decaíram no ponto à jusante do reservatório. O OD também apresentou uma melhora, com um aumento no seu valor, uma vez que valores mais altos de OD indicam melhor qualidade. O parâmetro que apresentou piora mais considerável em sua concentração após o reservatório foi o nitrogênio amoniacal, com um aumento de cerca de 70% em sua concentração.

Tabela 4.3. Avaliação do reservatório Jaguari.

Parâmetro	Valor médio a montante	Valor médio a jusante	Diferença absoluta (mg/L ou NMP/L)	Diferença (vezes)
DBO	2,866	2,944	+ 0,079	+ 0,03x
OD	5,896	6,729	+ 0,833	+ 0,14x
Coliformes	950,255	19,221	- 931,035	- 0,98x
PT	0,028	0,029	+ 0,001	+ 0,04x
Nam	0,194	0,326	+ 0,133	+ 0,68x
Nn	0,157	0,142	- 0,015	- 0,10x

4.2.4 Funil

O reservatório do Funil se localiza na UP4, no curso principal do Paraíba do Sul. Esse reservatório apresentou uma característica similar aos dois primeiros, com exceção do nitrogênio, que apresentou um aumento, principalmente o nitrato. Observa-se que esse foi o reservatório que apresentou, em geral, o maior impacto nos parâmetros antes e depois.

Há uma queda expressiva na DBO, o que justifica a queda do OD, uma vez que o processo de decomposição da matéria orgânica consome muito oxigênio. Também se observa uma queda acentuada no fósforo.

Tabela 4.4. Avaliação do reservatório Funil.

Parâmetro	Valor médio a montante	Valor médio a jusante	Diferença absoluta (mg/L ou NMP/L)	Diferença (vezes)
DBO	5,878	2,103	- 3,775	- 0,64x
OD	7,759	5,117	- 2,641	- 0,34x
Coliformes	101,300	653,284	+ 551,984	+ 5,45x
PT	0,187	0,052	- 0,134	-0,72x
Nam	0,102	0,105	+ 0,004	+ 0,03x
Nn	0,603	1,084	+ 0,481	+ 0,80x

4.2.5 Lagoa da Turfeira

A Lagoa da Turfeira está localizada na UP4, próxima à BR-116 em uma área voltada à atuação industrial entre Resende e Volta Redonda. A análise da lagoa foi diferente dos reservatórios, uma vez que por se tratar de um trecho pequeno de cabeceira não existe um corpo hídrico a montante e muito menos monitoramento. Assim a sua análise consistiu em um ajuste da qualidade do trecho com base no monitoramento existente. Vale ressaltar que os dados monitorados nesse local são escassos e consistem em 4 campanhas com informações sobre OD, turbidez e condutividade elétrica. Como os dados monitorados possuem apenas informações sobre o OD dentre os parâmetros simulados, apenas esse parâmetro foi ajustado. Os dados monitorados (Tabela 4.5) apontam valores baixos de OD nesse trecho, desta forma optou-se em realizar a sua calibração pontual.

Tabela 4.5. Avaliação da Lagoa da Turfeira.

Campanha	Parâmetro	Concentração de OD (mg/L)
1	OD	1,19
2	OD	1,36
3	OD	2,14
4	OD	0,59

4.3 Simulação de qualidade da água

A seguir serão apresentados os resultados da simulação de qualidade da água para as vazões de referência (Q_{90} , $Q_{7,10}$ e Q_{95}) e para as vazões médias e máximas (Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} e Q_{75}) nos trechos segmentados da BHPS. A simulação realizada gera dados numéricos de qualidade (concentração) da água para cada parâmetro em cada trecho. Para visualização das informações, os valores numéricos foram classificados de acordo com os limites das classes 1, 2, 3 e 4 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Com

base nessa classificação dos trechos segmentados, foram elaborados mapas da BHPS, onde os trechos em azul representam classificação em classe 1, os trechos em verde, classe 2, em amarelo classe 3, e vermelho a classe 4.

Os resultados foram classificados conforme segmentação final (com 600 trechos), no entanto o modelo simulado utiliza uma drenagem mais discretizada (1700 trechos). Para fazer essa transferência de informações de uma drenagem mais discretizada para os trechos segmentados, adotou-se o pior valor nos trechos simulados que compõem cada um dos 600 segmentos. Essa metodologia é considerada conservadora no ponto de vista de qualidade, tendo em vista que se adota o pior valor dentro do trecho segmentado como representativo.

Destaca-se ainda que a definição da classe dos resultados numéricos de concentração foi realizada conforme os limites estabelecidos para as águas doces em toda a BHPS. A ausência de análises quanto à salinidade dos pontos de monitoramento inviabilizou que fossem adotados limites para águas salobras ou salinas na região da foz do rio Paraíba do Sul, onde eventualmente podem ser identificadas variações de salinidade em função do efeito das marés e dos ventos. Adicionalmente, destaca-se que a adoção dos limites indicados para água doce tende a ser mais conservadora que dos limites para águas salobras e salinas.

A apresentação dos mapas em classes de qualidade foi uma alternativa para facilitar a visualização dos resultados, porém, o Banco de Dados Parcial disponibiliza todos os valores das concentrações dos parâmetros obtidas em cada cenário da modelagem.

4.3.1 Demanda bioquímica de oxigênio

A CONAMA nº 357/2005 estabelece para a DBO que os corpos de água doce serão classificados como classe 1, os que obtiverem valores de concentração abaixo de 3 mg/L; classe 2, os que obtiverem concentrações entre 3 e 5 mg/L; classe 3, entre 5 e 10 mg/L; e classe 4, concentrações maiores que 10 mg/L.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.16 e a Figura 4.22, apresentam o resultado da simulação da demanda bioquímica de oxigênio para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

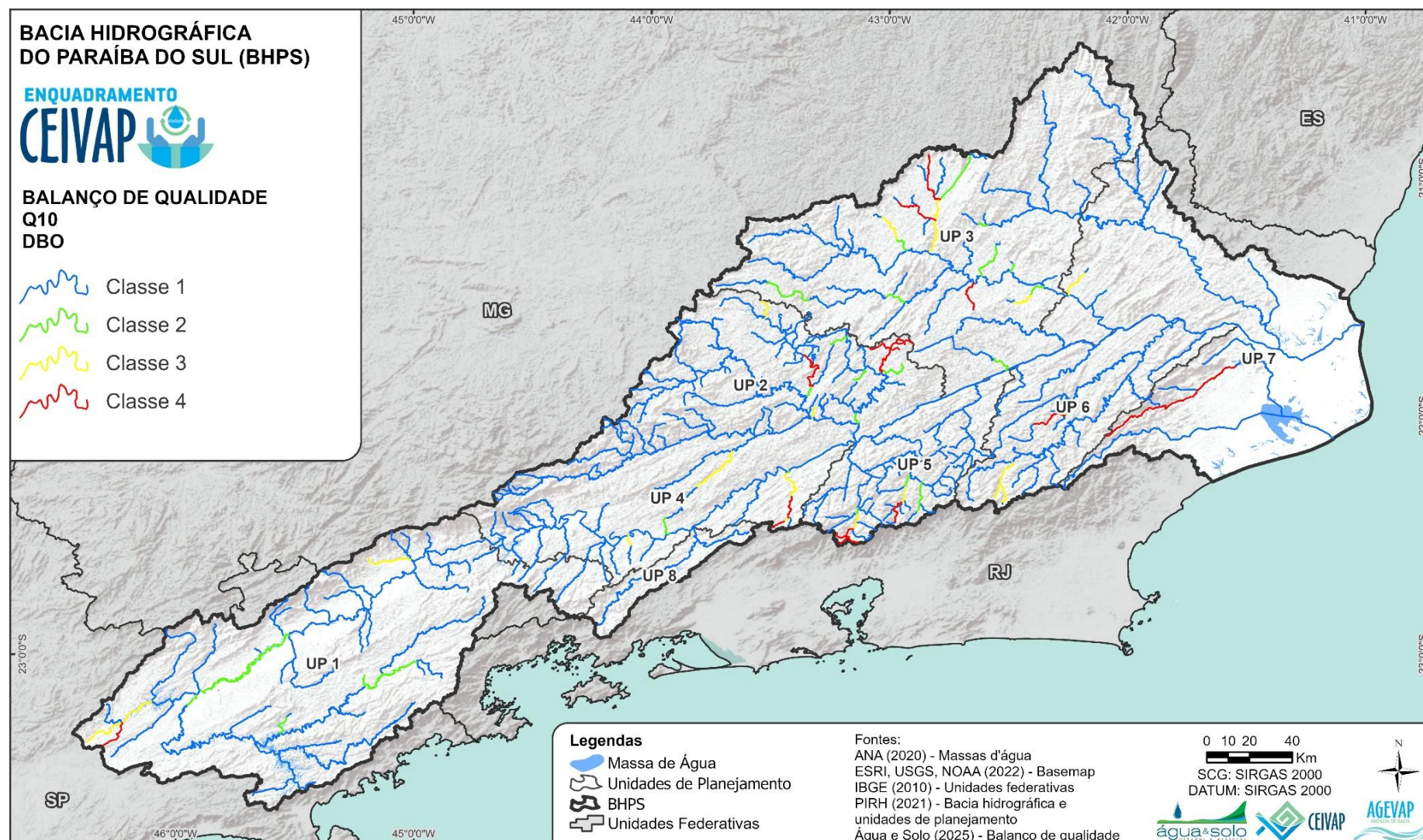


Figura 4.16. Modelagem de qualidade (DBO – Q₁₀).

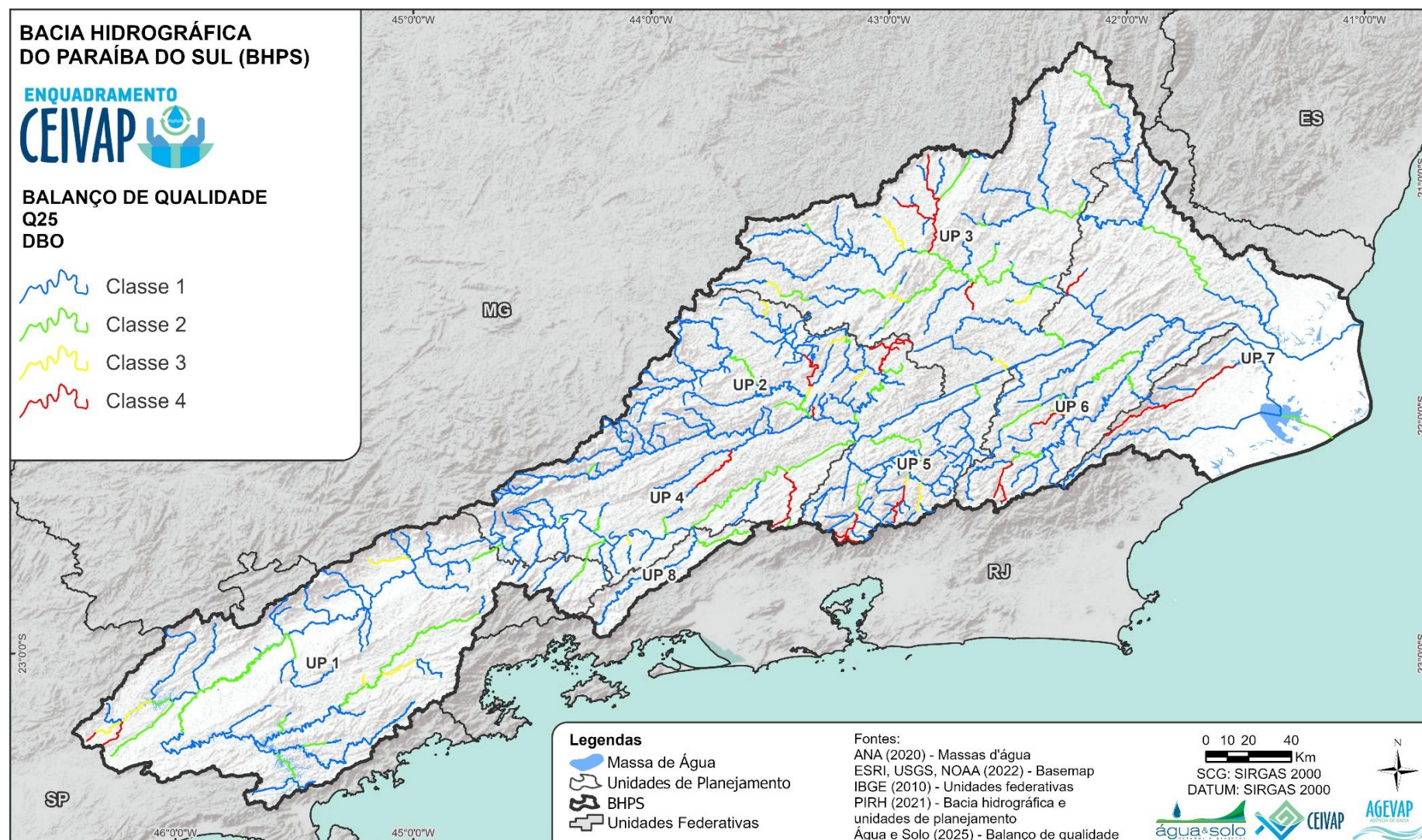


Figura 4.17. Modelagem de qualidade (DBO – Q₂₅).

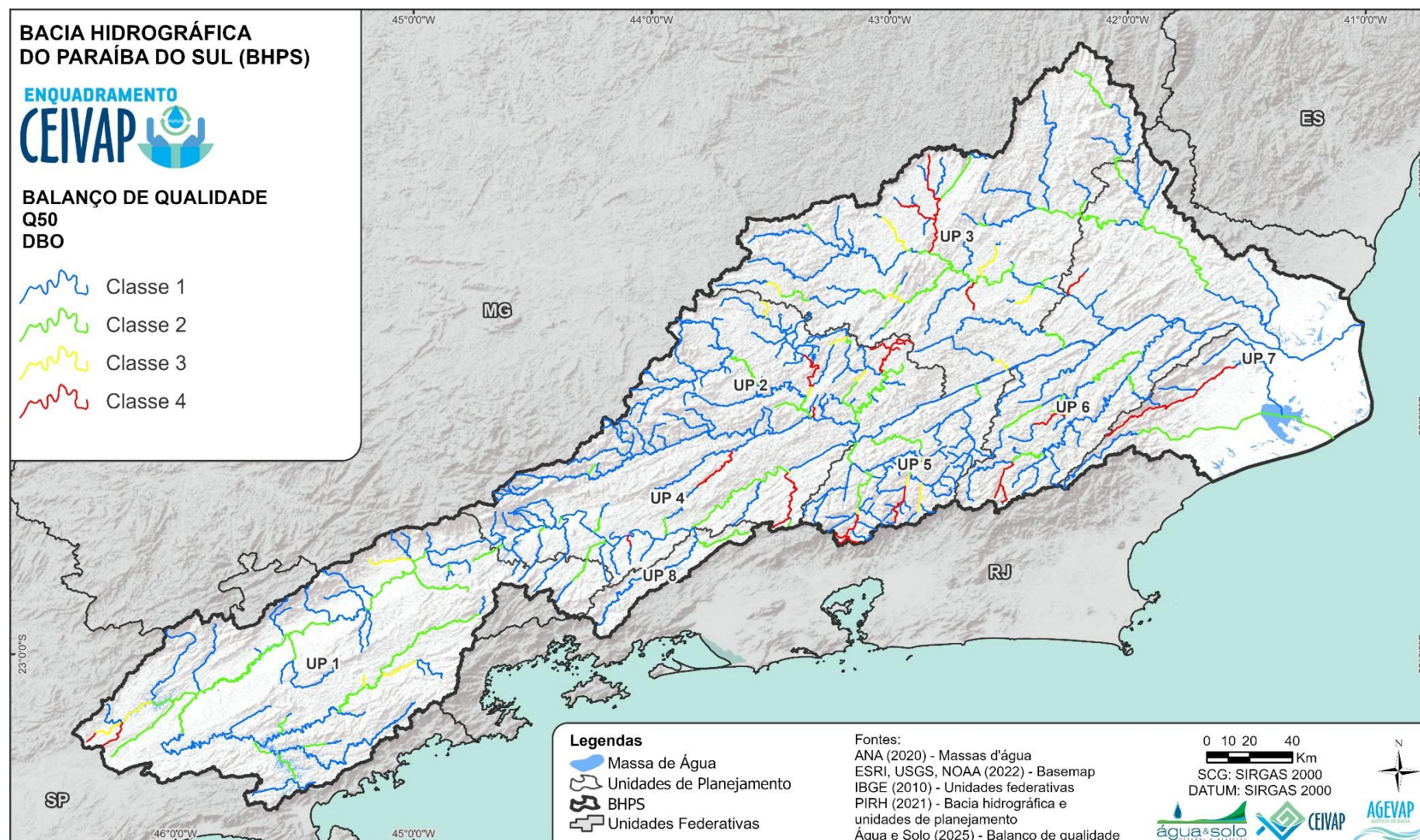


Figura 4.18. Modelagem de qualidade (DBO – Q₅₀).

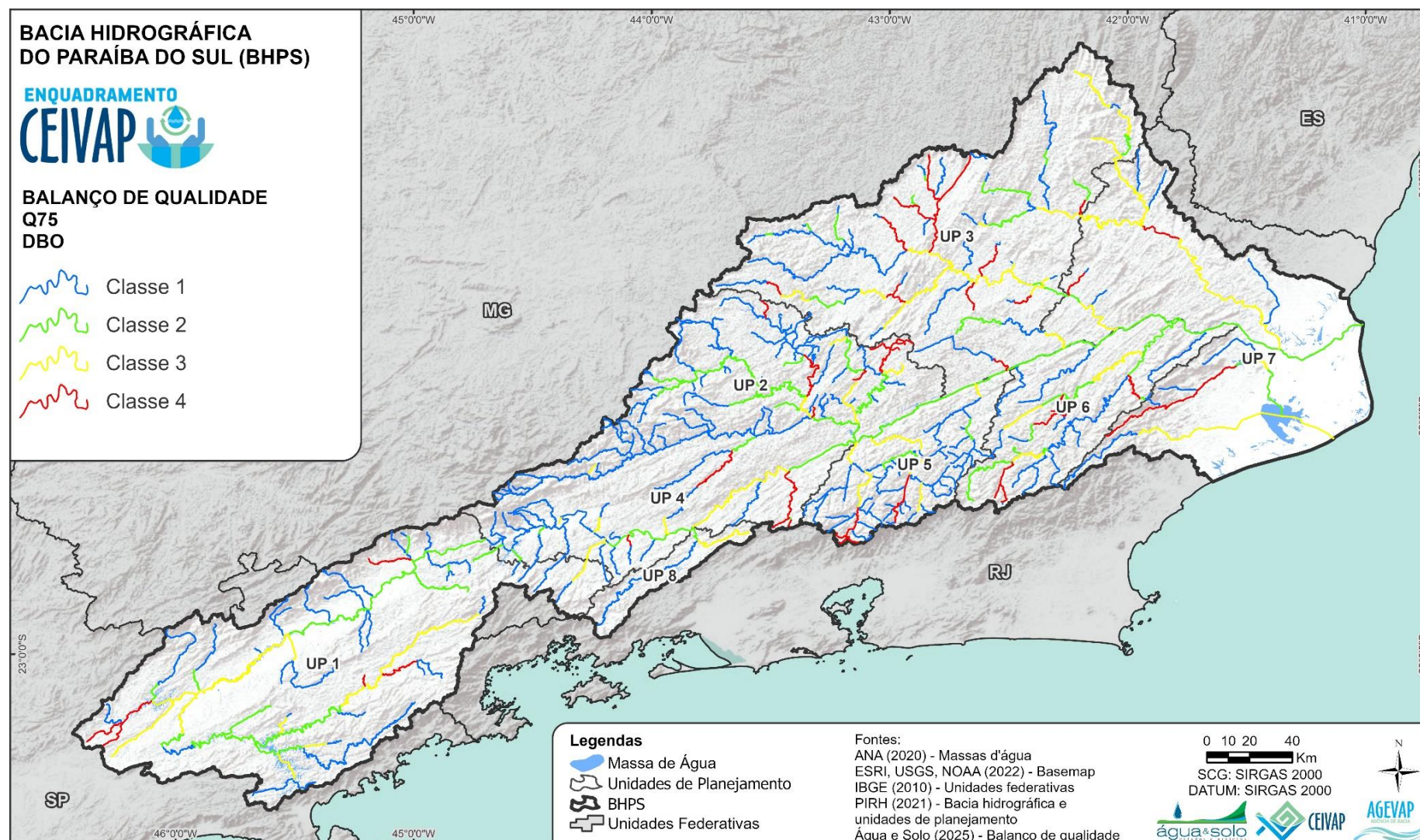


Figura 4.19. Modelagem de qualidade (DBO – Q75).

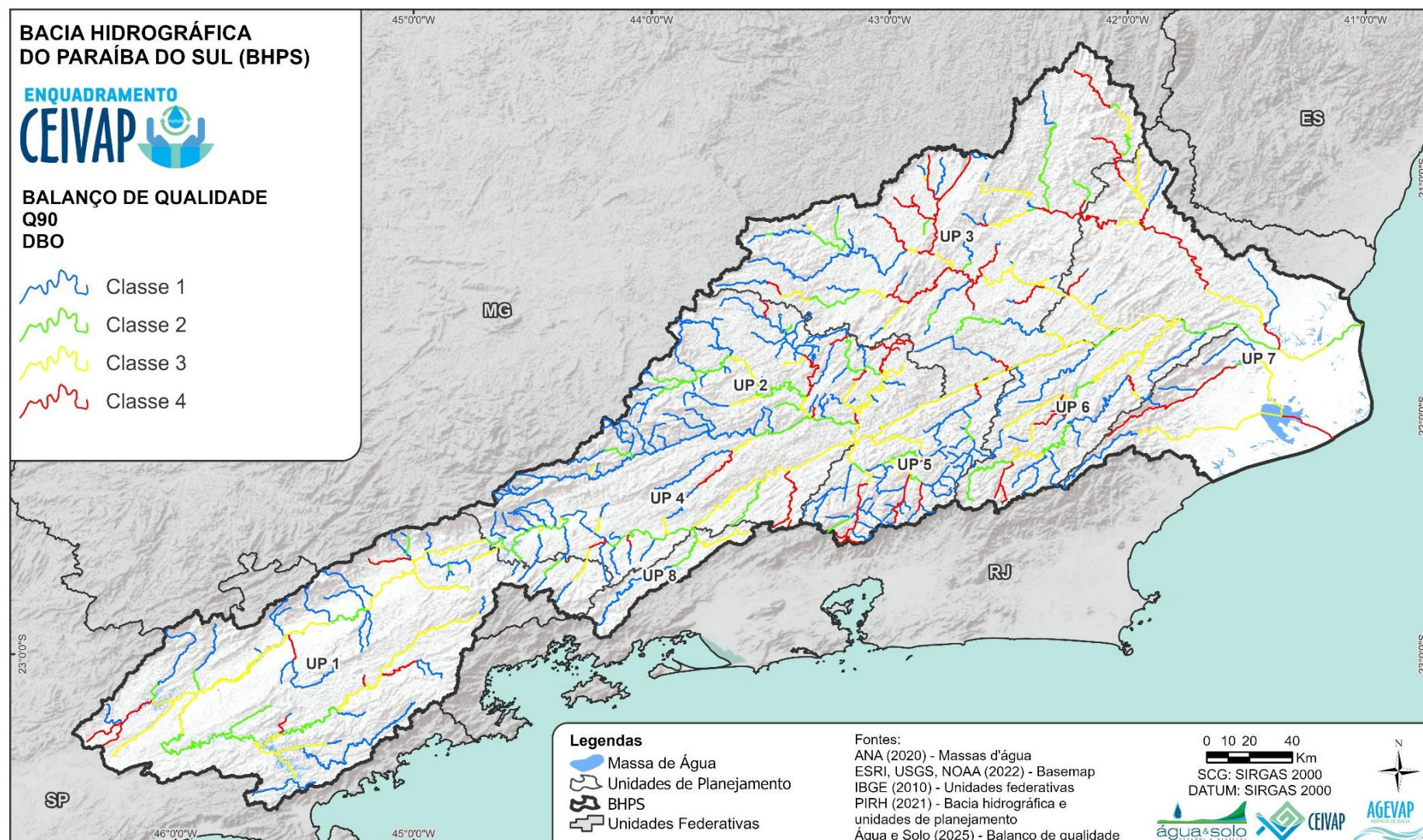


Figura 4.20. Modelagem de qualidade (DBO – Q₉₀).

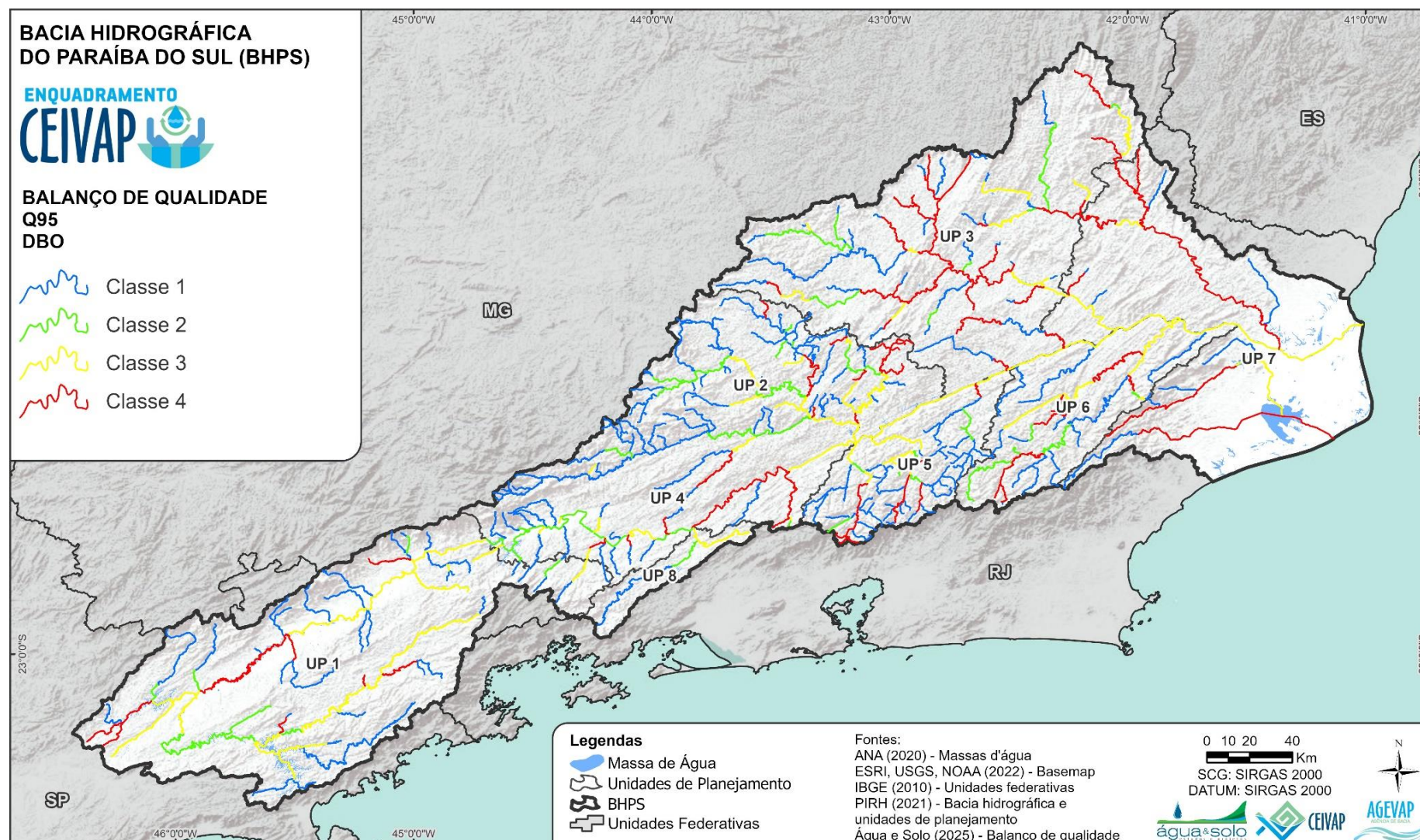


Figura 4.21. Modelagem de qualidade (DBO – Q₉₅).

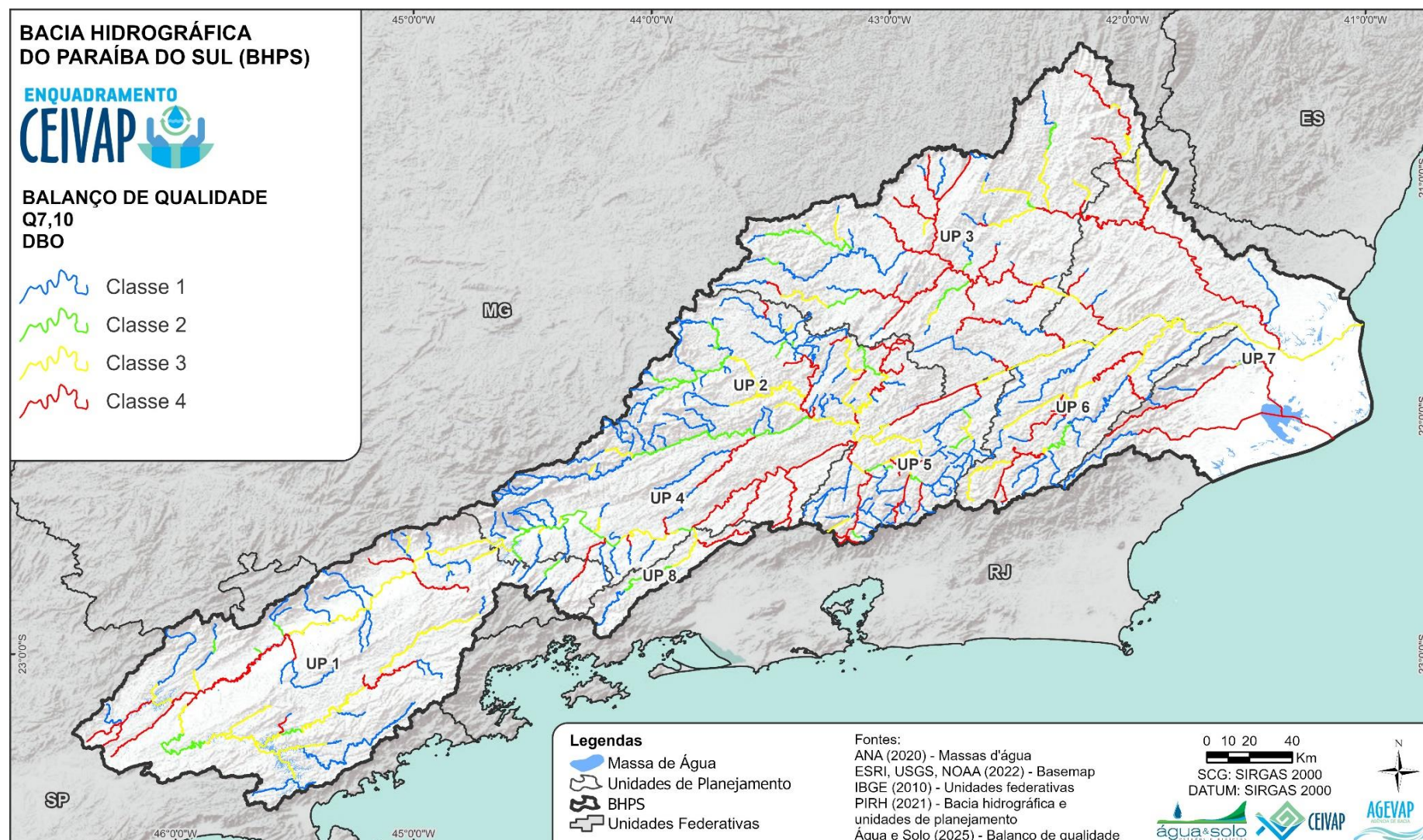


Figura 4.22. Modelagem de qualidade (DBO – Q_{7,10}).

Ao observarmos os resultados de qualidade da DBO ao longo das vazões simuladas, identifica-se que as maiores vazões (Q_{10} , Q_{25} e Q_{50}) apresentam resultado semelhantes, com grande parte dos trechos como classe 1 ou 2. No entanto, já é possível observar alguns trechos mais críticos, com classe 3 ou 4. Estes trechos estão localizados em pontos com maior aporte de carga, como as cabeceiras dos rios que partem de Petrópolis e Teresópolis na UP5, e Nova Friburgo na UP6. O mesmo acontece em alguns trechos das UPs 2, 3, 6 e 7. Na UP1, identificam-se trechos mais críticos próximo à Santa Isabel e Arujá.

A qualidade simulada para a vazão Q_{75} apresenta-se como um cenário de transição, onde mais trechos passam a se apresentar com piores qualidades de água. Destaca-se que nesta vazão, grande parte da UP7 já está com qualidade em classes inferiores a 2, cenário que se torna ainda mais crítico nas vazões de referência, em que na $Q_{7,10}$ quase todos os trechos da UP7 estão em classe 3 e 4.

As vazões de referência (Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$) aprestam uma grande quantidade de trechos da BHPS em classe 3 e 4. Destaca-se o rio Paraíba do sul, que já na UP1 está com a qualidade comprometida, passa por uma leve melhora entre a UP1 e a UP4 e permanece entre classe 3 e 4 em toda a sua extensão a jusante de Resende, tanto para a Q_{95} quanto para $Q_{7,10}$.

Destacam-se uma série de trechos localizados nas cabeceiras das UPs que se apresentam como classe 1 em todas as vazões simuladas, inclusive as vazões de referência. Estes trechos não apresentaram variação negativa de qualidade da DBO mesmo em vazões mais baixas.

4.3.2 Oxigênio dissolvido

A CONAMA nº 357/2005 estabelece que para a OD os corpos de água que serão classificados como: classe 1, os que obtiverem valores de concentração acima de 6 mg/L; classe 2, os que obtiverem concentrações entre 6 e 5 mg/L; classe 3, entre 5 e 4 mg/L; e classe 4, entre 4 e 2 mg/L; e os que tiverem concentração menor do que 2 mg/L ficam como fora de classe.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.23 e a Figura 4.29, apresentam o resultado da simulação de oxigênio dissolvido para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

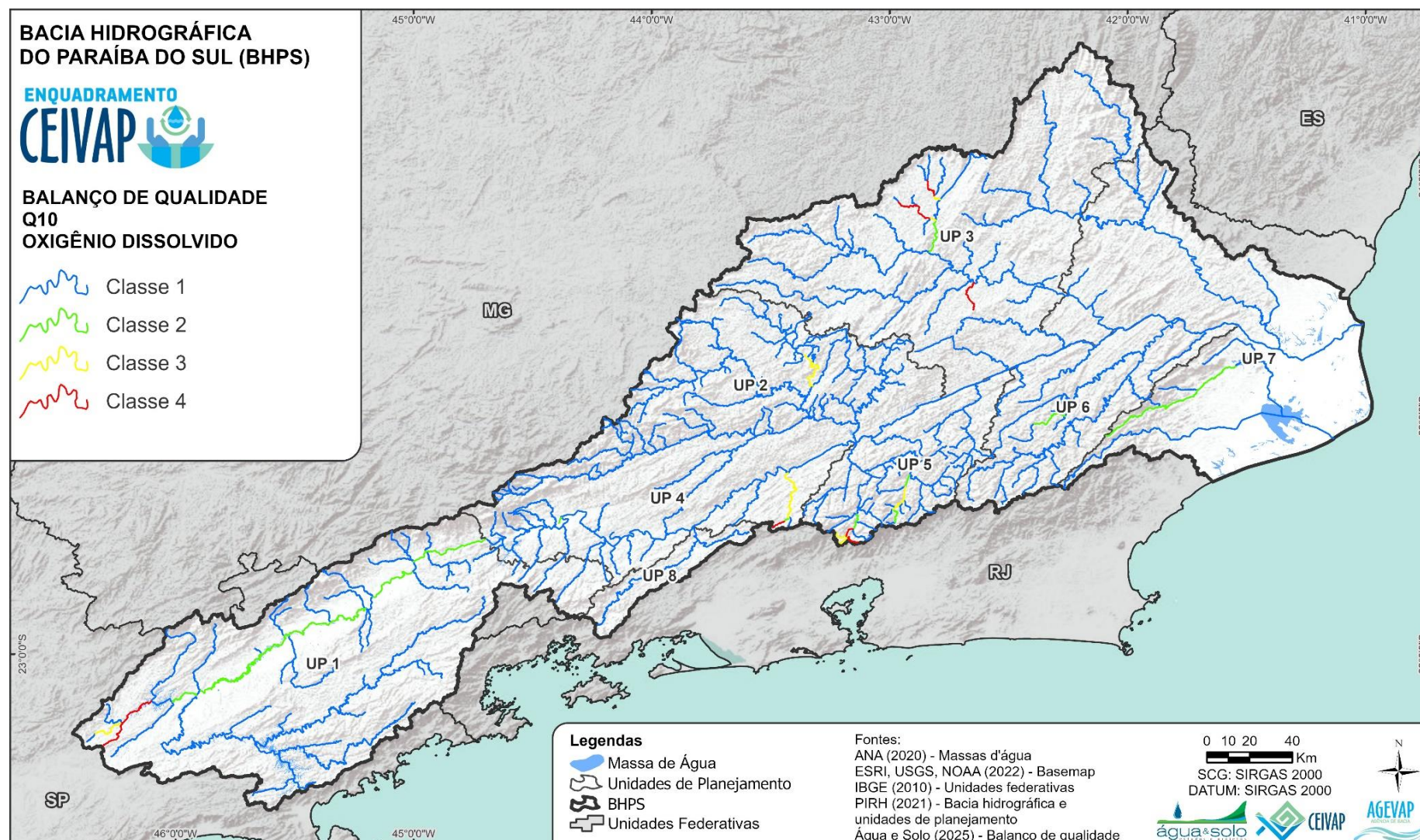


Figura 4.23. Modelagem de qualidade (OD – Q₁₀).

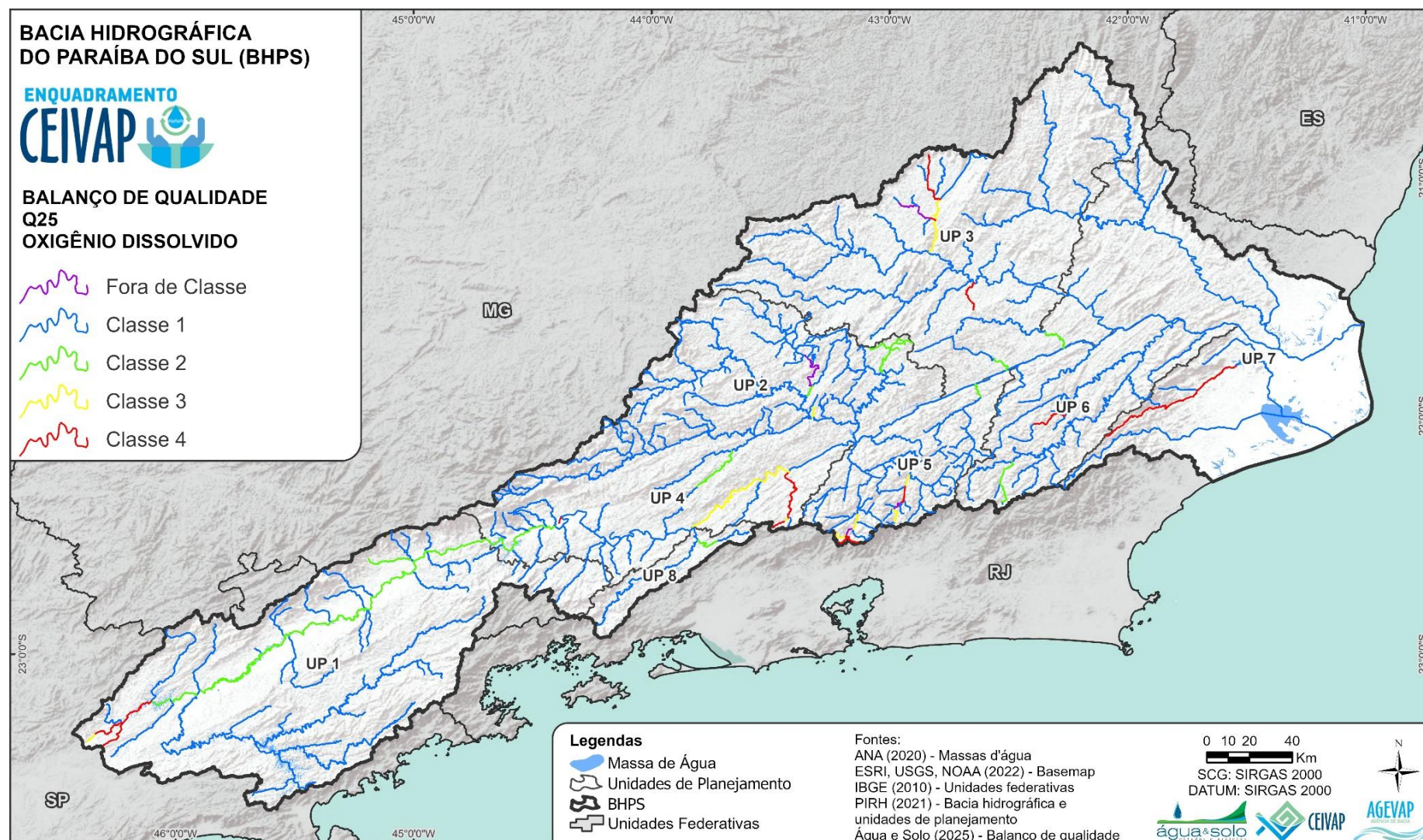


Figura 4.24. Modelagem de qualidade (OD – Q₂₅).

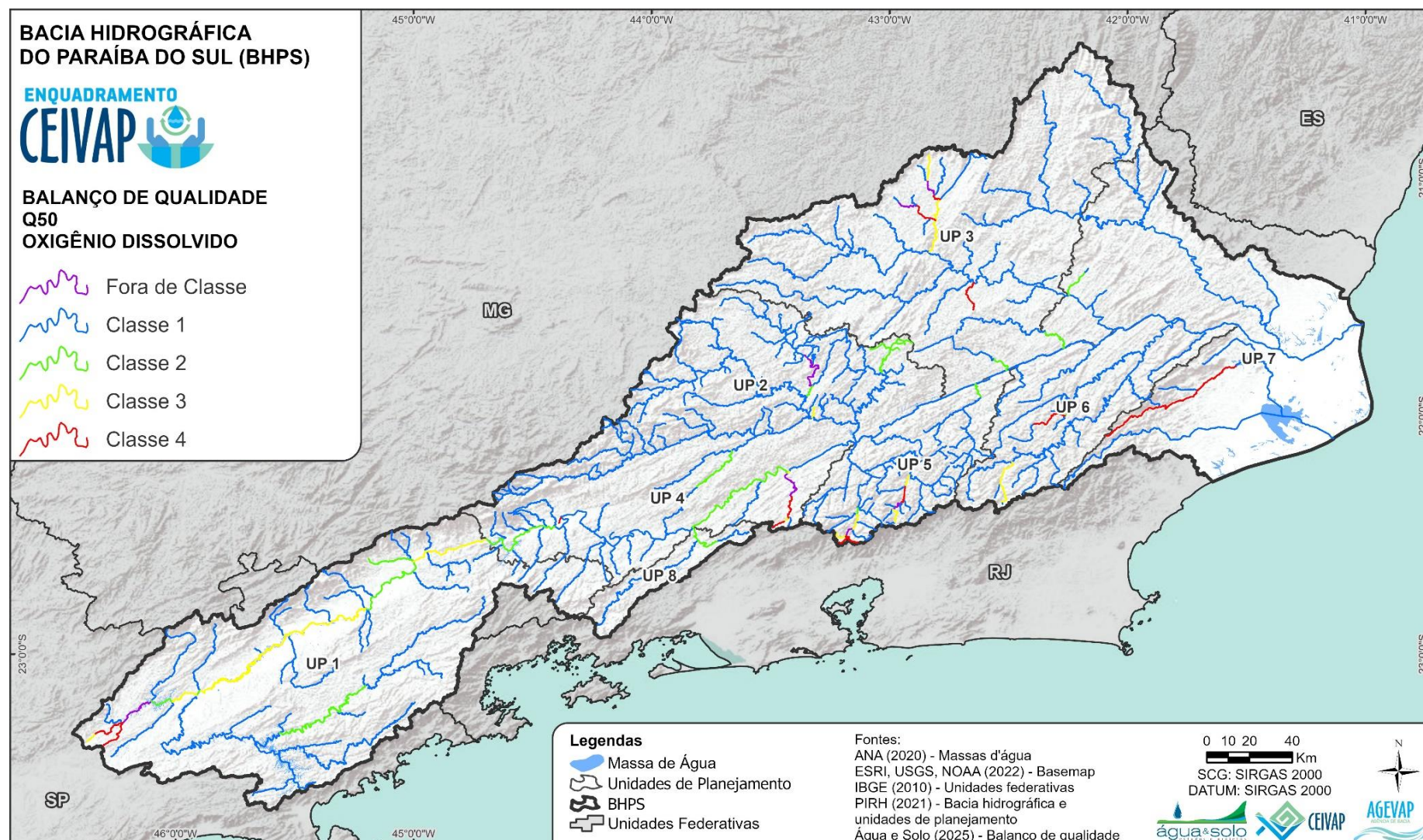


Figura 4.25. Modelagem de qualidade (OD – Q₅₀).

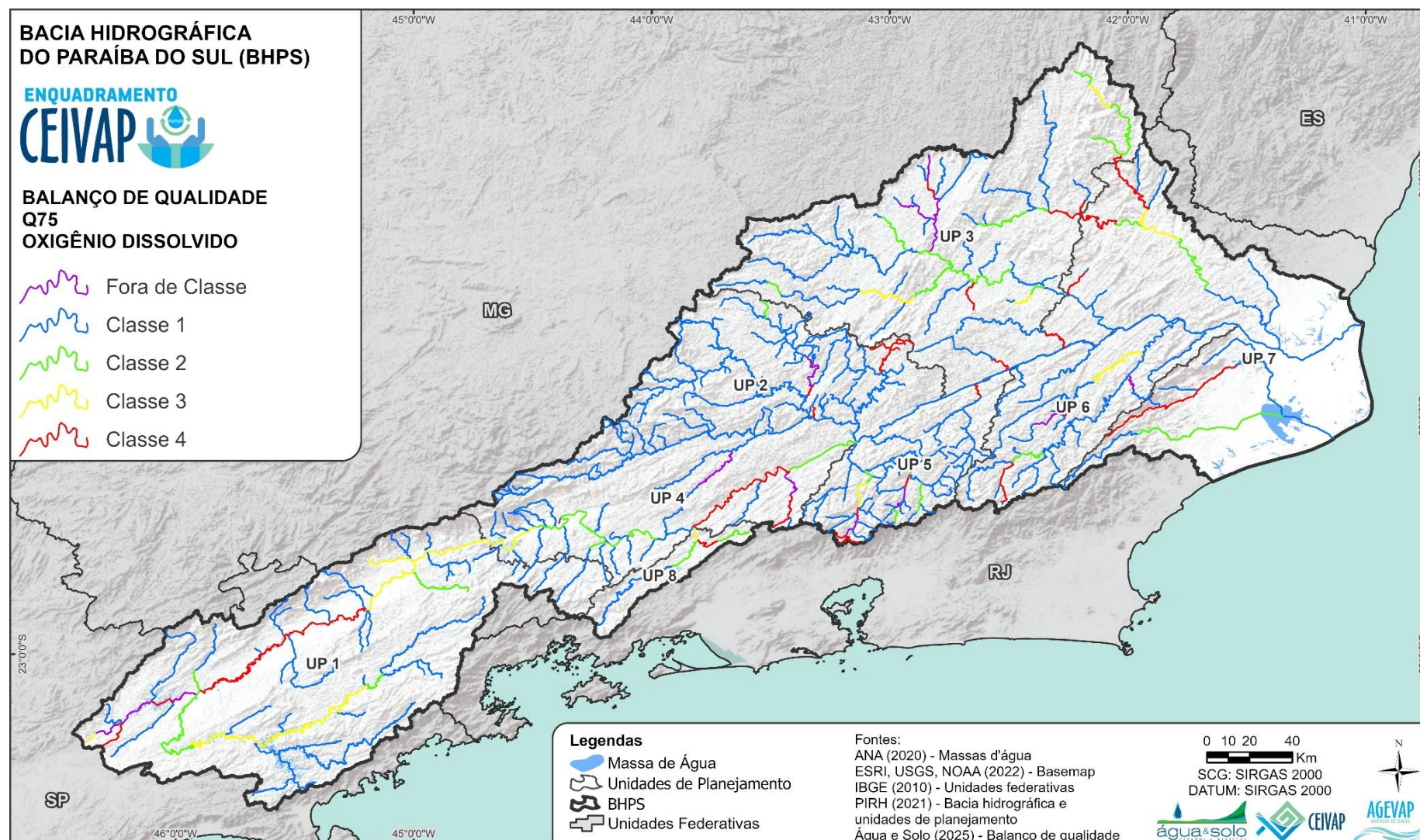


Figura 4.26. Modelagem de qualidade (OD – Q75).

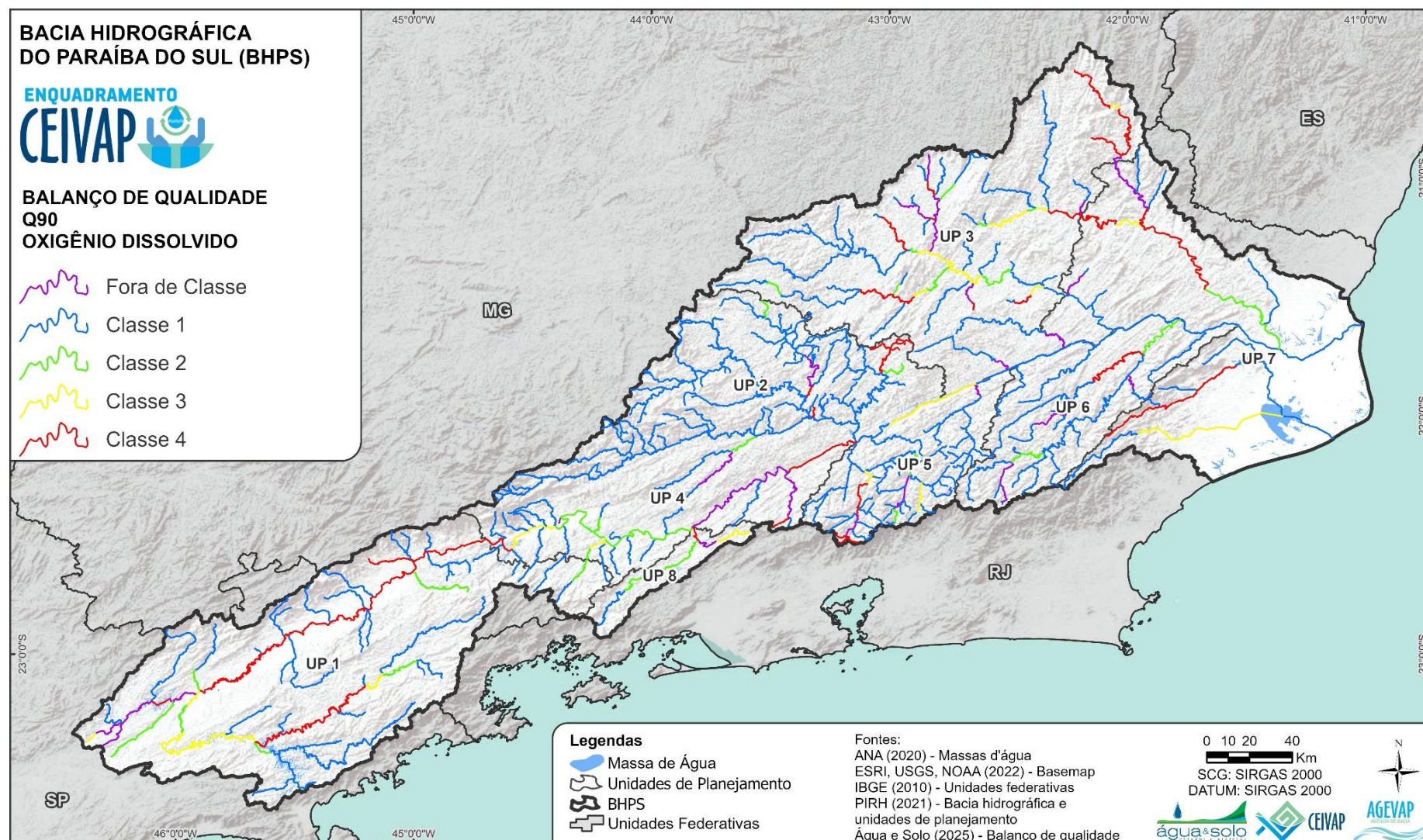


Figura 4.27. Modelagem de qualidade (OD – Q₉₀).

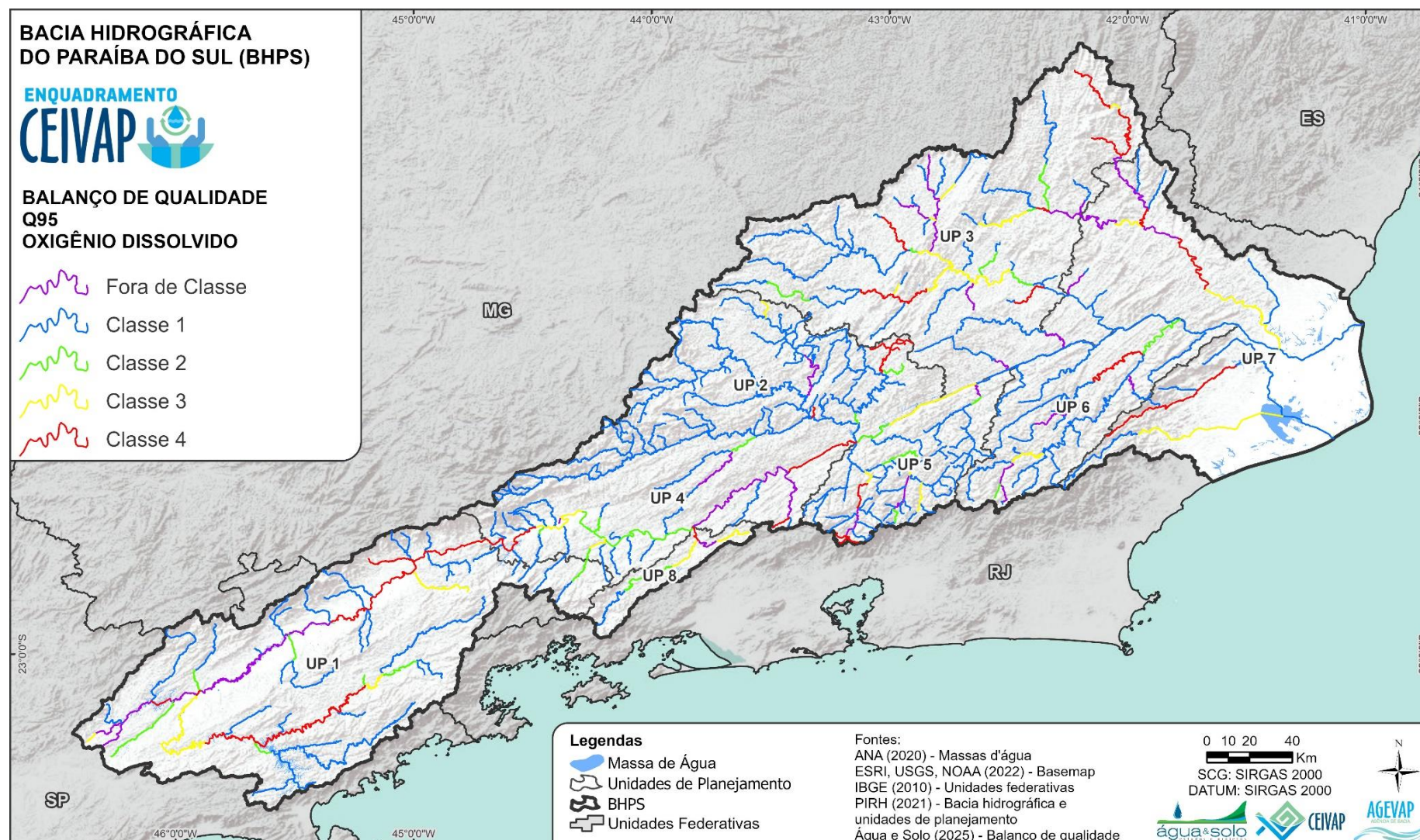


Figura 4.28. Modelagem de qualidade (OD – Q₉₅).

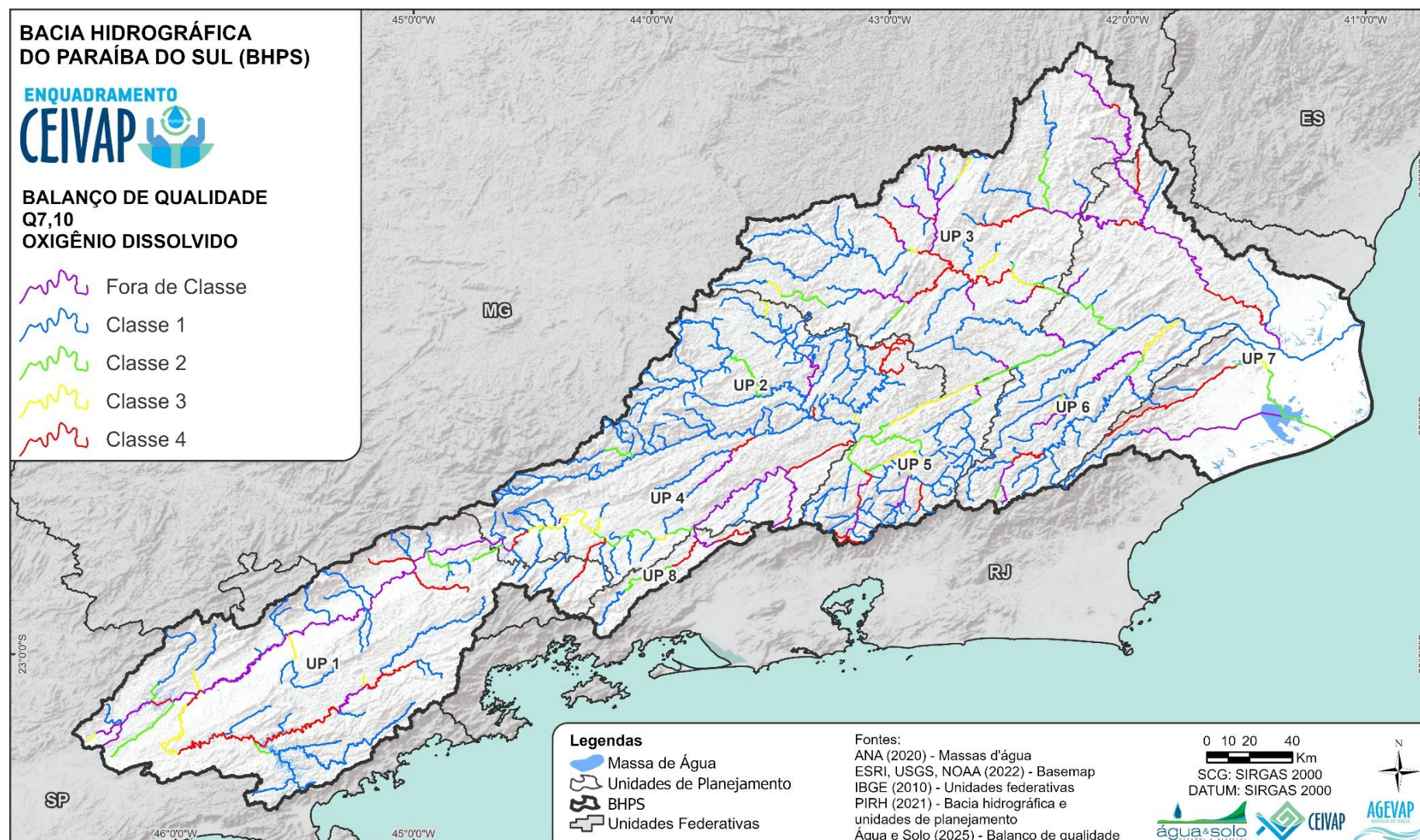


Figura 4.29. Modelagem de qualidade (OD – Q_{7,10}).

