

FUNDAÇÃO renova

REVISÃO DO ESTUDO DE IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE IRRIGAÇÃO AO LONGO DOS RIOS GUALAXO, RIBEIRÃO DO CARMO, DOCE E OUTROS CURSOS D'ÁGUA AFETADOS

RELATÓRIO FINAL

Agosto/ 2018

REVISÃO DO ESTUDO DE IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE IRRIGAÇÃO AO LONGO DOS RIOS GUALAXO, RIBEIRÃO DO CARMO, DOCE E OUTROS CURSOS D'ÁGUA AFETADOS

RELATÓRIO FINAL

Elaborado por:

Belo Horizonte / 2018

SUMÁRIO

1 Sumário Executivo 17

2 Introdução 19

3 Objetivo 21

3.1 Objetivos Específicos 21

4 Atendimento à Deliberação Nº 142 22

5 Área de Estudo 23

6 Fases do Estudo 27

6.1 Fase I: Análise e avaliação das informações disponíveis 27

6.2 Fase II: Levantamento de informações em campo 29

6.3 Fase III: Entrega e apresentação dos estudos – Relatório Final 31

7 Metodologia de Coleta e Análise de Dados 32

7.1 Mapeamento da área 34

7.1.1 Obtenção dos dados 34

7.1.2 Imagens de satélite 36

7.1.3 Escala de obtenção dos dados 38

7.1.4 *Softwares* utilizados 38

7.1.5 Banco de dados 39

7.1.6 Estatística de Kernel 39

7.2 Caracterização do Meio Físico 41

7.2.1 Análise de relevo 41

7.2.2 Análise de hidrografia 41

7.2.3 Análise espacial das classes de solo 42

7.2.4 Geologia Regional 42

7.2.5 Hidrogeologia 42

7.2.6 Clima 42

7.2.7 Uso e ocupação 43

7.2.8 Direito minerário 43

7.3 Definição da amostra para vistorias e coletas (solo, água e material vegetal) 43

7.4 Análise de Solo, Água e Diagnose Foliar 54

7.4.1 Análise do Solo 55

7.4.2 Análise da Água 57

7.4.3 Análise de material vegetal 63

7.5 Análise comparativa 65

7.6 Avaliação de impactos 66

8 Descrição do Meio Físico 71
8.1 Clima 71
8.2 Hidrografia 74
8.3 Geomorfologia 80
8.3.1 Perfis Topográficos 82
8.3.2 Planícies de inundação 96
8.4 Geologia Regional 97
8.5 Análise espacial das classes de solos 107
8.6 Hidrogeologia 114
8.7 Uso e ocupação do solo 118
8.8 Direito minerário 122
8.9 Levantamentos Geoquímicos 127
8.9.1 Atlas geoquímico da CPRM 127
8.9.2 Análise do Índice Kernel para metais pesados em solos 144
8.9.2.1 Arsênio 145
8.9.2.2 Cobre, Chumbo e Zinco 148
8.9.2.3 Cromo 148
8.9.2.4 Mercúrio 148
8.9.2.5 Níquel 154
8.9.3 Análise do Índice Kernel para metais pesados em sedimentos 156
8.9.3.1 Arsênio 156
8.9.3.2 Cobre, Chumbo, Cromo e Zinco 158
8.9.3.3 Mercúrio 163
8.9.3.4 Níquel 163
8.10 Histórico da atividade e impactos aos recursos naturais 166
9 Resultado da Análise dos Dados 169
9.1 Análise de Estudos sobre Água 169
9.1.1 Relação chuva/sólidos/irrigação 171
9.1.2 Análise dos resultados obtidos na primeira versão do estudo de áreas irrigadas .. 179
9.1.3 Resultados obtidos a partir dos dados do Igam 183
9.2 Análise das coletas de água 203
9.2.1 Análise Espacial das Culturas Irrigadas 225
9.3 Análise de estudos de solos, rejeito e sedimento 231
9.3.1 Classificação textural de solos e rejeito ao longo da Bacia do Rio Doce 231
9.3.2 Mobilidade de nutrientes e metais pesados 234
9.3.3 Teores foliares de nutrientes e metais pesados 238
9.3.4 Análise da disponibilidade de nutrientes em função do pH 239

9.4 Resultado das análises de solo e planta coletados 245
9.4.1 Caracterização dos solos nas áreas estudadas 245
9.4.2 Teores de macro e micronutrientes e metais pesados nas culturas irrigadas 279
9.5 Contexto socioeconômico relativo às culturas e irrigação 313
9.5.1 Análise dos Dados de Vistorias em Campo 320
9.5.1.1 Regularidade Ambiental 324
9.5.1.2 Caracterização da Irrigação 326
9.5.1.3 Impactos registrados nas culturas irrigadas 327
9.5.2 Análise dos Laudos de Indenização 332
10 Projeto Básico Conceitual 334
10.1 Sistemas de irrigação 337
10.1.1 Irrigação por Aspersão 337
10.1.2 Irrigação por gotejamento 338
10.1.3 Tratamento da água 338
10.1.4 Irrigação das culturas 339
10.1.5 Projetos de irrigação 339
10.1.6 Formação do quantitativo e custo da irrigação 342
11 Síntese e Análise Integrada dos Dados 345
11.1 Análise integrada dos dados 356
12 Análise de impacto 358
13 Recomendações 371
14 Análise de Pareceres dos Órgãos Ambientais 375
15 Sistema – Base de Dados 386
16 Conclusão 389
17 Equipe 394
Referências 396
Apêndice A – Caracterização das Propriedades (Relatório de Campo) 403
Apêndice B – Formulários da Cadeia de Custódia de Água, Solos e Material Vegetal. 405
Apêndice C – Relatório Fotográfico 409

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos satélites a serem utilizados 37
Quadro 2 - Ações para o tratamento estatístico das amostras 49
Quadro 3 - Análises geoquímicas e de fertilidade a serem realizadas no solo/substrato 55
Quadro 4 - Parâmetros de análise da água 62
Quadro 5 - Análises químicas a serem realizadas no material vegetal 64
Quadro 6 - Critérios utilizados na classificação da abrangência dos impactos 67
Quadro 7 - Critérios utilizados na classificação da frequência de ocorrência dos impactos reais 68
Quadro 8 - Critérios utilizados na classificação da probabilidade de ocorrência dos impactos potenciais 68
Quadro 9 - Critérios utilizados na classificação da severidade dos impactos às atividades de manejo de cultivos em áreas irrigadas 69
Quadro 10 -Intervalo da pontuação para avaliação da significância dos impactos ao manejo de áreas cultivadas irrigadas, em função da abrangência, frequência, probabilidade e severidade 70
Quadro 11 - Unidades geológicas presentes na Área de Estudo 103
Quadro 12 - Precipitação Média por Mês (em mm) - Série 1970-2018 171
Quadro 13 -Valores médios dos parâmetros analisados na primeira versão do estudo de áreas de irrigação 180
Quadro 14 – Parâmetros a serem analisados com os respectivos significados e importâncias no âmbito do uso da água em culturas irrigadas 182
Quadro 15 - Valores generalizados para teores foliares de micronutrientes em tecido foliar 239
Quadro 16 - Principais características das folhas de culturas com sintomas de deficiência observados por trecho 301
Quadro 17 - Medidas para a correção do solo 336
Quadro 18 - Síntese dos dados 345
Quadro 19 - Medidas gerais de adequação 371
Quadro 20 -Demandas dos órgãos formalizadas em ofícios, deliberações e notificações encaminhados à Fundação Renova, para atendimento da Cláusula 18- do TTAC 376
Quadro 21 - Equipe de colaboradores envolvidos no estudo 394

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases do Estudo 17

Figura 2 - Área de Estudo e subdivisão em trechos, indicados nos municípios, com referência na definição da Área Ambiental 1, no Plano de Manejo de Rejeitos 26

Figura 3 - Fluxo da análise de informações e cruzamento de Bancos de Dados 33

Figura 4 - Pequenas áreas cultivadas, com misto de culturas, não mapeável por imagem de satélite, registradas em vistorias 35

Figura 5 - Distribuição de propriedades apontadas no cadastro por município que tiveram atividades em campo 46

Figura 6 -Coleta de amostras de solos em Governador Valadares 56

Figura 7 - Mapa da Área de Estudo dividida por trechos 57

Figura 8 - Fontes diversas de água para captação: acima, barramento em planície de inundação impactada pelo rompimento; ao centro, Rio Doce; abaixo, estação de tratamento de água na localidade de Mata Escura 60

Figura 9 - Coleta de amostras vegetais em Governador Valadares 63

Figura 10 - Mapa de Clima da Área de Estudo 73

Figura 11 - Mapa de Hidrografia da Área de Estudo 79

Figura 12 - Distribuição dos perfis topográficos na Área de Estudo 82

Figura 13 - Perfis Topográficos 85

Figura 14 - Localização da Área de Estudo em relação ao QF e Faixa Araçuaí. 97

Figura 15 - Mapa de Geologia da Área de Estudo 106

Figura 16 - Topo de morro com APP suprimida e desenvolvimento de processos erosivos na região de Governador Valadares 108

Figura 17 - Mapa de Solos da Área de Estudo 113

Figura 18 - Mapa de Hidrogeologia da Área de Estudo 117

Figura 19 - Mapa de Uso e Ocupação da Área de Estudo 121

Figura 20 - Registro de garimpo clandestino na Área de Estudo 125

Figura 21 - Mapa de Direito Minerário da Área de Estudo 126

Figura 22 - Atlas Geoquímico de As em sedimentos 130

Figura 23 - Atlas Geoquímico de As em solos 131

Figura 24 - Atlas Geoquímico de Cr em sedimentos 132

Figura 25 - Atlas Geoquímico de Cr em solos 133

Figura 26 - Atlas Geoquímico de Cu em sedimentos 134

Figura 27 - Atlas Geoquímico de Cu em solos 135

Figura 28 - Atlas Geoquímico de Hg em sedimentos 136

Figura 29 - Atlas Geoquímico de Hg em solos 137

Figura 30 - Atlas Geoquímico de Ni em sedimentos 138
Figura 31 - Atlas Geoquímico de Ni em solos 139
Figura 32 - Atlas Geoquímico de Pb em sedimentos 140
Figura 33 - Atlas Geoquímico de Pb em solos..... 141
Figura 34 - Atlas Geoquímico de Zn em sedimentos 142
Figura 35 - Atlas Geoquímico de Zn em solos 143
Figura 36 - Mapa Índice Kernel para Arsênio em Solos e Rejeitos na Área de Estudo..... 147
Figura 37 - Mapa Índice Kernel para Cobre em Solos e Rejeitos na Área de Estudo..... 149
Figura 38 - Mapa Índice Kernel para Chumbo em Solos e Rejeitos na Área de Estudo..... 150
Figura 39 - Mapa Índice Kernel para Zinco em Solos e Rejeitos na Área de Estudo..... 151
Figura 40 - Mapa Índice Kernel para Cromo em Solos e Rejeitos na Área de Estudo..... 152
Figura 41 - Mapa Índice Kernel para Mercúrio em Solos e Rejeitos na Área de Estudo..... 153
Figura 42 - Mapa Índice Kernel para Níquel em Solos e Rejeitos na Área de Estudo..... 155
Figura 43 - Mapa Índice Kernel para Arsênio em Sedimentos na Área de Estudo 157
Figura 44 - Mapa Índice Kernel para Cobre em Sedimentos na Área de Estudo..... 159
Figura 45 - Mapa Índice Kernel para Chumbo em Sedimentos na Área de Estudo..... 160
Figura 46 - Mapa Índice Kernel para Cromo em Sedimentos na Área de Estudo..... 161
Figura 47 - Mapa Índice Kernel para Zinco em Sedimentos na Área de Estudo..... 162
Figura 48 - Mapa Índice Kernel para Mercúrio em Sedimentos na Área de Estudo.... 164
Figura 49 - Mapa Índice Kernel para Níquel em Sedimentos na Área de Estudo 165
Figura 50 - "Lavagem do minério de ouro, proximidades da montanha de Itacolomi"..... 167
Figura 51 - Mapa Síntese de Áreas Cultivadas - T0 227
Figura 52 - Mapa Síntese de Áreas Cultivadas – T1 + T2..... 228
Figura 53 -Propriedades rurais impactadas pelo recobrimento de finos no município de Governador Valadares 232
Figura 54 – Classificação Textural de Solos e Rejeito..... 233
Figura 55 - Mapa de pH em Solo na Área de Estudo Profundidade 0 cm - 20 cm..... 249
Figura 56 - Mapa de Manganês em Solo na Área de Estudo Profundidade 0 cm - 20 cm 268
Figura 57 - Mapa de Ferro em Solo na Área de Estudo Profundidade 0 cm - 20 cm.... 269

Figura 58 - Mapa de Zinco em Solo na Área de Estudo Profundidade 0 cm - 20 cm.... 270
Figura 59 – Sintomas de deficiência de potássio observados em algumas culturas..... 283
Figura 60 – Sintomas de deficiência de Magnésio. 285
Figura 61 – Sintomas de deficiência de Cobre..... 290
Figura 62 – Sintomas de toxidez por Ferro em cultura de milho..... 290
Figura 63 - Teores Foliares de Boro na Área de Estudo 307
Figura 64 - Teores Foliares de Cádmio na Área de Estudo 310
Figura 65 - Teores Foliares de Cromo na Área de Estudo..... 311
Figura 66 - Teores Foliares de Cobre na Área de Estudo 311
Figura 67 - Teores Foliares de Ferro na Área de Estudo 311
Figura 68 - Teores Foliares de Manganês na Área de Estudo..... 311
Figura 69 - Teores Foliares de Níquel na Área de Estudo..... 311
Figura 70 - Teores Foliares de Chumbo na Área de Estudo 311
Figura 71 - Teores Foliares de Zinco na Área de Estudo 311
Figura 72 - Propriedades às margens do Rio Doce que fazem captação de água para irrigação; ao fundo, áreas de morro com cambissolo degradado..... 317
Figura 73 - Valores relativos a danos às propriedades..... 333
Figura 74 – Irrigação Planta I..... 340
Figura 75 – Irrigação Planta II 341
Figura 76 - Principais parâmetros das análises e aspectos avaliados para danos à irrigação nas propriedades..... 357
Figura 77 – Ilha fluvial do Rio Doce..... 359
Figura 78 - Barragem de Baguari e dique no Rio Corrente, Periquito [16/12/2015 (-19.031724° S / -42.131891° O] 361
Figura 79 – Matriz de avaliação dos impactos causados às áreas cultivadas com sistema de irrigação pelo rompimento da Barragem do Fundão..... 362
Figura 77 - Fluxograma principal..... 388

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Disponibilidade hídrica superficial por Sub-bacia 77

Gráfico 2 - Contribuição da Vazão Média nas Unidades Hidrográficas em Percentagem 78

Gráfico 3 - Tipo de captação de água subterrânea por estado, na Área de Estudo 116

Gráfico 4 - Número de pontos de captação de água subterrânea levantados na Área de Estudo..... 116

Gráfico 5 - Distribuição percentual das classes de uso e ocupação do solo na Área de Estudo..... 119

Gráfico 6 - Precipitação mensal (em mm) - Série 1970-2018..... 172

Gráfico 7 - Sólidos Dissolvidos Totais (em mg/L) – Trecho Fundão-Candonga..... 173

Gráfico 8 - Sólidos Dissolvidos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - MG..... 173

Gráfico 9 - Sólidos Dissolvidos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - ES..... 174

Gráfico 10 –pH da água – Trecho Fundão-Candonga 175

Gráfico 11- pH da água – Trecho Rio Doce - MG 175

Gráfico 12- pH da água– Trecho Rio Doce - ES 176

Gráfico 13- Sólidos Suspensos Totais (em mg/L) – Trecho Fundão-Candonga 177

Gráfico 14 - Sólidos Suspensos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - MG..... 177

Gráfico 15 - Sólidos Suspensos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - ES 178

Gráfico 16 - Turbidez (NTU) - Trecho 1..... 184

Gráfico 17 - Turbidez (NTU) - Trecho 2..... 185

Gráfico 18 - Turbidez (NTU) - Trecho 3..... 185

Gráfico 19 - Sólidos Dissolvidos (mg/L) - Trecho 1 186

Gráfico 20 - Sólidos Dissolvidos (mg/L) - Trecho Candonga Rio Doce/MG..... 186

Gráfico 21 - Sólidos Suspensos (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga 187

Gráfico 22 - Sólidos Suspensos (mg/L) de 2015 a 2018 - Trecho Fundão-Candonga 188

Gráfico 23 - Sólidos Suspensos (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG 188

Gráfico 24 - Sólidos Suspensos (mg/L) de 2015 a 2018 - Trecho Candonga-Rio Doce/MG 189

Gráfico 25 - Condutividade Elétrica (µS/cm) - Trecho Fundão-Candonga..... 190

Gráfico 26 - Condutividade Elétrica (µS/cm) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG..... 190

Gráfico 27 - Níquel Total (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga..... 191

Gráfico 28 - Níquel Total (mg/L) - Trecho Rio Doce-MG..... 192

Gráfico 29 - Cromo Total(mg/L) - Trecho Fundão-Candonga 193

Gráfico 30 - Cromo Total (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG 193

Gráfico 31 - Zinco Total (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga 194
Gráfico 32 - Zinco Total (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG..... 195
Gráfico 33 - Chumbo Total (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga..... 195
Gráfico 34 - Chumbo Total (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG..... 196
Gráfico 35 - pH *in loco* - Trecho Fundão-Candonga..... 197
Gráfico 36 - pH *in loco* - Trecho Candonga - Rio Doce/MG 197
Gráfico 37 - Arsênio (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga..... 198
Gráfico 38 - Arsênio (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG..... 199
Gráfico 39 - Manganês total (mg/L) - Trecho 1 200
Gráfico 40 - Manganês total (mg/L) - Trecho 2 200
Gráfico 41 - Manganês total (mg/L) - Trecho 4 201
Gráfico 42 - Ferro Dissolvido (mg/L) - Trecho 1 202
Gráfico 43 - Ferro Dissolvido (mg/L) - Trecho 2 202
Gráfico 44 - Ferro Dissolvido (mg/L) - Trecho 3 203
Gráfico 45 - Concentração de Bicarbonato (mg/L) na água superficial por trecho..... 204
Gráfico 46 - Concentração de Bicarbonato (mg/L) na água subterrânea por trecho ... 204
Gráfico 47 - Concentração de Bicarbonato (mg/L) na água pública por trecho 205
Gráfico 48 - Concentração de Boro (mg/L) na água superficial por trecho 205
Gráfico 49 - Concentração de Boro (mg/L) na água subterrânea por trecho..... 206
Gráfico 50 - Concentração de Boro (mg/L) na água pública por trecho 206
Gráfico 51 - Concentração de Cálcio (mg/L) na água superficial por trecho..... 207
Gráfico 52 - Concentração de Cálcio (mg/L) na água subterrânea por trecho 207
Gráfico 53 - Concentração de Cálcio (mg/L) na água pública por trecho..... 208
Gráfico 54 - Concentração de Carbonatos (mg/L) na água superficial por trecho..... 209
Gráfico 55 - Concentração de Carbonatos (mg/L) na água subterrânea por trecho..... 209
Gráfico 56 - Concentração de Carbonatos (mg/L) na água pública por trecho 210
Gráfico 57 - Concentração de Cloreto (mg/L) na água superficial por trecho..... 210
Gráfico 58 - Concentração de Cloreto (mg/L) na água subterrânea por trecho 211
Gráfico 59 - Concentração de Cloreto (mg/L) na água pública por trecho..... 211
Gráfico 60 - Concentração de Condutividade Elétrica (µS/cm) na água superficial por trecho..... 212
Gráfico 61 - Concentração de Condutividade Elétrica (µS/cm) na água subterrânea por trecho..... 212
Gráfico 62 - Concentração de Condutividade Elétrica (µS/cm) na água pública por trecho 213
Gráfico 63 - Concentração de Magnésio (mg/L) na água superficial por trecho 214

Gráfico 64 - Concentração de Magnésio (mg/L) na água subterrânea por trecho 214
Gráfico 65 - Concentração de Magnésio (mg/L) na água pública por trecho..... 215
Gráfico 66 - Concentração de pH (mg/L) na água superficial por trecho 215
Gráfico 67 - Concentração de pH (mg/L) na água subterrânea por trecho..... 216
Gráfico 68 - Concentração de pH (mg/L) na água pública por trecho 216
Gráfico 69 - Concentração de Potássio Total (mg/L) na água superficial por trecho ... 216
Gráfico 70 - Concentração de Potássio Total (mg/L) na água subterrânea por trecho. 217
Gráfico 71 - Concentração de Potássio Total (mg/L) na água pública por trecho 217
Gráfico 72 - Concentração de Sódio Total (mg/L) na água superficial por trecho 218
Gráfico 73 - Concentração de Sódio Total (mg/L) na água subterrânea por trecho..... 218
Gráfico 74 - Concentração de Sódio Total (mg/L) na água pública por trecho..... 219
Gráfico 75 - Concentração de Sólidos Dissolvidos (mg/L) na água superficial por trecho 220
Gráfico 76 - Concentração de Sólidos Dissolvidos (mg/L) na água subterrânea por trecho 220
Gráfico 77 - Concentração de Sólidos Dissolvidos (mg/L) na água pública por trecho 221
Gráfico 78 - Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) na água superficial por trecho 222
Gráfico 79 - Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) na água subterrânea por trecho 222
Gráfico 80 - Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) na água pública por trecho .. 223
Gráfico 81 - Concentração de Sulfato (mg/L) na água superficial por trecho..... 224
Gráfico 82 - Concentração de Sulfato (mg/L) na água subterrânea por trecho 224
Gráfico 83 - Concentração de Sulfato (mg/L) na água pública por trecho..... 225
Gráfico 84 - Síntese das outorgas no Estado de Minas Gerais 230
Gráfico 85 - Teores semitotais de metais pesados em amostras de solos na Área Ambiental 1 236
Gráfico 86 – Teores solúveis de metais pesados em amostras de solos na Área Ambiental 1 236
Gráfico 87 – Teores trocáveis de metais pesados em amostras de solos na Área Ambiental 1 237
Gráfico 88 -Concentração de Al trocável nos solos amostrados 242
Gráfico 89 – Concentração de Mn disponível nos solos amostrados..... 242
Gráfico 90 - Concentração de Cu disponível nos solos amostrados 243
Gráfico 91 - Concentração de Zn disponível nos solos amostrados 243
Gráfico 92 – Concentração de Fe disponível nos solos amostrados 244
Gráfico 93 – Concentração de B disponível nos solos amostrados..... 244

Gráfico 94 – Acidez de solos na profundidade de 0-20 cm por trecho 246
Gráfico 95 – Acidez de solos na profundidade de 20-40 cm por trecho 246
Gráfico 96 – Condutividade Elétrica na profundidade de 0-20 cm por trecho 247
Gráfico 97 – Condutividade Elétrica na profundidade de 20-40 cm por trecho 248
Gráfico 98 – Teores disponíveis de fósforo na profundidade de 0-20 cm por trecho 250
Gráfico 99 – Teores disponíveis de fósforo na profundidade de 20-40 cm por trecho .. 251
Gráfico 100 – Fósforo remanescente por trecho na camada de 0 a 20 cm..... 251
Gráfico 101 – Fósforo remanescente por trecho na camada de 20 a 40 cm..... 252
Gráfico 102 – Teores disponíveis de potássio por trecho na camada de 0 a 20 cm de profundidade..... 252
Gráfico 103 – Teores disponíveis de potássio por trecho na camada de 20 a 40 cm de profundidade..... 253
Gráfico 104 – Teor de cálcio trocável por trecho na camada de 0 a 20 cm de profundidade 253
Gráfico 105 – Teor de cálcio trocável por trecho na camada de 20 a 40 cm de profundidade..... 254
Gráfico 106 – Teor de magnésio trocável por trecho na camada de 0 a 20 cm de profundidade..... 254
Gráfico 107 – Teor de magnésio trocável por trecho na camada de 20 a 40 cm de profundidade..... 255
Gráfico 108 – Capacidade de troca catiônica efetiva do solo na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 255
Gráfico 109 – Capacidade de troca catiônica efetiva do solo na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 256
Gráfico 110 – Saturação por bases na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 257
Gráfico 111 - Saturação por bases na camada de 20 a 40 cm por trecho 257
Gráfico 112 – Saturação por alumínio na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 258
Gráfico 113 – Saturação por alumínio na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 258
Gráfico 114 – Índice de saturação por sódio (ISNa) na camada de 0 a 20 cm por trecho 259
Gráfico 115 – Índice de saturação por sódio (ISNa) na camada de 20 a 40 cm por trecho 259
Gráfico 116 – Teor de matéria orgânica do solo na camada de 0 a 20 cm por trecho... 260
Gráfico 117 – Teor de matéria orgânica do solo na camada de 20 a 40 cm por trecho. 260
Gráfico 118 - Teor de Enxofre disponível na camada de 0 a 20 cm de profundidade por trecho..... 261
Gráfico 119 – Teor de Enxofre disponível na camada de 20 a 40 cm de profundidade por trecho..... 261
Gráfico 120 - Teor de Boro disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 262

Gráfico 121 - Teor de Boro disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho 262
Gráfico 122 - Teor de Cobre disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 263
Gráfico 123 - Teor de Cobre disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 263
Gráfico 124 - Teor de Manganês disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho 264
Gráfico 125 – Teor de Manganês disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 264
Gráfico 126 - Teor de Ferro disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 265
Gráfico 127 - Teor de Ferro disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 266
Gráfico 128 - Teor de Zinco disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 267
Gráfico 129 - Teor de Zinco disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 267
Gráfico 130 - Teor de Cromo disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 271
Gráfico 131 - Teor de Cromo disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 272
Gráfico 132 - Teor de Níquel disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho 272
Gráfico 133 – Teor de Níquel disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 273
Gráfico 134 – Teor de Cádmio disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho 273
Gráfico 135 - Teor de Cádmio disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho 274
Gráfico 136 - Teor de Chumbo disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho..... 274
Gráfico 137 - Teor de Chumbo disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho..... 275
Gráfico 138 - Teores semitotais de Arsênio na camada de 0 a 20 cm por trecho 276
Gráfico 139 - Teores semitotais de Arsênio na camada de 20 a 40 cm por trecho 276
Gráfico 142 –Teores de Nitrogênio nas folhas das culturas por trecho 282
Gráfico 143 – Teores de Fósforo nas folhas das culturas por trecho 283
Gráfico 144 – Teores de Potássio nas folhas das culturas por trecho 284
Gráfico 145 – Teores de Cálcio nas folhas das culturas por trecho 285
Gráfico 146 – Teores de Magnésio nas folhas das culturas por trecho..... 286
Gráfico 147 – Teores de Enxofre nas folhas das culturas por trecho 287
Gráfico 148 – Teores de Cobre nas folhas das culturas por trecho 290
Gráfico 149 - Teores de Ferro nas folhas das culturas por trecho..... 290
Gráfico 150 - Teores de Zinco por Trecho..... 290
Gráfico 151 – Teores de Manganês nas folhas das culturas por trecho..... 291
Gráfico 152 – Teores de Sódio nas folhas das culturas por trecho..... 292
Gráfico 153 - Teores de Boro nas folhas das culturas por trecho 293
Gráfico 154 - Teores de Níquel nas folhas das culturas por trecho 294
Gráfico 155 - Teores de Chumbo presente nas folhas das culturas por trecho 295
Gráfico 156 - Teores de Cádmio presentes nas folhas das culturas por trecho..... 296
Gráfico 157 - Teores de Cromo presentes nas folhas das culturas por trecho 297

Gráfico 158 - Teores de Alumínio presentes nas folhas das culturas por trecho..... 298

Gráfico 159 - Teores de Cobalto presentes nas folhas das culturas por trecho..... 298

Gráfico 160 - Teores de Molibdênio presentes nas folhas das culturas por trecho 299

Gráfico 163 - Percentual de propriedades cujos declarantes se indicaram afetados pelo rompimento da Barragem do Fundão, de acordo com dados do Censo Agropecuário. 315

Gráfico 164 - Tipos principais de culturas desenvolvidas nas propriedades apontadas no cadastro 316

Gráfico 165 - Número de propriedades apontadas no SGC que solucionaram seus problemas nos sistemas de irrigação, após o comprometimento no rompimento da barragem 318

Gráfico 166 - Tipos de culturas empregadas nas propriedades avaliadas na primeira versão do estudo de áreas irrigadas, considerando áreas irrigadas e não irrigadas 319

Gráfico 167 - Média de moradores por trecho de rio 321

Gráfico 168 - Tamanho médio declarado das propriedades por trecho (GRF3)..... 322

Gráfico 169 - Propriedades irrigadas que realizam comercialização da produção..... 323

Gráfico 170 - Distribuição de culturas irrigadas 324

Gráfico 171 - Métodos de irrigação..... 327

Gráfico 172 - Propriedades que apresentaram problemas na irrigação..... 328

Gráfico 173 - Propriedades que declararam pereceber problemas relacionados à qualidade da água 329

Gráfico 174 - Propriedades com mudanças no manejo da cultura 330

Gráfico 175 - Proprietários que declararam ter tido prejuízos financeiros 331

Gráfico 176 - Propriedades que declararam perda de produção..... 331

Gráfico 177 - Propriedades que continuaram a irrigar as culturas..... 332

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Planejamento para levantamento de informação em campo 29

Tabela 2 - Limites de concentrações em mg/kg dos elementos selecionados para as análises 40

Tabela 3 - Municípios contemplados com a realização de análises físico-químicas do solo, da água e do material vegetal e dados de propriedades afetadas (as propriedades contidas no *buffer* de 2 km são aquelas que compõem o universo amostral) 44

Tabela 4 - Quantitativo de propriedades por município com vistorias e com coletas 47

Tabela 5 - Limites de concentrações para águas superficiais e subterrâneas 59

Tabela 6 - Área das subdivisões da Bacia do Rio Doce 74

Tabela 7 - Disponibilidade hídrica superficial da Bacia do Rio Doce e Barra Seca 76

Tabela 8 - Processos minerários classificados por fase de Tramitação junto ao DNPM 122

Tabela 9 - Processos minerários classificados por regime de aproveitamento, dentro da Área de Estudo 123

Tabela 10 - Distribuição das concessões de lavra na Área de Estudo 123

Tabela 11 - Distribuição dos licenciamentos na Área de Estudo 124

Tabela 12 - Áreas mapeadas no contexto do estudo de culturas irrigadas, em T0 e T1+T2 226

Tabela 13 - Diferença entre as áreas mapeadas, no contexto do estudo de culturas irrigadas, de T0 para T1+T2 229

Tabela 14 - Síntese das outorgas no Estado de Minas Gerais 230

Tabela 15 – Faixa de disponibilidade e classificação quanto aos teores de B, Fe, Zn, Cu, Mn e Al no solo 241

Tabela 16 - Aspectos de regularidade de captação de água 324

Tabela 17 - Cadastro Ambiental Rural 325

Tabela 18 - Prejuízos financeiros 330

Tabela 19 - Valor estimado de reparação do prejuízo das propriedades irrigadas 333

Tabela 20 - Formação do custo da captação, tratamento e armazenamento da água ... 342

Tabela 21 - Custo específico da microaspersão 343

Tabela 22 - Custo específico do gotejamento 344

1 Sumário Executivo

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um estudo específico de áreas cultivadas que utilizam sistemas de irrigação e se justifica pela necessidade de se averiguar possíveis impactos, negativos ou positivos, advindos do rompimento da Barragem do Fundão, em 2015, que podem se expressar pela captação de águas superficiais ou subterrâneas dos cursos d'água impactados ou das captações realizadas no entorno dessas massas hídricas. Essa demanda ficou estabelecida na Cláusula 180 do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC), sendo apresentado um estudo preliminar em 2017 (ERG Engenharia / Fundação Renova, 2017). Esse estudo foi reprovado no Comitê Interfederativo, sendo indicadas as motivações para tanto, primeiramente, na Nota Técnica 25/2016 CIF, corroborada pelas Notas Técnicas 10/2017 e 0006/2017 CT/CIF/GRSA, e Nota Técnica INCAPER/IEMA – N° 001/2017.

Para a revisão dos estudos para atendimento da Cláusula 180 do TTAC, este relatório tem como escopo a avaliação das informações colhidas em estudo preliminar de identificação de áreas de irrigação impactadas pelo rompimento da Barragem do Fundão, além de outros disponibilizados pela Renova, sendo que, para o presente, há a ampliação do tamanho da amostragem.

Esse documento reflete um compilado de revisões de diagnósticos, com a elaboração de mapas para a identificação das áreas com pontos de captação para irrigação em diferentes escalas e formas. A partir da análise dos dados coletados em campo para este estudo, serão propostas medidas de reparação, na forma de Projeto Básico Conceitual, contendo proposição de implementação de novas formas de manejo da produção irrigada.

O projeto está estruturado em três fases, conforme Figura 1.

Figura 1 – Fases do Estudo



Fonte: Elaboração própria.

A revisão e a análise de todas as informações geradas anteriormente aos levantamentos de dados de campo são o objetivo principal da Fase I do trabalho contratado com a Embaúba. Durante a Fase I, além dos dados da versão anterior do estudo de áreas de irrigação, foram utilizados outros estudos preliminares ou finais já elaborados, por exemplo, o de caracterização geoquímica, o de caracterização do rejeito, o de monitoramento da qualidade da água e o de aspectos ligados à saúde humana.

Esses trabalhos apresentam dados que são complementares e avançam no conhecimento dos impactos ambientais gerados em decorrência do evento às propriedades que realizam produção irrigada.

Também, na Fase I, foi realizada uma síntese dos pareceres sobre a Cláusula 180 do TTAC, dos órgãos (CIF, INCAPER, IEMA e SEMAD-MG) e são apresentadas as estratégias adotadas neste estudo para responder às demandas de complementação sobre o relatório da situação da irrigação.

Na Fase II foram realizados os trabalhos de vistorias e coletas de amostras de água, solo e material vegetal em 838 propriedades entre Mariana, em Minas Gerais, e Linhares, no Espírito Santo. As análises desses materiais estão consolidadas e concluídas, com a apresentação de um diagnóstico das áreas impactadas bem como a indicação de medidas específicas de reparação ou compensação.

No presente relatório de conclusão ou produto final, é apresentado o compilado de análise dos dados da Fase I e II, retratando-se o cenário atual do contexto dos impactos ocasionados pelo rompimento nas propriedades com produção irrigada e no atendimento das demandas apontadas pelos órgãos que avaliaram o estudo anterior.

2 Introdução

Em 05 de novembro de 2015, a barragem de rejeitos de mineração do Fundão, operada pela mineradora Samarco, situada no município de Mariana, Minas Gerais, sofreu uma ruptura que resultou na liberação de grande fluxo de material constituído por uma mistura de rejeitos sólidos e água, causando grande impacto a jusante, até a foz do Rio Doce, no oceano Atlântico.

Com o rompimento houve o vazamento de cerca de 39,2 milhões de metros cúbicos de rejeitos, atingindo o Córrego Santarém, Ribeirão do Carmo e os Rios Gualaxo do Norte e Doce, percorrendo o seu leito até a foz. Estima-se que 20,3 milhões de m³ do material ficaram depositados até a barragem da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Candonga), e os outros 18,9 milhões de m³ de rejeitos seguiram o fluxo dos cursos d'água, chegando à sua foz, em Linhares, no estado do Espírito Santo, em 22 de novembro de 2015, gerando impactos em diversos municípios e suas populações, ao longo de 702 quilômetros.

O rompimento afetou várias propriedades rurais, tanto pelo depósito de material intra e extracalha, quanto pela alteração da qualidade de água dos cursos d'água, com desdobramentos que acarretaram prejuízos econômicos para os produtores rurais, dependentes dos recursos hídricos e da produção agrícola.

Diante dessa situação, em 02 de março de 2016, foi celebrado o Termo de Transição e de Ajustamento de Conduta (TTAC) entre Samarco, com o apoio de suas acionistas Vale e BHP Billiton, e o Governo Federal, os Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), a Agência Nacional de Águas (ANA), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a Fundação Nacional do Índio (FUNAI), o Instituto Estadual de Florestas (IEF), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF) e a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH).

A Fundação Renova foi criada após a assinatura do TTAC e tem como meta o atendimento às cláusulas previstas no referido Termo por meio da implementação de ações de reparação e compensação dos impactos causados, com o compromisso de reconstruir, prover infraestrutura, desenvolvimento, preservação, com o emprego de inovação nos processos de planejamento e execução das suas atividades.

O presente estudo vai ao encontro do atendimento do TTAC, em específico a Cláusula 180, previsto na seção VI, que trata da Preservação e Segurança Ambiental, e sua subseção VI.2, que trata do Programa de investigação e monitoramento da Bacia do Rio Doce, áreas estuarinas, costeiras e marinhas impactadas:

> A FUNDAÇÃO deverá apresentar um estudo de identificação de áreas de irrigação ao longo do Rio Doce, considerando como Área de Estudo uma faixa marginal do Rio Doce com largura de 1 km em cada margem, até dezembro de 2016.[1]
>
> PARÁGRAFO ÚNICO: Caso identificado algum processo de contaminação decorrente do EVENTO, serão propostas medidas específicas de reparação ou compensação a serem aprovadas pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS.

Neste sentido, este trabalho tem seus esforços direcionados à execução das seguintes etapas: (i) caracterizar as propriedades ou áreas que realizam irrigação ao longo dos cursos d'água a 2 km das margens esquerda e direita entre Mariana e Linhares, não se limitando a esse limite territorial, (ii) analisar os parâmetros de qualidade da água utilizada na irrigação, (iii) caracterizar a situação dos sistemas de irrigação, (iv) verificar a situação do solo utilizado no cultivo, (v) analisar as condições de sanidade das plantas cultivadas, (vi) apresentar recomendações para conjuntos de situações diagnosticadas nas propriedades avaliadas.

O entendimento das condições de irrigação das propriedades balizará a proposição de ações de melhoria para os produtores rurais, visando à reparação de danos e a auxiliar no manejo das propriedades, além de otimizar a irrigação por meio da utilização de equipamentos disponíveis no mercado e compatíveis com a produção das culturas irrigadas identificadas e as condições das águas dos rios diagnosticadas.

[1] Ressalta-se que, na metodologia assumida, nesta revisão do estudo, a área foi ampliada para 2 km.

3 Objetivo

O objetivo deste projeto é o cumprimento da Cláusula 180 do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), atendendo às solicitações dos órgãos, através da revisão do estudo de identificação de Áreas de Irrigação ao longo do Ribeirão do Carmo, dos Rios Gualaxo, Doce e outros cursos d'água afetados.

3.1 Objetivos Específicos

- Analisar e avaliar os dados e informações referentes à versão anterior do "Estudo para identificação de áreas de irrigação ao longo do Rio Doce, Gualaxo, Ribeirão do Carmo e outros cursos d'águas afetados", apresentando dados pretéritos ao rompimento da Barragem do Fundão.
- Revisar o diagnóstico, os mapeamentos realizados e a identificação dos sistemas de irrigação, sistemas artesanais de irrigação e culturas impactadas, incluindo propriedades rurais da agricultura familiar.
- Ampliar a região de amostragem das propriedades, incluindo áreas para além do *buffer* de 1 km estabelecido na Cláusula 180.
- Realizar coletas primárias de amostras de solo/água/material vegetal, com ampliação dos parâmetros físico-químicos analisados, avaliando aspectos da contaminação de culturas por metais.
- Realizar um novo mapeamento com imagens em alta resolução, incluindo disponibilização de dados vetoriais em *shapefile*.
- Identificar processos de contaminação decorrentes do desastre da Barragem do Fundão, estabelecendo nexo causal a partir de análise de aspectos de impactos, e propor medidas específicas de reparação ou compensação a serem aprovadas pelos órgãos ambientais.
- Disponibilizar dados originais em planilhas eletrônicas editáveis, dados georreferenciados e síntese das informações em plataforma de Sistema de Informações Georreferenciadas - SIG *on-line*.

4 Atendimento à Deliberação Nº 142

A elaboração de um estudo que avaliasse os impactos gerados pelo rompimento da Barragem do Fundão foi estabelecida no Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC), indicado na Cláusula 180, sendo apresentado um estudo preliminar em 2017 (ERG Engenharia / Fundação Renova 2017). A partir da avaliação desse estudo por diferentes órgãos, esses manifestaram a necessidade de ajustes na Nota Técnica 25/2016 CIF, corroborada pelas Notas Técnicas 10/2017 e 0006/2017 CT/CIF/GRSA, e Nota Técnica INCAPER/IEMA – N° 001/2017. Em 29 de janeiro do ano vigente, o "Estudo para identificação de áreas de irrigação ao longo do Rio Doce, Gualaxo, Ribeirão do Carmo e outros cursos d'águas afetados" foi oficialmente reprovado no Comitê Interfederativo, notificando a decisão na Deliberação nº 142.

A partir da notificação à Fundação Renova, foi estabelecido "prazo de 120 dias corridos para apresentação de documento consolidado com as adequações solicitadas". Com o intuito de se atender plenamente à demanda estabelecida na Cláusula 180, a Fundação Renova contratou, sob a denominação "revisão", o presente estudo, que ampliou em muito as informações necessárias para avaliação dos aspectos que impactaram as atividades agrícolas em áreas irrigadas.

A título de informação quanto ao atendimento das demandas indicadas nas notas técnicas, no item 12 são indicados cada um dos itens de pareceres dos órgãos ambientais com a tratativa dada nessa nova versão do estudo.

5 Área de Estudo

A Área de Estudo está inserida na bacia hidrográfica do Rio Doce e totalmente incluída na região Sudeste do país. A bacia encontra-se entre os paralelos 17°45' e 21°15' S e os meridianos 39°30' e 43°45' W, integrando a região hidrográfica do Atlântico Sudeste. Ela abrange um total de 230 municípios, com uma área de drenagem de, aproximadamente, 86.700 km². Da área de drenagem, por sua vez, 86% pertencem a Minas Gerais, e o restante ao Espírito Santo.

O Rio Doce, onde ocorreu a maior parte da deposição de rejeitos do rompimento da Barragem do Fundão, tem suas nascentes localizadas no estado de Minas Gerais, nas serras do Espinhaço e da Mantiqueira. Suas águas percorrem desde a sua nascente cerca de 850 km, até atingir o oceano Atlântico, em Regência, distrito do município de Linhares, no Estado do Espírito Santo.

A Área de Estudo possui características de uso e ocupação diversas do solo e, na perspectiva das áreas cultivadas e irrigadas, devem ser consideradas áreas impactadas ou com potencial de impacto às margens da calha principal dos cursos d`água atingidos pelo evento. Os impactos causados à estrutura de irrigação, qualidade da água, contaminação de solo e planta, por sua vez, são avaliados também pela composição do rejeito somado à dinâmica do rompimento como um todo.

A hipótese sobre a contaminação com elementos químicos tóxicos advindos de fontes diversas, além do próprio rejeito, inclui também origem naqueles materiais incorporados aos rejeitos, que ocorreram ao longo do rio após o local do rompimento da barragem de rejeitos. Assim, adicionado ao material da barragem, a dinâmica cinética de onda, a partir do ponto inicial, incorporou outros materiais, tais como: erodidos (solos e sedimentos dos cursos d'água), pela dissolução ou ressuspensão de sólidos no sedimento da calha principal (provocados pela turbulência da onda), ou arrastados (materiais que incluem vegetação nativa ou de cultivos), assim como de infraestruturas e outros materiais que se deslocaram a jusante pela calha principal avaliada. A energia e composição do material depositado pela onda se alterou ao longo de toda a Área de Estudo.

Com a finalidade de se dar o entendimento correto, esse material advindo do evento do rompimento é descrito no relatório como **material detrítico**, com referência no Plano de Manejo de Rejeitos.

A deposição dos materiais ao longo do Rio Doce foi determinada pelas características da topografia ou influenciada pela presença de barramentos, como de Candonga, Baguari e Mascarenhas. À medida que a onda de materiais dissolvidos ou suspensos na água fluía pelos córregos e rios, esses materiais foram depositados em planícies de inundação e em calhas, causando impactos perceptíveis no uso e ocupação do solo, assim como na qualidade da água (superficial, subterrânea ou de sistema de abastecimento público). Esses impactos, na perspectiva das áreas cultivadas irrigadas, estão inseridos na definição da Área Ambiental 1:

> Área Ambiental 1: áreas abrangidas pela deposição de rejeitos nas calhas e margens dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, considerando os respectivos trechos de seus formadores e tributários, bem como as regiões estuarinas, costeiras e marinha na porção impactada pelo EVENTO. (Cláusula 1, Item IV - TTAC).

O presente estudo compreendeu as propriedades que tenham sistemas de irrigação nas suas áreas cultivadas e foi circunscrita a um *buffer* de 2 km ao longo das margens direita e esquerda dos cursos d'água afetados entre os municípios de Mariana e Linhares. O escopo do presente serviço inclui a maior parte da Área Ambiental 1, excluindo-se as áreas marinhas ou estuarinas que não se encontram na foz do Rio Doce, já que a água salina não é utilizada na irrigação.

A Área de Estudo foi dividida em cinco trechos, com referência às características de deposição do material detrítico, ajustado a partir dos trechos definidos no Plano de Manejo de Rejeitos. Nessa definição dos trechos foi considerada a perspectiva agrícola do estudo e as divisas municipais, à exceção do último trecho. Essa delimitação está ilustrada na Figura 2, descrita a seguir:

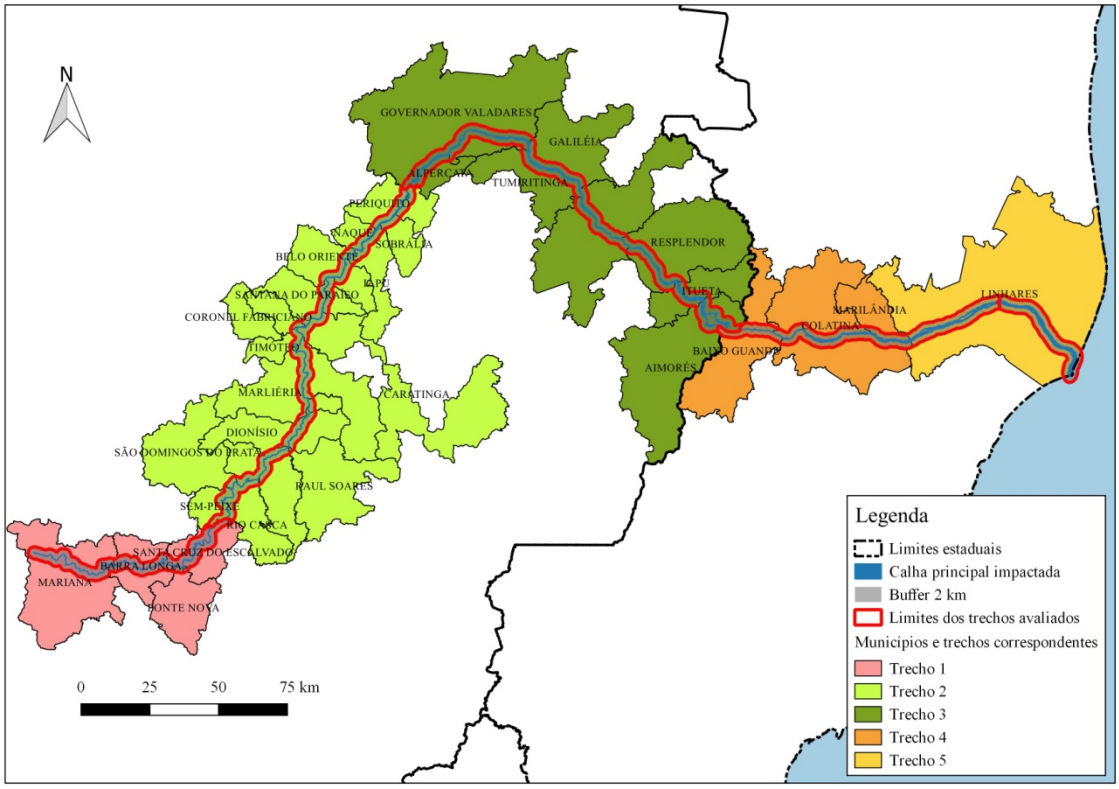
- **Trecho 1 (Fundão a Candonga / 148 km) -** Inicia-se na região mais a montante da Área de Estudo, no Córrego Santarém, no ponto de ruptura da Barragem do Fundão, estendendo-se até a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Barragem de Candonga). É o trecho considerado de maior impacto, onde ocorreu a maior deposição de frações completas do material detrítico, cursos d'água adjacentes e na calha principal impactada, compreendendo os municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Ponte Nova e Santa Cruz do Escalvado.

- **Trecho 2 (Candonga a Baguari / 208 km)** – Compreende o trecho do Rio Doce desde a Barragem de Candonga até a Barragem de Baguari no Rio Doce no Estado de Minas Gerais. Compreende os municípios de Belo Oriente, Bom Jesus do Galho, Bugre, Caratinga, Córrego Novo, Dionísio, Fernandes Tourinho, Iapu, Ipaba, Ipatinga, Marliéria, Naque, Periquito, Pingo-D'Água, Raul Soares, Rio Casca, Santana do Paraíso, São Domingos do Prata, São José do Goiabal, São Pedro dos Ferros, Sem-Peixe, Sobrália e Timóteo.
- **Trecho 3 (Baguari a Marcarenhas / 181 km)** – Inicia-se na Barragem de Baguari, estendendo-se até a Barragem Mascarenhas, na divisa dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Compreende os municípios de Aimorés, Alpercata, Conselheiro Pena, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Resplendor e Tumiritinga.
- **Trecho 4 (Marcarenhas a Linhares / 117 km)** – Delimitado no Rio Doce, no Espírito Santo, inicia-se na Barragem de Mascarenhas, estendendo-se até a sede do município de Linhares, compreendendo, além desse município, Baixo Guandu, Colatina e Marilândia.
- **Trecho 5 (Linhares a Foz do Rio Doce / 48 km) –** Delimitado a oeste pela sede do município de Linhares, estendendo-se até a foz do Rio Doce, no distrito de Regência.

Além do Rio Doce, compõem a Área de Estudo as calhas e margens do Córrego Santarém, do Ribeirão do Carmo e do Rio Gualaxo do Norte, considerando os respectivos trechos de seus formadores e tributários.

Os esforços de campo, mapeamento e análises de amostras de solos, material vegetal e de águas foram concentrados dentro desse escopo, não se limitando a este em casos onde se constataram propriedades impactadas para além dessa delimitação territorial.

Figura 2 - Área de Estudo e subdivisão em trechos, indicados nos municípios, com referência na definição da Área Ambiental 1, no Plano de Manejo de Rejeitos



Fonte: IBGE, Embaúba Ambiental e Fundação Renova (2018).