Os resultados de qualidade do oxigênio dissolvido ao longo das vazões simuladas apresentam-se muito semelhantes aos resultados obtidos para a DBO. No entanto, destaca-se uma leve melhora na qualidade deste parâmetro em relação à DBO, não apresentando tantos trechos em classes piores do que classe 3 nas vazões de referência.

As maiores vazões (Q_{10} , Q_{25} e Q_{50}) apresentam resultado semelhantes, com grande parte dos trechos como classe 1 ou 2. No entanto, já é possível observar alguns trechos mais críticos, com classe 3, 4 ou mesmo fora de classe. Estes trechos estão localizados em pontos específicos, como próximos à Petrópolis e Teresópolis na UP5, e próximos à Santa Isabel e Arujá, na UP1. Ainda na UP1, há uma trecho considerável em classe 3 na Q_{50} , localizado na zona mais industrial e urbanizada da bacia (de Jacareí a Lorena, passando por cidades como Taubaté e São José dos Campos).

A qualidade simulada para a vazão Q_{75} também se apresenta como um cenário de transição, onde mais trechos passam a se apresentar com piores qualidades de água. Destaca-se que nesta vazão, os trechos mais urbanizados e industrializados das UPs 1, 2, 3, 4, 5 e 6 com as piores classes. A UP7 também apresenta trechos em qualidades mais baixas, mas destaca-se nela o rio Paraíba do Sul, que em sua foz apresenta qualidade em classe 1.

As vazões de referência (Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$) apresentam uma grande quantidade de trechos da BHPS em classe 3, 4 e fora de classe, porém em menor quantidade quando comparado aos resultados de DBO. Destaca-se o rio Paraíba do Sul, que da UP1 até as proximidades da UP5 está com a qualidade comprometida.

Para o OD, novamente se destacam os trechos localizados nas cabeceiras das UPs, que se apresentam como classe 1 em todas as vazões simuladas, inclusive as vazões de referência. Estes trechos não apresentaram variação negativa de qualidade da OD mesmo em vazões mais baixas. Comparando estes trechos com a DBO observa-se que muitos deles permaneceram em classe 1 para todas as vazões simuladas em ambos os parâmetros.

4.3.3 Coliformes termotolerantes

A CONAMA nº 357/2005 estabelece para os coliformes termotolerantes os corpos de água doce que serão classificados como: classe 1, os que obtiverem valores de concentração abaixo de 200 NMP/mL; classe 2, os que obtiverem concentrações entre 200 e 1000

NMP/mL; classe 3, entre 1000 e 2500 NMP/mL; e classe 4, concentrações maiores que 2500 NMP/mL.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.30 e a Figura 4.36, apresentam o resultado da simulação de coliformes termotolerantes para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

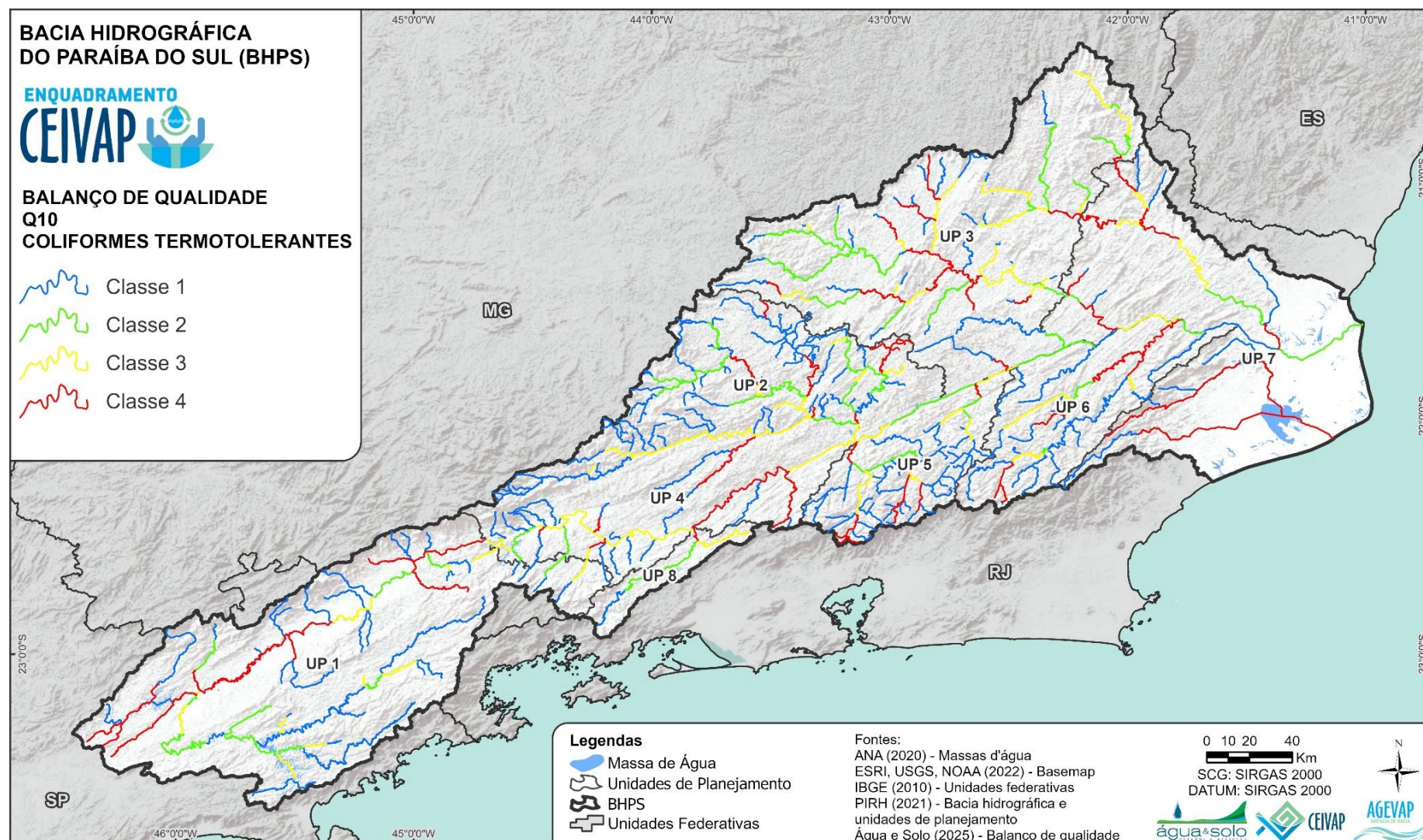


Figura 4.30. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q₁₀).

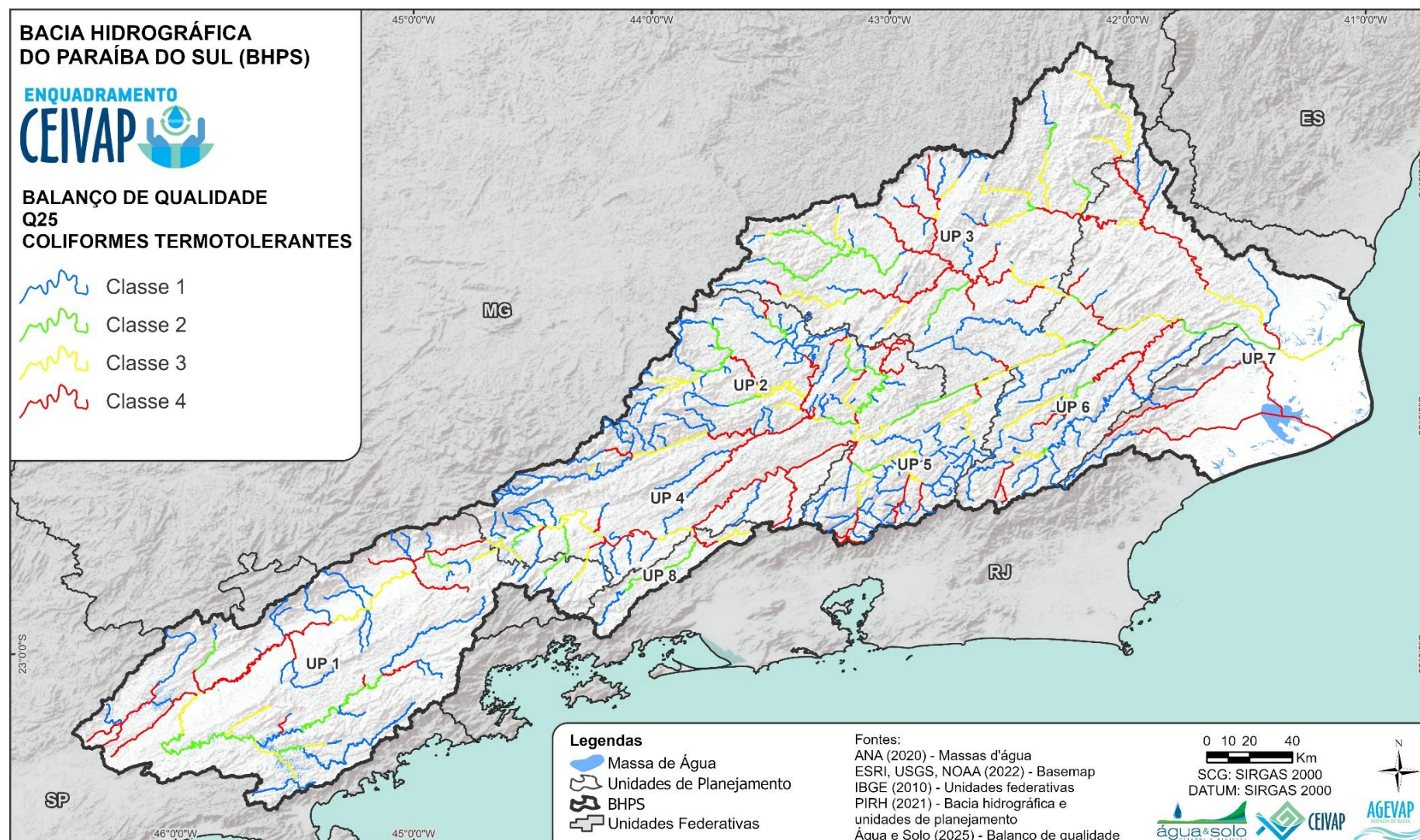


Figura 4.31. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q₂₅).

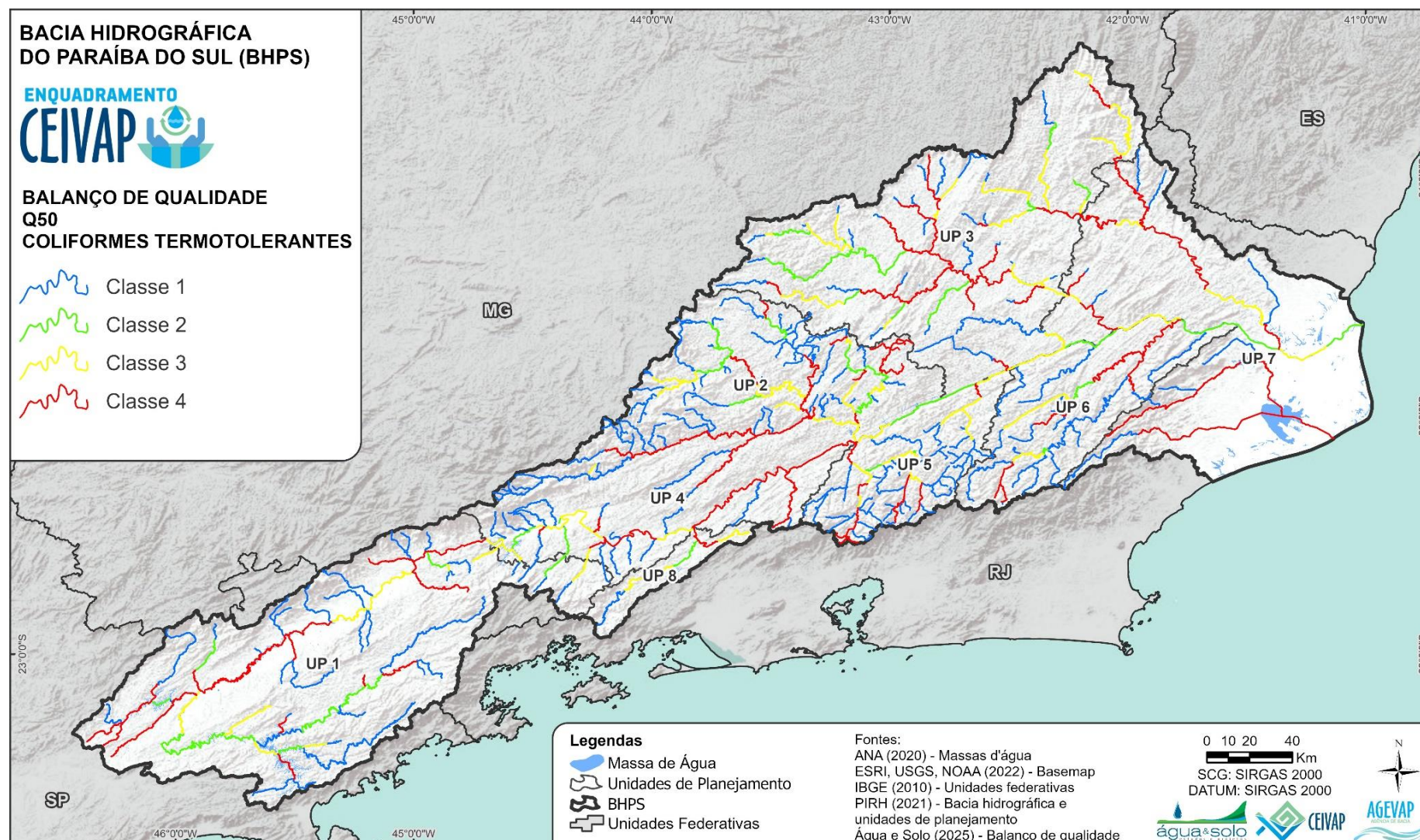


Figura 4.32. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q₅₀).

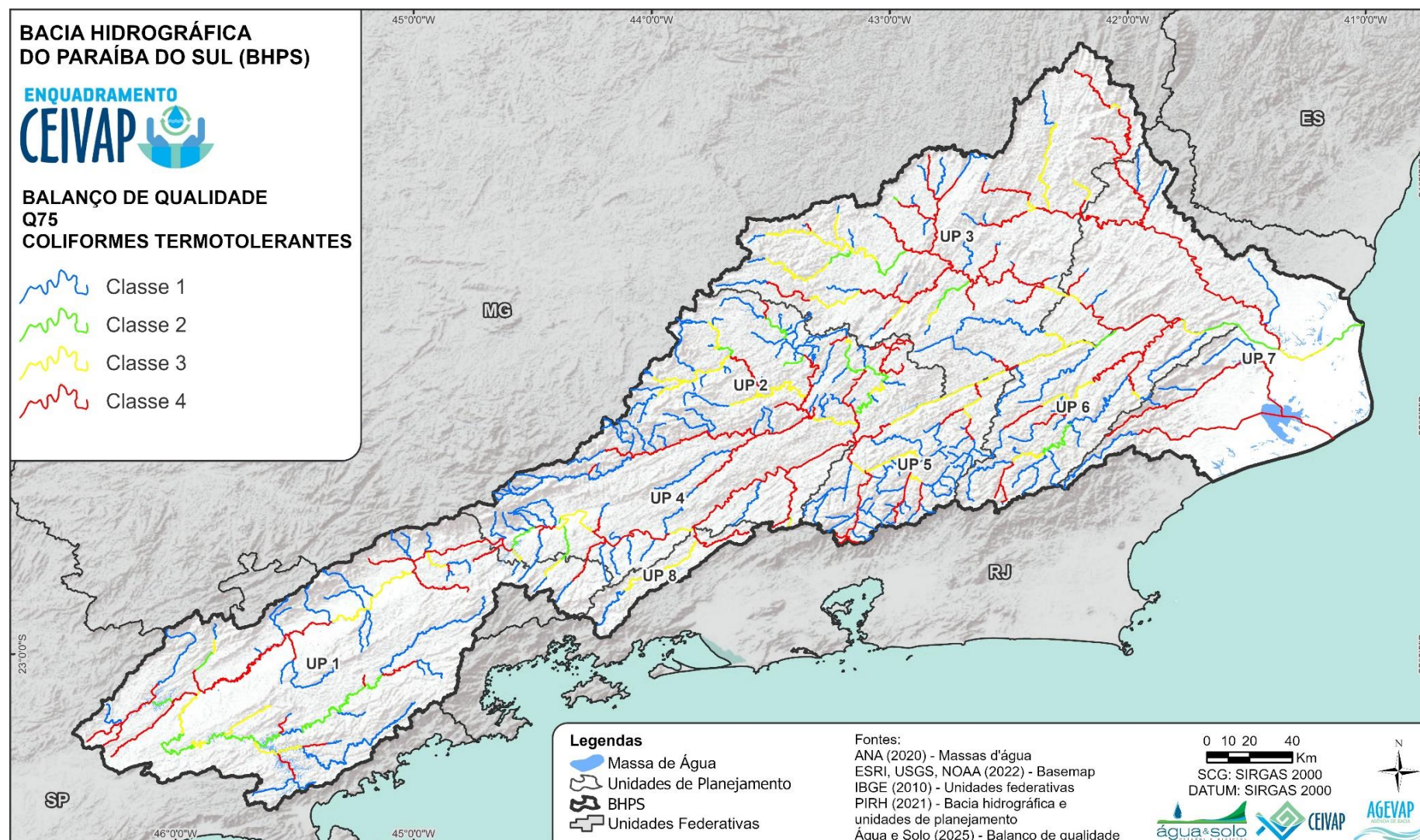


Figura 4.33. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q75).

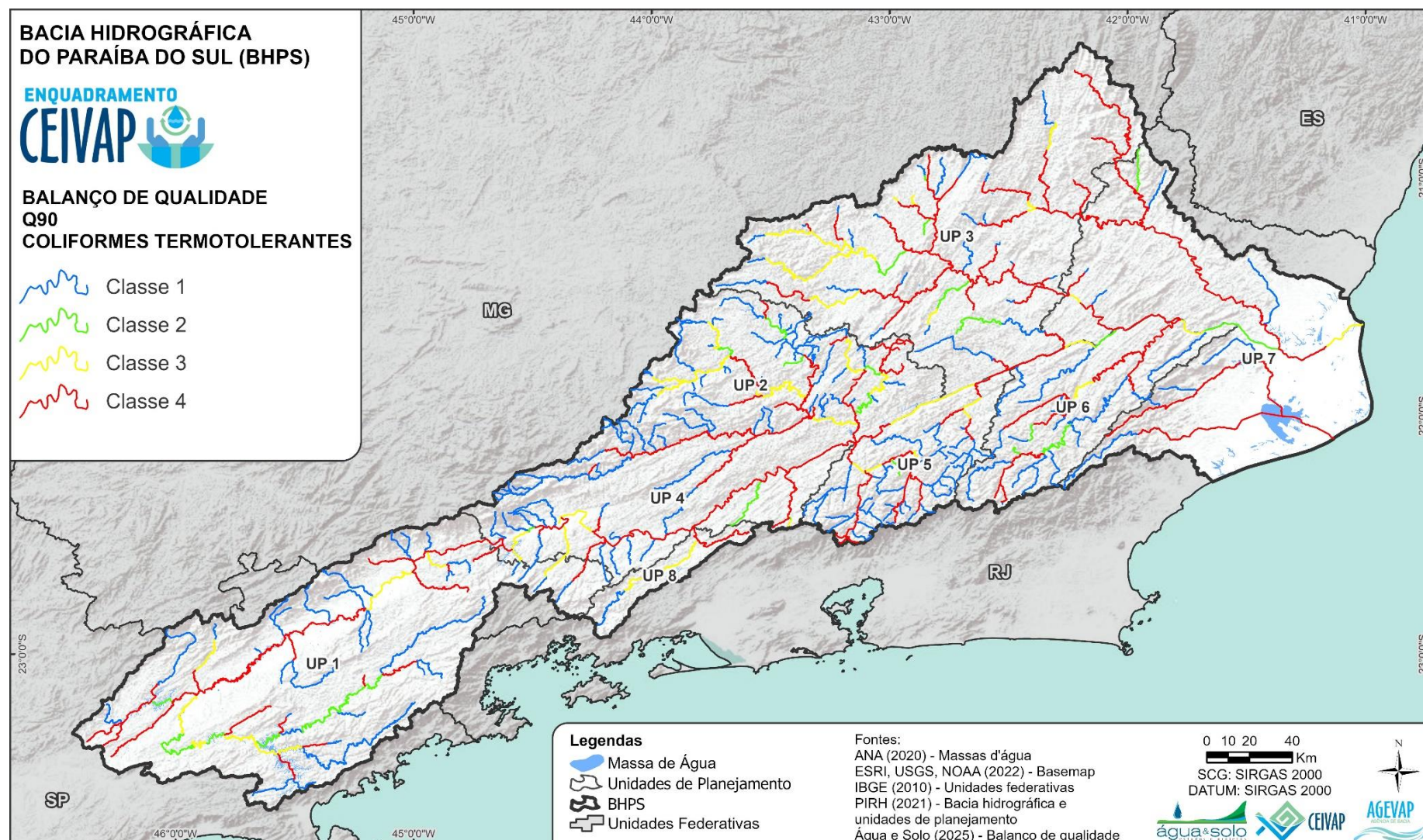


Figura 4.34. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q₉₀).

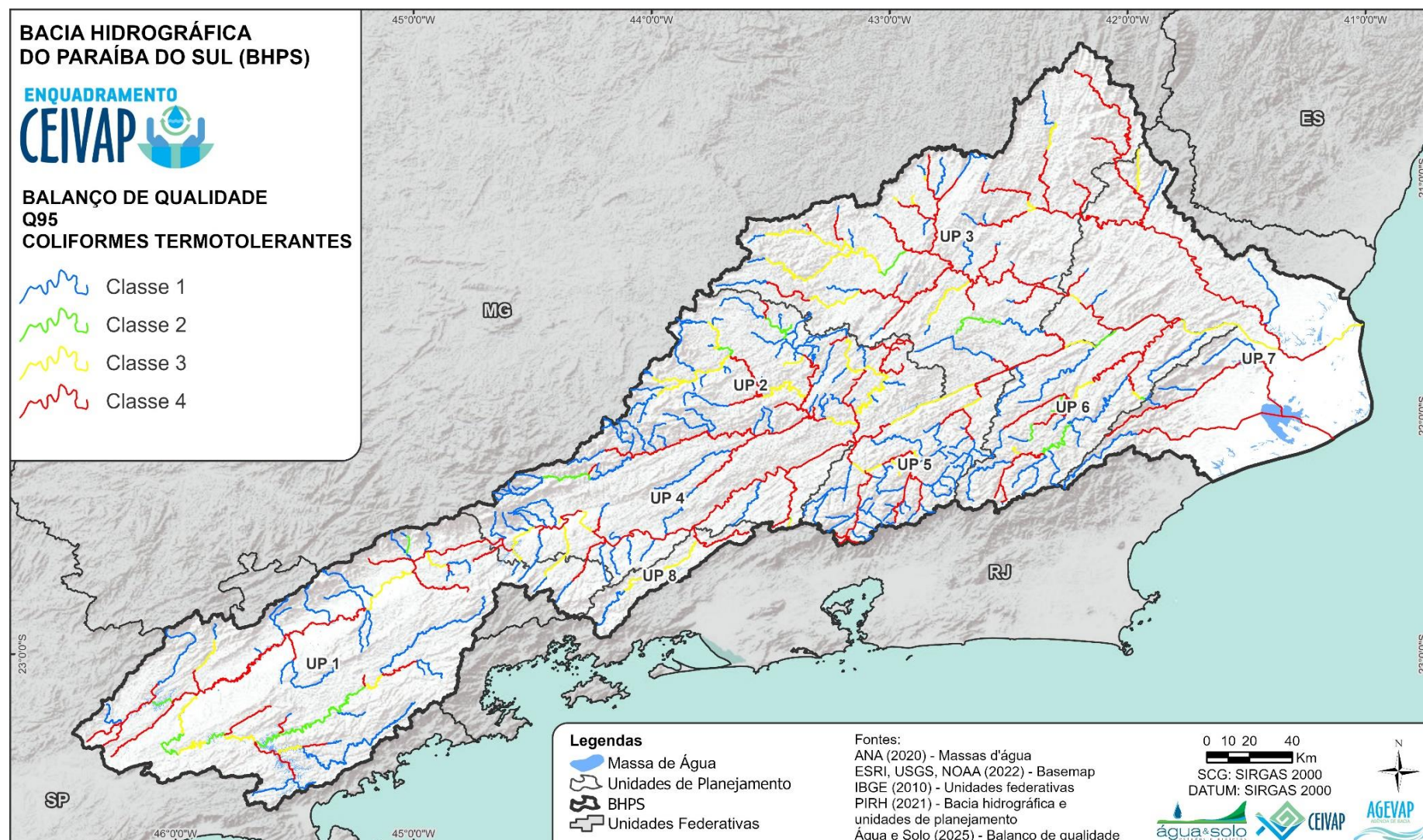


Figura 4.35. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q₉₅).

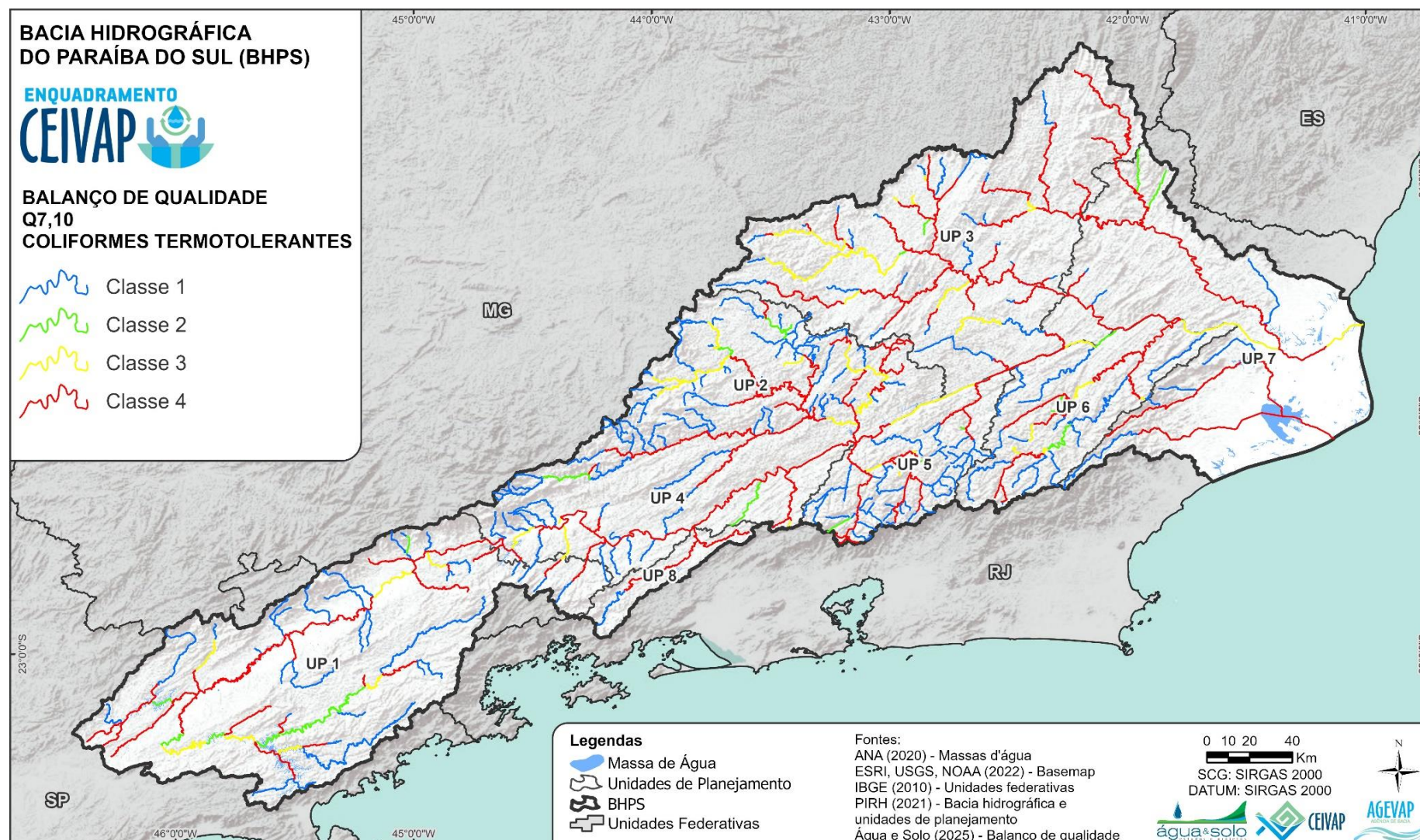


Figura 4.36. Modelagem de qualidade (coliformes termotolerantes – Q7,10).

Ao se analisar os resultados obtidos para os coliformes termotolerantes observa-se que este parâmetro se trata de um dos mais críticos. Já nas vazões mais altas (Q_{10} e Q_{25}) se observa uma grande quantidade de trechos em situação de classe 3 e 4. Vale ressaltar que o limiar entre a classe 3 e a classe 4 deste parâmetro é 2.500 NMP/mL ($2,5 \times 10^3$), inferior à grande parte dos pontos monitorados que estão em uma escala de 10^4 até 10^5 . Estes resultados ruins são condizentes com o que já foi apresentado nas análises do Diagnóstico em relação aos dados monitorados, assim como com o que foi identificado no processo de calibração (item 4.1).

Outro ponto importante a ressaltar, é que para apresentação dos resultados, a informação referente à simulação da drenagem mais discretizada (1700 trechos) foi transferida para a segmentação final (com 600 trechos). Nessa transferência de informações de uma drenagem mais discretizada para uma menos, o pior valor nos trechos que compõem cada um dos 600 segmentos é adotado para determinar a classe de todo o segmento. Isso eventualmente pode contribuir para uma classe inferior.

Ao se analisar os resultados de coliformes para as vazões de referência, observa-se que a situação piora em vazões mais baixas. As três vazões de referência (Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$) apresentam grande parte da bacia classificada como classes 3 e 4. Destaca-se o rio Paraíba do Sul, que já na Q_{75} e consequentemente na Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$ apresenta classes 3 e 4 em praticamente toda a sua extensão.

Por fim, destaca-se, no entanto, que assim como apresentado para a DBO e para o OD, uma grande quantidade de trechos de montante (cabeceira) em todas as UPs se mantém em classe 1 ao longo de todas as vazões simuladas.

4.3.4 Fósforo total

A CONAMA nº 357/2005 estabelece que para o fósforo total os corpos de água doce serão classificados como: classe 1, os que obtiverem valores de concentração abaixo de 0,1 mg/L; classe 3, os que obtiverem concentrações entre 0,1 e 0,15 mg/L; e classe 4, concentrações maiores que 0,15 mg/L.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.37 e a Figura 4.43, apresentam o resultado da simulação de coliformes termotolerantes para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

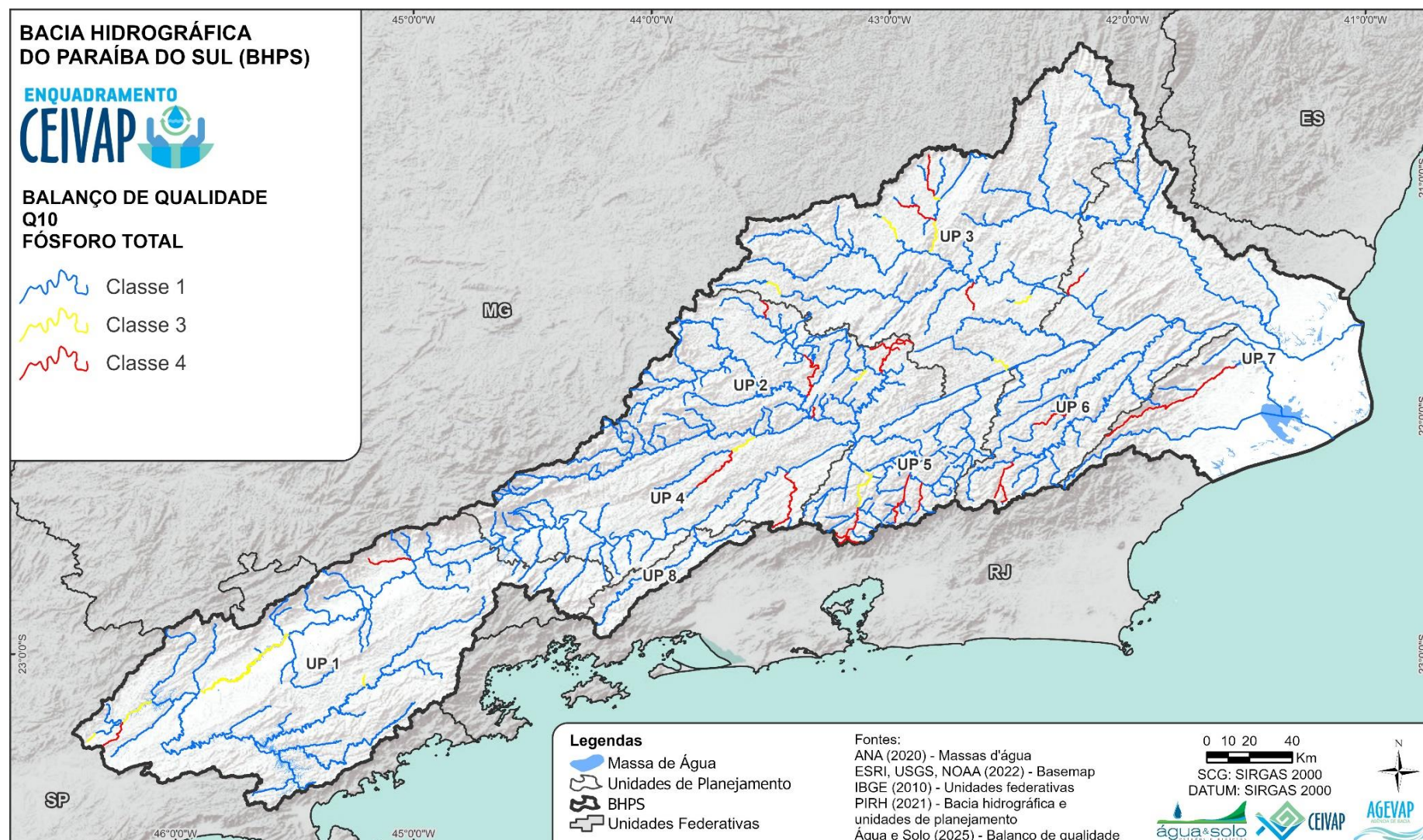


Figura 4.37. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q₁₀).

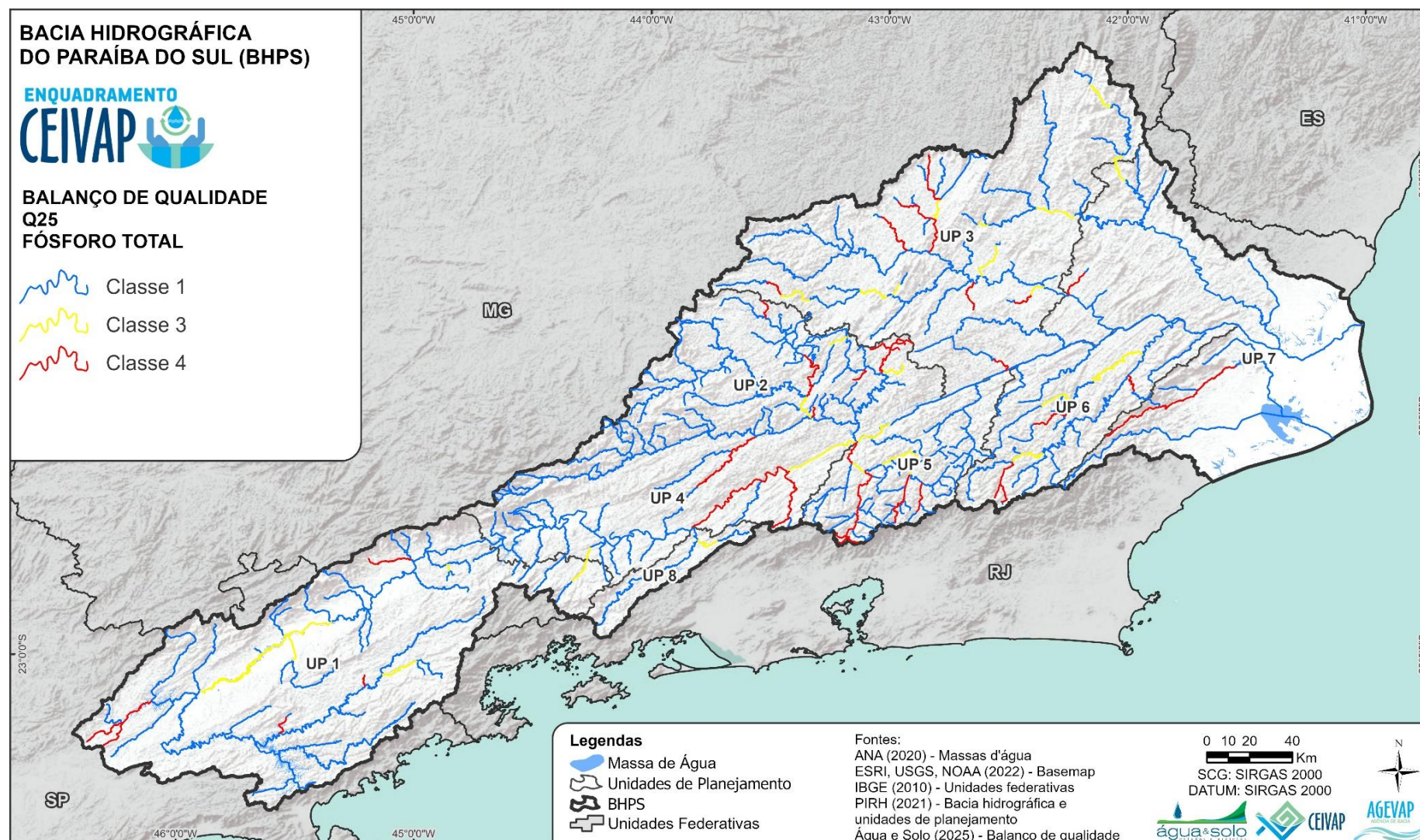


Figura 4.38. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q25).

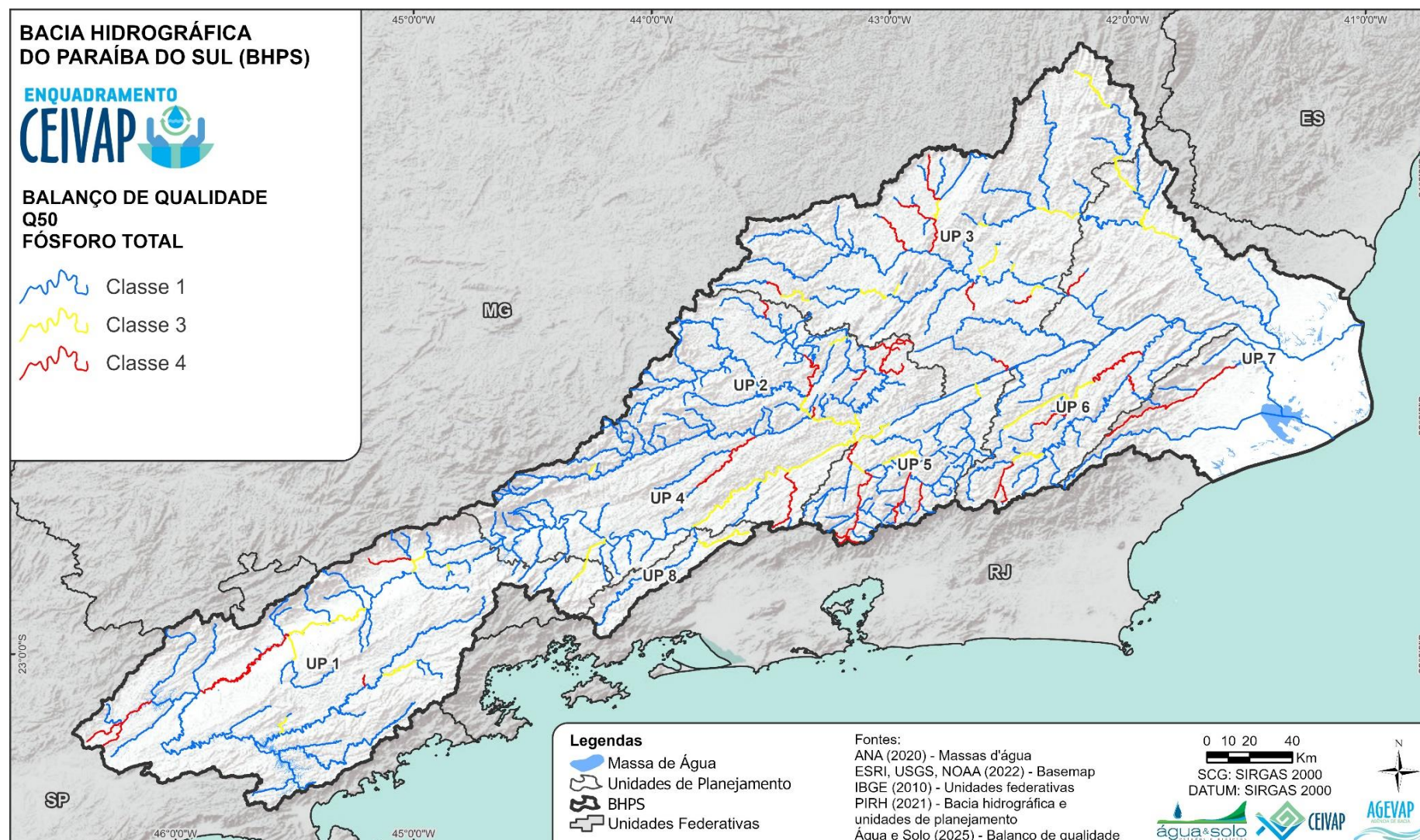


Figura 4.39. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q₅₀).

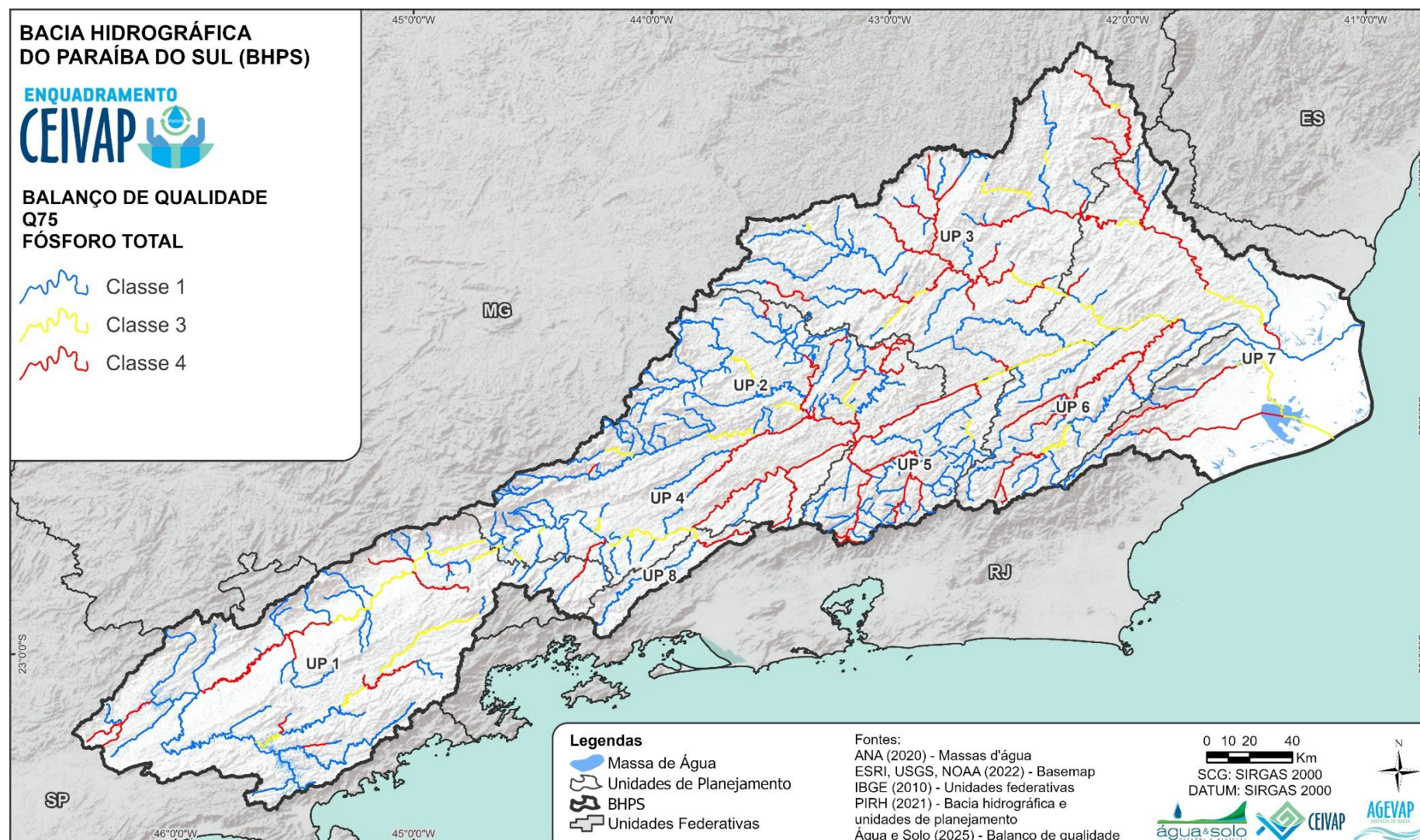


Figura 4.40. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q75).

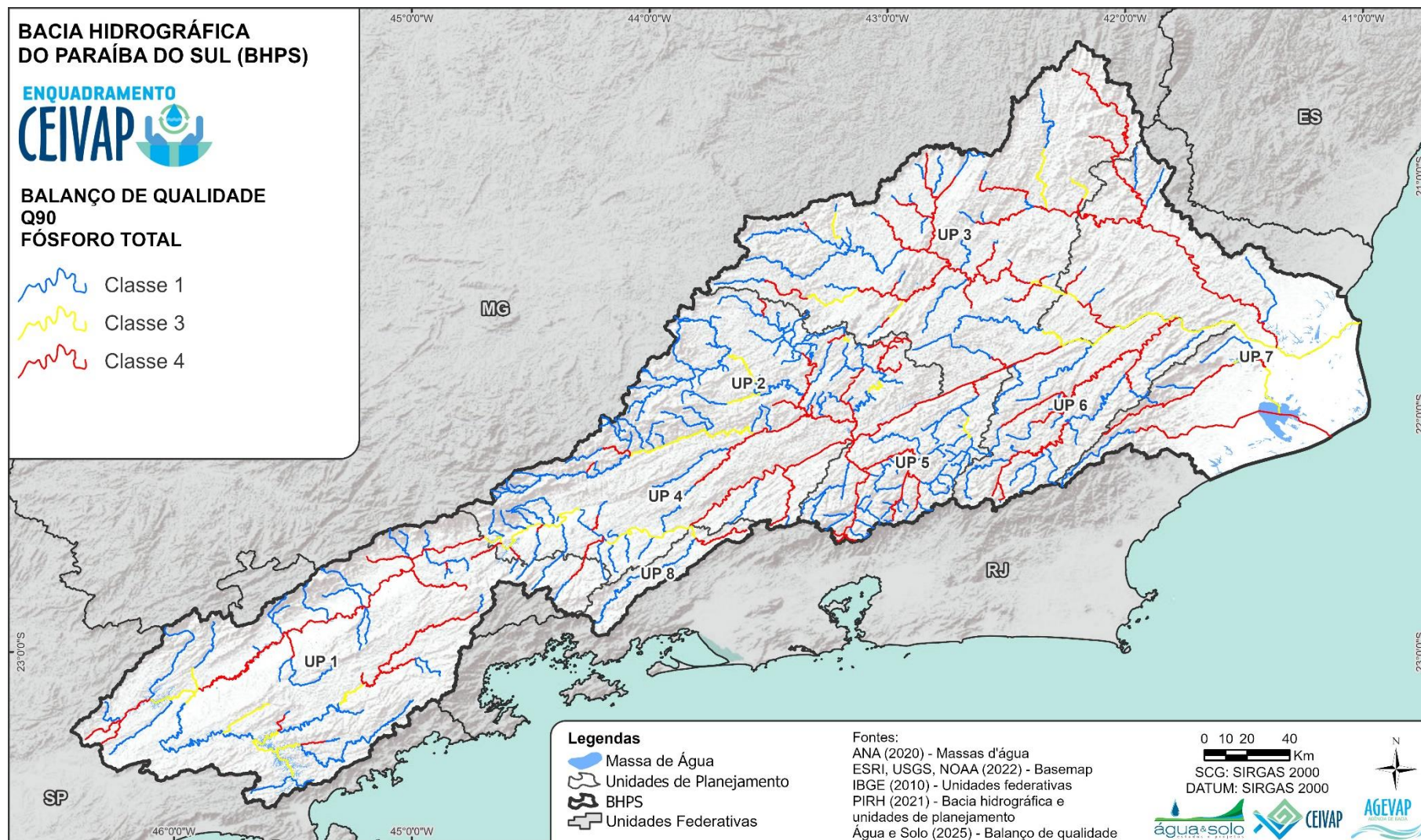


Figura 4.41. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q₉₀).

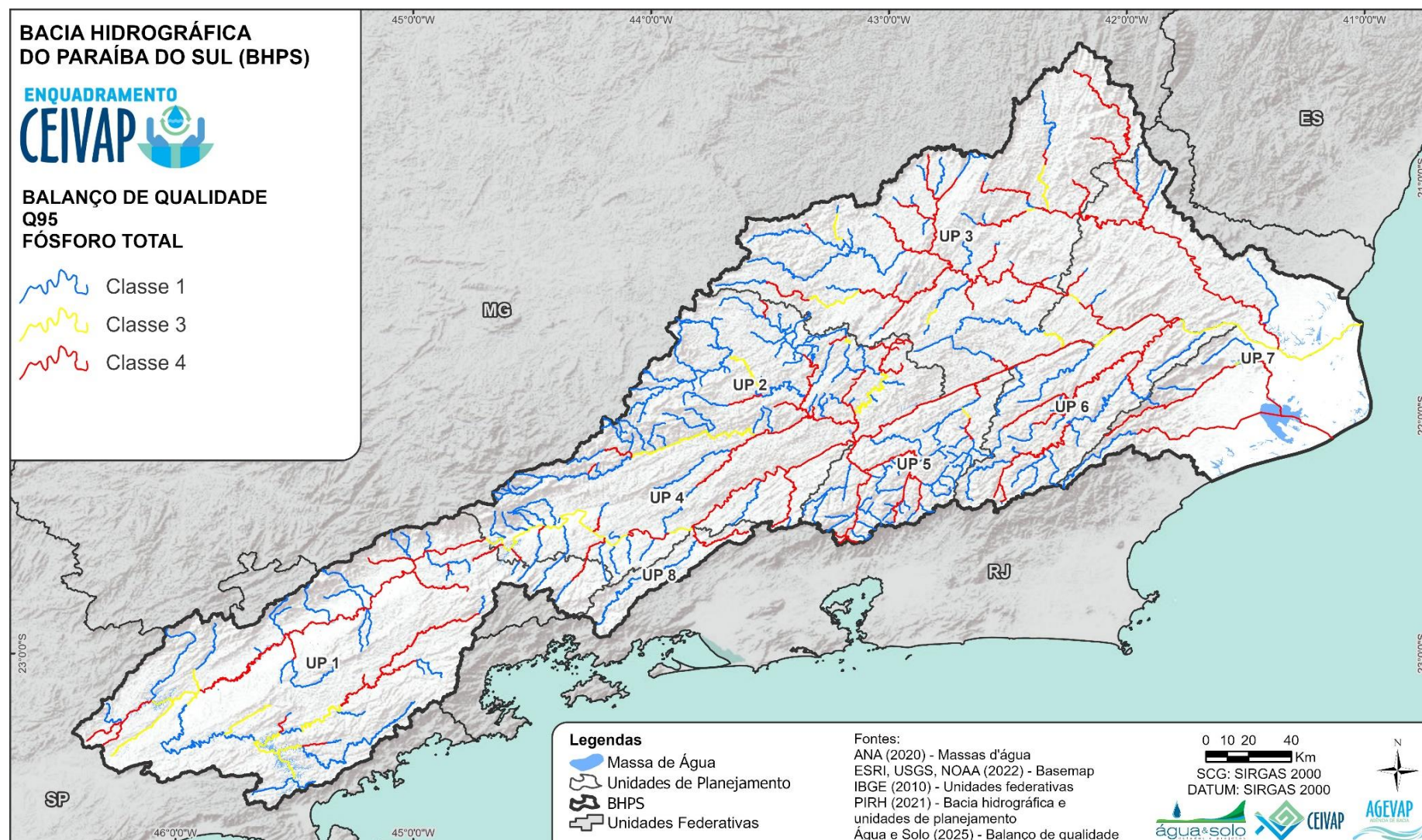


Figura 4.42. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q95).

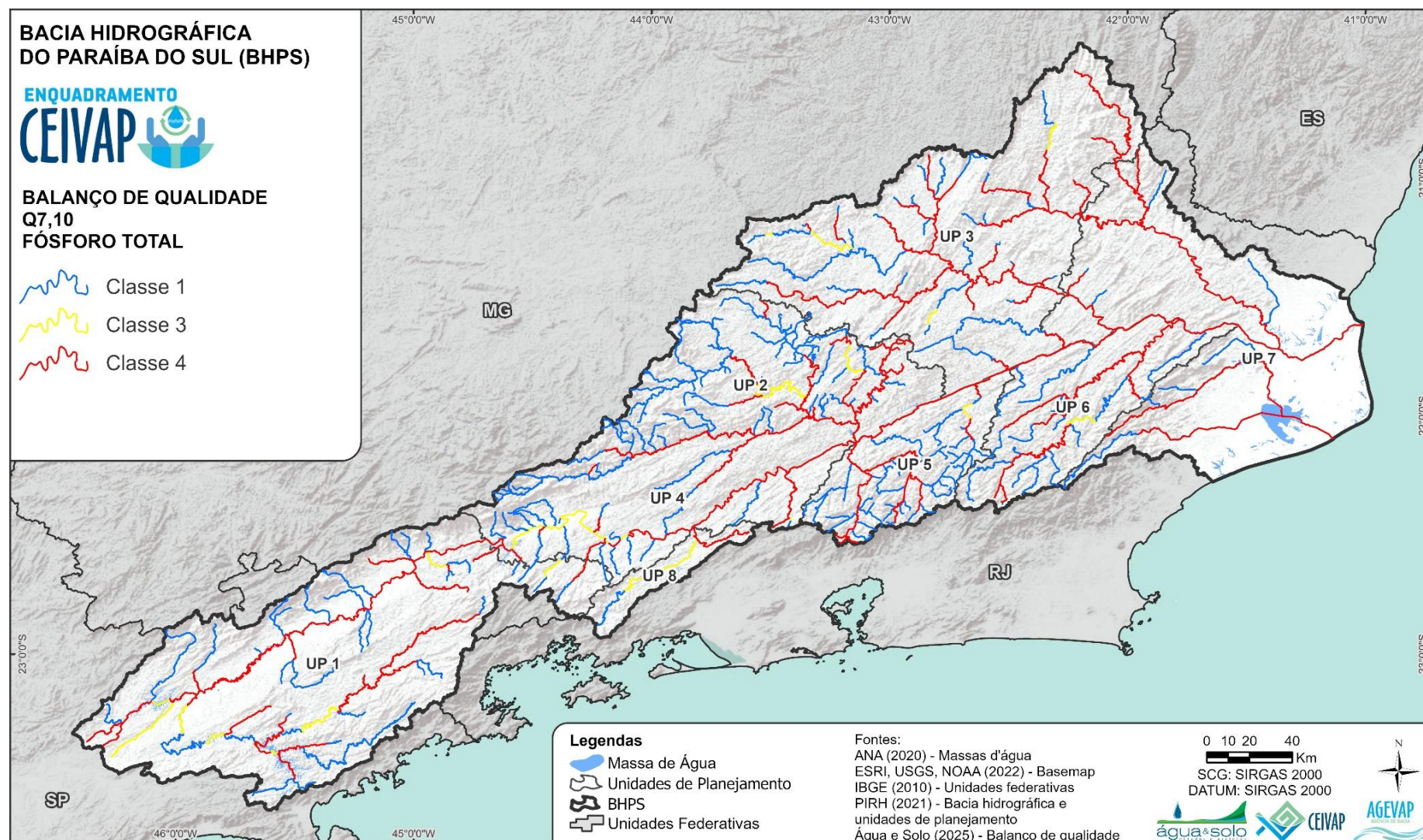


Figura 4.43. Modelagem de qualidade (fósforo total – Q_{7,10}).