A metodologia utilizada para a realização deste estudo considerou os municípios interceptados pela calha principal impactada pelo rompimento da Barragem do Fundão. Dentre esses, foram selecionados aqueles com expressiva porção territorial às margens dos cursos d'água impactados. Considerando esses critérios, os quantitativos de atividades, para avaliação em um mínimo de 800 propriedades, estão distribuídos nos 24 municípios, distribuídos nos 5 trechos descritos anteriormente, a saber:

- 21 municípios mineiros: (Trecho 1) – Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado. (Trecho 2) – Rio Casca, Sem-Peixe, São José do Goiabal, Ipatinga, Ipaba, Belo Oriente, Naque, Periquito e Fernandes Tourinho. (Trecho 3) – Governador Valadares, Alpercata, Tumiritinga, Galiléia, Conselheiro Pena, Resplendor, Itueta e Aimorés.
- 3 municípios capixabas: (Trecho 4) – Baixo Guandu, Colatina e parte de Linhares. (Trecho 5) – outra parte de Linhares.

6 Fases do Estudo

6.1 Fase I: Análise e avaliação das informações disponíveis

A identificação de áreas cultivadas com irrigação afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão foi elaborada com referência aos dados da versão anterior do "Estudo para identificação de áreas de irrigação ao longo do Rio Doce, Gualaxo, Ribeirão do Carmo e outros cursos d'águas afetados", complementado com dados disponibilizados pela Fundação Renova, a saber:

- Programa de Monitoramento Qualiquantitativo Sistema de Água e Sedimentos – Relatório Técnico. (Fundação Renova 2018).
- Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão – Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos (Golder Associates / Fundação Renova 2017).
- Relatório Draft 2 das atividades de campo na área-piloto denominada Área Prioritária de Recuperação 9 – Planície de Inundação BFS-26 do Rio Gualaxo do Norte, em Barra Longa - MG e Comunidade de Areal, em Linhares – ES (E.P.A. / Fundação Renova 2018).
- Estudos referentes à Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos (CH2M / Fundação Renova 2017).

Além dos dados provenientes dos estudos elaborados no contexto do rompimento da Barragem do Fundão, foram obtidos dados através de consultas formais a órgãos ambientais do Espírito Santo e Minas Gerais. Para tanto, as ações consistem na revisão de diagnósticos, elaboração de mapeamento para a identificação das áreas-objeto de estudo, identificação de pontos de captação para irrigação em diferentes escalas e formas (nascentes, lagoas, cisternas e cursos d'água), incluindo irrigação artesanal. Além dos estudos citados, a ampliação de informações foi possível com a consulta a diferentes bases de dados por diferentes fontes de dados secundários:

- Áreas afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão (Fundação Renova).
- Áreas urbanas do Estado de Minas Gerais (Inventário Florestal de MG - IEF).
- Áreas conurbanas do Estado de Minas Gerais (Inventário Florestal de MG - IEF).

- Cadastro de Proprietários da Renova (Fundação Renova).
- Feições Estruturais da Área de Estudo em MG (Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais - CODEMIG).
- Unidades Litoestratigráficas da Área de Estudo em MG e ES (Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais - CODEMIG; CPRM).
- Localidades do Estado de Minas Gerais (Instituto Prístino).
- Banco de dados georreferenciado de análises geoquímicas de sedimentos, solos e rejeitos (Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos - GOLDER).
- Municípios afetados pelo evento, com informações dos distritos e localidades do Estado de Minas Gerais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE; Instituto Prístino).
- Cadastro de Outorgas (Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM).
- Base hidrográfica retificada para o Rio Doce (Agência Nacional de Águas - ANA; Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM).
- Unidades de Classes de Solo da Área de Estudo em MG e ES (Universidade Federal e Viçosa - Departamento de Solos; IEMA-ES).
- Terras Indígenas (Ministério do Meio Ambiente - MMA).
- Unidades de Conservação de Minas Gerais e Espírito Santo (Instituto Estadual de Florestas - IEF; Ministério do Meio Ambiente - MMA).
- Cadastro Ambiental Rural Renova (Fundação Renova e Ministério do Meio Ambiente - MMA).

Aos dados do cadastro de propriedades impactadas da Fundação Renova, foram adicionadas informações georreferenciadas das respectivas bases de dados. Esse banco de dados já continha informações declaradas pelos proprietários, como tipos de cultura, impactos e locais de captação de água dos sistemas de irrigação. Além das coordenadas das propriedades, foram adicionadas outras informações a partir das bases de dados secundárias, constituindo um banco de dados robusto, cujo fluxo metodológico está descrito na Figura 3. A revisão desses materiais impactou o devido ajuste metodológico de amostragem para a realização da Fase II.

6.2 Fase II: Levantamento de informações em campo

Durante essa fase foram realizadas vistorias às propriedades e realizadas coletas de amostras de material para análise. Foi estabelecida como meta a realização de um mínimo de 800 vistorias *in loco* a propriedades rurais com aplicação de questionário de caracterização, sendo que em 500 dessas foram realizadas coletadas de amostras de solo, de plantas e d'água, conforme explicitado na Tabela 1. Cada propriedade vistoriada teve as suas atividades registradas por meio do documento preenchido no ato da entrevista denominado "Caracterização da Propriedade" (Apêndice A).

Tabela 1 -Planejamento para levantamento de informação em campo

MÉTODO DE LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES	Nº DE PROPRIEDADES
Visita - Vistoria técnica com aplicação de questionário	800
Coleta – Amostragem de solo, material vegetal e água	500

Fonte: Embaúba Ambiental.

Durante as vistorias nas propriedades, as informações colhidas no documento de "Caracterização da Propriedade" permitiram tanto avaliar as propriedades já cadastradas como incluir aquelas que foram impactadas, mas ainda não se encontravam cadastradas. Além dos dados de localização da propriedade e dos dados do proprietário, foram colhidas informações dos sistemas de irrigação, quando utilizados ou não. A inclusão da pergunta de utilização de sistema de irrigação foi adotada já que o filtro aplicado ao banco de dados da Fundação Renova incluiu tanto aqueles que afirmavam ter o sistema de irrigação no momento do rompimento, como aqueles que afirmaram não saber da existência do sistema de irrigação na propriedade. Também foram incluídas perguntas para obter informações sobre as culturas, além de informações sobre a percepção do proprietário quanto ao impacto gerado pelo rompimento da Barragem do Fundão, atendendo às demandas expressadas pelos órgãos INCAPER, IEMA e CIF, principalmente sobre os impactos aos sistemas de irrigação.

Para que os serviços fossem realizados no prazo estipulado, a Embaúba Ambiental dimensionou as atividades de campo com a atuação de pelo menos 6 equipes. E assim foi possível concluir as 800 visitas estipuladas em 5 semanas de atividades.

É importante destacar que cada equipe foi constituída por um técnico de campo e um auxiliar, com materiais e equipamentos de coleta adequados ao padrão de qualidade e segurança inerentes a esse trabalho.

A fase de campo foi de fundamental importância para verificar e corrigir falhas no diagnóstico e mapeamentos já realizados anteriormente, assim como para a ampliação do registro de propriedades com a utilização de sistemas de irrigação profissionais e artesanais.

A correta realização e qualidade das atividades de coleta (metodologia de coleta, acondicionamento e armazenamento) das amostras foi garantida pelo cumprimento dos protocolos definidos em normas e registrados nas cadeias de custódia. O cumprimento da cadeia de custódia, dessa forma, foi garantido pelo treinamento realizado com as equipes de campo e pelo controle do recebimento e despacho do material.

Esses dados coletados e analisados foram cruzados com os levantados na versão anterior do estudo de áreas de irrigação, com a base de dados de outorgas (atualizada para Minas Gerais, já disponível nessa versão do estudo), com dados do cadastro e das atividades de campo, e com informações obtidas do Programa de Cadastro dos Impactados da Fundação Renova.

É importante destacar que os dados do banco de cadastro de propriedades afetadas, indicando os danos nos seus sistemas de irrigação, ampliaram em muito as informações, contemplando aspectos apontados nos pareceres dos órgãos ambientais de Minas Gerais e Espírito Santo, principalmente quanto à identificação de propriedades com sistemas artesanais.

A avaliação de dados socioeconômicos permitiu um melhor conhecimento da região onde as propriedades se inserem, para conhecer o contexto regional econômico, com atenção ao perfil de irrigação artesanal. Cabe destacar que algumas propriedades podem se encontrar em contextos de impactos indiretos, sendo destacadas duas regiões: na área de inundação do lago da Usina Hidrelétrica Baguari, principalmente a montante do Rio Corrente; e no sistema de lagoas e lagunas, na região estuarina como um todo, já próximo à foz do Rio Doce, no município de Linhares.

Estão evidenciadas nesse documento as caracterizações por meio de registros fotográficos (aéreas e/ou em terra) das áreas de irrigação, sistemas de captação, culturas e impactos. (Apêndice C).

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

6.3 Fase III: Entrega e apresentação dos estudos – Relatório Final

A partir das análises de dados primários e secundários, são apresentadas propostas específicas de reparação dos danos, na forma de um Projeto Básico Conceitual, com indicações de tecnologias a serem empregadas na irrigação, estimativa de custo preliminar (total por hectare) para as duas culturas de maior predominância identificadas no estudo.

É importante destacar que todas as informações geradas e/ou utilizadas pela Embaúba Ambiental para a realização do estudo são apresentadas georreferenciadas e plotadas em mapas temáticos. O presente Relatório Final apresenta todas as informações técnicas para o atendimento às solicitações definidas nas notas técnicas, incluindo a apresentação de dados em interface interativa e georreferenciada, constituída pelas informações organizadas em Bancos de Dados georreferenciados.

7 Metodologia de Coleta e Análise de Dados

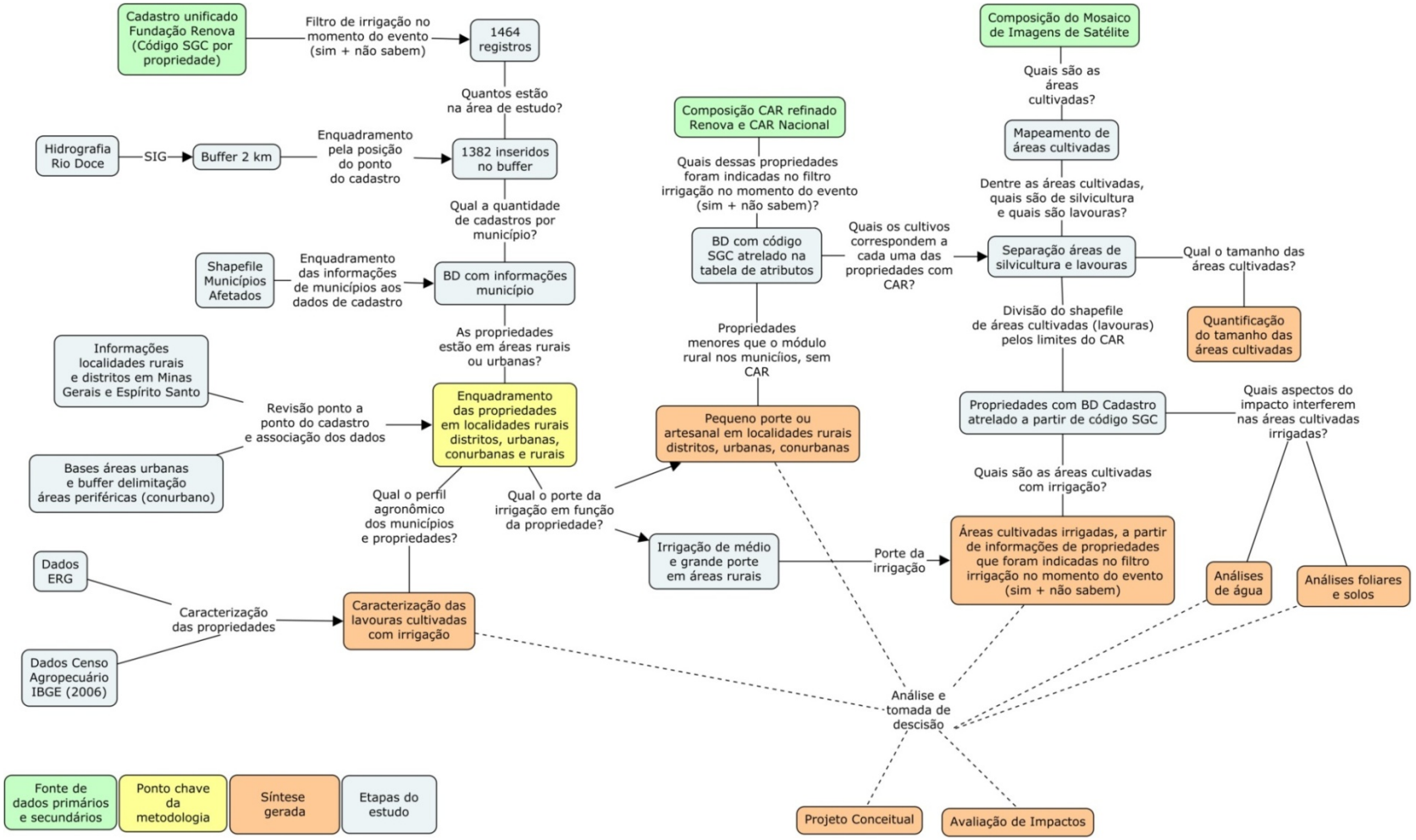
Para essa etapa dos estudos, a metodologia de trabalho tem como focos a revisão e a avaliação de dados existentes, conforme detalhado na Figura 3. Inicialmente os bancos de dados disponibilizados pela Renova foram integrados, agrupados e reordenados, de forma a permitir o cruzamento de informações. As bases de dados georreferenciadas permitiram incorporar outras informações aos bancos de dados, assim como caracterizar a Área de Estudo.

O estudo tem abordagens múltiplas e com análise interdisciplinar. Os pontos de contato entre as diferentes áreas do conhecimento (ambientais, socioeconômicas e agronômicas) permitem suscitar os problemas e atribuir os aspectos dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem do Fundão.

A análise integrada dos dados e dos impactos permite a proposição de medidas para a mitigação ou compensação dos danos que já foram interrompidos ou aqueles continuados, que prejudicam as atividades de cultivo irrigado nas propriedades da Área de Estudo, principalmente aquelas que captam água dos cursos d'água impactados.

As informações geradas estão compiladas neste presente relatório descritivo, e os dados disponibilizados em *software* de banco de dados com interface GIS, com o acesso disponibilizado pela Renova.

Figura 3 - Fluxo da análise de informações e cruzamento de Bancos de Dados



Fonte: Elaboração própria.

7.1 Mapeamento da área

Foi realizado um novo mapeamento de toda a área de interesse para auxiliar na definição das áreas a serem estudadas bem como para alimentar o *software* de banco de dados onde todos os pontos de interesse para o estudo foram georreferenciados.

Dados primários e secundários são apresentados em *layouts* específicos e em mapas de síntese, contendo as áreas cultivadas e demais aspectos relacionados à avaliação da situação atual da irrigação na região. Essas informações juntamente com o banco de dados georreferenciados das análises laboratoriais permitiram correlacionar aspectos agronômicos, ambientais e do estudo de impacto, considerando a espacialização das informações. Todos esses dados compõem a base de dados georreferenciados da Fundação Renova e estão disponibilizados para consulta dos respectivos órgãos ambientais e outras partes interessadas.

A metodologia empregada em cada uma das atividades que envolvem o Mapeamento da Área está detalhada a seguir.

7.1.1 Obtenção dos dados

O mapeamento das áreas cultivadas apoia a identificação de sistemas de irrigação, bem como a comparação de pontos coletados *in situ* e em outras bases de dados, tais como a de outorgas levantadas junto aos órgãos ambientais do estado de Minas Gerais, Espírito Santo e a base nacional da Agência Nacional de Águas.

Esse mapeamento foi realizado, inicialmente, através da interpretação visual de imagem de satélite (PANIZZA; FONSECA, 2011). Para isso, foram selecionados elementos que ajudaram a eliminar a subjetividade associada ao mapeamento, seguida da validação das características e definição das informações a serem levantadas em campo.

O mapeamento da vegetação é subdividido de acordo com as características do estrato arbóreo da cobertura vegetal e a partir da geometria das áreas, identificando plantações. Nas áreas de plantações, foram apontadas irrigação com pivôs centrais ou mesmo outras formas de irrigação. Essas áreas de cultivo se diferenciam de formações de vegetação nativa ou classes de uso e ocupação do solo que não guardam características similares.

Assim, as formações de vegetação nativa ou classes de uso e ocupação do solo que não se referem às áreas cultivadas são reconhecidas e descartadas, sendo somente mapeadas as áreas de culturas. Os elementos escolhidos são cor, textura, forma, estrutura e tamanho (PANIZZA; FONSECA, 2011).

O mapeamento é apresentado com a validação dos dados levantados nos trabalhos de campo. Essa interpretação da imagem de satélite tem como objetivo verificar as áreas cultivadas existentes no período antes e depois do rompimento da Barragem do Fundão, com o uso das imagens dos satélites GeoEye-1, WorldView-2 e WordView-3 (Figura 4).

As propriedades contidas no banco de cadastro integrado da Fundação Renova que indicam a presença de sistemas de irrigação tiveram as áreas extraídas a partir das imagens de satélite e complementadas com informações de cultivos temporários e permanentes, informações provenientes dos questionários de vistorias em campo.

Figura 4 - Pequenas áreas cultivadas, com misto de culturas, não mapeável por imagem de satélite, registradas em vistorias



Fonte: Embaúba Ambiental.

No mapeamento, foram utilizadas imagens de antes e depois do rompimento da Barragem do Fundão, compondo um mosaico ao longo da Área Ambiental 1 em três diferentes momentos:

- T0, antes do rompimento, no ano de 2015;
- T1, logo após o rompimento, em 2015/2016;

- T2, referente ao último ano agrícola de 2017.

Para o ano de 2015, foram utilizadas imagens captadas nos meses de janeiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e novembro (T0). Logo após o rompimento, estão sendo utilizadas imagens captadas nos meses de novembro e dezembro de 2015, e para o período após o rompimento (T1), está sendo considerado o mês de janeiro de 2016. Imagens do ano de 2017, no mês de abril (T2), permitem avaliar a continuidade de práticas agrícolas nessas áreas, já com uma distância temporal de cerca de 1,5 ano após o rompimento. A resolução das imagens adotadas atualmente é pelo menos 50 vezes maior que as adotadas na versão anterior do estudo. Enquanto Landsat 8 tem pixel de 15 m, as imagens selecionadas têm pixel de no máximo 2 m (Quadro 1).

O mapeamento utilizando imagens dos momentos anteriores e imediatamente posteriores ao rompimento possibilitam visualizar áreas onde as práticas de cultivo foram descontinuadas, assim como aquelas que foram impactadas direta ou indiretamente. É importante ressaltar que as áreas cultivadas, identificadas nos mosaicos de imagem de satélite em T0, foram validadas pelo cadastro de proprietários impactados com as informações das outorgas, por bases de dados secundários e, principalmente, pelas visitas às propriedades em campo.

Sabe-se que na região analisada existem agricultores familiares que mantêm cultivos de subsistência ou de pequena escala na forma de quintais produtivos, com hortas, pequenos pomares, muitas vezes compondo uma matriz com organizações múltiplas. São áreas de tamanho reduzido, as quais não têm possibilidade de serem mapeadas pela escala adotada. Essas áreas de cultivo de subsistência foram identificadas durante o trabalho de campo da Fase II e caracterizadas como irrigação artesanal.

O resultado do mapeamento está sendo apresentado em mapas com *layouts* específicos, em meio digital ou impressos, em escala visível, a ser apresentado para os órgãos ambientais e Ministério Público.

7.1.2 Imagens de satélite

O mapeamento foi realizado através das imagens de satélite GeoEye-1, WorldView-2 e WordView-3 disponibilizados pela Renova (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição dos satélites a serem utilizados

DESCRIÇÃO	SATÉLITE		
	GEOEYE-1	WORLDVIEW-2	WORLDVIEW-3
Órbita	Circular, heliossíncrona, descendente, 98,1º de inclinação, período de 98.46 minutos e altitude de 681 Km	Circular, heliossíncrona, descendente, 45º de inclinação, período de 100 minutos e altitude de 770 Km	Circular, heliossíncrona, descendente, 45º de inclinação, período de 97 minutos e altitude de 617 Km
Horário de Imageamento	10h30 min AM	10h30 min AM	10h30 min AM
Bandas do Sensor	Pancromático P&B; Multiespectral: Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho próximo	Pancromático P&B; Multiespectral: Coastal, Azul, Verde, Amarelo, Vermelho, Rededge, Infravermelho próximo, Infravermelho próximo 2	Pancromático P&B, 8 bandas multiespectrais (coastal, blue, green, yellow, red, rededge, NIR-1 and NIR-2, 8 bandas no Infra Vermelho de ondas curtas (SWIR), 12 bandas no CAVIS (correção para nuvens, Aerossóis, Vapores, Gelo e Neve)
Resolução Espacial	Pancromático P&B: 0,5 m; Multiespectral: 2,0 m. Em nadir.	Pancromático P&B: 0,5 m; Multiespectral: 2,0 m. Em nadir.	Pancromático P&B: 0,3 m; Multiespectral: 1,24 m. SWIR: 3,70m. CAVIS: 30m. Em nadir.
Sensibilidade Espectral	Pancromático: 450-900 nm; Multiespectral: 450-520 nm (Azul), 520-600 nm (Verde), 625-695 nm (Vermelho) e 760-900 nm (Infravermelho próximo).	Pancromático: 450-800 nm; Multiespectral: 400-450 nm (Coastal), 450-510 nm (Azul), 510-580 nm (Verde), 585-625 nm (Amarelo), 630-690 nm (Vermelho), 705–745 nm (Red Edge), 770–895 nm (Infravermelho próximo 1), 860-1040 nm (Infravermelho próximo 2)	Pancromático: 450 to 800 nm, Multiespectral: 400 to 450 nm (Coastal), 450to 510 nm (Azul), 510 to 580 nm (Verde), 585 to 625 nm (Amarelo), 630 to 690 nm (Vermelho), 705 to 745 nm (Rededge), 770 to 895 nm (Infravermelho próximo 1), 860 to 1040 nm (Infravermelho próximo 2). Bandas SWIR: SWIR-1 – 1195 to 1225 nm, SWIR-2 – 1550 to 1590 nm, SWIR-3 – 1640 to 1680 nm, SWIR-4 – 1710 to 1750 nm, SWIR-5 – 2145 to 2185 nm, SWIR-6 – 2185 to 2225 nm, SWIR-7 – 2235 to 2285 nm, SWIR-8 – 2295 to 2365 nm Bandas CAVIS: Desert clouds – 405 to 420 nm, Aerossol-1 – 459 to 509 nm, Verde – 525 to 585 nm, Aerossol-2 – 635 to 685 nm, Água-1 – 845 to 885 nm, Água-2 – 897 to 927 nm, Água-3 – 930 to 965 nm, NDVI-SWIR – 1220 to 1252 nm, Cirrus – 1365 to 1405 nm, Neve – 1620 to 1680 nm, Aerossol-3 – 2105 to 2245 nm, Aerossol-3 – 2105 to 2245 nm (as 2 bandas Aerossol-3 têm a mesma sensibilidade mais visadas opostas para estimar a altitude das nuvens)

DESCRIÇÃO	SATÉLITE		
	GEOEYE-1	WORLDVIEW-2	WORLDVIEW-3
Resolução Radiométrica	11 bits por pixel	11 bits por pixel	11 bits por pixel nos modos Pan e MS; 14 bits por pixel no modo SWIR.
Tamanho de Cena Básica	15.2 x 15.2 km	16,4 x 16,4 km	13,1 km x 13,1 km.
Largura de Faixa Imageada	15,2 km em nadir.	16,4 km em nadir.	13,1 km em nadir.
Capacidade de Visada Lateral	Sim, +/- 30º fora do nadir.	Sim, +/- 45º fora do nadir.	Sim, +/- 45º fora do nadir.
Estereoscopia	Sim	Sim	Sim
Precisão de Localização	5 m de erro circular especificado e 3 metros de erro circular medido em 90% dos casos, sem uso de pontos de controle.	3,5 m de erro circular demonstrado em 90% dos casos, sem uso de pontos de controle.	3,5 m de erro circular demonstrado em 90% dos casos, sem uso de pontos de controle.
Frequência de Revisita	Aproximadamente 3 dias, dependendo da latitude.	Aproximadamente 1,1 dia com 1 m GSD e 3,7 dias com 0,52 m GSD e 20º fora do nadir.	Aproximadamente < 1 dia (1-m GSD) e 4,5 dias (com visada < 20° off-nadir).
Programação de Imageamento	Sim, disponível e relativamente ágil.	Sim, disponível.	Sim, disponível.

Fonte: SateliteImaging Corporation (2018).

7.1.3 Escala de obtenção dos dados

A escala de obtenção dos dados com o uso das imagens dos satélites GeoEye-1, WorldView-2 e WordView-3 é de 1:3.000. Todavia, por ser uma escala em meio digital, poderá ser ampliada e aprimorada, chegando a ser mapeada em 1:1.

7.1.4 *Softwares* utilizados

Foram utilizados os *softwares* de Geoprocessamento e Planilhas:

- ArcGIS 10.4.
- Quantum Gis.
- Excel.

7.1.5 Banco de dados

O Sistema Geodésico utilizado é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) do ano de 2000 (SIRGAS2000), que é a referência para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) bem como para a normatização da Fundação Renova. Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF) solicitou "apresentar arquivos vetoriais de todos os mapas apresentados no documento em formato shapefile, com projeção SIRGAS2000, acompanhados de metadados completos e dicionário de dados". Portanto, todos os dados que foram gerados adotaram esse padrão, e os dados secundários de fontes oficias que não se encontrem nesse sistema serão devidamente projetados. Na versão atual dos estudos, junto ao relatório, acompanham as bases de dados solicitadas.

O sistema de coordenadas adotado é o de coordenada geográfica. Essa decisão tem como referência a ampla escala de trabalho, já que a área estabelecida para mapeamento e análise engloba dois fusos do sistema UTM (fusos 23 e 24). O sistema de coordenadas geográficas foi escolhido em detrimento ao sistema UTM, já que este último não proporciona continuidade de representação entre os diferentes fusos. Outro aspecto para essa escolha é o aumento de erros, na medida em que os dados se afastam do meridiano central e da latitude de origem.

7.1.6 Estatística de Kernel

As principais regiões com índices de contaminação por arsênio (As), cobre (Cu), cromo (Cr), zinco (Zn), níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg) foram reconhecidas a partir do BD georreferenciado dos estudos Geoquímicos da Golder/Renova, com a geração de camadas raster em formato GeoTIFF. Utilizou-se índice de Kernel associado a uma medida de raio de comprimento padrão de ferramentas de Sistema de Informação Georreferenciadas - SIG. Cada ponto de amostragem geoquímica assume uma função matemática Kernel triponderada, e a sobreposição de funções permite espacializar a probabilidade de ocorrência de concentrações de elementos, correspondentes àquelas dos pontos de amostragem, no limite dos

raios de círculos concêntricos gerados. encontradas nos pontos de parâmetros com seus respectivos valores gerados. A elaboração de mapas de calor (*heat maps*) explicita a concentração de ocorrências em amostras coletadas em diferentes áreas, mesmo quando essas se sobrepõem na mesma coordenada geográfica ou localidade de referência (LONGLEY, 2005). Realizou-se uma análise da interpolação de amostras geoquímicas, com o peso atribuído aos campos de dados das concentrações de cada elemento, em cada amostra.

Utilizou-se o complemento "Mapa de Calor" no software QuantumGis. O complemento "Mapa de Calor" gera círculos de raio fixo preestabelecido que tem como ponto central cada coordenada da amostra. O raio atribuído foi de 3 km. Optou-se por manter o padrão em sistema de coordenadas geográficas, garantindo a qualidade do georreferenciamento das informações, convertendo-se as coordenadas UTM.

Os dados gerados foram expressos em valores brutos, com referência nos limites da legislação. A amplitude da expressão dos resultados foi ajustada para o valor mínimo de zero e o máximo para o valor de investigação industrial, como indicado na legislação vigente (Tabela 2). As classes de concentrações, cujas cores correspondem às estimativas da estatística, são apresentadas em interpolação discreta, no modo contínuo, com número variável de classes para cada elemento.

Tabela 2 - Limites de concentrações em mg/kg dos elementos selecionados para as análises

	Arsênio (mg/kg)	**Cádmio (mg/kg)**	**Chumbo (mg/kg)**	**Cobre (mg/kg)**	**Cromo (mg/kg)**	**Mercúrio (mg/kg)**	**Níquel (mg/kg)**	**Zinco (mg/kg)**
Distribuição de elementos-traço no Quadrilátero Ferrífero (Q75 com outlier). FEAM 2015	30,6	0,52	15,1	35,1	134,7	0,024	40,7	73,9
Padrão de Referência de Minas Gerais. D.N.COPAM 166/2011	8	0,4	19,5	49	75	0,05	21,5	46,5
Valor de Prevenção. Res. CONAMA 420/2009	15	1,3	72	60	75	0,5	30	300
Valor de Investigação - Agrícola. Res. CONAMA 420/2009	35	3	180	200	150	12	70	450

	Arsênio (mg/kg)	Cádmio (mg/kg)	Chumbo (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Mercúrio (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Zinco (mg/kg)
Valor de Investigação - Residencial. Res. CONAMA 420/2009	55	8	300	400	300	36	100	1000
Valor de Investigação - Industrial. Res. CONAMA 420/2009	150	20	900	600	400	70	130	2000

Fonte: Golder & Fundação Renova (2018).

7.2 Caracterização do Meio Físico

Com o intuito de cruzar dados do meio físico, bem como buscar entender a influência natural de tais aspectos em níveis de parâmetros físico-químicos avaliados nas amostras tomadas em campo, foram levantados dados secundários do meio físico disponibilizados por órgãos governamentais e fontes públicas. Foram priorizadas bases de dados georreferenciadas, que permitiram apresentar o contexto atual da região estudada sob diferentes aspectos, relacionando os cultivos agrícolas existentes às feições de relevo, tipos de solo, litologias, domínios hidrogeológicos e condições climáticas predominantes.

7.2.1 Análise de relevo

A partir da consulta de dados de hipsometria e declividade disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), foram avaliadas as feições de relevo presentes na Área de Estudo e sua relação com o uso e ocupação de solo e as distribuições de lavouras irrigadas. Essa análise foi realizada através de 21 perfis topográficos distribuídos entre os municípios de Mariana, em Minas Gerais, e Linhares, no Espírito Santo.

7.2.2 Análise de hidrografia

As características hidrográficas da bacia do Rio Doce foram elaboradas com base nas informações de drenagens obtidas junto à Agência Nacional das Águas (principais afluentes do Rio Doce) e em consulta à Agência da Bacia do Rio Doce (IBIO) (limites para as sub-bacias).

7.2.3 Análise espacial das classes de solo

Foi realizada a caracterização das classes de solos presentes na Área de Estudo e sua relação com as culturas irrigadas. Para o estado de Minas Gerais, foi utilizado o mapa de solos elaborado pela Universidade Federal de Viçosa e colaboradores. Já para o Espírito Santo, foi utilizado o mapa da Universidade Federal do Espírito Santo. A partir desses mapas, é possível avaliar os resultados das análises de solos em função das características físicas e químicas médias que definem as classes de solos onde as áreas cultivadas se encontram localizadas.

7.2.4 Geologia Regional

Apresenta-se a caracterização da geologia da Área de Estudo a partir dos mapas geológicos disponibilizados pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), para o estado de Minas Gerais, e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), para o estado do Espírito Santo. Foram avaliadas as diferentes unidades litoestratigráficas presentes na área e as possíveis relações destas com aspectos agronômicos e eventuais anomalias identificadas nas amostras de material vegetal e solos analisados.

7.2.5 Hidrogeologia

Os domínios hidrogeológicos que ocorrem na área de interesse e sua relação com os processos de irrigação foram identificados bem como possíveis contribuições aos mecanismos de contaminação de lavouras.

7.2.6 Clima

Foram identificados os principais domínios climáticos na região de estudo e sua correlação com as lavouras e com os processos de irrigação. A análise está intimamente relacionada aos dados de precipitação, disponibilizados pela Agência Nacional das Águas, apresentados na forma de isoietas.

7.2.7 Uso e ocupação

Foram caracterizados os principais usos e ocupações do solo na área estudada relacionados aos processos de irrigação e a eventuais anomalias identificadas nas lavouras. Os dados utilizados foram disponibilizados pelo Agência de Bacia do Rio Doce e Afluentes (IBIO).

7.2.8 Direito minerário

Foram avaliados os processos de beneficiamento mineral e lavra garimpeira na área de interesse constantes no banco de dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Essa avaliação visou mapear possíveis interferências relacionadas às etapas dos processos de aproveitamento mineral às características nutricionais das lavouras existentes na Área de Estudo.

Para cada um dos temas do meio físico descritos neste item foram elaborados mapas temáticos com as bases de dados preexistentes, com recortes específicos na escala da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, ou restrito ao *buffer* de 2 km.

7.3 Definição da amostra para vistorias e coletas (solo, água e material vegetal)

No escopo de revisão do estudo de áreas de irrigação afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão, foram realizadas análises físico-químicas do solo, da água e do material vegetal nas áreas situadas ao longo dos rios Gualaxo, Ribeirão do Carmo e Rio Doce.

O escopo dos trabalhos foi de realização de 1.000 coletas e análises laboratoriais de fertilidade do solo, 500 coletas e análises laboratoriais de material vegetal e 500 coletas e análises laboratoriais de água. Esse quantitativo de amostras teve como ponto de partida as 1.464 propriedades cadastradas nos municípios que foram afetados pelo rompimento da Barragem do Fundão incluídos no *Buffer* de 2 km, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Municípios contemplados com a realização de análises físico-químicas do solo, da água e do material vegetal e dados de propriedades afetadas (as propriedades contidas no *buffer* de 2 km são aquelas que compõem o universo amostral)

MUNICÍPIO	ESTA-DO	BUFFER 2 KM	TOTAL DE DECLA-RANTES	AMOS-TRAS DE SOLO	AMOS-TRAS VEGETAIS	AMOS-TRA DE ÁGUA
Aracruz*	ES	0	6	-	-	-
Baixo Guandu	ES	94	94	X	X	X
Colatina	ES	133	133	X	X	X
Linhares	ES	194	224	X	X	X
Marilândia**	ES	30	30	-	-	-
São Mateus*	ES	0	3	-	-	-
São Roque do Canaã*	ES	0	1	-	-	-
Aimorés	MG	92	92	X	X	X
Alpercata	MG	35	35	X	X	X
Barra Longa	MG	62	62	X	X	X
Belo Oriente	MG	29	29	X	X	X
Bom Jesus do Galho**	MG	32	38	-	-	-
Bugre**	MG	14	14	-	-	-
Caratinga**	MG	39	39	-	-	-
Conselheiro Pena	MG	43	43	X	X	X
Coronel Fabriciano*	MG	0	1	-	-	-
Córrego Novo	MG	1	1	-	-	-
Dionísio	MG	5	5	-	-	-
Fernandes Tourinho	MG	1	1	X	X	X
Galiléia	MG	41	42	X	X	X
Governador Valadares	MG	113	113	X	X	X
Iapu	MG	5	5	-	-	-

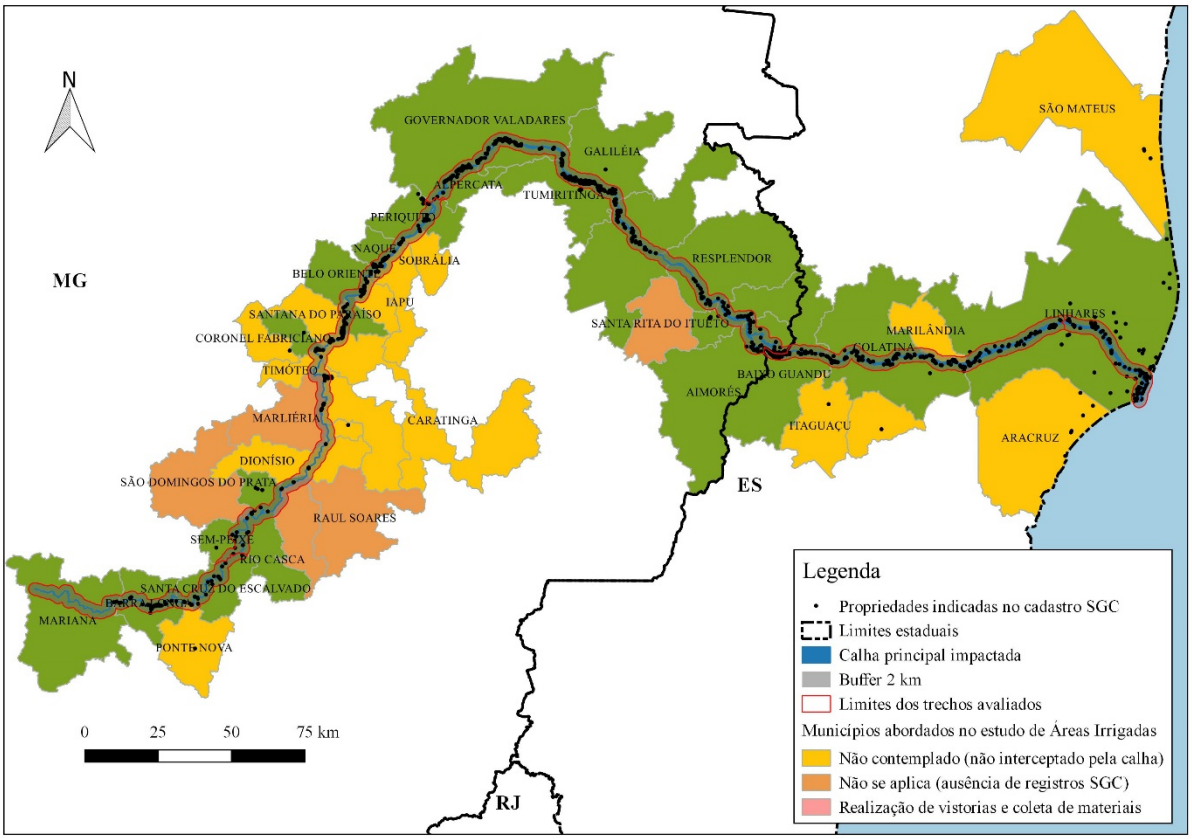
Continuação

MUNICÍPIO	ESTA-DO	BUFFER 2 KM	TOTAL DE DECLA-RANTES	AMOS-TRAS DE SOLO	AMOS-TRAS VEGETAIS	AMOS-TRA DE ÁGUA
Ipaba	MG	20	20	X	X	X
Ipatinga	MG	1	2	X	X	X
Itaguaçu*	MG	0	1	-	-	-
Itueta	MG	33	39	X	X	X
Mariana	MG	1	1	X	X	X
Naque	MG	17	17	X	X	X
Periquito	MG	23	33	X	X	X
Pingo D'Água	MG	0	1	-	-	-
Ponte Nova	MG	4	5	-	-	-
Resplendor	MG	24	24	X	X	X
Rio Casca	MG	4	4	X	X	X
Rio Doce	MG	14	14	X	X	X
Sabará*	MG	0	1	-	-	-
Santa Cruz do Escalvado	MG	12	12	X	X	X
Santana do Paraíso**	MG	23	23	-	-	-
São José do Goiabal	MG	10	13	X	X	X
Sem Peixe	MG	9	10	X	X	X
Sobrália	MG	2	2	-	-	-
Timóteo	MG	1	1	-	-	-
Tumiritinga	MG	223	230	X	X	X
Total		**1384**	**1464**	**1000**	**500**	**500**

* municípios não banhados pelo Rio Doce
** municípios sem quantitativo de amostragem
Fonte: Fundação Renova (2018).

Para as atividades de campo foi considerado um universo mínimo de 800 "Vistorias de Propriedades" ao longo dos 24 municípios da Área de Estudo, conforme demonstrada a sua espacialidade na Figura 5.

Figura 5 - Distribuição de propriedades apontadas no cadastro por município que tiveram atividades em campo



Fontes: IBGE (2018); IGAM (2018); ANA (2018); Embaúba Ambiental eFundação Renova (2018).

Foi elaborado um plano de amostragem de propriedades com base nos municípios assinalados na Tabela 4, indicados pela Fundação Renova. O universo amostral de propriedades por município é o quantitativo de propriedades indicadas no Cadastro Integrado (total de 1.384 propriedades), disponibilizado pela Fundação Renova, inseridas no buffer de 2 km. Na metodologia adotada, não foram consideradas as propriedades que estão no *buffer* 8 km e não estão inseridas no *buffer* de 2 km (diferença de 58 propriedades). Foram consideradas, portanto, como amostra, 800 propriedades no universo amostral de 1.384 propriedades, ou 57,8% do universo amostral. O universo amostral é constituído, portanto, por aquelas propriedades que estão em um raio de distância da margem do rio que seja plausível para a existência de sistemas de irrigação que utilizam água diretamente dos cursos d`água (pelo fator da distância), os quais podem ter sido acometidos por impactos que eventualmente podem persistir. Para as coletas em campo, a amostra de propriedades foi assim dividida:

- Para as propriedades cujos declarantes afirmaram **ter irrigação** no momento do momento do rompimento, inseridas no buffer de 2 km, foram selecionadas 475

propriedades para a realização de vistoria junto com a coleta de amostras de água, solos e material vegetal.

- Para as propriedades cujos declarantes afirmaram **não saber se tinham irrigação** no momento do rompimento, inseridas no buffer de 2 km, foram selecionadas as demais propriedades, para o alcance de 800 propriedades para a realização de vistorias e eventualmente complementadas com trabalhos de coletas para o alcance de coletas em 500 propriedades.

Para estabelecer grupos controle do quantitativo de amostras remanescentes, esses foram distribuídos da seguinte forma:

- Foram realizadas vistorias e coletas de amostras de água, solos e material vegetal em propriedades que têm sistema de irrigação, mas não captam em nenhum dos cursos d'água, podendo ser da rede pública, de nascentes a montante da propriedade ou mesmo captação subterrânea.

Tabela 4 - Quantitativo de propriedades por município com vistorias e com coletas

MUNICÍPIO	QUANTIDADE PROPRIEDADES	APENAS VISTORIA	VISTORIA + COLETAS
Mariana	3	0	3
Barra Longa	51	18	33
Rio Doce	10	4	6
Santa Cruz do Escalvado	12	4	8
Rio Casca	4	0	4
Sem Peixe	8	3	5
São José do Goiabal	10	4	6
Ipatinga	0	0	0
Belo Oriente	18	7	11
Ipaba	16	6	10
Naque	17	6	11
Periquito	16	6	10

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org

Conclusão

MUNICÍPIO	QUANTIDADE PROPRIEDADES	APENAS VISTORIA	VISTORIA + COLETAS
Governador Valadares	82	31	51
Fernandes Tourinho	1	0	1
Alpercata	19	8	11
Tumiritinga	127	52	75
Conselheiro Pena	27	10	17
Galiléia	29	11	18
Resplendor	17	7	10
Aimorés	80	29	51
Itueta	23	9	14
Baixo Guandu	68	25	43
Colatina	79	29	50
Linhares	83	31	52
Total	**800**	**300**	**500**

Fonte: Elaboração própria.

Cabe destacar que o Plano de Amostragem foi uma meta a ser atendida em campo e que incorreu em alterações mediante a realidade encontrada, principalmente quando ocorreram divergências entre o declarado no cadastro e aquilo que se constatou nas propriedades. Assim, alguns aconteceram em função da necessidade de atendimento a demandas específicas. Quanto aos quantitativos de vistoria e amostragem definidos no momento da contratação, esses foram redistribuídos entre os municípios diante da avaliação dos dados do cadastro da Fundação Renova, assim como de todas as outras informações contidas em estudos. Essa decisão foi feita de forma criteriosa, com referência nos critérios de qualidade da Fundação, assim como no alcance da representatividade das propriedades rurais, nos diferentes contextos na Área Ambiental 1 e nos municípios avaliados.

Para a análise de dados, foram utilizados tratamentos estatísticos para a descrição dos dados coletados em campo (vistoria) e das análises laboratoriais. Os dados de campo e análises laboratoriais geraram as entradas no Banco de Dados, com resultados completos de análises foliares, de solo e água. Das 500 propriedades com amostragem completas, foram excluídas das análises estatísticas 8 propriedades, que compõem o grupo controle. O grupo controle é

composto de propriedades com coletas fora do *buffer* de 2 km ao longo do Rio Doce e que, também, não faziam uso dos cursos d'água ou áreas de solo atingidos em consequência do evento.

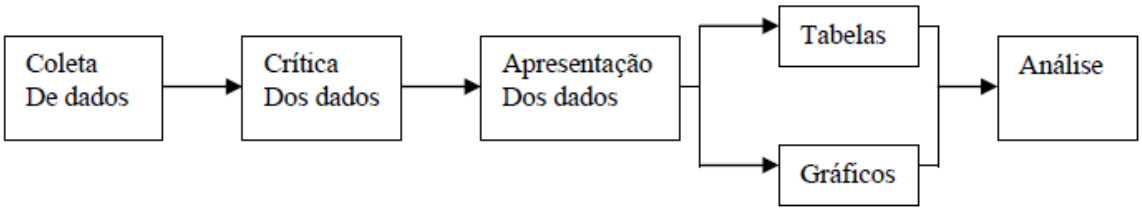
O volume de informações é compatível com o Estudo realizado, mas para a compreensão de sua significância foi necessário a consolidação de análises que sintetizem a informação. A interpretação estatística tem referência tanto no parâmetro em si, como nos níveis definidos em referências legais ou mesmo definidas em literatura reconhecida pela comunidade científica. Essas referências se aplicam aos parâmetros químicos de análise de solo, água e folha. Também foram utilizados os dados da versão anterior do estudo de cultivos irrigados.

A sequência de ações adotada, que culminaram no tratamento estatístico das amostras, está descrita no Quadro 2. Já o tratamento da análise dos parâmetros coletados está descrito em sequência.

Quadro 2 - Ações para o tratamento estatístico das amostras

1º - Definição do problema:	Definição do que se pretende pesquisar/ definição correta do problema.
2º - Planejamento:	Como levantar informações? Que dados deverão ser obtidos? Qual levantamento a ser utilizado? Censitário? Por amostragem? E o cronograma de atividades? Os custos envolvidos? Etc.
3º - Coleta de dados:	Fase operacional. Segundo o objetivo do estudo, é o registro sistemático de dados.
4º Caracterização da fonte dos dados	Dados primários: quando são colhidos pela própria consultoria ou organização que representa - Renova. Dados secundários: quando são publicados por outra organização.
5º - Crítica dos dados:	Resumo dos dados através da contagem e agrupamentos. Contempla a condensação e tabulação de dados.

6º - Apresentação dos dados:	Há duas formas de apresentação que não se excluem mutuamente. A apresentação tabular, ou seja, é uma apresentação numérica dos dados em linhas e colunas distribuídas de modo ordenado, segundo regras práticas fixadas **(Tabelas)**. A apresentação gráfica dos dados numéricos constitui uma apresentação geométrica permitindo uma visão rápida e clara do fenômeno **(Gráficos)**.
7º - Análise e interpretação dos dados:	A última fase do trabalho estatístico é a mais importante e delicada. Está ligada essencialmente ao cálculo de medidas e coeficientes, cuja finalidade principal é descrever o fenômeno (estatística descritiva). As análises e interpretações são descritas nesse quadro, a seguir.



DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA

Tem como objetivo encontrar comportamentos para os conjuntos de dados levantados. Por meio de sistematização dos dados, sob formas de tabelas, gráficos e medidas.

MEDIDAS DE POSIÇÃO

As medidas de posição representam uma série de dados orientando-nos quanto à posição da distribuição em relação ao eixo horizontal do gráfico da curva de frequência. As medidas de posições mais importantes são as de tendência central média, moda e mediana**.**

Média Aritmética

É igual ao quociente entre a soma dos valores do conjunto e o número total dos valores.

$$\bar{X} = \sum Xi / n$$

Moda - Mo

É o valor que ocorre com maior frequência em uma série de valores. A moda é facilmente reconhecida: basta, de acordo com definição, procurar o valor que mais se repete.

Mediana - Md

A mediana de um conjunto de valores, dispostos segundo uma ordem (crescente ou decrescente), é o valor situado de tal forma no conjunto que o separa em dois subconjuntos de mesmo número de elementos.

$$Md = l^* + [(\sum fi / 2 - FAA) \times h^*] / f^*$$

MEDIDAS DE DISPERSÃO ABSOLUTA

As medidas de dispersão indicam se os valores estão relativamente próximos um dos outros, ou separados em torno de uma medida de posição: a média. Consideraremos quatro medidas de dispersão: Desvio Médio, Variância, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação.

Desvio Médio

A média aritmética dos valores absolutos dos desvios tomados em relação à média.

$$DM = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}$$

Desvio-Padrão

É a medida de dispersão mais empregada, pois leva em consideração a totalidade dos valores da variável em estudo. É um indicador de variabilidade bastante estável. O desvio-padrão baseia-se nos desvios em torno da média aritmética, e a sua fórmula básica pode ser traduzida como a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios e é representada por S.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Variância

É o valor da soma do quadrado das distâncias entre o valor observado e valor esperado. A raiz da variância é desvio-padrão. A variância é uma medida para inferência estatística e em combinações de amostras.

Coeficiente de Variação

É a medida percentual entre o desvio-padrão e a média amostral.

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{x}}$$

Erro-padrão da média

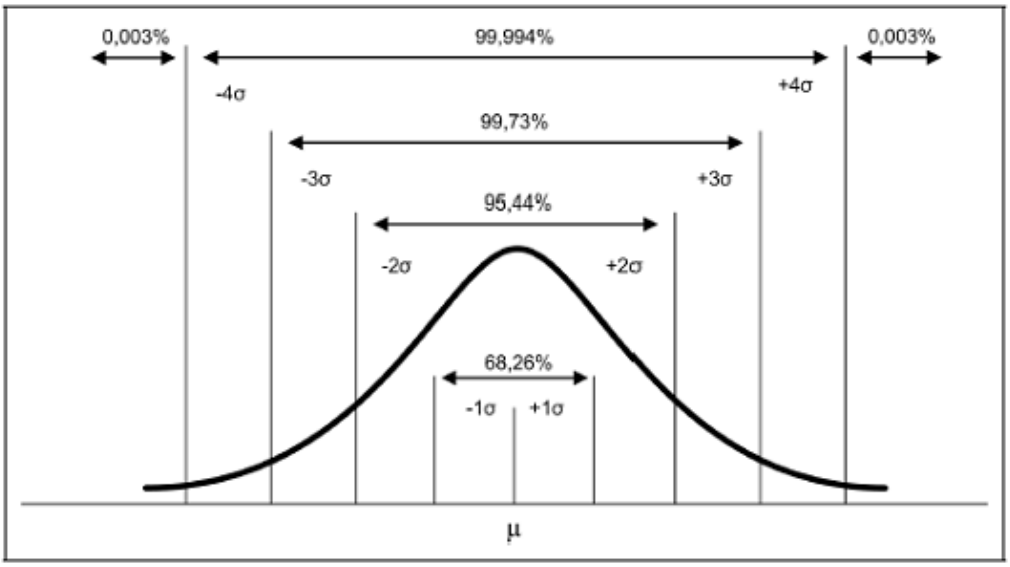
É a medida de variação da média amostral. É uma medida que auxilia a verificação da confiabilidade da média amostrada.