Os resultados obtidos para o fósforo total são mais semelhantes aos obtidos para a DBO e o OD. As maiores vazões, como a Q_{10} , Q_{25} e Q_{50} apresentam grande parte dos trechos como classe 1 ou 2. No entanto, já é possível observar alguns trechos mais críticos, com classe 3 ou 4. Estes trechos estão localizados em pontos específicos, como próximos à Petrópolis e Teresópolis na UP5, e próximos à Santa Isabel e Arujá na UP1. Ainda na UP1, há uma trecho considerável em classe 3 na Q_{50} , localizado na zona mais industrial e urbanizada da bacia (de Jacareí a Lorena, passando por cidades como Taubaté e São José dos Campos).

A qualidade simulada para a vazão Q_{75} se apresenta como um cenário de transição, onde mais trechos passam a se apresentar com piores qualidades de água. Destaca-se que nesta vazão, os trechos mais urbanizados e industrializados de todas as UPs apresentam as classes de pior qualidade.

Já as vazões de referência apresentam grande parte da bacia com trechos em classes 3 e 4, com maiores quantidades principalmente na Q_{95} e na $Q_{7,10}$. Chama a atenção a calha principal do rio Paraíba do Sul, que nas três vazões de referência apresenta-se em classe 4 quase em sua totalidade.

Assim como nos parâmetros anteriores, se destacam os trechos localizados nas cabeceiras das UPs, que se apresentam como classe 1 em todas as vazões simuladas, inclusive as vazões de referência. Este comportamento é observado continuamente, o que reforça que estes trechos apresentam boas condições para todos os parâmetros e todas as vazões, conforme é analisado no item 4.5.

4.3.5 Nitrogênio amoniacal

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a análise dos valores de nitrogênio amoniacal em classes é realizada conforme o pH identificado no ponto ou trecho analisado. Como a simulação de qualidade não gera resultados de pH, foi adotado o valor médio de pH dos pontos amostrados na BHPS, de 6,85. Assim, para a classificação dos trechos analisados para o nitrogênio amoniacal foram considerados os limites apresentados para $pH \leq 7,5$, conforme a CONAMA nº 357/2005.

A resolução estabelece que para o nitrogênio amoniacal em $pH \leq 7,5$, os corpos de água doce serão classificados como: classe 1, os que obtiverem valores de concentração abaixo

de 3,7 mg/L; classe 3, os que obtiverem concentrações entre 3,7 e 13,3 mg/L; e classe 4 os que obtiverem concentrações maiores que 13,3 mg/L.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.44 e a Figura 4.50, apresentam o resultado da simulação de coliformes termotolerantes para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

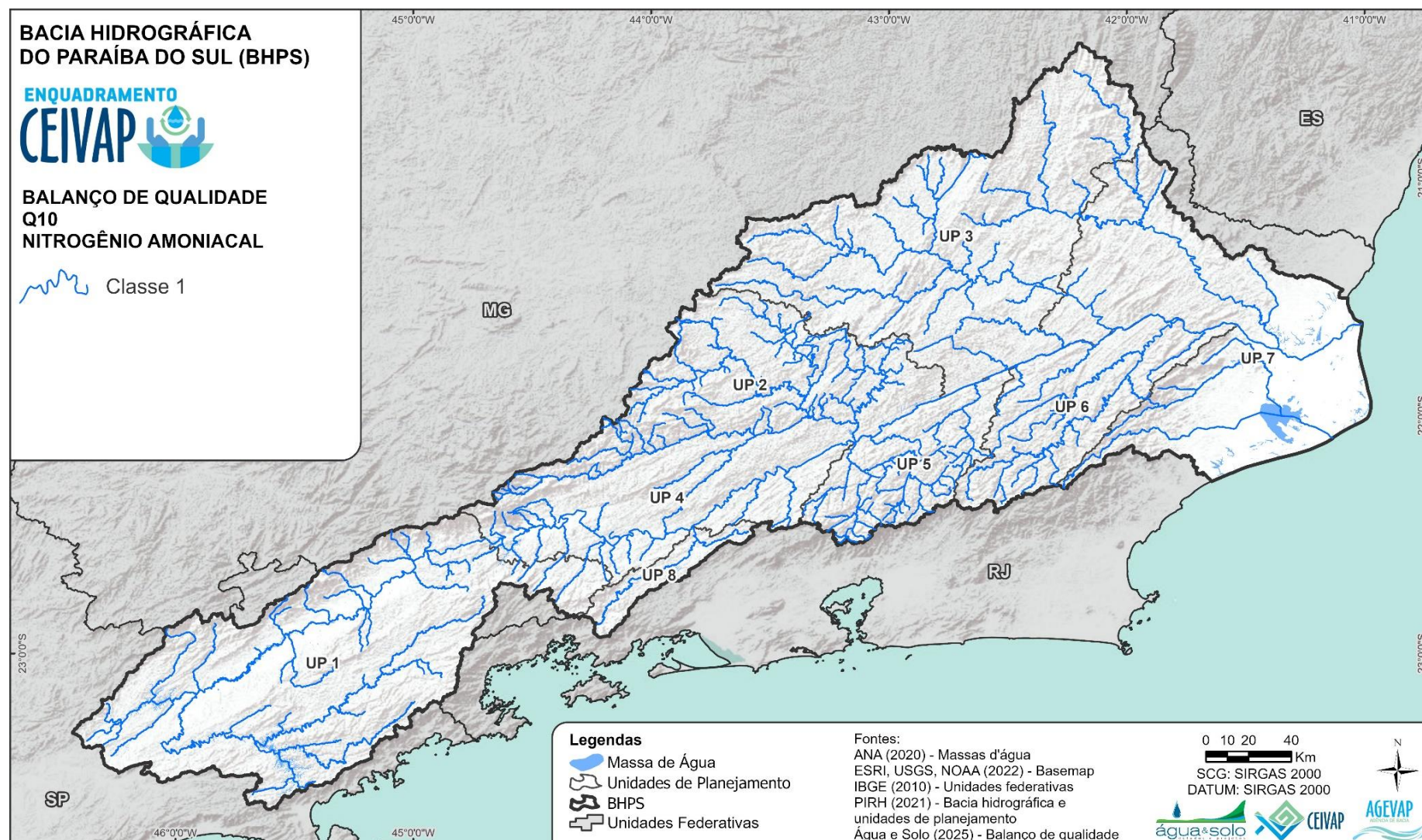


Figura 4.44. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q₁₀).

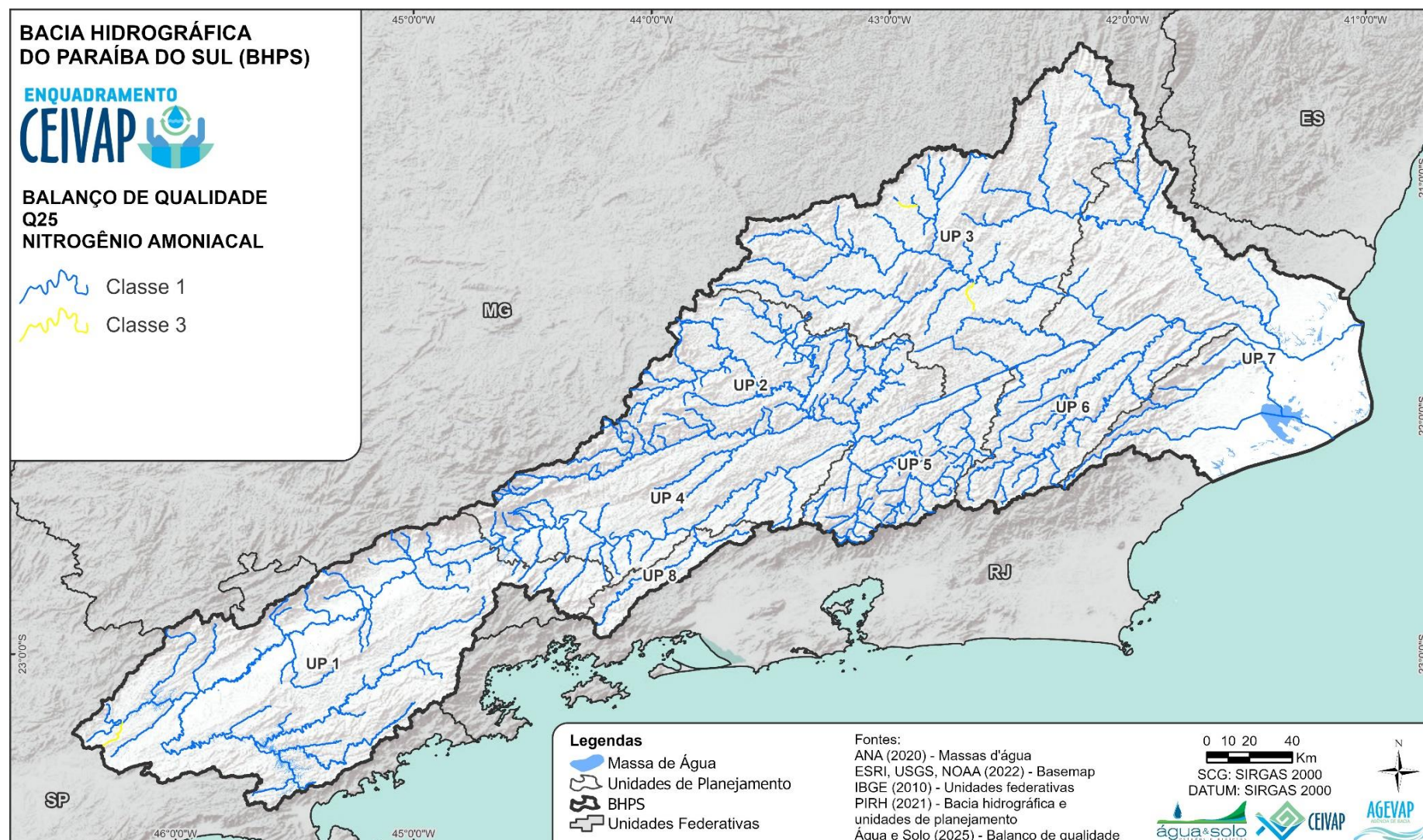


Figura 4.45. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q₂₅).

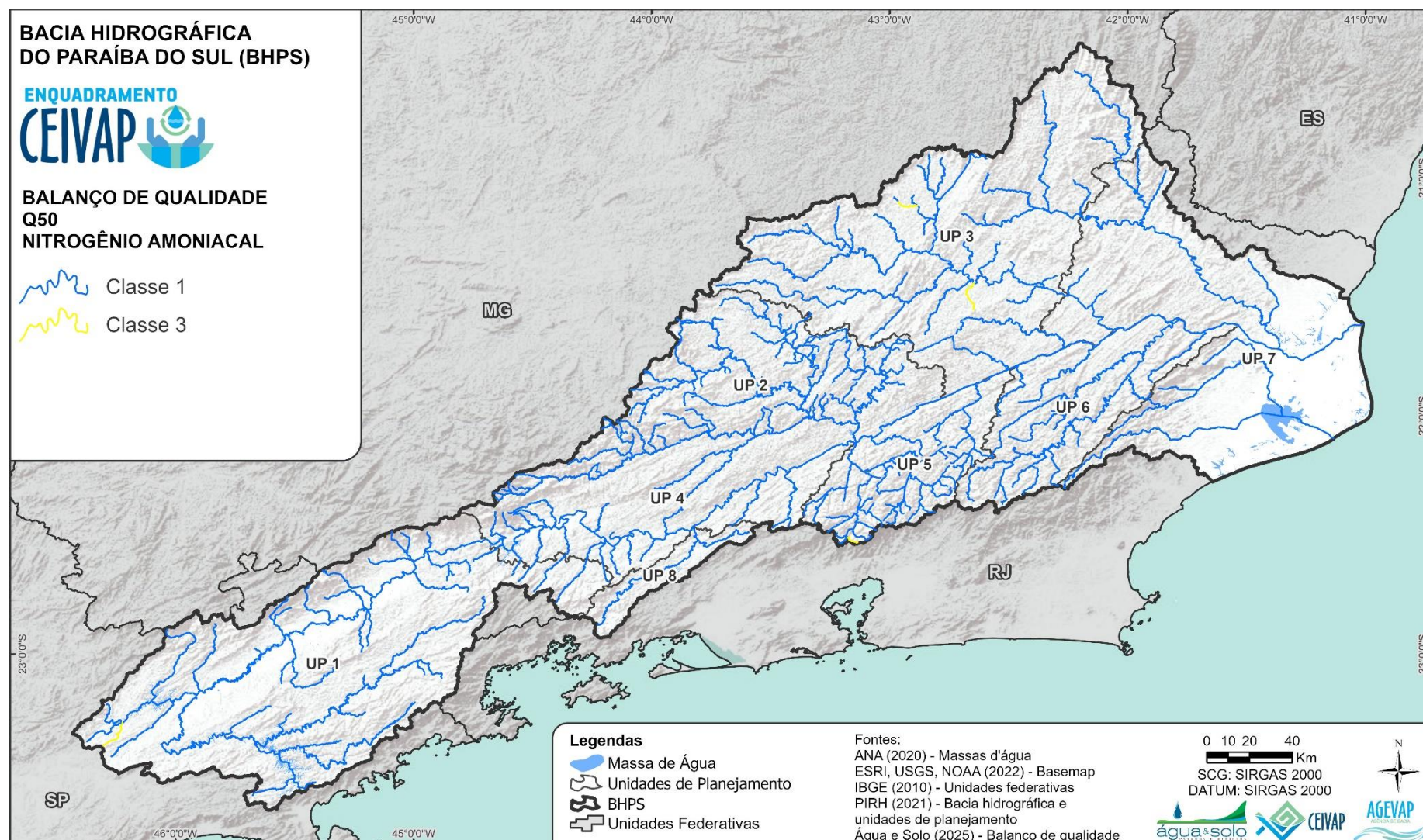


Figura 4.46. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q₅₀).

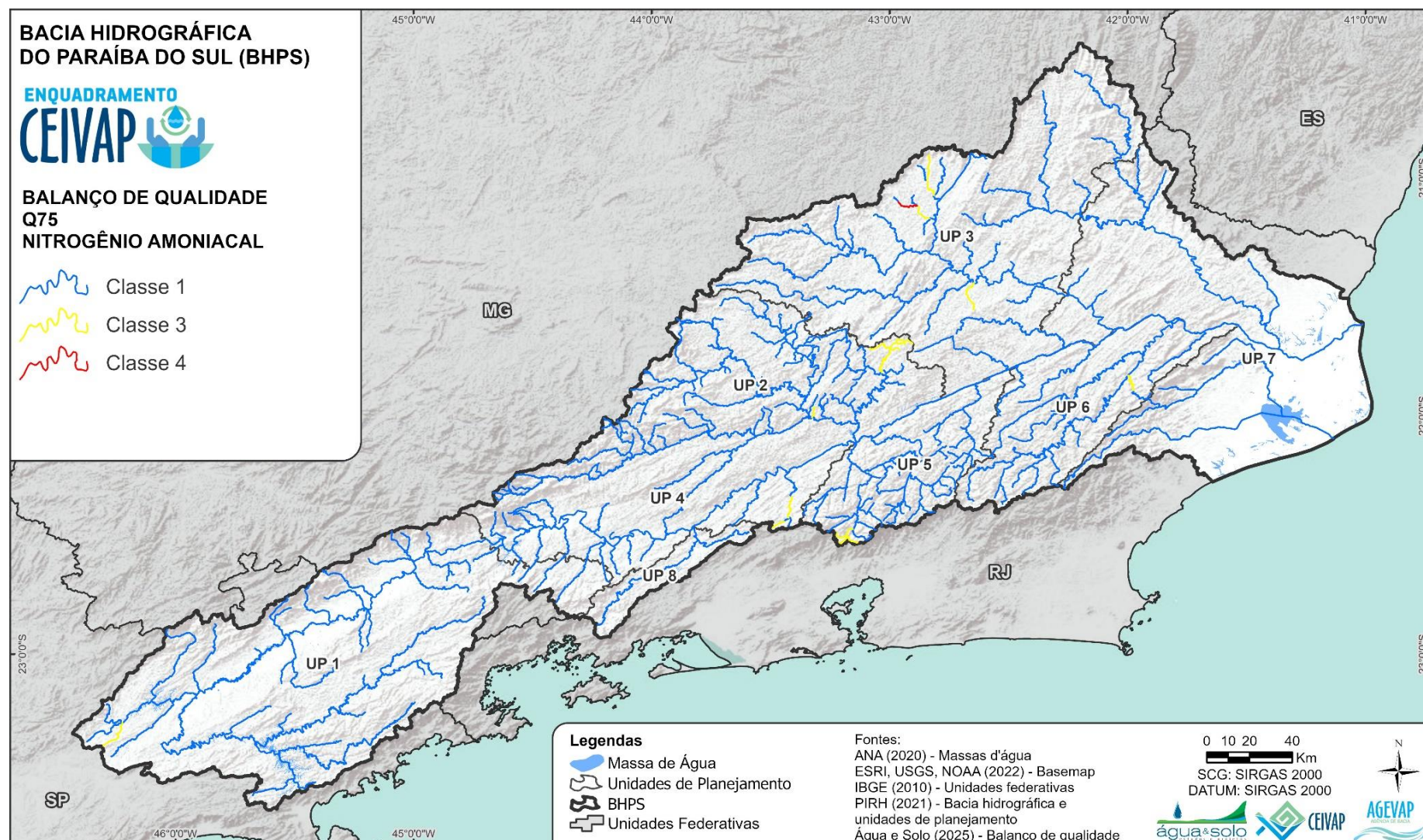


Figura 4.47. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q75).

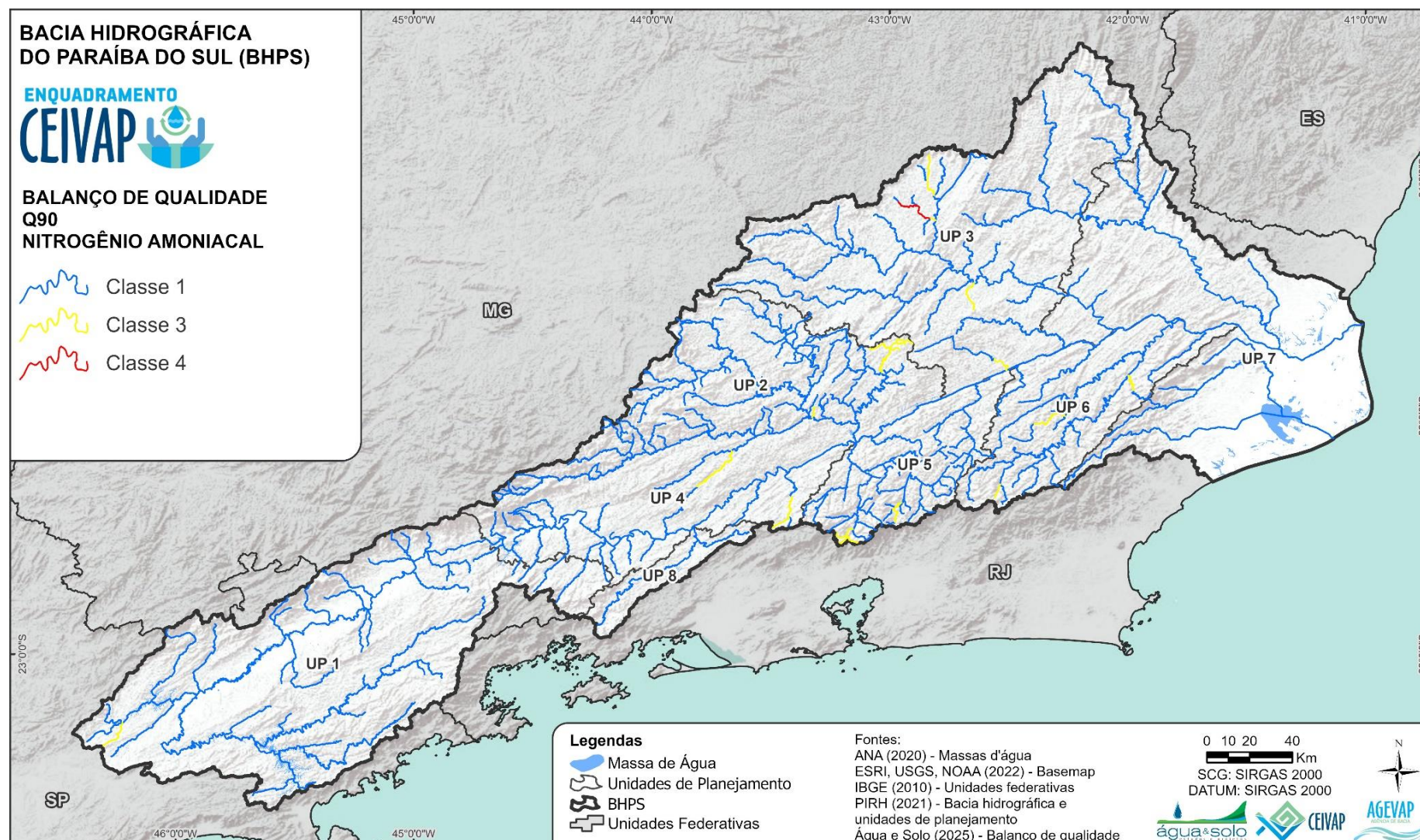


Figura 4.48. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q₉₀).

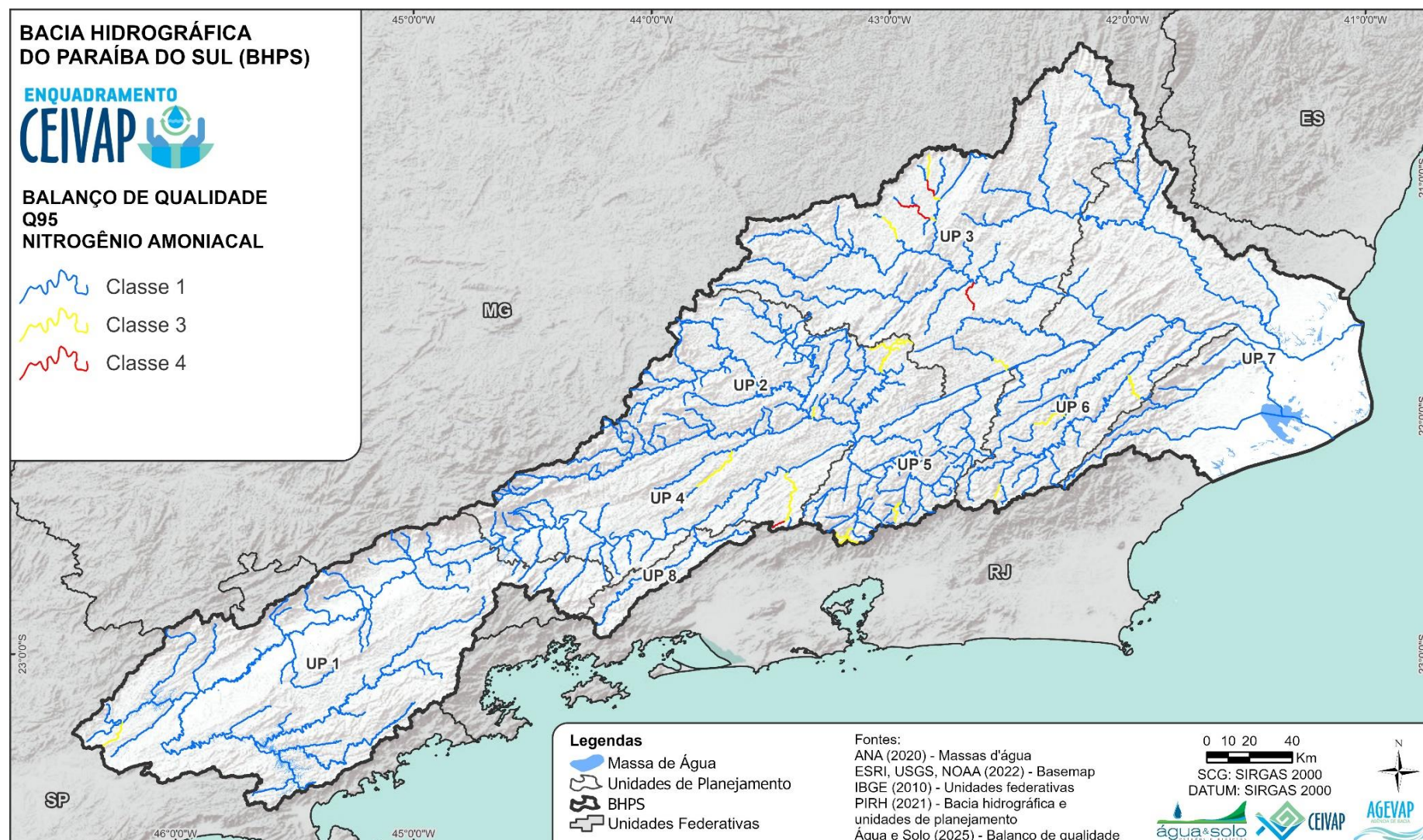


Figura 4.49. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q₉₅).

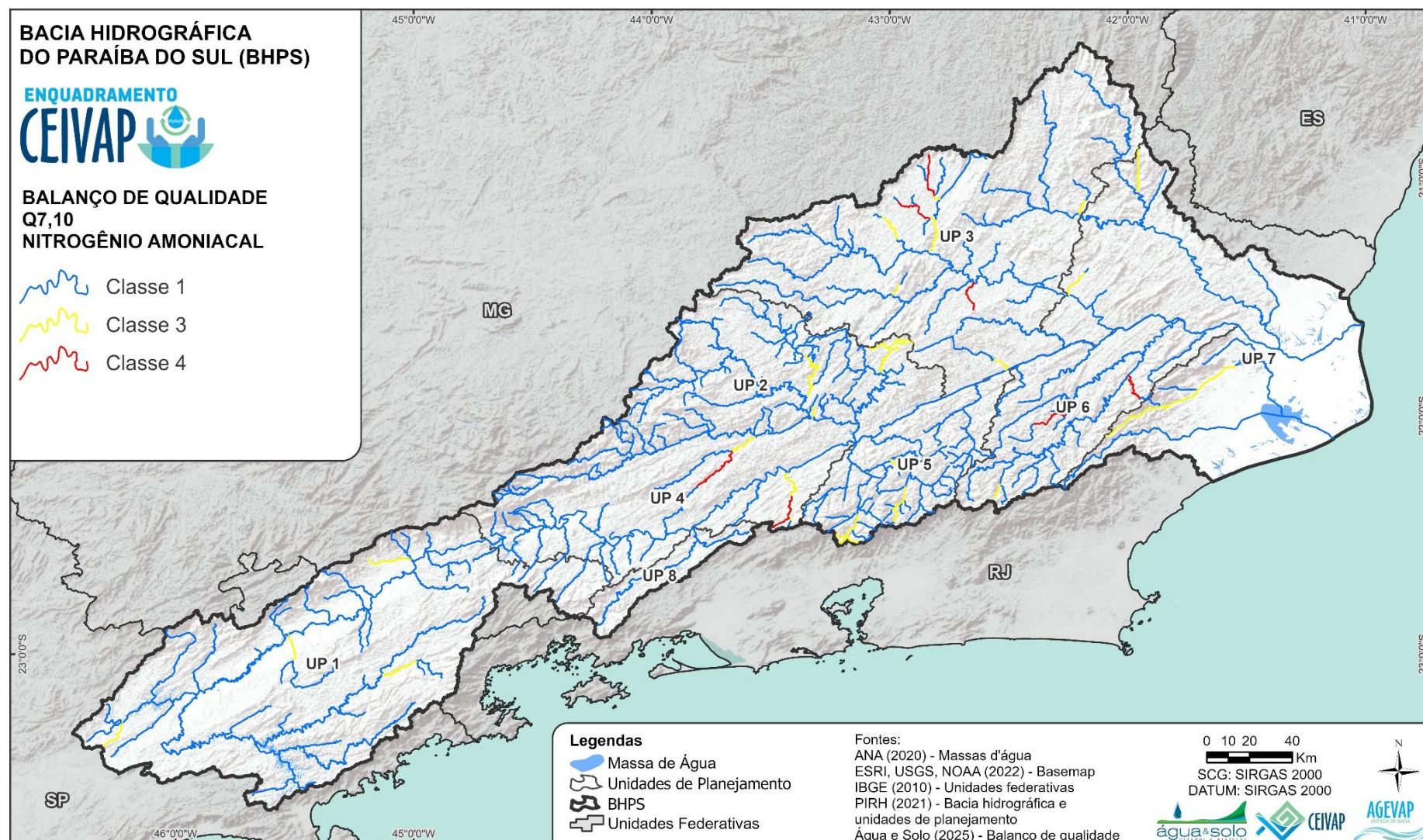


Figura 4.50. Modelagem de qualidade (nitrogênio amoniacal – Q7,10).

O nitrogênio amoniacal é, entre os parâmetros simulados, o segundo parâmetro com os melhores resultados simulados para a BHPS. Destaca-se a vazão Q_{10} com 100% dos trechos da bacia em classe 1. Já as vazões Q_{25} e Q_{50} apresentam poucos trechos em classe 3. A Resolução CONAMA nº 357 não apresenta limites numéricos para a classe 2, assim, este parâmetro apresenta resultados em classe 1, 3 ou 4.

Os resultados simulados para a vazão Q_{75} já passam a apresentar um trecho em classe 4, localizado em uma área mais à montante da UP3, no ribeirão Ubá que passa no centro do município de Ubá.

Para as vazões de referência, a Q_{90} passa a incluir mais trechos em classe 3 e considera um trecho sequencial do ribeirão de Ubá. A Q_{95} inclui novos trechos em classe 3 e um trecho em classe 4, localizado na área urbana do município de Leopoldina, também na UP3. Destaca-se que até a Q_{95} todos os trechos identificados em classe 4 para o nitrogênio amoniacal estão na UP3.

Por fim, a $Q_{7,10}$ apresenta o pior cenário, ainda assim melhor do que o apresentado pelos outros parâmetros. Ela apresenta trechos em classe 3 e 4 em toda a bacia, com trechos em classe 4 apenas nas UPs 3, 4 e 6. As demais UPs apresentam apenas trechos em classe 1 e 3.

4.3.6 Nitrato

A CONAMA nº 357/2005 estabelece que para o nitrato os corpos de água doce serão classificados como: classe 1, os que obtiverem valores de concentração abaixo de 10 mg/L; e classe 4, concentrações maiores que 10 mg/L.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.51 e a Figura 4.57, apresentam o resultado da simulação de coliformes termotolerantes para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

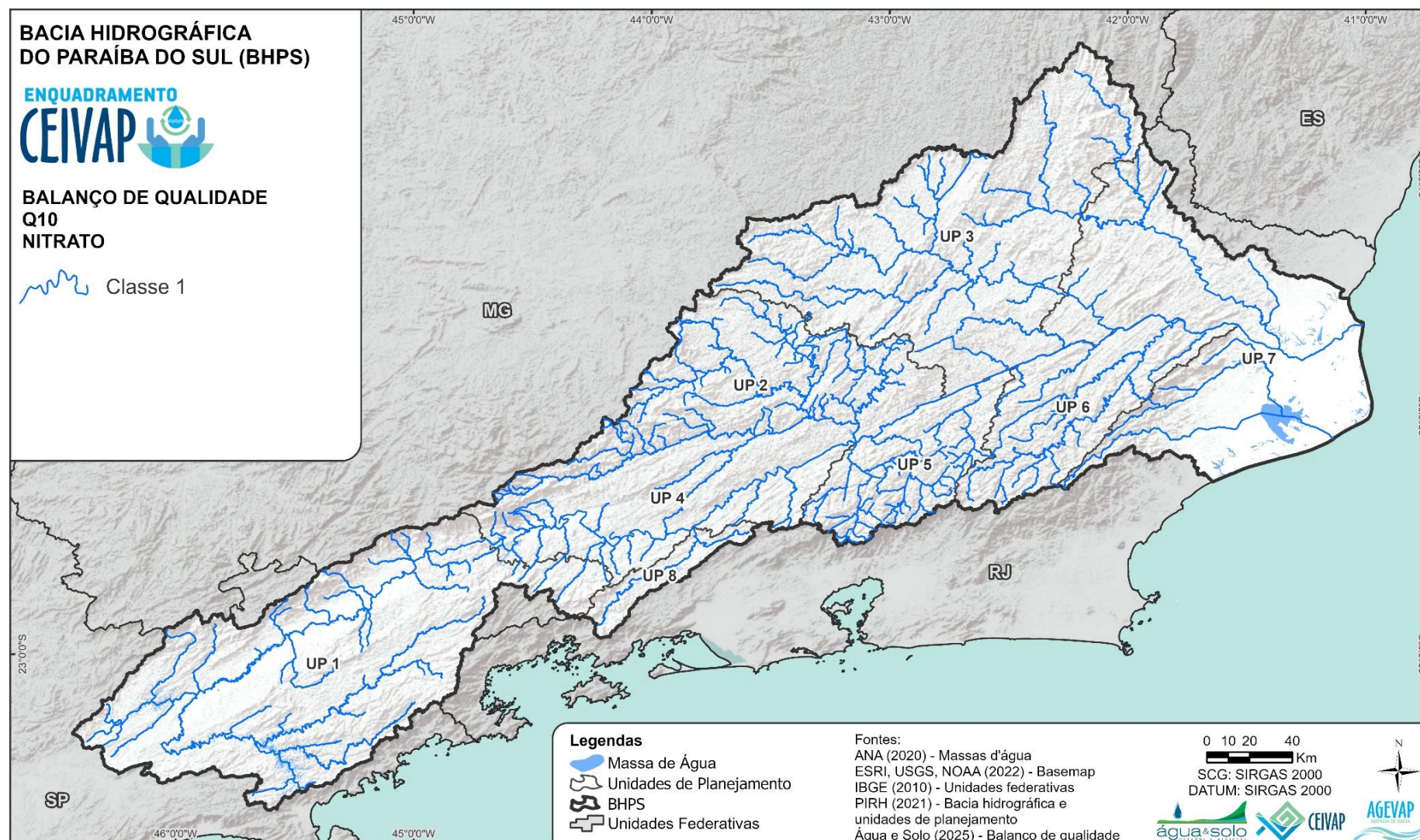


Figura 4.51. Modelagem de qualidade (nitrato – Q10).

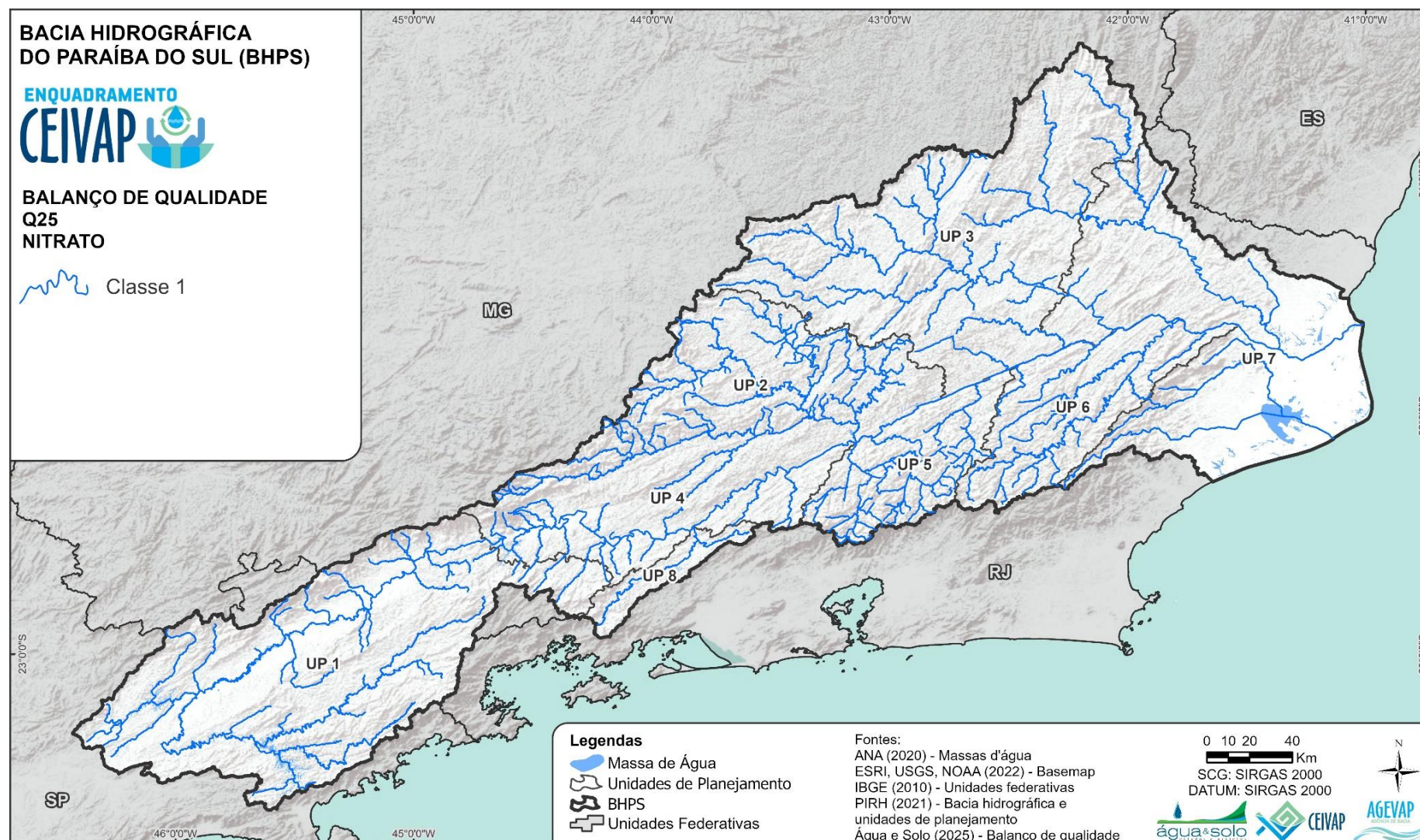


Figura 4.52. Modelagem de qualidade (nitrato – Q25).

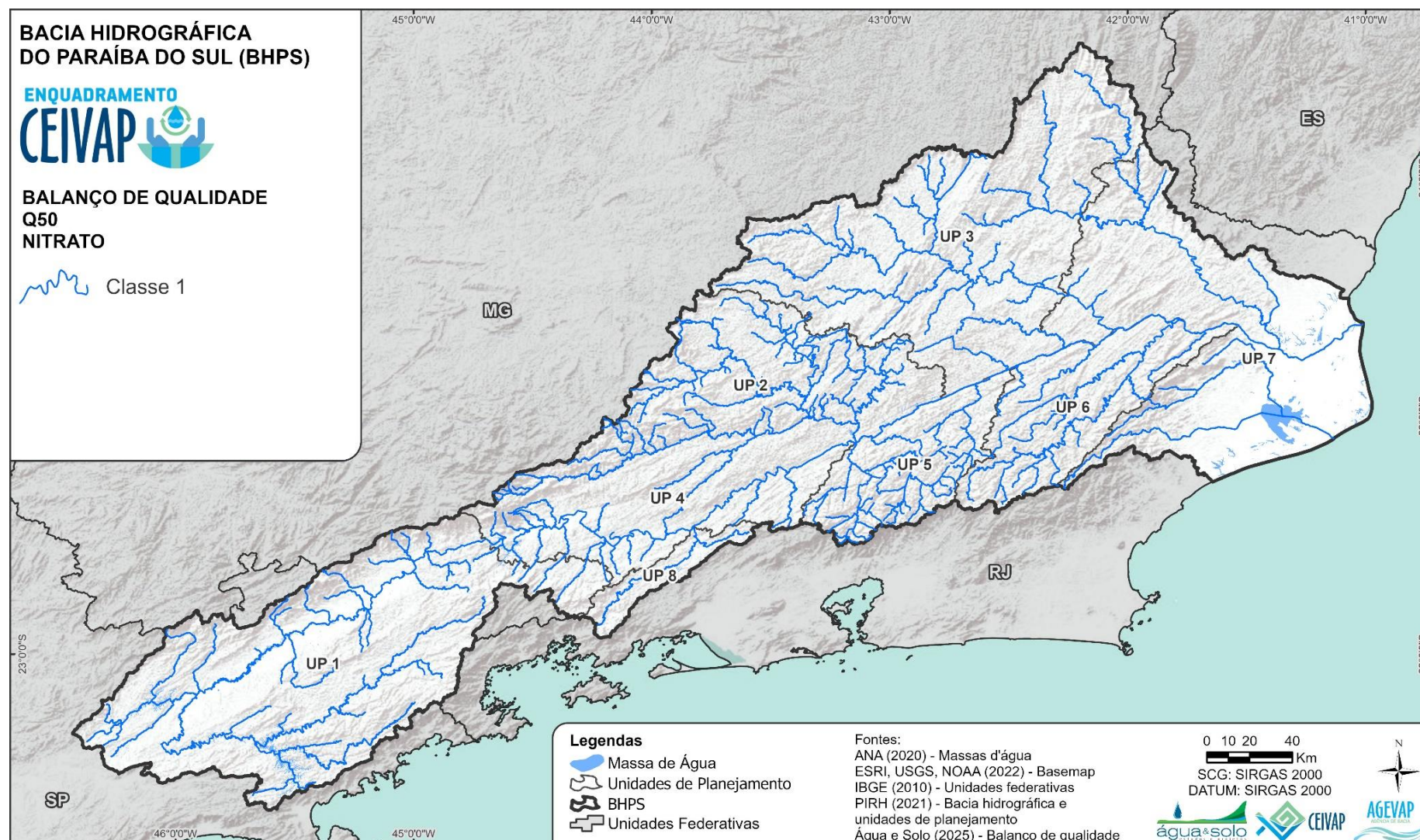


Figura 4.53. Modelagem de qualidade (nitrato – Q₅₀).

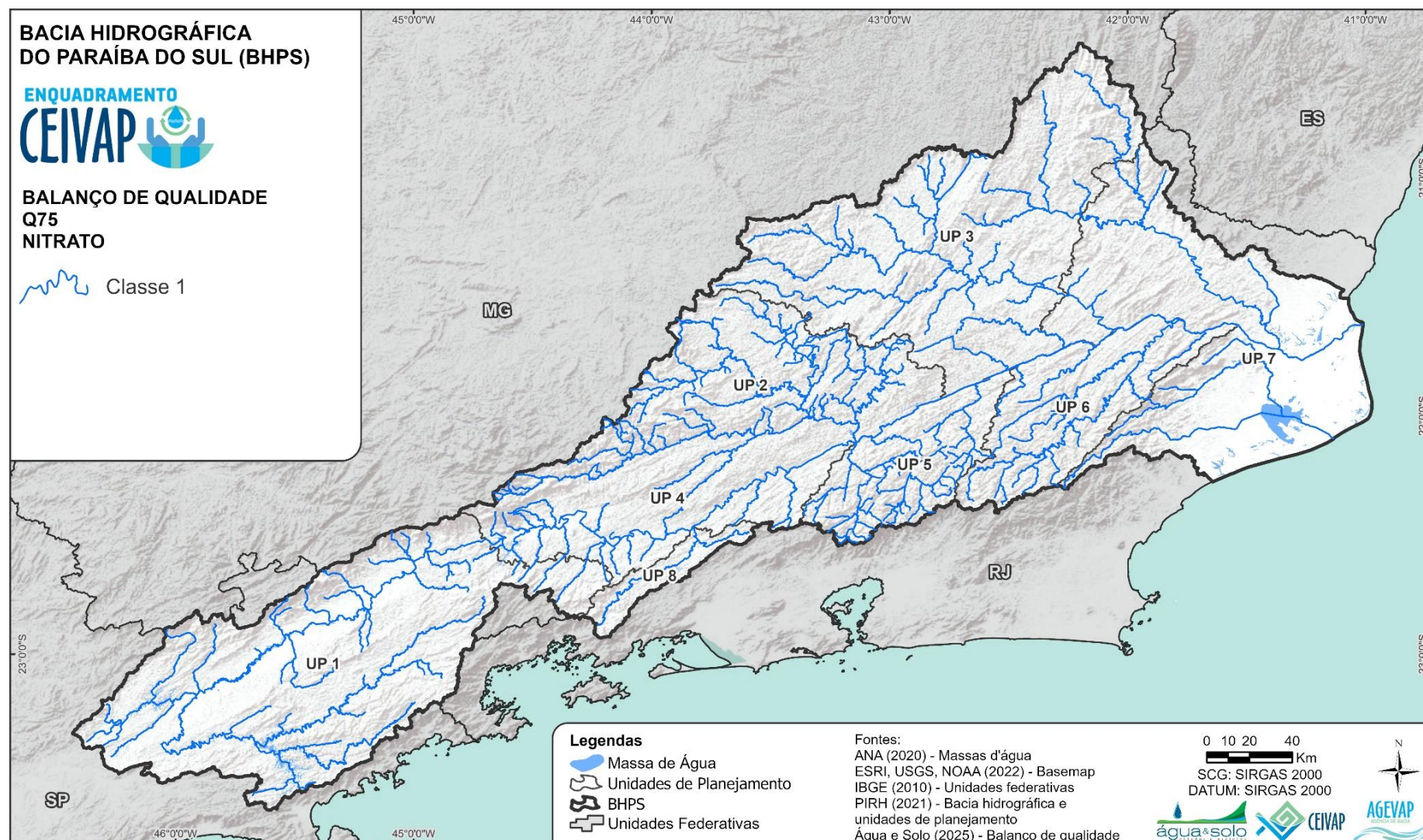


Figura 4.54. Modelagem de qualidade (nitrato – Q75).

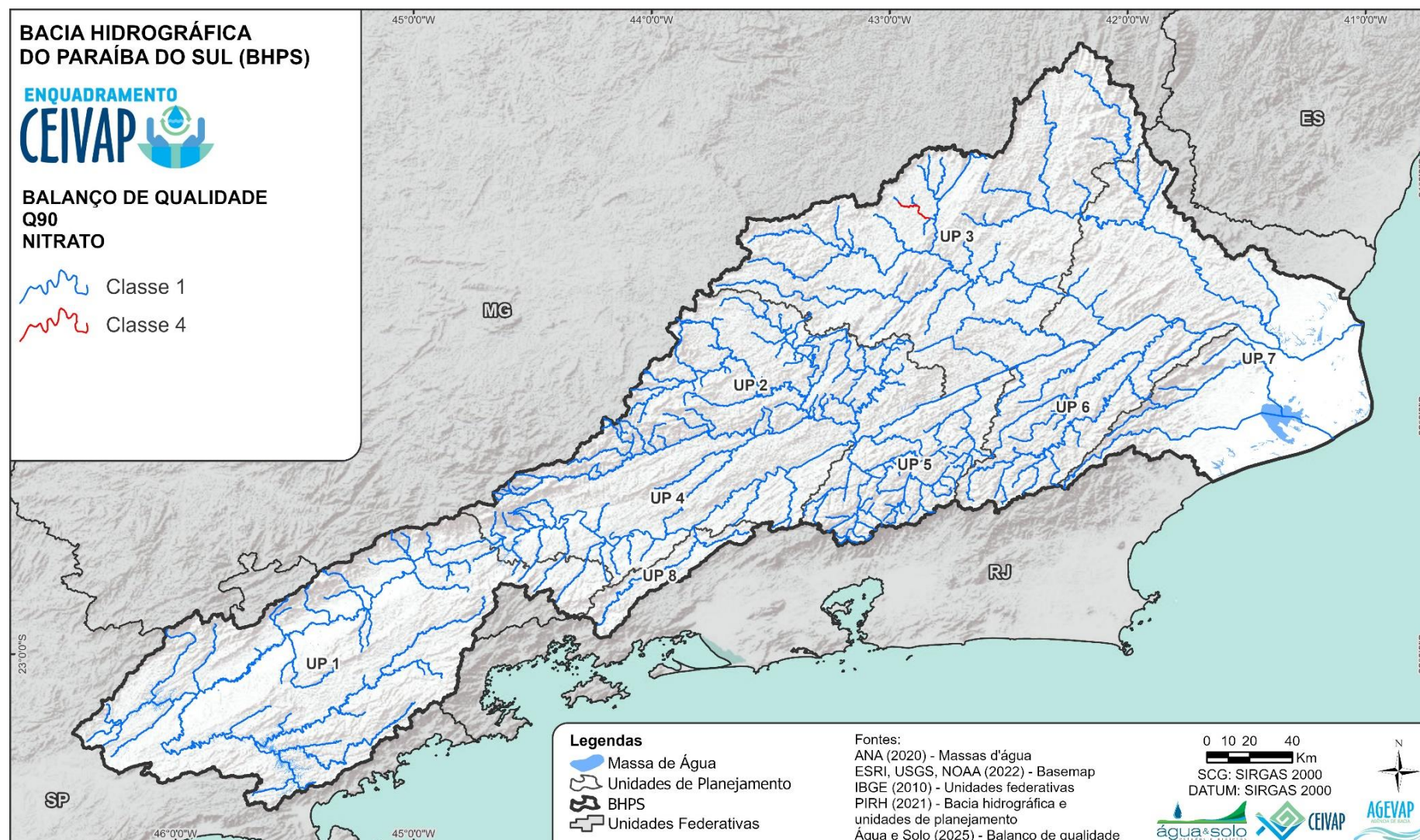


Figura 4.55. Modelagem de qualidade (nitrato – Q₉₀).

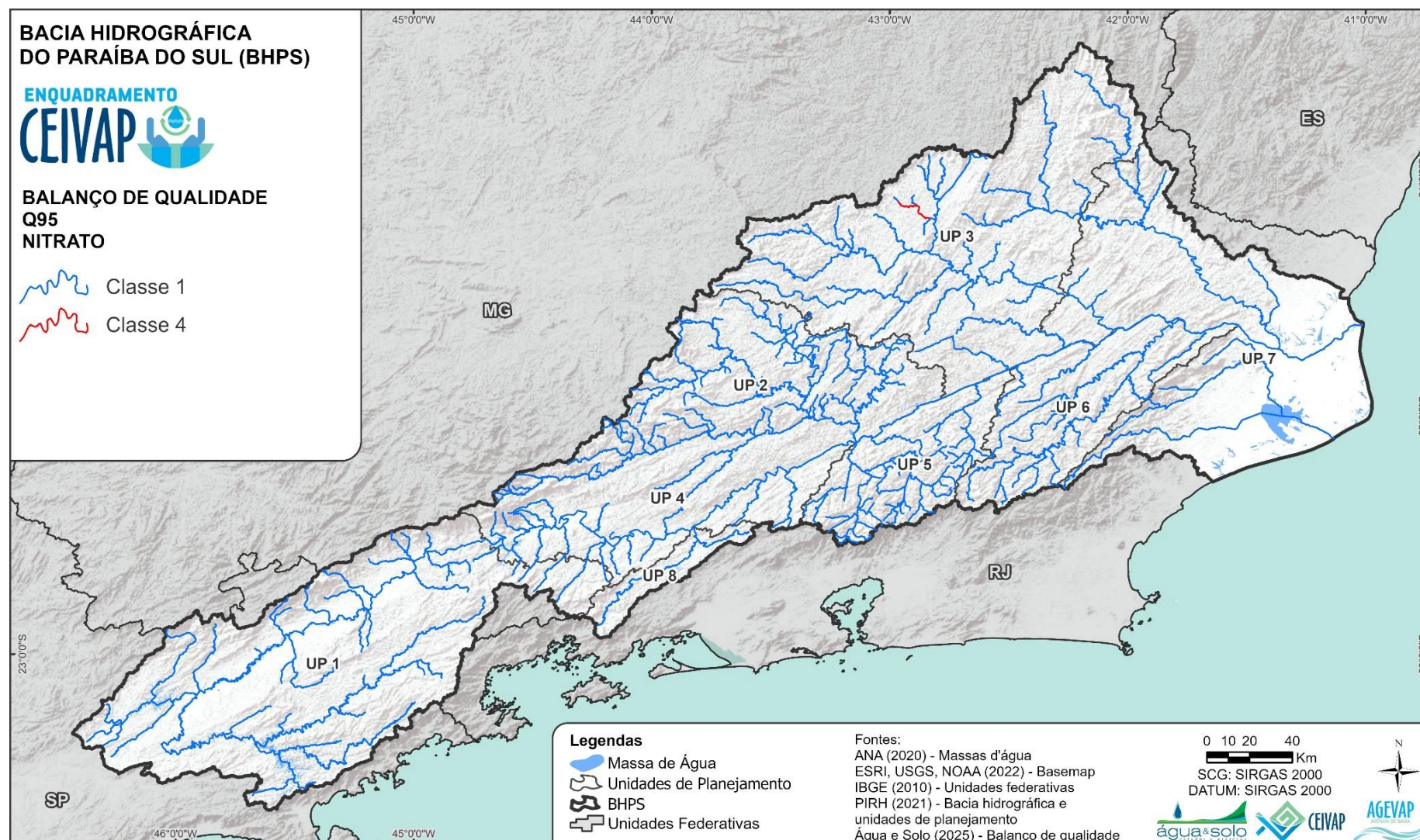


Figura 4.56. Modelagem de qualidade (nitrato – Q₉₅).

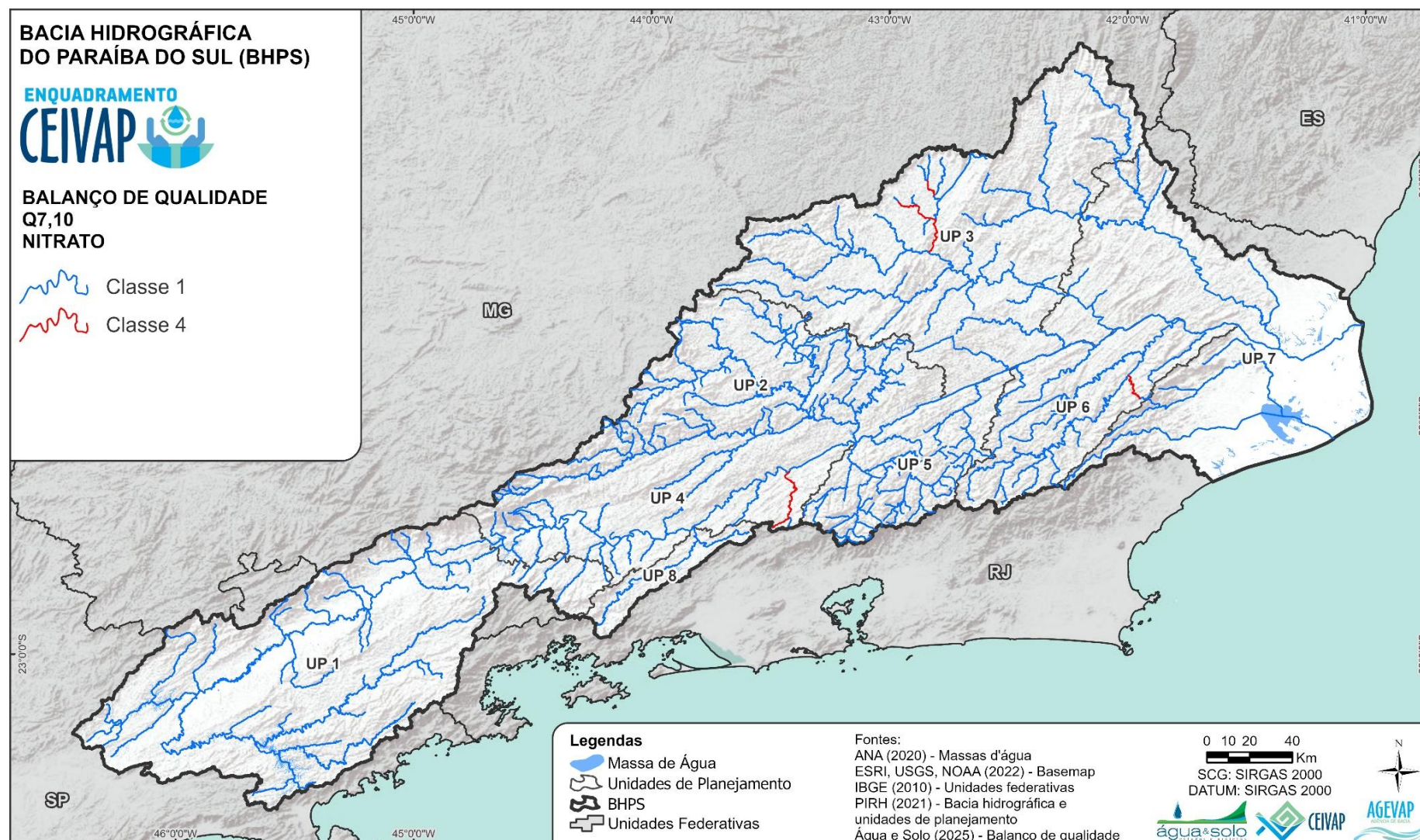


Figura 4.57. Modelagem de qualidade (nitrato – Q_{7,10}).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357 o nitrato pode ser classificado em classe 1, quando a concentração é inferior a 10,0 mg/L e em classe 4 quando é superior à 10 mg/L. Não há limites para as classes 2 e 3.

O nitrato se apresentou como o parâmetro com os melhores resultados simulados em todas as vazões. Foram identificados apenas trechos em classe 1 para todos os trechos da bacia nas vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} e Q_{75} .

Entre as vazões de referência, a Q_{90} e a Q_{95} apresentam o mesmo resultado, com apenas dois trechos enquadrados em classe 4. Os trechos estão localizados no ribeirão Ubá e foram os mesmos que apresentaram os piores resultados para o nitrogênio amoniacal.

Por fim, a $Q_{7,10}$ apresenta outros trechos em classe 4, mas ainda assim um resultado muito bom para toda a BHPS. Destaca-se que toda a calha do rio Paraíba do Sul ficou em classe 1 em todas as vazões simuladas. Os trechos em classe 4 desta vazão estão localizados nas UPs 3,4 e 6.