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Valor de t de student

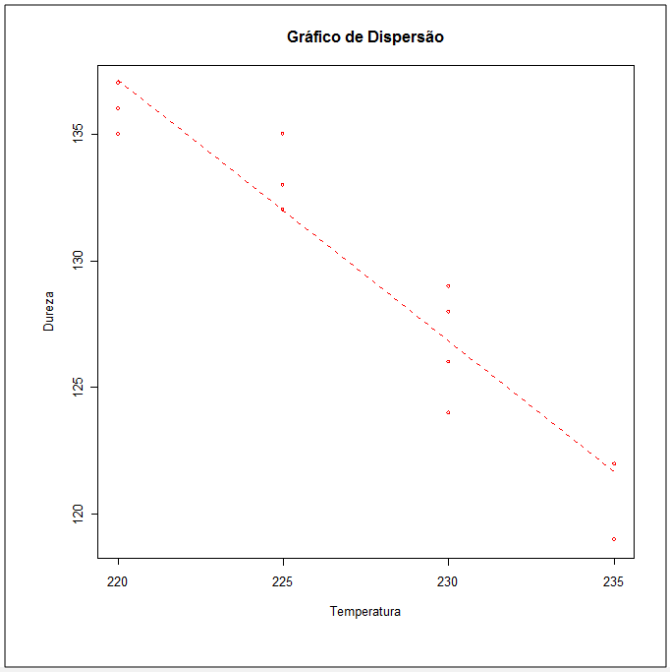
É o valor da distribuição t de student, considerando um nível de probabilidade e o grau de liberdade da amostra. Neste estudo considerou-se o nível de probabilidade de 90% para os valores t de student.

Erro de Amostragem	É o erro-padrão da média, multiplicado pelo valor t de student, com grau de confiabilidade previamente estipulado. $$E\% = (S_{\bar{x}} \times t)/\bar{X}$$
Número de amostras necessárias	O número de amostras necessárias para que o erro de amostragem seja menor que um valor crítico previamente estipulado, a um nível de probabilidade estipulado. O erro máximo de amostragem para todos os parâmetros foi estipulado em 10%. $$n = \frac{CV(\%)^2 \times t^2}{E\%^2}$$
Intervalo de Confiança	São os valores mínimos e máximos para o erro de amostragem. É o intervalo em que há 90% de probabilidade para que o valor da média real da população esteja dentro do limite de confiança para o tamanho da amostra considerado. Se o número de amostras coletadas for maior que o número de amostras necessárias, há 90% de probabilidade de a média real estar dentro do intervalo de confiança. Entretanto, há a possibilidade de a média real estar fora do intervalo mesmo que o número de amostras necessárias tenha sido atingido, não sendo obrigatório aumentar o tamanho da amostra. $$IC = \bar{X} \pm \bar{X} \times E\%$$ O valor do intervalo de confiança, juntamente com a média, desvio-padrão e o número de amostras necessárias, é de grande importância para se ter informações a respeito da eficiência amostral.
	MODELO PROBABILÍSTICO CONTÍNUO
Distribuição Normal	A distribuição normal, conhecida também como distribuição gaussiana, é sem dúvida a mais importante distribuição contínua. Sua importância se deve a vários fatores, entre eles podemos citar o teorema central do limite, o qual é um resultado fundamental em aplicações práticas e teóricas, pois ele garante que, mesmo que os dados não sejam distribuídos segundo uma normal, a média dos dados converge para uma distribuição normal conforme o número de dados aumenta. Além disso, diversos estudos práticos têm como resultado uma distribuição normal.



ANÁLISE DE REGRESSÃO

Regressão Linear	Na maioria das vezes não se conhece a princípio a real relação existente entre as variáveis de interesse. Assim, uma análise gráfica preliminar é realizada construindo-se o gráfico de dispersão entre as variáveis em questão. Este gráfico é importante em qualquer análise de regressão, já que por meio dele é possível ter uma noção do tipo de relação existente entre as variáveis (relação linear, quadrática). Essa relação na maioria das vezes não é perfeita, ou seja, os pontos não estão dispostos perfeitamente sobre a função que relaciona as duas variáveis, mas se deseja que esses pontos estejam próximos. Além disto, o gráfico de dispersão dá indícios sobre a variabilidade associada às variáveis em questão e sobre pontos atípicos ou discrepantes.

	
Gráfico em *"candlestick"*	Gráficos de *candlestick* são gráficos que permitem a visualização de vários dados em um único local. Foram utilizados os valores mínimos, máximos, primeiro quartil e terceiro quartil, bem como os valores dos limites legais e/ou técnicos dos parâmetros.
Quartil	Os quartis são os valores em que o conjunto de dados são divididos em quatro partes iguais e ordenadas. O primeiro quartil é o número que divide o primeiro quarto e o segundo quarto dos dados. O terceiro quartil divide os dois últimos quartos do conjunto de dados. O primeiro e terceiro quartil foram utilizados como limites para as barras internas dos gráficos em *candlestick*, e representam a metade dos dados posicionados em torno da mediana (que equivale ao segundo quartil).

Fonte: Embaúba Ambiental.

7.4 Análise de Solo, Água e Diagnose Foliar

Na definição da metodologia de coleta e análises de solo e material vegetal, a Embaúba Ambiental consultou o Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar (PREZOTTI & GUARÇONI, 2013). Para a análise da água, foram utilizados os parâmetros aceitos para a atividade de irrigação que constam na Resolução 357/2005 do CONAMA, Embrapa 2010 e do Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar. Contudo, ao observar a Resolução CONAMA 396/2008, assim como demais estudos disponibilizados pela Fundação Renova, constatou-se a importância de se incluírem alguns parâmetros físico-químicos para solo e material vegetal.

7.4.1 Análise do Solo

A amostragem do solo foi realizada em 517 propriedades diferentes ao longo da área estudada. Foram enviadas ao laboratório 1034 amostras compostas de solo, coletadas em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) para cada um dos 517 pontos de coleta. Das 517 propriedades amostradas, 10 foram consideradas amostras controle, ou seja, propriedades fora do buffer da Área de Estudo ou que não usam a água oriunda do Rio Doce para irrigação das culturas. No Quadro 3 estão listados os parâmetros analisados para os solos coletados em campo.

Quadro 3 - Análises geoquímicas e de fertilidade a serem realizadas no solo/substrato

Análise	Método	Unidade
pH	Em água (1:2,5)	-
P (Fósforo)	Mehlich-I	mg dm^{-3}
K (Potássio disponível)	Mehlich-I	mg dm^{-3}
Ca (Cálcio trocável)	KCl 1 mol L^{-1}	$cmol_c$ dm^{-3}
Mg (Magnésio trocável)	KCl 1 mol L^{-1}	$cmol_c$ dm^{-3}
Na (Sódio disponível)	Mehlich-I	mg dm^{-3}
Al (Acidez trocável)	KCl 1 mol L^{-1}	$cmol_c$ dm^{-3}
SB (Soma de bases)	Ca^{2+}+ Mg^{2+} + K^{+}	mg dm^{-3}
H+Al (Acidez potencial)	Acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} pH 7,0	$cmol_c$ dm^{-3}
t (CTC efetiva)	SB + Al^{3+}	$cmol_c$ dm^{-3}
T (CTC a pH 7)	SB + (H+Al)	$cmol_c$ dm^{-3}
m (Saturação por Al)	(Al^{3+}/t)*100	%
V (Saturação por bases)	(SB/T)*100	%
P-remanescente	$CaCl_2$ 10 mmol L^{-1} contendo 60 mg L^{-1} de P	mg L^{-1}
S (Enxofre disponível)	$Ca(H_2PO_4)_2$ em ácido acético	mg dm^{-3}
B (Boro disponível)	Água quente	mg dm^{-3}
Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni e Cd disponíveis	Mehlich-I	mg dm^{-3}
MO (Matéria orgânica)	CO x 1,72 (Walkley-Black)	dag kg^{-1}
As e Hg (Arsênio e Mercúrio semitotais)*	Água Régia (EPA 3051A)	mg kg^{-1}
Condutividade elétrica	Pasta saturada	dS m^{-1}

Fonte: Fundação Renova (2018).
* Entre as amostras das 517 propriedades, foram selecionadas 80 amostras de solo para cada profundidade (0-20 e 20-40 cm) e 80 amostras de material vegetal para investigação desses parâmetros.

Para obtenção das amostras de solo, a área de cada propriedade foi dividida de acordo com as culturas identificadas. O ponto de coleta de cada propriedade foi definido tomando como

base a cultura irrigada que ocupasse maior espaço na propriedade e, consequentemente, maior volume irrigado.

Foram abertas pequenas covas de 40 cm de profundidade, distribuídas em ziguezague na área de coleta. Em cada cova foram coletadas amostras simples de solo, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm (Figura 6) (PREZOTTI & GUARÇONI, 2013). As amostras referentes a cada profundidade foram homogeneizadas em um recipiente para formar amostras compostas. Durante as coletas de solos, também foram tomadas imagens fotográficas da área em que foi realizada a coleta e foram preenchidos os formulários da cadeia de custódia das amostras.

Figura 6 -Coleta de amostras de solos em Governador Valadares



Fonte: Elaboração própria.

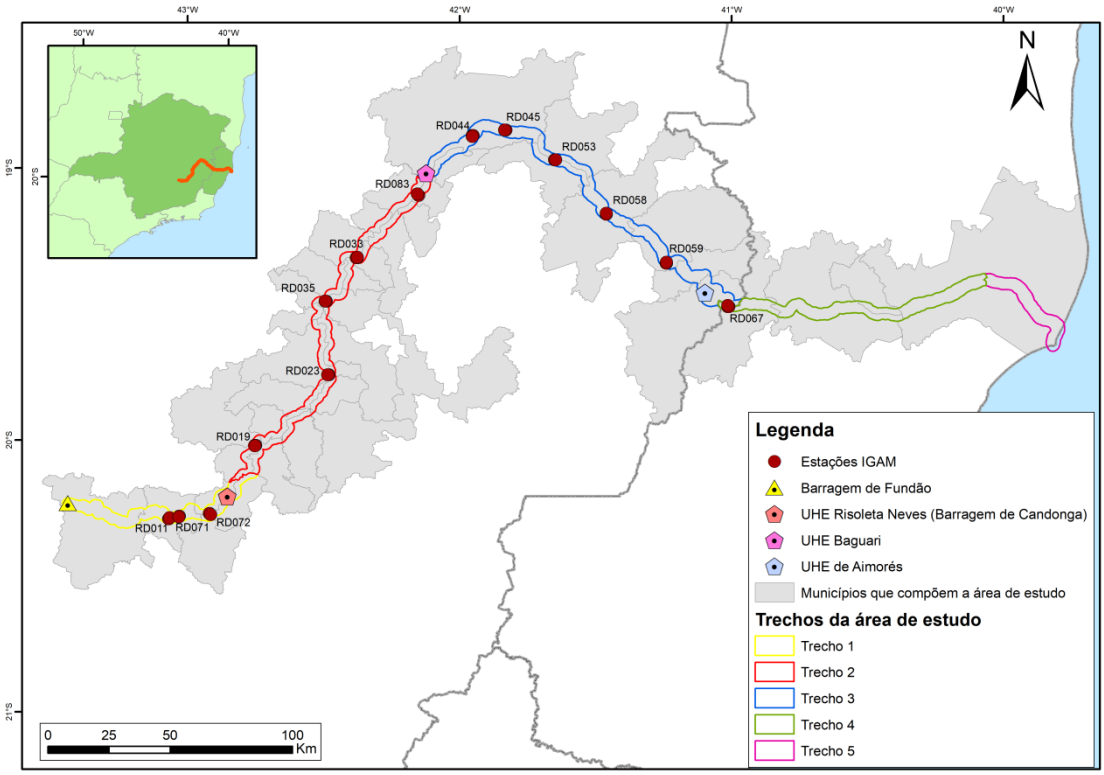
De cada recipiente, foram retirados, aproximadamente, 300 g de amostra. Cada amostra foi acondicionada em saco plástico limpo, com capacidade de 0,5 kg, devidamente identificado e, posteriormente, armazenado à sombra. A cada três dias consecutivos de coleta, o montante das amostras foi enviado ao Laboratório de Fertilidade de Solos da Universidade Federal de Viçosa, para realização das análises laboratoriais. Os resultados das análises disponibilizados pelo laboratório foram utilizados para a caracterização do solo presente nas áreas irrigáveis próximas aos rios Gualaxo, Ribeirão do Carmo e Rio Doce, além de auxiliar na definição de medidas para a correção do solo das áreas cultivadas.

Os dados obtidos por este estudo são apresentados georreferenciados, em interface *on-line* dinâmica, em templates do ArcGIS *On-line*. Os resultados com os dados de pH e os resultados de análises de solo são apresentados para cada uma das propriedades rurais onde foram coletadas amostras, assim como dados sintéticos por região/município. Os gráficos com os resultados das análises de solo são apresentados com distribuição nas classes de acordo com os limites técnicos obtidos a partir da consulta de materiais de referência (GUARÇONI & PREZOTTI, 2013; RIBEIRO et al., 1999), facilitando a interpretação e comparação entre os mesmos.

7.4.2 Análise da Água

Sendo a irrigação uma importante atividade econômica para municípios com aptidão rural, esta etapa do trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água ao longo da Área de Estudo (Figura 7).

Figura 7 - Mapa da Área de Estudo dividida por trechos



Fonte: Elaboração própria.

A princípio, a metodologia do Programa de Monitoramento Qualiquantitativo Sistemático (PMQQS) favorece análises comparativas com dados anteriores ao rompimento da

Barragem do Fundão. Sendo assim, os resultados do PMQQS são referenciados nesse relatório, no contexto das águas usadas para irrigação, e foram analisados separadamente, devido às diferenças metodológicas e espaços temporais.

Com os dados do Igam criou-se uma série histórica dos seguintes parâmetros: Sólidos Dissolvidos, Sólidos Suspensos, Condutividade Elétrica, Níquel Total, Cromo Total, Zinco Total, Chumbo Total, ph *in loco*, Arsênio Total, Manganês Total, Ferro Dissolvido e Turbidez. As amostras se referem à água superficial coletada na calha principal impactada.

Nos parâmetros de Turbidez, Manganês e Ferro Dissolvido, foram separados em três trechos como identificados na Área de Estudo (Figura 7), Trechos 1, 2 e 3 do curso do rio no estado de Minas Gerais, enquanto que os demais parâmetros foram separados em dois (coincidentes com trecho 1 e com a união dos trechos 2 e 3).

Os gráficos foram elaborados de acordo com a posição geográfica das estações de monitoramento, conforme a Figura 7 apresenta. Ficam, pois, estabelecidos: a) o trecho a montante de Candonga (trecho 1); b) o trecho entre Candonga e Baguari (trecho 2); c) o trecho entre Baguari e o limite do Estado de Minas Gerais (trecho 3).

As estações de monitoramento, por trecho, são assim agrupadas: a) Trecho 1: RD011, RD071 e RD072; b) Trecho 2: RD019, RD023, RD035, RD033 e RD083; c) Trecho 3: RD044, RD045, RD053, RD058, RD059 e RD067.

Os gráficos foram elaborados plotando-se informações de quartis 1 (25%), 3 (75%) e os valores máximos e mínimos para cada parâmetro analisado.

Para as análises dos dados coletados em campo, além dos três trechos supracitados, acrescentaram-se os trechos 4, entre Mascarenhas a Linhares, e 5, de Linhares à foz do Rio Doce. Os modelos de gráficos seguiram o mesmo padrão de apresentação dos dados, incrementando-se a discriminação das regiões de coleta em águas superficiais, subterrâneas e águas provenientes de abastecimento público.

Na análise dos dados coletados em campo, os parâmetros analisados foram Bicarbonato, Boro, Cálcio Total, Carbonatos, Cloreto, Condutividade Elétrica, Magnésio Total, pH, Potássio Total, Sódio Total, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Suspensos Totais e Sulfatos.

Diante da implicação da utilização da água para determinados usos, existem legislações que norteiam o manejo e a qualidade para as diversas atividades desenvolvidas. Este estudo trata-se especificamente da utilização da água para atividade de irrigação, regulamentada e orientada pela Resolução Conama nº 357/2005, Resolução Conama nº 396/2008, Almeida (2010) – Embrapa e Prezotti e Guarçoni (2013). A Tabela 5 apresenta os limites legais ou acadêmicos expostos por essas resoluções e autores.

Tabela 5 - Limites de concentrações para águas superficiais e subterrâneas

PARÂMETROS	LIMITES ÁGUA SUPERFICIAIS CONAMA Nº 357/05; ALMEIDA (2010); PREZOTTI E GUARÇONI (2013)	LIMITES ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (CONAMA Nº396/08)
Arsênio Total	0,01 mg/L	-
Bicarbonato	610 mg/L	-
Boro	0,5 mg/L	0,5 mg/L
Cálcio Total	400,8 mg/L	-
Carbonatos	3 mg/L	-
Chumbo Total	0,01 mg/L	5 mg/L
Cloreto	250 mg/L	700 mg/L
Condutividade Elétrica	2000 µS/cm	-
Cromo Total	0,05 mg/L	0,1 mg/L
Ferro Dissolvido	0,3 mg/L	5 mg/L
Magnésio Total	60,8 mg/L	-
Manganês Total	0,1 mg/L	0,2 mg/L
Níquel Total	0,025 mg/L	0,2
pH	6 a 9	-
Potássio Total	78,2 mg/L	-
Sódio Total	919,6 mg/L	-
Sólidos Dissolvidos Totais	500 mg/L	-
Sólidos Suspensos Totais	100 mg/L	-
Sulfato	250 mg/L	-
Turbidez	100 NTU	-
Zinco Total	0,18 mg/L	2 mg/L

Fonte: Conama 357/05; Conama 396/08; Almeida (2010) – Embrapa e Prezotti e Guarçoni (2013).

A campanha de campo alcançou um mínimo de 500 pontos da Área de Estudo, em 500 propriedades, visando determinar a qualidade de água nas áreas de agriculturas irrigadas. Os pontos de coleta foram coerentes com os de coleta das amostras de solo e das amostras de material vegetal, para que a análise realizada para cada ponto fosse completa e consistente

(Figura 8). Nesse sistema, as classificações são, principalmente, baseadas no conteúdo total de sais solúveis da água.

Figura 8 - Fontes diversas de água para captação: acima, barramento em planície de inundação impactada pelo rompimento; ao centro, Rio Doce; abaixo, estação de tratamento de água na localidade de Mata Escura



Fonte: Elaboração própria.

Paralelamente, a definição precisa dos pontos de coleta de água foi diretamente associada aos pontos de captação dos sistemas de irrigação. Eventualmente, por questões de

acessibilidade, características singulares e eventos atípicos nos cursos d'água, as coletas ocorreram no ponto a montante mais próximo do sistema de captação ou mesmo no sistema de irrigação, caso os seus componentes de distribuição permitissem uma coleta confiável.

As normas de referência adotadas para definição dos métodos de coleta, conservação, armazenamento e análise das amostras foram:

- Norma ABNT NBR 9897 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, jun. 1987.
- Norma ABNT NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, jun. 1987.
- "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th Edition" (APHA, 2012*)*.

O laboratório selecionado para realizar os ensaios físico-químicos e procedimentos de análise atende à exigência de acreditação para a realização das análises em água superficial segundo a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005.

Além das bases legais, a determinação do conjunto de parâmetros analisados neste trabalho segue fundamentos técnicos alinhados aos critérios de análise de solo e material vegetal. O Quadro 4 apresenta os parâmetros a serem analisados, suas respectivas bases técnico-legais e métodos analíticos preconizados pela "Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 22th Edition" (APHA, 2012).

Quadro 4 - Parâmetros de análise da água

	PARÂMETROS	BASE TÉCNICA-LEGAL	LIMITE DE DETECÇÃO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Físicos	Condutividade Elétrica - CE	Embrapa/2010; Conama 396/2008	0,01dS m^{-1}	dS m^{-1}	SM 25108
	Total de Sólidos Dissolvidos – TSD	Almeida/2010 (Embrapa); Conama 357/2005 e 396/2008	3mg/L	mg/L	SM 2540 C
	Sólidos em Suspensão - SS	Almeida/2010 (Embrapa)	0,2 mg/L	mg/L	SM 25400
Químicos	pH	Almeida/2010 (Embrapa); Conama 357/2005 e 396/2008	Faixa de 1-13	-	SM 25107
	Sódio - Na^{+}	Almeida/2010 (Embrapa)	0,3	meq L^{-1}	SM 3030 B, D, F SM 3120
	Potássio - K+	Almeida/2010 (Embrapa)	0,1	mg/L	SM 3030 B, D, F SM 3120
	Cálcio - Ca^{2+}	Almeida/2010 (Embrapa)	0,7	meq L^{-1}	SM 3030 B, D, F SM 3120
	Magnésio - Mg^{2+}	Almeida/2010 (Embrapa)	0,02	meq L^{-1}	SM 3030 B, D, F SM 3120
	Cloreto - Cl	Almeida/2010 (Embrapa); Conama 357/2005 e 396/2008	1	mg/L; meq L^{-1}	SM 4500 B
	Sulfato - SO^{4-}	Almeida/2010 (Embrapa); Conama 357/2005	1	mg/L; meq L^{-1}	SM 4110 B
	Carbonato - CO^{3-}	Almeida/2010 (Embrapa)	2	meq L^{-1}	SMEWW 22º EDIÇÃO - MÉTODO 2320 B
	Bicarbonato - HCO^{3-}	Almeida/2010 (Embrapa)	2	meq L^{-1}	SMEWW 22º EDIÇÃO - MÉTODO 2320 B
	Boro - B	Almeida/2010 (Embrapa); Conama 357/2005 e 396/2008	0,01	mg/L	SM 4500 B

Fonte: Fundação Renova (2018).

7.4.3 Análise de material vegetal

A análise de material vegetal foi realizada em 513 amostras compostas de folhas coletadas da cultura mais representativa de cada propriedade. Para cada amostra coletada foi realizada, também, uma análise visual de sintomas de deficiência nutricional e toxidez.

Os pontos de coleta do material vegetal foram coincidentes com as áreas onde foram realizadas as coletas de solo e água, visando à integração das análises de fertilidade do solo e às respostas morfoanatômicas das espécies avaliadas.

A coleta de folhas foi realizada, preferencialmente, no período da manhã e sem ocorrência de chuvas nas últimas 24 horas. Foram coletadas folhas medianas completamente expandidas em cada área para a formação de uma amostra composta. Para todas as culturas, foram retiradas, a sua meia altura, 4 folhas por planta, de até 20 plantas, em todas as coordenadas geográficas (Norte, Sul, Oeste e Leste). Buscou-se, em campo, fazer correspondência entre os locais de coleta de solos (covas) e as plantas selecionadas para a coleta de folhas (Figura 9).

Figura 9 - Coleta de amostras vegetais em Governador Valadares



Fonte: Elaboração própria

Todas as amostras foram armazenadas em sacos de papel totalmente limpos e novos. Os sacos foram devidamente identificados, em ambos os lados, com caneta de tinta permanente,

com informações referentes ao local da coletada. As amostras foram enviadas ao laboratório de análises a cada três dias consecutivos de coleta. Para garantir a integridade das amostras de material vegetal e evitar a degradação do material por fungos (mofo), os sacos de papel contendo amostras foram acondicionados em estufa durante todo o período que antecedeu o envio destas ao laboratório.

No laboratório, foi realizada a análise química do material vegetal para determinação de parâmetros químicos e, conforme Quadro 5, indicadas as possíveis alterações na disponibilidade de nutrientes no solo. Os teores encontrados para cada parâmetro analisado foram comparados aos teores adequados a cada cultura de acordo com bibliografia técnica específica.

Os parâmetros analisados compreenderam os macros e micronutrientes necessários ao crescimento e produtividade de culturas. Além disso, a análise de material vegetal foi complementada pela medição do arsênio (As) e mercúrio (Hg), alguns dos parâmetros previstos nas Resoluções CONAMA 357/2005, 396/2008 e 420/2009, e que são elementos geralmente tóxicos às plantas, mesmo em pequenas concentrações. A escolha desses parâmetros teve como referência as indicações do "Relatório Final de Investigação Complementar e Avaliação de Riscos à Saúde Humana na Área Piloto Denominada Área Prioritária de Recuperação 9 – Planície de Inundação BFS-26 do Rio Gualaxo do Norte, em Barra Longa - MG".

Quadro 5 - Análises químicas a serem realizadas no material vegetal

ANÁLISES QUÍMICAS	UNIDADE	METODOLOGIA
N, P, K, Ca, Mg	dag kg^{-1}	Digestão Nitroperclórica (HNO_3:$HClO_4$) / Absorção atômica
Sódio	mg kg^{-1}	
Enxofre	dag kg^{-1}	
Fe, Cu, Zn, Mn	mg kg^{-1}	
Boro	mg kg^{-1}	
Pb, Cr, Ni, Cd	mg kg^{-1}	
As, Hg*	μg kg^{-1}	EPA 3051A / ICP-OES (USEPA, 2007)

Fonte: Fundação Renova (2018).
* Serão selecionadas 150 amostras para investigação desses parâmetros.

As informações advindas da análise de material vegetal, unidas à caracterização do solo e da água, foram utilizadas para determinar supostas contaminações químicas nas áreas irrigadas, bem como as suas consequências para o desenvolvimento das espécies vegetais utilizadas na agricultura da região, incluindo aspectos de riscos à saúde humana. Ressalta-se que essas contaminações podem ter origens múltiplas, sendo indicadas as possíveis vias de contaminação.

As análises laboratoriais de solo e material vegetal foram realizadas na Universidade Federal de Viçosa. A Embaúba Ambiental, através da interveniente Sociedade de Investigações Florestais - SIF, estabeleceu convênio com os laboratórios do Departamento de Solos, reconhecido mundialmente pela sua excelência em pesquisa agropecuária e ciências do solo.

7.5 Análise comparativa

A partir dos parâmetros encontrados nas análises de água, fertilidade do solo e material vegetal, foi avaliado o panorama específico da potencial contaminação química presente na área de abrangência dos estudos. Tais dados foram comparados com valores de referência obtidos das seguintes formas:

- Análise de bibliografia técnica sobre os limites aceitos para os parâmetros medidos.
- Análise dos dados coletados no estudo anterior complementado aos dados do IGAM e da SEMAD (por meio de consulta formal).
- Análise de estudos realizados na região em datas anteriores ao desastre a serem procurados em Sindicatos, Cooperativas, órgãos de assistência técnica e extensão rural (ATER), entre outros, existentes na região.
- Análise qualitativa das quantidades e tipos de insumos fertilizantes utilizados pelos proprietários em momentos antes e após o rompimento da barragem, por meio de entrevistas no momento da realização das atividades em campo.
- Análise do tipo de manejo realizado nas propriedades nos períodos antes e após o rompimento da barragem.

Análises que respondam a demandas de bioacumulação foram consideradas como resultado para síntese e integração dos dados de solo-água-planta.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org

7.6 Avaliação de impactos

Para a conclusão das análises dos dados, foi elaborada a análise de impacto às propriedades que utilizam ou utilizavam sistema de irrigação antes do rompimento da Barragem do Fundão. Para isso, foi estruturada uma matriz que sintetiza os tipos de impacto, sua caracterização e a indicação, de forma sintética, das medidas a serem adotadas para compensação ou mitigação.

Quanto à determinação dos aspectos[2], foram considerados todos aqueles associados ao manejo das áreas irrigadas que ocorrem em cada propriedade, tais como preparo do solo, plantio, captação, adução de água e irrigação, capina, adubação, controle de pragas e doenças, produtividade (colheita). Quanto aos sistemas de irrigação, são considerados os danos provocados pelo impacto mecânico do deslocamento a jusante do material detrítico, assim como danos que se tornaram mais frequentes por aspectos persistentes dos impactos. Foram considerados os dados da vistoria (Apêndice A), os dados espacializados de deposição de material detrítico, dados secundários e análises laboratoriais.

As matrizes de impactos permitiram associar as ações de manejo agrícola às características ambientais de sua área de influência, através de análise bidimensional. Em um dos eixos, foram relacionados os impactos e, no outro, os critérios de avaliação. Na quadrícula de interseção dos dois eixos, foram assinalados os níveis de cada um dos critérios adotados.

Foram reconhecidos e avaliados, para cada aspecto, os impactos atuais e potenciais, considerando os critérios natureza, forma, reversibilidade, abrangência, frequência, probabilidade, severidade e significância.

Os critérios adotados na Matriz de Avaliação de Impactos são descritos a seguir:

- **Natureza:** indica se o impacto resulta em efeitos benéficos/positivos (P) ou adversos/negativos (N) sobre o manejo de áreas cultivadas.

[2] Segundo a NBR ISO 14001 (1996), o aspecto ambiental pode ser definido como "elemento das atividades, produtos e serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente" e impacto ambiental como "qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização".

- **Forma:** refere-se à manifestação do impacto, ou seja, se é direto (D), decorrente de uma ação realizada pelo rompimento, ou se é um impacto indireto (I), decorrente de um fator inesperado, ou um impacto secundário (S), causado pelo impacto principal.
- **Reversibilidade:** classifica os impactos segundo aqueles que, depois de manifestados, são irreversíveis (I) ou reversíveis (R). Permite identificar que impactos poderão ser integralmente evitados, apenas mitigados ou compensados.
- **Abrangência:** a abrangência permite uma avaliação espacial do impacto. Os impactos podem ser classificados como de abrangência pontual, abrangente ou regional. O Quadro 6 apresenta a descrição dos critérios e pesos correspondentes de cada um dos níveis de abrangência citados.

Quadro 6 - Critérios utilizados na classificação da abrangência dos impactos

ABRANGÊNCIA	CRITÉRIOS	PONTUAÇÃO
Pontual	Impacto restrito a uma ou poucas propriedades onde se deu a ação e suas imediações, em apenas um ou mais trechos.	1
Abrangente	Impacto que se propaga por área além das imediações da propriedade onde se constata o impacto, podendo, em geral, ser detalhado por trechos da Área de Estudo.	2
Regional	Impacto que atinge um componente ambiental de importância coletiva, no município ou entre as subdivisões da Área de Estudo, envolvendo múltiplos trechos, constatados em percentual significativo das propriedades.	3

Fonte: Fundação Renova (2018).

- **Frequência/probabilidade:** a frequência refere-se à avaliação temporal do impacto sobre as áreas cultivadas (Quadro 7), possibilitando diferenciar impactos crônicos, que são frequentes e que persistem ou se repetem ciclicamente, de impactos agudos, que ocorreram ocasionalmente. Os impactos reais foram avaliados de acordo com a frequência de ocorrência do mesmo, após o rompimento da Barragem do Fundão. Já os impactos ambientais potenciais associados às situações de risco foram avaliados segundo sua probabilidade de ocorrência imediatamente após o rompimento da barragem e anualmente, após 2 anos e 10 meses do rompimento da Barragem do Fundão - T0 (Quadro 8).

Quadro 7 - Critérios utilizados na classificação da frequência de ocorrência dos impactos reais

FREQUÊNCIA	CRITÉRIOS	PONTUAÇÃO
Baixa	A ocorrência do impacto ambiental ocorreu imediatamente após o rompimento da Barragem do Fundão.	1
Média	A ocorrência do impacto ambiental é intermitente, mesmo após consolidada a dinâmica de deposição do material detrítico.	2
Alta	A ocorrência do impacto é constante ou cíclica, persistindo após o rompimento da barragem.	3

Fonte: Fundação Renova (2018).

Quadro 8 - Critérios utilizados na classificação da probabilidade de ocorrência dos impactos potenciais

PROBABILIDADE	CRITÉRIOS	PONTUAÇÃO
Baixa	Possibilidade de ocorrência seja nula ou muito remota (no mínimo 1 caso em 5 anos ou mais, por exemplo), em decorrência do período de deslocamento do material detrítico a jusante.	1
Média	Possibilidade de ocorrência razoável ou existem evidências de algumas ocorrências após o rompimento da barragem (no mínimo 1 caso em 3 ou 4 anos, por exemplo).	2
Alta	Possibilidade de ocorrência muito grande ou existem evidências de muitas ocorrências após o rompimento da barragem (no mínimo 1 caso em 1 ou 2 anos, por exemplo).	3

Fonte: Fundação Renova (2018)

- **Severidade:** parâmetro que possibilita verificar a dimensão do dano causado a áreas cultivadas com sistema de irrigação, levando em consideração a dificuldade de reversão à situação original do rompimento. O Quadro 9 apresenta os critérios de classificação para cada nível de severidade.

Quadro 9 - Critérios utilizados na classificação da severidade dos impactos às atividades de manejo de cultivos em áreas irrigadas

SEVERIDADE	CRITÉRIOS	PONTUAÇÃO
Baixa	Impacto sem danos, com danos mínimos às áreas cultivadas e aos seus sistemas de irrigação; ou imperceptíveis, de fácil reversão à situação original.	1
Média	Impacto com danos de difícil reversão às áreas cultivadas e/ou com possibilidade de alteração da dinâmica agropecuária da propriedade, principalmente quanto aos aspectos do manejo ou de alterações em partes do sistema de irrigação adotado, sem alteração da captação.	2
Alta	Impacto com danos irreversíveis à dinâmica agropecuária da propriedade e/ou com possibilidade de alteração significativa dos sistemas de irrigação adotados e/ou do local de captação da água.	3

Fonte: Fundação Renova (2018).

- **Significância:** impactos decorrentes de aspectos que transgridem a legislação ou aspectos técnicos referentes aos níveis de contaminação da água, nos diferentes parâmetros físico-químicos, bem como do encontro de aspectos de contaminação dos solos e plantas. Os demais impactos associados a aspectos não regulamentados foram considerados, de acordo com a combinação dos critérios abrangência, frequência/probabilidade e severidade. Tais filtros expressam as dimensões de espaço e tempo do impacto às atividades agropecuárias e o tamanho do dano causado, permitindo, pela combinação desses, a priorização dos aspectos a serem incluídos como metas em ações que os tratem. Considerou-se que os impactos aumentam em progressão geométrica, sendo o **total de pontos**, para determinação da significância, determinado pelo produto das pontuações dos critérios abrangência, frequência, probabilidade e severidade. O Quadro 10 apresenta os intervalos de pontuações para a definição dos níveis de significância para cada um dos impactos.

Quadro 10 -Intervalo da pontuação para avaliação da significância dos impactos ao manejo de áreas cultivadas irrigadas, em função da abrangência, frequência, probabilidade e severidade

SIGNIFICÂNCIA	CRITÉRIOS
Desprezível (D)	Quando o produto da relação dos critérios abrangência, frequência/probabilidade e severidade se encontrou no intervalo maior/igual a 1 e menor que 12 pontos.
Significativo (S)	Quando o produto da relação dos critérios abrangência, frequência/probabilidade e severidade se encontrou no intervalo maior/igual a 12 e menor que 36 pontos.
Importante (I)	Quando o produto da relação dos critérios abrangência, frequência/probabilidade e severidade se encontrou no intervalo maior/igual a 36 e menor/igual a 81 pontos.

Fonte: Fundação Renova (2018).

8 Descrição do Meio Físico

8.1 Clima

Segundo Lume e Ecoplan (2010), três tipos climáticos são identificados na bacia do Rio Doce:

- tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos, presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do Rio Doce;
- tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes, presente nas nascentes de seus afluentes; e
- clima quente com chuvas de verão presente nos trechos médio e baixo do Rio Doce e de seus afluentes.

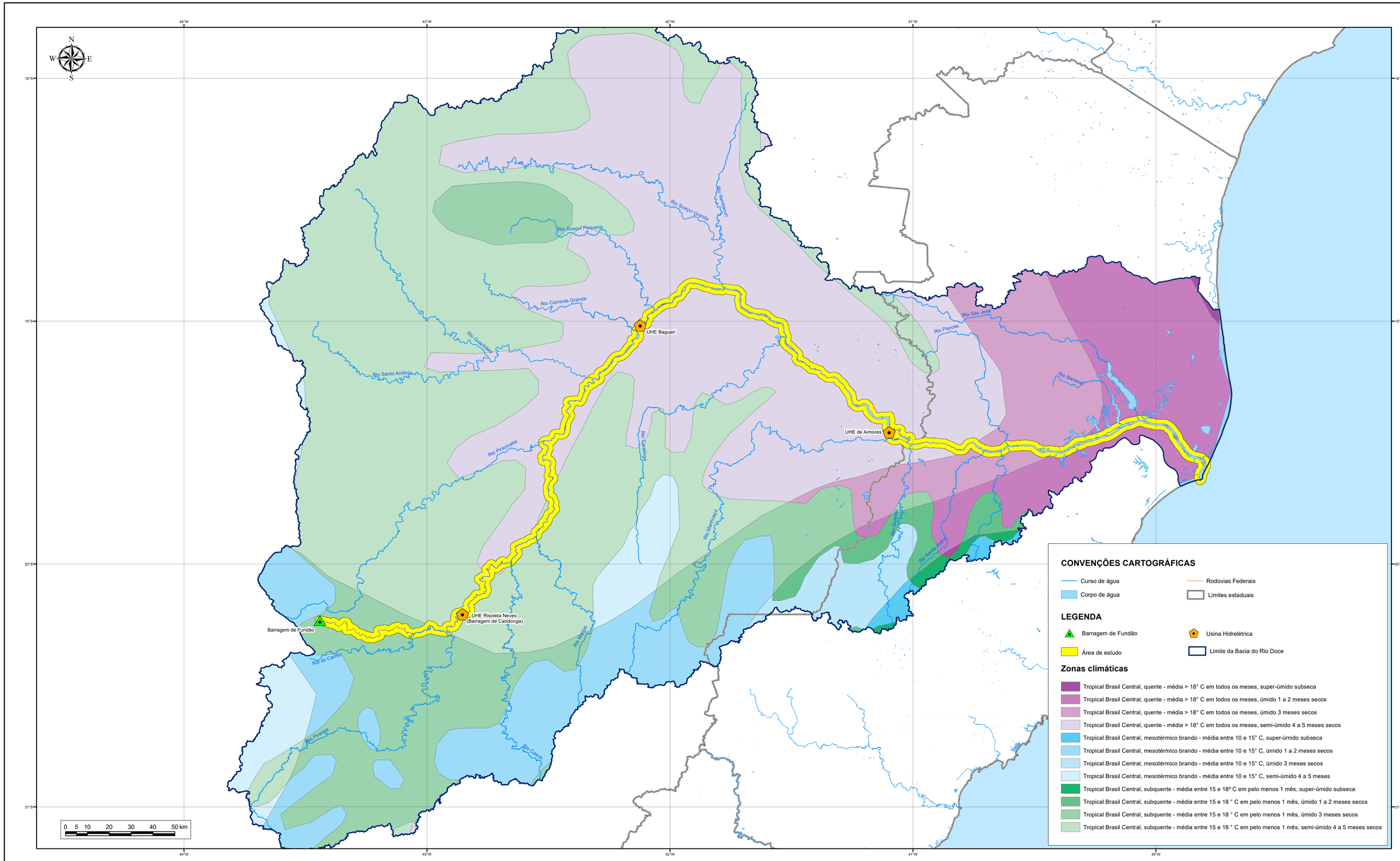
O mapa do clima do Brasil (IBGE, 2002), conforme apresentado no mapa de Clima da Área de Estudo (Figura 10), classifica a região do médio e baixo curso do Rio Doce como de clima tropical quente, com temperatura média maior que 18 °C. A umidade apresentada para a área da bacia é crescente à medida que se aproxima da foz, tendo de 4 a 5 meses secos no médio curso e atingindo 1 a 2 meses secos na região de Linhares.

A região do alto curso e os afluentes até o Rio Suaçuí Pequeno têm suas nascentes em clima tropical subquente, com temperatura média entre 15 °C e 18 °C em pelo menos 1 mês e clima úmido a semiúmido (IBGE, 2002). As cabeceiras, na região sul e sudoeste da bacia, encontram-se em clima tropical mesotérmico brando, com médias entre 10 °C a 15 °C e clima úmido, com 1 a 2 meses secos no ano (IBGE, 2002).

O regime pluviométrico na bacia é caracterizado por dois períodos bem distintos: o período chuvoso, que se estende de outubro a março, com maiores índices no mês de dezembro; e o período seco, que se estende de abril a setembro, com estiagem mais crítica de junho a agosto. No período chuvoso, a precipitação total varia de 800 a 1.300 mm, enquanto no período seco varia de 150 a 250 mm.

Espacialmente, a precipitação média anual varia de 1500 mm, nas nascentes localizadas nas Serras da Mantiqueira e do Espinhaço, a 1.000 mm, na região da cidade de Aimorés/MG, voltando a crescer em direção ao litoral.

Os baixos índices pluviométricos dos períodos secos elevam as demandas pelo uso das águas captadas nos rios e poços para fins de irrigação. Na Área de Estudo, o incremento das captações executadas nos períodos de estiagem condiciona uma maior entrada de partículas sólidas em suspensão e dissolvidas nos sistemas de irrigação dos produtores rurais. No clima úmido e quente do verão ocorrem períodos de estiagem, também chamados "veranículos". Esses veranículos têm se tornado muito importantes diante dos efeitos das mudanças climáticas no cenário agrícola regional, uma vez que se apresentam mais longos e com menor previsibilidade. Esses períodos elevam a demanda de irrigação das culturas. Os produtores rurais elevam a captação e, assim, aceleram o processo de colmatação de filtros e entupimento de aspersores.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS CLIMA: IBGE, 2014.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 10 - CLIMA DA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:800.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.2 Hidrografia

Conforme apresentado por Lume e Ecoplan (2010), a bacia do Rio Doce é dividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs) no estado de Minas Gerais, com Comitês de Bacia já estruturados, conforme descrito a seguir:

- DO1 – Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piranga.
- DO2 – Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba.
- DO3 – Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio.
- DO4 – Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Suaçuí.
- DO5 – Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Caratinga.
- DO6 – Comitê de Bacia Hidrográfica Águas do rio Manhuaçu.

No estado do Espírito Santo, apesar da inexistência de subdivisões administrativas da bacia, existem os Comitês das Bacias Hidrográficas do rio Santa Maria do Doce, do rio Guandu e do rio São José. Lume e Ecoplan (2010) estabelecem as sub-bacias desses rios como Unidades de Análise (UA's) para o estado do Espírito Santo. O mapa Hidrografia da Área de Estudo (Figura 11) apresenta os limites das sub-bacias, e a Tabela 6 apresenta a área de cada uma delas, conforme Lume e Ecoplan (2010).

Tabela 6 - Área das subdivisões da Bacia do Rio Doce

UF	Subdivisões da Bacia do Rio Doce		Área de Drenagem (km²)	Total (km²)
MG	UPGRH Piranga (DO1)	Bacia do Rio Piranga	6.606,57	17.571,37
		Bacia do Rio Casca	2.510,63	
		Bacia do Rio do Carmo	2.277,95	
		Bacia do Rio Matipó	2.549,74	
		Bacia Incremental Piranga (DO1)	3.626,48	
	UPGRH Piracicaba (DO2)	Bacia do Piracicaba	5.465,38	5.681,51
		Bacia Incremental (DO2)	216,13	
	UPGRH Santo Antônio (DO3)	Bacia do Santo Antônio	10.429,46	10.756,89
		Bacia Incremental (DO3)	327,43	
	UPGRH Suaçuí (DO4)	Bacia do Rio Suaçuí Grande	12.412,99	21.555,33
		Bacia do Rio Suaçuí Pequeno	1.719,39	
		Bacia do Rio Corrente Grande	2.478,20	
		Bacia Incremental Suaçuí (DO4)	4.944,75	

Conclusão

UF	Subdivisões da Bacia do Rio Doce		Área de Drenagem (km²)	Total (km²)
MG	UPGRH Caratinga (DO5)	Rio Caratinga	3.228,70	6.677,62
		Bacia Incremental (DO5)	3.448,92	
	UPGRH Manhuaçu (DO6)	Bacia do Manhuaçu	8.826,37	9.189,06
		Bacia Incremental (DO6)	362,69	
ES	UA Guandu	Rio Guandu	2.144,88	2.471,61
		Incremental Guandu	326,73	
	UA Santa Maria do Doce	Rio Santa Maria do Doce	934,65	3.063,40
		Rio Santa Joana	891,4	
		Incremental	1.237,35	
	UA São José	Rio São José	2.406,67	9.743,80
		Rio Pancas	1.181,44	
		Incremental (inclusive Barra Seca)	6.155,69	
Total geral			86.710,59	86.710,59

Fonte: Lume e Ecoplan (2010).

Lume e Ecoplan (2010) definem a disponibilidade hídrica na seção de referência de cada sub-bacia hidrográfica estudada na bacia do Rio Doce e na região do Barra Seca. Os valores referenciais foram definidos em termos de vazão média de longo termo (QMLT), vazão mínima com 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno ($Q_{7,10}$) e vazão mínima com 95 % de permanência no tempo (Q_{95}).

- A vazão média de longo termo (QMLT) representa o limite superior de disponibilidade de um curso de água, teoricamente calculada como o valor de vazão que, se ocorresse continuamente no tempo, produziria o mesmo volume que o regime fluvial variável escoou em um longo intervalo de tempo.
- A vazão mínima com 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno ($Q_{7,10}$) é uma referência do regime de estiagem do curso de água, utilizada como índice do limite inferior da disponibilidade.
- E a vazão mínima com 95 % de permanência no tempo (Q_{95}) também se apresenta como uma referência do regime de estiagem, indicando o valor que é excedido na curva de permanência em 95 % do tempo.

As vazões médias e mínimas (QMLT, Q_{95} e $Q_{7,10}$) são apresentados na Tabela 7, e o Gráfico 1 ilustra a disponibilidade hídrica do Rio Doce por sub-bacia.

Tabela 7 - Disponibilidade hídrica superficial da Bacia do Rio Doce e Barra Seca

SUB-BACIA	Porcentagem da área	Vazão específica (L/s/km²)			Vazão (m³/s)		
		qMLT	q_{95}	$q_{7,10}$	QMLT	Q_{95}	$Q_{7,10}$
Rio Piranga	8,0 %	16,3	6,61	4,84	108	43,7	32
Rio do Carmo	2,7 %	22,2	11,2	9,38	50,3	25,4	21,3
Rio Casca	3,0 %	13,1	5,01	3,22	32,8	12,6	8,09
Rio Matipó	3,1 %	14,2	4,57	2,8	36,8	11,8	7,23
Incremental D01	-	14	6,44	5,26	-	-	-
Rio Piracicaba	6,6 %	18	6,84	5,49	97,9	37,3	29,9
Incremental D02	-	14,6	5,96	4,67	-	-	-
Rio Santo Antônio	12,6 %	16,9	6,26	4,48	176,3	65,4	46,7
Incremental D03	-	14,6	5,96	4,67	-	-	-
Rio Corrente Grande	3,0 %	13,8	5,07	3,79	34,1	12,6	9,4
Rio Suaçuí Pequeno	2,1 %	10	4,1	3,05	17,2	7,05	5,25
Rio Suaçuí Grande	15,0 %	8,32	2,34	1,64	103,4	29,1	20,4
Incremental D04	-	13,23	5,09	3,91	-	-	-
Rio Caratinga	3,9 %	9,81	2,62	1,81	31,7	8,47	5,83
Incremental D05	-	14,13	5,66	4,43	-	-	-
Rio Manhuaçu	10,7 %	11,2	3,68	2,61	98,7	32,5	23,1
Incremental D06	-	11,9	4,22	3,13	-	-	-
Rio Guandu	2,6 %	10,4	3,38	2,43	22	7,18	5,16
Incremental Guandu	-	11,5	3,76	2,74	-	-	-
Rio Santa Joana	1,1 %	8,74	1,58	0,86	7,91	1,43	0,78
Incremental Santa Maria do Doce	-	11,48	3,76	2,74	-	-	-
Rio Pancas	1,4 %	12	1,56	0,83	14,1	1,84	0,98
Rio São José	2,9 %	14,2	2,47	1,16	33,7	5,84	2,75
Rio Barra Seca	-	11,48	3,76	-	45,5	14,9	-
BACIA do RIO DOCE	100,0 %	11,48	3,76	2,74	950,4	311,3	226,7

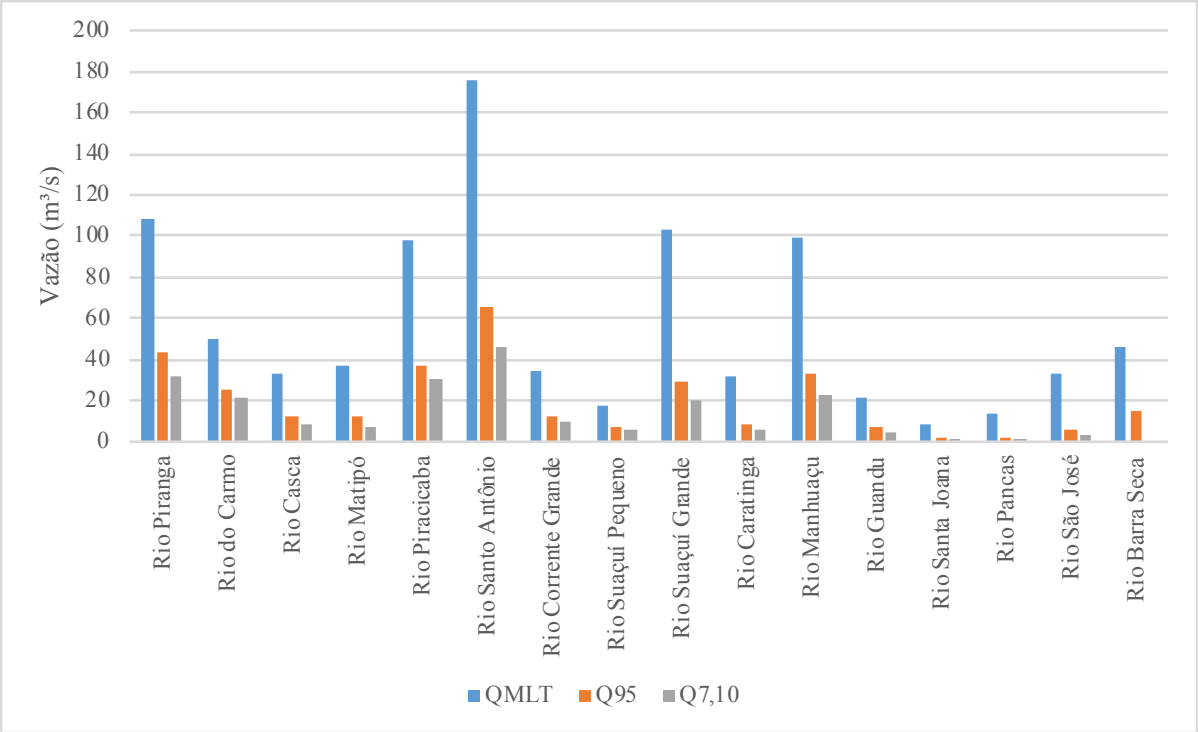
Fonte: Lume e Ecoplan (2010). Adaptado.

Observa-se que as maiores vazões específicas não estão associadas às maiores áreas de drenagem. As maiores vazões podem se relacionar a um conjunto de características, como o tipo de solo da bacia, o regime de chuvas, entre outros. As bacias hidrográficas localizadas sob formações sedimentares com maiores áreas de drenagem e/ou com regularidade das chuvas apresentam vazões de estiagem entre 15 e 20 % da vazão média, em geral.

Ao analisar a Tabela 7 e o Gráfico 1, é possível verificar que a sub-bacia do Rio Santo Antônio é a que fornece a maior disponibilidade hídrica, representando aproximadamente 19 %

dos recursos hídricos superficiais da bacia do Rio Doce. A segunda maior região, em termos de disponibilidade hídrica, é a sub-bacia do Rio Piranga, com 108 m^3/s (11 %), seguida pela sub-bacia do Rio Suaçuí Grande (10,9 %).

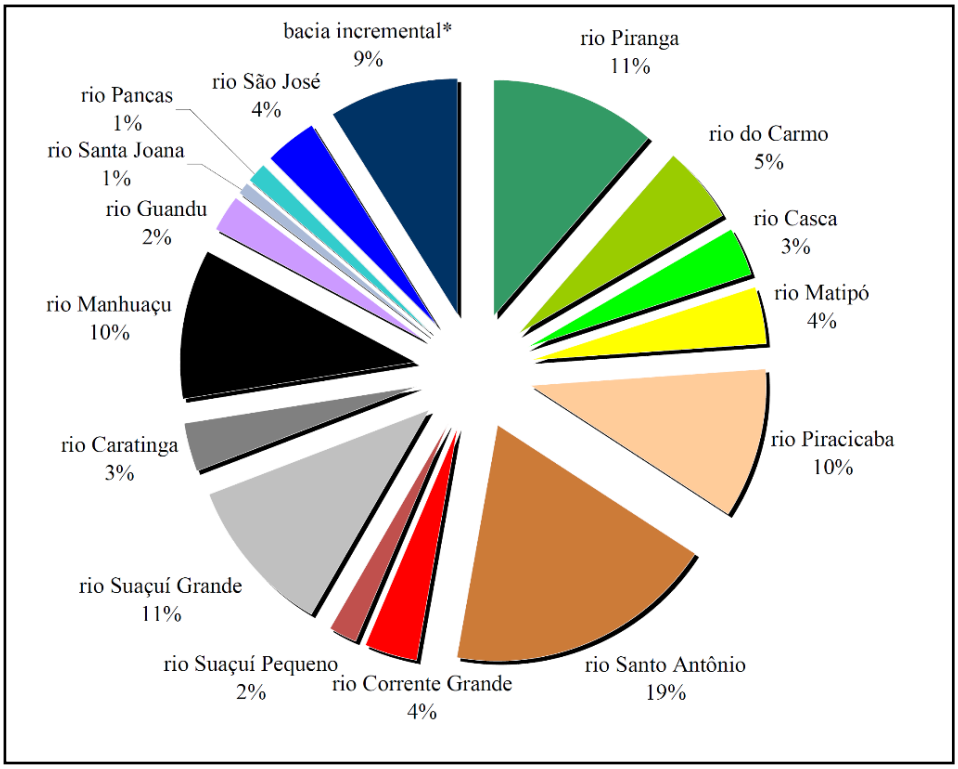
Gráfico 1 - Disponibilidade hídrica superficial por Sub-bacia



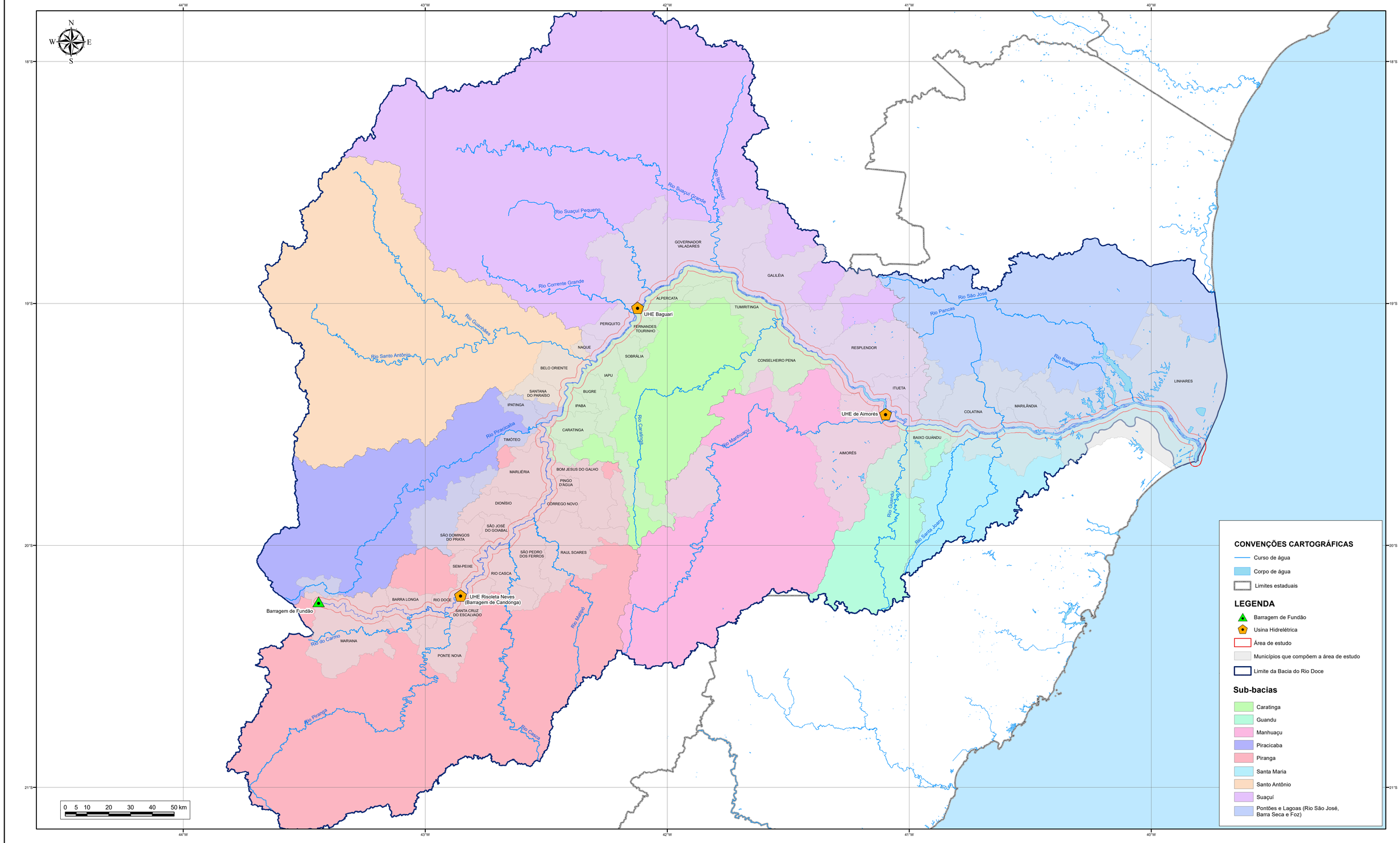
Fonte: Lumen e Ecoplan (2010).

O Gráfico 2 mostra a contribuição percentual média anual de cada sub-bacia. A sub-bacia do Rio Santo Antônio contribui com 19 %, seguida pela sub-bacia do Rio Piranga com 11 %.

Gráfico 2 - Contribuição da Vazão Média nas Unidades Hidrográficas em Percentagem



Fonte: Lume e Ecoplan (2010).



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - Hidrografia e sub-bacias: ANA, 2018 e IBIO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 11 - HIDROGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:800.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.3 Geomorfologia

Lume e Ecoplan (2010), através da avaliação das diferenças altimétricas que definem os grandes compartimentos topográficos associadas aos critérios de ordem litoestrutural, identificaram e classificaram as formas de relevo presentes na bacia do Rio Doce. A Área de Estudo abrange cinco das seis unidades geomorfológicas classificadas: Quadrilátero Ferrífero, Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas, Depressão do Rio Doce, Superfícies Aplainadas Sublitorâneas e Planície Fluviomarinha. Essas grandes unidades de relevo foram determinantes na dinâmica de acúmulo de material detrítico carreado, ao longo da calha principal impactada pela onda provocada pelo rompimento da barragem.

O Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se por um conjunto de relevos acidentados, localizado na extremidade oeste-sudoeste da Área de Estudo, com altitudes elevadas, variando de 1.100 a 1.700 m. Nessa unidade morfoestrutural, as estruturas geológicas exercem substancial controle nos processos de dissecação do relevo, no qual sobressaem os alinhamentos de cristas com vales encaixados e vertentes ravinadas. Essa unidade representa a porção inicial do Trecho 1 da Área de Estudos.

Os Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas correspondem à unidade geomorfológica mais extensa, ocupando aproximadamente 70 % da área da bacia do Rio Doce. Está constituída majoritariamente por formas de dissecação fluvial do tipo colinas, cristas, pontões e vales encaixados, formadas por rochas granito-gnaissicas do embasamento cristalino. Dados os seus aspectos geomorfológicos, a unidade é dividida em zona de pontões e zona de colinas, sendo esta última presente no Trecho 2 da Área de Estudo.

Na zona de colinas, observa-se uma predominância de colinas côncavo-convexas com vales em V, vertentes ravinadas e cristas usualmente associadas às colinas. Encontram-se alguns interflúvios tabulares, testemunhos de antigas superfícies de aplainamento, recobertos por depósitos dendríticos argilosos. As rochas são, em sua maioria, biotita-gnaisses e granito-gnaisses. Os topos encontram-se a 850-900 m em média, e as cristas atingem até 1.300 m na zona de encostas do Espinhaço, decrescendo as altitudes em direção ao Rio Doce.

A Depressão do Rio Doce, situada ao longo do rio e seus afluentes, é uma região rebaixada com altitudes variando de 250 a 500 m, configurando-se como uma depressão interplanáltica. O contato com as formas de relevo dos planaltos circundantes é muito bem marcado por desníveis altimétricos abruptos. No seu interior encontram-se elevações, que são

residuais dos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas. Essa unidade representa os Trechos 2 e 3 da Área de Estudos.

A litologia (migmatitos, granitos e anfibolitos), sob influência das variações climáticas, contribui para a formação de mantos de intemperismo espessos, permitindo o desenvolvimento de solos profundos em vários locais.

A Depressão se caracteriza pela presença de planícies fluviais colmatadas, rampas de colúvio, colinas com declividade média e lagos de barragem natural. Os processos de dissecação fluvial e acumulação são predominantes, promovendo a degradação da superfície de aplainamento.

Na área de transição, entre as formações litorâneas e as colinas elevadas dos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas, encontram-se as superfícies aplainadas sublitorâneas. São resultantes da atuação de processos de aplainamento do Pleistoceno, caracterizando-se por grandes áreas planas e um grupo de interflúvios tabulares elaborados sobre sedimentos terciários do Grupo Barreiras, majoritariamente arenitos feldspáticos earcósios. A leste, na transição para a planície fluvio-marinha, essa superfície se acha bem preservada, caracterizando-se por baixas altitudes, que variam de 195 a 60 m, apresentando um caimento gradativo na direção sudeste até as proximidades de Linhares, na região do Trecho 4 da Área de Estudos.

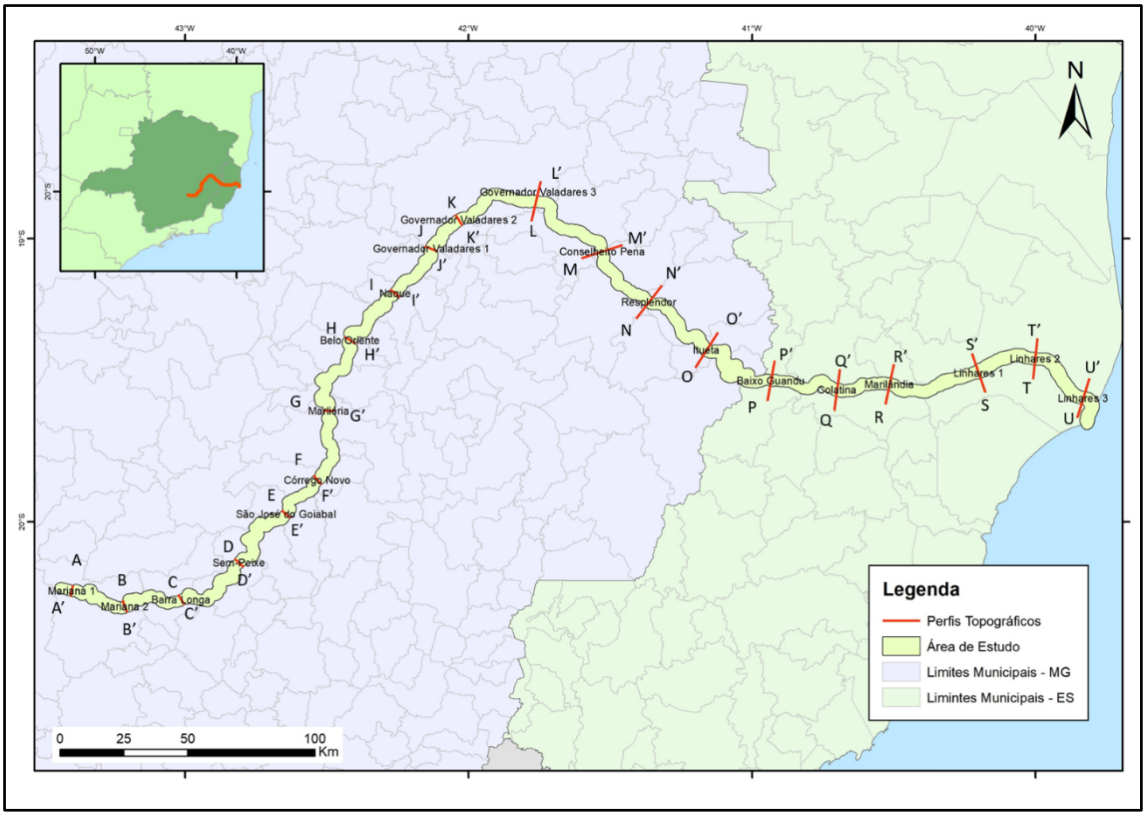
As planícies fluvio-marinhas são formadas por planícies fluviais e terraços de origem marinha e flúvio-marinha, abrangendo os sedimentos aluviais e marinhos depositados durante o Pleistoceno e Holoceno, ao decorrer do curso do Rio Doce até a sua foz. Essa unidade concentra-se no Trecho 5 da Área de Estudos. Essas planícies exibem ambiente diversificado e complexo, influenciados por oscilações eustáticas e climáticas e pelo controle do tectonismo regional. Abrangem um grupo de formas de relevo de agradação produzidas durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno por interação dos processos fluviais, lagunares e marinhos determinados pelos ciclos transgressivos-regressivos atuantes na costa leste brasileira. Englobam o delta do Rio Doce e a região de Linhares, no Espírito Santo.

A planície apresenta relevo plano a suave ondulado, formada por material acumulativo, do tipo aluvial e coluvial, com larguras e extensões variadas. A proximidade com o litoral é marcada pela influência marinha na formação de mangues.

8.3.1 Perfis Topográficos

Visando a uma melhor compreensão das feições geomorfológicas e de relevo na região e a relação destas com as lavouras irrigadas, foram gerados 21 perfis topográficos distribuídos aleatoriamente ao longo da Área de Estudo, conforme Figura 12. Os dados altimétricos utilizados na criação desses perfis foram obtidos através do projeto TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que utiliza o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo United States Geological Survey (USGS) na rede mundial de computadores.

Figura 12 - Distribuição dos perfis topográficos na Área de Estudo



Fonte: Elaboração própria.

Os perfis topográficos (Figura 13) foram identificados alfabeticamente de "A" a "U". Do perfil "A", no município de Mariana, até o perfil "K", em Governador Valadares, possuem a largura igual à do buffer. A partir do perfil "L", os perfis foram elaborados com 16 quilômetros de extensão, a fim de identificar as áreas de planície que eventualmente extrapolem o *buffer* e apresentem a possibilidade de existência de lavouras irrigadas com águas captadas dentro da Área de Estudos.

Não foram inseridos perfis topográficos abrangendo o Quadrilátero Ferrífero enquanto unidade geomorfológica, sendo os perfis "A" e "B" mais bem enquadrados na unidade geomorfológica descrita a seguir, apesar de inseridos no Quadrilátero Ferrífero enquanto província metalogenética.

Os perfis topográficos "A", "B" e "C" encontram-se inseridos na unidade geomorfológica de Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas, apresentando diferenças de nível de até 200 metros da calha do Rio Doce até as cristas mais elevadas.

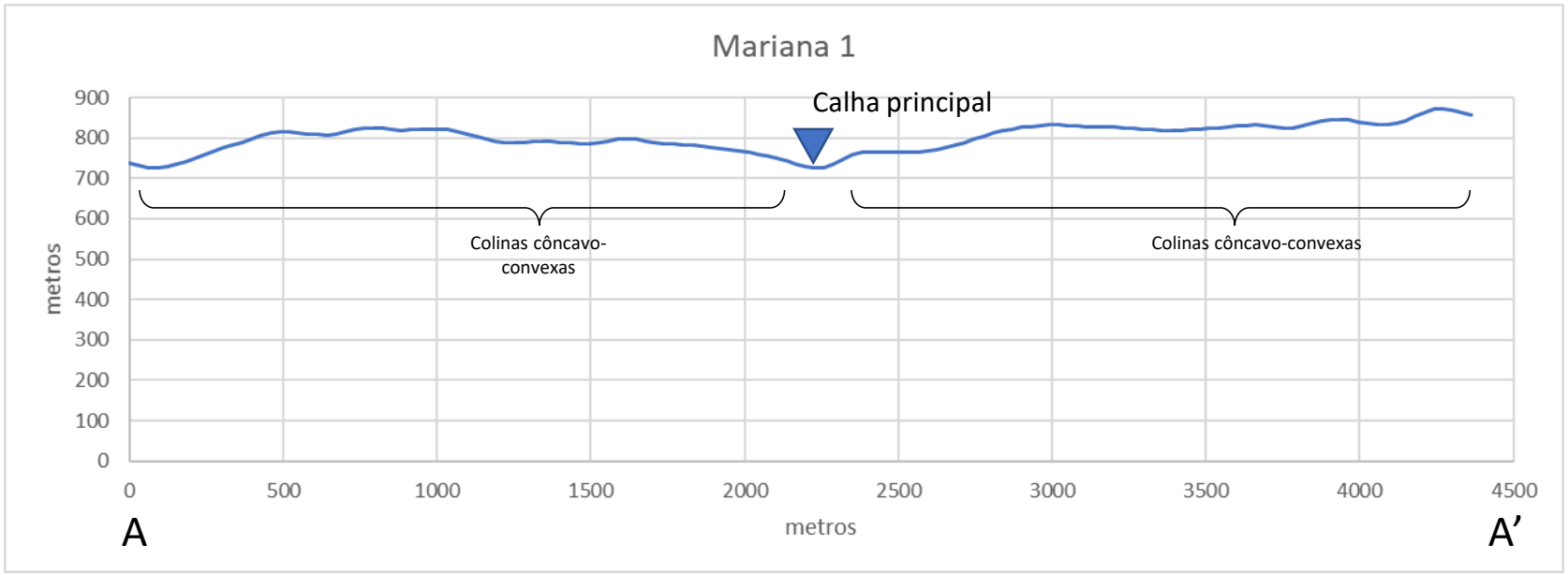
As elevadas declividades identificadas nos perfis, que dificultam e até mesmo inviabilizam o cultivo e manejo de diversas culturas bem como as grandes variações altimétricas presentes, que representam barreiras topográficas a serem transpostas no implemento de sistemas de irrigação, influenciam potencialmente na menor ocorrência de culturas irrigadas nessa região da Área de Estudos.

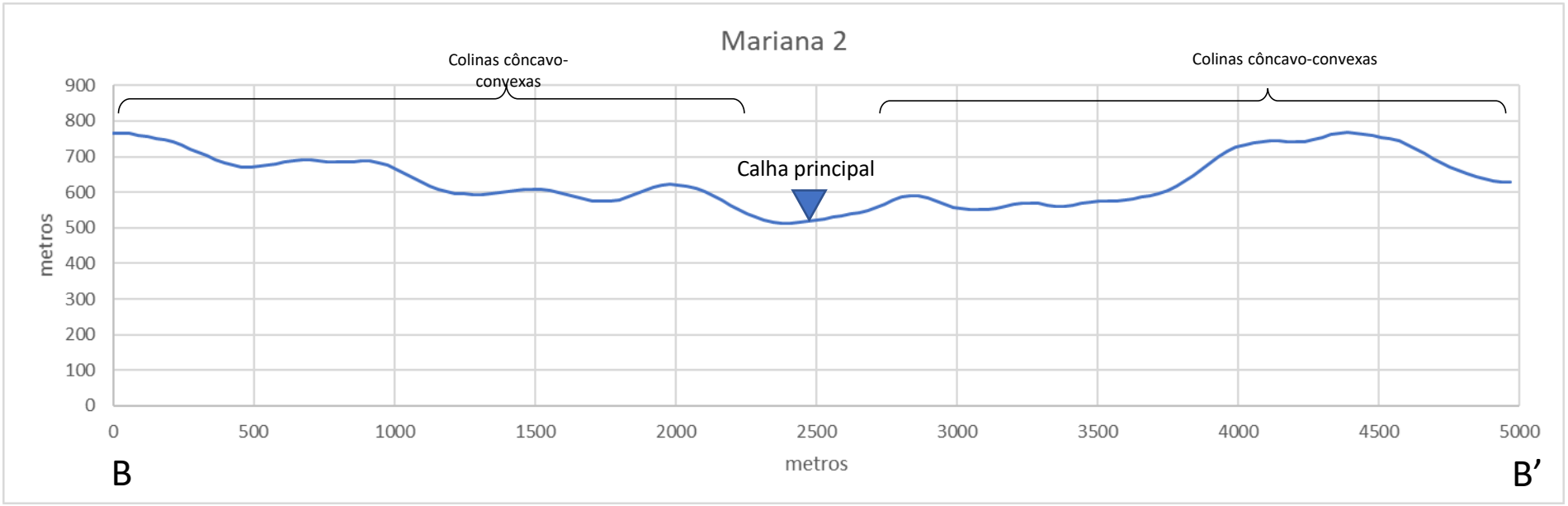
A Depressão do Rio Doce compreende a maior parte dos perfis topográficos distribuídos na Área de Estudos, estendendo-se desde o município de Barra Longa, em Minas Gerais (Trecho 1), até o município de Colatina, no Espírito Santo (Trecho 4). Ao longo desse trecho, são comuns grandes extensões de várzea na calha maior do curso principal do rio, associadas à ocorrência de colinas côncavo-convexas e rampas de colúvio. Ocorrem também inselbergues nas seções de Governador Valadares, Resplendor e Itueta (Trecho 3), formados por corpos litológicos mais resistentes aos processos intempéricos que entalharam a paisagem nesse trecho da Área de Estudos.

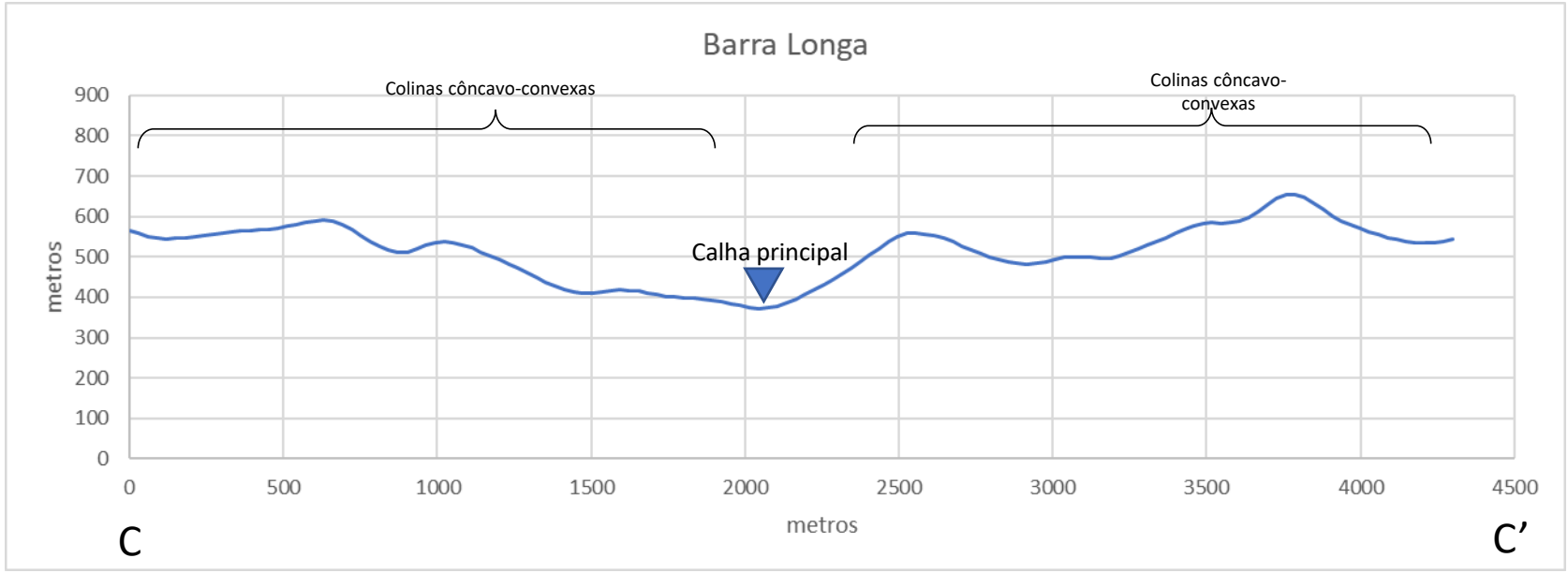
As extensas áreas de várzea aliadas às feições de relevo mais suaves que surgem após o município de Barra Longa, representado na seção "C", favorecem o cultivo de lavouras e o implemento de sistemas de irrigação a partir do Rio Doce, elevando assim o número de potenciais propriedades identificadas na Área de Estudos.

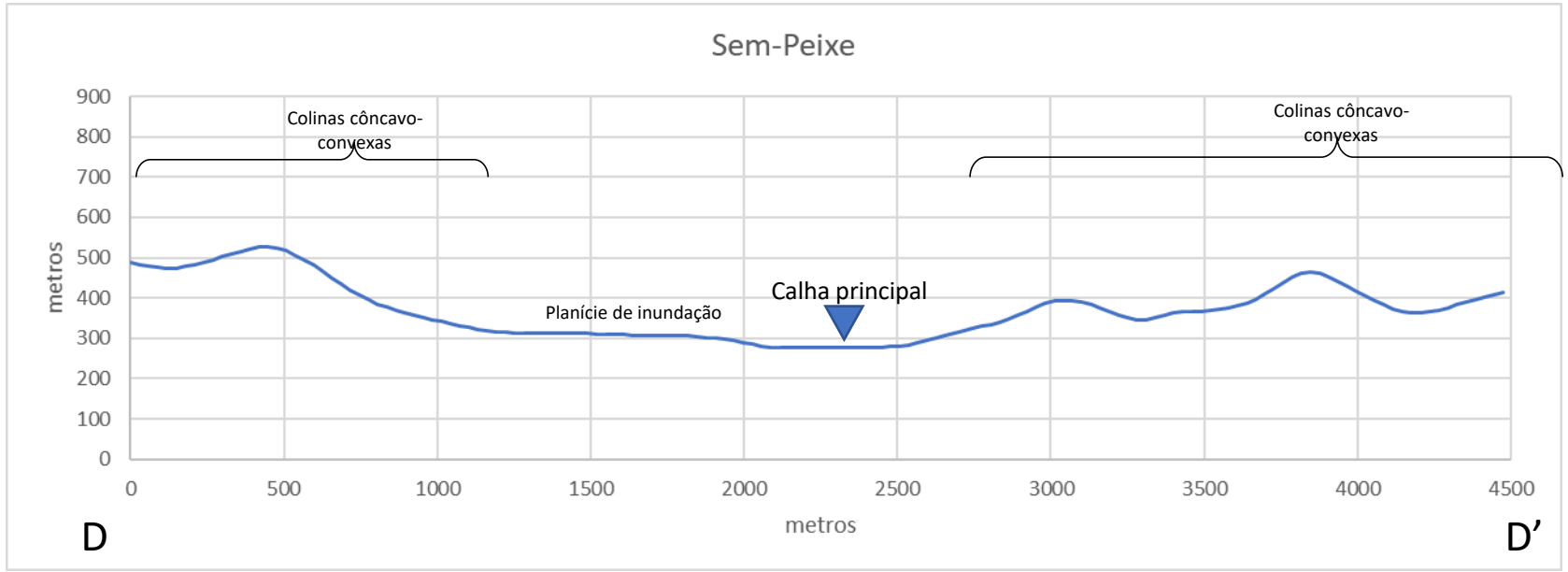
As Superfícies Aplainadas Sublitorâneas podem ser exemplificadas através do perfil "R" (Trecho 4), localizado no município de Marilândia. As características do relevo nessa região permitem a implantação de lavouras irrigadas, com águas captadas do Rio Doce, possibilitando o bombeamento ao longo de grandes distâncias, já que há uma pequena variação topográfica – na ordem de 50 metros – recobrindo vários quilômetros. Em algumas situações, essas áreas planas podem, inclusive, abranger toda a largura da Área de Estudo.

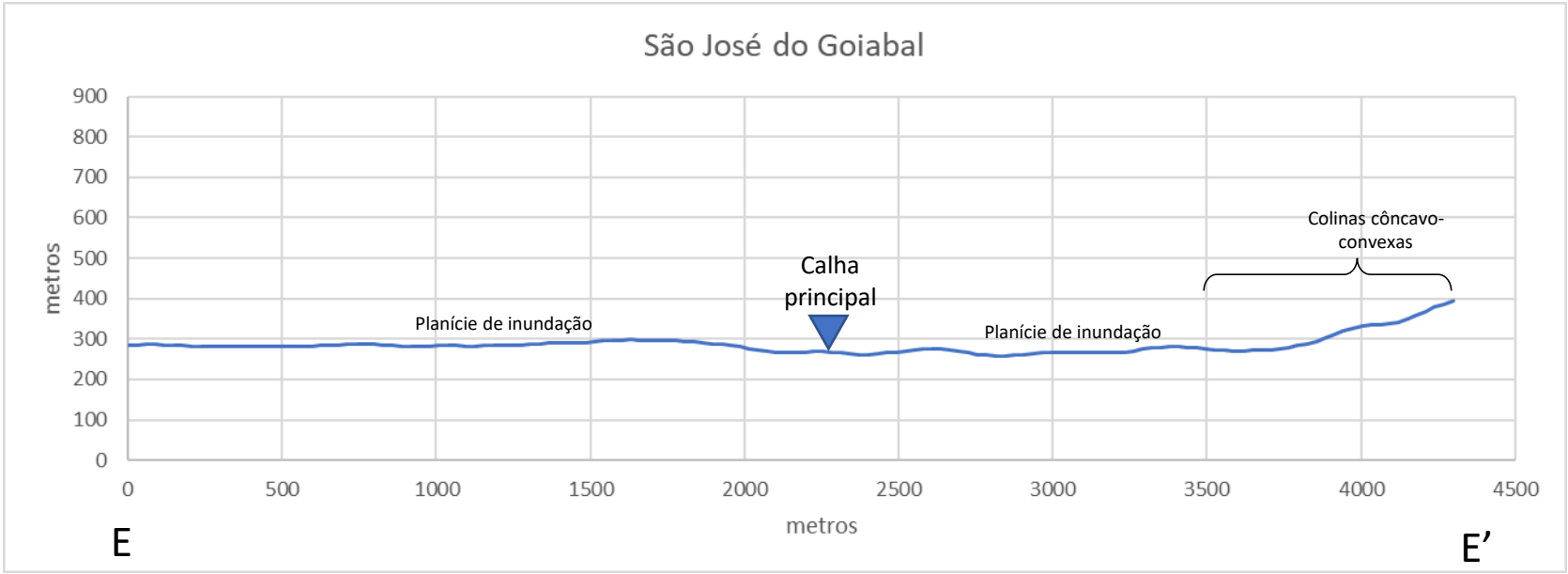
As planícies flúvio-marinhas se evidenciam nos perfis topográficos “S”, “T” e “U”, situados próximos à foz do Rio Doce, no município de Linhares. Dadas as modestas amplitudes de cota topográfica, a utilização de sistemas de irrigação que captem água do Rio Doce é plenamente possível em toda a largura da Área de Estudo, nessa região. Podem, ainda, ocorrer captações em sistemas lagunares inseridos no *buffer*, cujas águas encontram-se potencialmente sob influência das águas do Rio Doce em eventos de cheias e em sistemas naturais de água salobra, como restingas e água subterrânea, diretamente influenciados pelas águas marinhas.

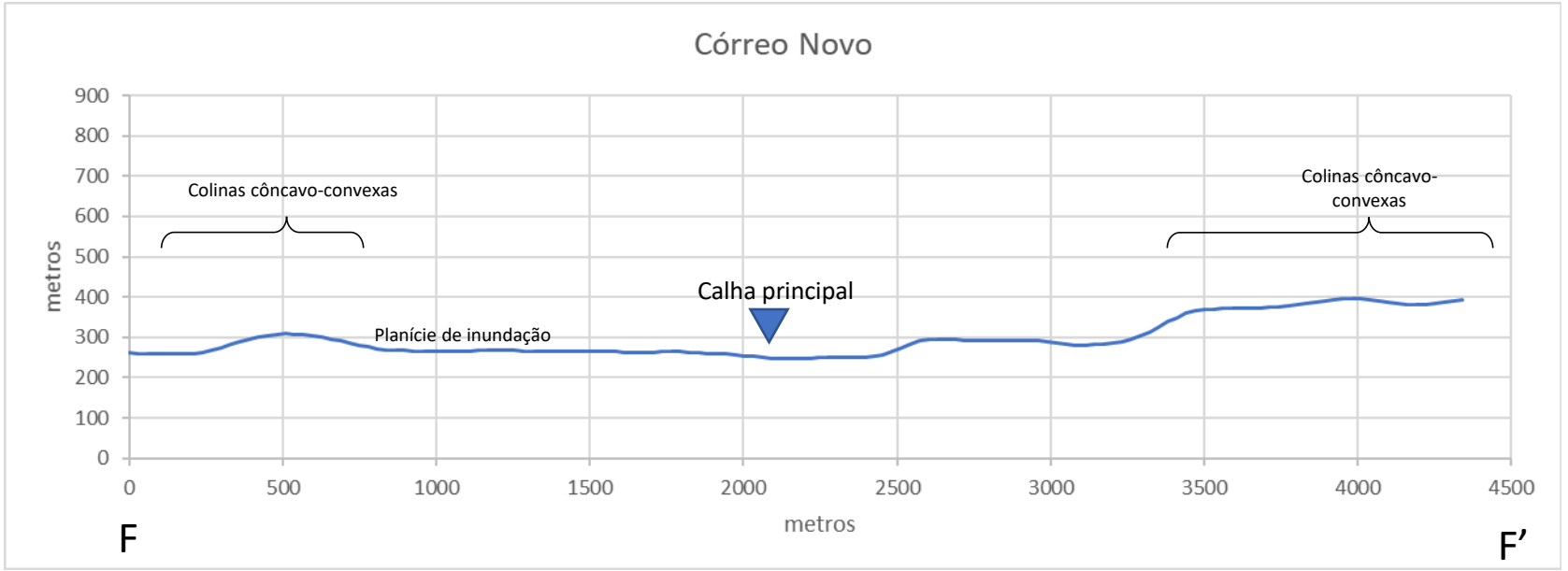

Mariana 1
Calha principal
Colinas côncavo-convexas
Colinas côncavo-convexas
metros
metros
A
A’

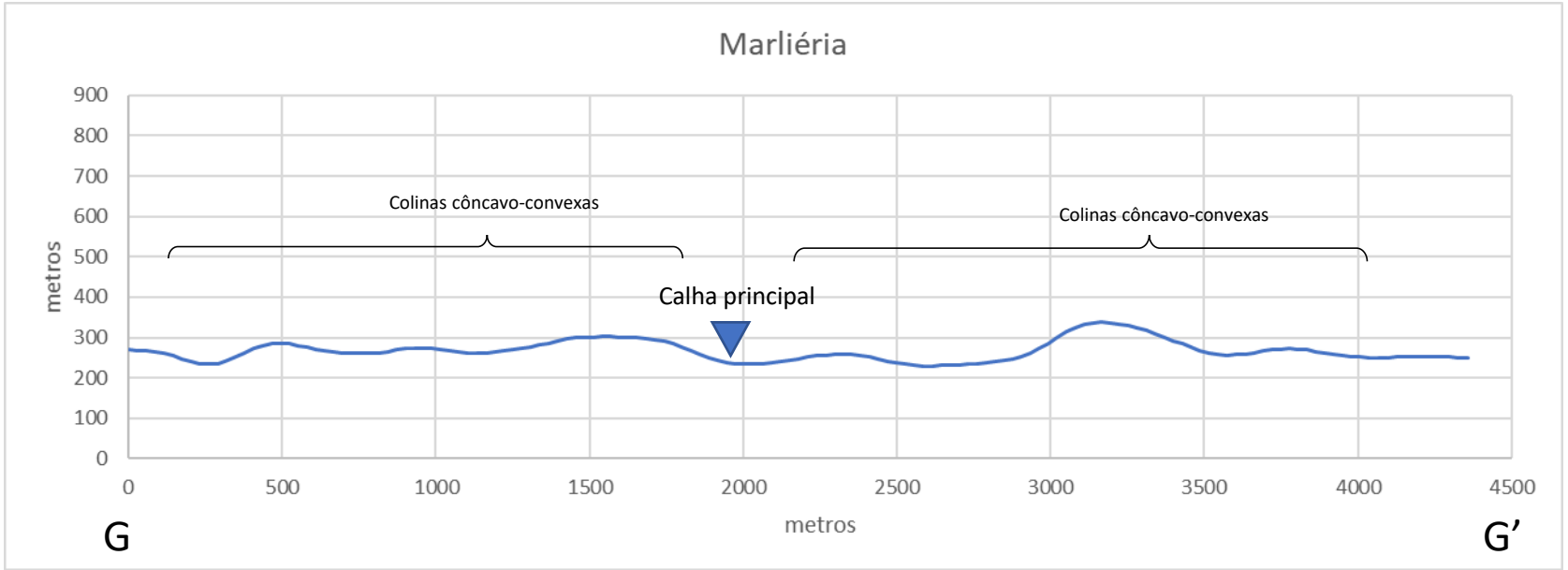

Mariana 2
Colinas côncavo-convexas
Colinas côncavo-convexas
Calha principal
metros
metros
B
B’

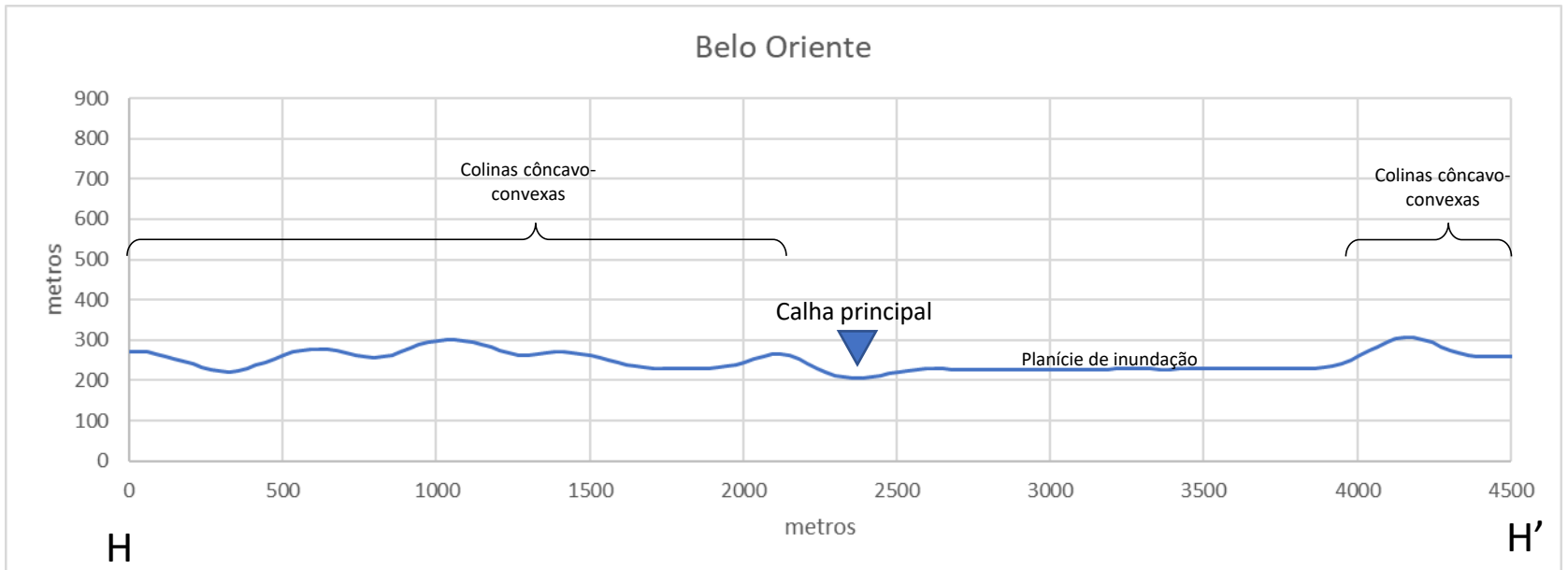

Barra Longa
Colinas côncavo-convexas
Colinas côncavo-convexas
Calha principal
metros
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
C
C’

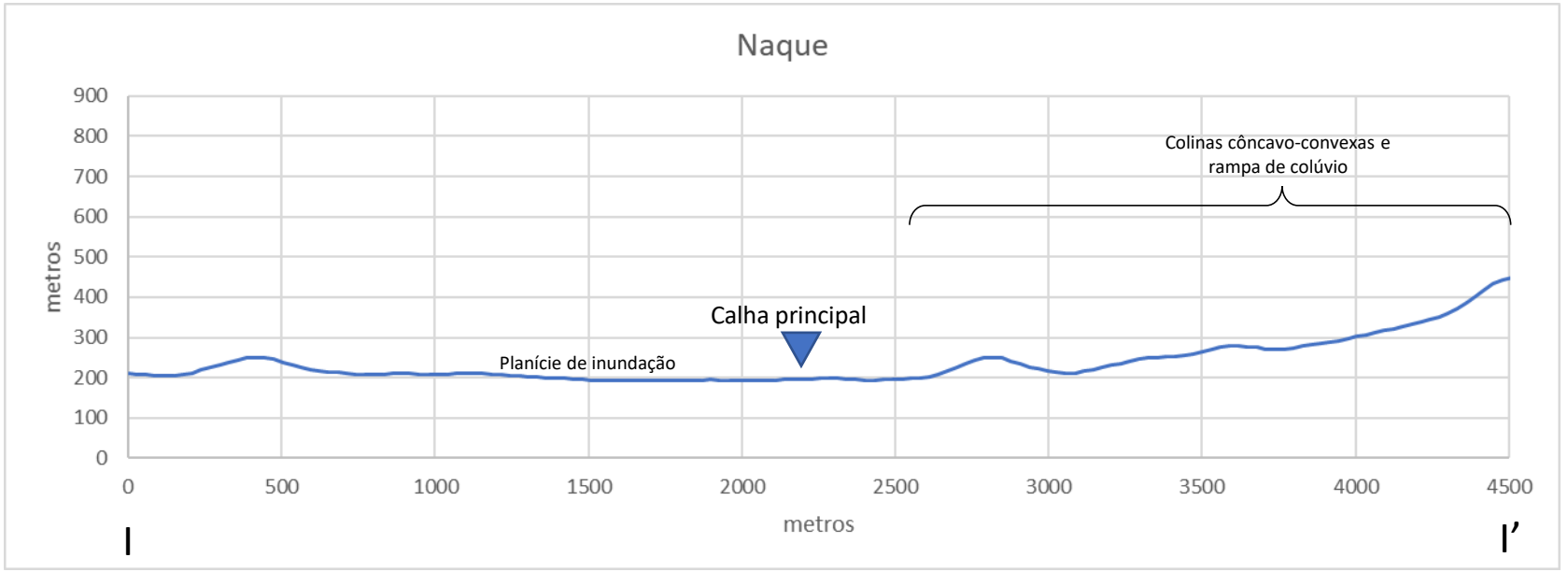

Sem-Peixe
Colinas côncavo-convexas
Colinas côncavo-convexas
Planície de inundação
Calha principal
metros
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
D
D’

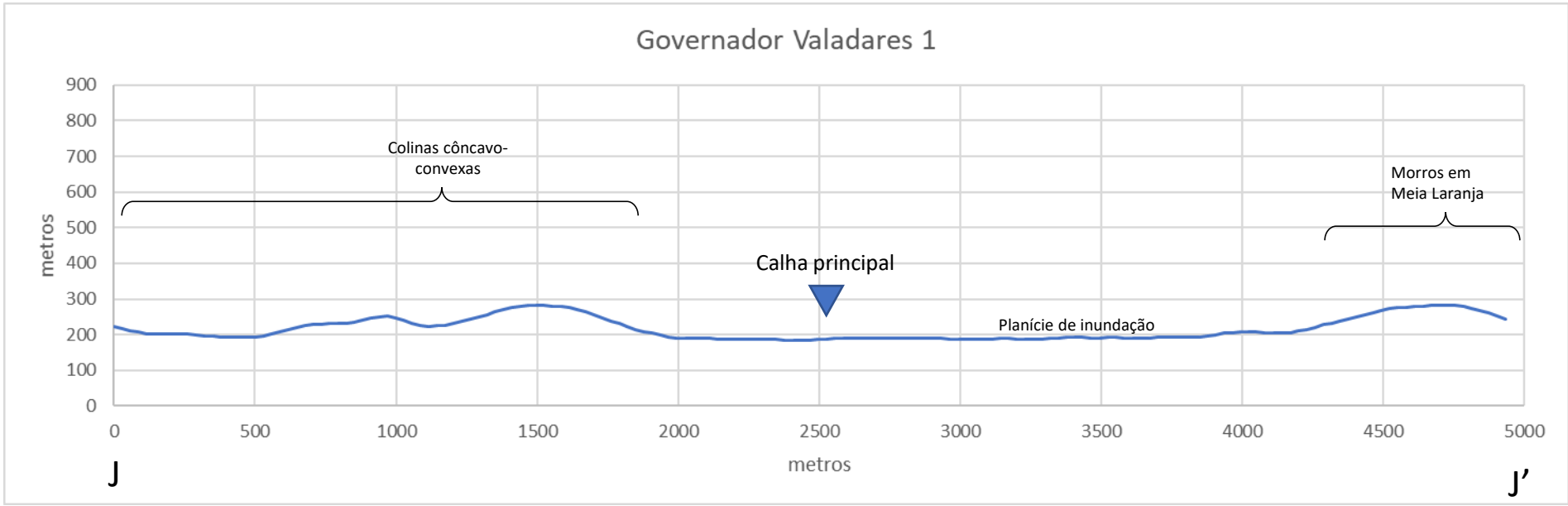

São José do Goiabal
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
Planície de inundação
Calha principal
Planície de inundação
Colinas côncavo-convexas
E
E’

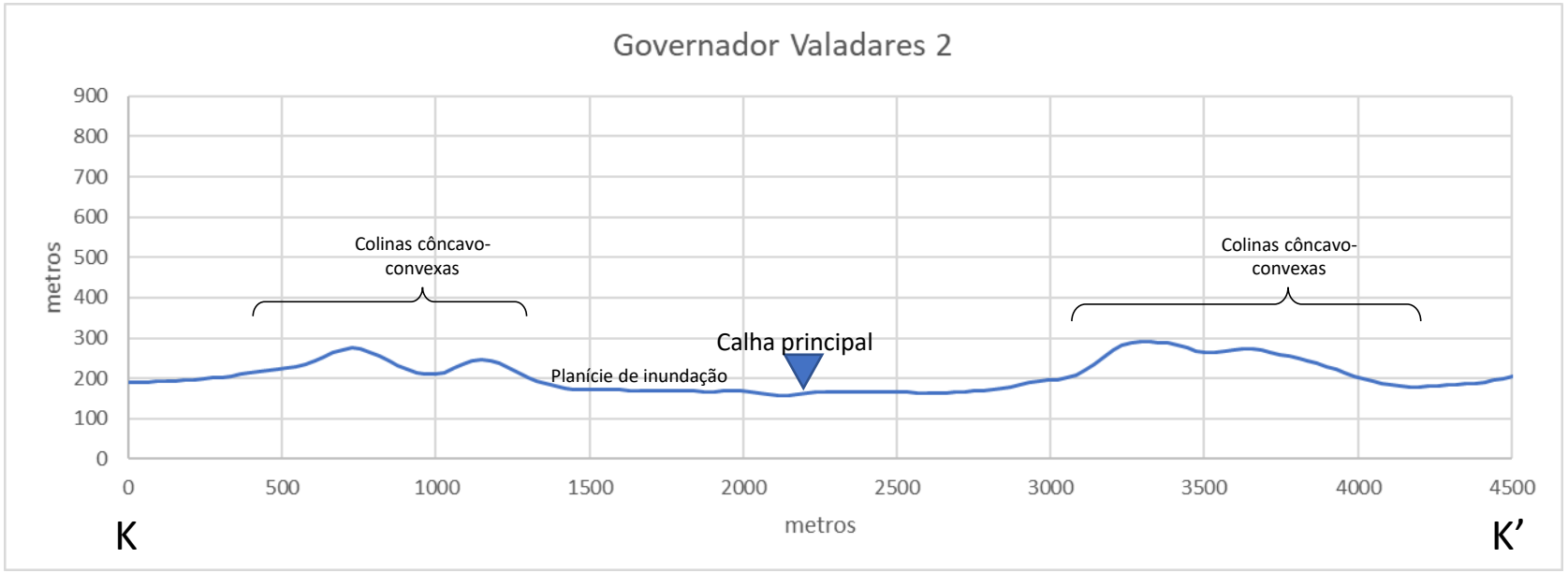

Córreo Novo
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
Colinas côncavo-convexas
Planície de inundação
Calha principal
Colinas côncavo-convexas
F
F’