4.3.7 Alumínio

A CONAMA nº 357/2005 estabelece que para o alumínio os corpos de água doce serão classificados como: classe 1, os que obtiverem valores de concentração abaixo de 0,1 mg/L; classe 3, os que obtiverem concentrações entre 0,1 e 0,2 mg/L; e classe 4, concentrações maiores que 0,2 mg/L.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.58 e a Figura 4.64, apresentam o resultado da simulação de coliformes termotolerantes para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

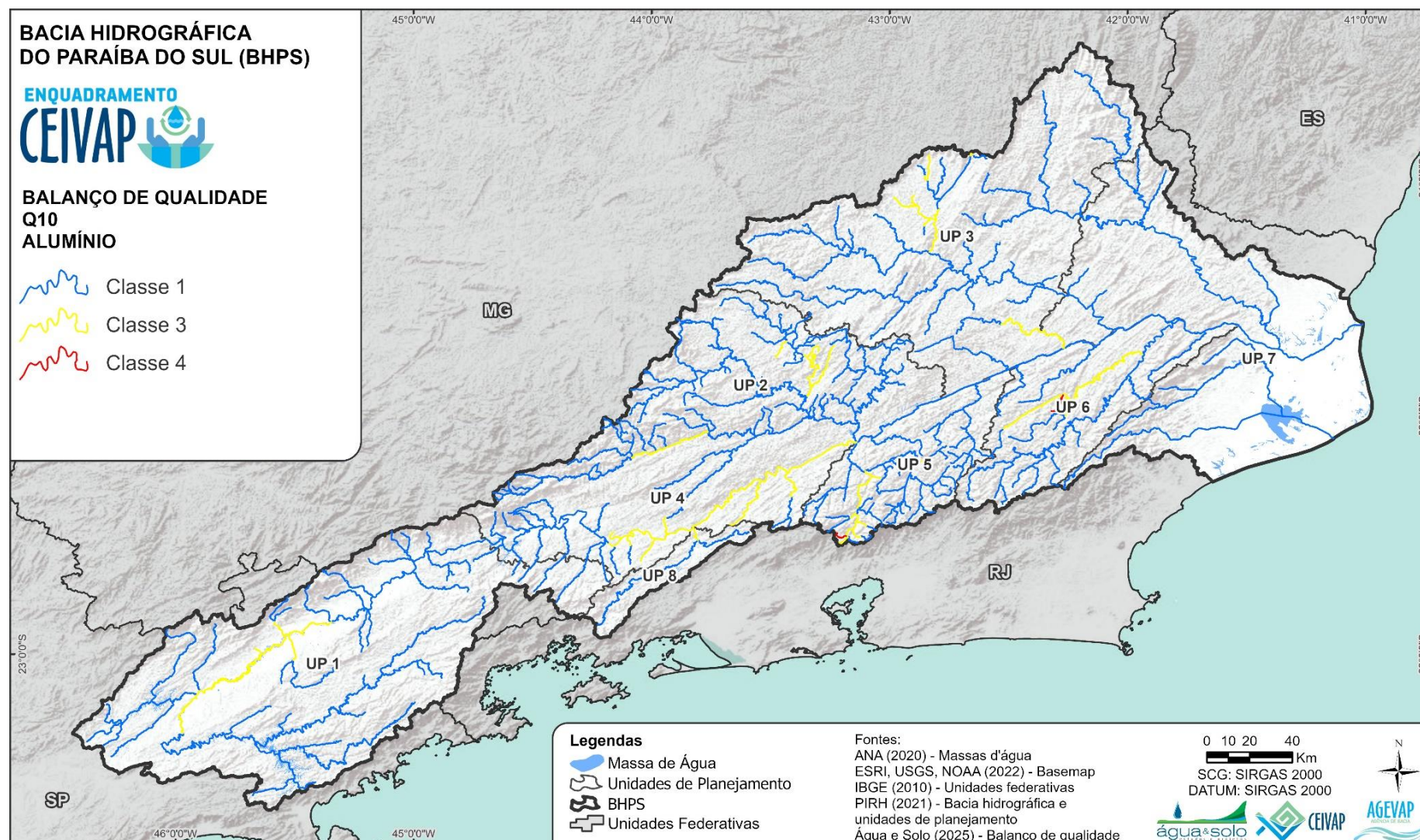


Figura 4.58. Modelagem de qualidade (alumínio – Q₁₀).

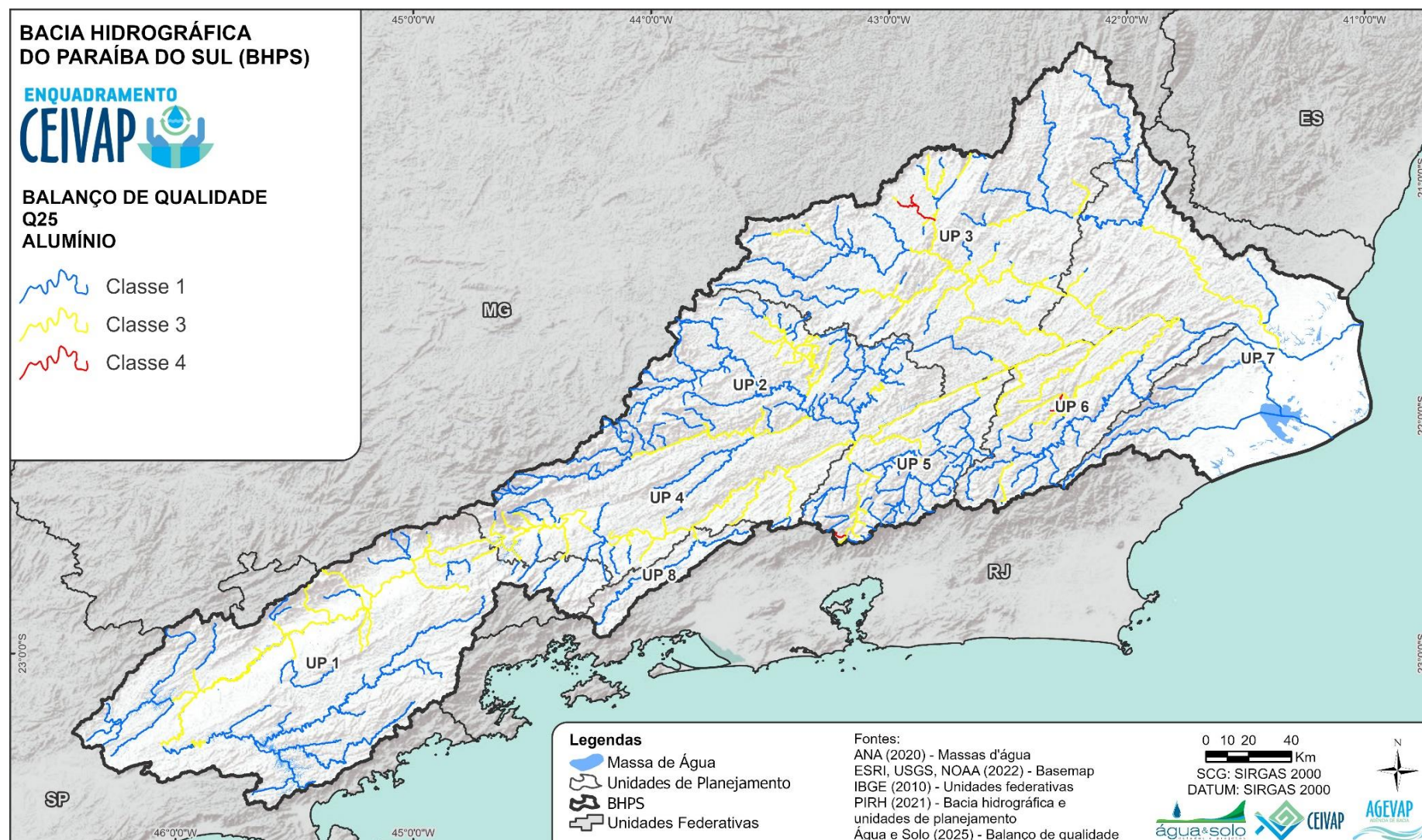


Figura 4.59. Modelagem de qualidade (alumínio – Q₂₅).

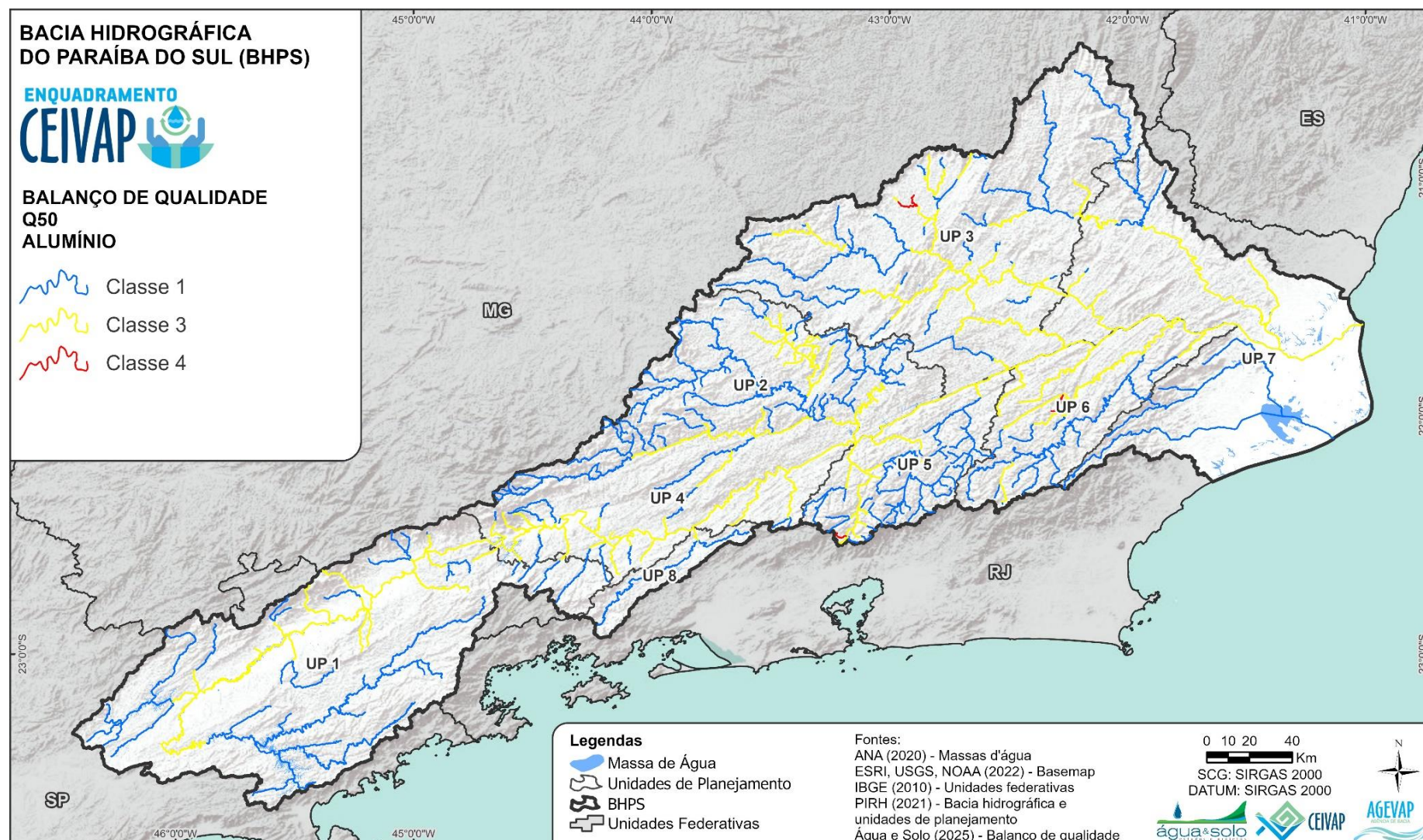


Figura 4.60. Modelagem de qualidade (alumínio – Q₅₀).

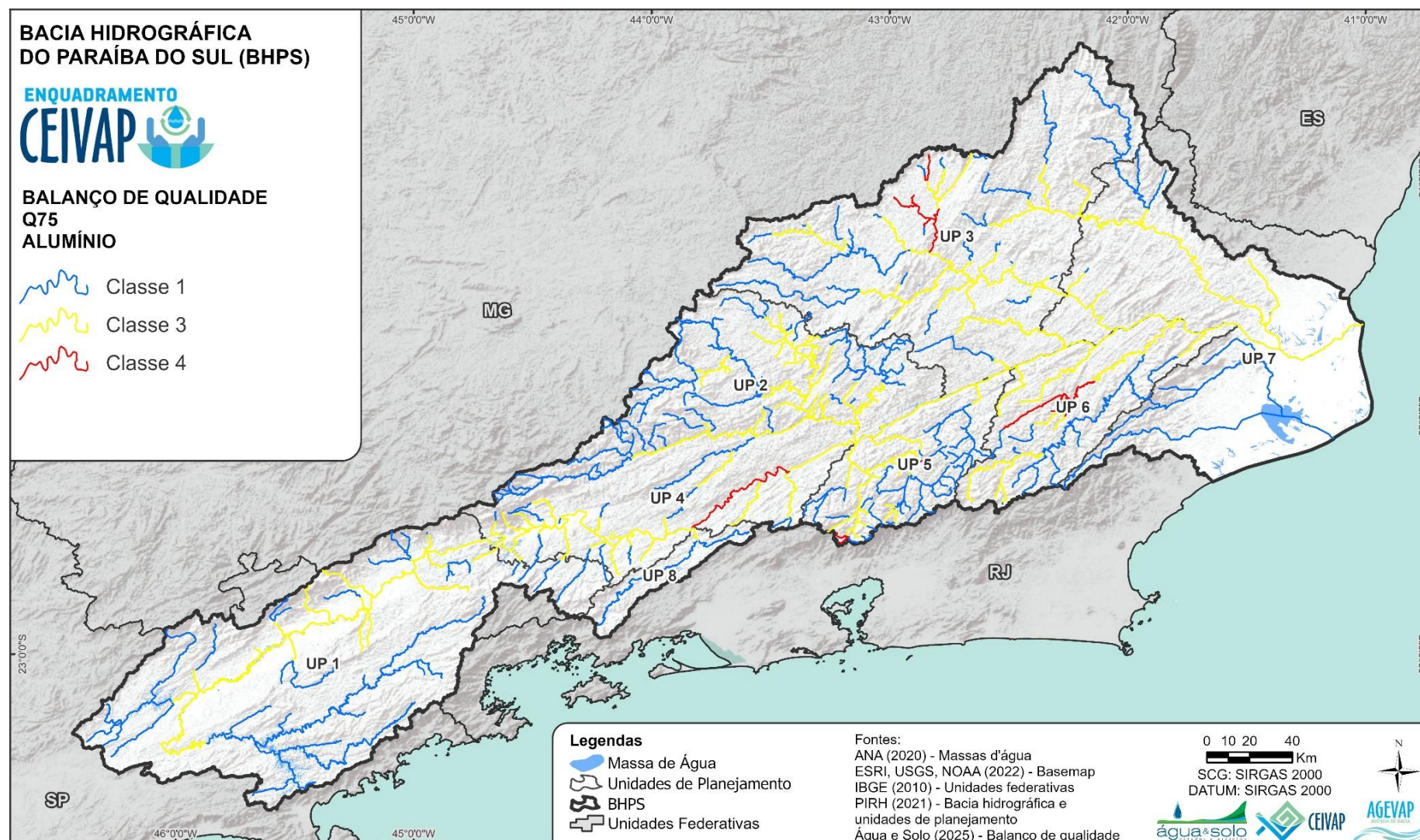


Figura 4.61. Modelagem de qualidade (alumínio – Q75).

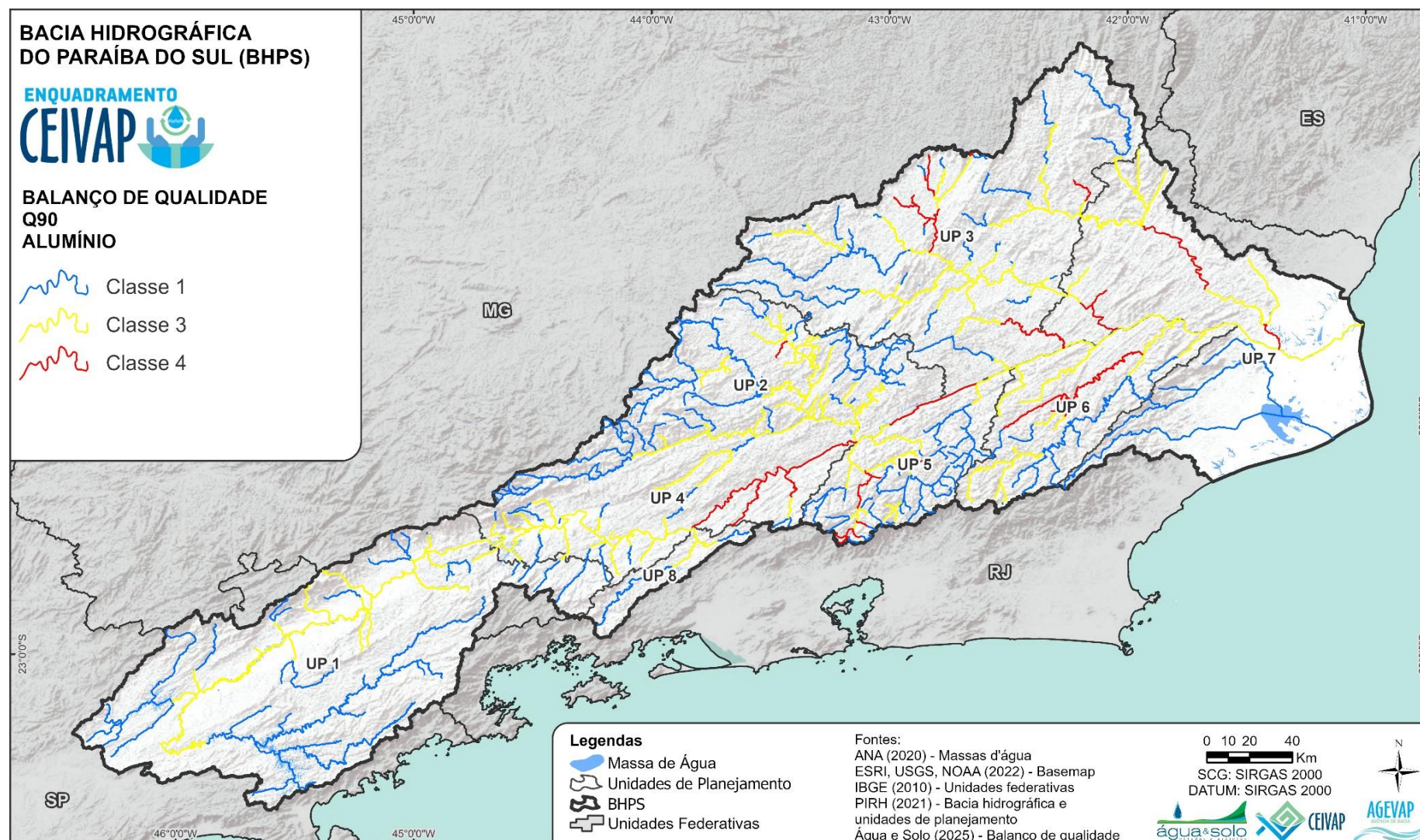


Figura 4.62. Modelagem de qualidade (alumínio – Q₉₀).

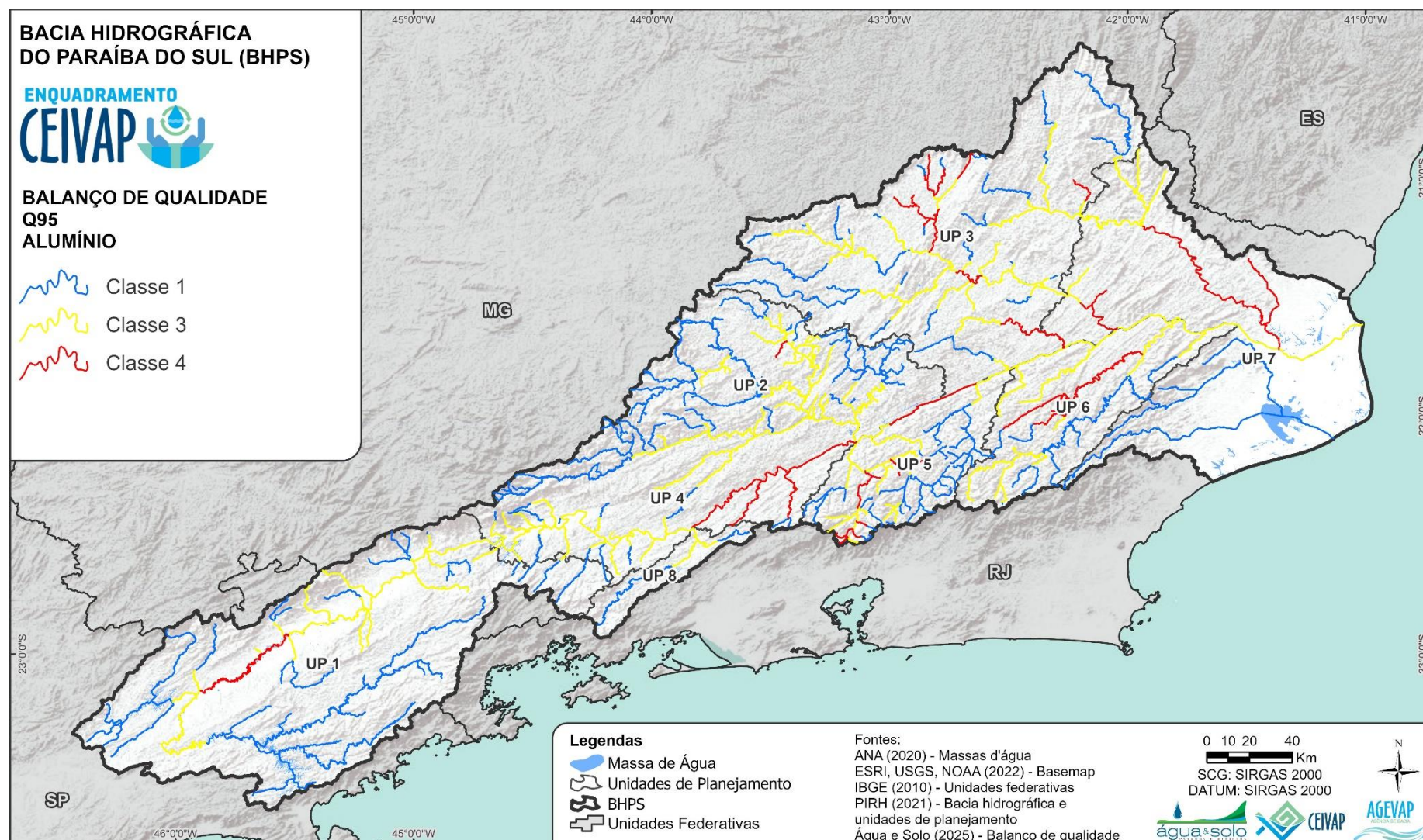


Figura 4.63. Modelagem de qualidade (alumínio – Q₉₅).

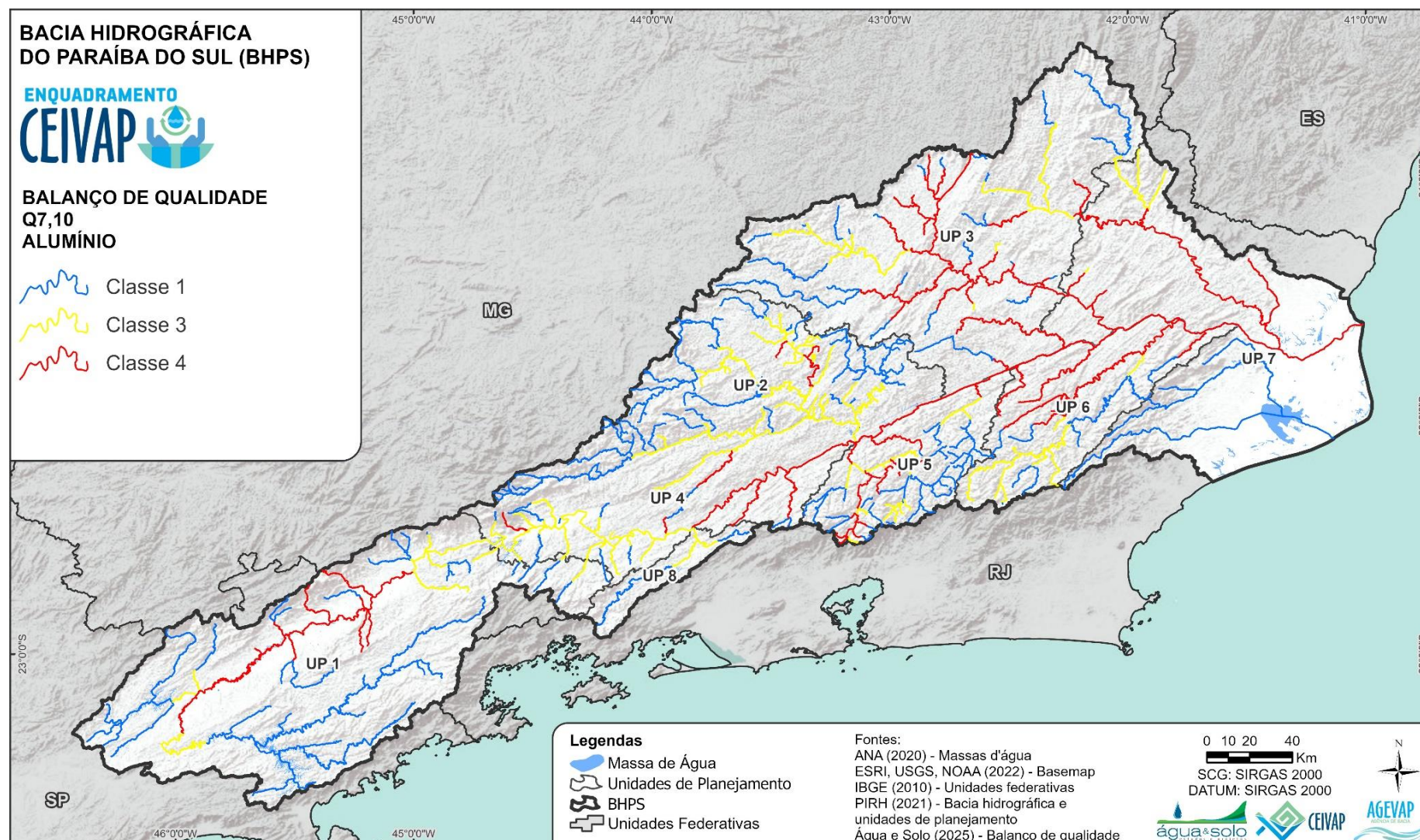


Figura 4.64. Modelagem de qualidade (alumínio – Q_{7,10}).

A análise do alumínio apresenta uma piora progressiva da qualidade da água entre as maiores e menores vazões. A simulação do parâmetro para a Q_{10} já apresenta uma série de trechos em classe 3, inclusive alguns em classe 4. Estes, localizados próximos à Petrópolis, na UP 5 e à uma região produtora de cimentos, no município de Cantagalo-RJ na UP6.

A partir da Q_{25} grande parte da bacia, em todas as UPs apresenta uma piora significativa da qualidade da água. É observada uma grande quantidade de trechos em classe 3, incluindo quase toda a extensão do rio Paraíba do Sul. Na Q_{50} há a inclusão de ainda mais trechos nesta classe.

A Q_{75} passa a apresentar mais trechos com qualidade compatível com a classe 4, cenário que é intensificado nas vazões de referência. As vazões Q_{90} e Q_{95} apresentam uma série de trechos em classes 3 e 4, incluindo quase todo o rio Paraíba do Sul, com exceção do trecho mais à montante na UP1.

Por fim, a vazão $Q_{7,10}$ apresenta o cenário mais crítico, com trechos em classe 4 em todas as UPs, com exceção da UP8. Destaca-se a baixa qualidade na região mais urbanizada e industrializada da UP1, e das regiões a jusante de Barra do Piraí. Este efeito pode ser resultado de uma alteração do balanço hídrico neste ponto em função de maiores volumes de retirada de água.

Assim como para os demais parâmetros, o alumínio apresenta uma grande quantidade de trechos de montante (cabeceira) em todas as UPs que se mantém em classe 1 ao longo de todas as vazões simuladas.

4.3.8 Manganês

Por fim, para o manganês a CONAMA nº 357/2005 estabelece que os corpos de água doce serão classificados como: classe 1, os que obtiverem valores de concentração abaixo de 0,1 mg/L; classe 3, os que obtiverem concentrações entre 0,1 e 0,5 mg/L; e classe 4, concentrações maiores que 0,5 mg/L.

Com base nestes limites, os resultados numéricos obtidos foram organizados em classe. As figuras entre a Figura 4.58 e a Figura 4.64, apresentam o resultado da simulação de coliformes termotolerantes para as vazões Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{75} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente.

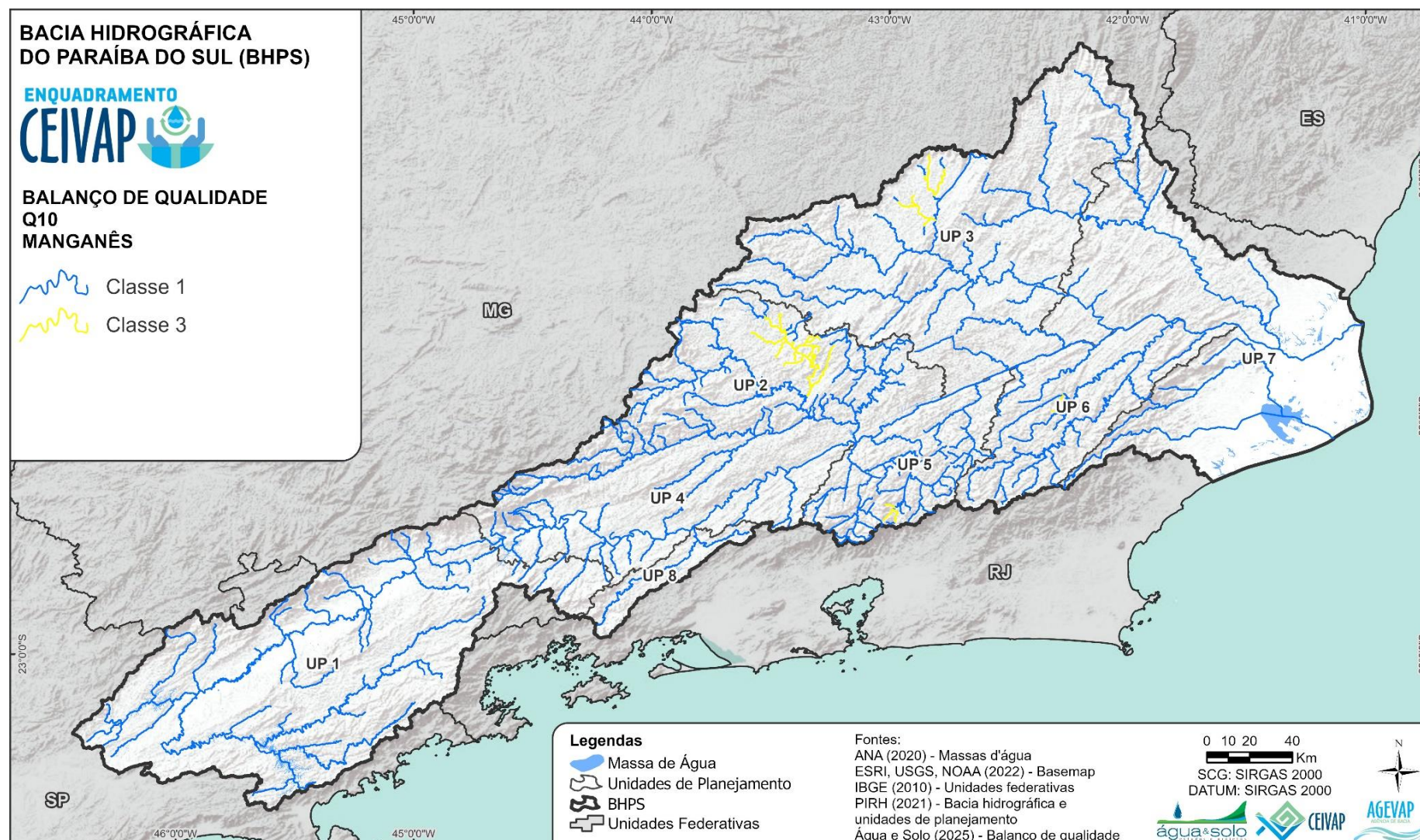


Figura 4.65. Modelagem de qualidade (manganês – Q₁₀).

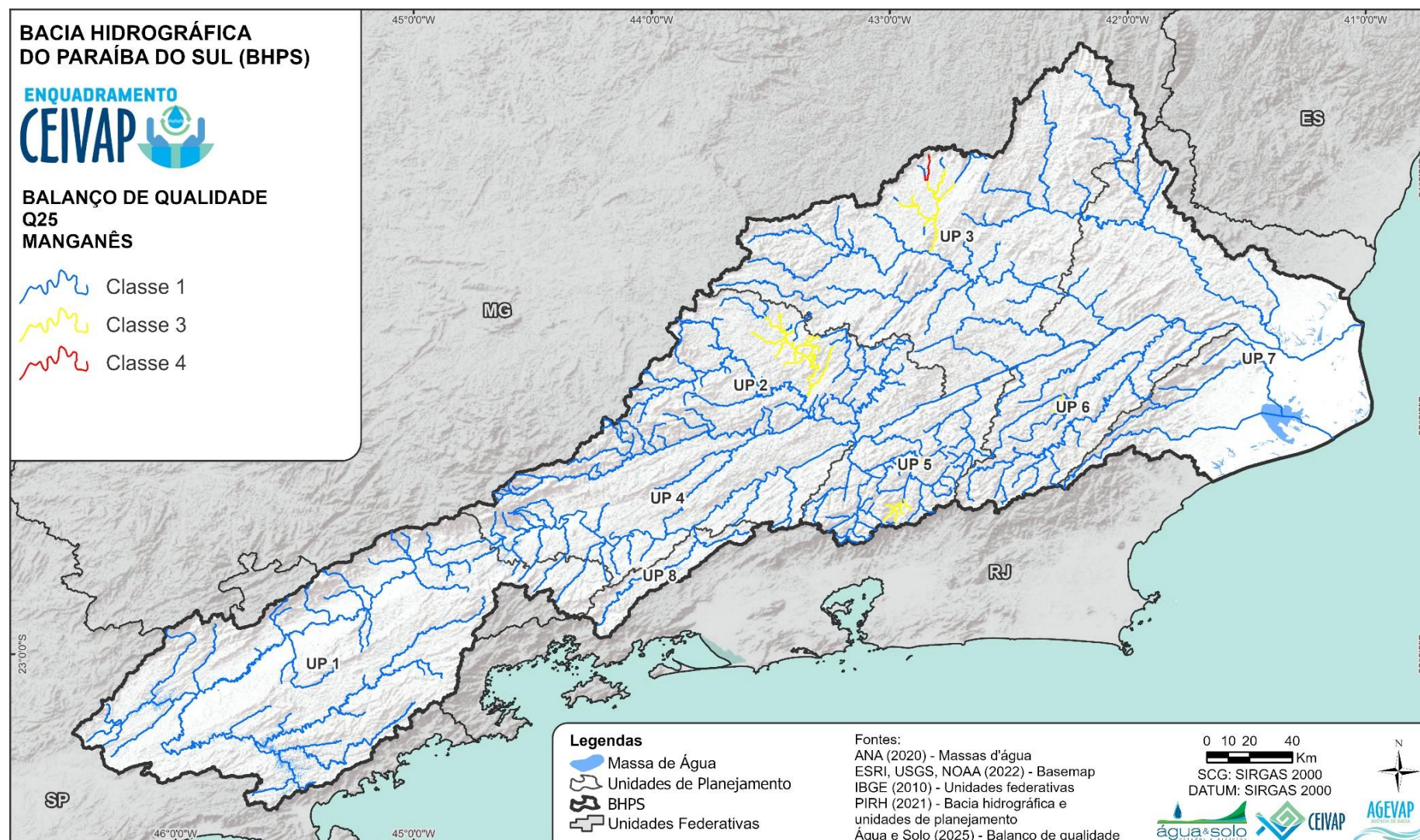


Figura 4.66. Modelagem de qualidade (manganês – Q₂₅).

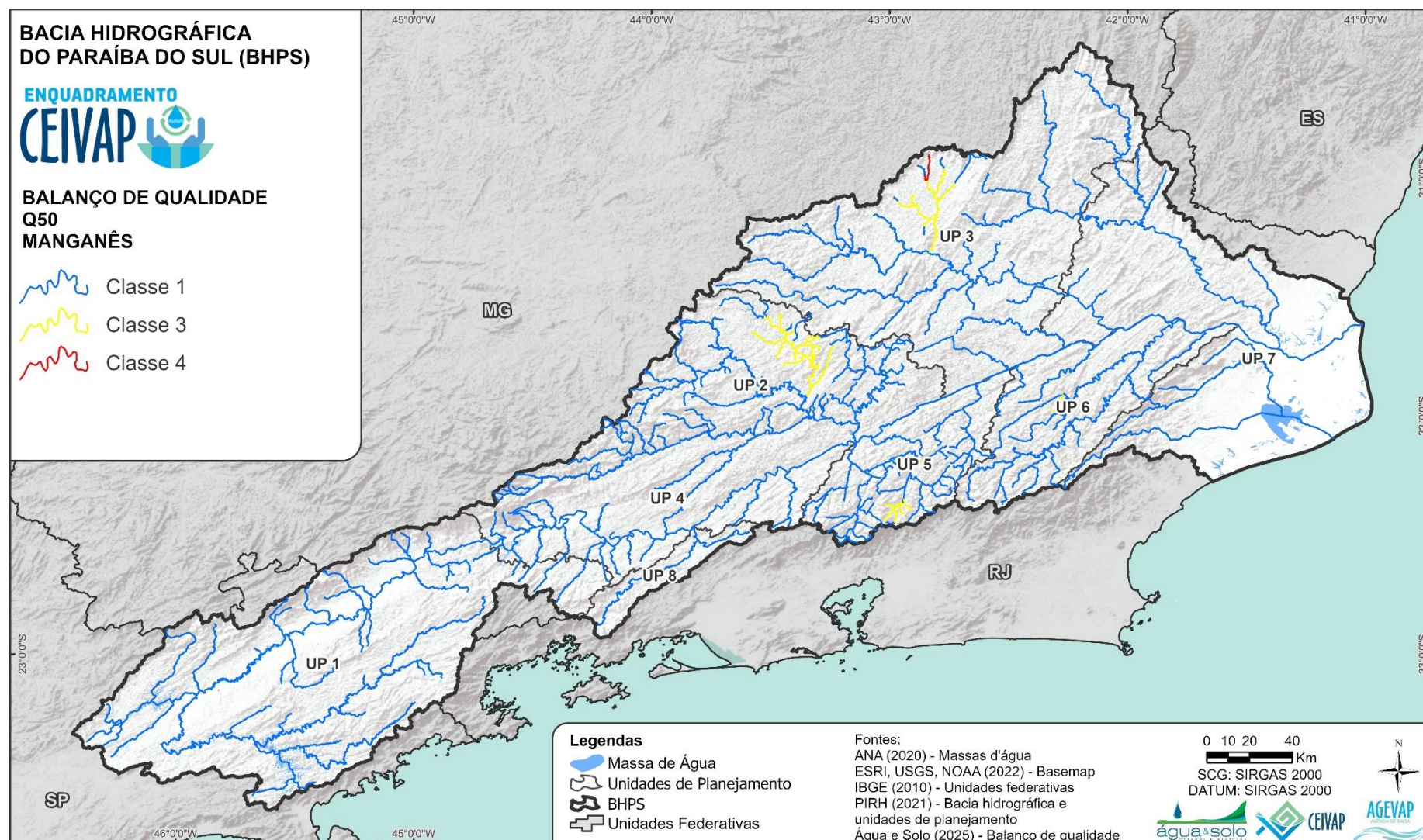


Figura 4.67. Modelagem de qualidade (manganês – Q₅₀).

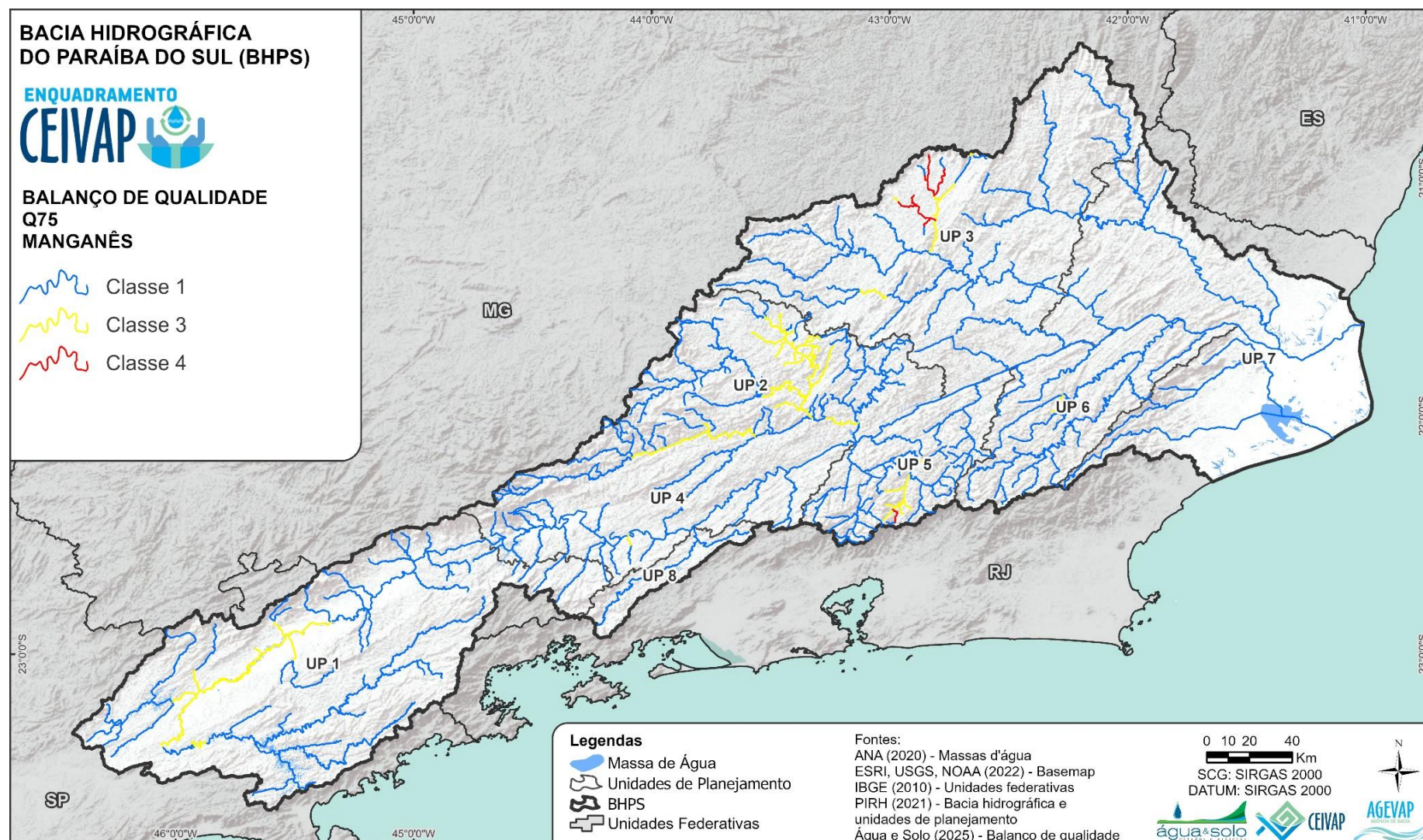


Figura 4.68. Modelagem de qualidade (manganês – Q₇₅).

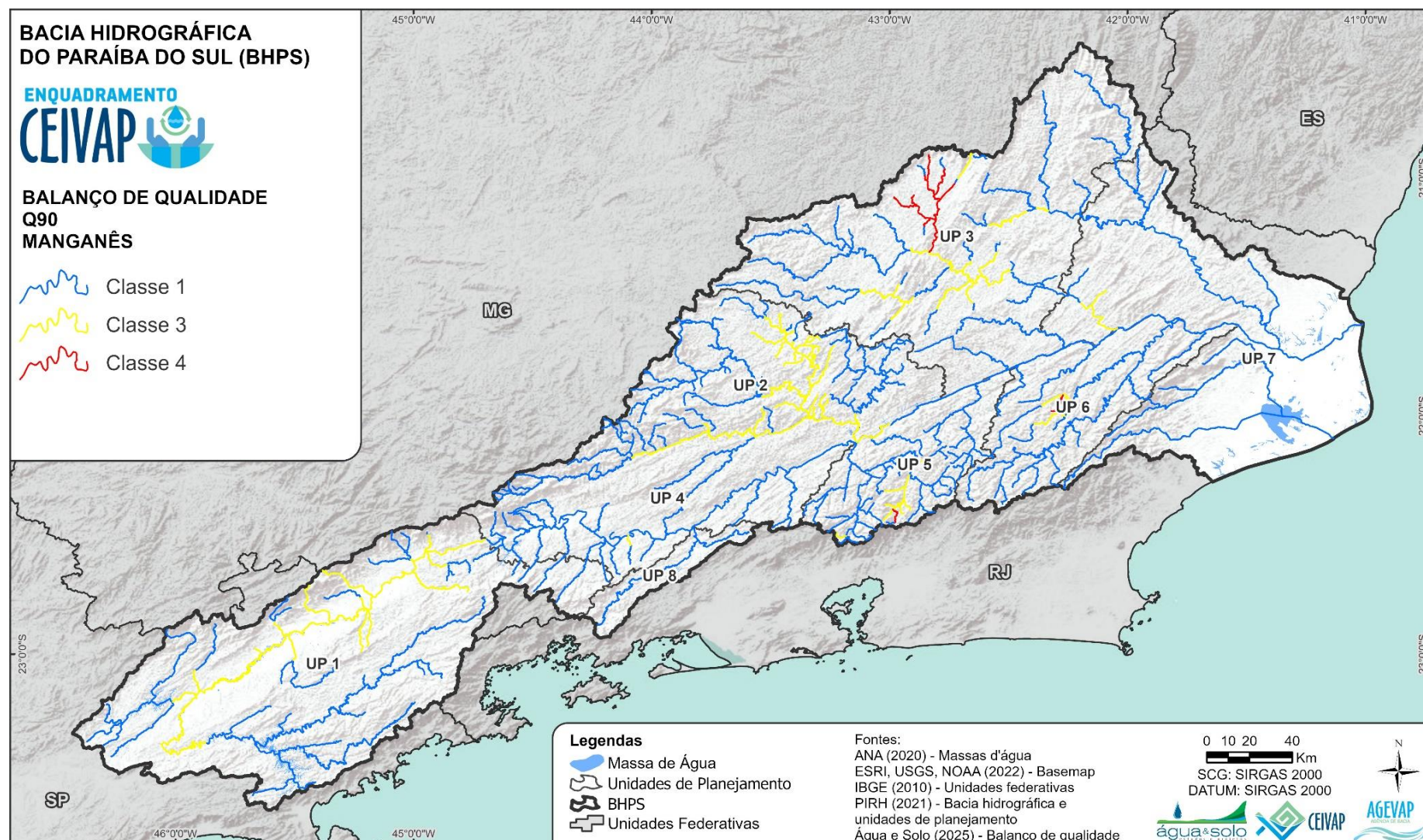


Figura 4.69. Modelagem de qualidade (manganês – Q₉₀).

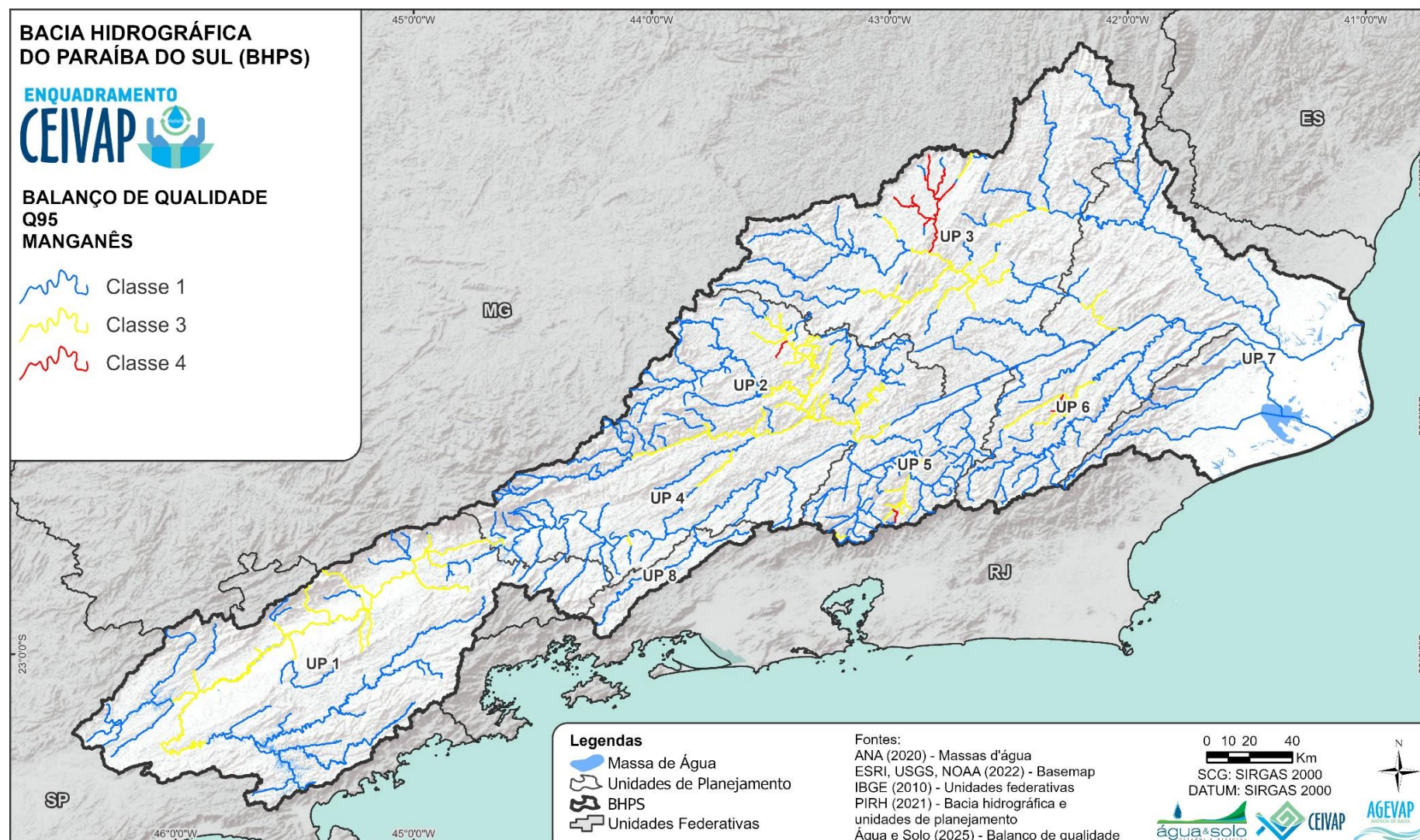


Figura 4.70. Modelagem de qualidade (manganês – Q₉₅).

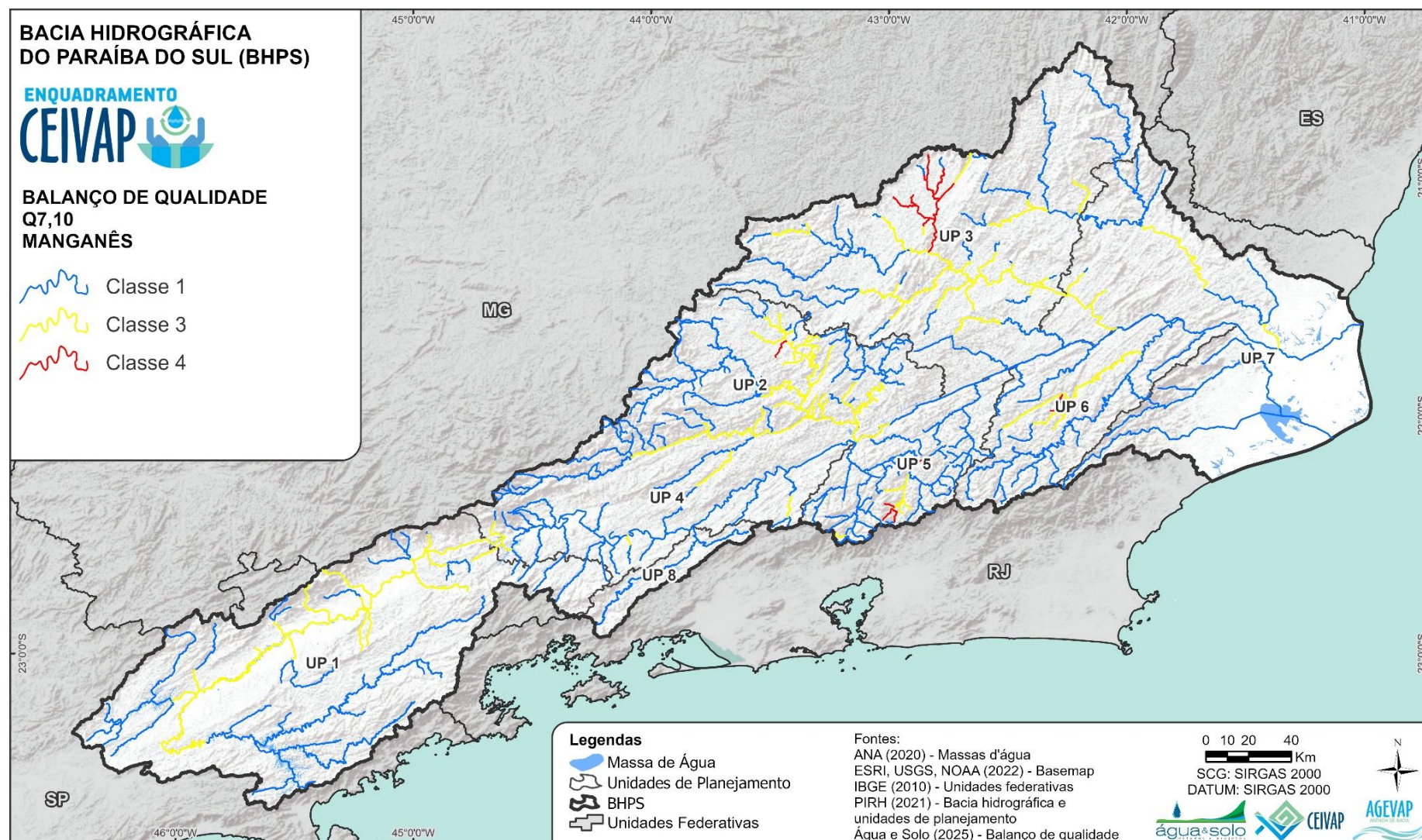


Figura 4.71. Modelagem de qualidade (manganês – Q_{7,10}).

Por fim, o último parâmetro analisado foi o manganês. Em comparação com o alumínio este parâmetro apresentou melhores resultados de qualidade da água.

A vazão Q_{10} apresenta quase toda a bacia em classe 1 e alguns pontos em classe 3. Estes trechos estão localizados nas UPs 2, 3 e 5. A Q_{25} e a Q_{50} apresentam o mesmo resultado, com quase os mesmos trechos já indicados em classe 3 na Q_{10} e um trecho em classe 4 localizado em um ponto mais a montante da UP3, no rio Xopotó em São Geraldo.

A Q_{75} já passa a apresentar mais trechos em qualidade correspondente às classes 3 e 4, destacando-se trechos a montante da UP3 e um trecho na região de Teresópolis. As vazões de referência apresentam um aumento na quantidade de trechos nas piores classes, principalmente na classe 3. A $Q_{7,10}$ indica classe 3 em grande parte do rio Paraíba do Sul na UP1. As outras UPs apresentam essa classe em trechos afluentes, destacando-se as UPs 2 e 3 com mais trechos. A partir da UP4 a calha do rio Paraíba do Sul encontra-se quase totalmente em classe 1.

Por fim, destaca-se que este último parâmetro corrobora e consolida uma série de trechos de montante (cabeceira) em todas as UPs que se mantém em classe 1 ao longo de todas as vazões simuladas. Este comportamento é abordado em mais detalhes no item 4.5, que apresenta uma análise detalhada da pior classe identificada em cada trecho considerando todos (100%) os parâmetros e os seis melhores (75%) parâmetros.

4.4 Análise de conformidade

Com o objetivo de aprofundar a análise dos resultados de qualidade obtidos para a qualidade da água simulada apresentados no item 4.3, foi realizada uma análise de conformidade e não conformidade dos resultados gerados em relação ao enquadramento vigente. Para isso, a conformidade da qualidade da água atual foi avaliada em relação ao enquadramento vigente na BHPS, utilizando os limites numéricos dos parâmetros avaliados em relação à cada classe da Resolução CONAMA nº 357/2005.

Para fins de análise da conformidade em relação ao enquadramento vigente, considerou-se os locais onde já há uma legislação de enquadramento e uma complementação conforme prevê a resolução:

- UP1 (PS – trecho paulista): Decreto nº 10.755/1977;
- UP2 (Paraibuna): Deliberação Normativa COPAM nº 16/1996;

- Para os trechos sem enquadramento vigente considerou-se enquadrados como classe 2, conforme prevê a legislação (Art. 42 – Resolução CONAMA nº 357).

Cabe destacar que na comparação dos trechos atualmente enquadrados como classe especial, como a Resolução CONAMA nº 357 não apresenta limites numéricos por parâmetro para enquadramento nesta classe, considerou-se duas premissas:

- Trechos simulados em classe 2, 3 e 4 foram considerados como “não conforme”;
- Nos trechos simulados em classe 1, avaliou-se a existência de usos atuais. Em caso positivo, o trecho foi considerado “não conforme”; em caso negativo, o trecho foi considerado “conforme”. No entanto, essa análise de conformidade pode necessitar de avaliações mais detalhadas para considerar um trecho “conforme” a classe especial enquadrada, assim, considera-se que o “conforme” aqui definido é possivelmente conforme.

A análise foi realizada para cada trecho segmentado, cada vazão e cada parâmetro simulado. Foram gerados gráficos que apresentam o percentual de trechos identificados como “conforme” ou “não conforme” em cada UP, conforme apresentado nos subcapítulos a seguir.

4.4.1 UP1

A análise de conformidade dos parâmetros na UP1 apresenta, de forma geral, uma tendência de piora no percentual de trechos em conformidade com a redução da vazão, evidenciando que os períodos de estiagem tendem a comprometer a qualidade da água, possivelmente devido à menor diluição dos poluentes e à maior concentração de carga. Entre os parâmetros analisados, destaca-se:

- O oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio apresentam quedas acentuadas de conformidade já a partir da Q_{25} , com desempenho entre 50 e 70% nas vazões Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$;
- A análise de coliformes termotolerantes apresentou cerca de 36% de não conformidade já na vazão Q_{10} , seguido de um aumento no percentual de não conformidade ao longo das vazões e chegando à 50% na $Q_{7,10}$;

- O fósforo total apresentou quedas de conformidade a partir da Q₂₅, com destaque nas vazões Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}, que apresentaram cerca de 40% de não conformidade;
- O nitrogênio amoniacal e o nitrato apresentaram valores próximos à 100% de conformidade em todas as vazões. Destaca-se os bons resultados destes parâmetros, com poucas não conformidades inclusive nas menores vazões;
- O alumínio apresentou 92% de conformidade na vazão Q₁₀ e cerca de 30% de não conformidade nas vazões seguintes;
- Por fim, o manganês apresentou 100% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅ e Q₅₀, seguido por um decaimento no percentual de conformidades, com cerca de 30% de não conformidade nas vazões de referência.