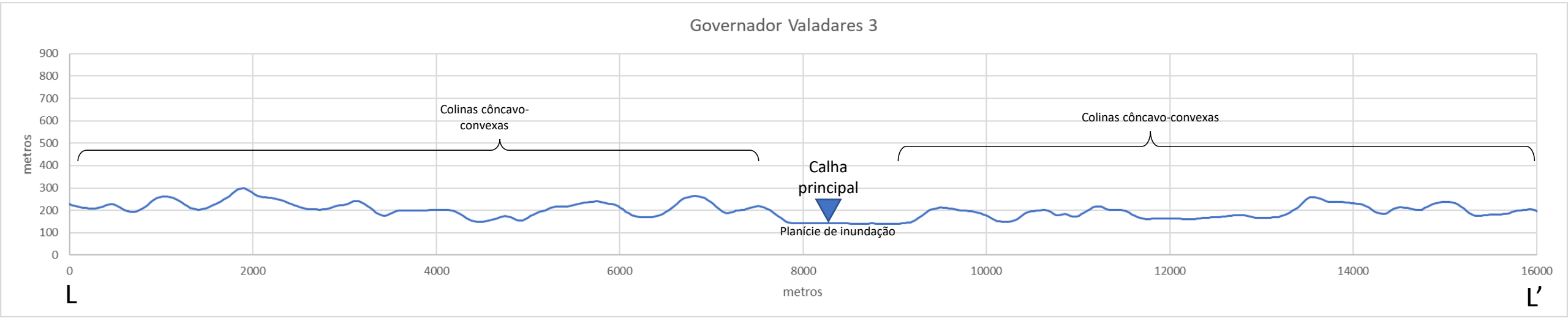

Marliéria
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Colinas côncavo-convexas
Colinas côncavo-convexas
Calha principal
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
G
G’

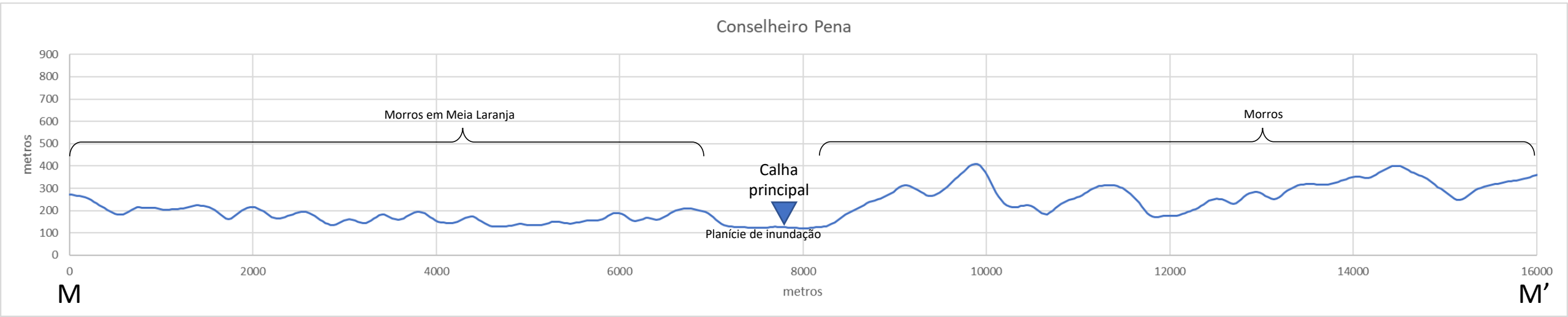

Belo Oriente
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Colinas côncavo-convexas
Colinas côncavo-convexas
Calha principal
Planície de inundação
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
H
H’

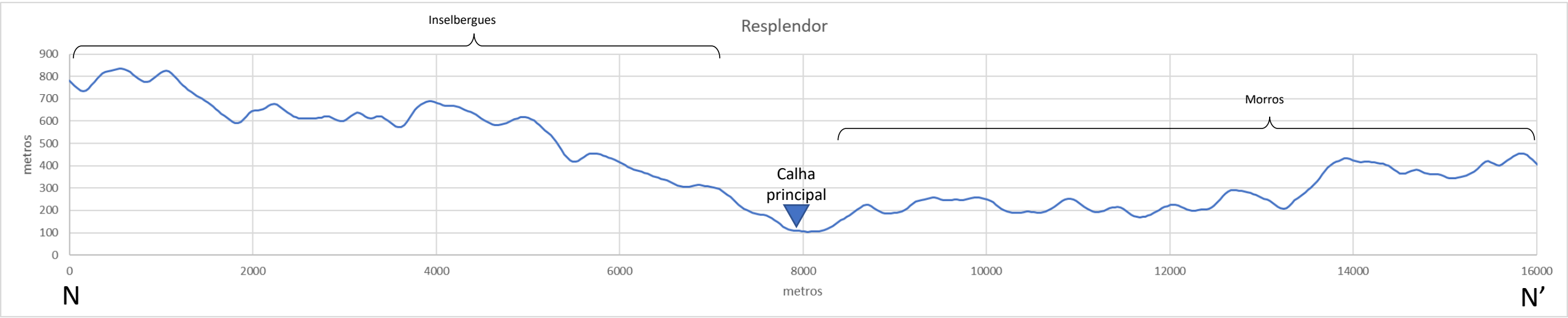

Naque
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
Colinas côncavo-convexas e rampa de colúvio
Calha principal
Planície de inundação
I
I’


Governador Valadares 1
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
metros
Colinas côncavo-convexas
Morros em Meia Laranja
Calha principal
Planície de inundação
J
J’

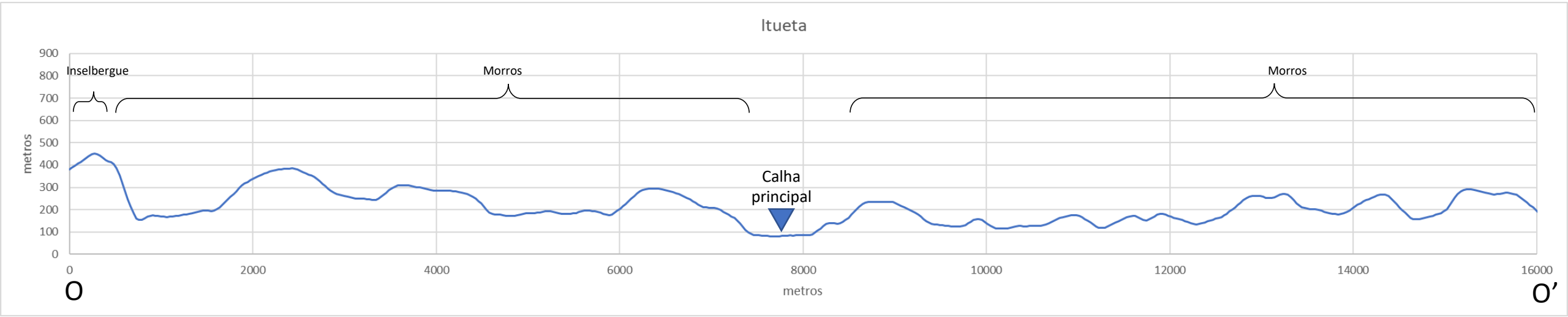

Governador Valadares 2
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Colinas côncavo-convexas
Colinas côncavo-convexas
Calha principal
Planície de inundação
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
metros
K
K’

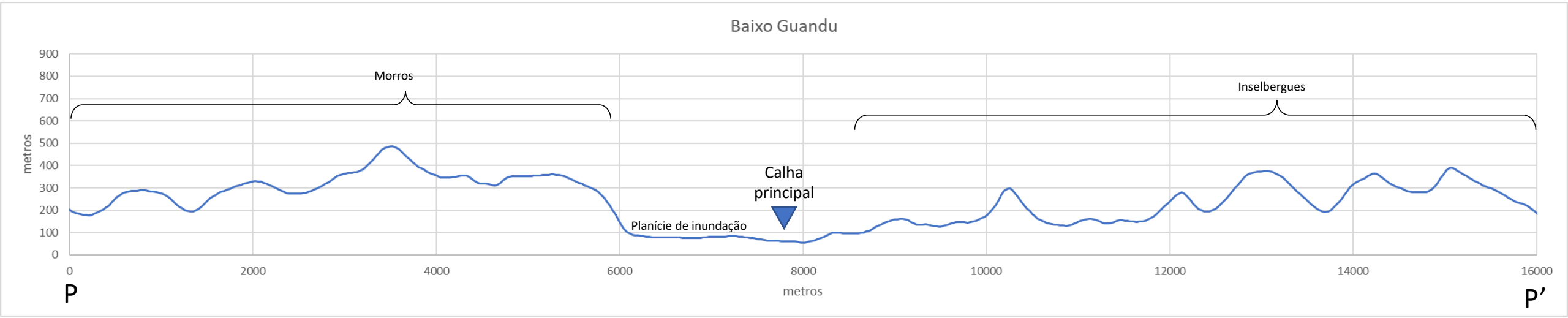

Governador Valadares 3
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Colinas côncavo-convexas
Calha principal
Planície de inundação
Colinas côncavo-convexas
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
L
L’

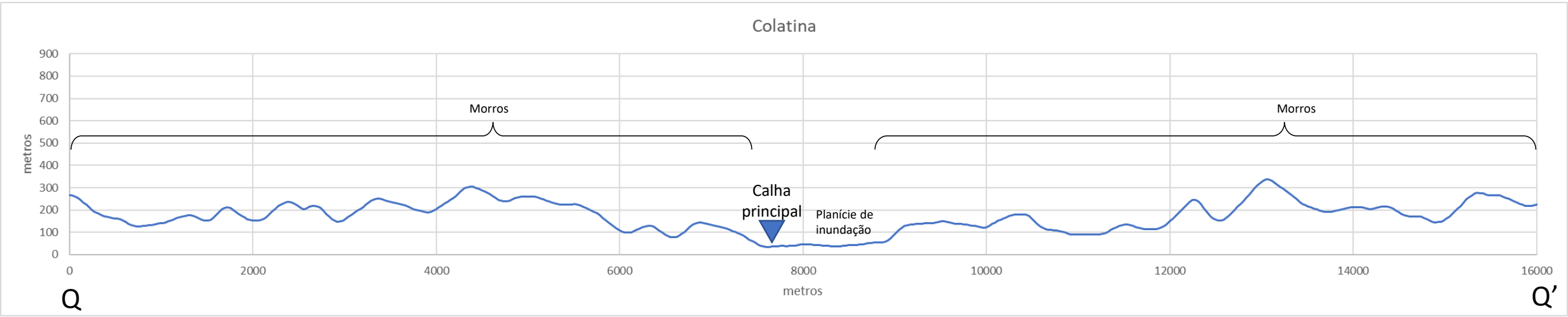

Conselheiro Pena
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Morros em Meia Laranja
Calha principal
Planície de inundação
Morros
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
M
M’

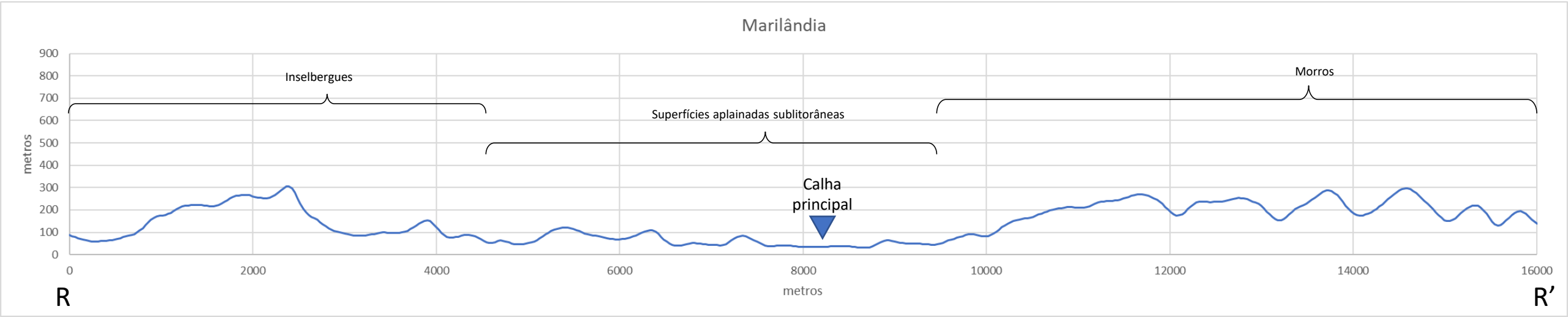


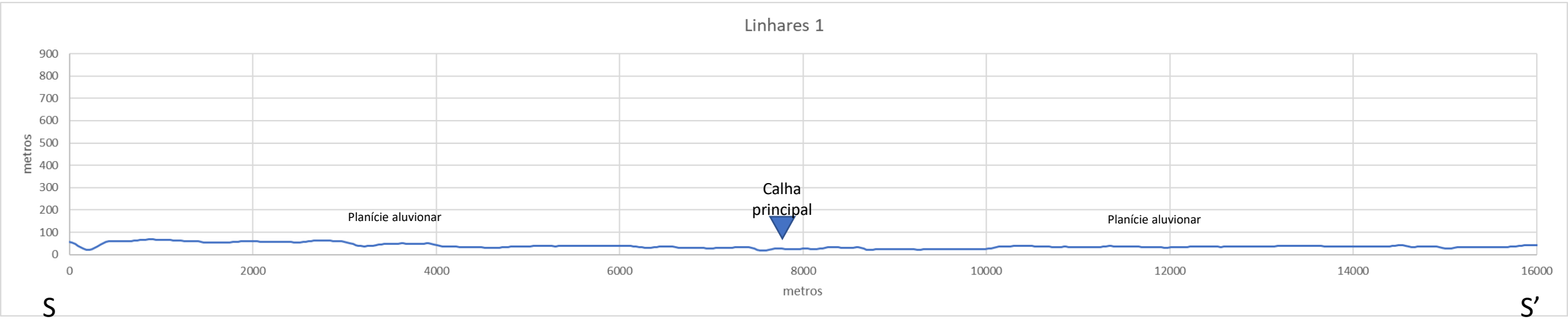
Morro
Testemunho

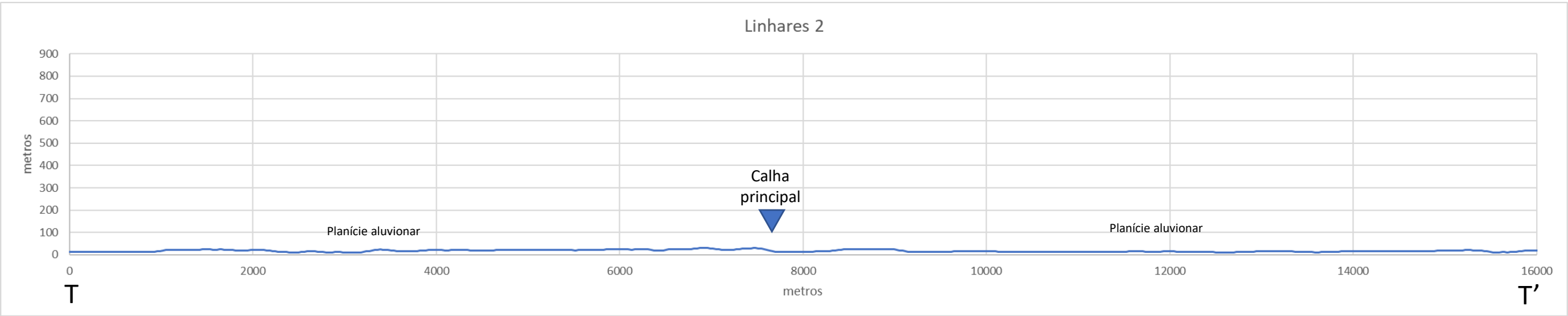


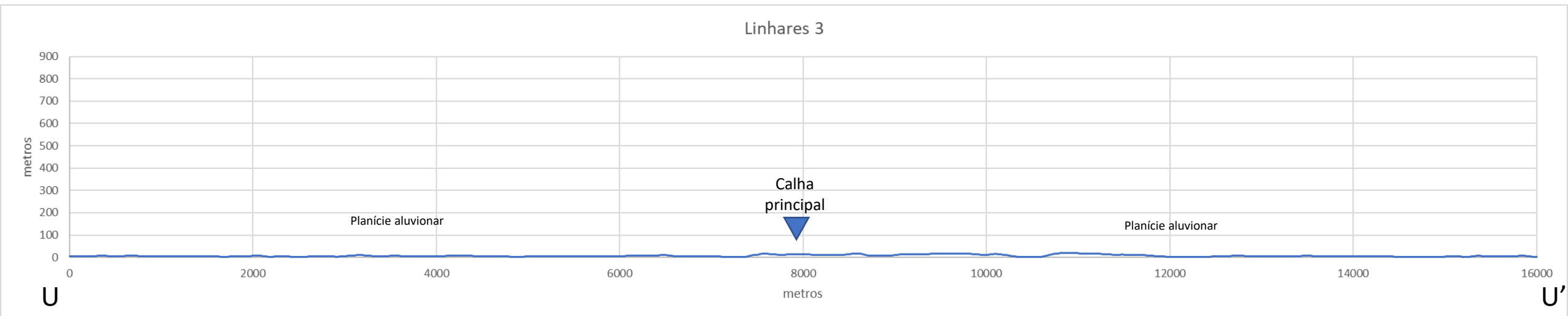

Baixo Guandu
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Morros
Inselbergues
Calha
principal
Planície de inundação
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
P
P’


Colatina
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Morros
Morros
Calha
principal
Planície de
inundação
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
Q
Q’


Marilândia
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Inselbergues
Superfícies aplainadas sublitorâneas
Morros
Calha
principal
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
R
R’


Linhares 1
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Planície aluvionar
Calha
principal
Planície aluvionar
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
S
S’


Linhares 2
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Calha
principal
Planície aluvionar
Planície aluvionar
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
T
T’


Linhares 3
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
metros
Calha
principal
Planície aluvionar
Planície aluvionar
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
metros
U
U’

8.3.2 Planícies de inundação

Os perfis topográficos apresentados evidenciam as zonas de várzea e planícies de inundação do Rio Doce. Essas áreas alagáveis representam potenciais pontos de impacto aos moradores das margens, tanto de áreas ribeirinhas como de zonas urbanas, uma vez que se encontram vulneráveis às enchentes.

As enchentes em zonas urbanas trazem à tona a necessidade da execução de um planejamento estratégico por parte dos órgãos da administração pública municipal visando minimizar os impactos advindos desses eventos climáticos extremos. O atendimento a essa necessidade depende de estudos técnicos detalhados que delimitem as zonas susceptíveis a alagamentos. Para a Área de Estudo deste trabalho, Castilho et al., (2004) e Coutinho e Motta, (2016) apresentaram as planícies de inundação dos municípios de Governador Valadares e Colatina, respectivamente. Conforme Castilho et al., (2004), no município de Governador Valadares, máximas pluviométricas com períodos de retorno de 5 anos atingem edificações distantes até 300 metros da margem esquerda do Rio Doce.

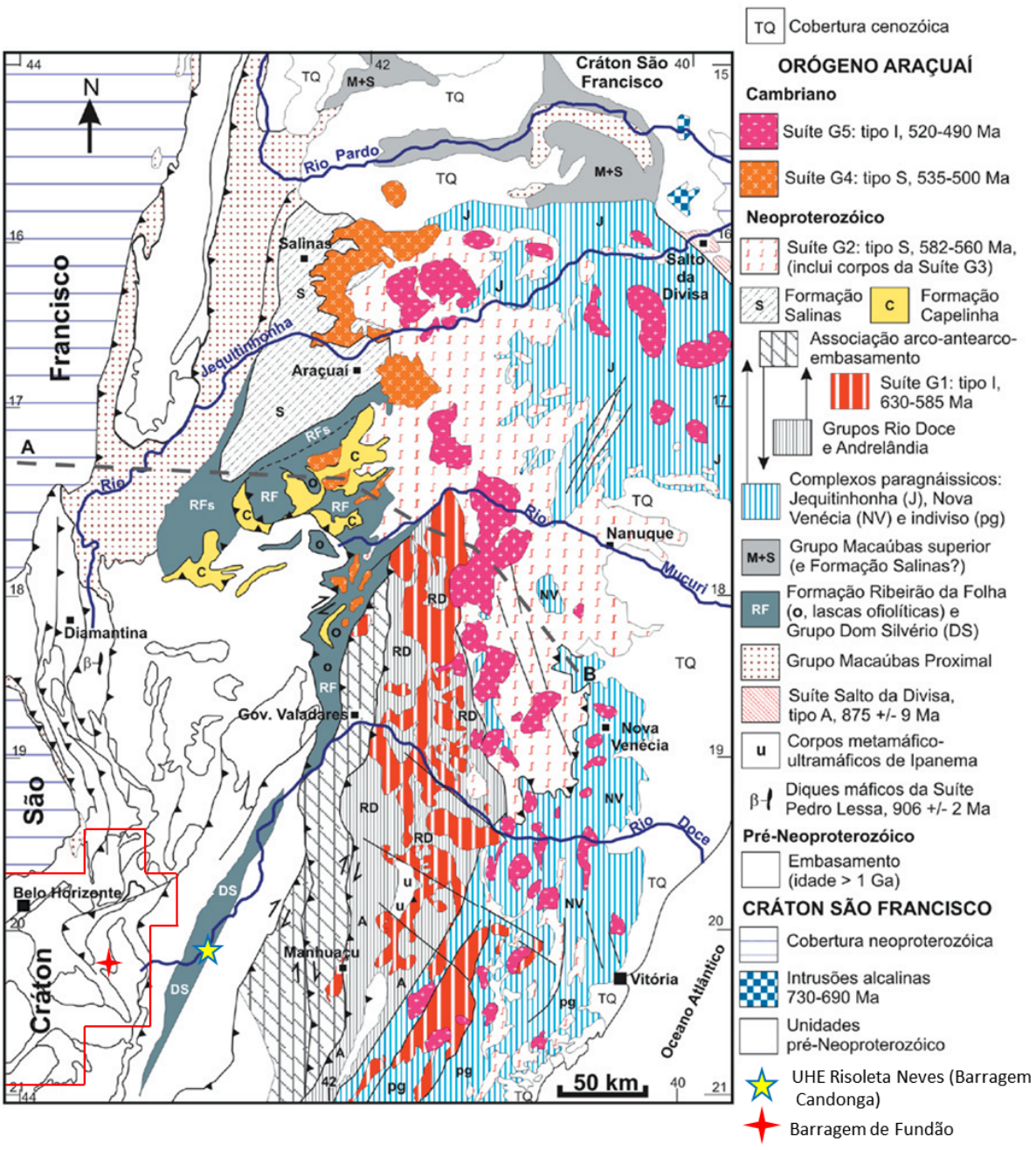
Em contrapartida aos potenciais impactos negativos, as planícies de inundação são amplamente utilizadas por produtores rurais para o tradicional cultivo de vazante. Dado o aporte de sedimentos carregados de matéria orgânica e nutrientes que se depositam nas áreas de várzea em eventos de cheias, o sistema solo/sedimento torna-se extremamente fértil. Findada a vazante, na ocasião do rio retornando ao seu nível normal, as áreas antes alagadas são cultivadas por produtores rurais para fins de consumo e comercialização. Por se tratar de um evento cíclico de periodicidade anual, tal prática já se estabeleceu no cotidiano de produtores rurais que ocupam as margens do Rio Doce. Vale salientar o fato de que essa prática foi mantida após a ruptura da Barragem do Fundão, sendo as áreas de várzea recobertas por sedimentos mesclados com rejeito, compondo um *technosoil* que é aproveitado para o cultivo de culturas irrigadas, conforme apresentado no item 9.3.1 Classificação textural de solos e rejeito ao longo da Bacia do Rio Doce.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

8.4 Geologia Regional

O contexto geológico da Área de Estudo abrange a porção leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF) e a porção sul da Faixa Orogenética Araçuaí (Figura 14). Trata-se de uma extensa área que recobre dois dos principais domínios geotectônicos brasileiros, possuidores de uma evolução complexa, marcada por grandes retrabalhos no decorrer de sua história.

Figura 14 - Localização da Área de Estudo em relação ao QF e Faixa Araçuaí.



Fonte: Adaptado de Pedrosa-Soares et al. (2013b).

Serão descritas sucintamente as principais unidades litoestratigráficas presentes na Área de Estudo, conforme apresentado no Mapa de Geologia da Área de Estudo (Figura 15), a saber: o Quadrilátero Ferrífero, englobando o Complexo Santa Bárbara, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi, e o Orógeno Araçuaí, que compreende o Complexo Juiz de Fora, Complexo Mantiqueira, Granitoide Córrego Pedra Dourada, Complexo Acaiaca, Complexo São Sebastião do Soberbo, Suíte Alcalina da Mantiqueira, Grupo Dom Silvério, Complexo Nova Venécia, Grupo Rio Doce, Suíte Ataleia, Ortognaisse Santa Tereza, Suíte Galiléia, Suíte Mascarenhas, Suíte Urucum, Maciço Itapin, Suíte Aimorés, Granito Ibituruna, Grupo Barreiras e unidades detríticas aluviais e marinhas recentes.

As nascentes do Rio Doce localizam-se na região leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, situado na porção centro-sul do estado de Minas Gerais.

O Quadrilátero Ferrífero é uma província metalogenética historicamente reconhecida, representando uma clássica região da geologia pré-cambriana mundial (DORR, 1969). Sua nomenclatura se dá em função do arranjo planimétrico da área, com aproximadamente 7.000 km², onde se encontram as jazidas de minério de ferro mais significativas de Minas Gerais (BARBOSA et al., 1968) e as mais importantes do Brasil. A geologia do Quadrilátero Ferrífero compreende o embasamento cristalino, o Supergrupo Rio das Velhas e o Supergrupo Minas.

Os terrenos granítico-gnáissicos do embasamento atendem por várias denominações. Esse conjunto de rochas é constituído por tonalitos migmatizados a gnaisses granodioríticos com características geoquímicas das suítes tonalíticas-trondjemíticas-granodioríticas (TTG) arqueanas (NOCE, 1995). A Área de Estudo tem como representante o Complexo Santa Bárbara, no município de Mariana, formado por ortognaisses bandados tipo TTG, com intercalações de anfibolito e metaultramáfica.

Sobrepondo o embasamento ocorre o Supergrupo Rio das Velhas, definido por Dorr (1969), que se constitui de uma sequência meta-vulcanos sedimentar do tipo greenstonebelt (ALMEIDA, 1976; SCHORSCHER, 1978), formada por rochas vulcânicas máficas e ultramáficas komatiíticas e toleíticas, formações ferríferas bandadas do tipo algoma, xistos e filitos meta-vulcano clásticos e metassedimentos clásticos terrígenos metamorfisados na fácies xisto verde a anfibolito. Ocorre a porção inicial da Área de Estudo, no município de Mariana. É representado pelos Grupos Nova Lima e Maquiné, definidos por Dorr et al. (1957). O

primeiro é formado por uma sucessão de micaxistos com zonas de formações ferríferas, grauvacas, quartzito, conglomerado, rochas metavulcânicas, xistos/filitos grafitosos e outros metassedimentos; o segundo se constitui principalmente de quartzitos, filitos e conglomerados. O Supergrupo Minas (DORR, 1969) é constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas de idade paleoproterozoica. Na Área de Estudo, é representado pelo Grupo Piracicaba, formado por quartzitos, filitos ferruginosos, filitos dolomíticos e filitos grafitosos e pelo Grupo Sabará (RENGER et al., 1994), constituído por xistos, filitos, metagrauvacas, metaconglomerados e quartzitos.

Sobrepondo o Supergrupo Minas, ocorre o Grupo Itacolomi. Ele é formado por quartzitos com lentes de conglomerado e filito, foi definido por Maxwell (1972) e ocorre em uma ínfima porção no extremo oeste da Área de Estudo.

Nas unidades que compõem o QF, essencialmente nos Supergrupos Rio das Velhas e Minas, o metamorfismo regional conduziu à percolação de veios hidrotermais que remobilizaram e concentraram uma vasta assembleia mineral. Nesse contexto ocorre a formação de minerais sulfetados. Diversos sulfetos possuem associação com elementos tóxicos e/ou metais pesados de grande relevância ambiental. Como exemplo, podem ser citados: pirita (FeS), arsenopirita (FeAsS), calcopirita ($CuFeS_2$) e petlandita ($(Fe, Ni)_9S_8$).

Outro elemento de relevância ambiental que possui ocorrência na região do QF é o cromo. Ele está ligado a rochas ultramáficas, de origem mantélica. Ocorre como elemento traço, usualmente aprisionado em estruturas cristalinas de outros minerais ou como mineral acessório na forma da cromita $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$. A cromita tem outros elementos subordinados em quantidades mínimas, da ordem de mg kg^{-1}, como vanádio, níquel, zinco, titânio, manganês e cobalto (GONÇALVES, 2001).

Os processos intempéricos degradam as rochas que contêm esses elementos e os incorporam no solo e na água, contribuindo assim para a formação do *background* da região. Destaca-se o fato de que processos extrativistas minerais, como aqueles desenvolvidos durante o ciclo do ouro e ainda observados em garimpos irregulares, podem contribuir para a concentração de alguns desses elementos, a depender do material de interesse explorado e das técnicas empregadas.

O Complexo Juiz de Fora, conforme apresentam Noce et al. (2013), é composto por ortognaisses com paragêneses da fácies granulito, e o litotipo característico é um gnaisse

enderbítico. Ele aflora na região de Governador Valadares e encontra-se tectonicamente justaposto ao Complexo Mantiqueira por meio de extensa zona de cisalhamento neoproterozoica, a Falha de Abre Campo.

Segundo os mesmos autores, o Complexo Mantiqueira constitui-se de uma associação de corpos máficos e granitoides, em que predominam os litotipos biotita-anfibólio ortognaisse bandado de composição tonalítica a granítica. Essa unidade litoestratigráfica aflora predominantemente do município de Barra Longa até Governador Valadares, sendo a formadora das colinas côncavo-convexas e rampas de colúvio que constituem principais elementos da paisagem presentes nesse segmento.

Conforme apresentado pela CODEMIG (2014), o Granitoide Córrego Pedra Dourada ocorre em uma pequena porção da Área de Estudos no município de Rio Doce, encravado no Complexo São Sebastião do Soberbo, descrito a seguir. Esse corpo granítico é composto por um ortognaisse tonalítico e encontra-se metamorfizado na fácies granulito.

O Complexo Acaiaca ocorre na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, no sudoeste da bacia do Rio Doce, e ocupa uma pequena faixa na Área de Estudo no município de Barra Longa. É constituído essencialmente por ortognaisses granulíticos e quartzitos com silimanita e granada enderbito. Está intercalado em gnaisses e migmatitos retrometamorfisados na fácies anfibolito (CODEMIG, 2014).

O Complexo São Sebastião do Soberbo constitui-se, conforme texto explicativo da Folha SE23-XB-II (1991), por um conjunto de gnaisses bandados a laminados, com frequentes intercalações de anfibolito e rochas calcissilicáticas, tendo (anfibólio)-biotita-gnaisse como litotipo dominante. Na Área de Estudo ocorrem também intercalações locais com formações ferríferas bandadas.

A Suíte Alcalina da Mantiqueira ocorre em uma pequena porção no município de Barra Longa, em contato com o Complexo Mantiqueira. Trata-se de um corpo granítico constituído por ortognaisse sienítico alcalino (CODEMIG, 2014).

O Grupo Dom Silvério se apresenta como uma faixa alongada de direção geral NE-SW que, na Área de Estudo, aflora expressivamente no município de Barra Longa e, de maneira menos expressiva, no município de Ipatinga. Trata-se de um corpo de rochas máficas e ultramáficas metamorfizadas representadas predominantemente por talco-clorita xistos,

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org

intercaladas com quartzitos. Podem ocorrer subordinadamente mica-xistos e mármores (EVANGELISTA, 1992).

O Complexo Nova Venécia, conforme apresentado por Pedrosa-Soares et al. (2013a), é composto por variedades de paragnaisse peraluminoso (kinzigítico), composto por proporções diversas de biotita, cordierita, granada e sillimanita, além de quartzo e feldspatos. Essa unidade, conforme o mesmo autor, apresenta marcante relação com as rochas da Suíte Ataleia. A Suíte Ataleia é formada por um corpo de biotita granito e granada-biotita granito foliados. Ambos ocorrem na região de Colatina e Marilândia, dentro da Área de Estudo. Essa suíte é representante da Supersuíte grantitogênica G2 do orógeno Araçuaí e foi intrudida no Complexo Nova Venécia, imprimindo-lhe marcantes relações observadas em campo, como a presença de restitos, xenólitos, além de grande frequência de corpos de granito Ataleia em meio aos paragnaisses Nova Venécia (PEDROSA-SOARES et al., 2013a).

A Suíte Galileia, caracterizada por Nalini Jr. (1997), aflora na Área de Estudo desde o município de Governador Valadares até Aimorés, na divisa com o estado do Espírito Santo. É composta por um corpo de gnaisse tonalítico e encontra-se em contato com a Formação São Tomé, do Grupo Rio Doce.

O Grupo Rio Doce, conforme demonstrado por Vieira (2007), trata-se de uma sucessão metassedimentar, contendo rochas vulcânicas e vulcanoclásticas dacíticas de arco magmático neoproterozoico e retrabalhadas no brasiliano. Na Área de Estudo, ocorrem as Formações Tumiritinga, São Tomé e João Pinto. A Formação Tumiritinga é composta por paragnaisse estromático, mármore e rocha calcissilicática. Ela ocorre expressivamente após o município de Governador Valadares, entre as cidades de Tumiritinga e Galileia e em uma pequena faixa, no município de Itueta, próximo ao limite com o estado do Espírito Santo. A Formação São Tomé, constituída por estaurolita xisto, xisto ultramáfico, biotita xisto e calcissilicática, começa a aflorar na Área de Estudos na porção extremo sul do município de Galileia e se estende até Itueta. A Formação João Pinto ocorre em uma pequena faixa entre os municípios de Conselheiro Pena e Resplendor, sendo composta predominantemente por quartzitos.

O Ortognaisse Santa Tereza é formado por um corpo granitoide do tipo I, foliado a gnáissico calcialcalino e dominantemente metaluminoso (VIEIRA, 2014). Na Área de Estudo, aflora no município de Colatina.

Pedrosa-Soares et al. (2013b) enquadram os corpos graníticos neoproterozoicos presentes na Área de Estudo em suítes correspondentes a pulsos magmáticos que ocorrem antes, durante e após o amalgamento do orógeno Araçuaí. A Suíte Galileia descrita corresponde, juntamente com as Suítes Ataleia, Mascarenhas e Urucum, à Suíte G2 de granitos tipo S, sin-colisionais. A Suíte Mascarenhas, que recobre uma pequena porção da Área de Estudo no limite do estado de Minas Gerais, trata-se de um corpo de quartzo monzonito, e a Suíte Urucum, composta por um granada-biotita granito, ocorre nos municípios de Galileia, Conselheiro Pena e Resplendor, em contato com a Formação São Tomé, do Grupo Rio Doce e com a Suíte Galileia.

Conforme Pedrosa-Soares et al. (2013a), a Suíte Aimorés, formada por um corpo de granito calcialcalino de alto potássio, enquadra-se na Suíte G5, de granitos pós-colisionais de tipo I. Ela ocorre na cidade de Aimorés, em contato com a Suíte homônima.

O Maciço Itapina se trata de um corpo granítico de composição metaluminosa, calcio-alcalino a alcalino do Tipo I (VIEIRA, 2014). Na Área de Estudo, é composto por charnockitos (εγ5lamitck) e microclima granitos (εγ5lamitmgr). Esse maciço representa um dos corpos intrusivos que compõem a Suíte Aimorés, aflorando entre os municípios de Baixo Guandu e Colatina.

O Granito Ibituruna, que ocorre em uma estreita faixa no município de Governador Valadares, é formado por um corpo granítico intrusivo do tipo A pós-orogênico a anorogênico intraplaca, posterior à Suíte G5 (CODEMIG, 2014).

O Grupo Barreiras é composto por depósitos detríticos de origem terrígena que, na Área de Estudos, apresentam a granulometria de cascalho, areia e argila, pobremente selecionados e contendo horizontes laterizados (VIEIRA, 2014). ARAI (2006) conclui que a atual configuração topográfica do Grupo Barreiras se deve ao soerguimento epirogenético, ocorrido subsequentemente à queda eustática, seguido de erosão e retrabalhamento, acontecido nos períodos de mar baixo (Tortoniano e Pleistoceno).

As unidades detríticas aluviais e marinhas recentes tratam-se de deposições sedimentares clásticas pleistocênicas e holocênicas. Ocorrem ao longo de toda a Área de Estudo, concentrando-se nas calhas maiores e planícies aluvionares do Rio Doce, bem como no leque aluvial que se forma na foz. A deposição desses sedimentos em eventos de cheia propiciam o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes que são de fundamental importância para

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org

o desenvolvimento de culturas familiares e de pequeno porte nas margens do rio. Findada a estação chuvosa e com o nível do rio normalizado, as comunidades ribeirinhas lançam mão do cultivo de vazante, desenvolvendo sobre o recém-depositado sistema solo/sedimentos suas culturas.

A síntese das unidades estratigráficas, suas litologias, siglas e idades consta no Quadro 11.

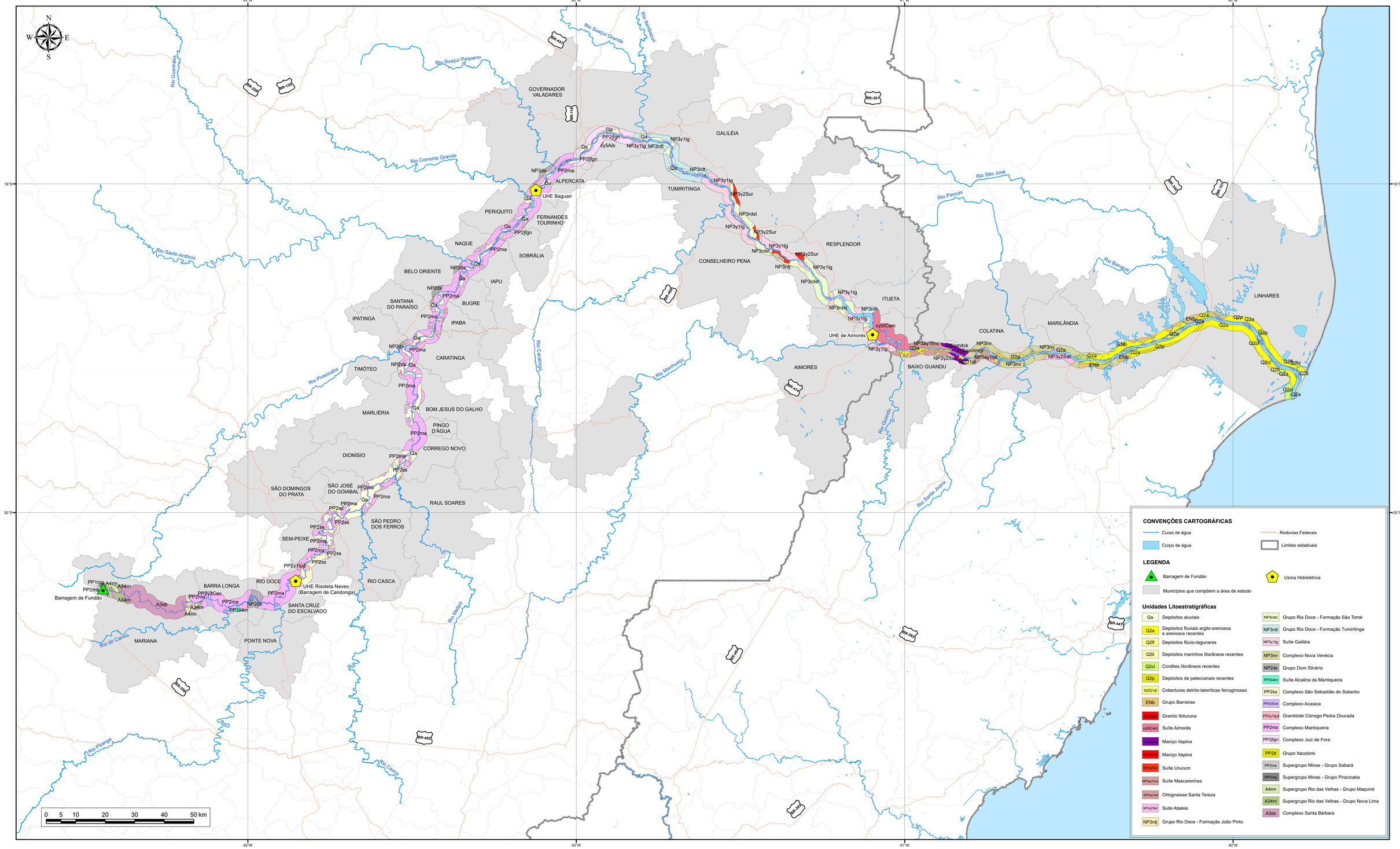
Quadro 11 - Unidades geológicas presentes na Área de Estudo

Eon	Era	Período	Sigla	Nome da Unidade	Litologia
Fanerozoico	Cenozoico	Quaternário	Qa	Depósito aluvial	Depósitos aluviais recentes.
			Q2a	Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes	Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.
			Q2fl	Depósitos flúvio-lagunares	Sedimentos areno-argilosos ricos em matéria orgânica, podendo frequentemente conter grande quantidade de conchas e moluscos de ambientes lagunares.
			Q2li	Depósitos marinhos litorâneos recentes	Sedimentos arenosos bem selecionados.
			Q2cl	Cordões litorâneos recentes	Sedimentos arenosos e argilo-arenosos costeiros.
			Q2p	Depósitos de paleocanais recentes	Depósitos residuais associados a paleocanais fluviais compostos por areia e cascalho.
		Neógeno	N2Q1dl	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	Sedimentos detrítico-lateríticos argilo-arenosos com níveis de cascalho e solos lateríticos ferruginosos.
			ENb	Grupo Barreiras	Depósitos detríticos pobremente selecionados, com granulometria cascalho, areia e argila, geralmente contendo horizontes lateríticos.
	Paleozoico	Cambriano	εγ5Aib	Granito Ibituruna	Granito alcalino
			εγ5ICam	Suíte Aimorés	Enderbito, Charnoenderbito, Charnockito, Granito calcialcalino de alto K porfirítico.
			εγ5lamitck	Maciço Itapina	Diorito, metaluminoso, cálcio-alcalino a alcalino, tipo I.
			εγ5lamitmgr	Maciço Itapina	Microclina granito, metaluminoso, cálcio-alcalino a alcalino, tipo I.

Eon	Era	Período	Sigla	Nome da Unidade	Litologia
Fanerozoico	Neoproterozoico	Ediacarano	NP3γ2Sur	Suíte Urucum	Granada-biotita granito foliado.
			NP3γ1Cma	Suíte Mascarenhas	Hiperstênio-quartzo monzonito, quartzo monzonito verdes.
			NP3aγ1Imc	Suíte Mascarenhas	Granitoide foliado a gnaissico dominantemente metaluminoso, calcialcalino, ortognaisse tipo I.
			NP3aγ1Ist	Ortognaisse Santa Tereza	Granitoide foliado a gnaissico dominantemente metaluminoso, calcialcalino, ortognaisse tipo I.
			NP3γ2Sat	Suite Ataleia	Granada-biotita granito. Granitoide pouco foliado, peraluminoso, calcialcalino, de alto potássio, tipo S.
			NP3rdj	Grupo Rio Doce - Formação João Pinto	Quartzito predominante.
			NP3rdst	Grupo Rio Doce - Formação São Tomé	Estaurolita xisto, xisto ultramáfico, biotita xisto, calcissilicática
			NP3rdt	Grupo Rio Doce - Formação Tumiritinga	Paragnaisseestromático, mármore, calcissilicática
			NP3γ1Ig	Suíte Galiléia	Tonalito e granodiorito foliados.
			NP3nv	Complexo Nova Venécia	Silimanita-granada-cordierita-biotita-gnaisse bandado com intercalações de calcissilicáticas.
		Criogeniano	NP2ds	Grupo Dom Silvério	Xisto aluminoso, metamáfica, metaultramáfica, gondito, calcissilicática.
	Paleoproterozoico	Orosiano	PP3λ4m	Suíte Alcalina da Mantiqueira	Ortognaisse sienítico alcalino.
		Riaciano	PP2ss	Complexo São Sebastião do Soberbo	Paragnaisse, calcissilicática e formação ferrífera bandada predominante localmente.
			PP2γ3Cac	Complexo Acaiaca	Granulitos de composição enderbítica a granítica.
			PP2γ1Ipd	Granitoide Córrego Pedra Dourada	Ortognaisse tonalítico.
			PP2ma	Complexo Mantiqueira	Ortognaisses bandados tipo TTG, com intercalações de anfibolito e metaultramáfica.
			PP2jfgn	Complexo Juiz de Fora	Ortognaisse tonalítico a granodiorítico, migmatito, eventuais de metaultramáfica, anfibolito e granulito.
			PP2it	Grupo Itacolomi	Quartzito, quartzo xisto.
		Sideriano	PP2ms	Supergrupo Minas - Grupo Sabará	Xisto, metagrauvaca.
			PP1mp	Supergrupo Minas - Grupo Piracicaba	Filito quartzoso e/ou grafitoso com intercalações de metarenito e metaconglomerado.

Eon	Era	Período	Sigla	Nome da Unidade		Litologia
Arqueano		Neoarqueano	-	A4rm	Supergrupo Rio das Velhas - Grupo Maquiné	Quartzito e metaconglomerado polimítico.
				A34rn	Supergrupo Rio das Velhas - Grupo Nova Lima	Rocha metaultramáfica e metamáficatholeiíticas, metabasaltokomatiítico, metavulcânicafélsica, FFB e xisto.
		Meso-arqueano		A3sb	Complexo Santa Bárbara	Ortognaisses bandados tipo TTG, com intercalações de anfibolito e metaultramáfica.

Fonte: Elaboração própria.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS GEOLÓGICA - MINAS GERAIS: CODEMIG, 2014. ESPÍRITO SANTO: CPRM, 2014.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 15 - GEOLOGIA REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.5 Análise espacial das classes de solos

A partir do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV et al., 2010) e do Mapa de Solos do Estado do Espírito Santo (CUNHA et al., 2016), foram identificadas as unidades de solo presentes na Área de Estudo.

Ocorrem nessa Área de Estudo onze diferentes tipos de solos predominantes, a saber: cambissolo háplico, cambissolo flúvico, latossolo amarelo, latossolo vermelho-amarelo, latossolo vermelho, argissolo amarelo, argissolo vermelho-amarelo, argissolo vermelho, espodossolo humilúvico, gleissolo tiomórfico e neossolo quartzarênico. A distribuição dos diferentes tipos de solos ao longo da Área de Estudo pode ser vista no Mapa de Solos da Área de Estudo (Figura 17).

O cambissolo háplico ocorre nas formas distrófica, eutrófica e distroférrica. A variável distrófica típica se apresenta A moderada, com textura argilosa, de cascalhenta a não cascalhenta, em fase cerrado. Ela ocorre de forma pontual no médio curso do Rio Doce, nos municípios de Conselheiro Pena e Resplendor, associada às Suítes Galileia e Urucum e à Formação São Tomé, do Grupo Rio Doce (rochas graníticas paraderivadas e ultramáficas metamorfisadas).

A variável eutrófica típica se apresenta A moderada, com textura muito argilosa e em fase floresta tropical subperenifólia. Ela se mostra associada a diversas unidades litoestratigráficas por uma longa extensão do médio curso do Rio Doce, desde o município de Bugre até Itueta, próximo ao limite do estado de Minas Gerais. De forma geral, esse solo se mostra associado a feições de relevo ondulado características do domínio geomorfológico da Depressão do Rio Doce, estando presente em áreas de várzea, rampas de colúvio, encostas e topos de morro.

As áreas de topo de morro, recobertas por esse solo, representam um ponto de atenção no contexto da manutenção da qualidade ambiental da bacia. Caso a vegetação nativa seja suprimida, a exposição dessas áreas recobertas por cambissolo podem resultar em áreas com intensos processos erosivos, desde ravinamentos até voçorocas. A

Figura 16 retrata esse impacto na região de Governador Valadares, dentro da Área de Estudo.

Apesar de sua grande distribuição espacial, o seu potencial aproveitamento para o desenvolvimento de culturas irrigadas não é expressivo na Área de Estudo. Devido ao seu horizonte A menos espesso e aos intensos processos de lixiviação que ali se desenvolvem, seu potencial nutricional usualmente se apresenta baixo. Esse fato inviabiliza o desenvolvimento de culturas mais exigentes, como o milho, por exemplo. E quando aproveitado para pastagens, usualmente resulta em pastos pobres e improdutivos. Essas áreas de pastagens enquadram-se nas pastagens degradadas apresentadas por INAES (2015). Elas tendem a apresentar elevadas perdas de solo anuais e contribuem para o aporte de sedimentos no rio. Assim, intensificam os processos de assoreamento e elevação da turbidez das águas, impactando diretamente os sistemas de irrigação que captem águas no Rio Doce.

Figura 16 - Topo de morro com APP suprimida e desenvolvimento de processos erosivos na região de Governador Valadares



Fonte: Elaboração própria.

A variável distroférrica típica do cambissolo háplico se apresenta A moderada, com textura argilosa e fase floresta tropical subperenifólia. Ela ocorre associada a feições de relevo forte ondulado a montanhoso, sendo identificada na porção inicial da Área de Estudo, no município de Mariana. Trata-se de um solo associado às rochas metassedimentares dos Grupos Piracicaba e Sabará, no Quadrilátero Ferrífero, em uma área dotada de feições de relevo que desfavorecem o desenvolvimento de lavouras irrigadas.

O cambissolo flúvico ocorre sob a forma Tb eutrófica típica, A moderado, pouco profundo, com textura média e em fase floresta tropical subperenifólia. Ele se apresenta em áreas associadas ao domínio geomorfológico da Depressão do Rio Doce e das Superfícies Aplainadas Sublitorâneas, nas planícies de inundação do rio. Ocorre majoritariamente entre os municípios de Sem-Peixe e Córrego Novo e em uma grande extensão do município de Linhares, no Espírito Santo. Trata-se de um solo intimamente ligado aos depósitos aluvionares e às planícies de inundação. Encontra-se em áreas com feições suaves de relevo que favorecem o cultivo de diferentes culturas. Caso esses cultivos ocorram em áreas próximas às calhas do rio, podem ser desenvolvidos cultivos de vazante, após a inundação desses terrenos. Esse tipo de técnica dispensa a instalação de sistemas de irrigação. Caso os cultivos estejam fora da área alagável, a instalação de sistemas de irrigação torna-se uma opção viável, dada a topografia suave.

Os latossolos são os solos de maior ocorrência no Brasil, sendo mais frequentes em regiões equatoriais e tropicais, podendo, no entanto, ocorrer em zonas subtropicais. Estão distribuídos sobre amplas e antigas superfícies de erosão, como tabuleiros, chapadas, planaltos, terraços fluviais, estando associados normalmente a relevos planos e suave ondulados.

São solos oriundos de intenso processo intempérico, chamados popularmente de solos velhos. São definidos pelo Sistema Brasileiros de Classificação de Solos (SiBCS) pela presença de horizonte diagnóstico latossólico e características gerais como argilas com predominância de óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio, argilas de baixa atividade (baixa CTC), fortemente ácidos e baixa saturação de bases (EMBRAPA, 1999).

Os latossolos são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. Por estarem usualmente situados em relevo plano a suave-ondulado, o implemento da mecanização é muito favorecido. São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis, mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo. Usualmente, apresentam baixa fertilidade, que pode ser corrigida com aplicações adequadas de corretivos e fertilizantes, aliadas à época propícias de plantio de cultivares adaptadas, obtêm-se boas produções. Na Área de Estudo, ocorrem os subtipos latossolo amarelo (distrófico e distrocoeso), latossolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho.

O latossolo amarelo ocorre nas formas Distrófica e Distrocoesa típicas, A moderado, muito profundo, com textura argilosa a muito argilosa e em fase floresta tropical subperenifólia.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org

Sua ocorrência na Área de Estudo se dá associada a feições de relevo ondulado em colinas côncavo-convexas, presentes no município de Sem-Peixe, no trecho que se estende de Córrego Novo até Santana do Paraíso e de Colatina até Marilândia, já no estado do Espírito Santo. Esse solo se desenvolve a partir de rochas granito-gnáissicas. Por se tratar de um solo profundo e associado a feições suaves de relevo, o desenvolvimento de culturas irrigadas é muito favorecido nessas áreas, desde que compensada a baixa fertilidade natural das áreas distróficas.

O latossolo vermelho-amarelo se apresenta na forma distrófica típica, A moderado, com textura argilosa e em fase floresta tropical subperenifólia. Sua ocorrência na Área de Estudo se dá recobrindo a grande parte do município de Mariana, em uma pequena área do município de Naque e em Colatina, sempre associado a feições de relevo dissecado, com colinas côncavo-convexas e rampas de colúvio, em um contexto de rochas granito-gnáissicas. As grandes variações altimétricas e elevadas declividades presentes na área de maior ocorrência do latossolo vermelho-amarelo são desfavoráveis ao desenvolvimento de grandes extensões de culturas irrigadas.

O latossolo vermelho ocorre na forma distrófica argissólica, A moderado, com textura argilosa e em fase florestal subperenifólia. Sua ocorrência na Área de Estudo se dá no município de Baixo Guandu, associado às rochas graníticas do Maciço Itapina e da Suíte Mascarenhas. A topografia suave das áreas de várzea associadas ao solo fértil e profundo, característico dos latossolos vermelhos, tornam a área de ocorrência desse tipo de solo extremamente favorável ao desenvolvimento de culturas irrigadas.

A profundidade dos perfis latossólicos, associados à sua constituição física extremamente favorável ao manejo e a fisiografia em que ocorrem, constituem fatores preponderante no uso dos latossolos em detrimento dos cambissolos no contexto do aproveitamento agrícola.

O argissolo amarelo ocorre na forma distrocoesa abrúptica fragipânica, A moderado, com textura média/arenosa a argilosa, em fase subperenifólia, no relevo plano a ondulado suave da região do baixo curso do Rio Doce, no município de Linhares, Espírito Santo. Este solo se encontra associado às rochas sedimentares do Grupo Barreiras, no domínio geomorfológico das Superfícies Aplainadas Sublitorâneas. Dadas as condições morfológicas e a grande disponibilidade hídrica, tanto por parte do Rio Doce, como do grande sistema lagunar presente nesta área, os cultivos irrigados são amplamente desenvolvidos.

O argissolo vermelho ocorre na forma eutrófica típica, A moderado, com textura média/argilosa e em fase floresta tropical subperenifólia. Sua ocorrência se dá dispersa ao longo do médio Rio Doce, em associação com diferentes unidades litoestratigráficas, porém com predomínio das rochas graníticas do Complexo Mantiqueira e das suítes Urucum e Aimorés. Essa classe de solo encontra-se relacionada às feições mais fortes de relevo, como morros testemunho e inselbergues, sendo potencialmente menos propensa ao aproveitamento para cultivo de lavouras irrigáveis.

O argissolo vermelho-amarelo ocorre no alto Rio Doce sob a forma eutrófica típica, A moderado, com textura argilosa e em fase floresta tropical subperenifólia. Esse solo mostra-se, assim como os latossolos e o argissolo vermelho, associado às rochas granito-gnáissicas de diversas unidades litoestratigráficas. Nesse trecho do Rio Doce, nos municípios de Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, ele ocorre associado ao Complexo Mantiqueira, no domínio geomorfológico dos Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas. Nessa área, representada pelo perfil "C", as feições de relevo se mostram íngremes dentro da Área de Estudo, restringindo assim a possibilidade do desenvolvimento de cultivos irrigados.

No médio Rio Doce, o argissolo vermelho-amarelo ocorre sob a forma Distróficatípica, A moderado, com textura argilosa e em fase floresta tropical subperenifólia. Ele associa-se a rochas da Formação São Tomé, do Grupo Rio Doce (biotita xistos, ultramáficas e calcissilicáticas) e à Suíte Galileia (gnaisses tonalíticos), sendo esta última responsável pelas feições mais proeminentes do relevo recoberto por esse solo. Inserido no domínio geomorfológico da Depressão do Rio Doce, essa área conta com relevo ondulado, formado por colinas côncavo-convexas e inselbergues esparsos, feições que desfavorecem os processos de irrigação de cultivos que se instalem nessa área.

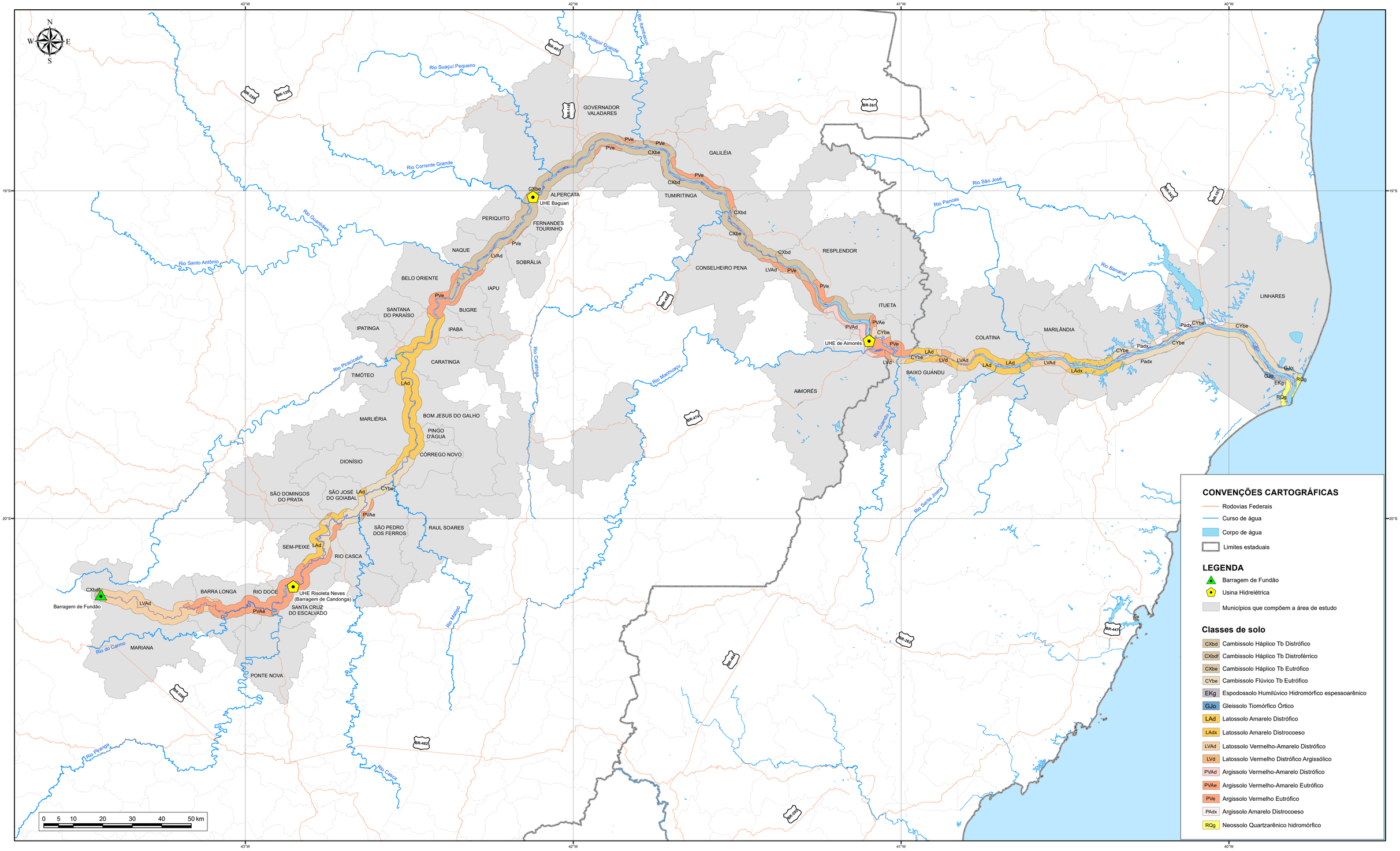
O espodossolo humilúvico hidromórfico ocorre na forma espessoarênica, A moderado, com textura arenosa. Essa unidade se apresenta nas Superfícies Aplainadas Sublitorâneas, associada ao neossolo quartzarênico e ao gleissolo tiomórfico. Ele se encontra próximo à região litorânea, na porção leste do município de Linhares. Por se tratar de um solo hidromórfico muito arenoso e extremamente lixiviado, apresenta baixo potencial para o aproveitamento em culturas irrigadas ou pastagens.

Já o gleissolo tiomórfico requer atenção e destaca-se pelas características incomuns. Essa classe de solo ocorre na forma órtica típica, A moderada, com textura argilosa, em áreas

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

de várzea. Segundo Caballero (2010), solos desse tipo representam alto risco ambiental quando se apresentam em condições de oxidação, dada a presença de horizonte sulfúrico nas camadas superficiais, sendo também conhecidos como solos ácidos sulfatados. Conforme o mesmo autor, o baixo pH (inferior a 3,5) atua como uma barreira química que limita o desenvolvimento radicular das plantas, restringindo o volume de solo disponível às raízes e impedindo, assim, o seu crescimento normal. O principal sulfeto a contribuir para esse processo é a pirita (FeS_2). De ocorrência comum, associado a zonas hidrotermalizadas, este mineral se concentra nas regiões deposicionais da bacia e rapidamente se oxida, dando origem ao ácido sulfúrico (H_2SO_4). As áreas recobertas por esse solo apresentam baixo ou nulo potencial de aproveitamento para culturas irrigadas/pastagens. Sua ocorrência na Área de Estudo se dá associada aos espodossolos humilúvicos e aos neossolos quartzarênicos, próximos à foz do Rio Doce.

O neossolo quartzarênico ocorre na forma órtica, A fraco e A moderado, de textura arenosa. Sua ocorrência se dá na porção extremo leste da Área de Estudo, junto à foz do Rio Doce. Trata-se de um solo essencialmente arenoso, típico de áreas estuarinas e litorâneas. Possui baixo potencial nutricional, dada a elevada lixiviação, e aproveitamento agropecuário limitado.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS PEDOLÓGICA - MINAS GERAIS: Universidade Federal de Viçosa et al., 2010. ESPÍRITO SANTO: .CUNHA, A. de M. et al., 2016.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 17 - SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.6 Hidrogeologia

Conforme apresentado por Diniz et al. (2014), a Área de Estudos abrange quatro unidades hidroestratigráficas principais, duas unidades fraturadas (de classes 4 e 5) e duas granulares (de classes 4 e 5).

A Unidade Fraturada (Fr - 5) apresenta produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa. Ela abrange a maior extensão da Área de Estudo em Minas Gerais, recobrindo desde o município de Mariana até Aimorés. Essa unidade é composta por rochas granitoides, vulcânicas, metavulcânicas, metassedimentos, gnaisses, migmatitos, granulitos, xistos e quartzitos, englobando o Quadrilátero Ferrífero, embasamento cristalino e Faixa Araçuaí. Segundo Diniz et al. (2014), a vazão potencial dessa unidade se encontra entre 0,04 e 0,4 m³/h/m, sendo que fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos com essa capacidade produtiva.

A Unidade Fratura (Fr - 4) possui produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada. Existem ocorrências pontuais dessa unidade no município de Mariana e se relacionam às zonas de falha que marcam os contatos do Supergrupo Minas com o Supergrupo Rio das Velhas e do Supergrupo Rio das Velhas com o Complexo Santa Bárbara. Essa unidade também ocorre no estado do Espírito Santo, de Aimorés até Linhares. Ela se mostra associadas às rochas granitoides paraderivadas do Complexo Nova Venécia e Suítes Graníticas ali presentes. Diniz et al. (2014) indicam vazões da ordem de 0,4 a 1,0 m³/h/m, sendo capazes de garantir o fornecimento de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.

As Unidades Granulares classe 4 e classe 5 (Gr - 4 e Gr - 5) encontram-se totalmente inseridas no município de Linhares. Elas são formadas pelos arenitos, conglomerados e argilitos do Grupo Barreiras e por depósitos litorâneos de cascalho, areia, silte e argila. Conforme Diniz et al. (2014), as Unidades Granulares classes 4 e 5 possuem o mesmo potencial produtivo das unidades fraturadas de mesma classe. Logo, a Unidade Granular (Gr – 4) possui a vazão na ordem de 0,4 a 1,0 m³/h/m, e a Unidade Granular (Gr- 5) possui a mesma vazão potencial de 0,04 e 0,4 m³/h/m, da Unidade Fraturada (Fr – 5).

O Sistema de Informações de Água Subterrânea (SIAGAS), desenvolvido pelo Sistema Geológico Brasileiro (SGB), apresenta uma base de dados de poços permanentemente atualizada. Em consulta realizada no dia 02/08/2018, foram identificados 125 registros de poços instalados na Área de Estudo. No estado de Minas Gerais ocorrem 76 poços, e no Espírito

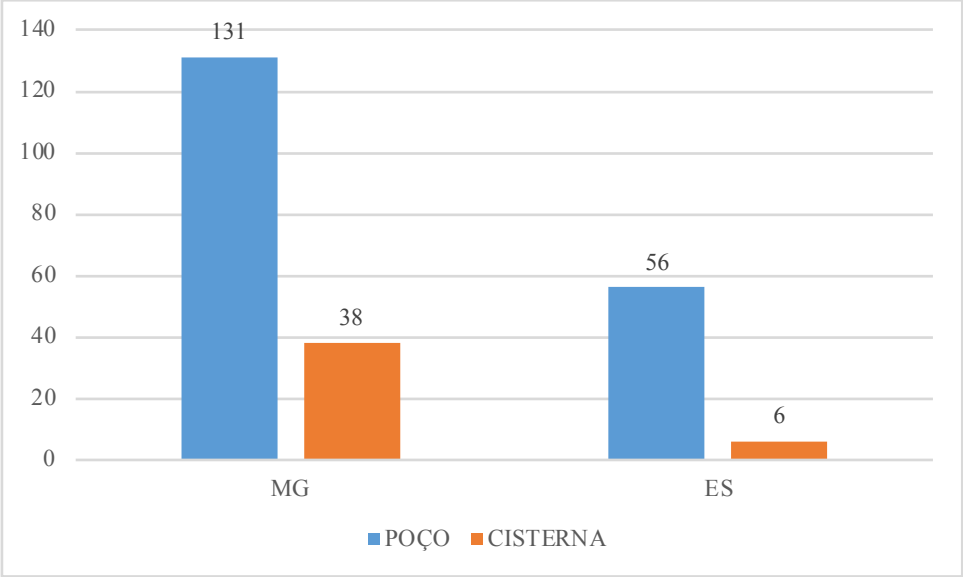
Santo, 49. Admite-se que esse número de registros representa apenas uma fração de um universo de poços instalados, uma vez que o controle de novos pontos de captação de água subterrânea é de difícil realização.

Os dados de outorgas do IGAM (2018) retornaram um total de 14 cadastros para o uso de águas subterrâneas para a Área de Estudo em Minas Gerais. Destas, apenas duas foram registradas fora do caráter de uso insignificante. Esse pequeno número de outorgas reflete a precariedade da regularização do uso da água subterrânea no estado de Minas Gerais. Os dados de outorga para o estado do Espírito Santo não foram disponibilizados pelo órgão responsável na ocasião da elaboração deste trabalho.

Outra fonte de aproveitamento e exploração de água subterrânea muito utilizada é a água do solo, que pode ser aproveitada em depósitos aluvionares e no manto de intemperismo. Dados os perfis de solo profundos e bem desenvolvidos típicos de regiões tropicais, a exploração das águas circulantes no lençol freático torna-se muito atraente. Aliado a esse fato, os baixos custos de perfuração de cisternas, poços e cacimbas, principalmente em áreas próximas a cursos d'água, favorece o uso dessa alternativa de captação por parte de produtores rurais e moradores de zonas ribeirinhas.

Na Área de Estudo, a principal forma de aproveitamento de água subterrânea diz respeito ao uso de poços e cisternas. O levantamento de campo retornou um total de 231 pontos de captação de água subterrânea. A distribuição dos tipos de captação de água subterrânea por estado é apresentada abaixo, no Gráfico 3.

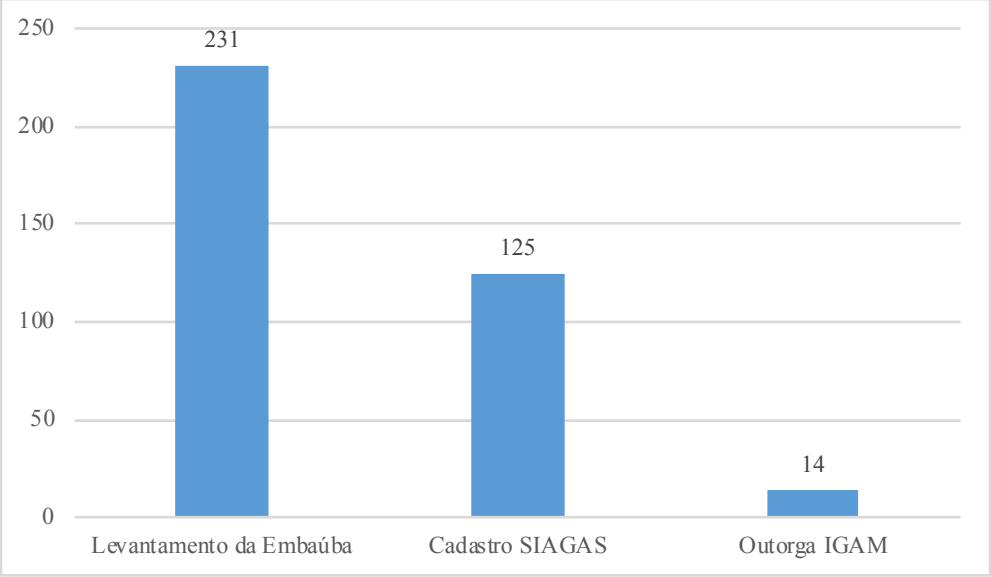
Gráfico 3 - Tipo de captação de água subterrânea por estado, na Área de Estudo



Fonte: Elaboração própria.

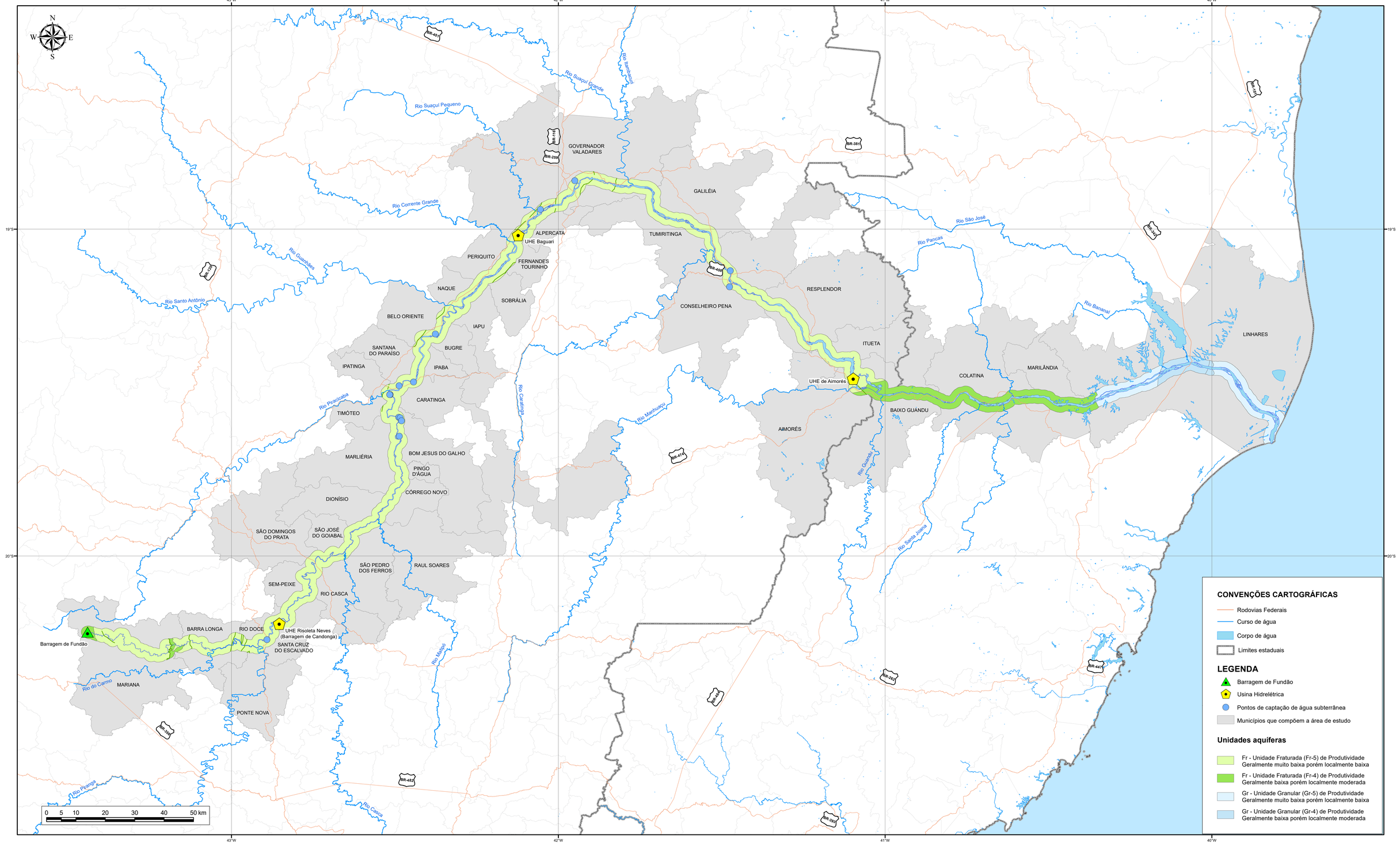
O Gráfico 4 a seguir apresenta a comparação relativa do número de pontos de captação de água subterrânea na Área de Estudo.

Gráfico 4 - Número de pontos de captação de água subterrânea levantados na Área de Estudo



Fonte: Elaboração própria.

A distribuição das outorgas juntamente com as unidades hidrogeológicas da Área de Estudo estão apresentadas no mapa de Hidrogeologia da Área de Estudo (Figura 18).



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS HIDROGEOLÓGICA: DINIZ, J. A. O. et al., 2014. BASE OUTORGAS: IGAM, 2018.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 18 - HIDROGEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.7 Uso e ocupação do solo

A atividade econômica da bacia do Rio Doce é bastante diversificada, destacando-se agropecuária (reflorestamento, lavouras tradicionais, cultura de café, cana-de-açúcar, criação de gado leiteiro e de corte e na suinocultura); agroindústria (sucroalcooleira); mineração (ferro, ouro, bauxita, manganês, pedras preciosas e outros); indústria (celulose, siderurgia e laticínios); comércio e serviços de apoio aos complexos industriais; e geração de energia elétrica.

Na bacia se instala o maior complexo siderúrgico da América Latina (LUME; ECOPLAN, 2010), com destaque para a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, no município de João Monlevade, a Acesita, no município de Timóteo, e a Usiminas, em Ipatinga.

Essas siderúrgicas condicionaram o surgimento da indústria de produção de carvão vegetal em larga escala e na introdução do reflorestamento à base de eucaliptos na Mesorregião do Rio Doce. Elas desencadearam intensa atividade carvoeira junto às margens do Rio Doce, por onde corriam os trilhos da ferrovia, e depois em todo o médio Rio Doce (INAES, 2015).

O desmatamento generalizado e o mau uso dos solos, seja para a monocultura do eucalipto seja para agricultura ou pastagem, tem conduzido a região da bacia a um intenso processo de erosão, cujos sedimentos resultantes tendem a assorear os cursos d'água (LUME; ECOPLAN, 2010). O assoreamento é um dos problemas sérios que atinge a bacia, em especial o baixo curso do Rio Doce, que recebe carga de sedimentos provenientes das áreas a montante.

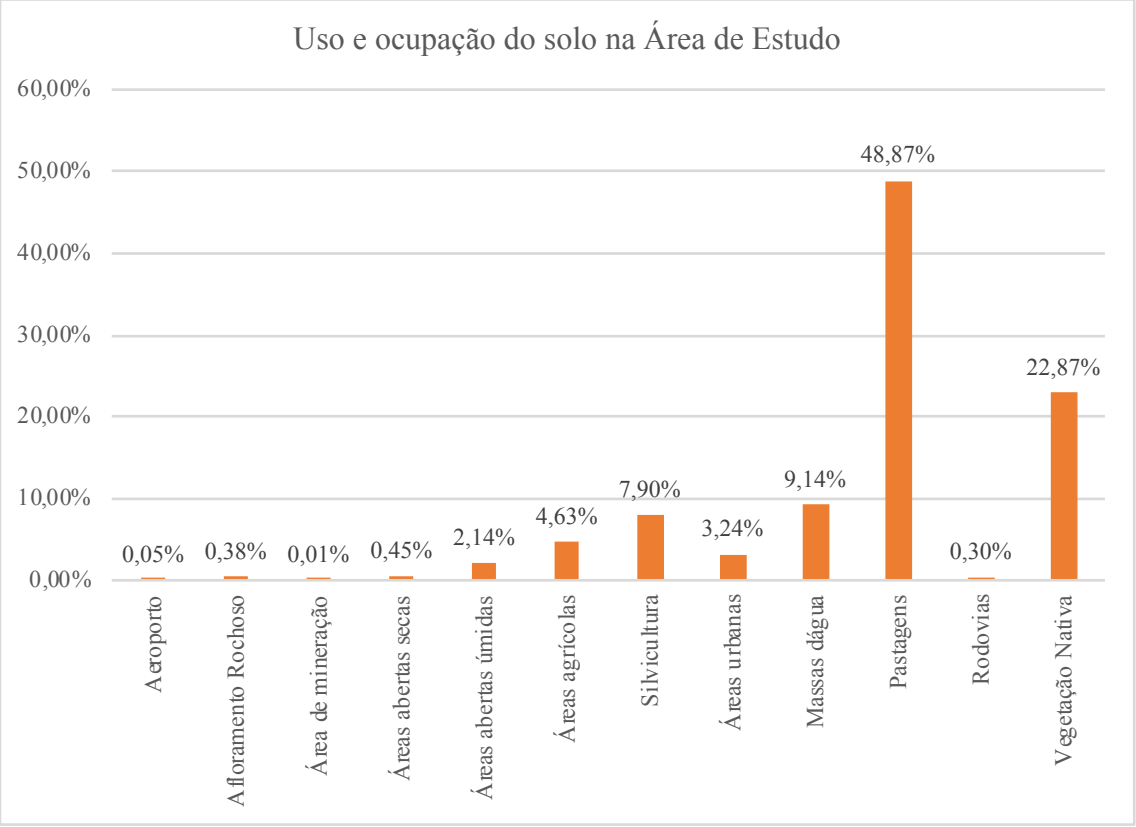
INAES (2015) identificou aproximadamente 2,87 milhões de hectares de pastagens na região do médio curso do Rio Doce. Em relação às classes de qualidade de pastagens, 37,2 % foram classificadas como fortemente degradadas; outras 32,2 % foram classificadas como moderadamente degradadas. A classe levemente degradada englobou 25,8 % da área total de pastos, enquanto as pastagens não degradadas representaram 4,8 %. Dentro da Área de Estudo, essas pastagens degradadas concentram-se no domínio geomorfológico da Depressão do Rio Doce, desde o município de Naque até Resplendor. Encontram-se associadas predominantemente a cambissolos háplicos e em diferentes posições no relevo, tanto em topos de morro como encostas e várzeas.

Fatores como preparo incorreto do solo, manejo inadequado, escolha errada das espécies de forrageiras e não reposição de nutrientes perdidos por lixiviação/erosão/volatização são

alguns dos elementos que conduzem à degradação das áreas de pastagens (INAES, 2015). Caso esses processos persistam, a degradação do solo se torna acentuada e, consequentemente, o aporte de sedimentos para o curso principal do Rio Doce se eleva. Esse fato, aliado à degradação das áreas de mata ciliar, culminam no assoreamento do rio e na elevação da turbidez, nos sólidos totais, dissolvidos, suspensos e sedimentáveis.

A Agência da Bacia do Rio Doce (IBIO) realizou o mapeamento do uso e ocupação do solo para a Bacia do Rio Doce e deste foram extraídas as informações relativas à Área de Estudo deste trabalho. Da área total, correspondente a 2781,89 km², destacam-se as correspondentes às pastagens, à vegetação nativa e às áreas de reflorestamento, conforme apresentado no Gráfico 5 e no mapa de Uso e Ocupação do Solo na Área de Estudo (Figura 19).

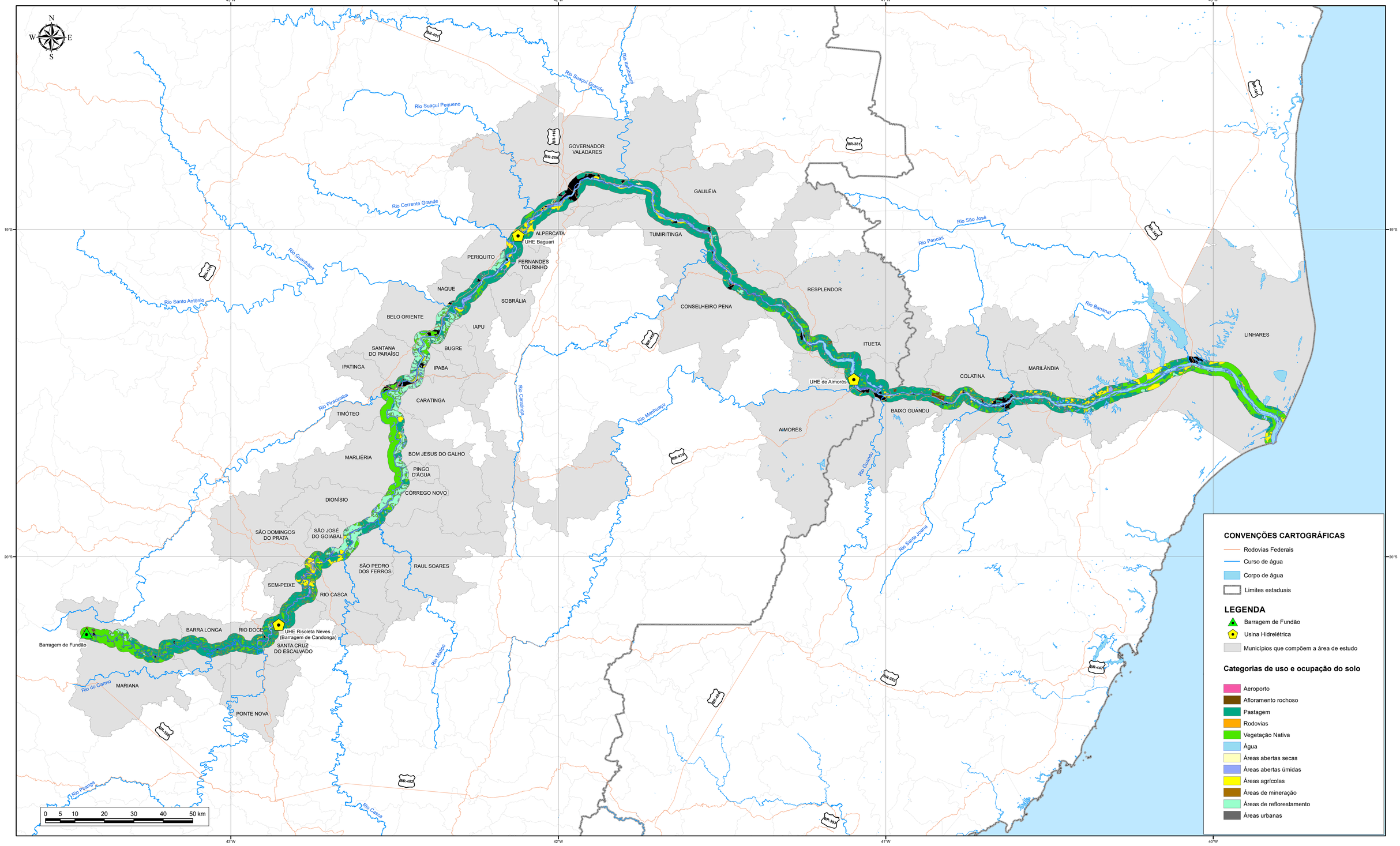
Gráfico 5 - Distribuição percentual das classes de uso e ocupação do solo na Área de Estudo



Fonte: IBIO.

Conforme explicitado, as pastagens representam a principal forma de uso e ocupação do solo na Área de Estudo. Essas áreas devem ser tratadas como ponto de atenção, uma vez que concentram uma fonte expressiva de impacto ambiental que, por vezes, é ignorada. As áreas de reflorestamento são representadas por áreas de cultivo de eucalipto e não devem ser avaliadas como pontos de recuperação ambiental. As áreas de vegetação nativa concentram-se no Parque

Estadual do Rio Doce, que abrange os municípios de Dionísio, Marliéria e Timóteo. Ocorrem também expressivas extensões de vegetação nativa nos municípios de Mariana e em Linhares, no Espírito Santo. Destaca-se que, apesar de a vegetação nativa representar a segunda maior forma de ocupação do solo, sua concentração ocorre nas áreas de reserva legal. A mata ciliar do Rio Doce e de seus afluentes se mostra precária e insuficiente ao longo da maior parte da Área de Estudo.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0.0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO: IBIO, 2012.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 19 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.8 Direito minerário

O Departamento Nacional de Produção Mineral disponibiliza, através de sua plataforma SIGMINE, os processos minerais em tramitação. Com base na consulta realizada no dia 24/07/2018 a essa plataforma, foram agrupados os processos minerários que se encontravam ativos nos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo. Foi então realizado o recorte com base no limite da Bacia do Rio Doce estabelecido pelo IBIO e, então, eles foram classificados por fase de tramitação processual, conforme metodologia adotada pelo DNPM.

Dentro da bacia do Rio Doce, o DNPM possui um total de 9.761 processos em tramitação, que envolvem todas as etapas do licenciamento das atividades de aproveitamento mineral. Os processos estão listados abaixo, na Tabela 8.

Tabela 8 - Processos minerários classificados por fase de Tramitação junto ao DNPM

FASE DO PROCESSO	MG	ES	TOTAL
Concessão de Lavra	280	101	381
Lavra Garimpeira	54	0	54
Licenciamento	319	168	487
Registro de Extração	18	3	21
Autorização de Pesquisa	4149	1697	5846
Requerimento de Lavra	729	456	1185
Requerimento de Lavra Garimpeira	152	5	157
Requerimento de Licenciamento	289	52	341
Requerimento de Pesquisa	1152	121	1273
Requerimento de Extração	16	0	16
TOTAL	7158	2603	9761

Fonte: Elaboração própria.

Respeitada a fase de requerimento, sem a qual nenhum processo se inicia junto ao órgão, e a fase de pesquisa, quando aplicável, os regimes de aproveitamento de substâncias minerais são subdivididos pelo DNPM em quatro categorias: concessão de lavra, lavra garimpeira, licenciamento ou registro de extração.

A concessão de lavra se trata do processo tradicional de aproveitamento mineral que abrange a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéreis e, por fim, o fechamento da mina.

A lavra garimpeira se destina à extração de substâncias minerais com aproveitamento imediato do jazimento mineral que, por sua natureza, sobretudo pelo seu pequeno volume e a distribuição irregular do bem mineral, não justificam, muitas vezes, investimento em trabalhos de pesquisa.

O licenciamento credencia seu possuidor ao aproveitamento mineral de substâncias destinadas ao emprego imediato na construção civil, por exemplo: areia, cascalho, saibro, rochas britadas ou rochas aparelhadas para paralelepípedos.

O registro de extração é uma declaração fornecida pelo DNPM exclusivamente aos órgãos da administração direta ou autárquica da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, e que permite a extração de substâncias de uso imediato na construção civil, para que sejam utilizados somente em obras públicas, sendo proibida sua venda, lavra por terceiros ou transferência para empresas privadas.

Dentro da Área de Estudo existem 667 processos em tramitação, dentre os quais 76 se encontram em regime de aproveitamento mineral. A Tabela 9 apresenta a distribuição desses processos e as Tabelas 10 e 11 apresentam a distribuição das diferentes substâncias por tipo de processo.

Tabela 9 - Processos minerários classificados por regime de aproveitamento, dentro da Área de Estudo

FASE DO PROCESSO	MG	ES	TOTAL
Concessão de Lavra	5	8	13
Lavra Garimpeira	1	0	1
Licenciamento	40	22	62
Registro de Extração	0	0	0
TOTAL	46	30	76

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 - Distribuição das concessões de lavra na Área de Estudo

SUBSTÂNCIA MINERAL	MG	ES	TOTAL
Água mineral	2	0	2
Areia	0	2	2
Argila	0	2	2
Granito	1	4	5
Minério de ferro	2	0	2
TOTAL	5	8	13

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11 - Distribuição dos licenciamentos na Área de Estudo

Substância Mineral	MG	ES	Total
Areia	24	15	39
Argila	8	7	15
Cascalho	2	0	2
Gnaisse	4	0	4
Granito	2	0	2
TOTAL	40	22	62

Fonte: Elaboração própria.

Para a Área de Estudo existe apenas 01 processo de Lavra Garimpeira devidamente regularizada pelo DNPM, para a exploração da gema água marinha no município de Conselheiro Pena. Existem outros 05 processos em fase de regularização junto ao órgão que podem vir a se converter em empreendimento operantes. Não existe nenhum processo atuante de Registro de Extração na Área de Estudo.

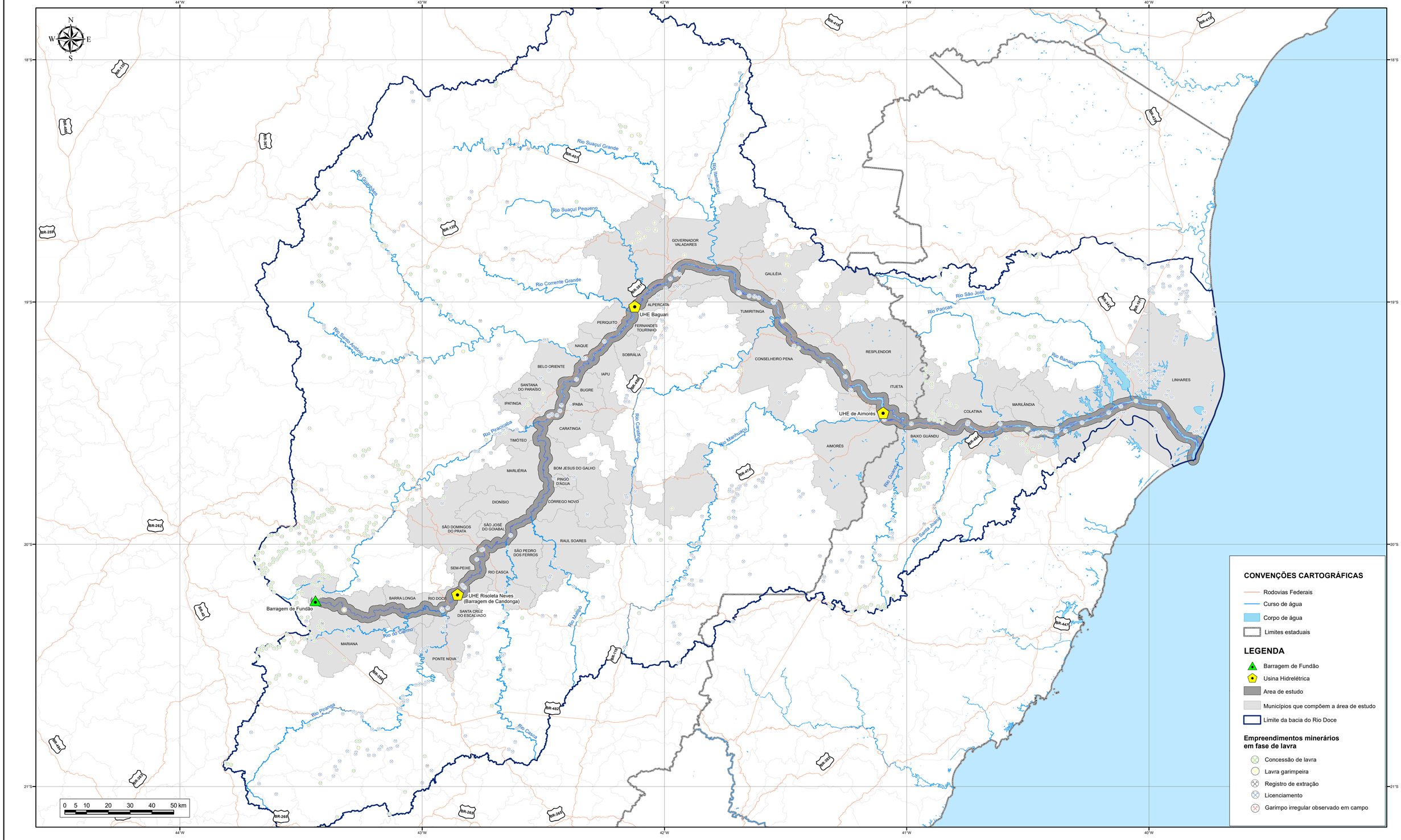
Existem registros de atividades clandestinas de garimpo na bacia do Rio Doce que afetam, inclusive, a Área de Estudo deste trabalho (Figura 20). A equipe de campo da Fundação Renova identificou uma ocorrência de garimpo dessa natureza no município de Mariana. Essas atividades representam ponto de atenção, dado o seu elevado potencial de degradação ambiental. Os processos de extração clandestinos usualmente envolvem a desagregação mecânica de depósitos aluvionares, lançando grande quantidade de sedimentos nos cursos d'água em que se instalam. Esse fato contribui para a elevação da turbidez do rio, agravando o assoreamento e os processos de entupimento de aspersores, além de causar danos aos sistemas de captação. O uso de mercúrio e outros elementos tóxicos também ocorre nessas áreas sem qualquer controle sobre as concentrações aplicadas, com o lançamento direto dos efluentes tóxicos gerados no curso do rio. Atividades desse gênero operam sem qualquer licenciamento ambiental, e os impactos associados ao seu funcionamento são de difícil dimensionamento.

Figura 20 - Registro de garimpo clandestino na Área de Estudo



Fonte: Fundação Renova.

A distribuição espacial dos processos minerários em fase de aproveitamento mineral pode ser vista no mapa Direito Minerário na Área de Estudo (Figura 21).



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - Base de cadastro de empreedimentos minerários: SIGMINE, 2018.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 21 - EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS ATIVOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:800.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.9 Levantamentos Geoquímicos

Serão apresentados os trabalhos de caraterização geoquímica que abrangeram a Área de Estudos cuja elaboração ocorreu anteriormente à construção deste trabalho. O Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Doce (VIGLIO & CUNHA, 2016) apresenta resultados analíticos para metais na Bacia do Rio Doce de amostras coletadas nos anos de 2010 e 2011. A Golder Associates (2017) realizou a caracterização geoquímica de rejeitos, solos e sedimentos nas calhas do Rio Doce e na região da foz com amostras coletadas após o rompimento. Resguardadas as diferenças dos objetivos e das metodologias empregadas na elaboração desses dois estudos, a avaliação dos mesmos permite um vislumbre do cenário pré e pós- ruptura.

8.9.1 Atlas geoquímico da CPRM

Viglio e Cunha (2016) apresentam o zoneamento geoquímico da Bacia do Rio Doce. Os resultados apresentados pelos autores representam o cenário da região em termos de *background* somado às interferências antrópicas pretéritas ao rompimento da Barragem do Fundão. Foram indicados os seguintes padrões de concentração nos sedimentos de fundo e nos solos da bacia hidrográfica do Rio Doce:

Arsênio em sedimentos - o Atlas Geoquímico (Figura 22) indica que a área do Quadrilátero Ferrífero (QF) e região (isto é, o Trecho 1) é uma importante fonte de As (> 17 mg kg^{-1}). Teores elevados de As (> 6 mg kg^{-1}) são observados também no médio Rio Doce, próximo à cidade de Ipatinga e entre Governador Valadares e Baixo Guandu (Trechos 2 e 3). Próximo à foz do Rio Doce (Trecho 5), os teores de As são > 2mg kg^{-1}.

Arsênio em solos - o Trecho 1, na área limítrofe do QF até a região de Mariana, apresenta os maiores valores de As da Área de Estudo (> 6 mg kg^{-1}). No Trecho 2 predominaram valores > 2 mg kg^{-1}. Em Conselheiro Pena e em Linhares, ocorrem valores no intervalo de 3 mg kg^{-1} – 6 mg kg^{-1} (Figura 23).

Cromo em sedimentos - valores de até 132 mg kg^{-1} foram identificados no Trecho 1, no município de Mariana. No Trecho 2, predominam valores na faixa de 67 mg kg^{-1} – 132 mg kg^{-1}. No Trecho 3, os resultados mais elevados ocorreram nos municípios de Governador Valadares e Resplendor (> 42 mg kg^{-1}). O Trecho 4 retornou os valores mais baixos da Área de Estudo (< 22 mg kg^{-1}). O Trecho 5 apresentou valores maiores que 22 mg kg^{-1} (Figura 24).

Cromo em solos - o Trecho 1 apresentou valores de Cr em sedimentos > 54 mg kg^{-1}. No Trecho 2, de São José do Goiabal até Belo Oriente, os valores se enquadraram no intervalo entre 93 mg kg^{-1} e 196 mg kg^{-1}. A região de Governador Valadares também se apresentou nessa mesma faixa. Entretanto, os Trechos 3, 4 e 5 até a foz apresentaram valores de até 54 mg kg^{-1} (Figura 25).

Cobre em sedimentos - destacam-se os resultados observados nos Trechos 2 e 3, enquadrados no intervalo entre 21,1 mg kg^{-1} - 39,3 mg kg^{-1}. Os Trechos 4 e 5 apresentaram concentrações predominantemente mais baixas (< 14,6 mg kg^{-1}), inclusive na região da foz (Figura 26).

Cobre em solos - a região de Mariana, próxima ao QF (Trecho 1), e o intervalo entre os municípios de Rio Doce e Ipatinga (Trecho 2) apresentaram resultados entre 20,9 mg kg^{-1} e 43,1 mg kg^{-1}. Os Trechos 3, 4 e 5 apresentaram resultados de até 12,0 mg kg^{-1}, exceto nas proximidades de Governador Valadares, que apresentou valores maiores que 20,9 mg kg^{-1} (Figura 27).

Mercúrio em sedimentos – predominaram na Área de Estudo resultados no intervalo de 0,03 mg kg^{-1} - 0,07 mg kg^{-1}. Ocorrem picos pontuais de até 0,16 mg kg^{-1} nos Trechos 1, 2 e 3. Esses valores encontram-se próximos aos centros urbanos dos municípios de Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Ipatinga e Conselheiro Pena. Os Trechos 4 e 5 concentram nos municípios de Colatina e Linhares resultados de até 0,16 mg kg^{-1} (Figura 28).

Mercúrio em solos – os valores mais elevados se encontram na faixa de 0,21 mg kg^{-1} - 0,43 mg kg^{-1} e se concentram entre os municípios de Mariana e São José do Goiabal (Trechos 1 e 2). O Trecho 3 apresentou valores de até 0,11 mg kg^{-1}, sendo o segmento com resultados mais baixos. Na porção capixaba (Trechos 4 e 5) os valores se mantiveram na faixa de 0,11 mg kg^{-1} - 0,21 mg kg^{-1} (Figura 29).

Níquel em sedimentos - o Trecho 1 apresenta os maiores níveis de níquel da Área de Estudo (> 30,8 mg kg^{-1}), concentrados na porção mais próxima ao QF, no município de Mariana. Os Trechos 2 e 3, correspondentes ao médio curso do Rio Doce, apresentam valores no intervalo de 15,9 mg kg^{-1} - 30,8 mg kg^{-1}. Para os Trechos 4 e 5, os valores máximos apresentados podem atingir até 15,9 mg kg^{-1} (Figura 30).