A seguir, entre a Figura 4.72 e a Figura 4.79, são apresentados os gráficos com o percentual de trechos em conformidade e não conformidade com o enquadramento vigente para cada parâmetro e cada vazão simulada.

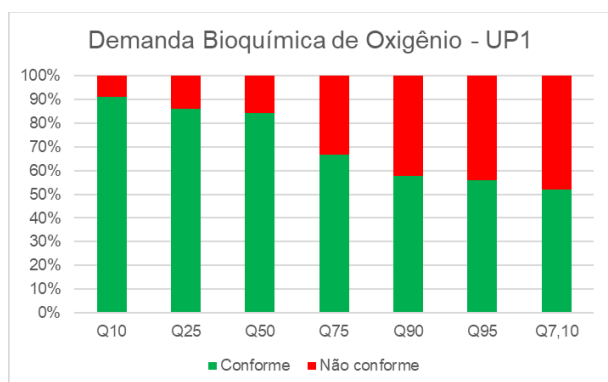


Figura 4.72. Análise de conformidade de DBO para a UP1.

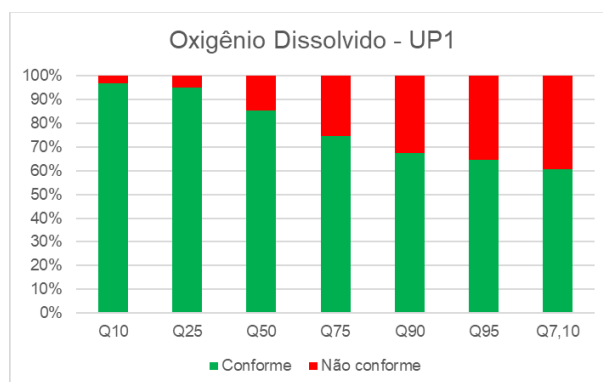


Figura 4.73. Análise de conformidade de OD para a UP1.

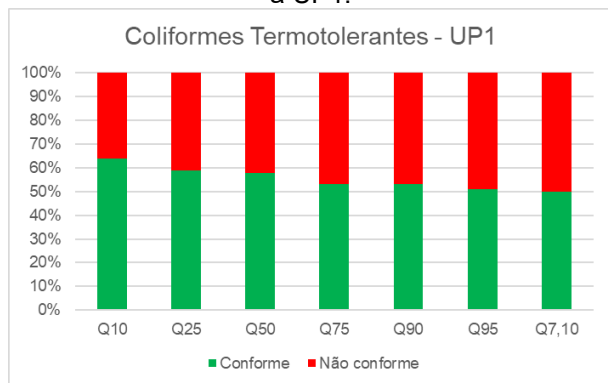


Figura 4.74. Análise de conformidade de coliformes para a UP1.

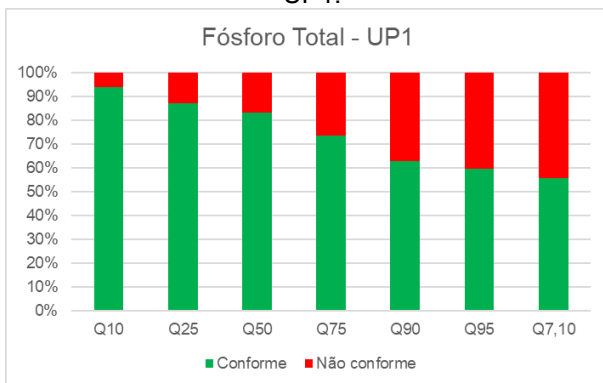


Figura 4.75. Análise de conformidade de fósforo total para a UP1.

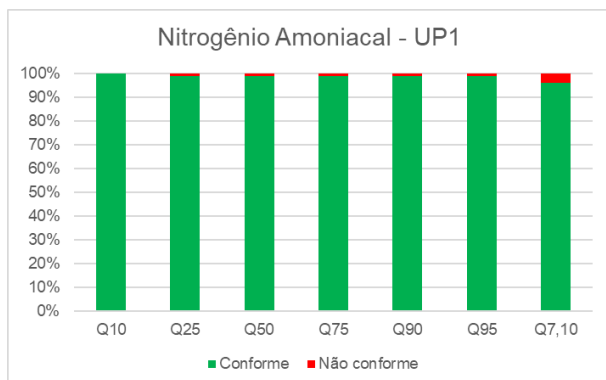


Figura 4.76. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP1.

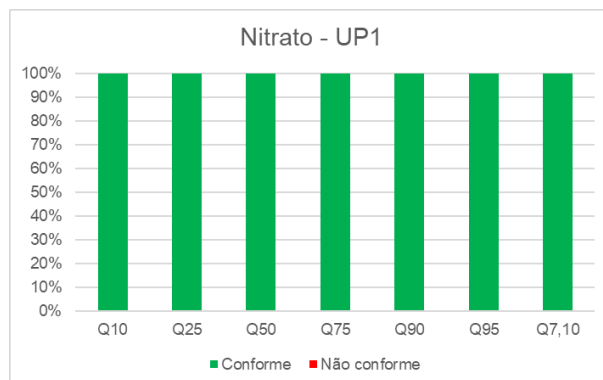


Figura 4.77. Análise de conformidade de nitrato para a UP1.

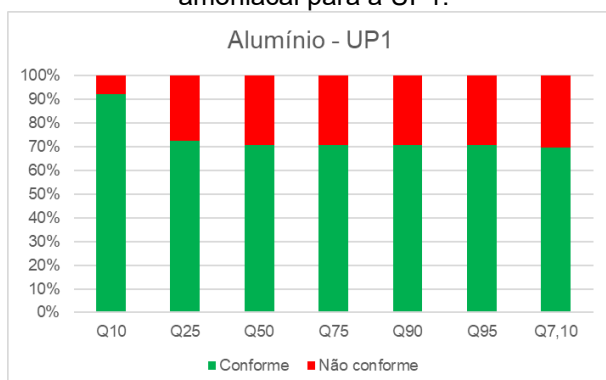


Figura 4.78. Análise de conformidade de alumínio para a UP1.

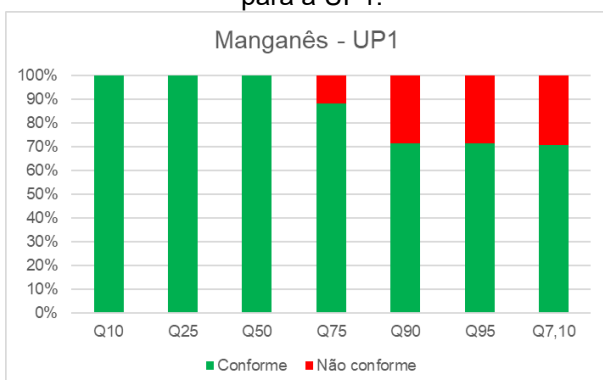


Figura 4.79. Análise de conformidade de manganês para a UP1.

4.4.2 UP2

A análise de conformidade dos parâmetros na UP2, também apresenta, de forma geral, uma tendência de piora no percentual de trechos em conformidade com a redução da vazão. Entre os parâmetros analisados, destaca-se:

- A demanda bioquímica de oxigênio apresentou 88% de conformidade na vazão Q₁₀, seguido por uma média de 70% de conformidade nas vazões seguintes, chegando a cerca de 60% de conformidade na Q_{7,10}. Os maiores registros de não conformidade ocorreram nas vazões Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10};
- O oxigênio dissolvido apresentou bons resultados, menos de 15% de não conformidade ao longo de todas as vazões;
- Já a análise de coliformes termotolerantes apresentou cerca de 35% de não conformidade já na vazão Q₁₀, seguido por uma média de 40% de não conformidade ao longo das vazões seguintes;

- O fósforo total apresentou 89% de conformidade na vazão Q₁₀, seguido por quedas de conformidade a partir da Q₂₅, com destaque nas vazões Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}, as quais apresentaram em média 30% de não conformidade nos trechos da UP;
- O nitrogênio amoniacal e o nitrito apresentaram entre 5 e 10% de não conformidade em todas as vazões. Destaca-se os bons resultados deste parâmetro com poucas não conformidades, inclusive nas menores vazões;
- O alumínio apresentou 89% de conformidade já na vazão Q₁₀, com piora gradativa ao longo das vazões seguintes. As vazões Q₇₅, Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10} apresentaram apenas 60% de conformidade nos trechos da UP;
- Por fim, o manganês apresentou cerca de 80% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅ e Q₅₀, seguido por um decaimento no percentual de conformidades. As vazões de referência apresentam cerca de, 65% de conformidade.

A seguir, entre a Figura 4.80 e a Figura 4.87, são apresentados os gráficos com o percentual de trechos em conformidade e não conformidade com o enquadramento vigente para cada parâmetro e cada vazão simulada.

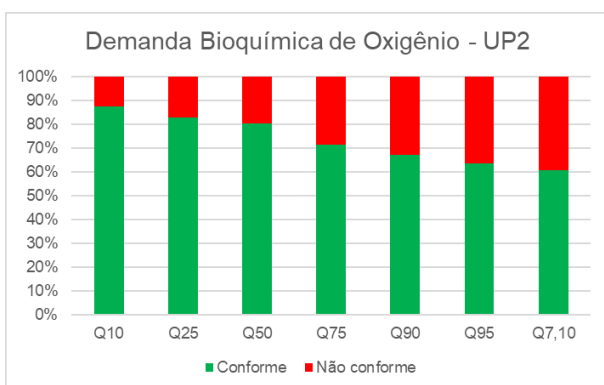


Figura 4.80. Análise de conformidade de DBO para a UP2.

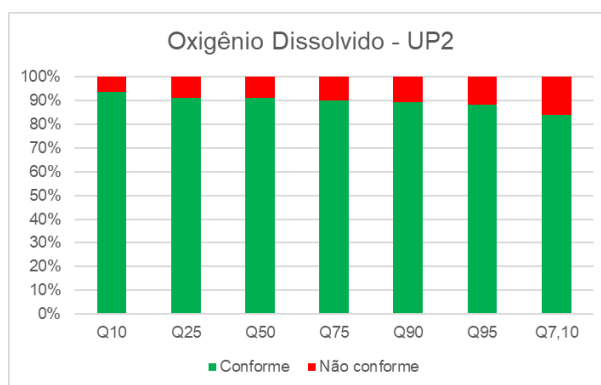


Figura 4.81. Análise de conformidade de OD para a UP2.

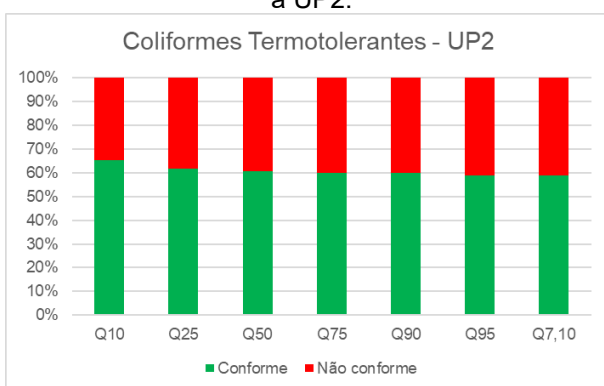


Figura 4.82. Análise de conformidade de coliformes para a UP2.

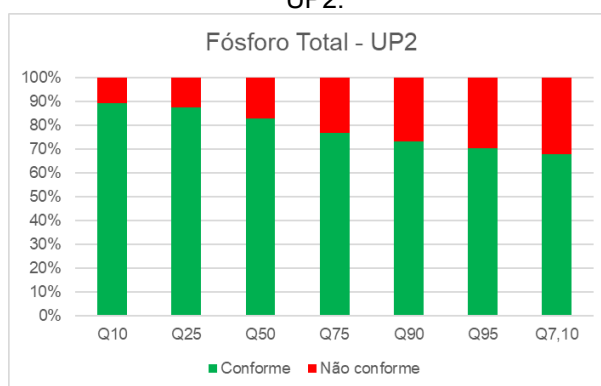


Figura 4.83. Análise de conformidade de fósforo total para a UP2.

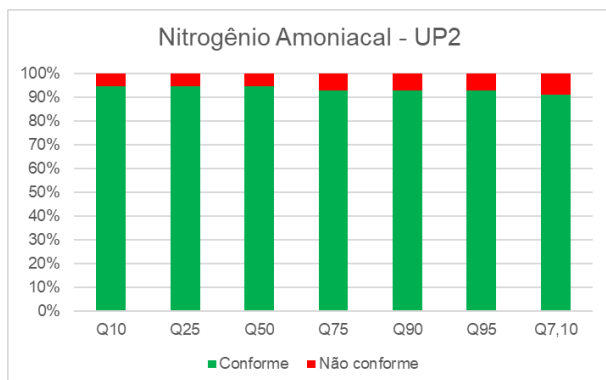


Figura 4.84. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP2.

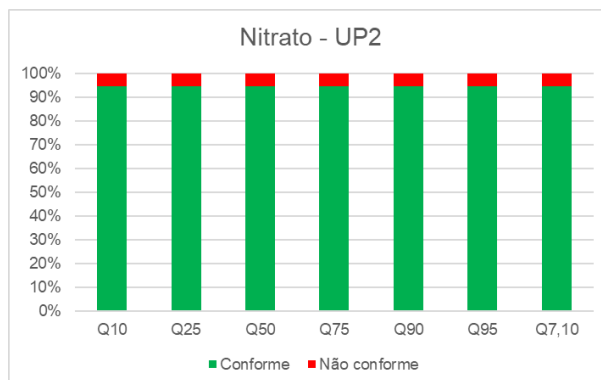


Figura 4.85. Análise de conformidade de nitrato para a UP2.

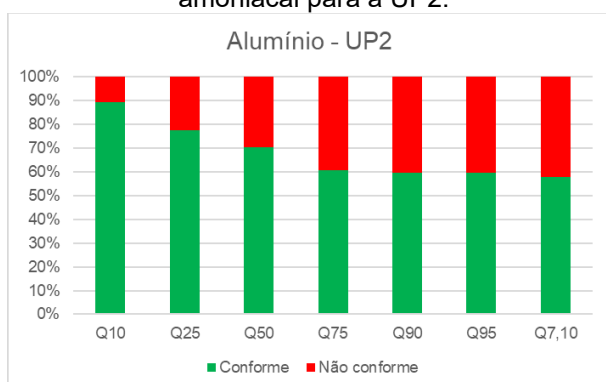


Figura 4.86. Análise de conformidade de alumínio para a UP2.

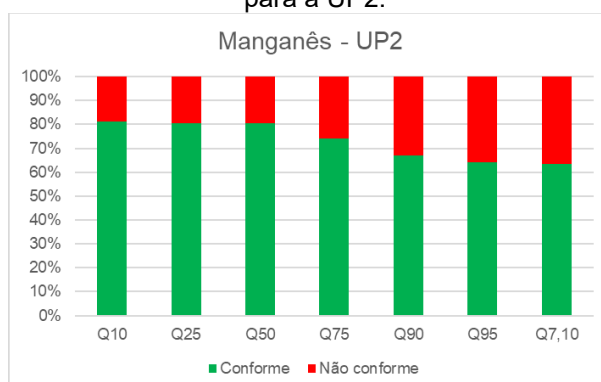


Figura 4.87. Análise de conformidade de manganês para a UP2.

4.4.3 UP3

A análise de conformidade dos parâmetros na UP3 também apresenta uma tendência de piora no percentual de trechos em conformidade com a redução da vazão. Entre os parâmetros analisados, destaca-se:

- A demanda bioquímica de oxigênio apresentou 90% de conformidade na vazão Q₁₀, seguido de um aumento no percentual de não conformidade ao longo das vazões e chegando em um percentual maior que 60% de não conformidade na vazão Q_{7,10};
- O oxigênio dissolvido apresentou cerca de 90% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅ e Q₅₀, seguido por um aumento no percentual de não conformidade, chegando em até 40% de não conformidade na vazão Q_{7,10};
- A análise de coliformes termotolerantes apresentou cerca de 43% de não conformidade já na vazão Q₁₀, seguido de um agravamento ao longo das vazões. Na Q₂₅, a taxa de não conformidade ultrapassa os 50%, chegando a 72% na vazão Q_{7,10}. Devido ao seu peso significativo nas análises, esse parâmetro representa um fator crítico de não conformidade nesta UP;

- O fósforo total apresentou 10% de não conformidade logo na vazão Q₁₀, seguido de um aumento no percentual ao longo das vazões, com destaque na Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}, as quais apresentaram em média 58% de não conformidade nos trechos da UP;
- O nitrogênio amoniacal e o nitrito apresentaram entre 90% e 100% de conformidade em todas as vazões. Destaca-se os bons resultados deste parâmetro, com poucas não conformidades inclusive nas menores vazões;
- Apesar de apresentar 90% de conformidade na vazão Q₁₀, o alumínio registrou uma queda significativa nos níveis de conformidade a partir na vazão Q₂₅, com 44% de não conformidade, chegando a 65% de não conformidade na Q_{7,10};
- Por fim, o manganês apresentou cerca de 90% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅ e Q₅₀, seguido por um decaimento no percentual de conformidades. As vazões de referência ficaram com valores entre 30% e 45% de não conformidade.

A seguir, entre a Figura 4.88 e a Figura 4.95, são apresentados os gráficos com o percentual de trechos em conformidade e não conformidade com o enquadramento vigente para cada parâmetro e cada vazão simulada.

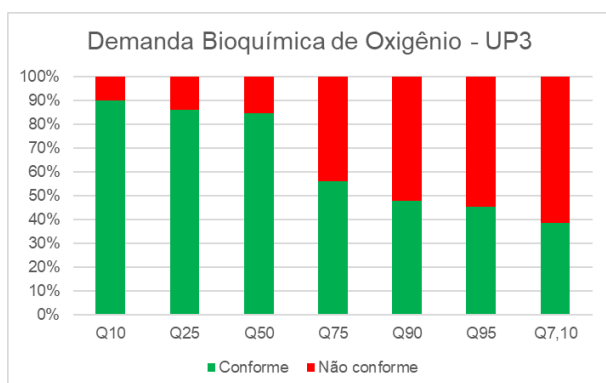


Figura 4.88. Análise de conformidade de DBO para a UP3.

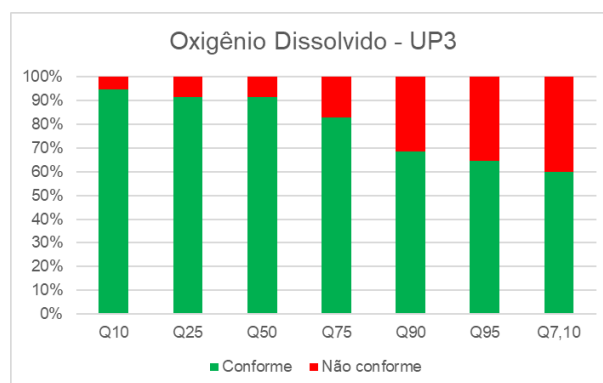


Figura 4.89. Análise de conformidade de OD para a UP3.

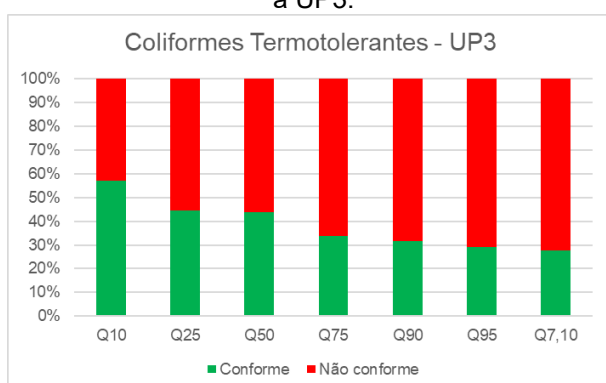


Figura 4.90. Análise de conformidade de coliformes para a UP3.

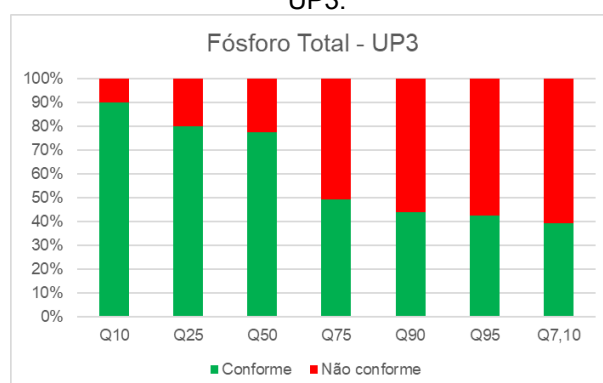


Figura 4.91. Análise de conformidade de fósforo total para a UP3.

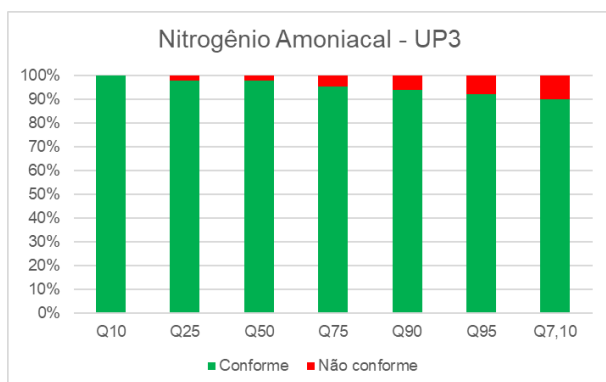


Figura 4.92. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP3.

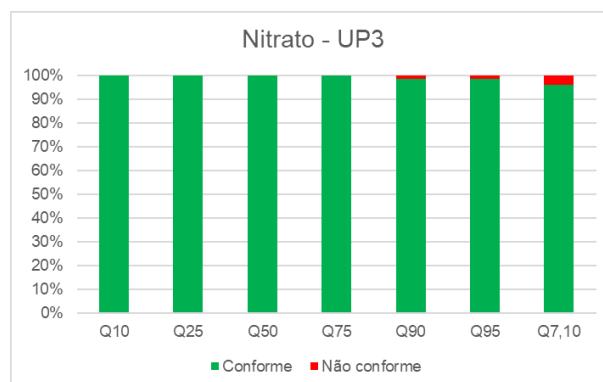


Figura 4.93. Análise de conformidade de nitrato para a UP3.

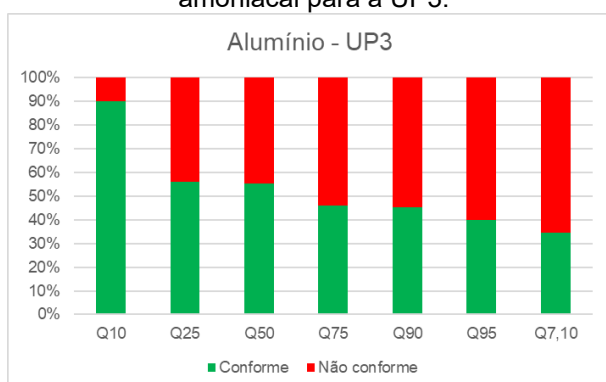


Figura 4.94. Análise de conformidade de alumínio para a UP3.

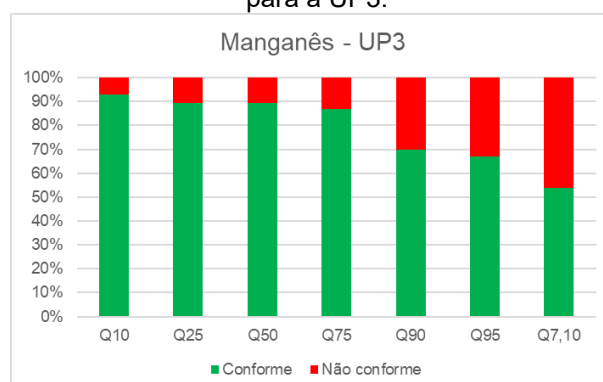


Figura 4.95. Análise de conformidade de manganês para a UP3.

4.4.4 UP4

A análise de conformidade dos parâmetros na UP4 apresenta, de forma geral, uma tendência de piora no percentual de trechos em conformidade com a redução da vazão, evidenciando que os períodos de estiagem (vazões mais baixas) tendem a comprometer a qualidade da água, possivelmente devido à menor diluição dos poluentes e à maior concentração de carga. Entre os parâmetros analisados, destaca-se:

- A demanda bioquímica de oxigênio apresentou 90% de conformidade nas vazões Q10, Q25 e Q50, seguido por redução ficando em cerca de 70% de conformidade na Q75, Q90 e Q95;
- O oxigênio apresentou entre 90 e 95% de conformidade nas maiores vazões, seguido por um decaimento nas seguintes e chegando entre 30% e 40% de não conformidade nas vazões de referência: Q90, Q95 e Q7,10;
- A análise de coliformes termotolerantes um grande percentual de não conformidade em todas as vazões (um pouco mais de 50%), atingindo 60% na Q7,10;

- O fósforo total apresentou piora na conformidade a partir da Q₅₀, com destaque nas vazões Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}, que apresentaram entre 45 e 55% de não conformidade nos trechos da UP;
- O nitrogênio amoniacal e o nitrito apresentaram bons percentuais de conformidade, com valores acima de 90% para todas as vazões. Destaca-se os bons resultados destes parâmetros, com poucas não conformidades inclusive nas menores vazões;
- O alumínio apresentou 25% de não conformidade já na vazão Q₁₀, seguido de um decaimento brusco nas conformidades, atingindo cerca de 70 a 80% de não conformidade entre a Q₅₀ e a Q_{7,10};
- Por fim, o manganês apresentou 100% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅ e Q₅₀, seguido por um pequeno decaimento no percentual de conformidades, mas não menos de 90% de conformidade em todas as vazões.

A seguir, entre a Figura 4.96 e a Figura 4.103, são apresentados os gráficos com o percentual de trechos em conformidade e não conformidade com o enquadramento vigente para cada parâmetro e cada vazão simulada.

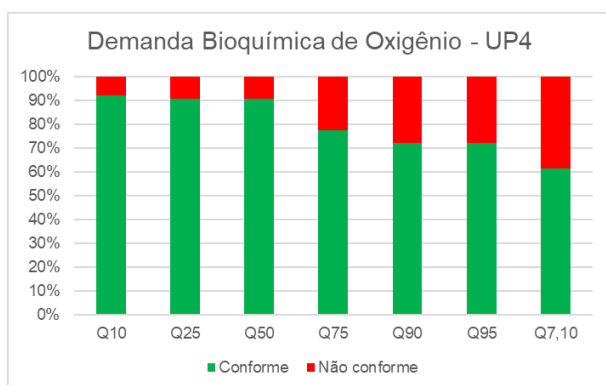


Figura 4.96. Análise de conformidade de DBO para a UP4.

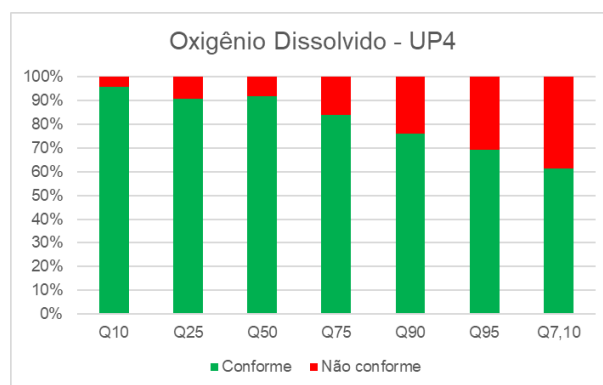


Figura 4.97. Análise de conformidade de OD para a UP4.

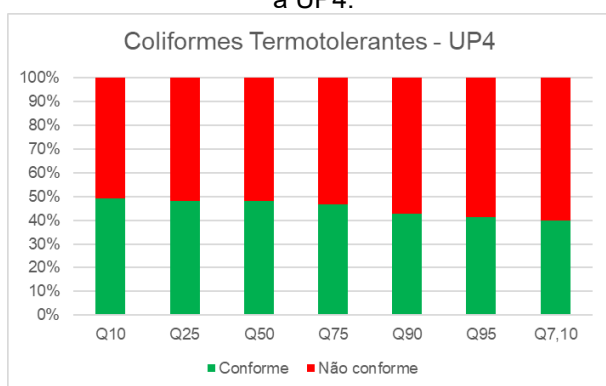


Figura 4.98. Análise de conformidade de coliformes para a UP4.

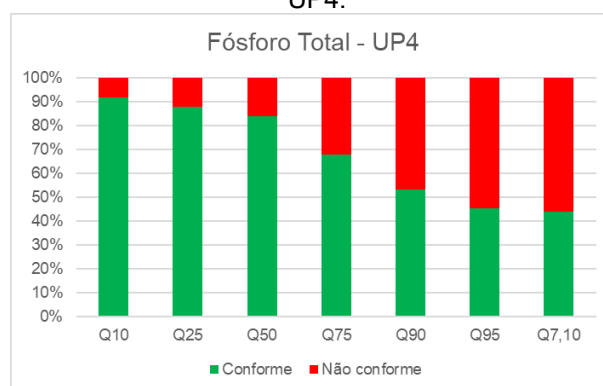


Figura 4.99. Análise de conformidade de fósforo total para a UP4.

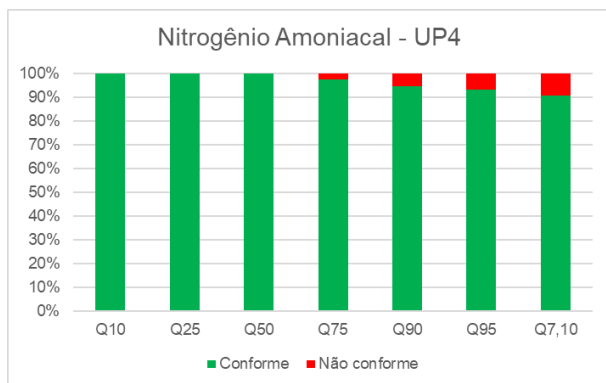


Figura 4.100. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP4.

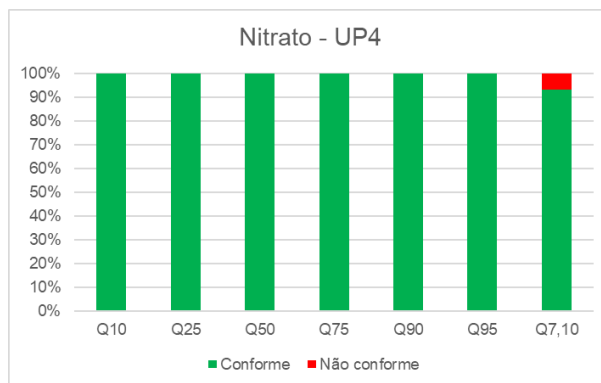


Figura 4.101. Análise de conformidade de nitrato para a UP4.

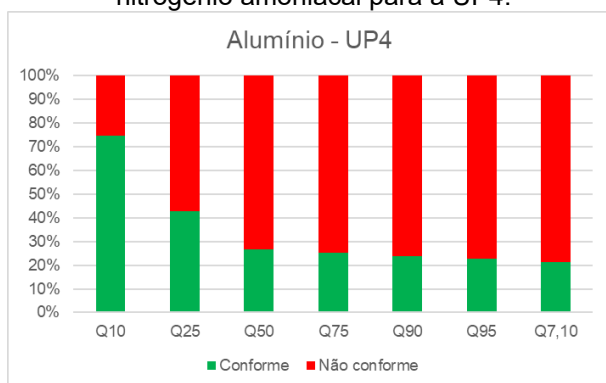


Figura 4.102. Análise de conformidade de alumínio para a UP4.

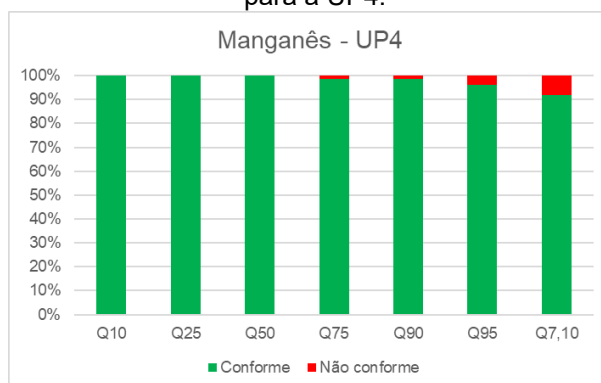


Figura 4.103. Análise de conformidade de manganês para a UP4.

4.4.5 UP5

A análise de conformidade dos parâmetros na UP5 também apresenta, de forma geral, uma tendência de piora no percentual de trechos em conformidade com a redução da vazão. Entre os parâmetros analisados, destaca-se:

- A demanda bioquímica de oxigênio apresentou 91% de conformidade na vazão Q₁₀, seguido por uma piora de conformidade nas vazões seguintes. Os maiores registros de não conformidade ocorreram nas vazões Q₇₅, Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}, que apresentaram valores entre uma média de 20 e 35% de não conformidade;
- O oxigênio dissolvido apresentou entre 5% e 20% de não em todas as vazões, com os piores resultados nas vazões de referência, em que a Q_{7,10} apresentou cerca de 21%.
- A análise de coliformes termotolerantes apresentou valores altos de não conformidade para todas as vazões, iniciando com cerca de 25% na Q₁₀ e chegando a cerca de 35% na Q_{7,10};

- O parâmetro fósforo total apresentou um comportamento muito similar entre todas as vazões, com 84% de conformidade na vazão Q₁₀ e uma média de 71% de conformidade nas vazões de referência;
- O nitrogênio amoniacal e o nitrato, assim como nas demais UPS, apresentaram os melhores resultados de conformidade, com 100% de conformidade em todas as vazões para a simulação do nitrato e valores acima de 90% para o nitrogênio amoniacal. Destaca-se os bons resultados deste parâmetro com poucas não conformidades inclusive nas menores vazões;
- O alumínio dissolvido apresentou 87% de conformidade já na vazão Q₁₀ e cerca de 70% de não conformidade nas vazões seguintes, chegando em 53% na Q_{7,10};
- Por fim, o manganês apresentou valores entre 85 e 95% de conformidade em todas as vazões.

A seguir, entre a Figura 4.104 e a Figura 4.111, são apresentados os gráficos com o percentual de trechos em conformidade e não conformidade com o enquadramento vigente para cada parâmetro e cada vazão simulada.

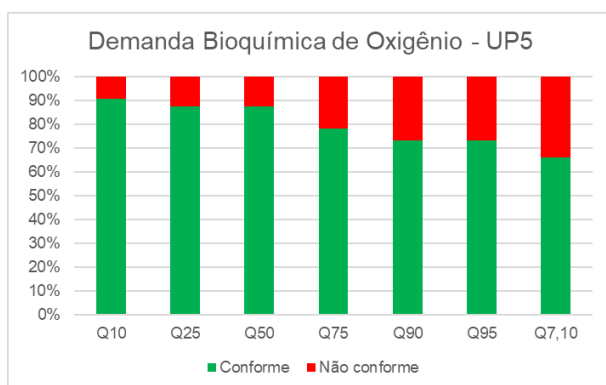


Figura 4.104. Análise de conformidade de DBO para a UP5.

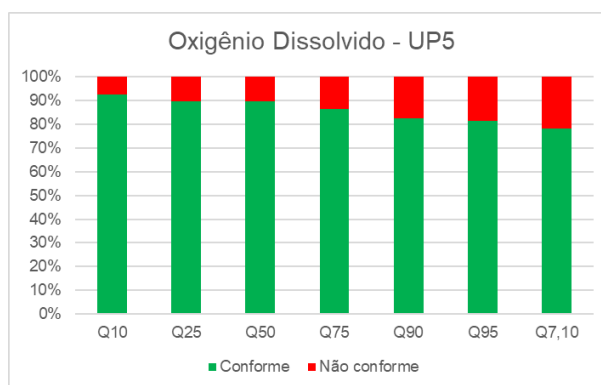


Figura 4.105. Análise de conformidade de OD para a UP5.

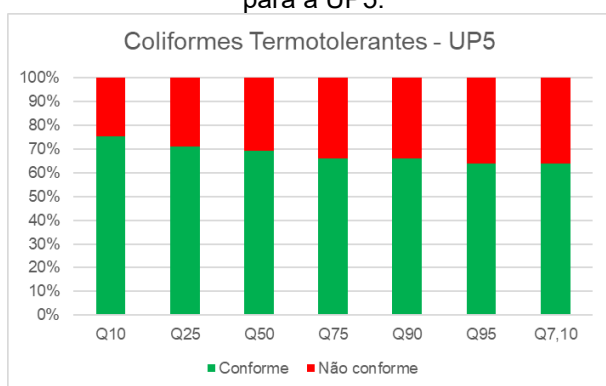


Figura 4.106. Análise de conformidade de coliformes para a UP5.

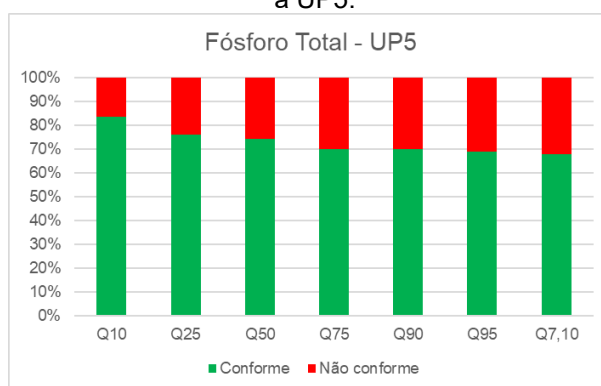


Figura 4.107. Análise de conformidade de fósforo total para a UP5.

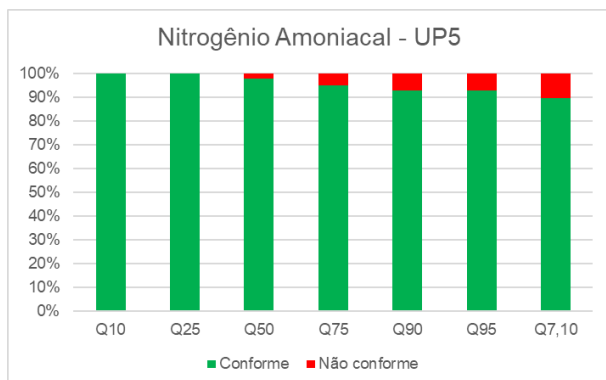


Figura 4.108. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP5.

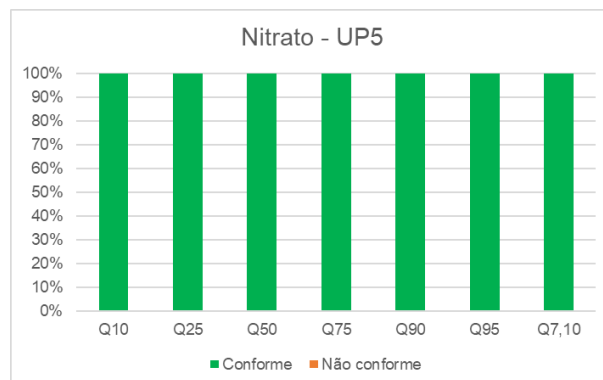


Figura 4.109. Análise de conformidade de nitrato para a UP5.

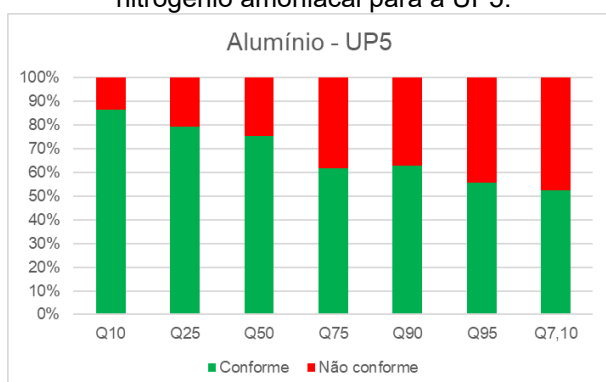


Figura 4.110. Análise de conformidade de alumínio para a UP5.

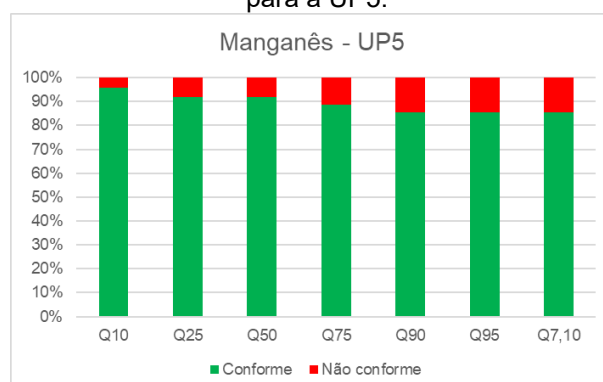


Figura 4.111. Análise de conformidade de manganês para a UP5.

4.4.6 UP6

A análise de conformidade dos parâmetros na UP6 apresenta, de forma geral, uma tendência de piora no percentual de trechos em conformidade com a redução da vazão. Entre os parâmetros analisados, destaca-se:

- A demanda bioquímica de oxigênio apresentou cerca de 90% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅ e Q₅₀, com um decaimento no percentual de conformidade ao longo das vazões e atingindo 58% de não conformidade na vazão Q_{7,10};
- O oxigênio dissolvido apresentou resultados com valores acima de 80% de conformidades ao longo das vazões;
- A análise de coliformes termotolerantes apresentou 30% de não conformidade já na vazão Q₁₀, seguido de um aumento no percentual de não conformidade ao longo das vazões e atingindo 50% de não conformidade na vazão Q_{7,10};

- O fósforo total apresentou quedas de conformidade a partir da Q₂₅, com destaque nas vazões Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}, que apresentaram em média 55% de não conformidade nos trechos da UP;
- O nitrogênio amoniacal e o nitrato apresentaram valores acima de 90% de conformidade em todas as vazões, com destaque para várias vazões com 100% de conformidade. Destaca-se os bons resultados destes parâmetros, com poucas não conformidades inclusive nas menores vazões;
- O alumínio apresentou 15% de não conformidade logo na vazão Q₁₀, seguido por uma média de 42% de não conformidade nas vazões Q₂₅, Q₅₀ e Q₇₅ e atingindo 65% de não conformidade na vazão Q_{7,10};
- Por fim, o manganês apresentou 98% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅, Q₅₀ e Q₇₅, seguido por um decaimento no percentual de conformidades nas vazões de referência, com cerca de 14% de não conformidade.

A seguir, entre a Figura 4.112 e a Figura 4.119, são apresentados os gráficos com o percentual de trechos em conformidade e não conformidade com o enquadramento vigente para cada parâmetro e cada vazão simulada.

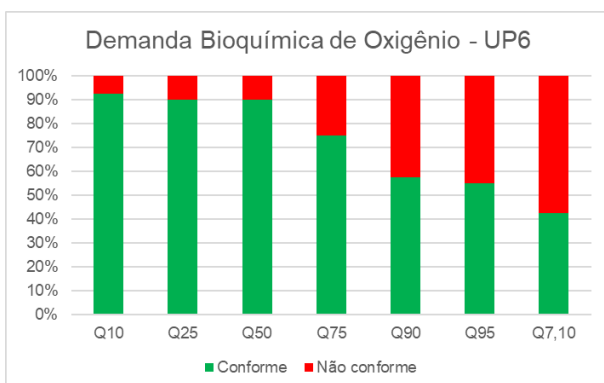


Figura 4.112. Análise de conformidade de DBO para a UP6.

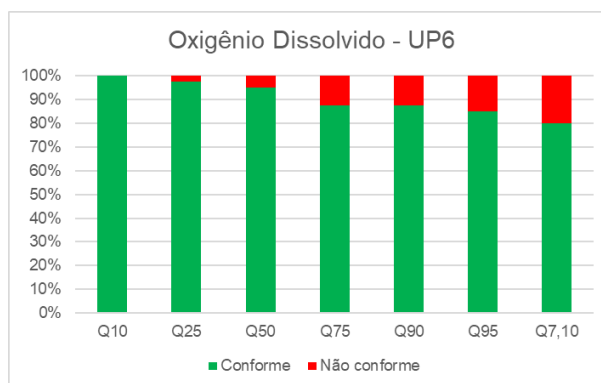


Figura 4.113. Análise de conformidade de OD para a UP6.

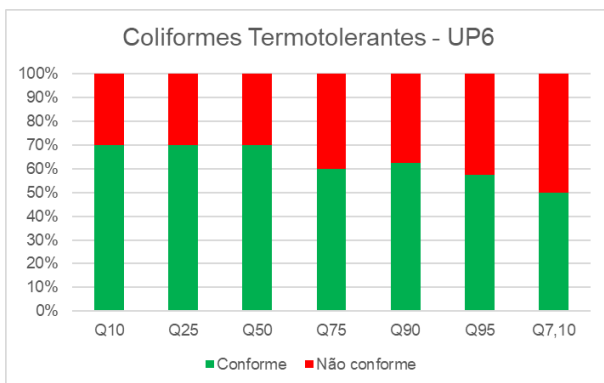


Figura 4.114. Análise de conformidade de coliformes para a UP6.

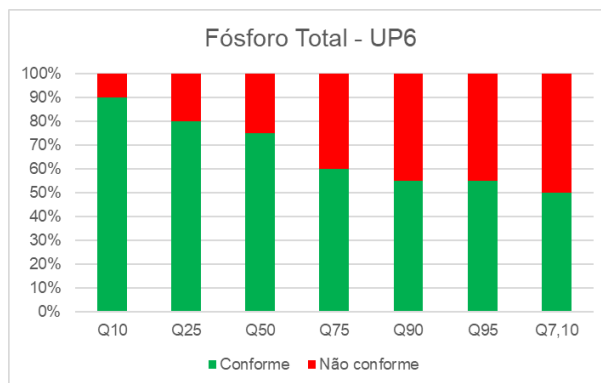


Figura 4.115. Análise de conformidade de fósforo total para a UP6.

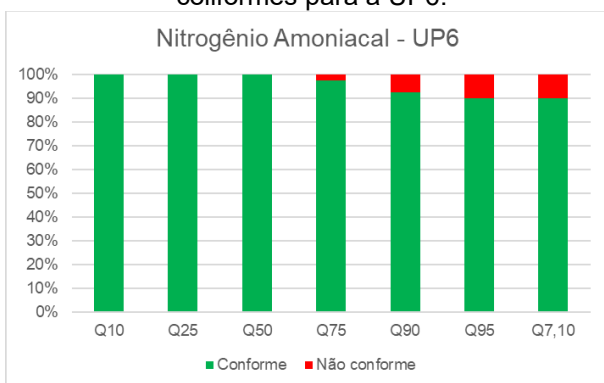


Figura 4.116. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP6.

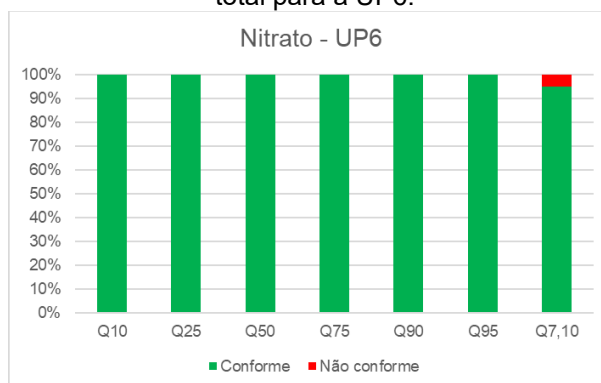


Figura 4.117. Análise de conformidade de nitrato para a UP6.

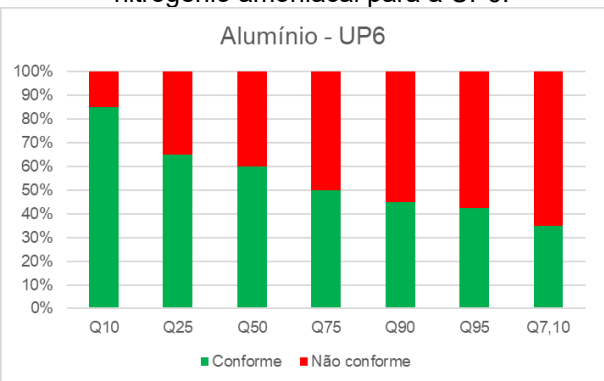


Figura 4.118. Análise de conformidade de alumínio para a UP6.

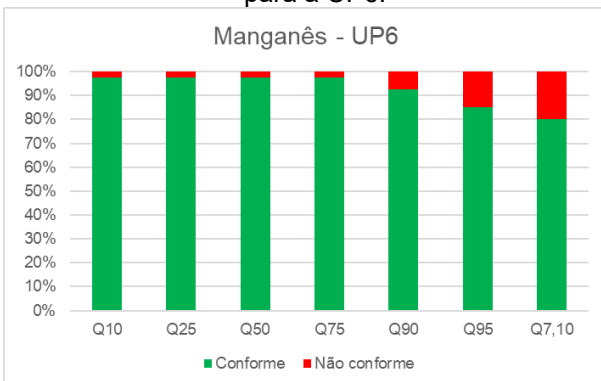


Figura 4.119. Análise de conformidade de manganês para a UP6.

4.4.7 UP7

A análise de conformidade dos parâmetros na UP7 apresenta, assim como foi observado para as demais UPs, uma tendência de piora no percentual de trechos em conformidade com a redução da vazão. Entre os parâmetros analisados, destaca-se:

- A demanda bioquímica de oxigênio apresentou cerca de 95% de conformidade nas vazões Q10, Q25 e Q50, seguido por um decaimento acentuado nas conformidades a partir da Q75 e chegando a cerca de 65% de não conformidade na Q95 e na Q7,10;

- O oxigênio dissolvido apresentou resultados acima de 95% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅ e Q₅₀, com um aumento no percentual de não conformidades a partir da Q₇₅, chegando até 42% de não conformidade na Q_{7,10};
- A análise de coliformes termotolerantes apresentou resultados elevados de não conformidade para todas as vazões, com 47% de não conformidade já na vazão Q₁₀, seguido de um aumento e chegando a cerca de 60% nas vazões de referência;
- O fósforo total apresentou quedas de conformidade a partir da Q₇₅, com destaque nas vazões Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}, as quais apresentaram cerca de 60% de não conformidade nos trechos da UP;
- O nitrogênio amoniacal e o nitrato apresentaram bons resultados para todas as vazões nesta UP, com 100% de conformidade em quase todas as vazões para os dois parâmetros, com exceção do nitrogênio amoniacal na Q_{7,10}, que apresentou 92% de conformidade;
- O alumínio apresentou 100% de conformidade na vazão Q₁₀, com um decaimento no percentual de conformidade nas vazões mais baixas, atingindo 58% de não conformidade na Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10};
- Por fim, o manganês apresentou 100% de conformidade nas vazões Q₁₀, Q₂₅, Q₅₀ e Q₇₅, seguido por um decaimento no percentual de conformidades, com cerca de 10% de não conformidade na Q₉₀ e na Q₉₅ e 20% na Q_{7,10}.

A seguir, entre a Figura 4.120 e a Figura 4.127, são apresentados os gráficos com o percentual de trechos em conformidade e não conformidade com o enquadramento vigente para cada parâmetro e cada vazão simulada.

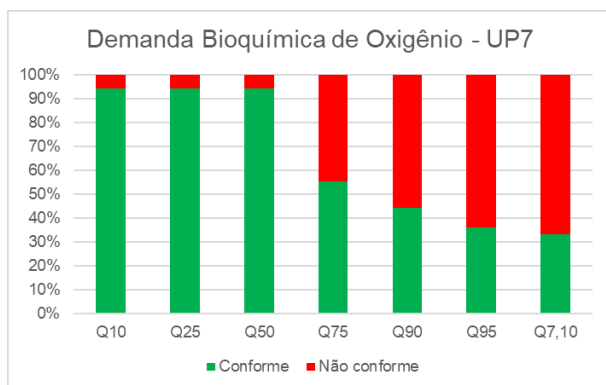


Figura 4.120. Análise de conformidade de DBO para a UP7.

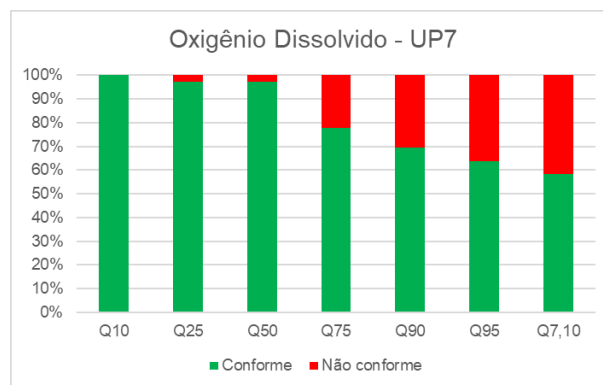


Figura 4.121. Análise de conformidade de OD para a UP7.

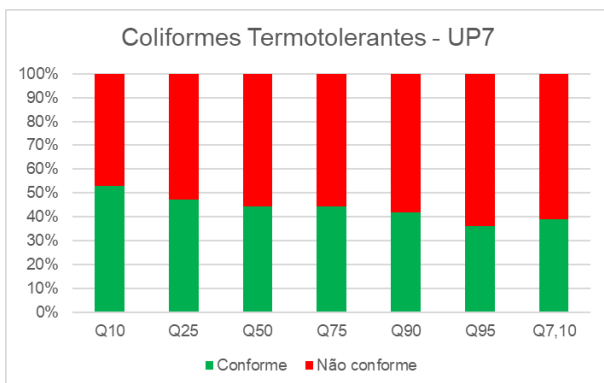


Figura 4.122. Análise de conformidade de coliformes para a UP7.

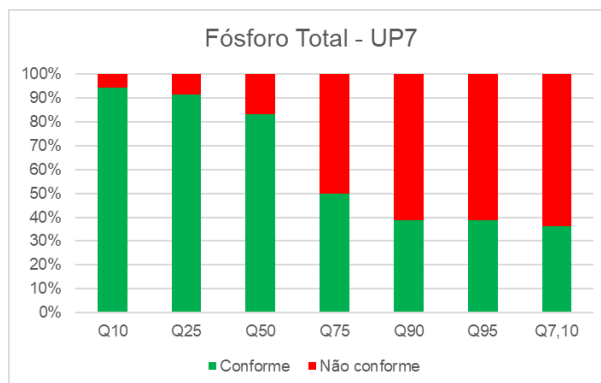


Figura 4.123. Análise de conformidade de fósforo total para a UP7.

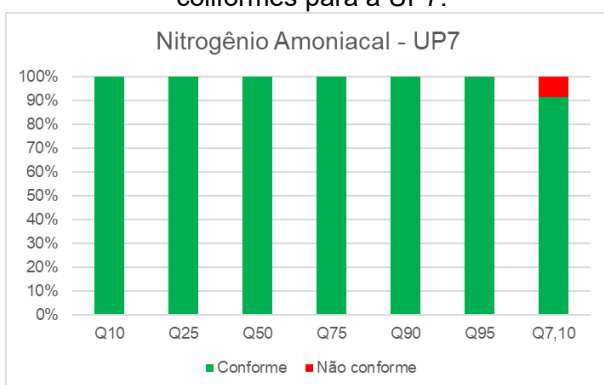


Figura 4.124. Análise de conformidade de nitrogênio amoniacal para a UP7.

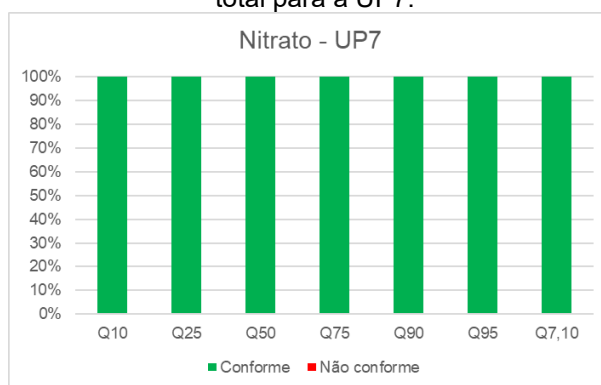


Figura 4.125. Análise de conformidade de nitrato para a UP7.

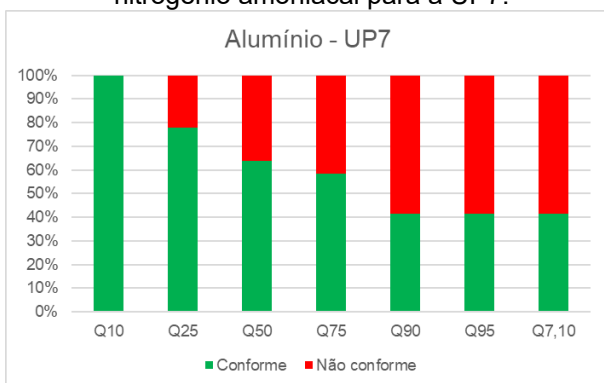


Figura 4.126. Análise de conformidade de alumínio para a UP7.

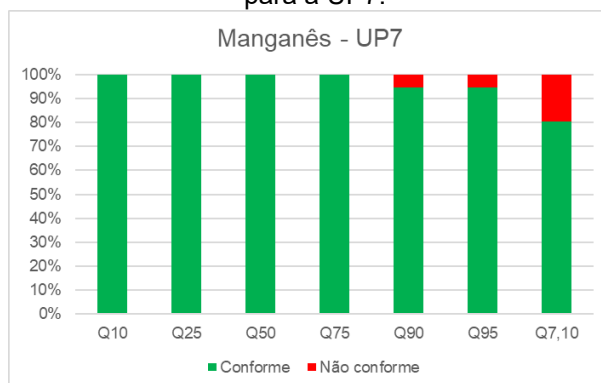


Figura 4.127. Análise de conformidade de manganês para a UP7.

4.5 Índice de conformidade ao enquadramento

Através de uma metodologia distinta é possível avaliar a conformidade de dados reais, medidos em pontos de coleta de amostras de água, ao enquadramento vigente. O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) é uma adaptação de um modelo de qualidade da água desenvolvido pela subcomissão técnica de qualidade da água do Canadá (CCME, 2017), chamado de *CCME Water Quality Index - CCME WQI*. Ele mede a distância entre a condição atual de um corpo d'água e a meta de qualidade estabelecida pelo

enquadramento e permite realizar uma análise complementar da qualidade da água, avaliando a aderência da qualidade atual ao enquadramento vigente.

O índice é baseado no cálculo de três medidas de conformidade ao enquadramento vigente para pontos amostrais de qualidade da água: abrangência ou alcance (F1), frequência (F2) e amplitude (F3). Os valores de cada um destes parâmetros são adimensionais e variam de 0 até 100. O alcance ou abrangência tem por base a incidência em desconformidade com o enquadramento, a frequência é a quantidade de resultados não conformes e a amplitude é a diferença, ou afastamento, dos valores observados com as metas de enquadramento.

O cálculo do alcance (F1) é realizado através da divisão entre o nº de parâmetros não conformes pelo nº de parâmetros monitorados, multiplicado por 100, conforme apresenta a Equação 18.

$$F1 = \frac{N^{\circ} \text{ de parâmetros não conformes}}{N^{\circ} \text{ de parâmetros monitorado}} * 100 \quad \text{Equação 18}$$

O cálculo da frequência (F2) é realizado através da divisão entre o nº de análises não conformes pelo nº de análises realizadas, multiplicado por 100, conforme apresenta a Equação 19.

$$F2 = \frac{N^{\circ} \text{ de análises não conformes}}{N^{\circ} \text{ de análises realizadas}} * 100 \quad \text{Equação 19}$$

A amplitude (F3) é calculada através de dois fatores: as discrepâncias (Δ) e a soma normalizada das discrepâncias ($\Sigma n\Delta$). As discrepâncias (Δ) são calculadas ainda de duas formas: quando o valor da análise excede o padrão máximo estabelecido (Equação 20) e quando o valor da análise é inferior ao padrão mínimo estabelecido (Equação 21). O cálculos destes fatores assim como da amplitude é apresentado nas equações a seguir.

$$\Delta (> \text{máx}) = \frac{\text{Valor de análise não conforme}}{\text{Valor padrão}} - 1 \quad \text{Equação 20}$$

$$\Delta (< \text{mín}) = \frac{\text{Valor padrão}}{\text{Valor de análise não conforme}} - 1 \quad \text{Equação 21}$$

$$\Sigma n\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Discrepância})}{N^{\circ} \text{ total de análises}} \quad \text{Equação 22}$$

$$F3 = \frac{\Sigma n\Delta}{0,01 * \Sigma n\Delta + 0,01} \quad \text{Equação 23}$$

Por fim, após a obtenção dos três principais fatores (F1, F2 e F3), é calculado o ICE, conforme apresenta a Equação 24.

$$ICE = 100 - \left[\frac{\sqrt{(F1)^2 + (F2)^2 + (F3)^2}}{1,732} \right] \quad \text{Equação 24}$$

O valor do ICE obtido para cada ponto é então classificado em categorias conforme a classificação proposta por Amaro e Porto (2009), apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Categorias de interpretação do ICE.

Categoria	ICE	Descrição
Conforme	$80 \leq ICE \leq 100$	Valores obtidos se a maioria ou todas as medições estiverem dentro dos padrões de qualidade da água no monitoramento
Afastado	$45 \leq ICE < 80$	As medições estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água
Não Conforme	$ICE < 45$	Os padrões de qualidade da água quase sempre não atendidos; a maioria ou a totalidade das medições está violando os limites da classe de enquadramento correspondente ao trecho do rio naquele ano de monitoramento.

Fonte: Amaro e Porto, 2009.

Em uma primeira tentativa de análise do índice, foram considerados todos os 8 parâmetros avaliados neste estudo: DBO, OD, coliformes, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, alumínio e manganês. No entanto, após uma análise dos dados monitorados por ponto, constatou-se a inaplicabilidade do alumínio nesta metodologia devido ao baixo número de pontos e de campanhas com monitoramento. Assim, para a análise do ICE foram considerados os sete parâmetros remanescentes.

Considerou-se na análise todos os pontos com monitoramento destes sete parâmetros em, no mínimo, quatro campanhas. Assim, dos 388 pontos de monitoramento da BHPS, foram considerados 111 pontos na BHPS, sendo 21 deles na UP1, 18 na UP2, 21 na UP3, 20 na UP4, 6 na UP5, 5 na UP6, 18 na UP7 e 2 na UP8.

Destaca-se ainda que foram realizadas algumas definições metodológicas ao longo da análise para a adequada aplicação do índice:

- Para os parâmetros que não há limite entre classe 1 e 2 e o trecho esteja enquadrado como classe 1 ou 2, foi considerado o limite de classe 1 como “valor padrão” ou “valor objetivo”;
- Para os casos em que o enquadramento vigente prevê classe especial no trecho onde o ponto está localizado, considerou-se que uma análise em classe 1 foi considerada como conforme. Para os trechos não conformes, considerou-se como valor objetivo o limite de classe 1;
- Valor de análise de OD igual à 0 mg/L foram removidos do cálculo;
- Foi considerada toda a série histórica de dados.

Os resultados para todos os pontos foram categorizados conforme as categorias: excelente, bom, razoável, marginal e ruim apresentadas na Tabela 4.6 e são apresentados na Figura 4.128. Os resultados do ICE para cada ponto também foram acumulados para cada uma das UPs da BHPS e são apresentados conforme a frequência identificada na Figura 4.129.

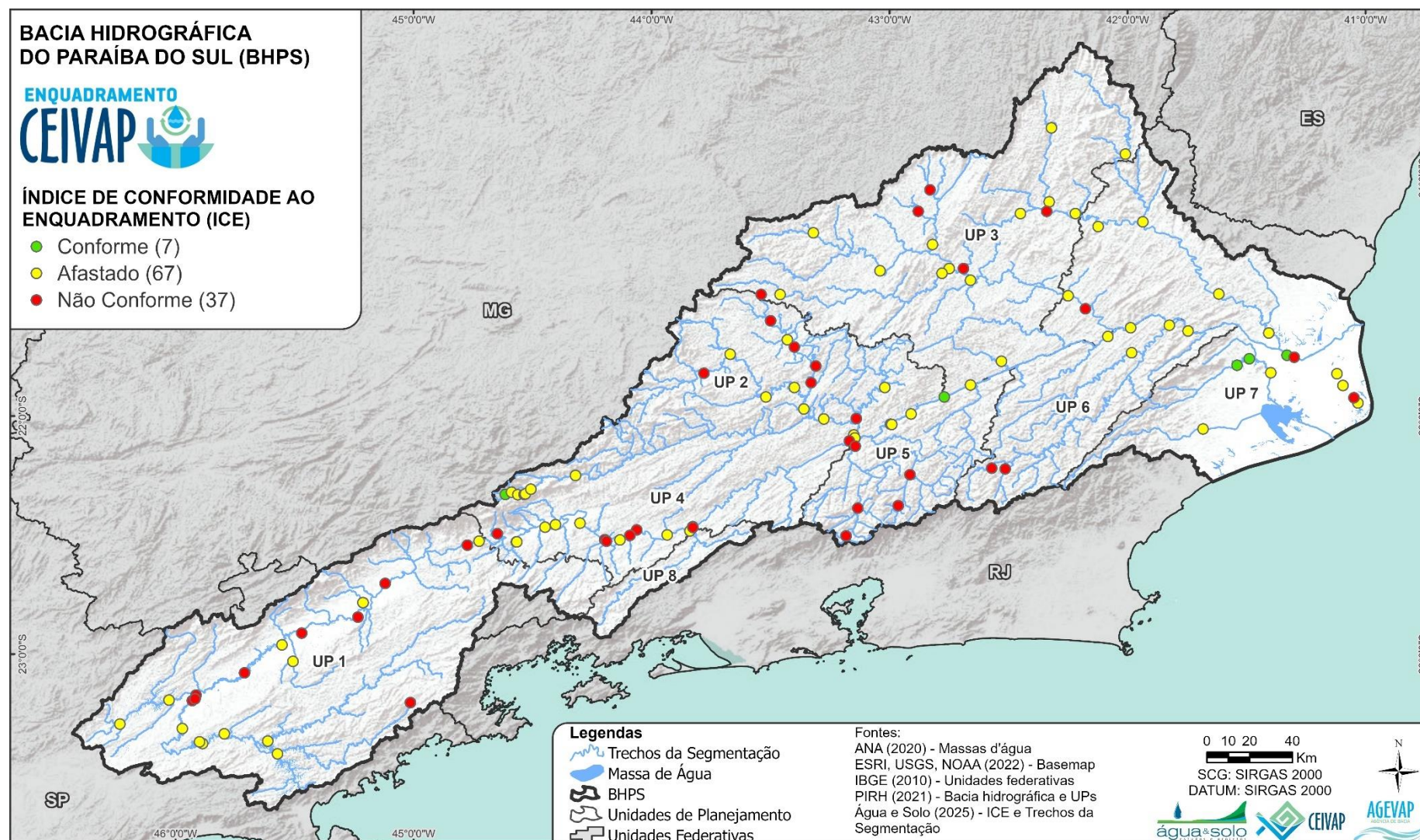


Figura 4.128. Mapa do ICE para cada ponto analisado na BHPS.

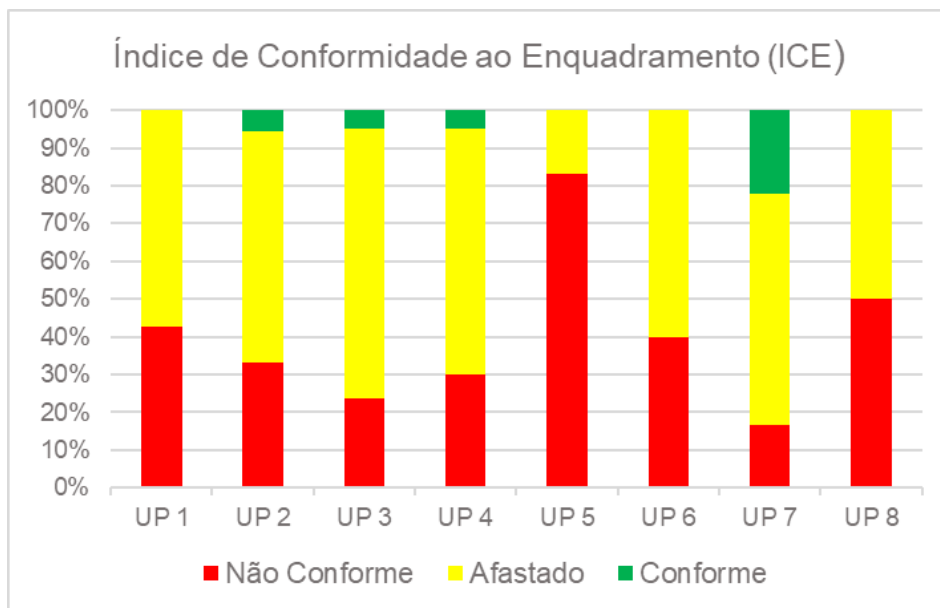


Figura 4.129. Frequência de resultados do ICE para cada UP.

Através dos resultados obtidos é possível observar que grande parte dos pontos analisados na bacia apresentam ICE não conforme ou afastado. Estas categorias representam mais de 75 dos pontos em todas as UPs. Apenas as UPs 2, 3, 4 e 7 apresentam pontos com ICE conforme.

A UP5 apresenta os piores resultados entre os pontos analisados, com cerca de 83% com ICE não conforme e outros 17% como afastado. Este resultado, no entanto, está influenciado pelo número de pontos analisados na UP, apenas 6. A UP8 também apresenta comportamento similar, com 50% dos pontos com ICE não conforme e 50% como afastado, com apenas 2 pontos analisados. Já na UP6, em que foram analisados 5 pontos, o resultado incluiu 60% dos pontos como afastado.

As UPs 2, 3 e 4 tiveram um número de pontos analisados similar, assim como os resultados obtidos. Entre os 18, 21 e 20 pontos analisados respectivamente, entre 25 a 35% ficaram como não conforme, entre 65 e 75% como afastado, e cerca de 5% com ICE conforme.

A UP7 apresentou o melhor comportamento quando ao ICE, com cerca de 17% dos pontos com ICE não conforme, cerca de 61% como afastado e outros 22% como conforme.

Estes resultados corroboram o que foi apresentado na análise de conformidade do item 4.4, em que se identificou grande quantidade de trechos simulados sem conformidade com o enquadramento vigente.

4.6 Análise da pior classe

Adicionalmente à análise de conformidade apresentada no item 4.4, é possível avaliar o enquadramento de um corpo hídrico com base nos dados da qualidade atual através de curvas de permanência. De forma similar às curvas de permanência de vazões, uma curva de permanência de qualidade indica, para um ponto, a permanência da concentração de determinado parâmetro. Ela indica o valor de concentração que tende a ser obtido conforme o percentil de análises realizadas, e pode ser relacionada ao valor limítrofe para cada classe indicado pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

No entanto, uma curva de permanência de qualidade deve, preferencialmente, ser construída através de uma ampla série de análises realizadas ao longo de todo o período hidrológico e para um ponto específico. Tendo em vista que, neste estudo, a análise da qualidade da água atual foi realizada através de simulações hidrológicas para trechos ao longo de toda a BHPS, e que os dados monitorados não garantem atendimento aos critérios para a elaboração de uma curva de permanência adequada, foi realizada uma análise alternativa. Assim, este item apresenta os resultados da análise da pior classe obtida na simulação para os conjuntos completo (100%) e reduzido (75%) dos parâmetros simulados de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

A metodologia consiste inicialmente em identificar, para o conjunto completo dos parâmetros simulados, qual foi a pior classe obtida para o segmento simulado. Esse resultado foi analisado para cada vazão simulada e está apresentado entre a Figura 4.130 e a Figura 4.136.

Em seguida, foi realizada a mesma análise para o conjunto reduzido de parâmetros, com a exclusão dos dois piores parâmetros, ou seja, 25% dos parâmetros simulados. São avaliados os 6 parâmetros restantes (75% dos melhores parâmetros simulados). Entre estes parâmetros foi novamente identificada a pior classe. Esse resultado está apresentado entre a Figura 4.137 e a Figura 4.143.

Assim, supondo que um trecho simulado apresente cinco parâmetros em classe 1, um parâmetro em classe 2 e dois parâmetros em classe 3, a primeira análise considerando o conjunto completo de parâmetros apresentará a classe 3 como a pior classe identificada. Já a segunda análise, considerando o conjunto reduzido de parâmetros, apresentará a classe 2 como a pior classe entre os 75% parâmetros com melhor classe simulada. Esta

metodologia foi aplicada para todos os trechos e todas as vazões simuladas, conforme apresentado a seguir.

É importante destacar que, como são removidos os 2 piores parâmetros, eventualmente algum trecho pode ter 3 parâmetros na pior classe. Neste caso, o resultado para o conjunto completo e para o conjunto reduzido é igual. Ainda, neste caso a metodologia considera a remoção dos dois primeiros piores parâmetros, considerando a ordem: DBO, OD, coliformes, fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrato, alumínio e manganês. Ou seja, caso a DBO, o OD e os coliformes estejam em classe 3, o resultado considerando 100% dos parâmetros será classe 3 e considerando 75% dos parâmetros também será classe 3. Os parâmetros removidos entre uma análise e outra serão os dois primeiros da ordem acima, ou seja, DBO e OD.

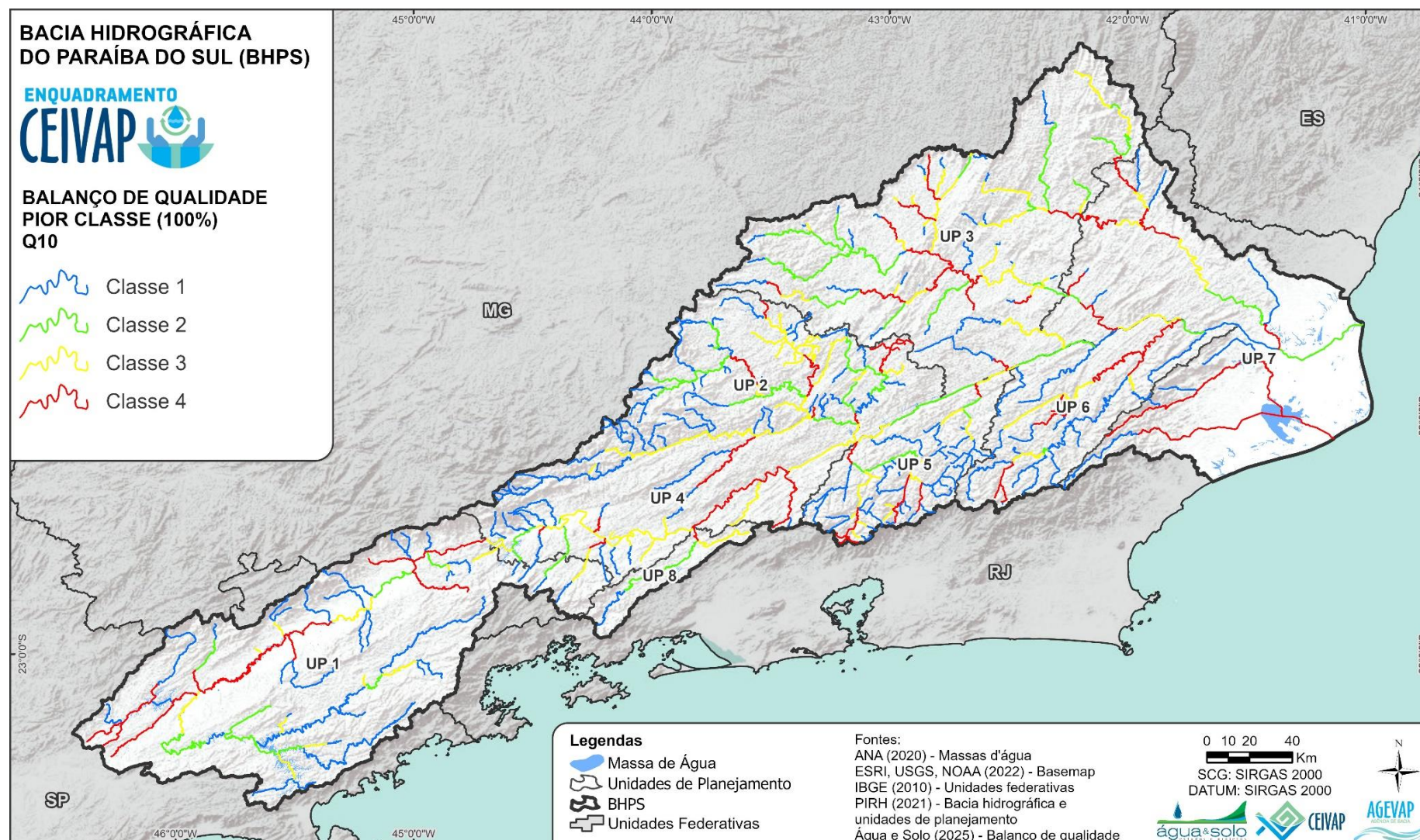


Figura 4.130. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q10.

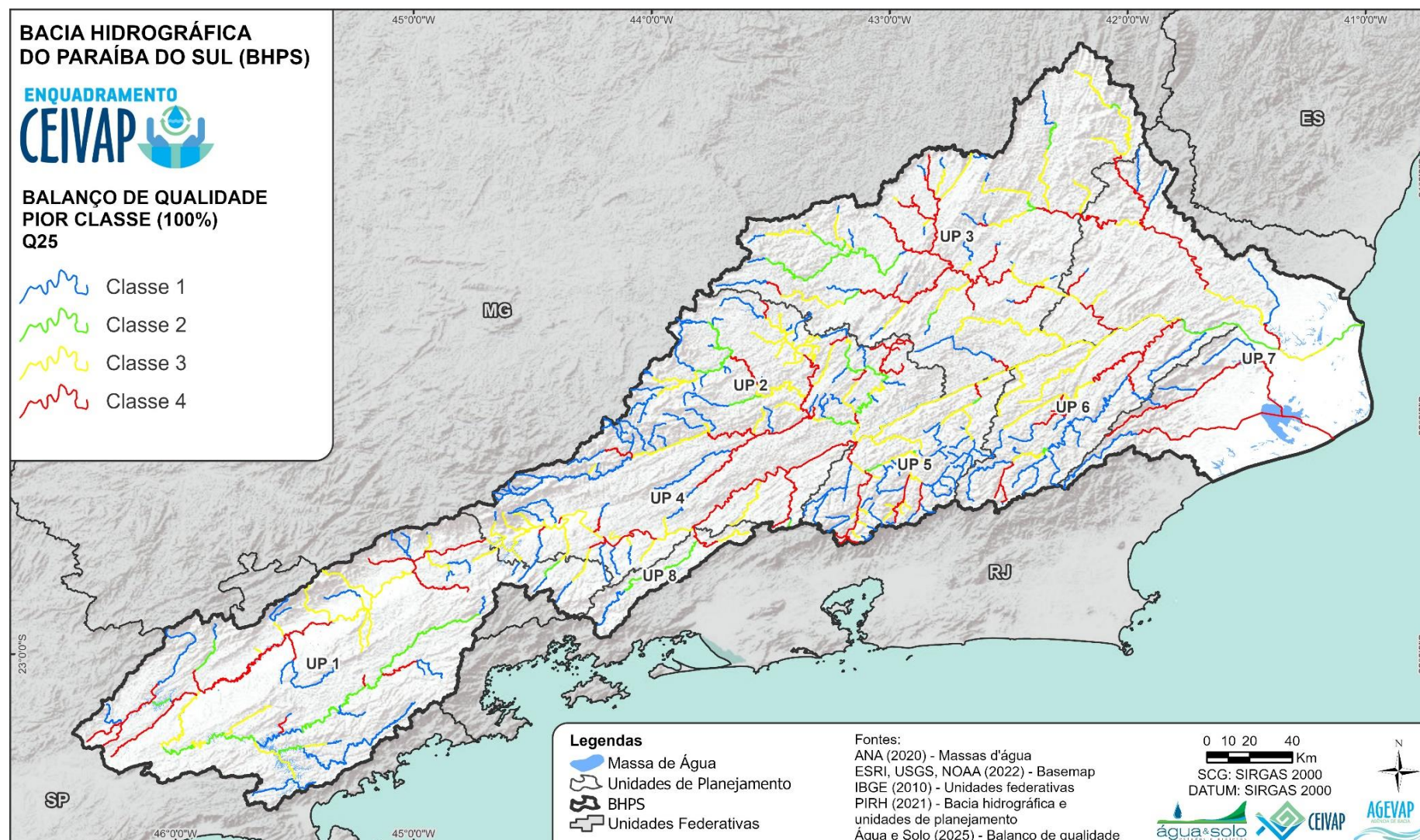


Figura 4.131. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q25.

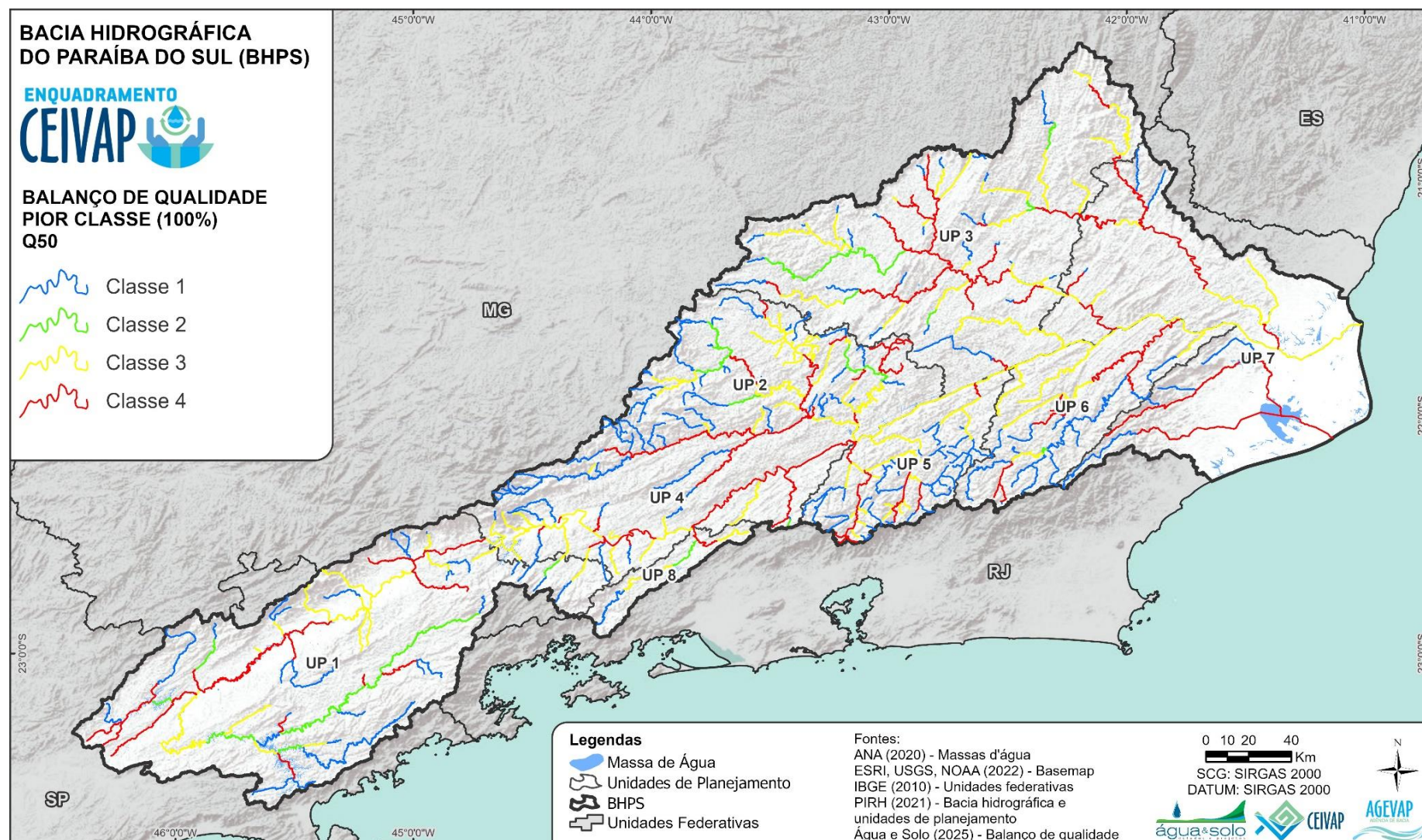


Figura 4.132. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q50.

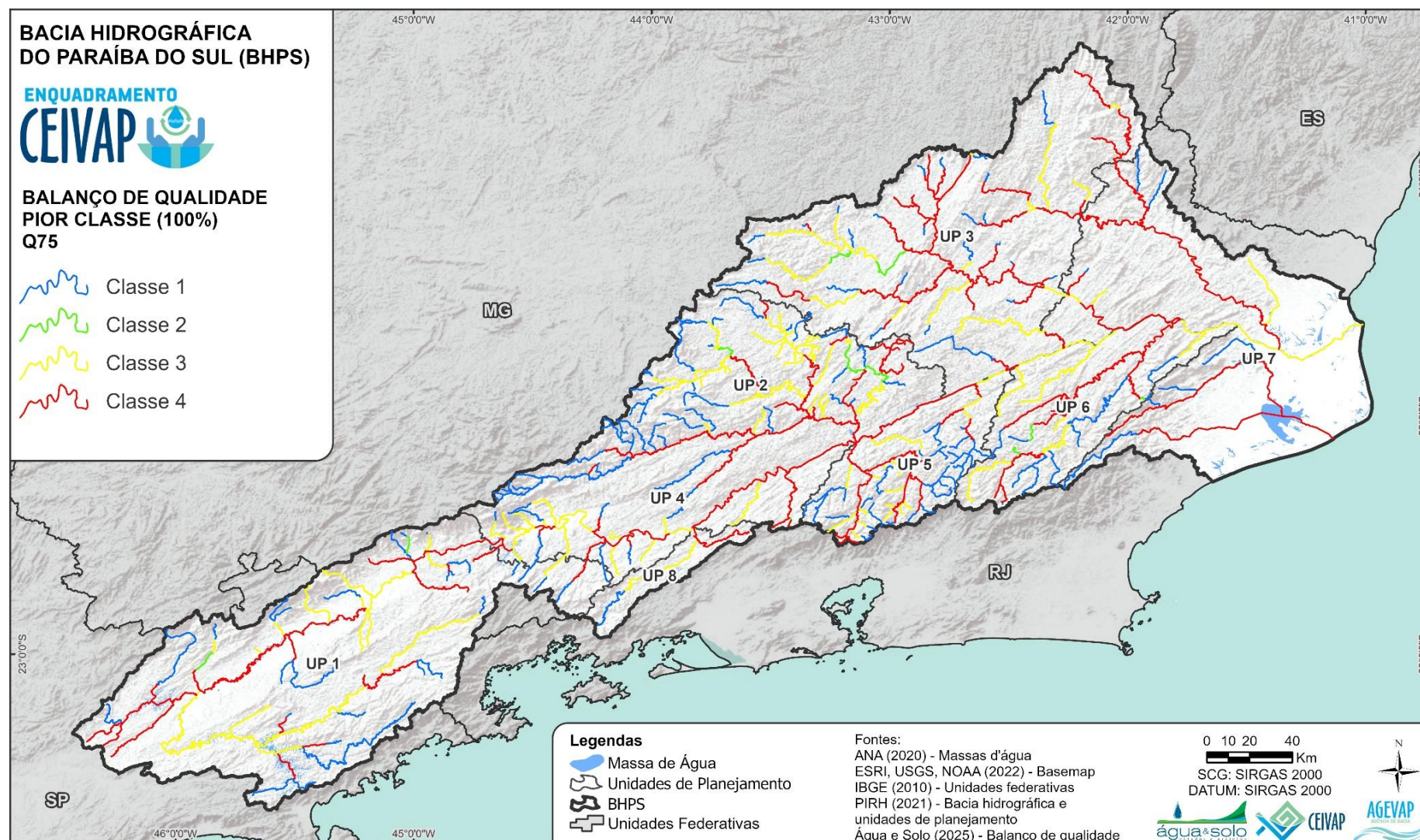


Figura 4.133. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q75.

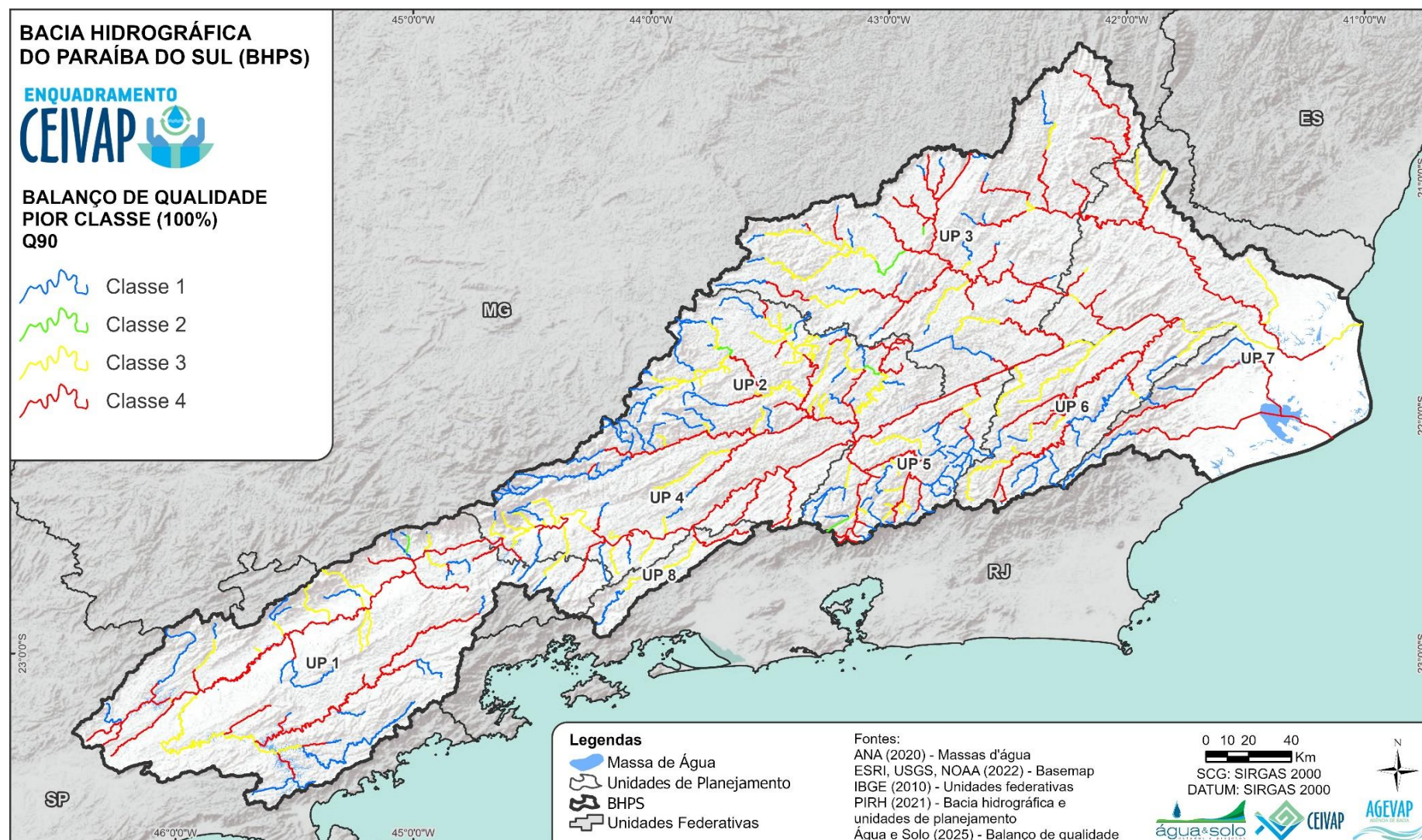


Figura 4.134. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q₉₀.

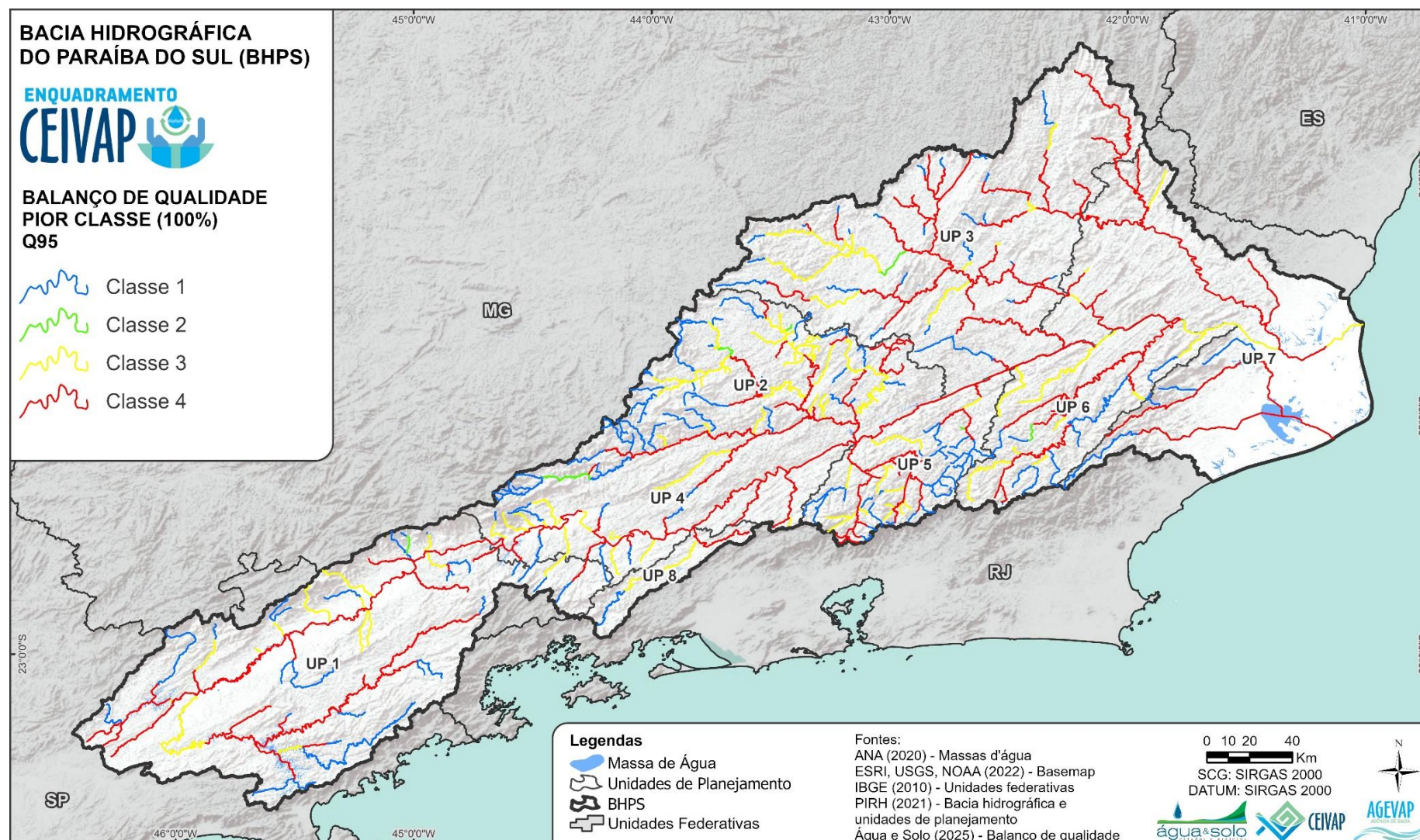


Figura 4.135. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q₉₅.

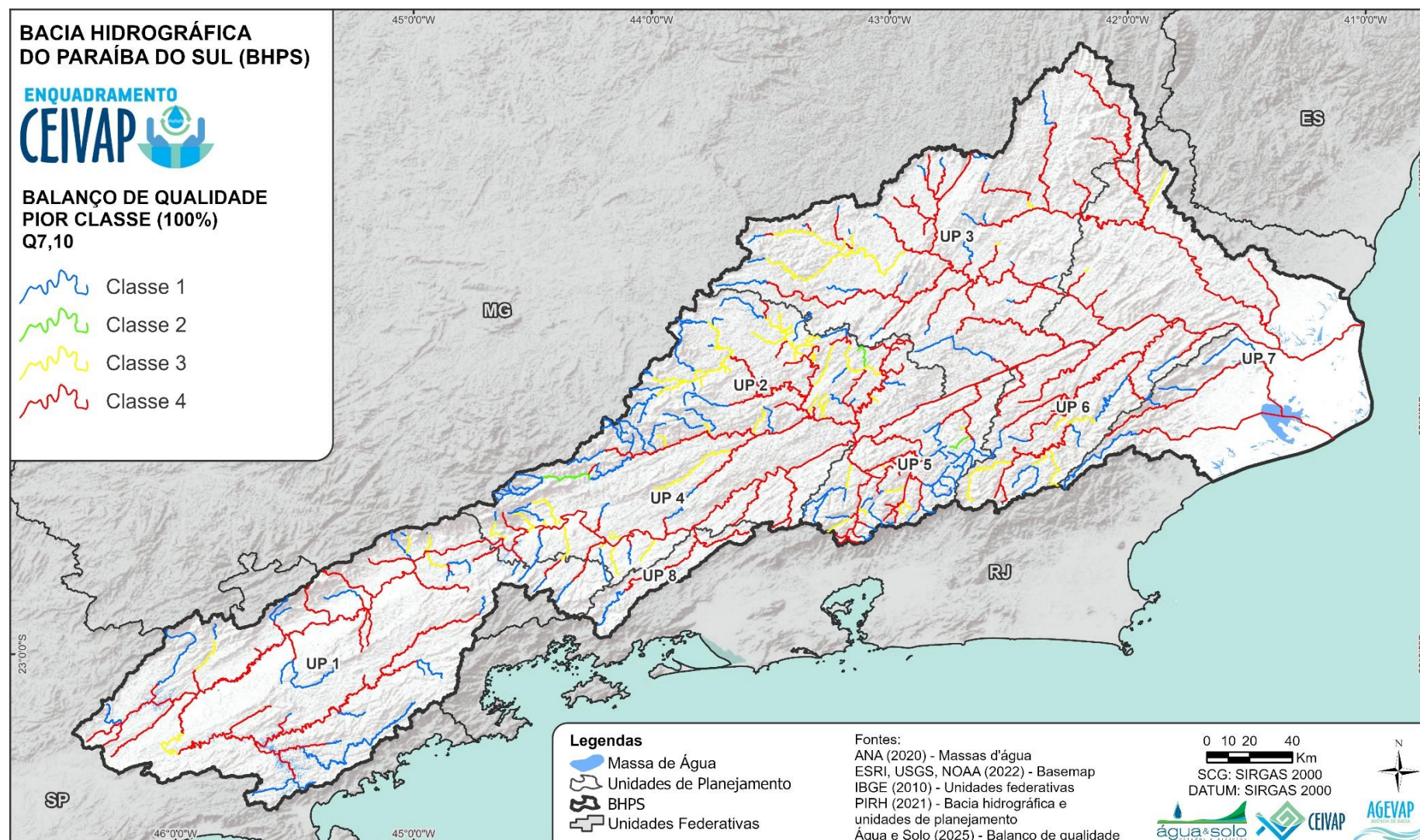


Figura 4.136. Pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q7,10.

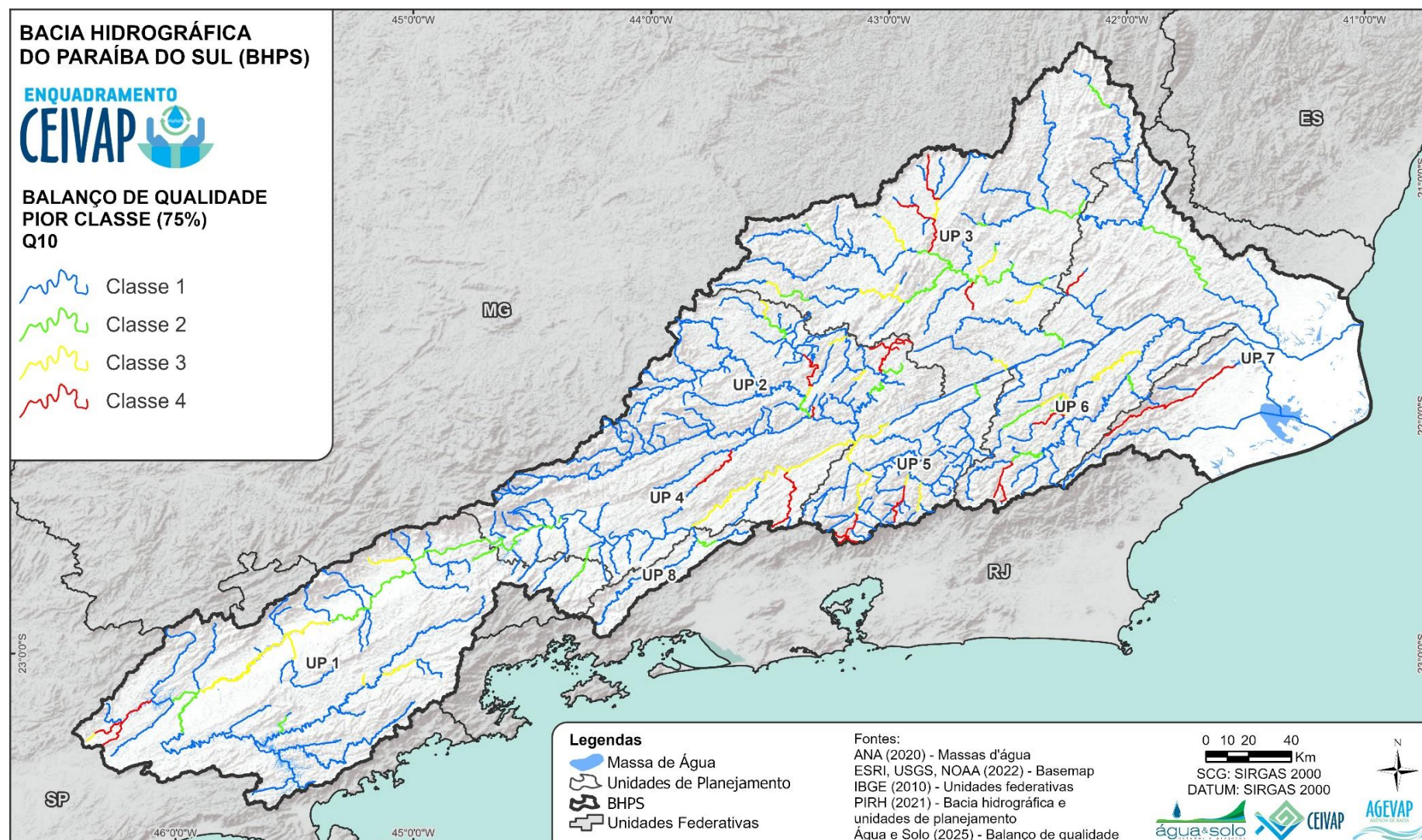


Figura 4.137. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q10.

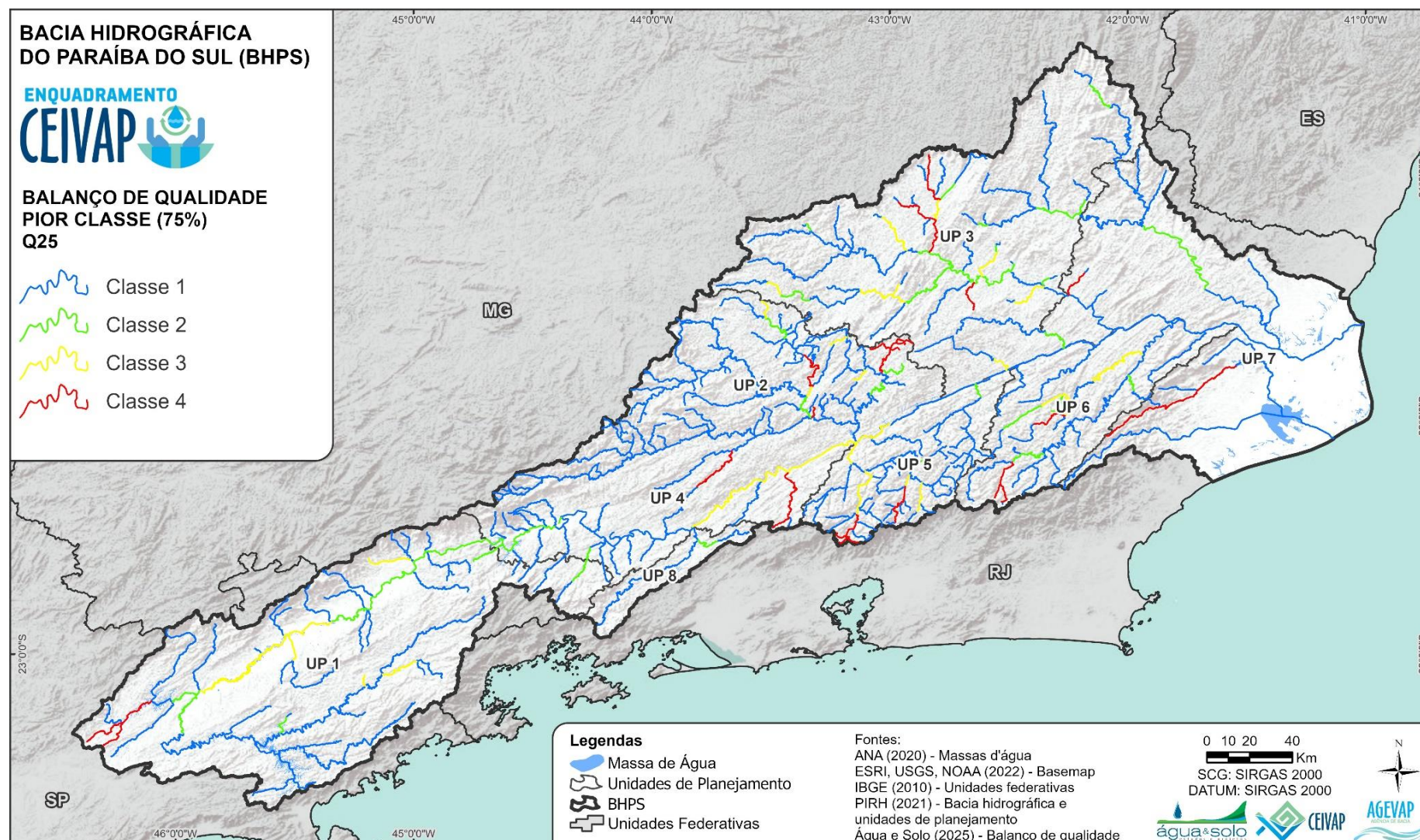


Figura 4.138. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q25.

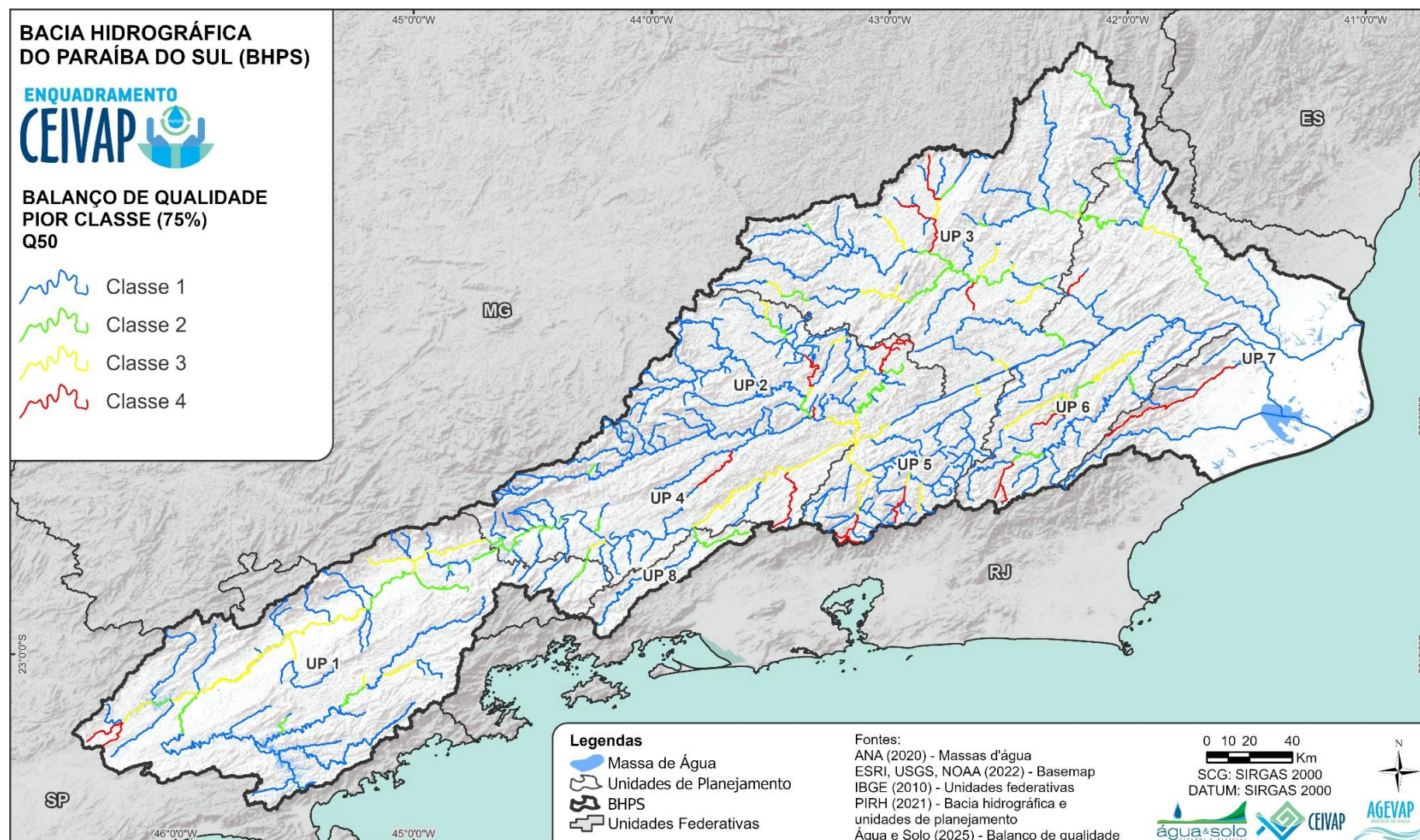


Figura 4.139. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q50.

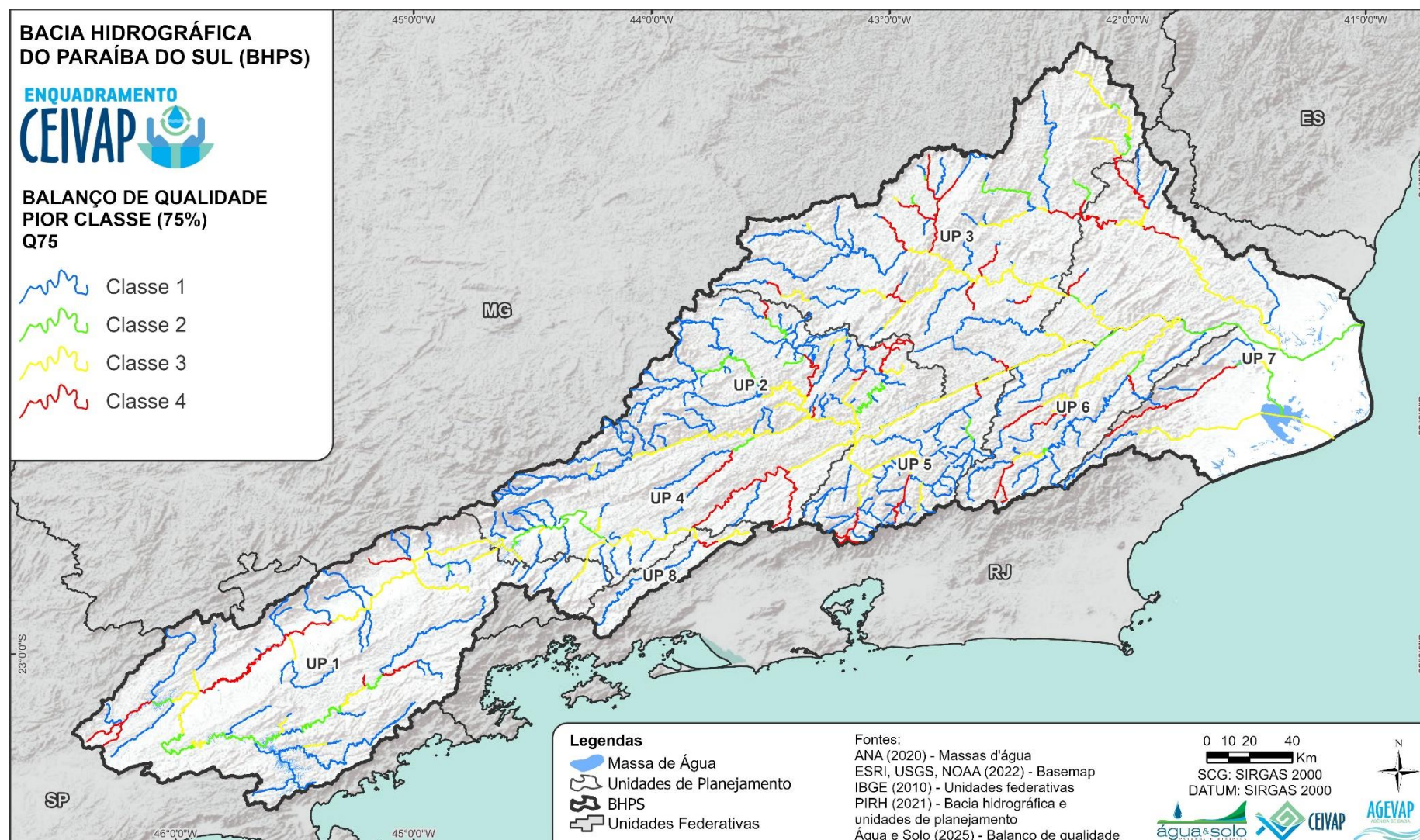


Figura 4.140. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q75.

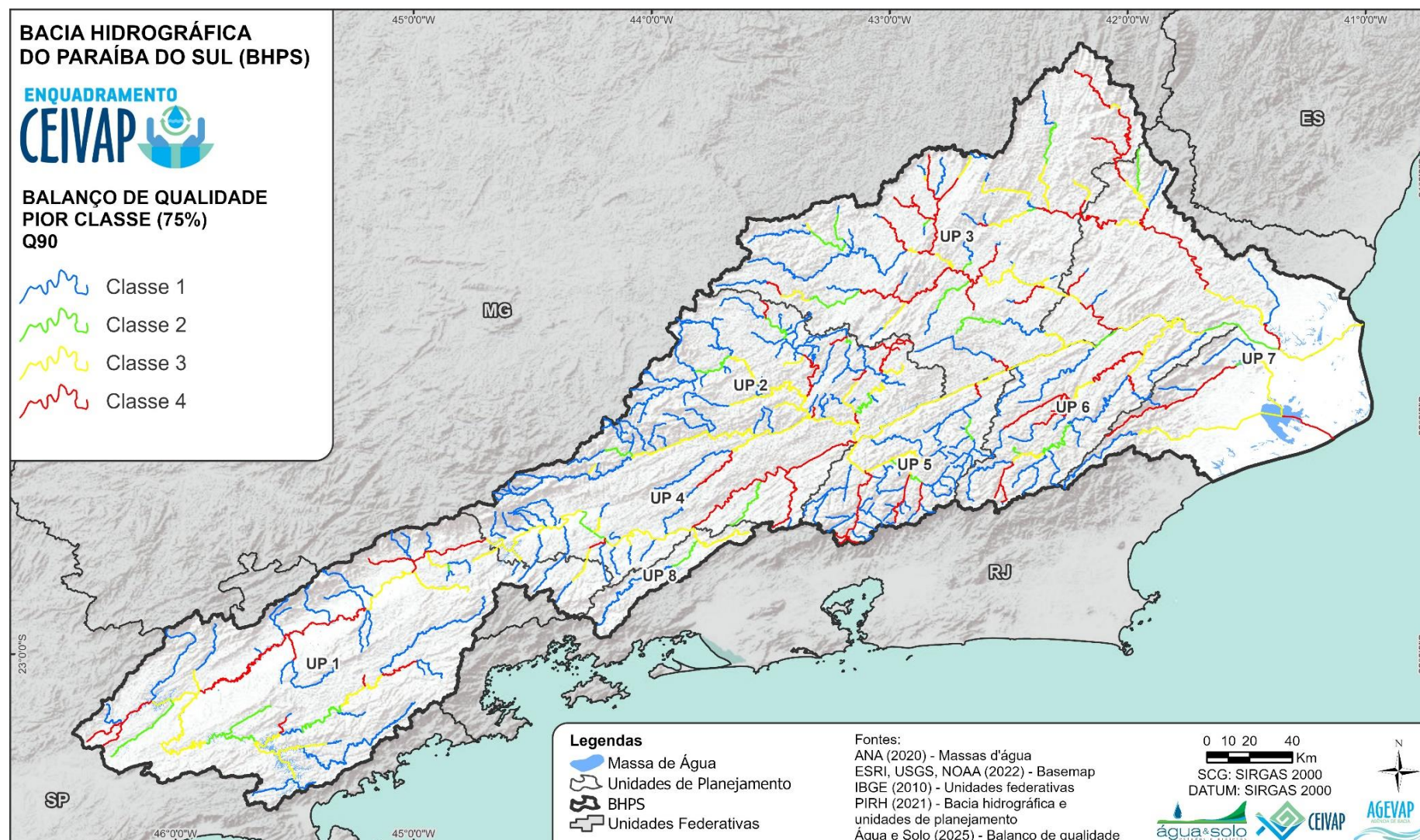


Figura 4.141. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q₉₀.