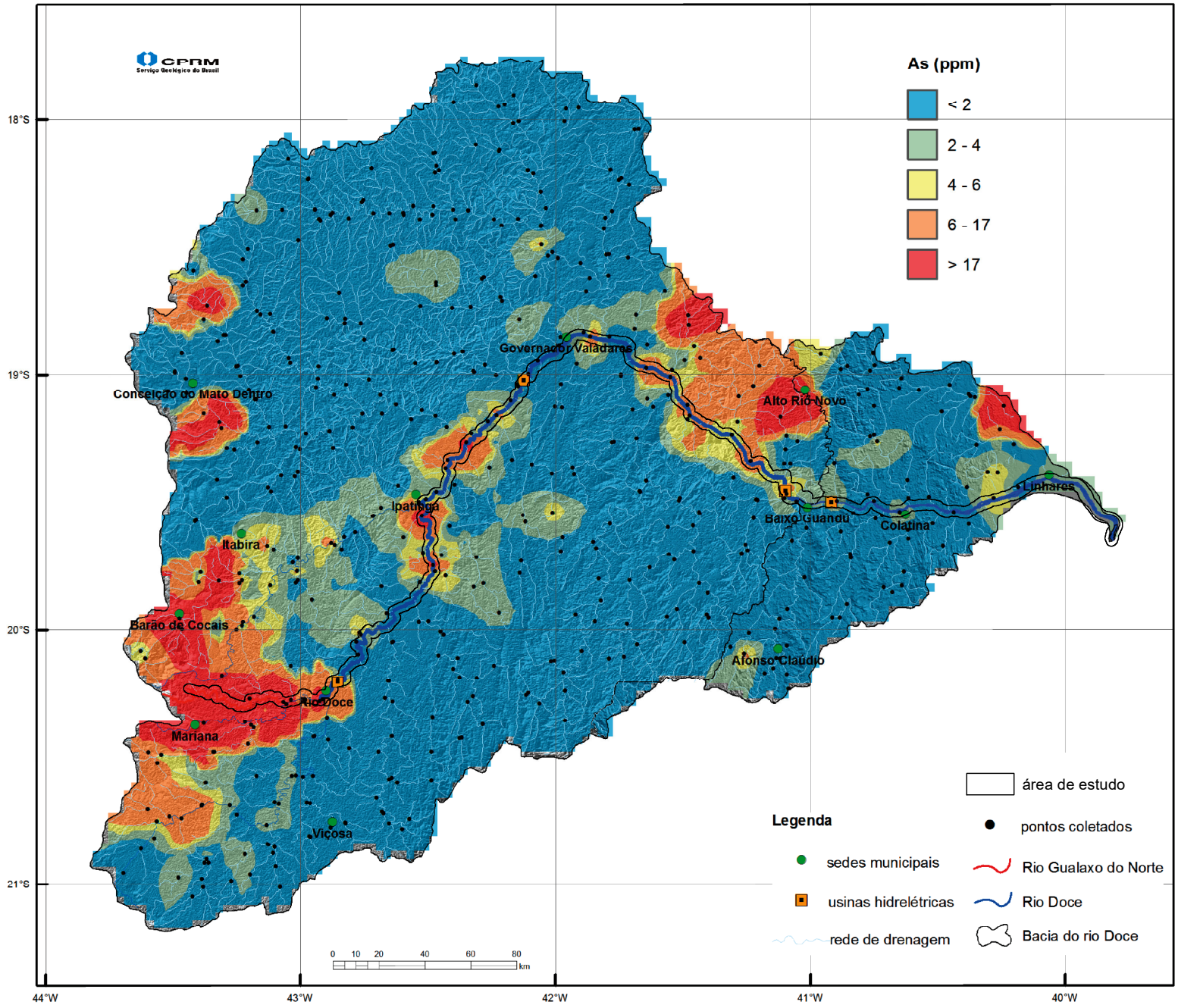
Níquel em solos - a porção inicial do Trecho 1, no município de Mariana, e a maior extensão do Trecho 2 apresentaram valores de até 22,9 mg kg^{-1}. No Trecho 2 ocorreu o maior resultado de níquel em solos observado na Área de Estudo concentrado no município de Sobrália (> 22,9 mg kg^{-1}). O Trecho 3 tem os valores máximos concentrados na região de Governador Valadares e, pontualmente, em Itueta. Os Trechos 4 e 5 apresentam valores que atingem até 11,2 mg kg^{-1} (Figura 31).

Chumbo em sedimentos - o Trecho 1 apresenta valores menores que 13,5 mg kg^{-1}. O Trecho 2 apresenta valores de até 37,3 mg kg^{-1}, concentrados principalmente entre os municípios de Ipatinga e Governador Valadares. O Trecho 3 tem nos municípios de Conselheiro Pena e Resplendor as maiores concentrações, enquadradas entre o intervalo de 19,7 mg kg^{-1} - 37,3 mg kg^{-1}. Os Trechos 4 e 5 apresentam valores inferiores a 13,5 mg kg^{-1}, exceto por uma ocorrência pontual em Linhares (Figura 32).

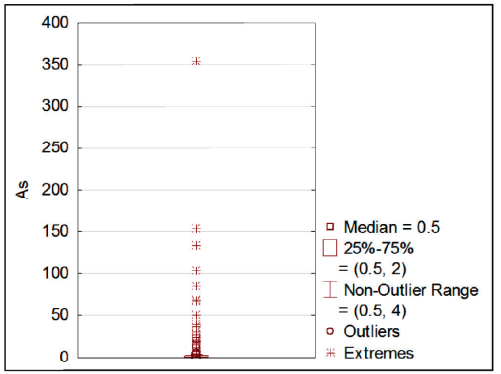
Chumbo em solos - Barra Longa, no Trecho 1, e Governador Valadares, no Trecho 3, apresentam as maiores concentrações de chumbo em solos observada na Área de Estudos (>39,8 mg kg^{-1}). Nos Trechos 2, 4 e 5 predominaram resultados inferiores: 18,3 mg kg^{-1}, sendo que nos municípios de Colatina e Linhares os valores se mantiveram inferiores a 12,2 mg kg^{-1} dentro da Área de Estudo (Figura 33).

Zinco em sedimentos - Trecho 1, Trecho 4 e Trecho 5 apresentaram os valores mais baixos de Zn em sedimentos para a Área de Estudo, sendo majoritariamente menores que 34 mg kg^{-1}, sendo que Mariana e Colatina mantiveram-se abaixo de 19 mg kg^{-1}. Os Trechos 2 e 3 atingiram até 93 mg kg^{-1}, concentrados preponderantemente nas regiões de Ipatinga e Governador Valadares (Figura 34).

Zinco em solos - os Trechos 1 e 5 exibiram resultados menores que 20 mg kg^{-1}. Os Trechos 2, 3 e 4 apresentam, predominantemente, resultados no intervalo de 20 mg kg^{-1} – 35 mg kg^{-1}. Entretanto, no município de Governador Valadares e região metropolitana, ocorrem resultados de até 74 mg kg^{-1} (Figura 35).



Estatística Descritiva	
Elemento	**As (ppm)**
Limite de Detecção	1
Número de medidas	537
Result > Lim Detec	266
Valor Médio	4,12
Mediana	0,5
Valor Máximo	354
Valor Mínimo	0,5
Desvio Padrão	19,40
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 1	5,9
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 2	17
Valor de Prevenção (TEL) NOAA SQRT	5,9



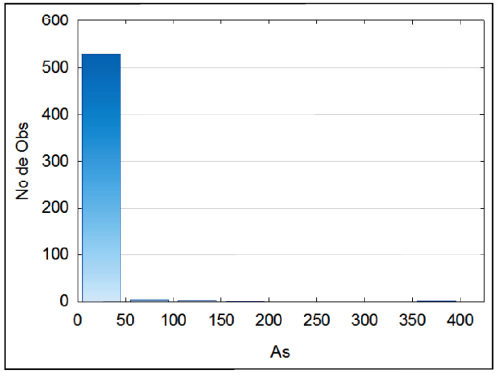
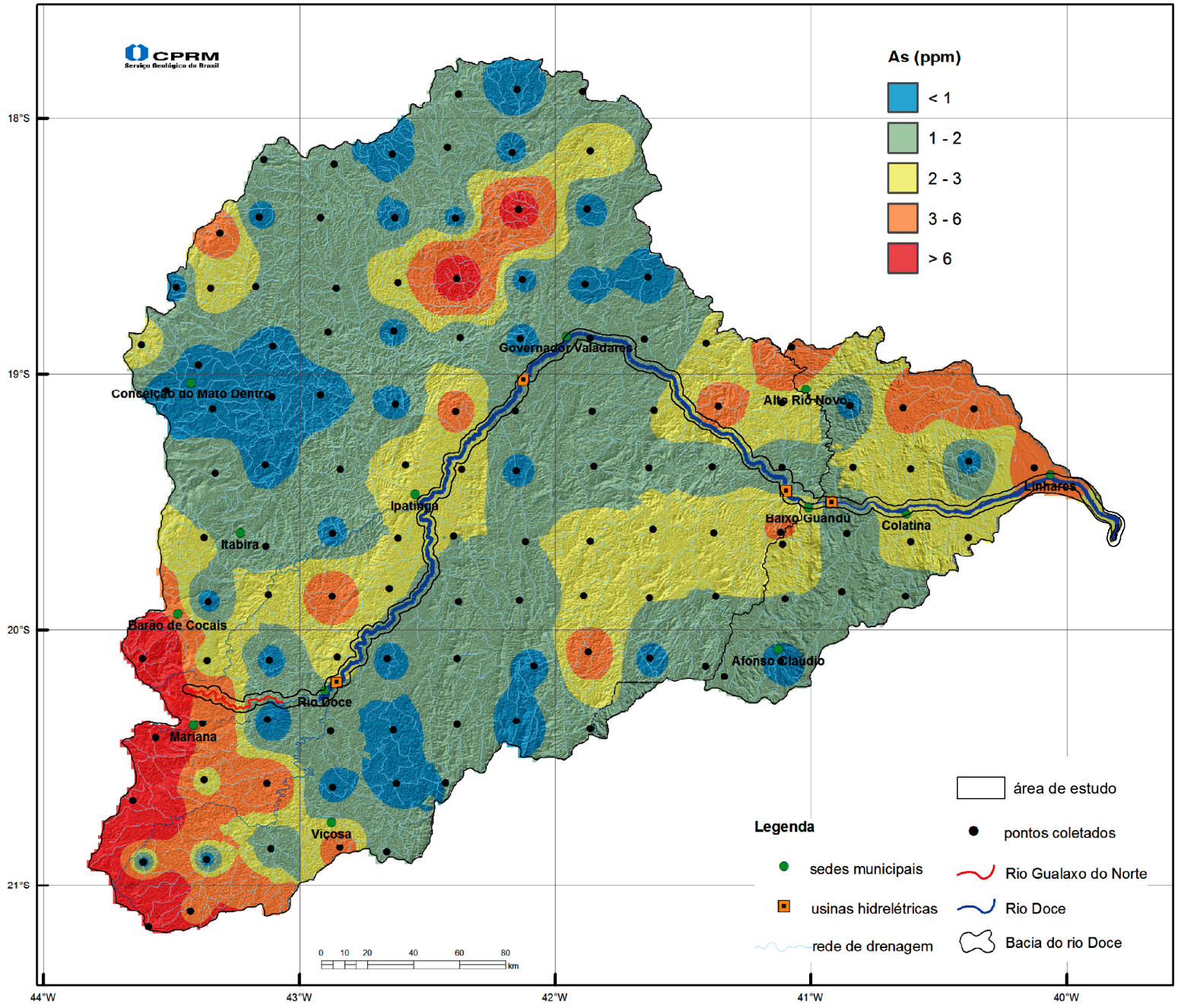
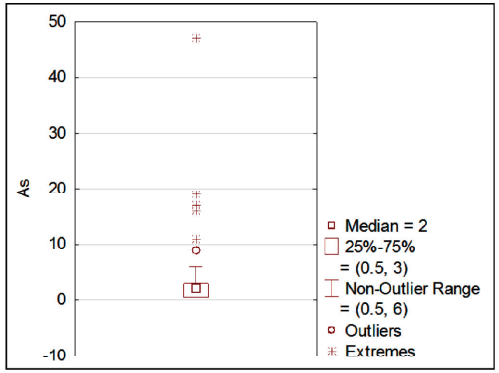


FIGURA 22 - Mapa geoquímico de As em sedimentos



Estatística Descritiva	
Elemento	**As (ppm)**
Limite de Detecção	1
Número de medidas	123
Result > Lim Detec	84
Valor Médio	2.60
Mediana	2.00
Valor Máximo	47.00
Valor Mínimo	0.50
Desvio Padrão	4.99
VRQ FEAM-MG	8
Valor de atenção Res. CONAMA 420	15
Valor de Prevenção (Target) NOAA SQRT	0.9



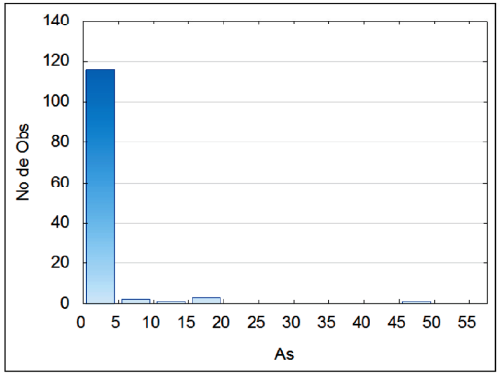
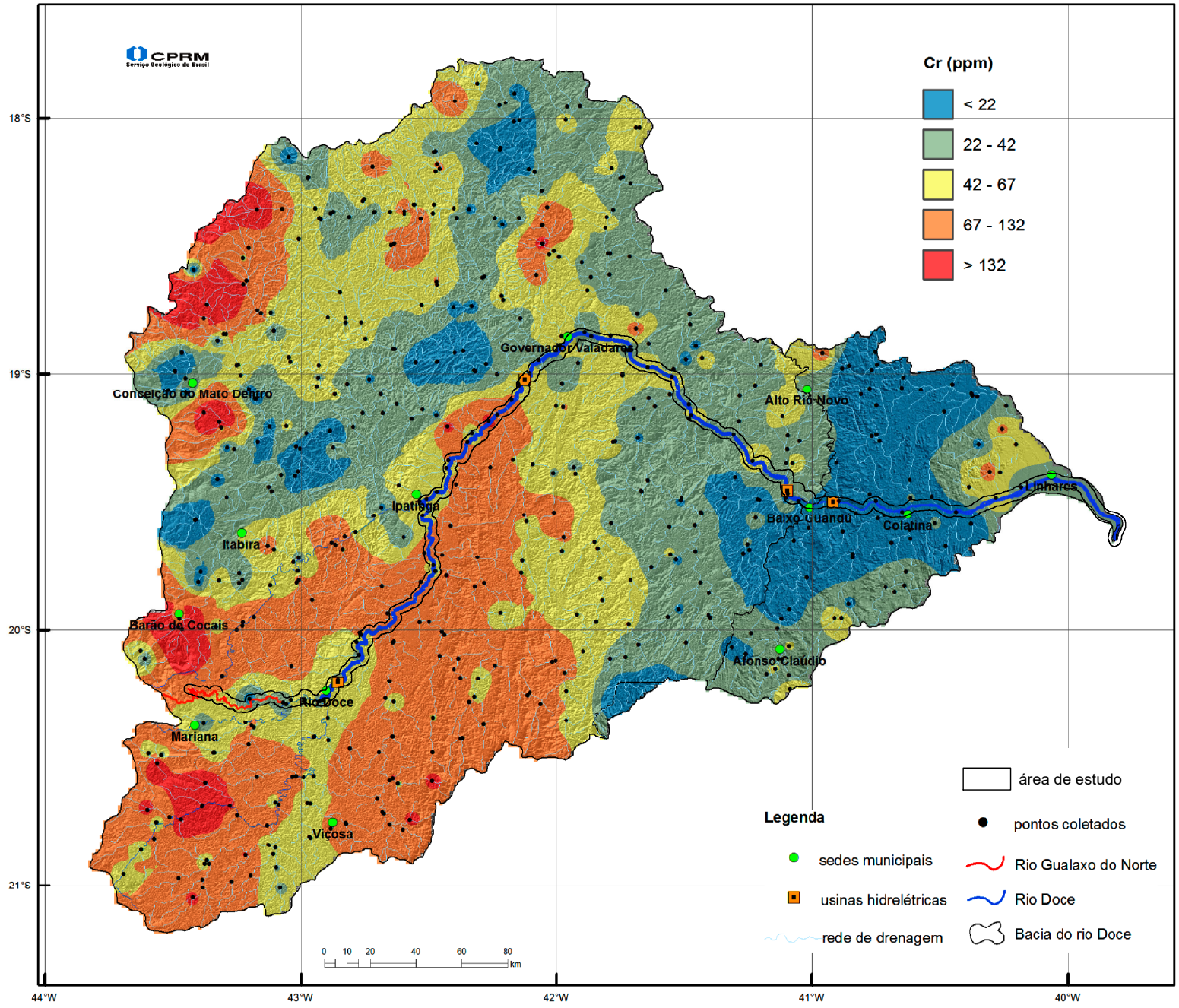
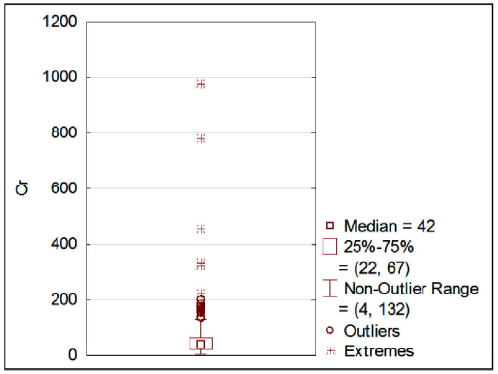


FIGURA 23 - Mapa geoquímico de As em solos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Cr (ppm)**
Limite de Detecção	1
Número de medidas	537
Result > Lim Detec	537
Valor Médio	54.2
Mediana	42.0
Valor Máximo	976.0
Valor Mínimo	4.0
Desvio Padrão	67.0
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 1	37.30
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 2	90
Valor de Prevenção (TEL) NOAA SQRT	37.30



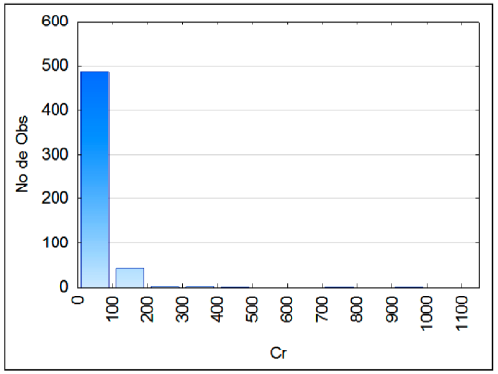
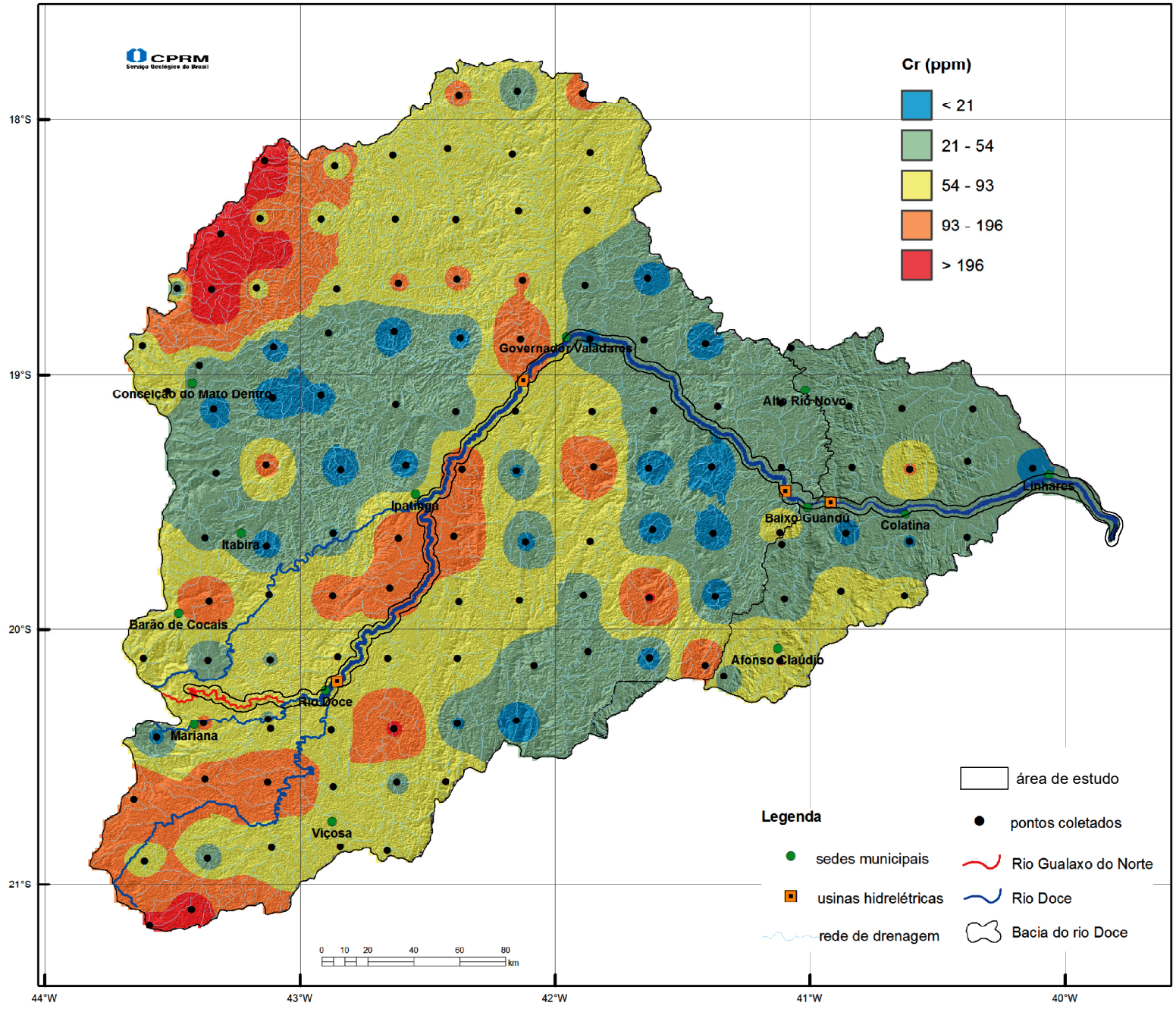
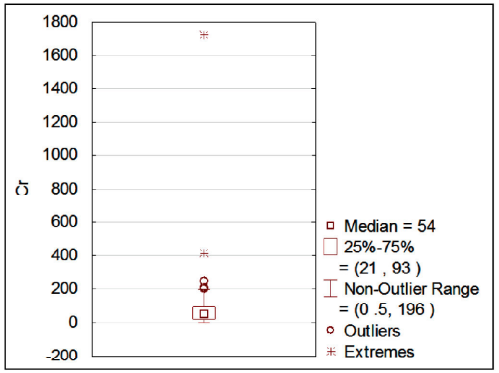


FIGURA 24 - Mapa geoquímico de Cr em sedimentos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Cr (ppm)**
Limite de Detecção	1
Número de medidas	123
Result > Lim Detec	121
Valor Médio	80.3
Mediana	54.0
Valor Máximo	1726.0
Valor Mínimo	0.50
Desvio Padrão	161.9
VRQ FEAM-MG	75.0
Valor Atenção CONAMA 420	75.0
Valor Prevenção (Target) NOAA SQRT	0.38



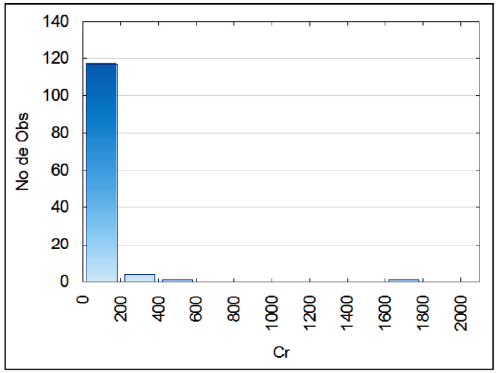
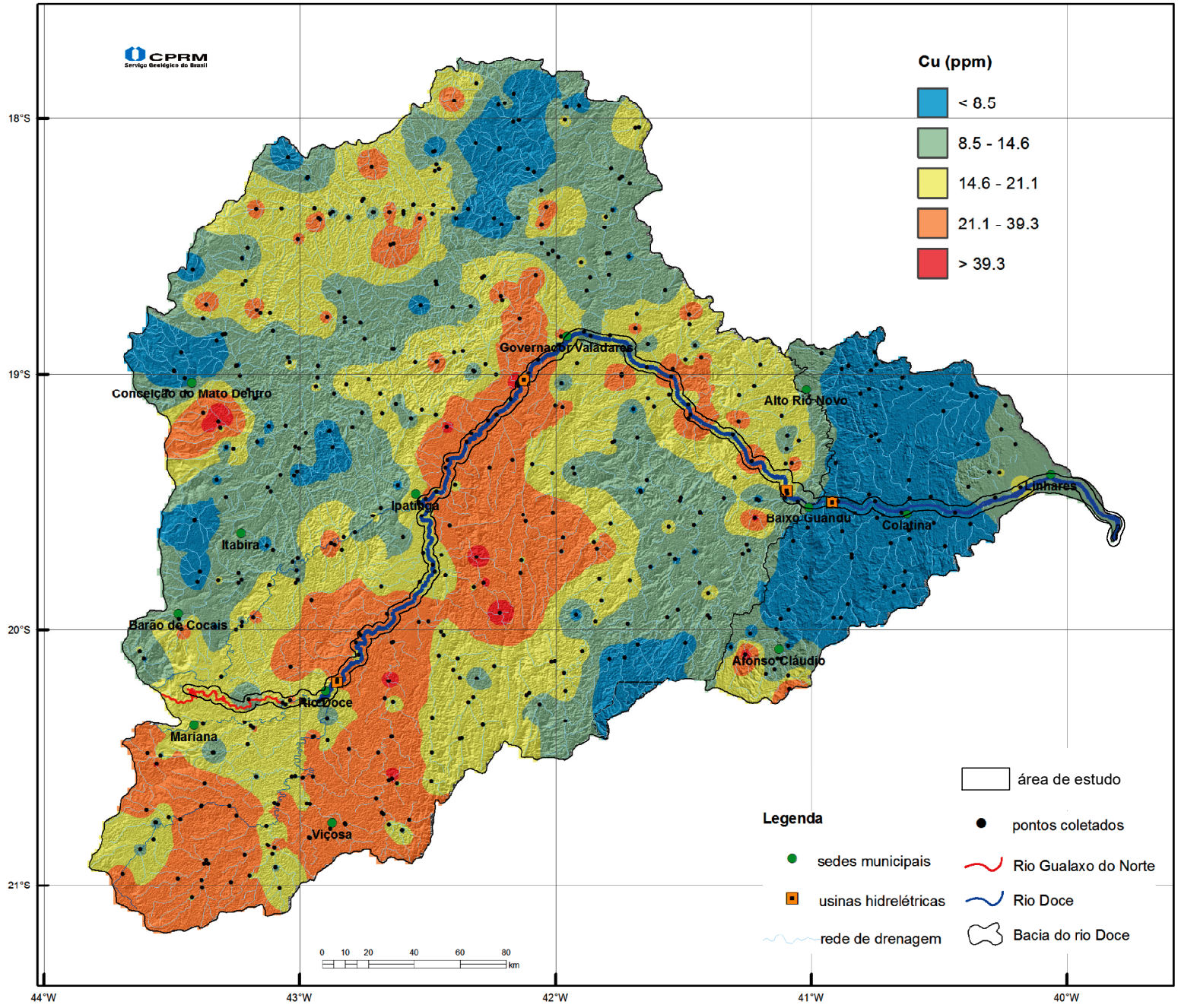
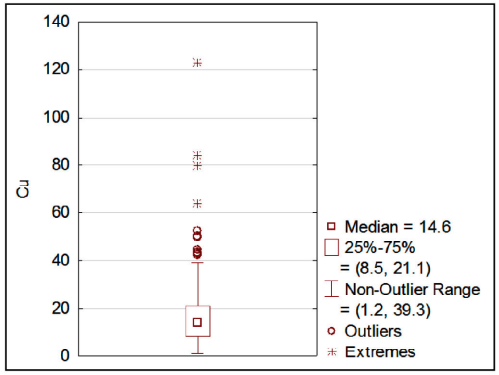


FIGURA 25 - Mapa geoquímico de Cr em solos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Cu (ppm)**
Limite de Detecção	0.5
Número de medidas	537
Result > Lim Detec	537
Valor Médio	16.16
Mediana	14.60
Valor Máximo	123.00
Valor Mínimo	1.20
Desvio Padrão	11.30
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 1	35.7
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 2	197
Valor de Prevenção (TEL) NOAA SQRT	35.7



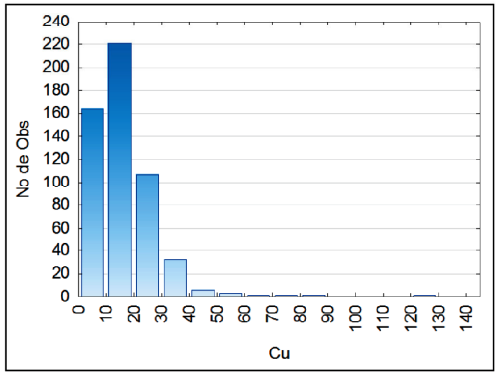
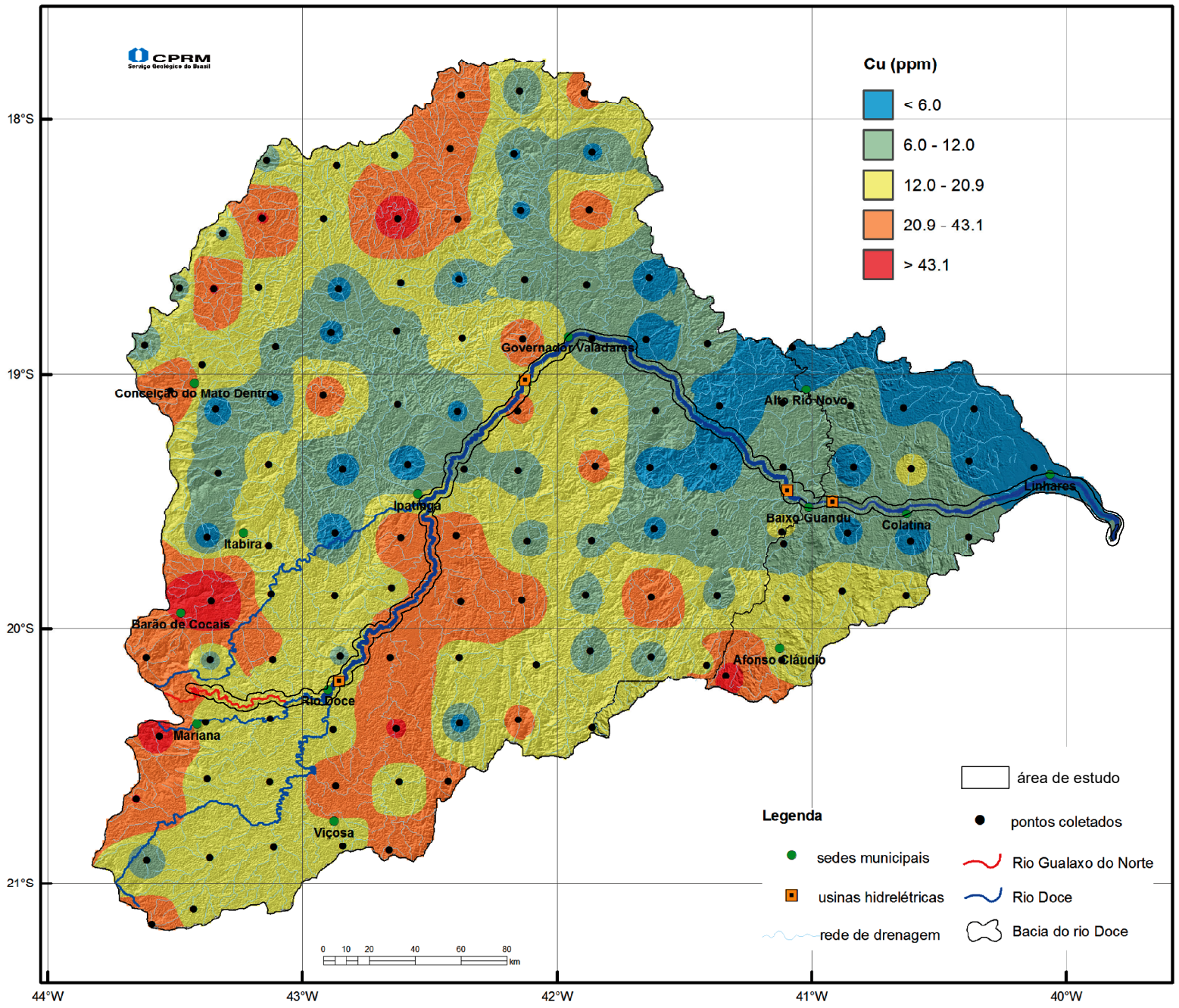
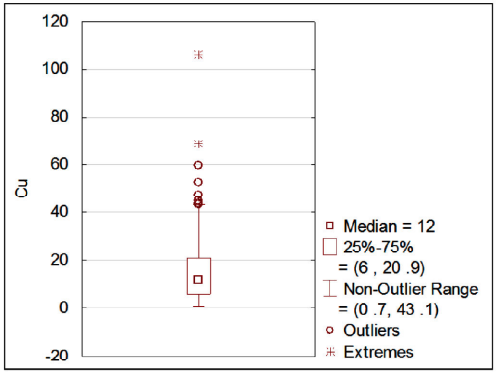


FIGURA 26 - Mapa geoquímico de Cu em sedimentos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Cu (ppm)**
Limite de Detecção	0.50
Número de medidas	123
Result > Lim Detec	123
Valor Médio	16.44
Mediana	12.00
Valor Máximo	106.00
Valor Mínimo	0.70
Desvio Padrão	15.67
VRQ FEAM-MG	49.82
Valor Atenção CONAMA 420	60.00
Valor Prevenção (Target) NOAA SQRT	3.40



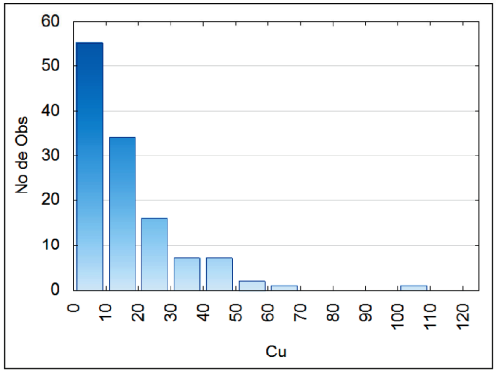
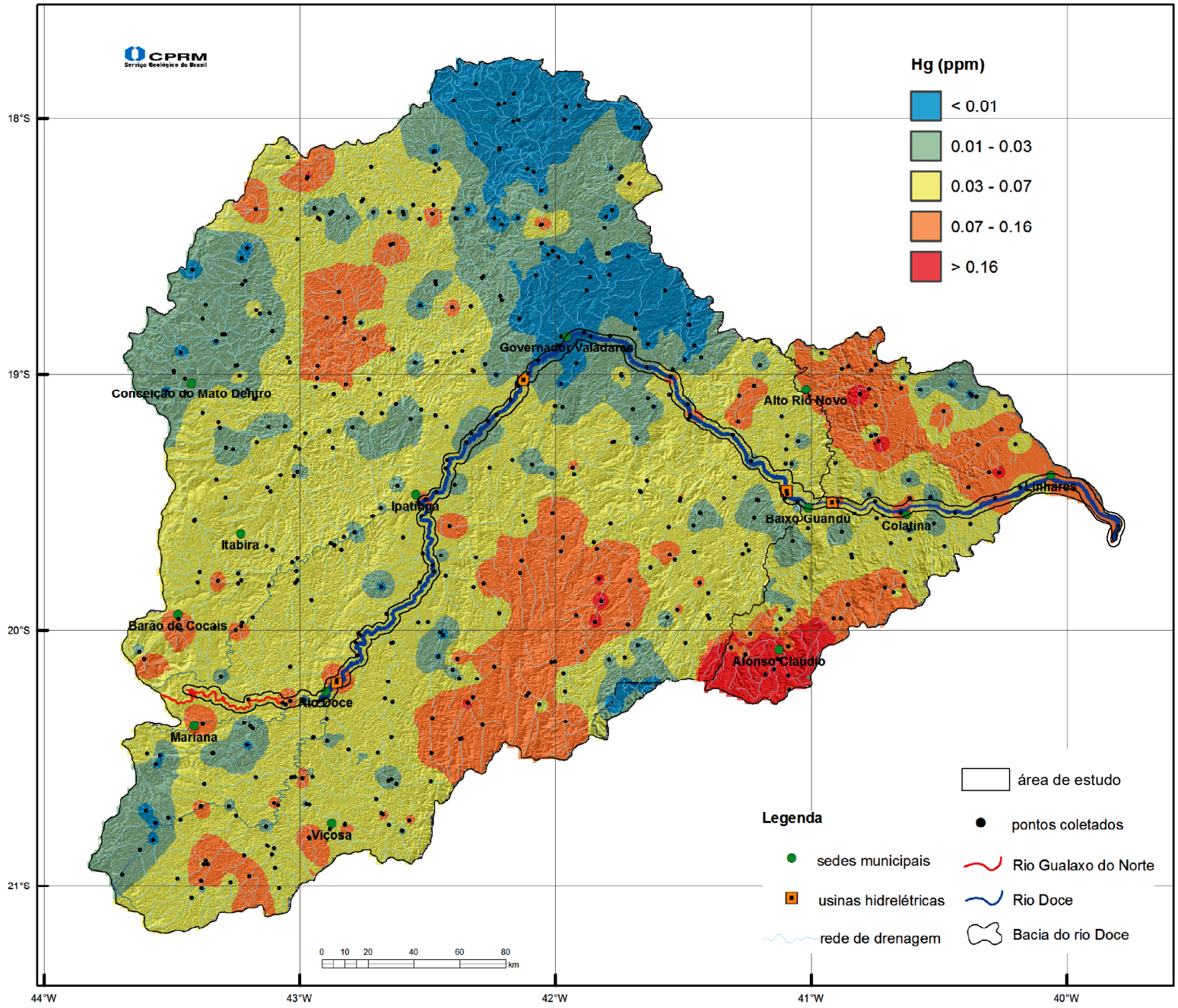
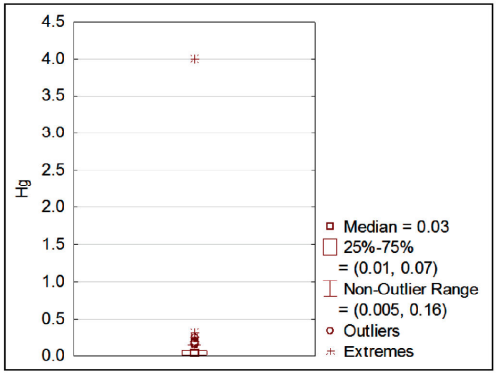


FIGURA 27 - Mapa geoquímico de Cu em solos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Hg (ppm)**
Limite de Detecção	0.01
Número de medidas	537
Result > Lim Detec	430
Valor Médio	0.054
Mediana	0.030
Valor Máximo	4.010
Valor Mínimo	0.005
Desvio Padrão	0.176
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 1	0.17
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 2	0.486
Valor de Prevenção (TEL) NOAA SQRT	0.17



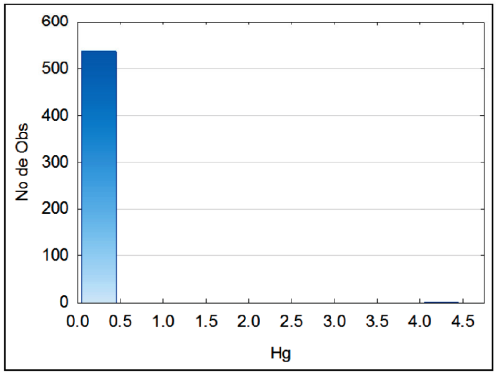
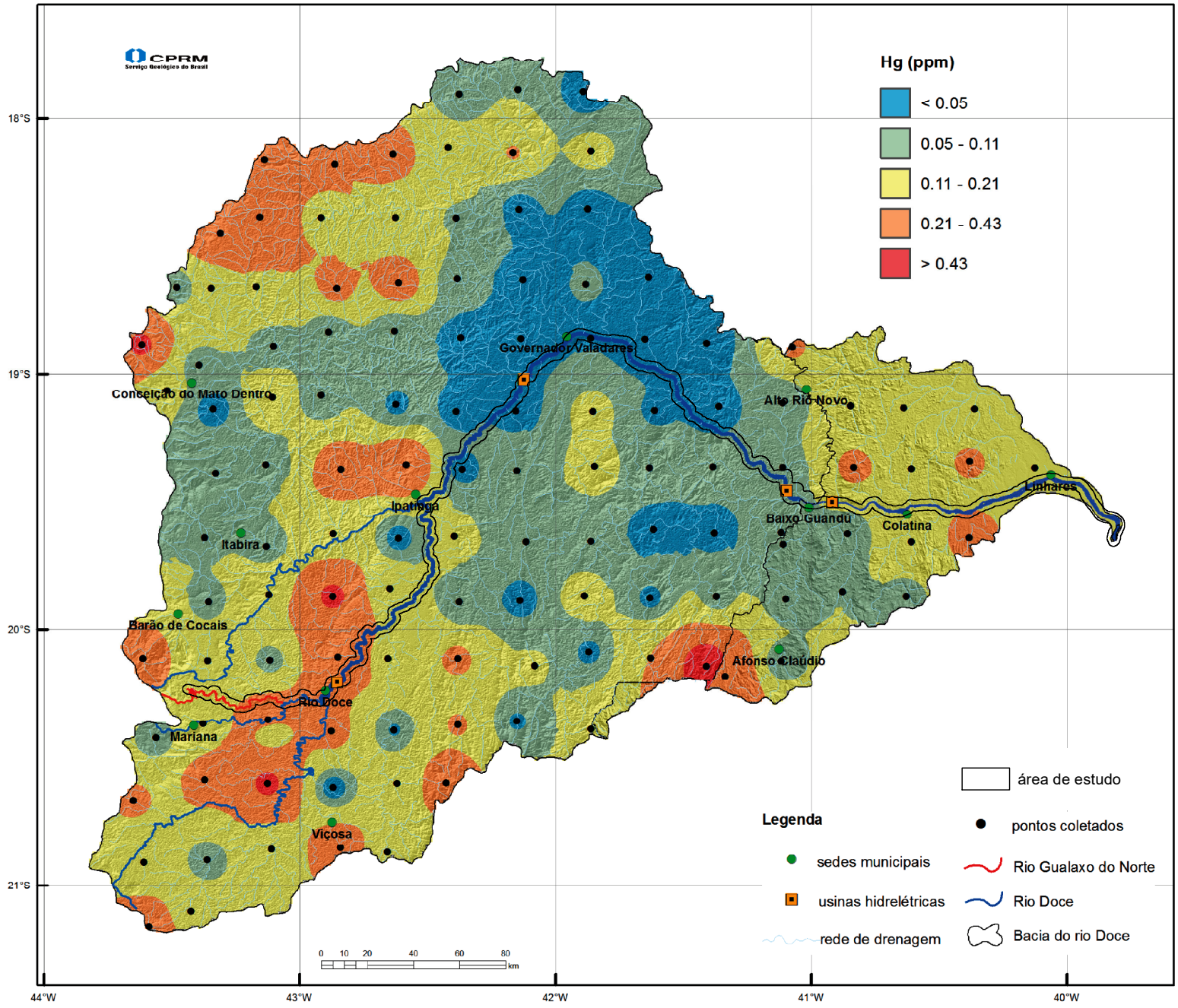
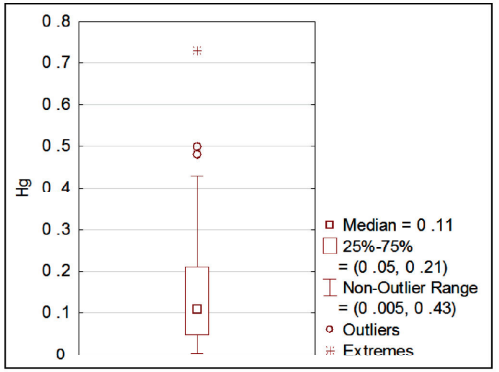


FIGURA 28 - Mapa geoquímico de Hg em sedimentos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Hg (ppm)**
Limite de Detecção	0.010
Número de medidas	123
Result > Lim Detec	118
Valor Médio	0.143
Mediana	0.110
Valor Máximo	0.730
Valor Mínimo	0.005
Desvio Padrão	0.127
VRQ FEAM-MG	0.030
Valor Atenção CONAMA 420	0.500
Valor Prevenção (Target) NOAA SQRT	0.300



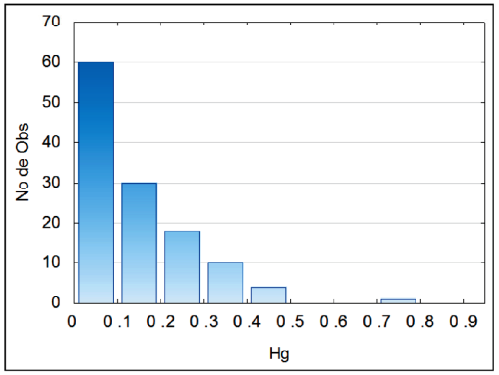
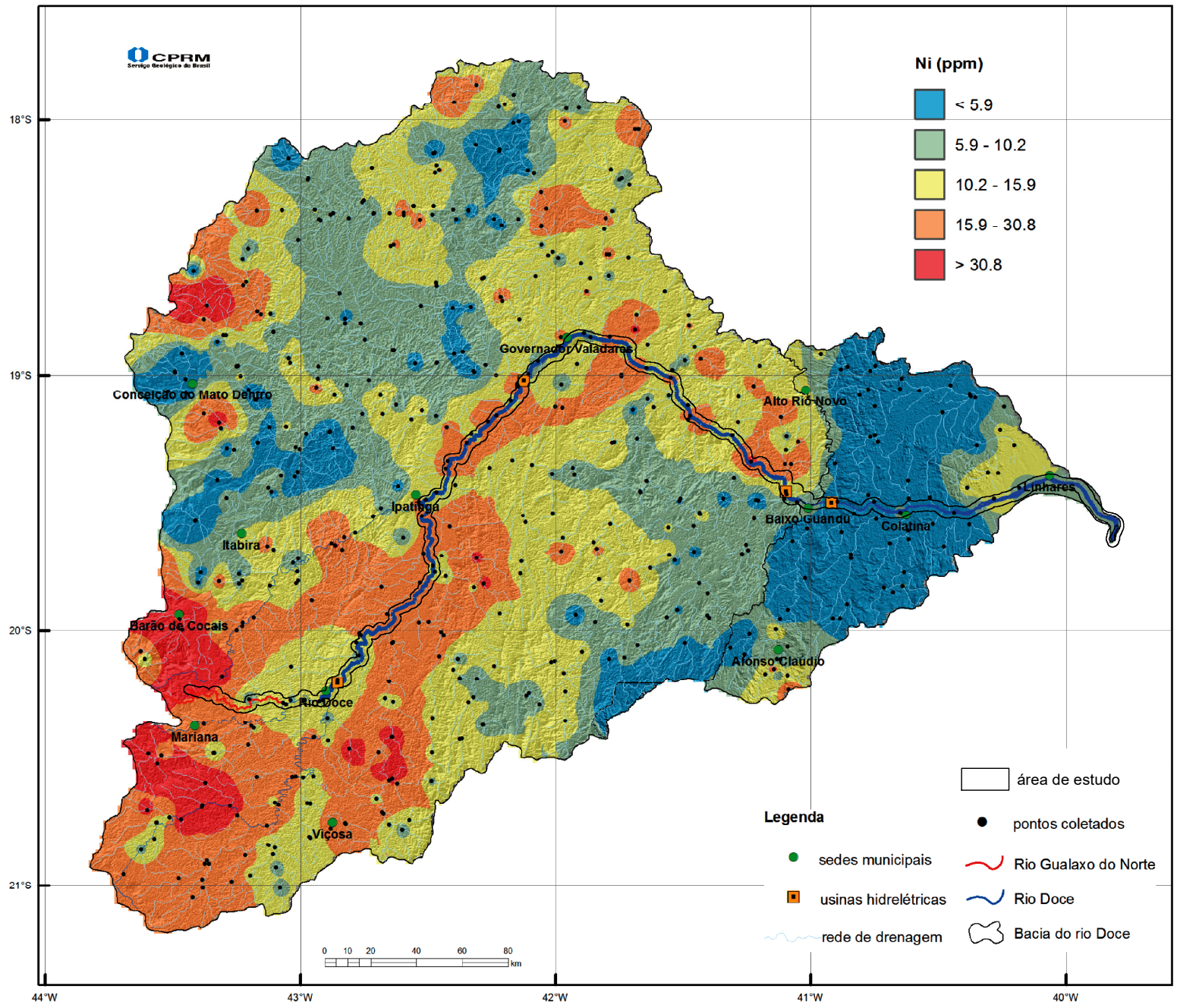
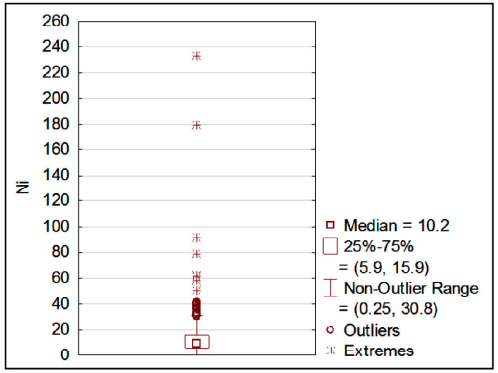


FIGURA 29 - Mapa geoquímico de Hg em solos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Ni (ppm)**
Limite de Detecção	0.5
Número de medidas	537
Result > Lim Detec	536
Valor Médio	13.1
Mediana	10.2
Valor Máximo	233.0
Valor Mínimo	0.25
Desvio Padrão	15.5
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 1	18
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 2	35.9
Valor de Prevenção (TEL) NOAA SQRT	18