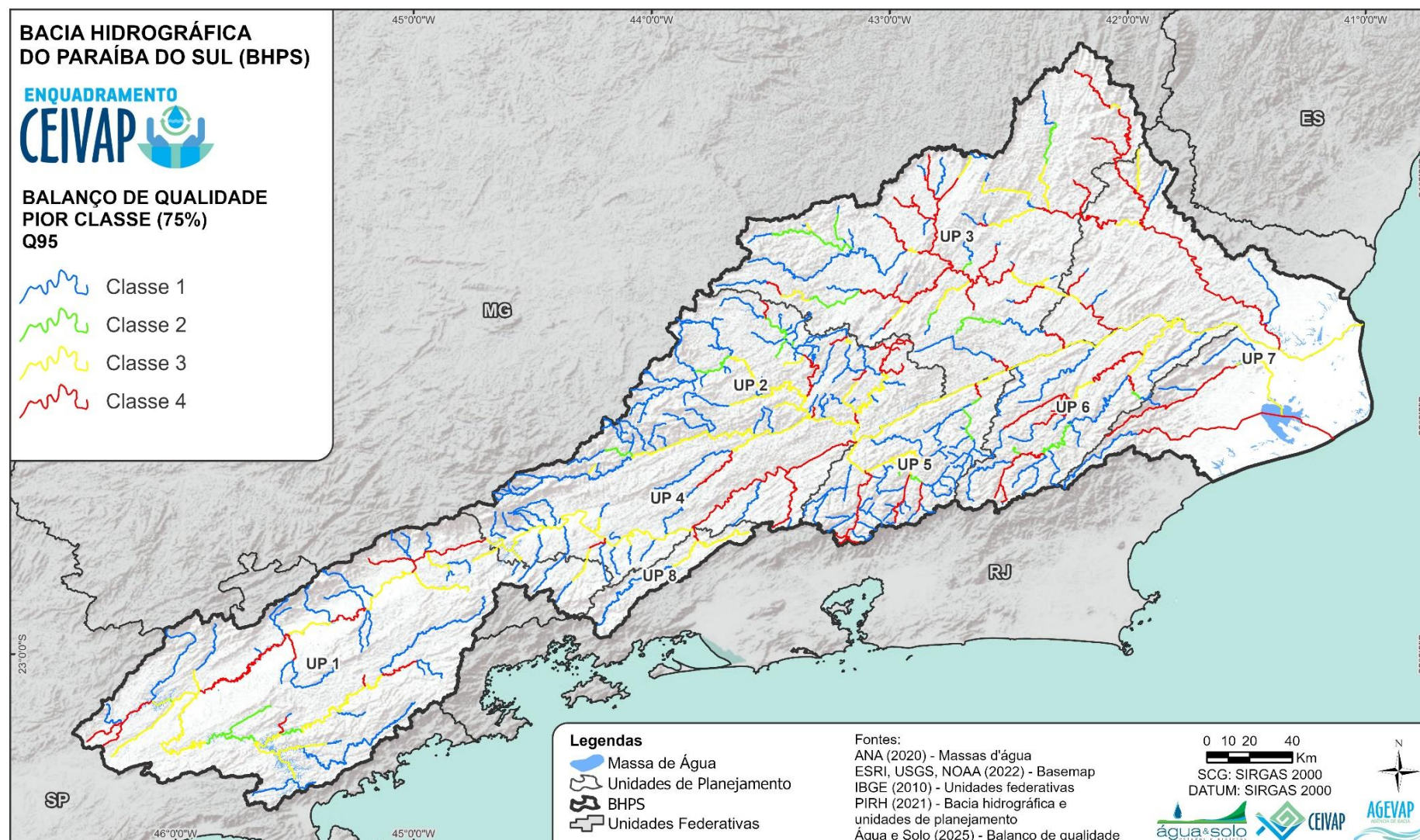


Figura 4.142. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q₉₅.

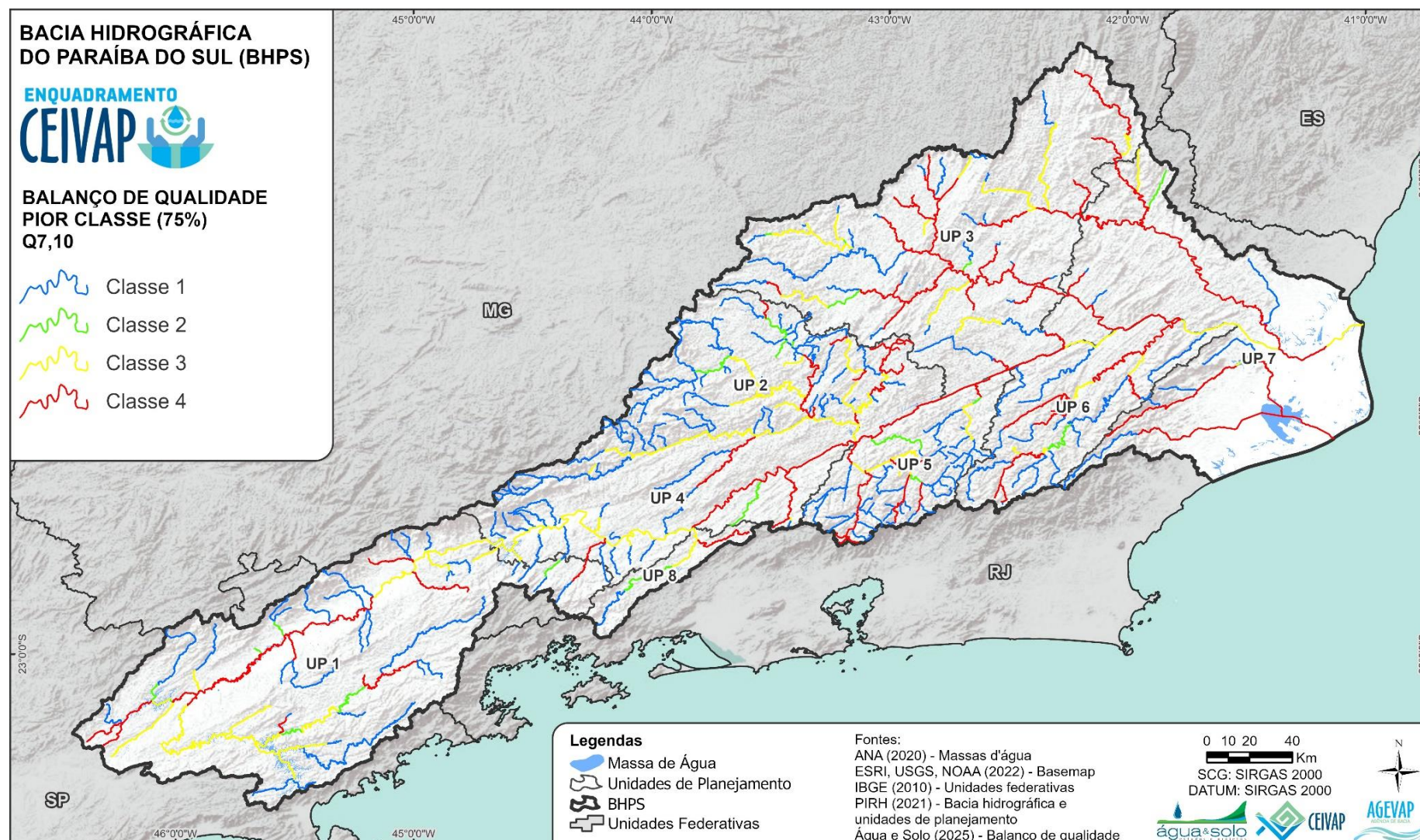


Figura 4.143. Pior classe entre 75% dos parâmetros analisados para a Q7,10.

A análise de qualidade considerando o conjunto completo (100% dos parâmetros) e o conjunto reduzido (75% dos parâmetros) permite que, em um primeiro momento, sejam identificadas as piores classes obtidas para cada trecho. Esse resultado representa o pior cenário identificado para aquele trecho em cada vazão.

Conforme apresentado entre a Figura 4.130 e a Figura 4.136, a Q_{10} já apresenta uma série de trechos em que a pior classe obtida foi a classe 3 ou a classe 4. O cenário fica pior com a redução da vazão, apresentando grande parte da bacia em classe 3 ou 4 para as vazões de referência. Há pouca variação entre a Q_{90} , Q_{95} , indicando que na Q_{90} quase todos os trechos já haviam apresentado o pior resultado entre os parâmetros analisados. No entanto, ao avaliar a $Q_{7,10}$ observa-se uma mudança significativa, principalmente com a mudança de uma grande quantidade de trechos de classe 3 para a classe 4. Essa piora significativa pode estar associada ao cenário mais restritivo de vazões apresentado pela $Q_{7,10}$ e deve ser utilizada para embasamento na definição da vazão de referência adotada.

Na Figura 4.136 é possível observar que para o conjunto completo de parâmetros analisados e para a vazão mais restritiva, há uma série de trechos indicados como classe 1. Ou seja, estes trechos não apresentaram resultados piores do que classe 1 na simulação de nenhum parâmetro. Este é um forte indicativo de que a sua qualidade atual está preservada em boas condições e pode ser servir como embasamento das alternativas de enquadramento.

Ao realizar a análise do conjunto reduzido de parâmetros, foram desconsideradas as classes dos dois priores parâmetros do trecho simulado para cada vazão, obtendo-se assim classes entre os 75% melhores parâmetros.

Conforme apresentado na Tabela 4.7, os parâmetros removidos mais vezes em todas as vazões foram a DBO, o oxigênio dissolvido e os coliformes termotolerantes, o que corrobora com os dados apresentados no item 4.3, que demonstrou que estes parâmetros tiveram os priores resultados na bacia. Também é possível identificar que o fósforo e o alumínio foram removidos em alguns casos, principalmente nas menores vazões. O manganês foi removido poucas vezes, indicando que este metal não tem um dos comportamentos mais críticos entre os parâmetros analisados. Por fim, o nitrogênio amoniacal e o nitrato não foram removidos, com exceção de um trecho na Q_{95} , o que também reflete os resultados apresentados no item 4.3.

Tabela 4.7. Parâmetros removidos no conjunto reduzido (75%) para cada vazão.

Parâmetros	Número de vezes que cada parâmetro foi removido em cada vazão						
	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{7,10}
DBO	538	438	406	407	420	424	428
OD	289	260	258	269	271	260	259
Coliformes	277	275	276	260	253	266	246
Fósforo	26	52	71	111	104	102	111
Nitrogênio Amoniacal	0	0	0	0	0	1	0
Nitrato	0	0	0	0	0	0	0
Alumínio	48	148	162	123	113	109	116
Manganês	22	27	27	30	39	38	40
Total	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Ao observar os resultados obtidos para a BHPS, conforme apresentado entre a Figura 4.137 e a Figura 4.143, observa-se, como era esperado, um resultado melhor do que considerando o conjunto completo de parâmetros. Os resultados para a Q₁₀ e para a Q₂₅ são muito semelhantes e apresentam grande parte da bacia em classe 1 e 2. A vazão Q₅₀ apresenta ainda bons resultados, muito similares às maiores vazões. Já a partir da Q₇₅ é possível observar uma piora dos resultados. Há uma quantidade maior de trecho em classe 3 e 4, com grande parte do rio Paraíba do Sul nestas classes.

Para as vazões de referência, o resultado da pior classe entre o conjunto reduzido de parâmetros é muito similar entre a Q₉₀ e a Q₉₅. Há um aumento de trechos em classe 4 quando comparado com a Q₇₅, assim como uma mudança das classes 1 e 2 para classe 3.

A vazão mais baixa (Q_{7,10}) apresenta o pior cenário, assim como foi identificado na análise que considera todos os parâmetros. Há uma grande quantidade de trechos em classe 3 e 4, com a calha principal do rio Paraíba do Sul inteira variando entre elas. É possível observar ainda os piores resultados no rios com maior influência urbana, industrial e rural. Todas as UPs apresentam trechos nestas classes.

Assim como na análise realizada considerando todos os parâmetros, o destaque positivo é que há uma grande quantidade de trechos em classe 1, que não apresentaram resultados inferiores na simulação de nenhum parâmetro e nenhuma vazão. Ainda, ao comparar diretamente a Figura 4.143 com a Figura 4.136, é possível observar que a análise que considera 75% dos parâmetros melhorou o cenário da bacia, justamente por remover os dois piores parâmetros. Isso reforça o impacto negativo destes parâmetros na qualidade da

água da bacia, tendo em vista que, embora tenham sido removidos, seguem impactando nos resultados.

Adicionalmente, foi realizada uma análise quanto a conformidade ou não conformidade ao enquadramento vigente de cada trecho da pior classe identificada no conjunto completo de parâmetros simulados. Foram consideradas as mesmas premissas apresentadas no item 4.4 e o conjunto de resultados apresentados neste item 4.6. Esta análise foi realizada para as vazões de referência, Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, conforme apresentado na Figura 4.144, Figura 4.145 e Figura 4.146 respectivamente.

Observa-se um comportamento muito semelhante nas três vazões, em que todas indicam quase os mesmos trechos em não conformidade quando comparados ao enquadramento vigente. Observa-se a maior presença de trechos em conformidade nas cabeceiras das UPs, majoritariamente em regiões com baixa ocupação urbana e industrial e a possível presença de UCs. Destaca-se que grande parte dos trechos em conformidade com o enquadramento são trechos que apresentaram as melhores classes para todos os parâmetros e todas as vazões analisadas.

Por fim destaca-se que estas análises podem auxiliar na definição dos parâmetros e vazões de referência a serem efetivamente considerados no enquadramento da bacia, assim como na definição das propostas de enquadramento a serem apresentadas no Produto 5.

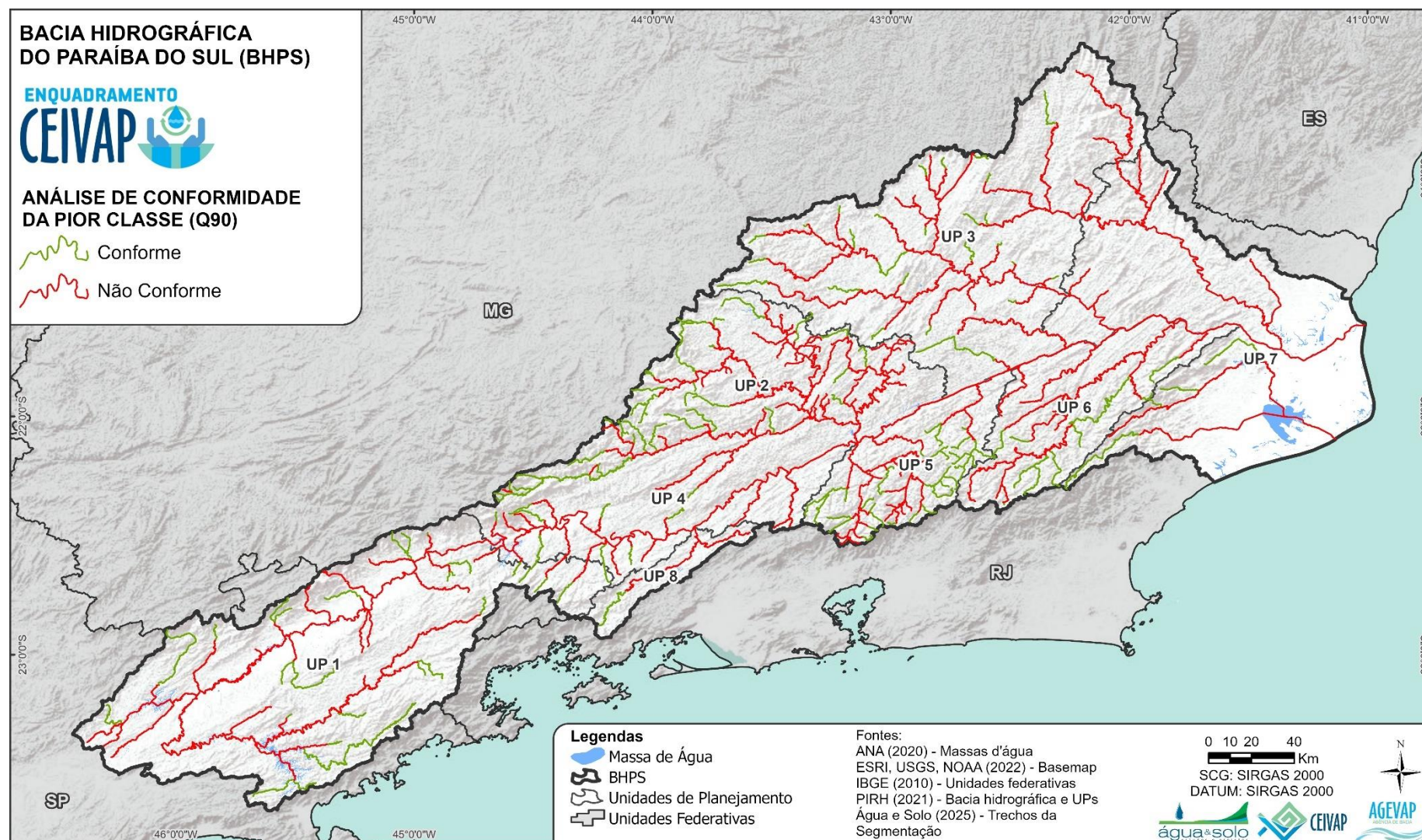


Figura 4.144. Análise de conformidade da pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q₉₀.

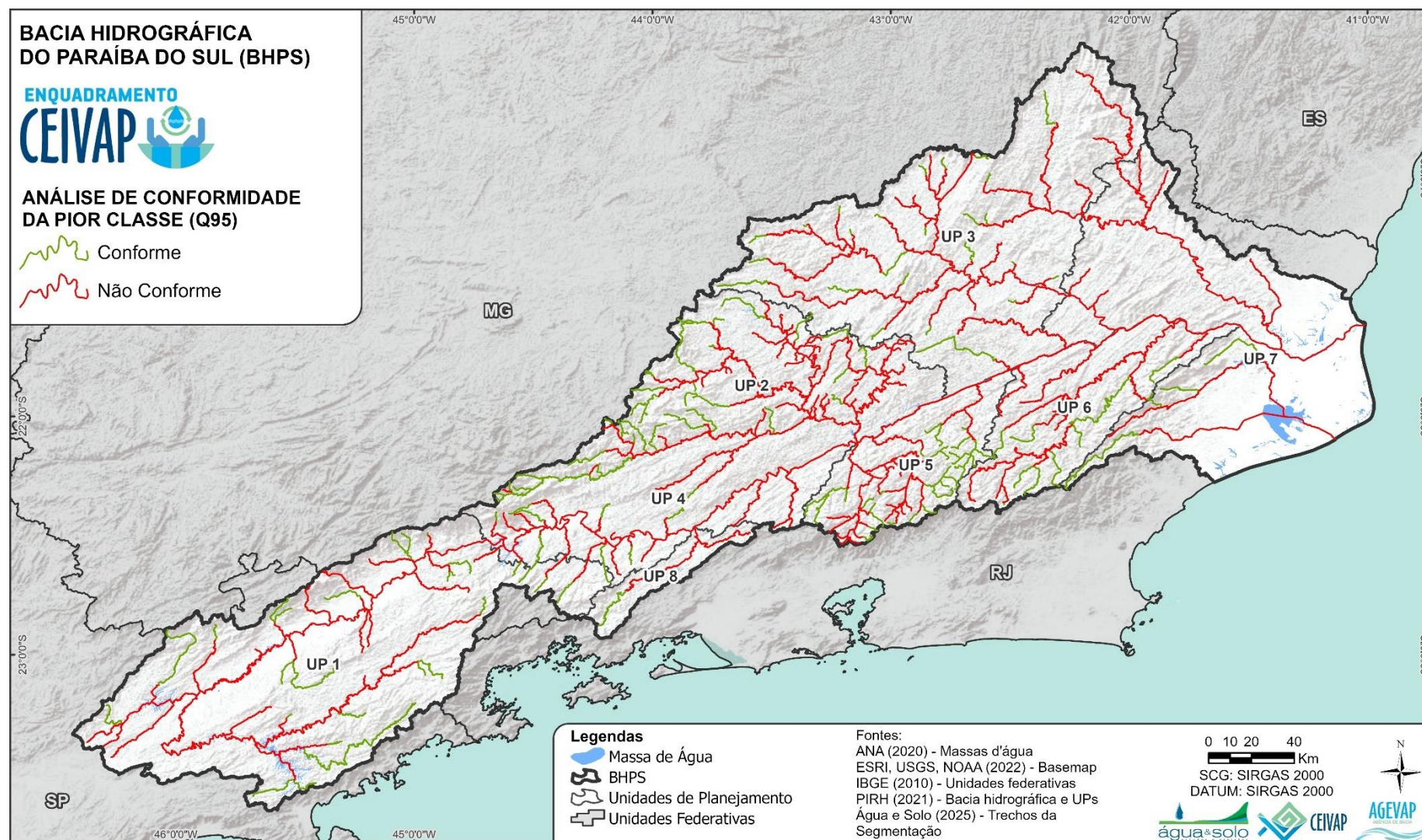


Figura 4.145. Análise de conformidade da pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q₉₅.

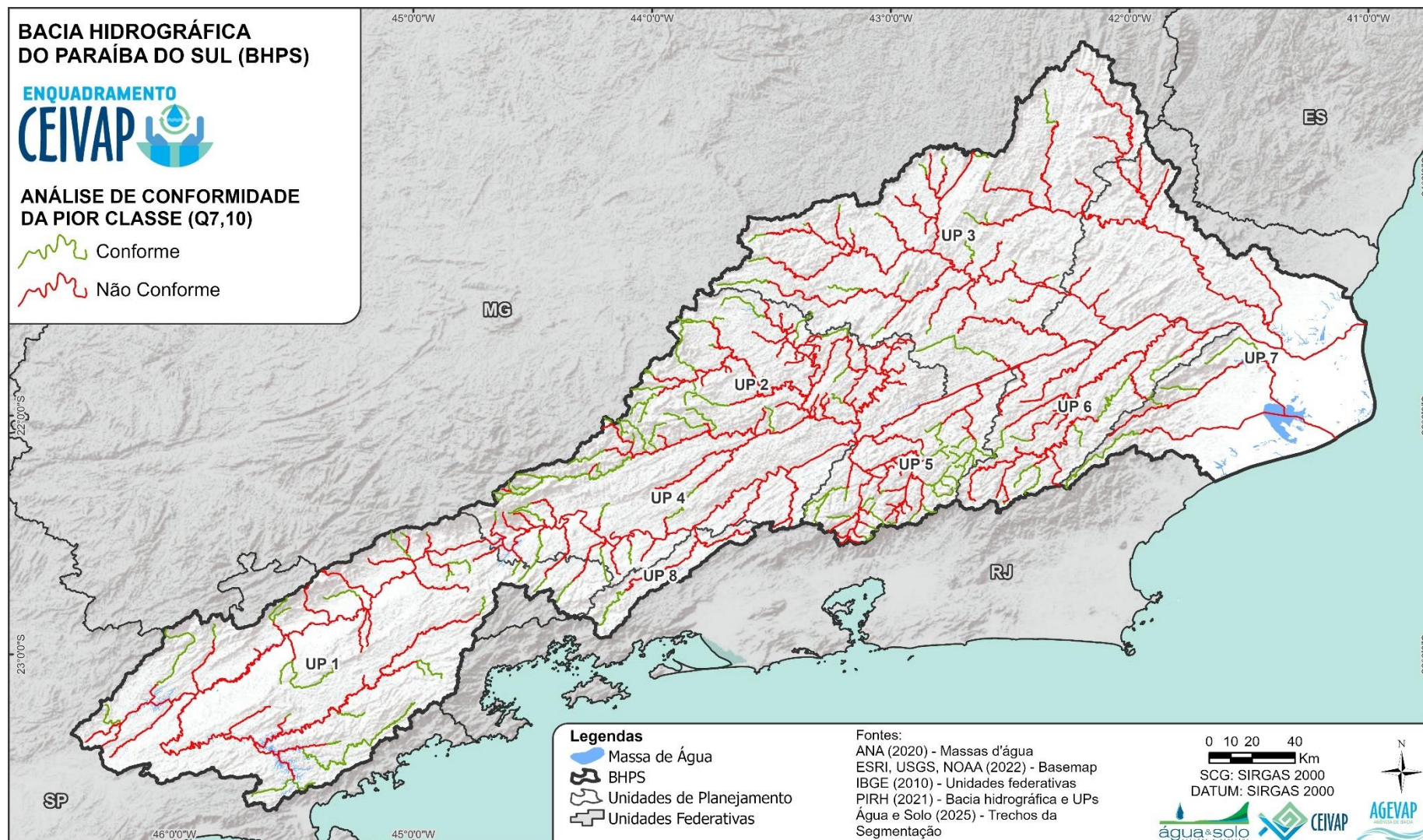


Figura 4.146. Análise de conformidade da pior classe entre 100% dos parâmetros analisados para a Q_{7,10}.

4.7 Análise da influência das cargas difusas e pontuais

A qualidade da água depende diretamente da ordem de grandeza e da frequência de aporte das cargas de poluentes em cada trecho de um curso hídrico. As cargas consideradas neste estudo são separadas em cargas difusas, que representam o uso e ocupação do solo da bacia, e em cargas pontuais, que representam os aportes de efluentes sanitários e industriais à que o trecho é submetido.

Com o objetivo de analisar a influência das cargas difusas e das cargas pontuais na qualidade dos cursos hídricos foram realizadas duas simulações adicionais para a vazão Q_{95} : uma considerando cargas pontuais zeradas, ou seja, aporte apenas de cargas difusas e outra considerando as cargas difusas zeradas, ou seja, aporte apenas de cargas pontuais.

Cabe destacar que a simulação das cargas difusas não considera aporte de metais, assim, a seguir são apresentados os resultados gerados para a simulação de cargas pontuais e cargas difusas para os parâmetros DBO, OD, coliformes, fósforo total, nitrogênio amoniacal e nitrato.

Os resultados são apresentados entre a Figura 4.147 e a Figura 4.158 para a modelagem considerando apenas cargas pontuais e na sequência apenas cargas difusas para cada parâmetro. Assim, é possível avaliar a diferença entre os resultados gerados com cada tipo de carga para cada parâmetro.

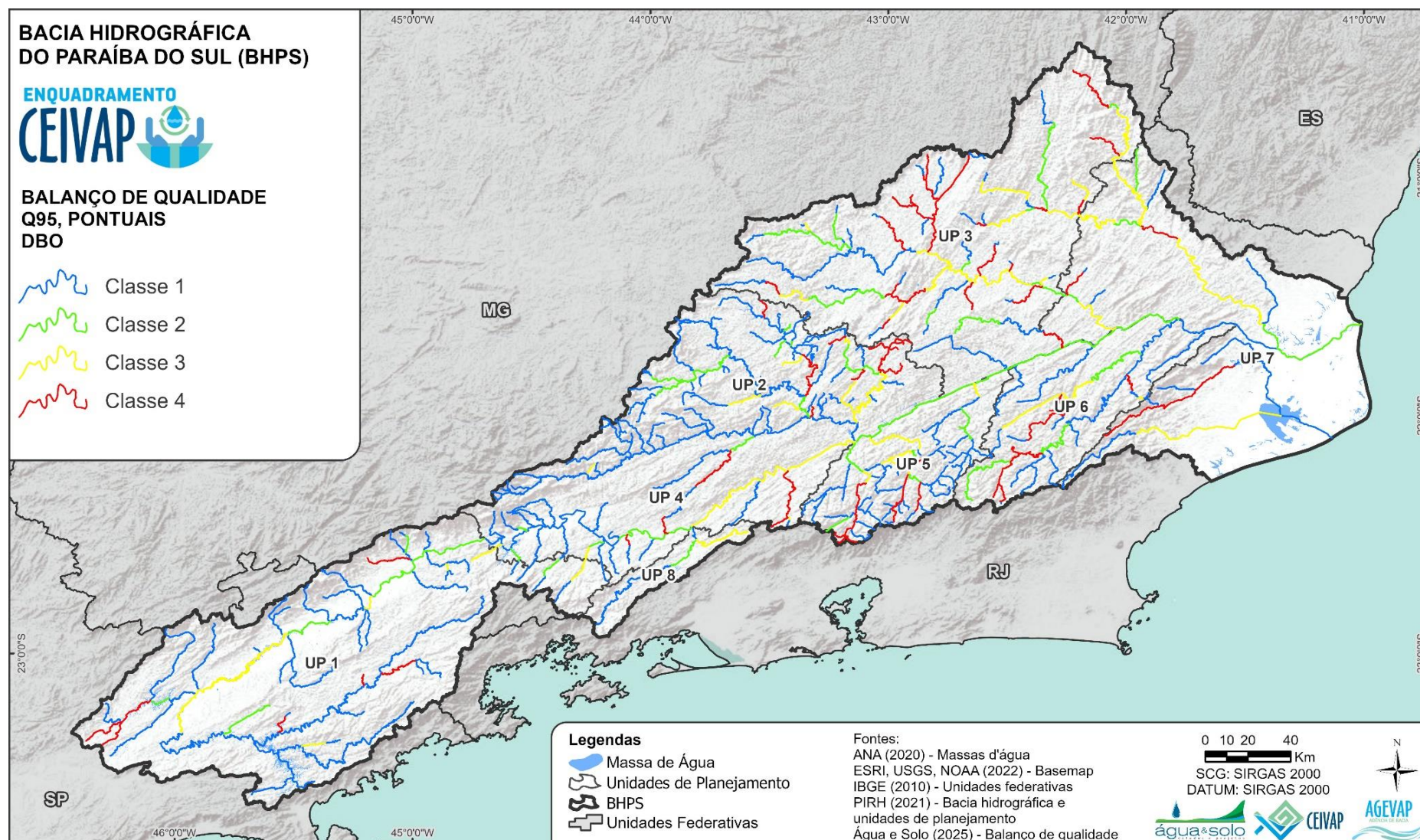


Figura 4.147. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (DBO – Q₉₅).

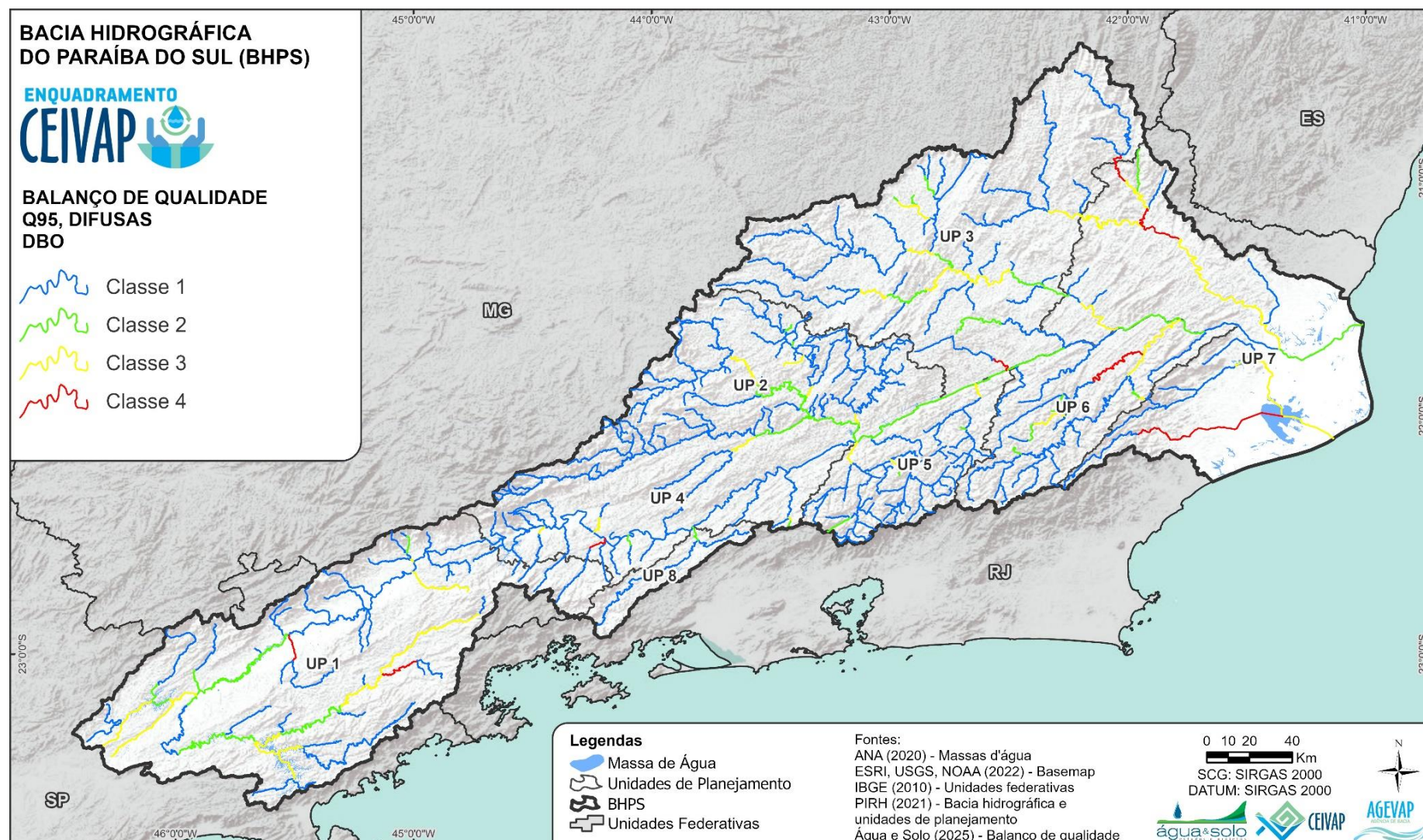


Figura 4.148. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (DBO – Q₉₅).

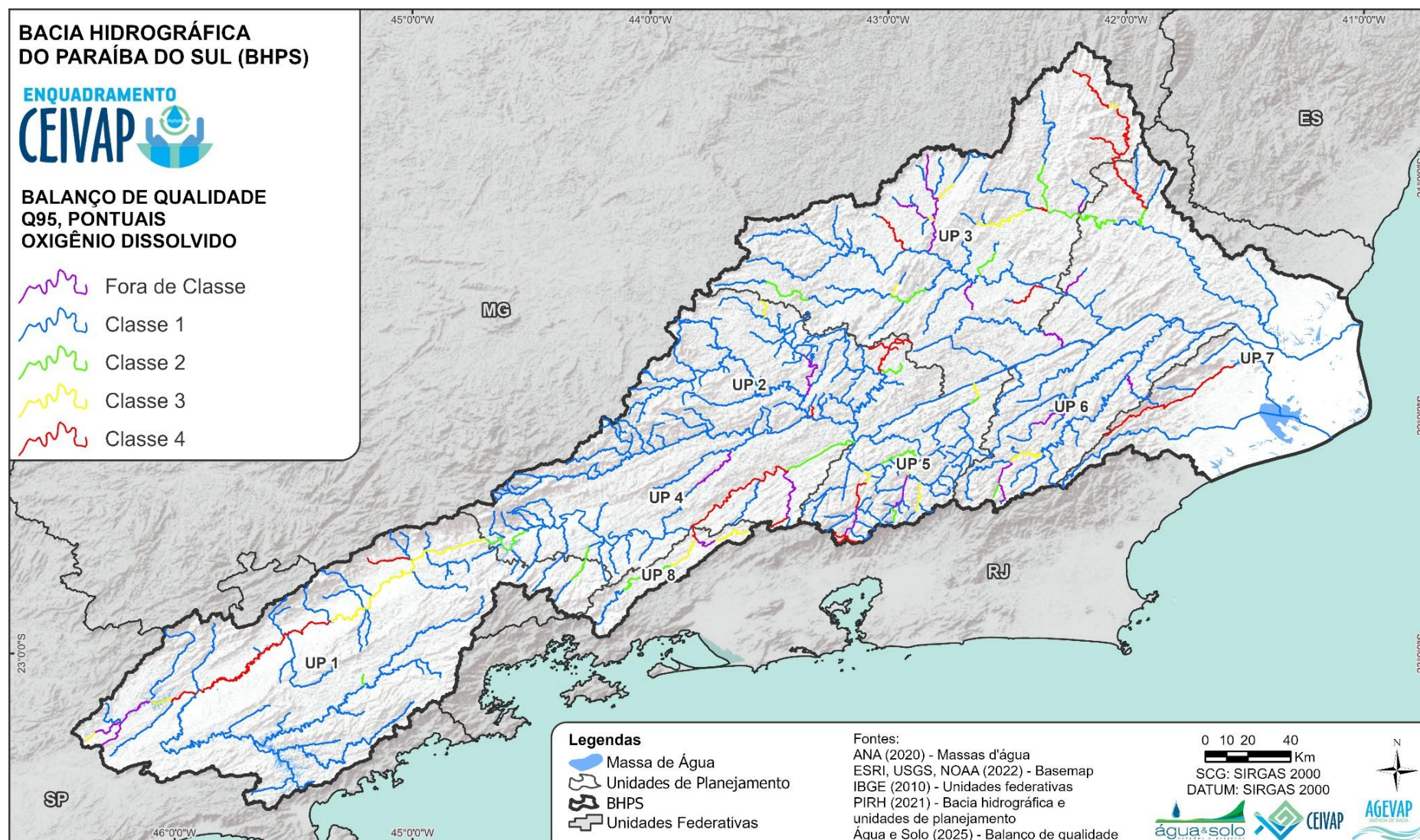


Figura 4.149. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (OD – Q₉₅).

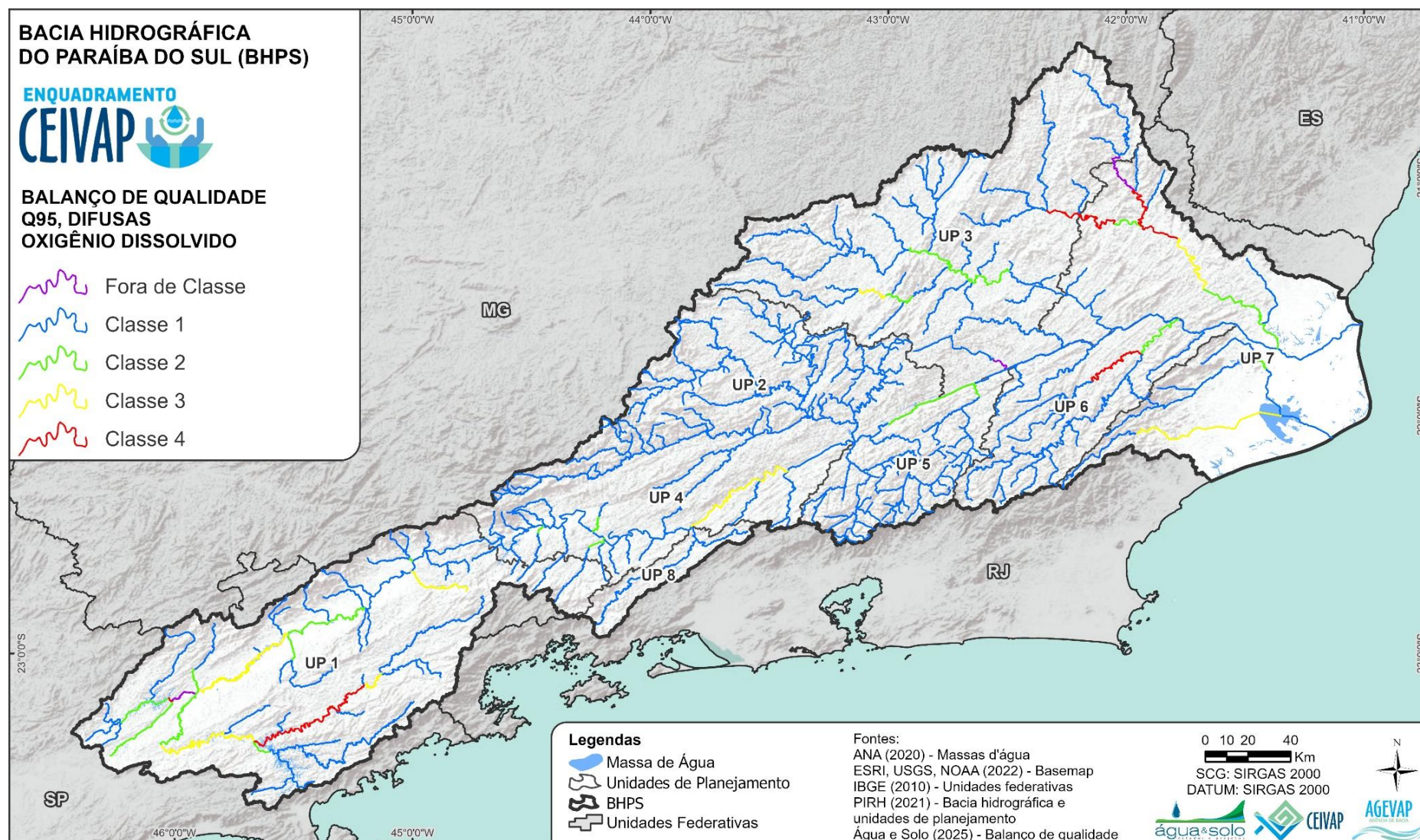


Figura 4.150. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (OD – Q₉₅).

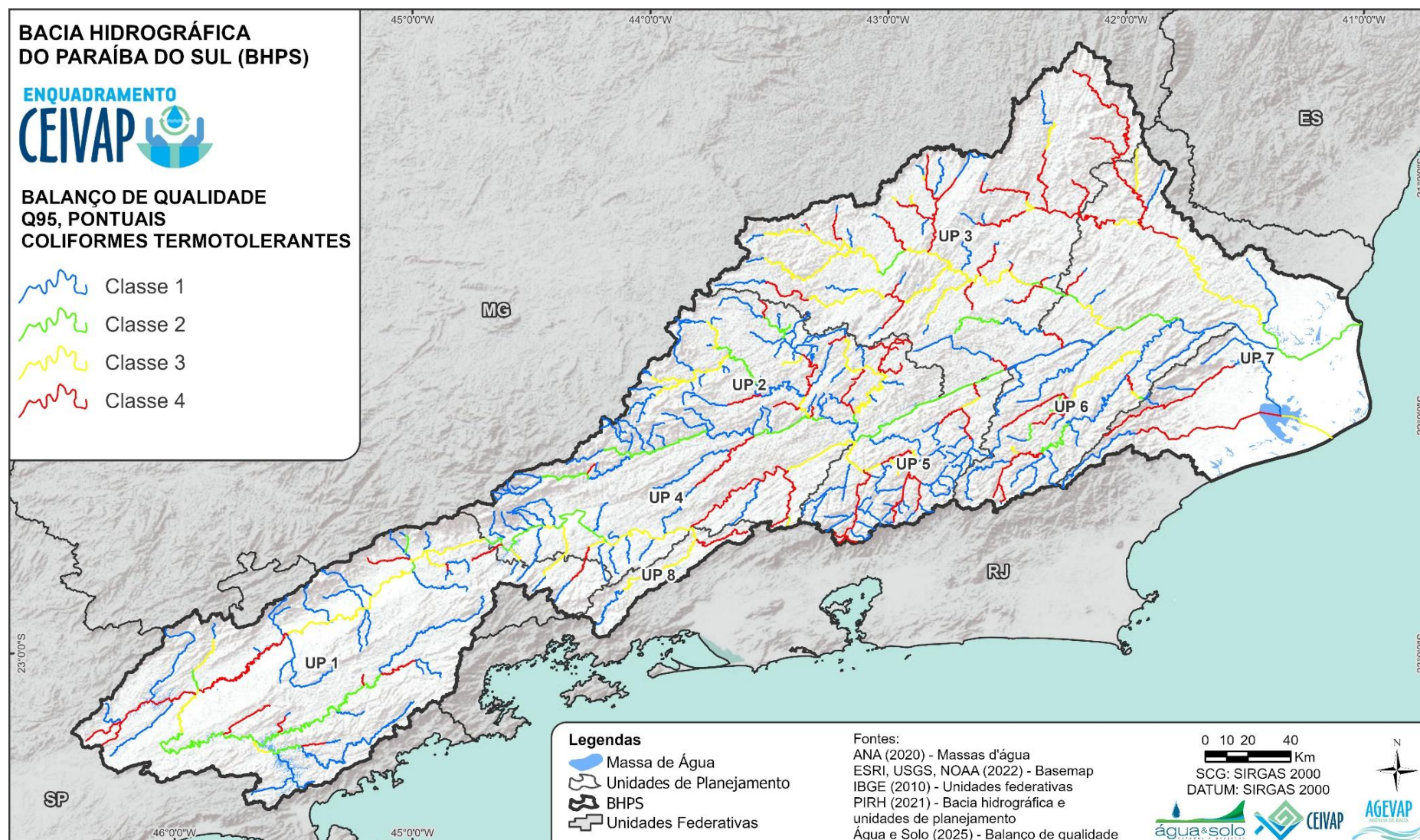


Figura 4.151. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (coliformes – Q₉₅).

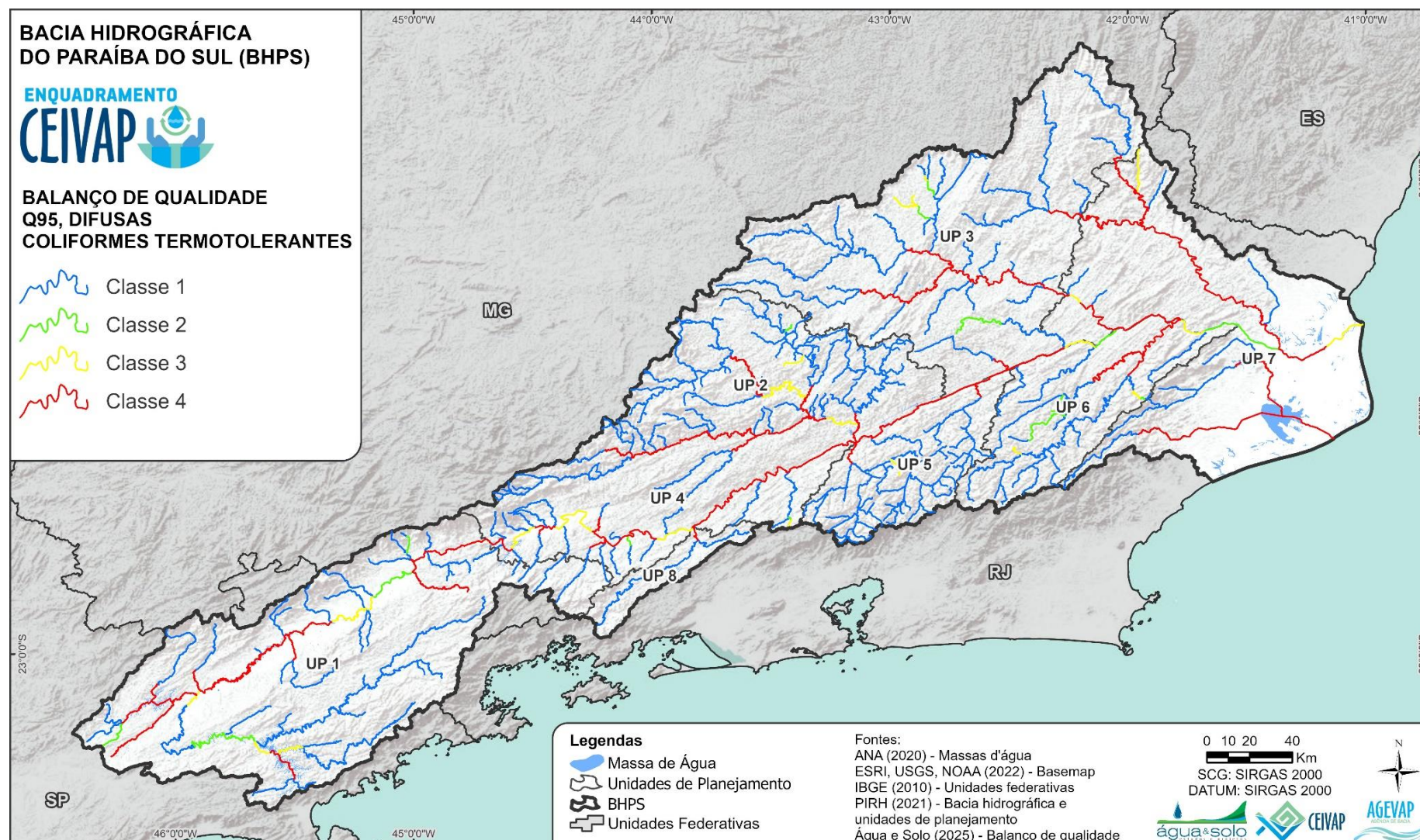


Figura 4.152. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (coliformes – Q₉₅).

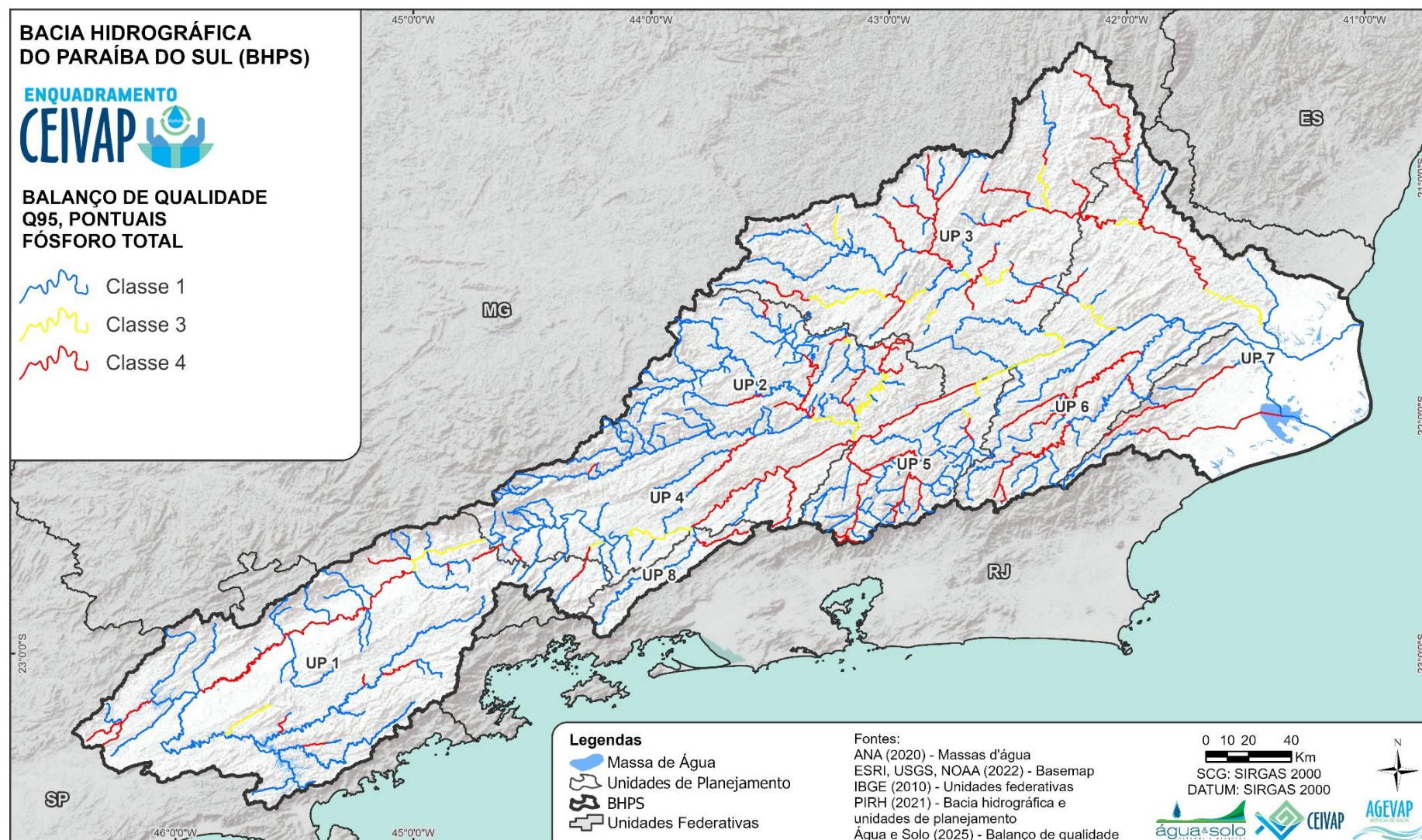


Figura 4.153. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (fósforo total – Q₉₅).

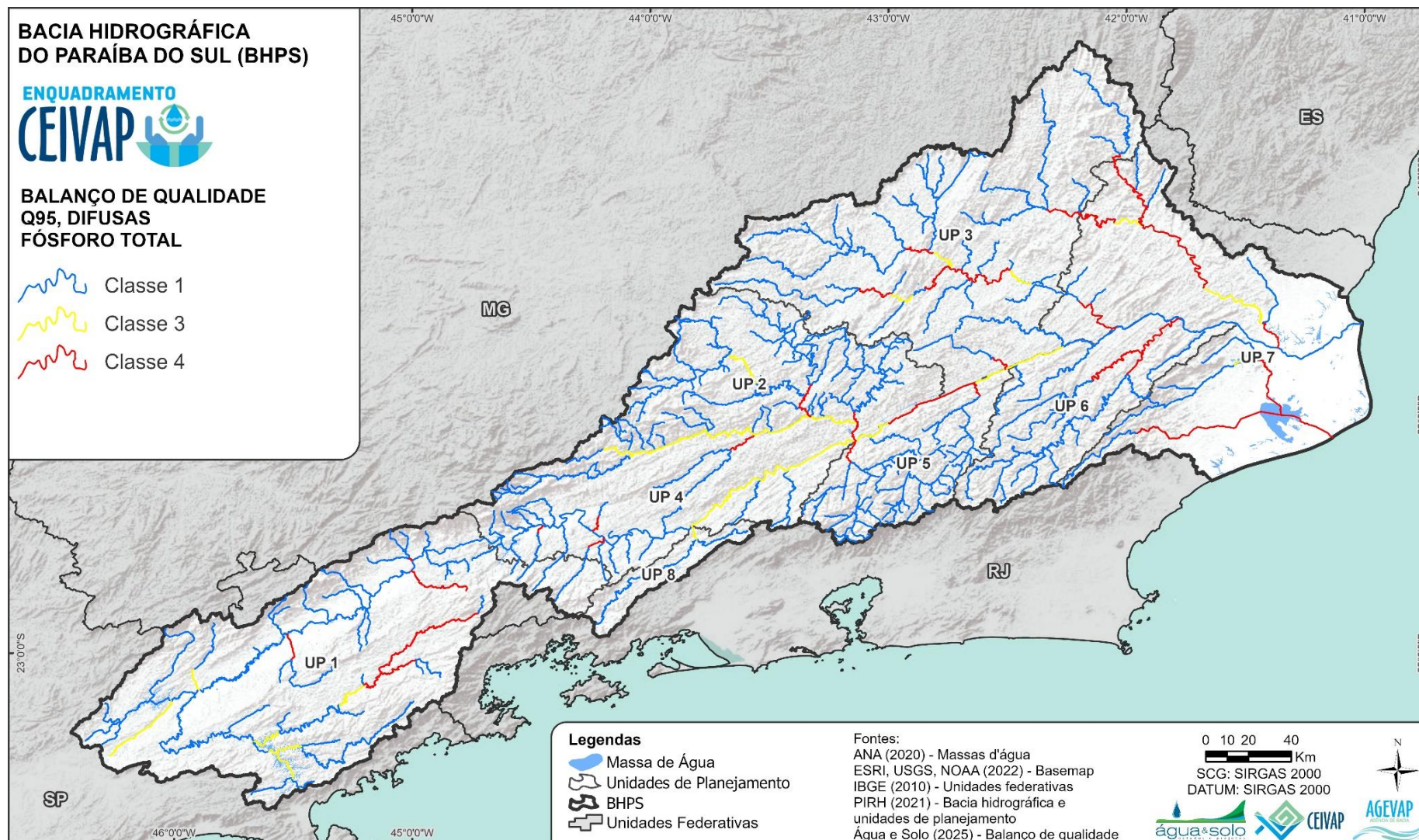


Figura 4.154. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (fósforo total – Q₉₅).

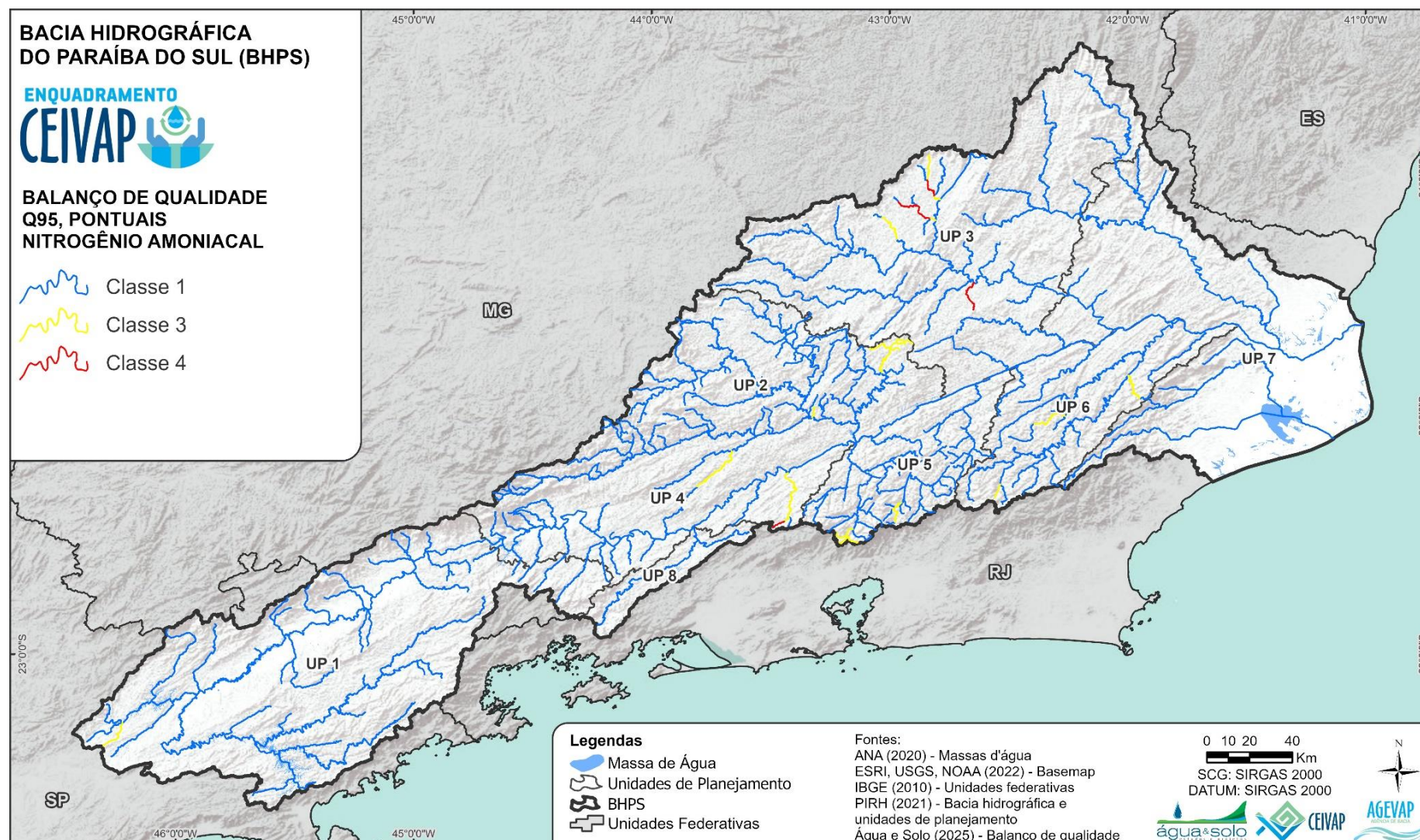


Figura 4.155. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (nitrogênio amoniacal – Q₉₅).

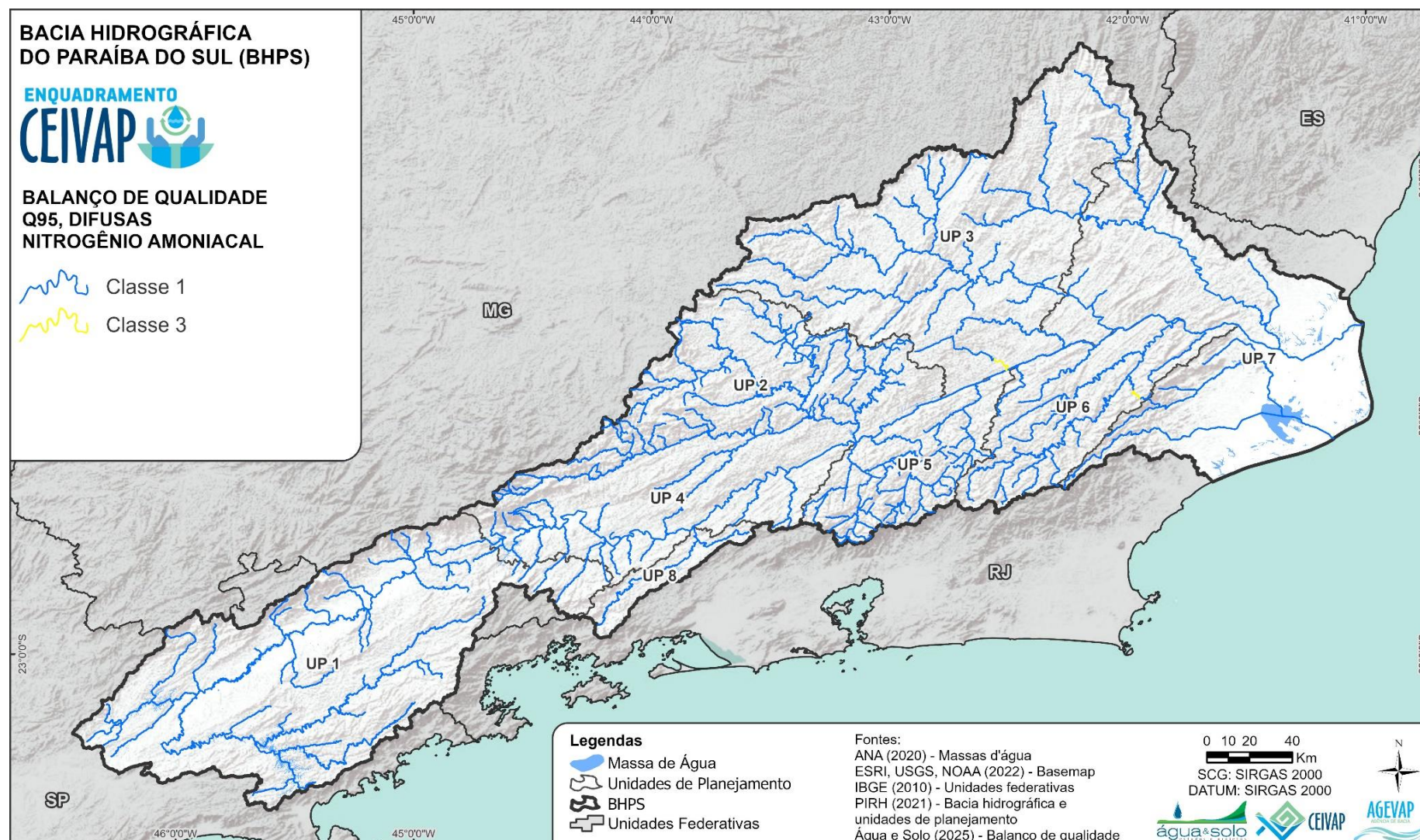


Figura 4.156. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (nitrogênio amoniacal – Q95).

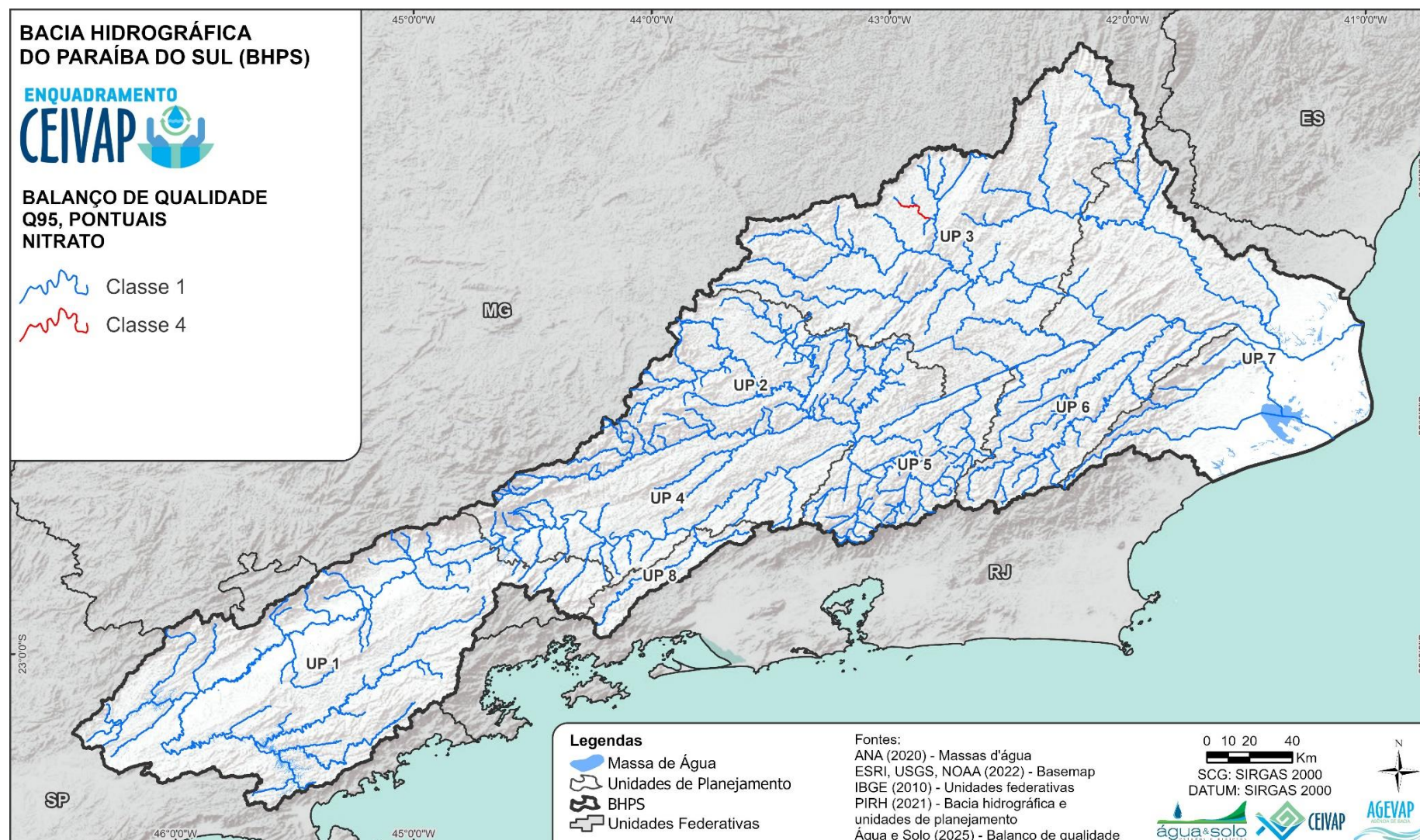


Figura 4.157. Modelagem de qualidade apenas com cargas pontuais (nitrato – Q₉₅).

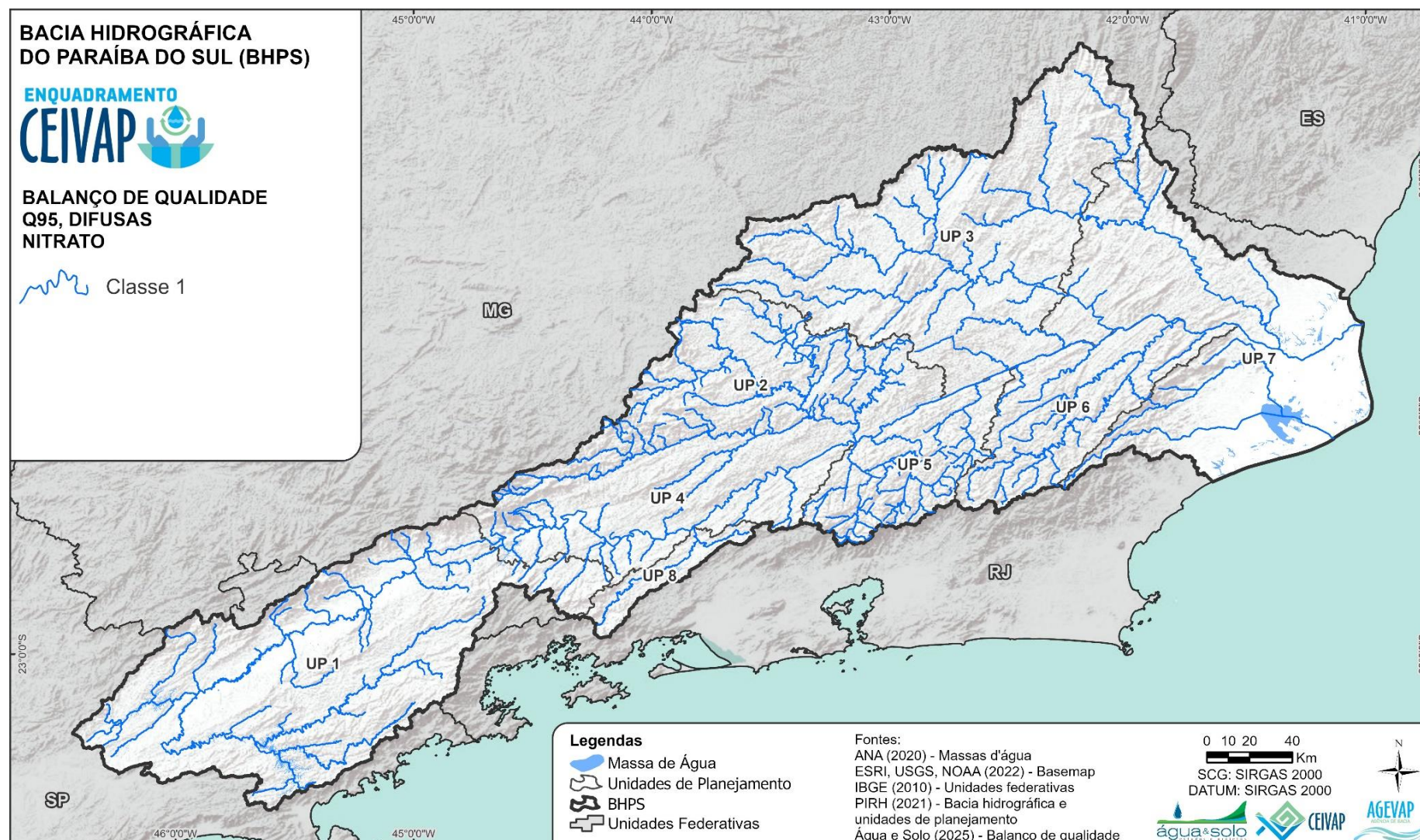


Figura 4.158. Modelagem de qualidade apenas com cargas difusas (nitrato – Q₉₅).

Para a DBO se observa que os piores resultados estão associados às cargas pontuais, que geram uma grande quantidade de trechos em classes 2, 3 e 4 ao longo de toda a BHPS. O mesmo pode ser observado em relação ao oxigênio dissolvido, que na simulação apenas com cargas difusas indicou trechos em todas as classes, porém, com grande parte da bacia em classe 1 ou 2. Uma quantidade maior de trechos com os piores resultados (classes 3, 4 e fora de classe) foram observados na simulação com cargas pontuais, localizados principalmente nas regiões com constatada ocupação urbana e industrial.

Para os coliformes termotolerantes observa-se que as cargas pontuais geram trechos de pior qualidade de forma mais distribuída na bacia, fenômeno associado aos diferentes pontos de lançamento modelados. Já as cargas difusas geram resultados piores nos trechos de rio jusante das bacias, onde considera-se que o transporte já tenha se acumulado. Isso pode ser observado principalmente na calha do rio Paraíba do Sul.

Para o nitrogênio amoniacal e para o nitrato o impacto das cargas pontuais é muito baixo, com quase todos os trechos de todas as UPs em classe 1. Já as cargas pontuais acabam impactando em alguns trechos específicos que ficaram em classe 3 ou 4.

Por fim, o fósforo segue o mesmo padrão, apresentando trechos em classe 3 e 4 tanto para a simulação apenas com cargas pontuais quanto para a simulação apenas com cargas difusas. No entanto, mais trechos são apresentados nas piores classes para a simulação com cargas pontuais, efeito provavelmente causado pelo maior número e dimensão de pontos de aporte de carga.

5 Matriz de enquadramento

A matriz de enquadramento foi desenvolvida com base na divisão da BHPS em 600 trechos, conforme segmentação apresentada no capítulo 2.4. Essa segmentação serviu como base espacial para a organização e consolidação dos dados utilizados na análise, sendo adotada de forma consistente ao longo do produto. Cada trecho constitui uma unidade de avaliação individual, sobre a qual foram reunidas informações relativas à localização, aos usos da água, à presença de UCs, ao monitoramento da qualidade e aos resultados simulados de parâmetros ambientais para cada cenário de disponibilidade hídrica.

A matriz contempla inicialmente os dados de identificação e localização dos trechos, incluindo o nome do corpo hídrico e as coordenadas geográficas dos pontos inicial e final de cada segmento. Em seguida, foram incorporadas as informações referentes à dominialidade e aos pontos de monitoramento existentes associados aos trechos. Foram considerados ao todo 388 pontos de monitoramento, oriundos de diferentes redes estaduais e federais, incluindo dados da ANA, IGAM, INEA, CETESB, CBHs afluentes (como Piabanha e MPS) e do programa Monitorar, coordenado pelo CEIVAP. Esses pontos foram fundamentais tanto para a caracterização da situação atual da qualidade da água quanto para a calibração e verificação dos resultados da modelagem.

Também são apresentados os usos da água identificados, obtidas por meio da consolidação de dados dos cadastros do CNARH, IGAM, INEA e DAEE (SP Águas). Além dessas fontes oficiais, foram consideradas as contribuições qualitativas obtidas nas oficinas participativas com os comitês afluentes, permitindo a incorporação de informações locais e a identificação de usos não formalmente cadastrados. Além dos usos identificados, foram incluídos os usos mais exigentes entre os identificados, ou seja, aquele que requer a melhor classe de qualidade da água. Ainda, foi incluída a respectiva classe necessária.

As fontes poluidoras foram incluídas através do cruzamento dos pontos inseridos como cargas pontuais (sanitárias e industriais) e difusas no modelo de qualidade da água. Através desta coluna é possível identificar em quais trechos há aporte de cargas (fontes poluidoras). Ela tende a evidenciar locais com maior concentração de indústrias e indicar os pontos de entrada das cargas sanitárias e difusas. Destaca-se, no entanto, que ela apresenta um resumo dos pontos inseridos na modelagem de qualidade da água, mas o aporte de cargas pode ser diferente na bacia, como é para as cargas difusas.

A matriz também registra a informação do enquadramento vigente, para as bacias estaduais do Preto-Paraibuna (UP2), estabelecido através da Deliberação Normativa COPAM nº 016, de 24 de setembro de 1996 e para a bacia do Paraíba do Sul – trecho paulista (UP1), estabelecido pelo Decreto nº 10.755/1977. Ressalta-se que os enquadramentos em questão não delimitam o início e final dos trechos com coordenadas. Assim, a avaliação da correlação com a segmentação proposta e o enquadramento estadual vigente não é exata e foi realizada através de arquivos geoespaciais disponíveis no portais estaduais.

Ainda é indicada a presença de UCs sobre os trechos, distinguindo aquelas de proteção integral e de uso sustentável, de modo a evidenciar áreas com exigências ambientais diferenciadas, o que pode influenciar na definição de metas de qualidade mais restritivas. Cabe destacar que, embora a nível federal a Lei nº 9.985 não considere as RPPN como de proteção integral (BRASIL, 2000), no Rio de Janeiro o Decreto nº 40.909 de 2007 as considera como de Proteção Integral (RIO DE JANEIRO, 2007). Também foram avaliadas informações quanto às terras indígenas, mas conforme apresentado no diagnóstico, a BHPS não possui terras indígenas demarcadas. Ainda, foram consideradas as áreas urbanas. Para sua identificação, foi utilizado o arquivo geoespacial do MapBiomas e aplicado um *buffer* de 100m sobre essas áreas. Foram considerados os trechos onde há o cruzamento com uma ou mais áreas urbanas.

É apresentada a informação do cruzamento dos trechos com ambientes lênticos ou intermediários com vulnerabilidade suscetibilidade a eutrofização, onde a informação foi obtida através das massas de água existentes na bacia (reservatórios, lagoas). Também se apresenta as áreas de mananciais de interesse à preservação da qualidade para o abastecimento público. Essa informação foi obtida através de uma análise condicional, onde o trecho foi considerado como de interesse à preservação quando passa por áreas urbanas, industriais e há captações para abastecimento humano.

Na sequência, são apresentados os valores simulados dos parâmetros de qualidade da água, na seguinte ordem: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, alumínio e manganês, que estão dispostos na matriz para diferentes cenários de vazão (Q₁₀, Q₂₅, Q₅₀, Q₇₅, Q₉₀, Q₉₅ e Q_{7,10}).

Com base nesses valores, foi realizada a atribuição de classes de qualidade segundo os critérios da Resolução CONAMA nº 357/2005, resultando em uma classificação preliminar de cada trecho em relação a cada parâmetro e cenário hidrológico.

A estrutura final da matriz permite uma leitura integrada dos aspectos territoriais, ambientais e regulatórios de cada trecho da bacia, oferecendo suporte técnico essencial para a formulação das alternativas de enquadramento que serão analisadas nas etapas subsequentes do projeto. A matriz pode ser verificada no arquivo editável (planilha) do Anexo IV – Matriz de enquadramento.

6 Considerações finais

As análises realizadas ao longo deste relatório permitiram caracterizar de forma integrada a situação atual da qualidade da água na BHPS, com base em diferentes cenários de vazão de referência e parâmetros de qualidade. A modelagem foi aplicada a toda a bacia, fornecendo subsídios técnicos fundamentais para a construção de propostas de enquadramento compatíveis com os usos atuais e desejados da água.

A calibração do modelo demonstrou boa aderência aos dados observados, permitindo representar com fidelidade o comportamento hidrológico e os padrões de qualidade da água nos trechos modelados. Essa abordagem possibilitou um diagnóstico espacial detalhado, que considera não apenas os aspectos físicos e ambientais, mas também os usos antrópicos e as pressões associadas.

Quanto à qualidade da água no cenário atual, os parâmetros DBO, OD e coliformes termotolerantes se destacaram como os mais críticos, com grande parte da bacia apresentando classificação em classe 4, mesmo sob cenários de maior vazão (Q_{10}). Conforme apresentado na análise de conformidade, item 4.4, estes parâmetros apresentaram os maiores valores de não conformidade ao enquadramento atual. Ainda, conforme apresentado no item 4.5, foram os parâmetros removidos mais vezes na análise de 75% dos melhores parâmetros, repetidamente ficando entre os 2 piores parâmetros simulados nos trechos da BHPS.

Ainda, observa-se que para a maioria dos parâmetros, há melhora expressiva na qualidade da água em cenários de vazão média e alta, permitindo a classificação em classe 1 ou 2. Este fenômeno ocorre pela maior capacidade de diluição das maiores vazões sob a influência dos mesmos aportes de carga poluidora.

De forma consolidada, os resultados obtidos evidenciam os principais desafios técnicos e estruturais para o enquadramento da BHPS, ressaltando a necessidade de uma abordagem integrada que articule gestão da demanda, controle da poluição, uso e ocupação do solo, e recuperação ambiental.

As informações geradas neste relatório, tiveram como finalidade subsidiar a análise do cenário atual de qualidade da água da BHPS, no âmbito da etapa técnico-propositiva do enquadramento. Elas compõem parte da base analítica necessária para a formulação de propostas de enquadramento por trecho, com definição de metas progressivas de

qualidade, estimativas de ações, custos e viabilidade. Esses resultados ainda serão complementados pelo Produto 4 - Modelagem de Qualidade da Água na Situação Futura, que apresentará um prognóstico considerando três cenários e três horizontes temporais. Esses elementos servirão de insumo para a próxima fase do processo — a etapa político-institucional — na qual as alternativas serão discutidas e pactuadas pelos comitês e instâncias deliberativas da bacia.

Referências bibliográficas

- AMARO, C. A.; PORTO, M. F. do A. Proposta de um Índice para Avaliação de Conformidade da Qualidade dos Corpos Hídricos ao Enquadramento. *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2009. 17 p. (Simpósio—Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos).
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. Volume 5. 2013. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/planoDeRecursosHidricosEnquadramento.pdf>>. Acesso em: junho de 2023.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Águas: Segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília, DF. 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf>.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília, DF. 2017.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Cadastro de lançamento de efluentes industriais. Brasília, DF. 2023
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Hidrografia Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) 6 5K. Brasília, DF. 2022. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/f7b1fc91-f5bc-4d0d-9f4f-f4e5061e5d8f>
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Massas d'Água. Brasília, DF. 2020. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC e dá outras providências. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm

CCME. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update. 2017. Disponível em: <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>

CEIVAP. COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PIRH-PS). Resende, RJ. 2021. Disponível em: <https://sigaaguas.org.br/home/apps/repositorio/?#>

CNUC. CADASTRO NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. Shapefiles das Unidades de Conservação com registro ativo no CNUC. 2024. Disponível em: <https://dados.mma.gov.br/dataset/unidadesdeconservacao/resource/9ec98f66-44ad-4397-8583-a1d9cc3a9835>

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357/2005, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=459>.

CORRÊA, L. P. Nutrientes (N e P) na bacia hidrográfica do rio Muriaé, afluente do rio Paraíba do Sul, em um período atípico de seca. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2021.

FROTA, M. N.; FRANÇA, G. B.; DE SOUZA; E. P.; DE ARAUJO; A. A. M.; GODOY; J. M.; VIANA, L. Q. O ciclo das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: Uma ferramenta estratégica de gestão integrada do sistema hidrelétrico. Editora PIC-Rio, 2023. 340 p. Disponível em: < http://www.editora.puc-rio.br/media/29_PUC_ciclo_aguas_ebook_fz.pdf >. Acesso em: janeiro de 2024.

FUNAI. FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. Terras indígenas. Brasília, DF. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>.

HGE – Hidrologia em Grande Escala (2017) WARM-GIS Tools. Disponível em:
<https://www.ufrgs.br/lsh/products/warm-gis-tools>.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Áreas urbanizadas do Brasil 2019. Rio de Janeiro, RJ. 2019. Disponível em:
<http://ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2022: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em:
<https://censo2022.ibge.gov.br>.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malhas municipais e limites das Unidades da Federação. Rio de Janeiro, RJ. 2010. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>.

ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Planos de Ação Nacional para a Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção. Áreas prioritárias disponibilizadas pelo Núcleo PANs ICMBio/CEPTA. Brasília, DF. 2023. Disponibilizado por email.

ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Unidades de Conservação Federais. Brasília, DF. 2023. Disponível em:
<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/limites-oficiais-das-unidades-de-conservacao-federais>.

IDE-SISEMA-MG. INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS. Unidades de Conservação. Belo Horizonte, MG. 2023. Disponível em:
https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/search?facet.q=type%2Fdataset&resultType=details&sortBy=changeDate&fast=index&_content_type=json&from=1&to=100&any=UC.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Cadastro de lançamento de efluentes industriais. Belo Horizonte, MG. 2022

INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Áreas Quilombolas. Brasília, DF. 2024. Disponível em:

https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py?code=eyJraWQiOiJjb2RIQ3J5cHRvZ3JhcGh5liwiYWxnIjoizGlyliwiZW5jIjoQT11NkdDTSJ9..xSQQvZsbNuaUkOlp.vVJoutlX5ALUoI1nJEbDSTH11CKympEy8gNvLIQFZHmAYQ.UYUQvg1VgJpGWm1VIEcemw.

INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Áreas Protegidas. Rio de Janeiro, RJ. 2024. Disponível em:

<https://geoportal.inea.rj.gov.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=d40de9b2dd2243ccb777971cef2eb14e>.

INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Cadastro de lançamento de efluentes industriais. Rio de Janeiro, RJ. 2023.

KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. (2013). "Integrando Sistema de Suporte à Decisão para Gerenciamento de Recursos Hídricos a um SIG de Código Aberto" in Anais do XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos. Bento Gonçalves.

KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. (2017). Manual Teórico Prático da ferramenta WARM-GIS Tools

MAPBIOMAS. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. MapBiomass. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. Van; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50, 885-900. 2007.

NIPPON KOEI LAC – REGEA – RHAMA (2025). Produto 4 – Balanço Hídrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Estudo de atualização do quadro de demandas hídricas e atualização dos balanços hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. 2025.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE S.A. (2024). Estudo de Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Contratação de empresa especializada para realização do estudo das disponibilidades hídricas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba Do Sul (EDH-PS). 2024.

RAMOS, G.S.; MARÇAL, M.S.; CABRAL, G. K. P. Geomorphological Classification of Rivers in Environments Modified and Controlled by Human Activities: The Case of

the Piraí River (RJ) /Classificação de Rios em Ambientes Modificados e Controlados por Atividades Humanas: O Caso do Rio Piraí (RJ). William Morris Davis - Revista de Geomorfologia, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 1–23, 2023. DOI: 10.48025/ISSN2675-6900.v4n2.2023.405. 2023. Disponível em: <https://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/243>. Acesso em: jan. 2024.

RIO DE JANEIRO. Decreto nº 40.909, de 17 de agosto de 2007. Dispõe sobre a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) como Unidade de Conservação da Natureza de Proteção Integral no território do Estado do Rio de Janeiro, estabelece critérios e procedimentos administrativos para sua criação, estímulos e incentivos para a implementação e determina outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 17 ago. 2007. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/Decreto-Estadual-n%C2%B0-40909-2007.pdf>.

SIGAM - FUNDAÇÃO FLORESTAL. SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO AMBIENTAL DA FUNDAÇÃO FLORESTAL. São Paulo, SP. 2023. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/?ctx=UC#>.

SILVA, P. V. R. M.; PECLY, J. O. G.; AZEVEDO, J. P. S. Uso de traçadores fluorescentes para determinar características de transporte e dispersão no Rio Piabanha (RJ) para a modelagem quali-quantitativa pelo HEC-RAS. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, V. 22, n. 3, p. 463–472. DOI: 10.1590/S1413-41522017150187. 2017. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/esa/a/tpC7BYmSkdm4jxyPK7j6QtK/#> >. Acesso em: jan. 2024.

SILVA, R. R. Bacia do rio Pomba (MG): uso e ocupação do solo e impactos ambientais nos recursos hídricos. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, 2014.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Série Histórica. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Versão 2024.006. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/>.

SPERLING, M. V. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. UFMG. 2007.

Anexo I – Cargas de esgotamento sanitário

Resultados das concentrações dos efluentes domésticos em cada município da BHPS conforme a metodologia descrita no item 3.3.5.

Municípios	DBO (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Fósforo Orgânico (mg/L)	Fósforo Inorgânico (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
Além Paraíba	414,53	26,87	34,54	2,30	13,05	7.676,31
Antônio Prado de Minas	447,42	29,03	37,32	2,49	14,10	8.280,03
Aparecida	164,78	16,32	25,48	1,63	9,23	3.051,30
Aperibé	811,38	52,62	67,65	4,51	25,56	15.020,62
Aracitaba	467,33	30,29	38,95	2,60	14,71	8.654,08
Arapeí	227,63	14,04	17,29	1,54	8,74	4.257,22
Areal	364,60	23,86	30,68	2,05	11,59	6.708,64
Areias	131,39	8,52	10,95	0,73	4,14	2.433,15
Argirita	142,66	6,49	7,63	0,87	4,94	2.116,55
Arujá	300,69	24,67	34,52	2,11	11,98	5.549,41
Astolfo Dutra	438,98	28,45	36,58	2,44	13,82	8.129,16
Bananal	212,74	26,47	38,11	2,27	12,86	3.634,32
Barão de Monte Alto	449,79	29,17	37,50	2,50	14,17	8.326,46
Barra do Piraí	318,52	20,55	26,28	1,82	10,33	5.882,59
Barra Mansa	601,24	38,98	50,11	3,34	18,93	11.132,56
Belmiro Braga	400,88	25,98	33,41	2,23	12,62	7.423,68
Bias Fortes	1.013,98	65,73	84,50	5,63	31,92	18.776,48
Bicas	424,93	27,54	35,41	2,36	13,38	7.869,00
Bom Jardim	434,37	28,34	36,44	2,43	13,77	8.008,14
Caçapava	120,42	21,83	32,33	1,87	10,60	2.122,60
Cachoeira Paulista	128,92	23,30	34,13	2,00	11,32	2.633,17
Cambuci	875,66	56,83	73,07	4,87	27,60	16.201,80
Campos dos Goytacazes	272,58	28,61	43,28	2,98	16,90	5.693,33
Canas	194,63	25,03	35,92	2,15	12,16	3.541,33
Cantagalo	592,70	38,47	49,47	3,30	18,69	10.964,91
Carangola	343,86	21,77	27,90	1,91	10,83	6.256,30
Cardoso Moreira	265,98	17,40	22,37	1,49	8,45	4.894,92
Carmo	956,54	62,06	79,79	5,32	30,14	17.702,22
Cataguases	481,27	31,20	40,11	2,67	15,15	8.912,22
Chácara	414,14	26,85	34,53	2,30	13,04	7.667,25
Chiador	183,29	11,89	15,29	1,02	5,78	3.391,99
Comendador Levy Gasparian	454,86	29,49	37,91	2,53	14,32	8.422,66
Conceição de Macabu	827,40	53,84	69,22	4,61	26,15	15.281,85
Cordeiro	790,95	51,29	65,95	4,40	24,91	14.642,15
Coronel Pacheco	205,15	13,30	17,10	1,14	6,46	3.798,56
Cruzeiro	443,69	28,76	36,97	2,46	13,97	8.216,44
Cunha	226,98	14,73	18,94	1,26	7,16	4.199,01
Descoberto	440,24	28,54	36,70	2,45	13,86	8.150,98
Divino	480,52	31,17	40,07	2,67	15,14	8.894,34
Dona Euzébia	418,06	27,10	34,84	2,32	13,16	7.741,26
Duas Barras	907,82	59,45	76,44	5,10	28,88	16.694,54
Engenheiro Paulo de Frontin	431,05	28,92	37,18	2,48	14,05	7.795,87
Estrela Dalva	405,65	26,29	33,80	2,25	12,77	7.512,02
Eugenópolis	441,43	28,61	36,79	2,45	13,90	8.174,50
Ewbank da Câmara	220,56	14,30	18,39	1,23	6,95	4.083,68
Faria Lemos	446,62	28,96	37,23	2,48	14,07	8.268,80
Fervedouro	500,74	32,46	41,73	2,78	15,77	9.272,07
Goianá	400,03	25,96	33,38	2,23	12,61	7.401,72
Guarani	114,24	7,41	9,52	0,63	3,60	2.115,01
Guarará	475,67	30,83	39,64	2,64	14,97	8.808,49

Municípios	DBO (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Fósforo Orgânico (mg/L)	Fósforo Inorgânico (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
Guararema	351,84	24,51	32,35	2,17	12,29	6.486,88
Guaratinguetá	350,99	25,10	33,81	2,23	12,64	6.613,33
Guidoval	384,64	24,93	32,06	2,14	12,11	7.122,23
Guiricema	395,01	25,62	32,94	2,20	12,44	7.312,33
Igaratá	162,04	16,52	22,65	1,42	8,02	3.078,43
Italva	344,98	22,38	28,78	1,92	10,87	6.383,65
Itamarati de Minas	498,76	32,33	41,57	2,77	15,70	9.235,52
Itaocara	560,43	36,34	46,72	3,11	17,65	10.375,51
Itaperuna	423,33	27,45	35,29	2,35	13,33	7.838,05
Itatiaia	126,92	8,25	10,61	0,71	4,01	2.345,57
Jacareí	188,65	18,93	27,57	1,81	10,24	3.865,94
Jambeiro	150,75	9,78	12,12	1,04	5,90	2.958,55
Juiz de Fora	387,67	25,69	33,52	2,24	12,70	7.165,41
Lagoinha	215,89	24,99	34,84	2,14	12,14	4.518,86
Laje do Muriaé	360,63	23,38	30,06	2,00	11,35	6.677,72
Laranjal	450,21	29,19	37,53	2,50	14,18	8.335,42
Lavrinhas	418,38	27,05	34,71	2,35	13,30	7.744,92
Leopoldina	411,54	26,68	34,30	2,29	12,96	7.620,43
Lima Duarte	561,75	36,44	46,85	3,12	17,70	10.397,11
Lorena	70,68	23,27	34,73	1,99	11,30	2.020,40
Macuco	247,14	16,02	20,60	1,37	7,78	4.576,11
Mar de Espanha	445,30	28,87	37,11	2,47	14,02	8.245,61
Maripá de Minas	423,65	27,46	35,30	2,35	13,34	7.845,35
Matias Barbosa	468,32	30,37	39,04	2,60	14,75	8.670,06
Mendes	124,19	8,14	10,47	0,70	3,96	2.281,78
Mercês	501,18	32,49	41,78	2,79	15,78	9.279,22
Miguel Pereira	528,73	36,04	45,77	3,34	18,94	10.016,20
Miracema	899,69	58,36	75,03	5,00	28,34	16.652,80
Miradouro	478,59	31,04	39,91	2,66	15,08	8.859,05
Mirai	443,22	28,73	36,94	2,46	13,95	8.207,62
Monteiro Lobato	292,12	22,01	29,73	1,89	10,69	5.495,35
Muriaé	314,30	23,65	31,51	2,06	11,68	6.170,87
Natividade	436,36	28,31	36,39	2,43	13,75	8.076,19
Natividade da Serra	353,45	28,38	40,13	2,62	14,84	6.789,82
Nova Friburgo	212,47	24,40	38,83	2,47	14,02	4.225,48
Olaria	319,41	20,70	26,62	1,77	10,06	5.914,92
Oliveira Fortes	482,14	31,25	40,18	2,68	15,18	8.928,57
Orizânia	530,21	34,41	44,24	2,95	16,71	9.809,82
Paiva	736,58	47,75	61,39	4,09	23,19	13.638,30
Palma	466,60	30,25	38,90	2,59	14,69	8.638,74
Paraíba do Sul	422,87	27,42	35,26	2,35	13,32	7.827,83
Paraibuna	494,07	32,10	41,27	2,75	15,59	9.134,32
Passa Vinte	381,85	24,75	31,82	2,12	12,02	7.071,34
Patrocínio do Muriaé	569,30	36,91	47,46	3,16	17,93	10.540,66
Paty do Alferes	750,24	49,75	63,97	4,26	24,17	13.679,02
Pedra Dourada	95,09	5,60	6,77	0,67	3,81	1.760,23
Pedro Teixeira	362,87	23,53	30,25	2,02	11,43	6.718,23
Pequeri	390,87	25,34	32,58	2,17	12,31	7.237,73
Petrópolis	352,36	30,71	42,06	2,86	16,19	7.242,18
Piau	374,51	24,30	31,25	2,08	11,80	6.929,87
Pindamonhangaba	110,40	21,19	33,21	1,96	11,10	1.972,47
Pinheiral	473,25	30,68	39,44	2,63	14,90	8.763,09
Piquete	391,82	25,41	32,67	2,18	12,34	7.253,12
Piraí	97,68	5,82	7,39	0,55	3,09	1.688,83
Pirapetinga	435,85	28,25	36,32	2,42	13,72	8.071,14
Piraúba	372,86	24,17	31,08	2,07	11,74	6.904,29
Porciúncula	417,67	27,08	34,82	2,32	13,16	7.732,31
Porto Real	149,96	10,59	13,98	0,95	5,38	2.756,35
Potim	1.337,68	86,73	111,51	7,43	42,12	24.766,96
Quatis	236,54	15,34	19,73	1,32	7,45	4.377,82

Municípios	DBO (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Fósforo Orgânico (mg/L)	Fósforo Inorgânico (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
Queluz	465,23	30,18	38,81	2,59	14,66	8.609,81
Quissamã	415,85	26,95	34,65	2,31	13,09	7.700,84
Recreio	367,60	23,83	30,64	2,04	11,57	6.807,13
Redenção da Serra	239,01	18,49	25,44	1,67	9,46	4.492,71
Resende	215,18	17,55	24,01	1,71	9,67	4.108,73
Rio Claro	461,79	30,07	38,66	2,58	14,60	8.525,96
Rio das Flores	284,46	15,69	19,53	1,63	9,22	4.692,06
Rio Novo	497,72	32,28	41,50	2,77	15,68	9.214,23
Rio Pomba	433,23	28,08	36,10	2,41	13,64	8.022,42
Rio Preto	163,90	10,63	13,67	0,91	5,17	3.032,94
Rochedo de Minas	120,32	7,80	10,03	0,67	3,79	2.228,03
Rodeiro	353,76	25,81	34,12	2,21	12,54	6.482,19
Rosário da Limeira	500,54	32,45	41,73	2,78	15,76	9.267,10
Roseira	132,91	26,39	38,44	2,26	12,82	3.194,35
Santa Bárbara do Monte Verde	375,17	24,32	31,27	2,08	11,81	6.946,12
Santa Bárbara do Tugúrio	525,50	34,06	43,79	2,92	16,54	9.731,41
Santa Branca	375,79	24,47	31,46	2,10	11,88	6.938,39
Santa Isabel	348,49	22,93	29,48	1,97	11,14	6.387,86
Santa Maria Madalena	251,21	22,68	33,38	2,16	12,24	4.924,70
Santa Rita de Jacutinga	219,45	14,22	18,29	1,22	6,91	4.063,65
Santana de Cataguases	461,44	29,91	38,45	2,56	14,53	8.545,26
Santana do Deserto	379,58	24,64	31,68	2,11	11,97	7.021,64
Santo Antônio de Pádua	286,63	18,58	23,89	1,59	9,03	5.306,64
Santo Antônio do Aventureiro	379,87	24,62	31,66	2,11	11,96	7.034,43
Santos Dumont	510,98	33,12	42,58	2,84	16,09	9.462,11
São Fidélis	450,82	29,23	37,58	2,51	14,20	8.346,44
São Francisco do Glória	238,08	15,43	19,84	1,32	7,50	4.408,78
São Geraldo	470,75	30,51	39,23	2,62	14,82	8.717,35
São João Nepomuceno	425,89	27,61	35,50	2,37	13,41	7.885,78
São José de Ubá	336,02	21,81	28,04	1,87	10,59	6.216,61
São José do Barreiro	108,40	14,88	21,39	1,28	7,23	2.068,80
São José do Vale do Rio Preto	676,53	44,92	57,76	3,85	21,82	12.324,04
São José dos Campos	138,18	20,77	33,00	2,03	11,51	2.819,00
São Luiz do Paraitinga	247,29	24,58	33,96	2,11	11,94	4.747,33
São Sebastião da Vargem Alegre	433,14	28,07	36,09	2,41	13,64	8.021,05
São Sebastião do Alto	838,46	62,91	83,29	5,39	30,56	15.554,18
Sapucaia	396,73	25,74	33,09	2,21	12,50	7.341,71
Senador Cortes	150,36	9,75	12,53	0,84	4,73	2.784,31
Silveirânia	502,53	32,59	41,90	2,79	15,83	9.303,41
Silveiras	219,09	25,81	36,20	2,21	12,54	4.450,53
Simão Pereira	802,37	52,13	67,03	4,47	25,32	14.834,78
Sumidouro	376,90	24,88	31,99	2,13	12,09	6.893,34
Tabuleiro	460,74	29,86	38,40	2,56	14,51	8.531,89
Taubaté	76,09	16,96	29,53	1,85	10,48	2.068,60
Teresópolis	449,01	29,86	38,39	2,56	14,50	8.170,35
Tocantins	308,97	20,03	25,75	1,72	9,73	5.721,44
Tombos	219,45	14,24	18,30	1,22	6,91	4.061,54

Municípios	DBO (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Fósforo Orgânico (mg/L)	Fósforo Inorgânico (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
Trajano de Moraes	448,68	29,22	37,56	2,50	14,19	8.283,15
Tremembé	158,62	20,91	33,63	2,14	12,12	3.486,83
Três Rios	318,90	20,67	26,58	1,77	10,04	5.905,08
Ubá	584,62	37,90	48,73	3,25	18,41	10.824,48
Valença	259,44	16,82	21,63	1,44	8,17	4.803,03
Vassouras	299,92	19,65	25,27	1,68	9,55	5.513,12
Vieiras	439,74	28,50	36,64	2,44	13,84	8.143,32
Visconde do Rio Branco	481,74	31,23	40,15	2,68	15,17	8.920,33
Volta Grande	390,86	25,34	32,58	2,17	12,31	7.237,11
Volta Redonda	232,54	15,90	20,93	1,52	8,63	4.346,99

Anexo II – Cargas industriais

Resultados das concentrações dos efluentes industriais em cada indústria da BHPS conforme a metodologia descrita no item 3.3.5.

Indústria*	DBO(mg/L)	Alumínio(mg/L)	Manganês(mg/L)
1	0,40	3,00	3,00
2	0,40	3,00	3,00
3	3.914,00	3,00	0,10
4	40,00	1,00	0,50
5	0,51	3,00	3,00
6	0,77	3,00	3,00
7	0,51	3,00	3,00
8	200,00	3,00	600,00
9	50,00	1,00	0,50
10	19,00	1,00	0,50
11	44,00	1,00	0,50
12	26,00	3,00	0,50
13	32,00	1,00	0,50
14	17,00	1,00	0,50
15	60,00	3,00	0,50
16	15,00	1,00	0,50
17	17,00	1,00	0,50
18	111,08	3,00	0,10
19	15,00	3,00	3,00
20	10,00	3,00	0,25
21	9,40	3,00	0,25
22	50,00	3,00	0,10
23	344,38	15,00	15,00
24	343,00	3,00	3,00
25	60,00	3,00	2,00
26	31,56	25,00	25,00
27	119,76	25,00	25,00
28	0,01	3,00	10,00
29	39,20	1,00	0,50
30	13,70	3,00	0,25
31	350,00	3,00	0,25
32	120,00	50,00	10,00
33	426,67	3,00	3,00
34	2,45	150,00	150,00
35	0,33	150,00	150,00
36	25,00	3,00	0,25
37	360,00	3,00	0,50
38	797,40	10,00	200,00
39	797,40	10,00	200,00
40	90,00	3,00	0,10

Indústria*	DBO(mg/L)	Alumínio(mg/L)	Manganês(mg/L)
41	1,64	25,00	25,00
42	37,90	1,00	1,00
43	14,00	3,00	0,25
44	25,84	3,00	3,00
45	0,01	50,00	10,00
46	0,01	100,00	100,00
47	0,01	10,00	10,00
48	20,28	10,00	27,00
49	20,28	10,00	27,00
50	30,00	3,00	2,00
51	131,58	3,00	3,00
52	50,00	15,00	15,00
53	51,48	3,00	3,00
54	157,50	3,00	0,10
55	157,50	3,00	0,10
56	1,72	3,00	3,00
57	87,05	3,00	3,00
58	7,15	10,00	2,00
59	3,00	10,00	2,00
60	28,00	15,00	15,00
61	914,34	15,00	15,00
62	40,00	0,10	0,10
63	19,63	1,00	0,50
64	108,67	3,00	0,50
65	19,63	1,00	0,50
66	5,00	0,10	0,10
67	19,63	1,00	0,50
68	3,00	0,10	0,10
69	19,63	1,00	0,50
70	19,63	1,00	0,50
71	19,63	1,00	0,50
72	3,00	0,10	0,10
73	19,63	1,00	0,50
74	19,63	1,00	0,50
75	19,63	1,00	0,50
76	66,00	3,00	0,50
77	111,00	0,10	0,10
78	1,43	200,00	200,00
79	3,43	200,00	200,00
80	743,47	50,00	50,00
81	925,00	3,00	0,10
82	70,00	5,00	5,00
83	100,00	3,00	3,00
84	88,00	15,00	2,00

Indústria*	DBO(mg/L)	Alumínio(mg/L)	Manganês(mg/L)
85	74,00	15,00	15,00
86	204,30	3,00	0,10
87	491,00	10,00	2,00
88	491,00	10,00	2,00
89	335,00	3,00	0,50
90	12,68	400,00	400,00
91	38,70	3,00	0,25
92	10,65	3,00	10,00
93	76,13	1,00	0,50
94	67,85	3,00	3,00
95	300,00	3,00	0,10
96	114,00	3,00	0,50
97	0,36	10,00	350,00
98	0,42	10,00	350,00
99	5,00	3,00	0,50
100	193,00	3,00	3,00
101	9.000,00	10,00	10,00
102	28,10	3,00	10,00
103	5,45	3,00	10,00
104	12,70	3,00	0,10
105	65,80	1,00	0,50
106	23,00	3,00	3,00
107	80,00	3,00	3,00
108	17,62	3,00	10,00
109	130,00	3,00	2,00
110	440,24	3,00	10,00
111	440,24	3,00	10,00
112	250,00	50,00	50,00
113	504,77	30,00	30,00
114	10,21	3,00	3,00
115	30,00	50,00	10,00
116	515,38	100,00	100,00
117	38,00	50,00	10,00
118	135,00	50,00	10,00
119	375,69	10,00	27,00
120	397,00	3,00	0,50
121	3,00	15,00	15,00
122	6,57	15,00	15,00
123	41,95	3,00	0,10
124	722,00	3,00	0,25
125	79,80	3,00	0,25
126	20,00	20,00	20,00
127	175,00	100,00	10,00
128	115,00	3,00	2,00

Indústria*	DBO(mg/L)	Alumínio(mg/L)	Manganês(mg/L)
129	0,41	3,00	3,00
130	0,41	3,00	3,00
131	2,91	3,00	3,00
132	2,91	3,00	3,00
133	0,41	3,00	3,00
134	0,41	3,00	3,00
135	1,00	10,00	2,00
136	200,00	3,00	0,10
137	3,00	3,00	0,50
138	1,00	10,00	2,00
139	147,00	10,00	2,00
140	167,00	10,00	2,00
141	14,00	3,00	0,50
142	100,00	3,00	0,50
143	18,40	3,00	10,00
144	60,00	3,00	0,10
145	200,00	3,00	0,10
146	183,00	3,00	0,10
147	70,00	3,00	2,00
148	10,70	3,00	0,50
149	41,75	3,00	0,50
150	63,00	15,00	15,00
151	36,00	3,00	2,00
152	60,00	3,00	0,50
153	370,00	3,00	0,50
154	20,00	10,00	2,00
155	6,17	3,00	10,00
156	5,29	3,00	10,00
157	200,00	3,00	2,00
158	300,00	3,00	0,50
159	150,00	3,00	0,50
160	37,80	3,00	0,10
161	10,93	3,00	75,00
162	10,93	3,00	75,00
163	11,45	3,00	75,00
164	2,00	3,00	0,25
165	1,30	3,00	0,25
166	125,00	1,00	0,50
167	104,84	1,00	0,50
168	628,00	3,00	3,00
169	174,00	3,00	0,10
170	167,50	50,00	10,00
171	40,00	400,00	400,00
172	141,00	400,00	400,00

Indústria*	DBO(mg/L)	Alumínio(mg/L)	Manganês(mg/L)
173	1.078,08	50,00	50,00
174	33,00	400,00	400,00
175	6,00	3,00	0,50
176	50,00	3,00	0,50
177	50,00	3,00	0,50
178	820,53	25,00	25,00
179	1,73	25,00	25,00
180	2,10	3,00	10,00
181	800,00	3,00	2,00
182	200,00	50,00	10,00
183	111,00	0,10	0,50
184	16,00	3,00	2,00
185	172,10	3,00	2,00
186	0,19	3,00	15,00
187	15,71	15,00	15,00
188	27,85	25,00	25,00
189	37,00	25,00	25,00
190	350,00	3,00	0,10
191	50,00	3,00	0,10
192	46,75	1,00	0,50
193	46,75	1,00	0,50
194	28,77	3,00	75,00
195	1,43	3,00	10,00
196	0,26	3,00	3,00
197	6,00	3,00	2,00
198	20,27	3,00	75,00
199	7,09	3,00	75,00
200	6,83	3,00	75,00
201	47,00	3,00	0,10
202	101,86	10,00	30,00
203	596,00	3,00	3,00
204	35,60	3,00	3,00
205	100,00	3,00	3,00
206	4,59	3,00	75,00
207	7.500,00	3,00	0,10
208	83,00	50,00	10,00
209	25,00	3,00	2,00
210	9.000,00	3,00	3,00
211	62,50	1,00	0,50
212	19,60	3,00	0,50
213	37,00	1,00	0,50
214	10,00	3,00	2,00
215	80,00	3,00	0,10
216	0,67	50,00	50,00

Indústria*	DBO(mg/L)	Alumínio(mg/L)	Manganês(mg/L)
217	1,29	70,00	70,00
218	1,29	70,00	70,00
219	1,02	10,00	30,00
220	80,00	3,00	0,50
221	3,00	3,00	0,50
222	20,00	3,00	2,00
223	0,07	10,00	200,00
224	25,00	3,00	0,50
225	193,00	3,00	0,10
226	0,01	10,00	27,00
227	0,01	10,00	27,00
228	0,38	10,00	27,00
229	1,25	10,00	27,00
230	3,11	3,00	10,00
231	2,00	1,00	0,50
232	20,00	3,00	2,00
233	11,00	3,00	2,00
234	6,57	15,00	15,00
235	2,00	3,00	3,00
236	47,90	3,00	3,00
237	190,00	3,00	0,50
238	21,90	15,00	15,00
239	26,00	3,00	3,00
240	80,00	3,00	0,50
241	209,80	3,00	0,10
242	42,52	3,00	3,00
243	11,29	3,00	75,00
244	12,71	3,00	75,00
245	470,05	10,00	30,00
246	39,00	3,00	0,50
247	10,00	1,00	0,50
248	10,00	1,00	0,50
249	0,09	3,00	10,00
250	2,98	3,00	10,00
251	15,00	3,00	0,10
252	157,50	5,00	5,00
253	18,00	1,00	0,50
254	12,00	3,00	0,50
255	35,00	3,00	0,50
256	234,00	15,00	2,00
257	93,00	3,00	0,10
258	180,28	3,00	0,10
259	42,26	3,00	0,50
260	0,10	3,00	0,50

Indústria*	DBO(mg/L)	Alumínio(mg/L)	Manganês(mg/L)
261	77,00	3,00	0,50
262	85,00	10,00	2,00
263	48,00	10,00	2,00
264	900,00	10,00	2,00
265	98,50	10,00	2,00
266	44,55	50,00	50,00
267	0,26	50,00	50,00
268	24,80	1,00	1,00
269	52,74	3,00	0,10
270	0,62	3,00	10,00
271	0,01	3,00	10,00
272	0,70	3,00	10,00
273	26,00	3,00	0,50
274	70,00	3,00	0,50
275	46,40	3,00	2,00
276	57,40	3,00	2,00
277	19,00	3,00	2,00
278	300,00	3,00	0,10
279	1.883,79	3,00	75,00
280	8,69	3,00	15,00
281	133,33	3,00	10,00
282	66,67	3,00	10,00
283	1.446,67	3,00	10,00
284	1,02	15,00	15,00
285	0,19	3,00	10,00
286	2,35	3,00	10,00
287	520,00	3,00	0,10
288	142,00	3,00	0,10
289	19,77	3,00	10,00
290	300,00	10,00	2,00
291	78,90	3,00	0,50
292	95,25	3,00	0,50
293	9,50	3,00	0,50
294	491,00	15,00	2,00
295	491,00	15,00	2,00
296	21,66	3,00	0,25
297	0,95	10,00	200,00
298	60,00	50,00	50,00
299	60,00	3,00	3,00
300	29,00	3,00	0,50

*o nome da indústria foi substituído por um código sequencial.

Anexo III – Cargas difusas

Resultados das cargas difusas aportadas em cada uma das 58 bacias de referência conforme a metodologia descrita no item 3.3.5.

Nº da bacia	DBO (kg/ano)	Nitrogênio Total (kg/ano)	Fósforo Total (kg/ano)	Coliformes Fecais (NMP/ano)
1	683.901,23	243.535,48	19.185,12	2,59361E+19
2	739.455,80	316.449,34	22.179,42	4,57256E+19
3	606.547,94	184.244,24	16.583,43	1,95231E+19
4	873.899,10	387.755,77	25.001,01	4,50414E+19
5	392.333,22	159.201,34	10.861,89	1,27488E+19
6	605.075,00	271.744,99	21.539,34	7,8644E+19
7	1.187.248,95	544.957,83	41.831,20	1,46986E+20
8	1.429.843,64	624.696,75	48.675,30	1,526E+20
9	2.565.522,63	840.190,88	74.893,24	1,46695E+20
10	2.484.156,69	707.949,99	69.312,16	1,32746E+20
11	634.723,11	260.730,16	21.141,69	6,38833E+19
12	464.674,14	192.948,88	13.791,62	2,8407E+19
13	2.937.403,58	1.092.543,71	93.074,22	2,62913E+20
14	308.616,48	139.085,73	10.627,37	3,55689E+19
15	370.885,50	170.289,81	12.132,34	3,79854E+19
16	195.048,32	82.660,55	6.675,63	2,31121E+19
17	1.083.239,55	459.129,55	35.491,81	1,09206E+20
18	854.221,64	353.045,25	27.414,74	8,54248E+19
19	696.612,56	308.589,43	21.309,07	5,01E+19
20	373.643,46	164.605,95	11.413,54	2,66848E+19
21	622.525,41	285.028,96	21.858,54	7,9255E+19
22	498.352,86	226.763,75	17.547,51	6,10448E+19
23	1.189.478,79	482.840,91	38.454,48	1,18643E+20
24	1.145.508,12	531.966,01	36.754,32	1,13196E+20
25	1.331.822,84	472.762,26	41.346,48	1,24019E+20
26	790.071,21	379.789,04	29.353,13	1,23986E+20
27	1.414.581,26	674.447,13	49.066,53	1,73429E+20
28	1.535.745,47	717.161,02	53.063,32	1,83724E+20
29	843.045,35	397.063,37	29.687,08	1,08715E+20
30	1.799.678,12	678.671,32	57.314,99	1,8038E+20
31	1.227.778,74	576.759,69	42.770,13	1,51617E+20
32	1.353.958,61	656.672,53	50.552,43	2,12078E+20
33	2.201.997,29	988.446,53	78.353,66	3,01056E+20
34	2.375.396,51	940.065,08	69.286,89	1,4876E+20
35	870.431,31	418.136,87	31.750,47	1,28082E+20
36	2.093.020,20	896.164,92	66.096,41	1,81565E+20
37	1.368.524,34	650.539,69	50.294,73	2,01568E+20
38	1.645.312,91	792.250,67	60.232,16	2,4169E+20
39	1.589.306,36	789.464,75	61.603,16	2,73427E+20
40	1.240.831,53	581.314,43	45.878,81	1,86636E+20
41	1.199.458,67	587.188,64	45.586,40	1,96359E+20
42	2.732.298,26	1.321.803,52	104.480,55	4,48972E+20
43	2.078.995,91	941.403,26	77.347,46	3,24112E+20
44	2.768.044,37	1.275.719,54	101.544,52	4,00379E+20
45	1.773.037,26	872.891,59	67.985,98	2,94918E+20
46	3.115.185,93	1.483.332,97	120.958,85	5,25754E+20
47	3.388.292,60	1.631.399,99	129.541,96	5,65866E+20
48	1.440.662,18	684.232,13	54.344,55	2,23752E+20
49	652.518,36	189.655,49	19.015,04	3,45747E+19
50	936.086,36	464.793,08	35.870,90	1,55764E+20
51	2.525.203,31	1.139.063,62	90.633,71	3,328E+20
52	1.340.797,68	616.427,66	44.522,82	1,38137E+20
53	1.427.445,50	629.162,64	49.258,13	1,63857E+20
54	877.848,89	326.484,76	29.122,14	8,07303E+19
55	207.978,53	84.017,45	7.353,15	2,32611E+19
56	491.509,85	179.918,24	16.480,20	5,15464E+19
57	458.611,43	184.824,90	16.243,40	5,55769E+19
58	180.356,94	62.795,65	5.820,79	1,44773E+19

Anexo IV – Matriz de enquadramento

Anexo V – Mapas