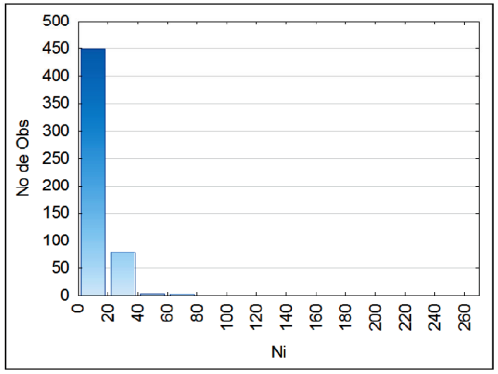
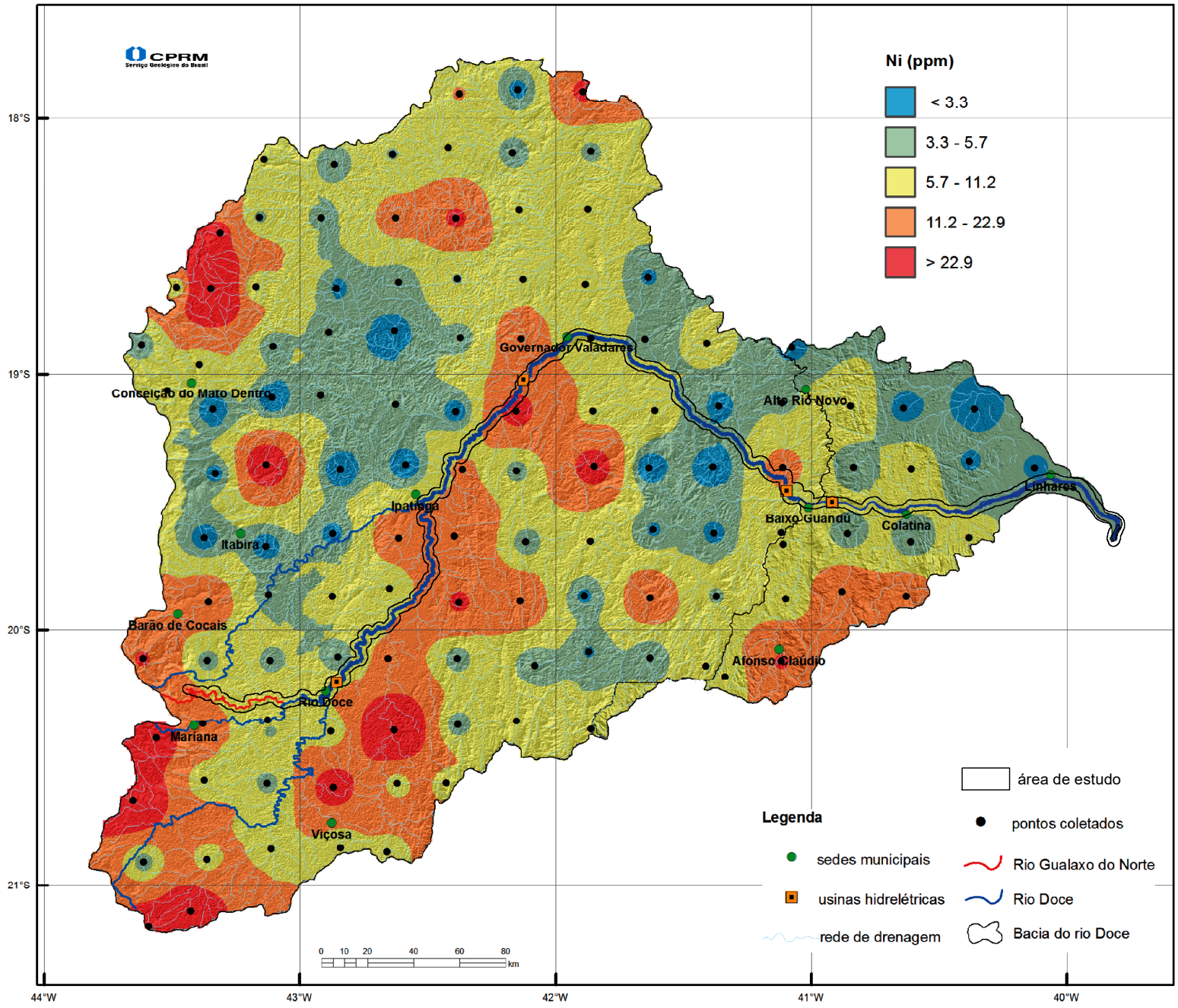
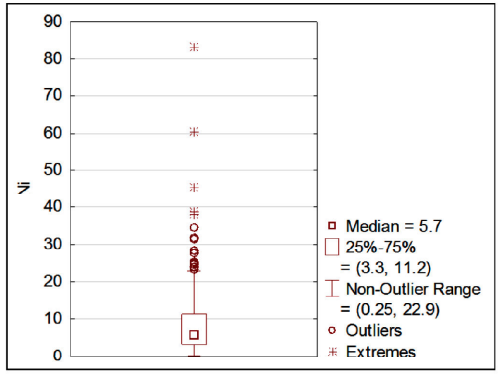


FIGURA 30 - Mapa geoquímico de Ni em sedimentos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Ni (ppm)**
Limite de Detecção	0.5
Número de medidas	123
Result > Lim Detec	122
Valor Médio	10.3
Mediana	5.7
Valor Máximo	83.2
Valor Mínimo	0.25
Desvio Padrão	12.11
VRQ FEAM-MG	21.48
Valor Atenção CONAMA 420	30
Valor Prevenção (Target) NOAA SQRT	0.26



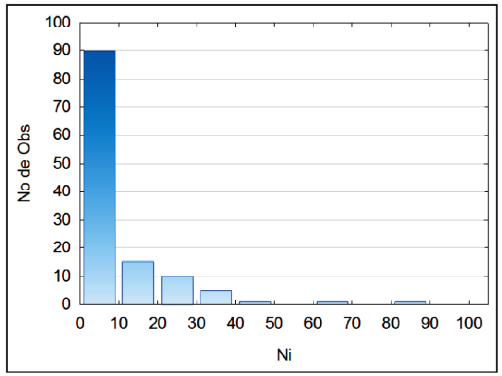
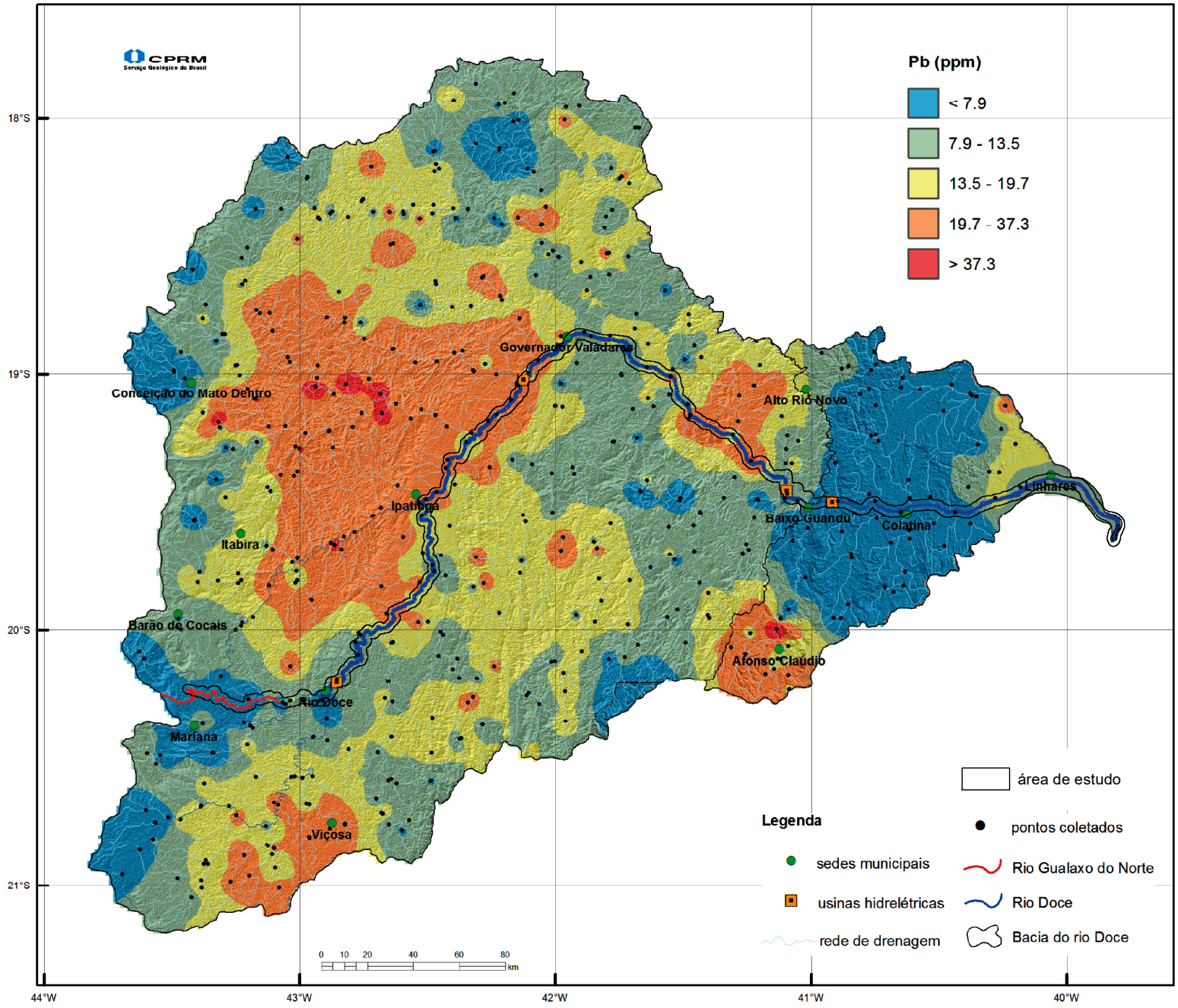
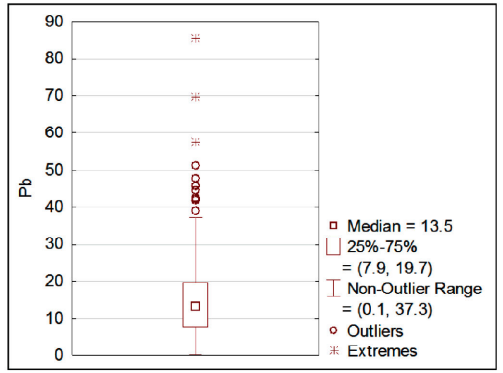


FIGURA 31 - Mapa geoquímico de Ni em solos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Pb (ppm)**
Limite de Detecção	0.2
Número de medidas	537
Result > Lim Detec	535
Valor Médio	14.99
Mediana	13.50
Valor Máximo	85.60
Valor Mínimo	0.10
Desvio Padrão	9.98
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 1	35
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 2	91.3
Valor de Prevenção (TEL) NOAA SQRT	35



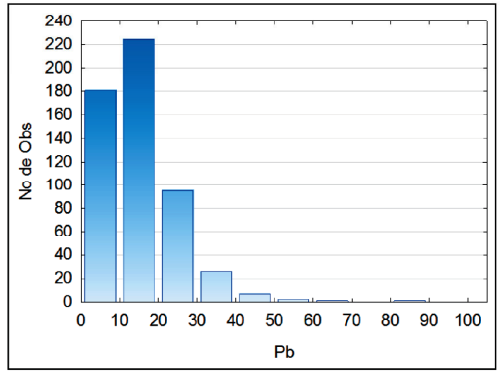
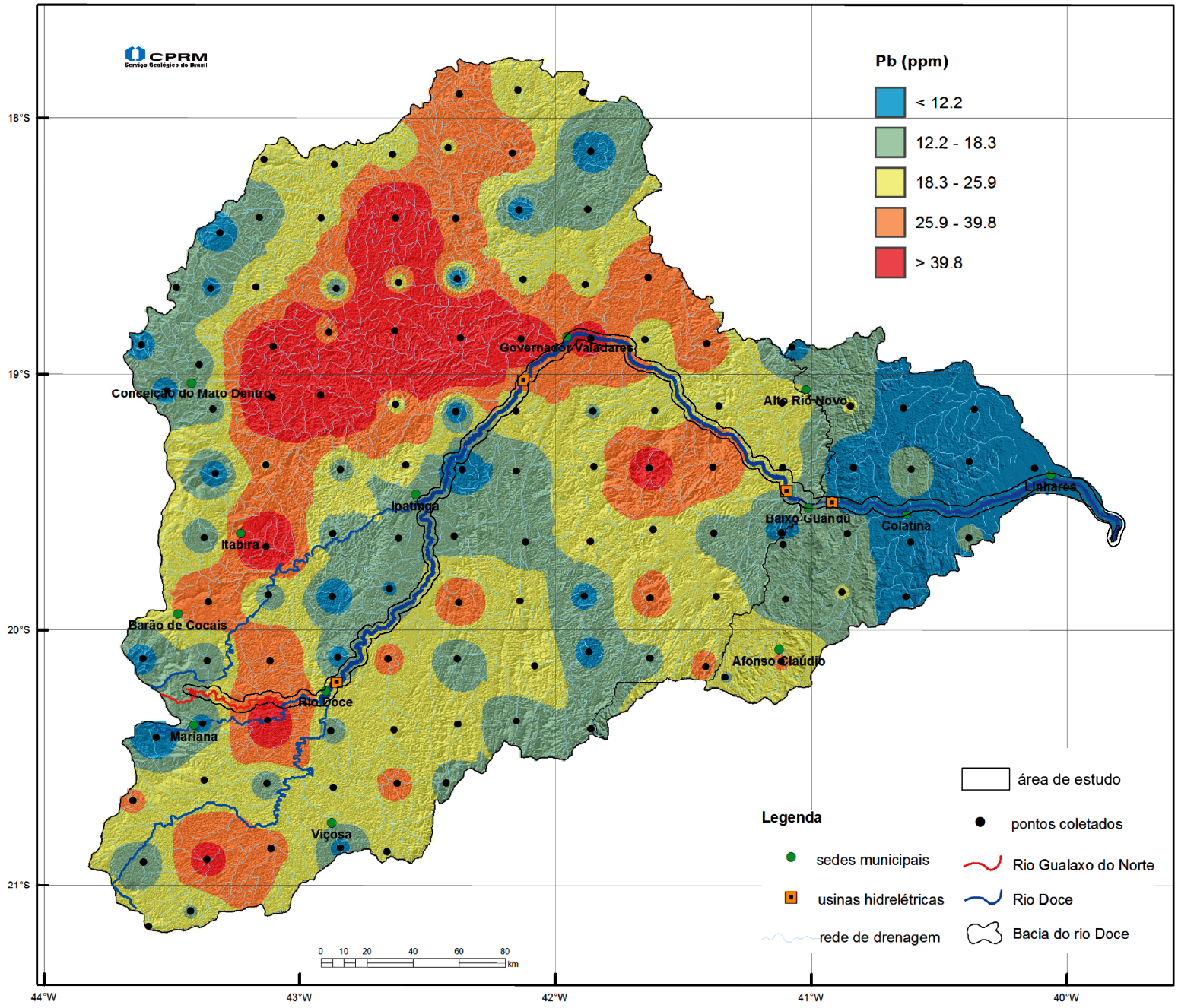
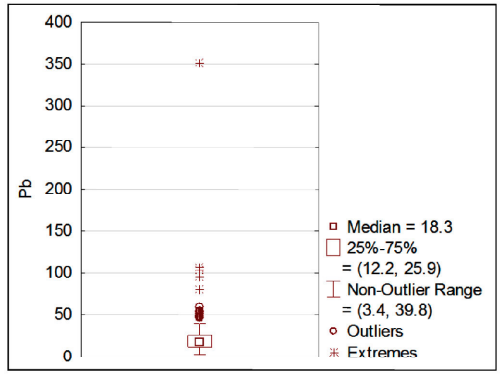


FIGURA 32 - Mapa geoquímico de Pb em sedimentos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Pb (ppm)**
Limite de Detecção	0.20
Número de medidas	123
Result > Lim Detec	123
Valor Médio	25.05
Mediana	18.30
Valor Máximo	351.00
Valor Minimo	3.40
Desvio Padrão	34.74
VRQ FEAM-MG	19.5
Valor Atenção CONAMA 420	72
Valor Prevenção (Target) NOAA SQRT	55



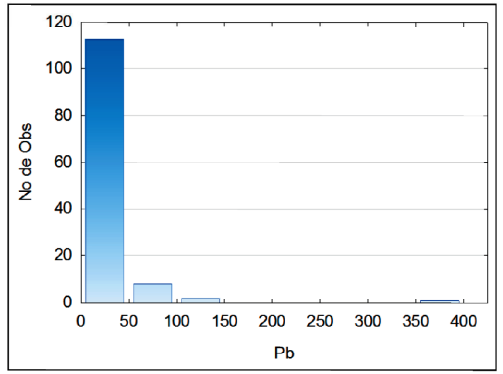
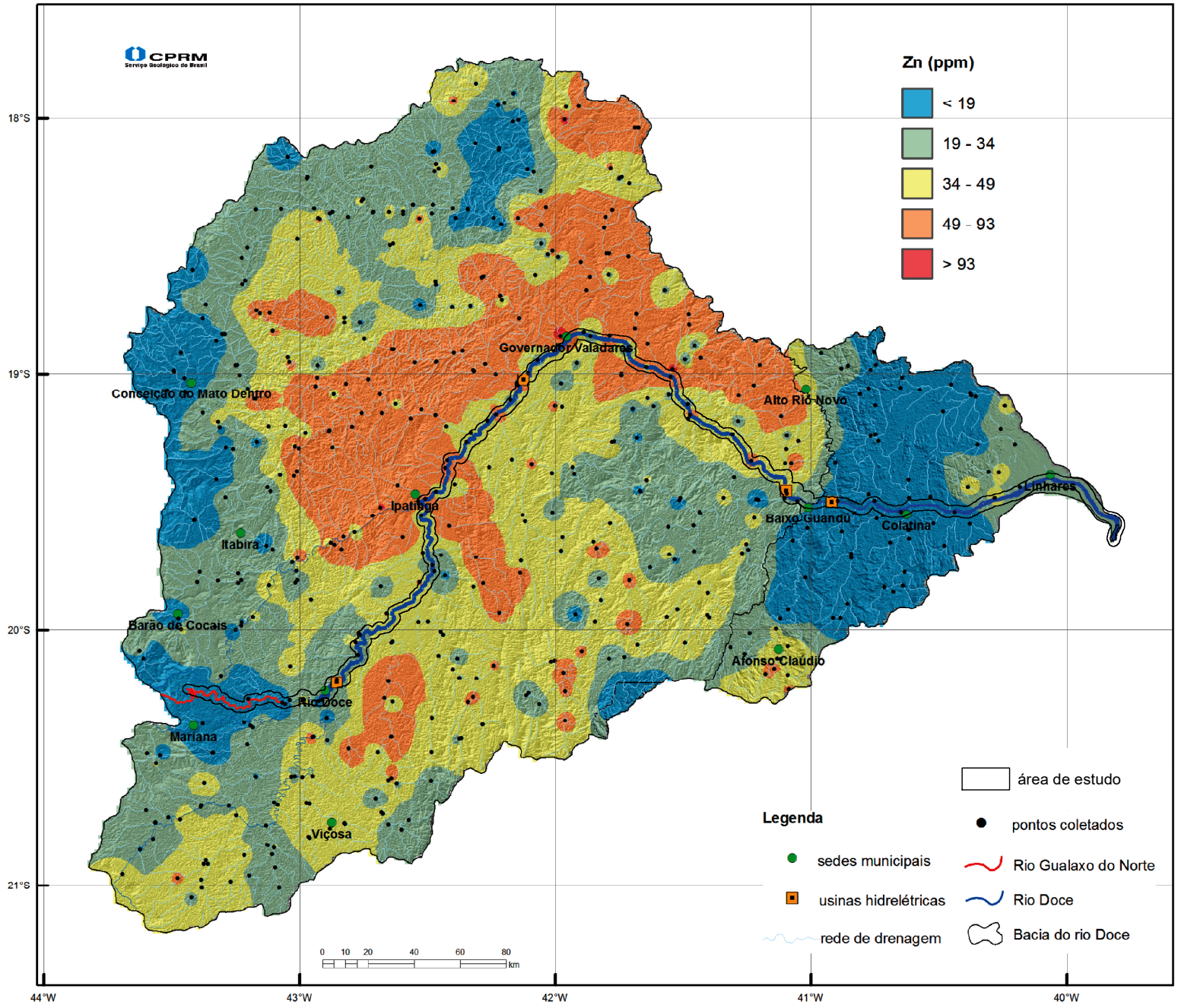
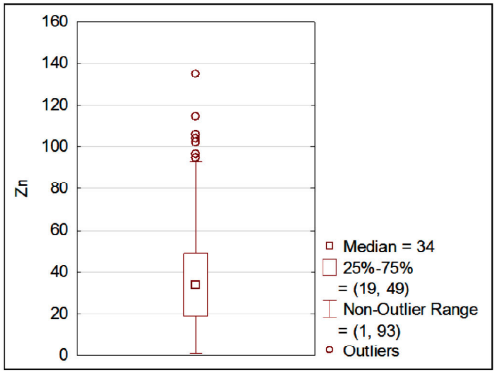


FIGURA 33 - Mapa geoquímico de Pb em solos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Zn (ppm)**
Limite de Detecção	1
Número de medidas	537
Result > Lim Detec	535
Valor Médio	36.5
Mediana	34
Valor Máximo	135
Valor Mínimo	1
Desvio Padrão	22.5
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 1	123
Valor Prevenção CONAMA 454 Nível 2	315
Valor de Prevenção (TEL) NOAA SQRT	123



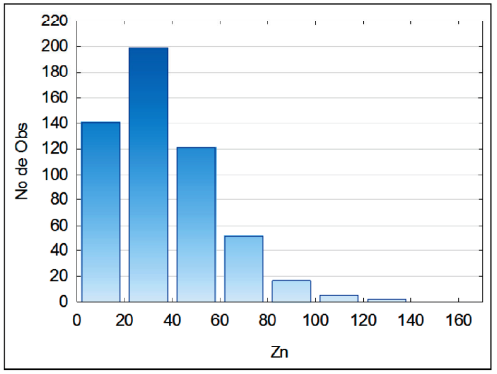
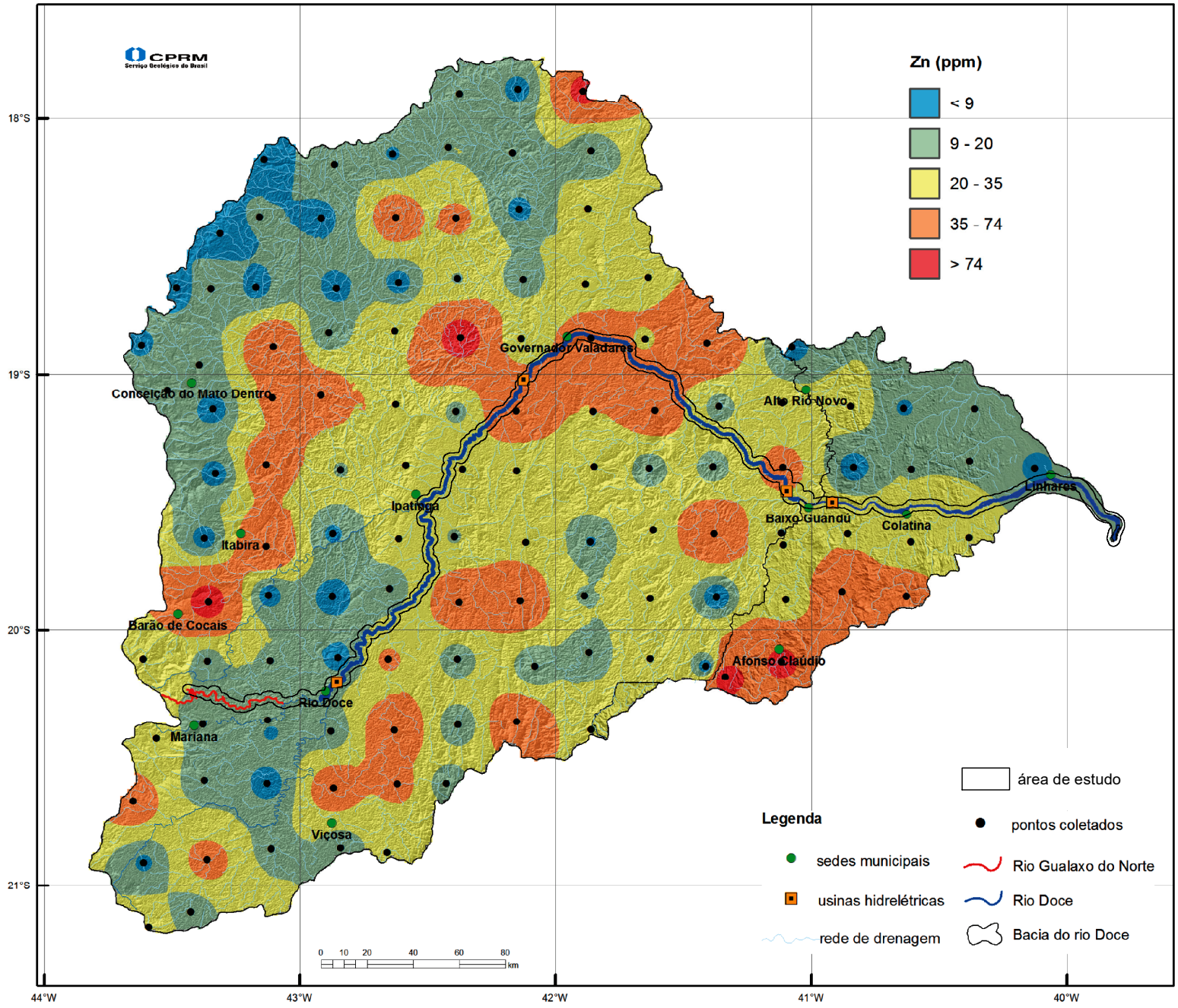
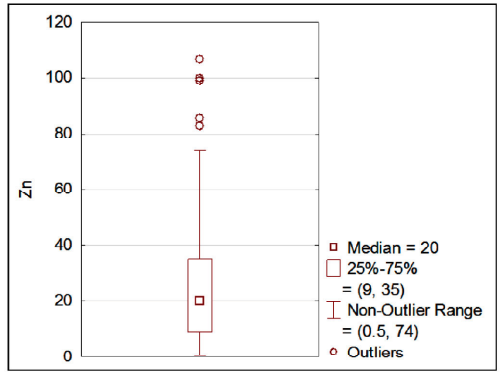


FIGURA 34 - Mapa geoquímico de Zn em sedimentos



Estatística Descritiva	
Elemento	**Zn (ppm)**
Limite de Detecção	1
Número de medidas	123
Result > Lim Detec	121
Valor Médio	26.3
Mediana	20
Valor Máximo	107
Valor Mínimo	0.5
Desvio Padrão	23.3
VRQ FEAM-MG	46.3
Valor Atenção CONAMA 420	300
Valor Prevenção (Target) NOAA SQRT	16



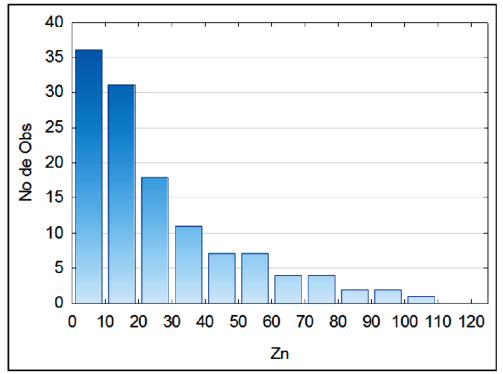


FIGURA 35 - Mapa geoquímico de Zn em solos

8.9.2 Análise do Índice Kernel para metais pesados em solos

A partir dos resultados apresentados pela Golder Associates (2017) para análises geoquímicas de solo/rejeito e sedimentos, foi executada a análise do Índice Kernel para a ocorrência de metais pesados e tóxicos ao longo das margens do Rio Doce.

Observou-se maior probabilidade de ocorrência de metais pesados em concentrações elevadas nas áreas pertencentes ao Trecho 1, sobretudo nos municípios Mariana, Barra Longa e Rio Doce. Essa tendência pode estar associada aos fatores de interações diversas, incluindo a dinâmica de transporte de material detrítico pelo rompimento da Barragem do Fundão, como a formação geológica local, além de intensa atividade antrópica na região a montante da Área de Estudo, iniciada ainda no Ciclo do Ouro no século XVIII, o que inclui a atividade de extração mineral atual e as atividades de garimpo irregulares.

A menor ocorrência de teores elevados de metais pesados nos Trechos 2, 3, 4 e 5 pode estar associada à presença da Usina de Candonga no município de Rio Doce. O reservatório construído na calha do Rio Doce é responsável pela alteração da dinâmica da água e retenção de sedimentos provenientes das regiões a montante. Dessa forma, grande parte dos metais pesados presentes no material detrítico ficou retida Trecho 1 e não alcança os trechos a jusante da barragem. Sendo assim, a concentração de metais pesados a jusante tende a ser menor, exceto em casos pontuais, como observado nos mapas.

Do Trecho 2 ao Trecho 5, apesar da menor probabilidade de ocorrência de contaminação pelos metais analisados, ocorrem alguns pontos espaçados de teores elevados desses elementos, indicando eventos de ocorrência pontual. São áreas onde não houve a deposição das frações mais grosseiras de rejeito, uma vez que grande parte ficou retida na barragem de Candonga, sendo transportado apenas material fino em suspensão a partir desse ponto. Em uma hipótese considerável, a contaminação seria, portanto, originada a partir de práticas como uso de defensivos agrícolas e/ou despejo *in natura* de efluentes domésticos ou industriais, por exemplo. Nesses trechos, os pontos onde foram observados maiores teores de metais pesados nos solos e *technosoil* estão localizados nas cidades de Santana do Paraíso (para arsênio), Periquito, Governador Valadares e Resplendor (demais elementos), todas no Estado de Minas Gerais.

É notável, a partir da análise conjunta dos mapas referentes a As, Zn, Cr, Pb, Cu, Hg e Ni, que há correspondência entre os locais de ocorrência de teores elevados dos metais pesados.

Ou seja, há nesses resultados a coexistência de teores elevados de elementos metálicos diversos, em uma mesma amostra, indicando contaminação por fonte heterogênea, seja de origem mineral ou outras fontes de contaminação, incluindo atividades antrópicas diversas (i.e. efluentes).

A seguir, breve discussão dos resultados encontrados para cada elemento.

8.9.2.1 Arsênio

A probabilidade de ocorrência de concentrações de arsênio (As), maiores do que os valores orientadores propostos pela resolução CONAMA 420/2009, é superior nas áreas onde ocorreu a inundação do material solubilizado, carreado a partir da dinâmica mecânica do rompimento da Barragem do Fundão (Figura 36 - Mapa Índice Kernel para Arsênio em Solos e Rejeitos na Área de Estudo), sendo estas pertencentes ao Trecho 1. Dentro desse trecho, espera-se na região da barragem do Fundão e a montante de Candonga maior ocorrência de concentração de As, acima do valor de prevenção para uso agrícola (35mg kg^{-1} de solo), objeto deste estudo.

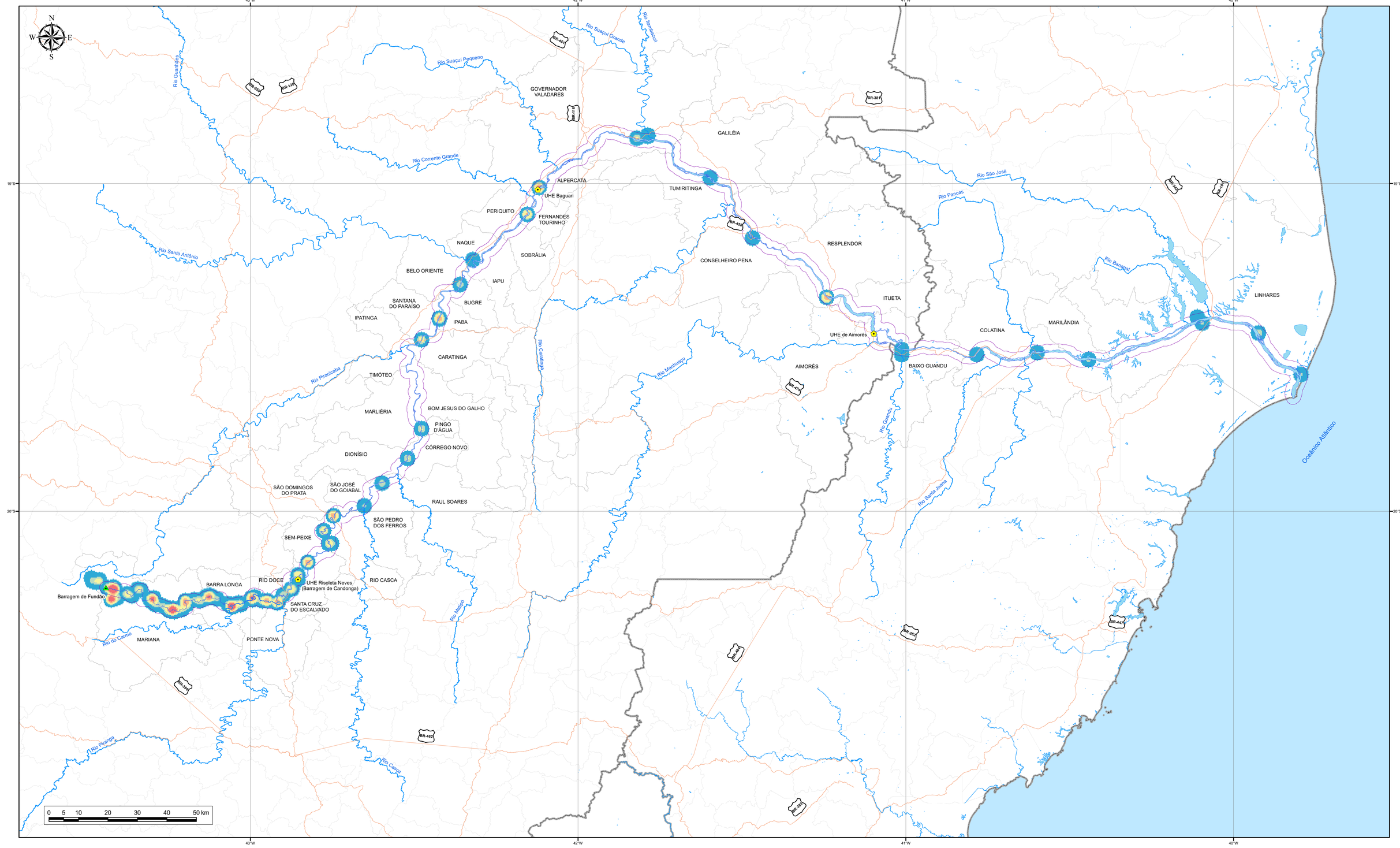
A presença de teores elevados de As nessas áreas, além de associada a atividades antrópicas, é reflexo também da composição geológica a montante da Barragem do Fundão, que compreende as unidades geológicas do Quadrilátero Ferrífero, região de ocorrência de minerais formados por arsênio, como a arsenopirita. Diante dessa formação natural, o valor de referência para concentração de As nos solos do Quadrilátero Ferrífero, proposto pelo Estado de Minas Gerais, é de 30,6 mg kg^{-1}. Acima desse valor, medidas devem ser tomadas para evitar possíveis riscos à saúde humana e à perda da qualidade do solo local. Apesar de a legislação considerar a situação específica na região, isso não compromete a avaliação de índices que, em muito, ultrapassam essa concentração de referência, alcançando, em uma amostra, concentração maior que o dobro – T82 = 63,4 mg kg^{-1} – (GOLDER; RENOVA 2017) do esperado para a região.

A probabilidade de ocorrência de teores elevados de As a jusante da Usina de Candonga, Trechos 2, 3, 4 e 5, é muito menor do que no Trecho 1. Poucos foram os pontos amostrados nesses trechos que apresentaram o risco de ocorrência de concentrações maiores do que 33,6 mg kg^{-1} (nesses casos, não se aplicam os valores de referência para o Quadrilátero Ferrífero). A contaminação por As nessas áreas pode ser vista como um evento de ocorrência pontual,

proveniente, por exemplo, de uso de defensivos agrícolas, despejo de efluentes domésticos e industriais, entre outros.

A concentração de As deixa de ser alta nesses trechos, uma vez que a Usina de Candonga possui papel fundamental na retenção de sedimentos, tanto provenientes da barragem quanto provenientes do processo natural de arraste de sedimentos pelo Rio Doce e seus afluentes.

Em todos os trechos, as concentrações obtidas pelo índice kernel retornaram valores superiores aos apresentados por Viglio e Cunha (2016), o que reforça a possível influência da onda de material detrítico na ressuspensão desse elemento, que se encontrava decantado ao longo da calha principal.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de As (mg/kg)

- 0 - 8
- 8 - 15
- 15 - 35
- 35 - 55
- 55 - 150

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 36 - ÍNDICE KERNEL PARA ARSÊNIO EM SOLOS E REJEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.9.2.2 Cobre, Chumbo e Zinco

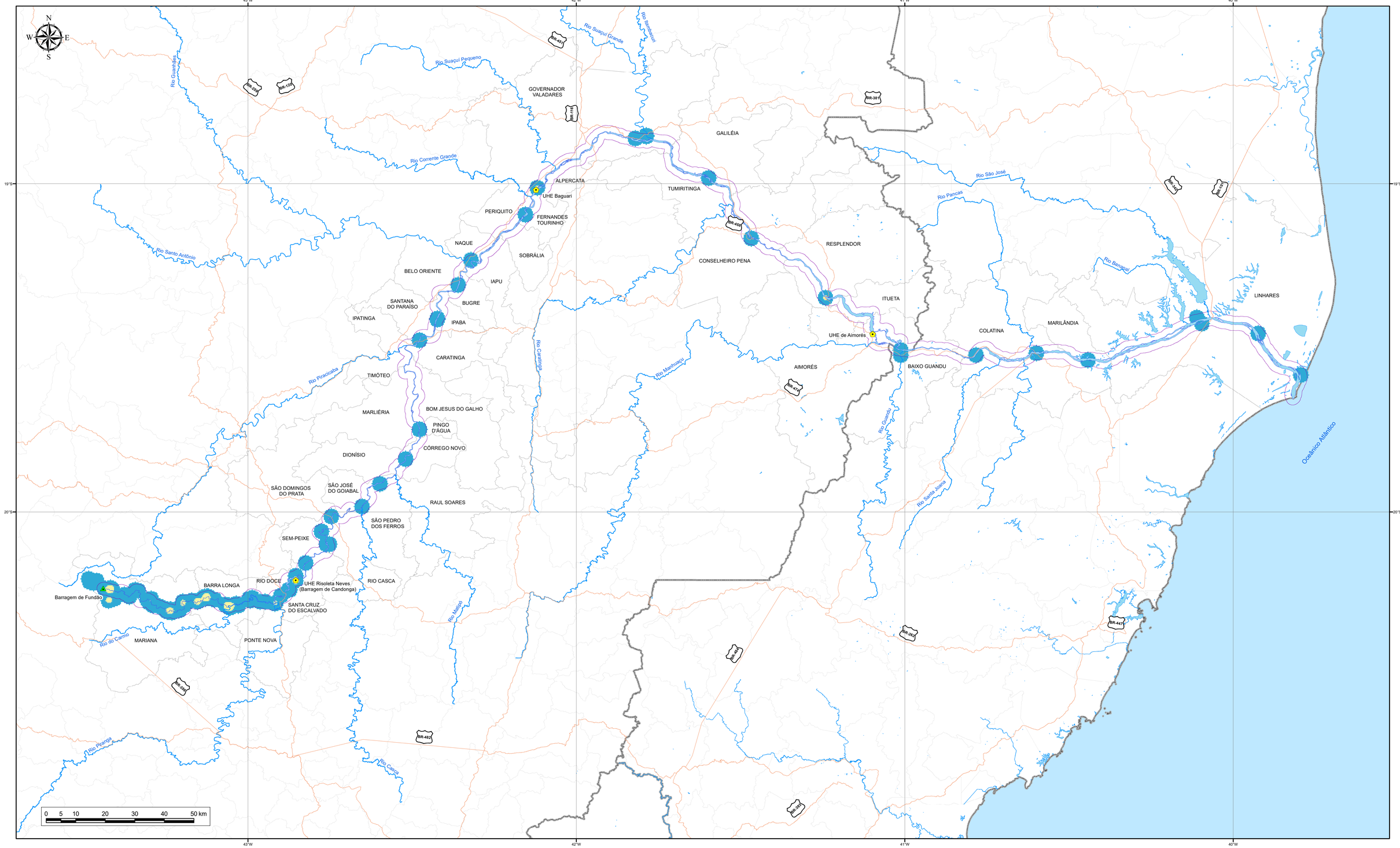
A probabilidade de ocorrência de teores elevados de Pb, Cu e Zn é maior nos municípios de Mariana e Barra Longa, os quais pertencem ao Quadrilátero Ferrífero. Nessas regiões, os teores esperados para esses metais tendem a ultrapassar o valor de referência de qualidade (VRQ) proposto para o Estado de Minas Gerais, que é de19,5 mg kg^{-1}, 49,0 mg kg^{-1} e 46,5 mg kg^{-1}, respectivamente (Figura 37 - Mapa Índice Kernel para Cobre em Solos e Rejeitos na Área de Estudo, Figura 38 - Mapa Índice Kernel para Chumbo em Solos e Rejeitos na Área de Estudo e Figura 39 - Mapa Índice Kernel para Zinco em Solos e Rejeitos na Área de Estudo). Nesse trecho, os valores registrados por Viglio e Cunha (2016) para Pb superaram 39,8 mg kg^{-1}, acima do VQR. Para Cu os valores registrados pelos mesmos autores são menores do que 20,9 mg kg^{-1}, inferiores ao VQR, e, para Zn, os valores se mostraram bem inferiores, entre 9,0 mg kg^{-1} e 20,0 mg kg^{-1}.

8.9.2.3 Cromo

A probabilidade de ocorrência de teores elevados de cromo é maior nos municípios de Mariana e Barra Longa, ultrapassando o VRQ e também o valor de investigação (VI) para áreas agrícolas (Figura 40 - Mapa Índice Kernel para Cromo em Solos e Rejeitos na Área de Estudo). Para esse trecho, Viglio e Cunha (2016) indicam valores de Cr entre 54 mg kg^{-1} e 93 mg kg^{-1}, abaixo dos valores obtidos na análise Kernel e abaixo do valor de investigação para áreas agrícolas.

8.9.2.4 Mercúrio

A probabilidade de ocorrência de teores elevados de Hg (Figura 41 - Mapa Índice Kernel para Mercúrio em Solos e Rejeitos na Área de Estudo) é maior nos municípios de Mariana e Barra Longa, ultrapassando o VRQ para Minas Gerais, que é de 0,05mg kg^{-1}. Por outro lado, os teores de Hg encontrados no rejeito puro da barragem de Germano foram menores do que o limite de quantificação pelo método de análise utilizado, o que não permite associar a presença de Hg ao rejeito. Os valores apresentados por Viglio e Cunha (2016) para esse trecho encontram-se acima de 0,21 mg kg^{-1}, acima do valor de investigação para uso agrícola. Destaca-se que nesse trecho foi constatada a presença de garimpo clandestino, além do histórico de atividades extrativistas minerais que lançavam e lançam mão do uso do mercúrio em seus processos.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Cu (mg/kg)

- 0 - 49
- 49 - 60
- 60 - 200
- 200 - 400
- 400 - 600

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

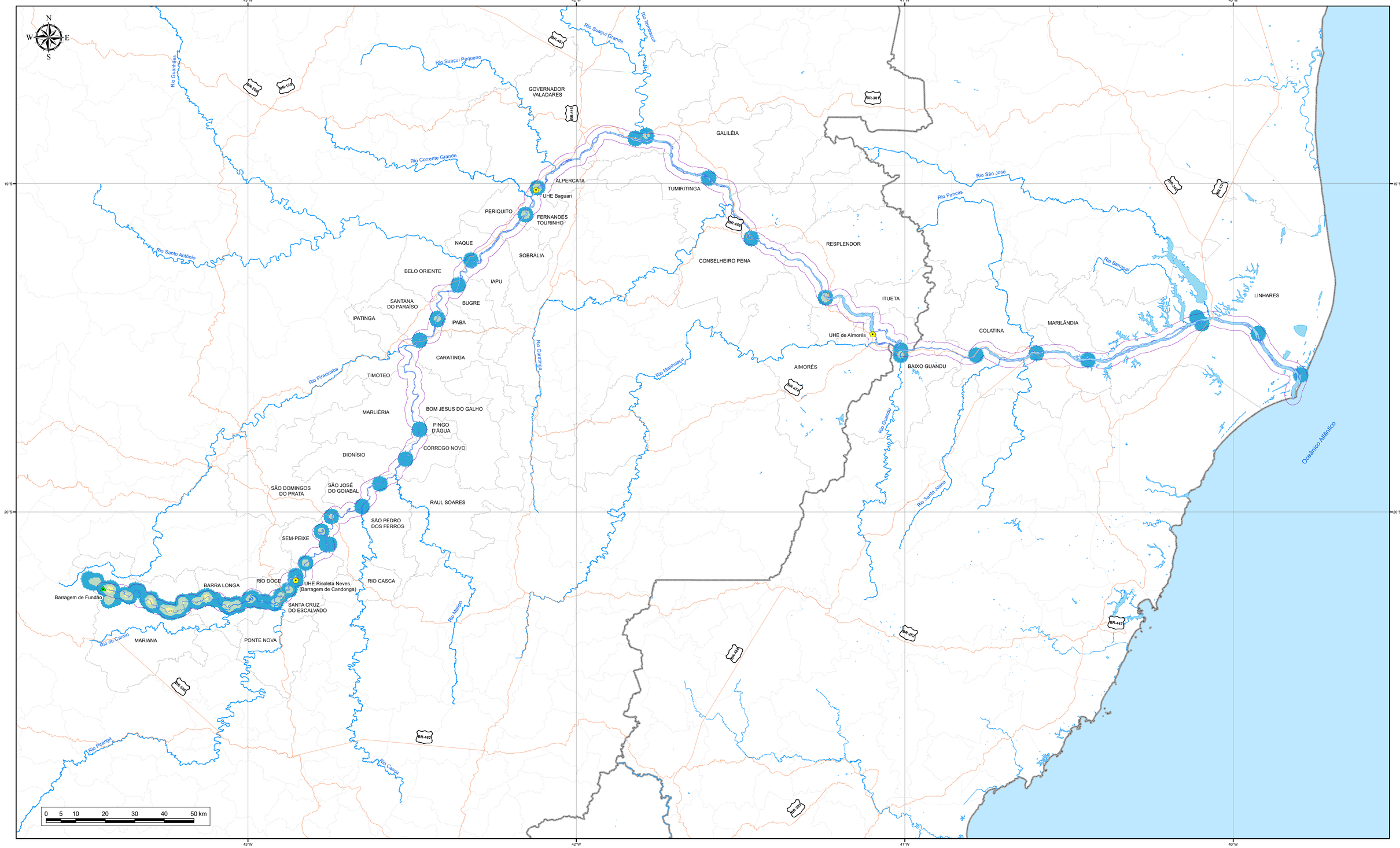
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 37 - ÍNDICE KERNEL PARA COBRE EM SOLOS E REJEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Pb (mg/kg)

- 0 - 19,5
- 19,5 - 72
- 72 - 180
- 180 - 300
- 300 - 900

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

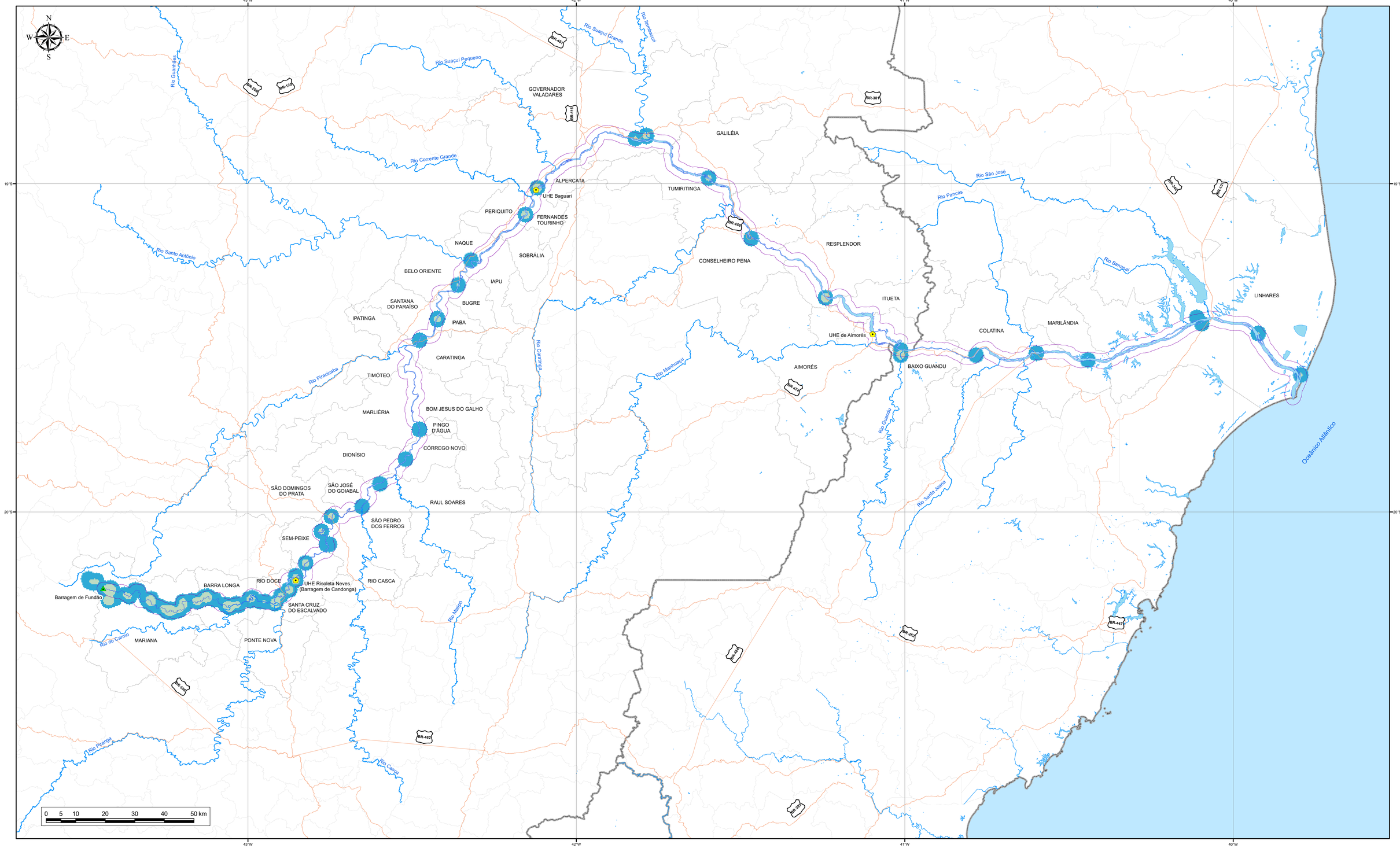
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 38 - ÍNDICE KERNEL PARA CHUMBO EM SOLOS E REJEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Zn (mg/kg)

- 0 - 46,5
- 46,5 - 300
- 300 - 450
- 450 - 1.000
- 1.000 - 2.000

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

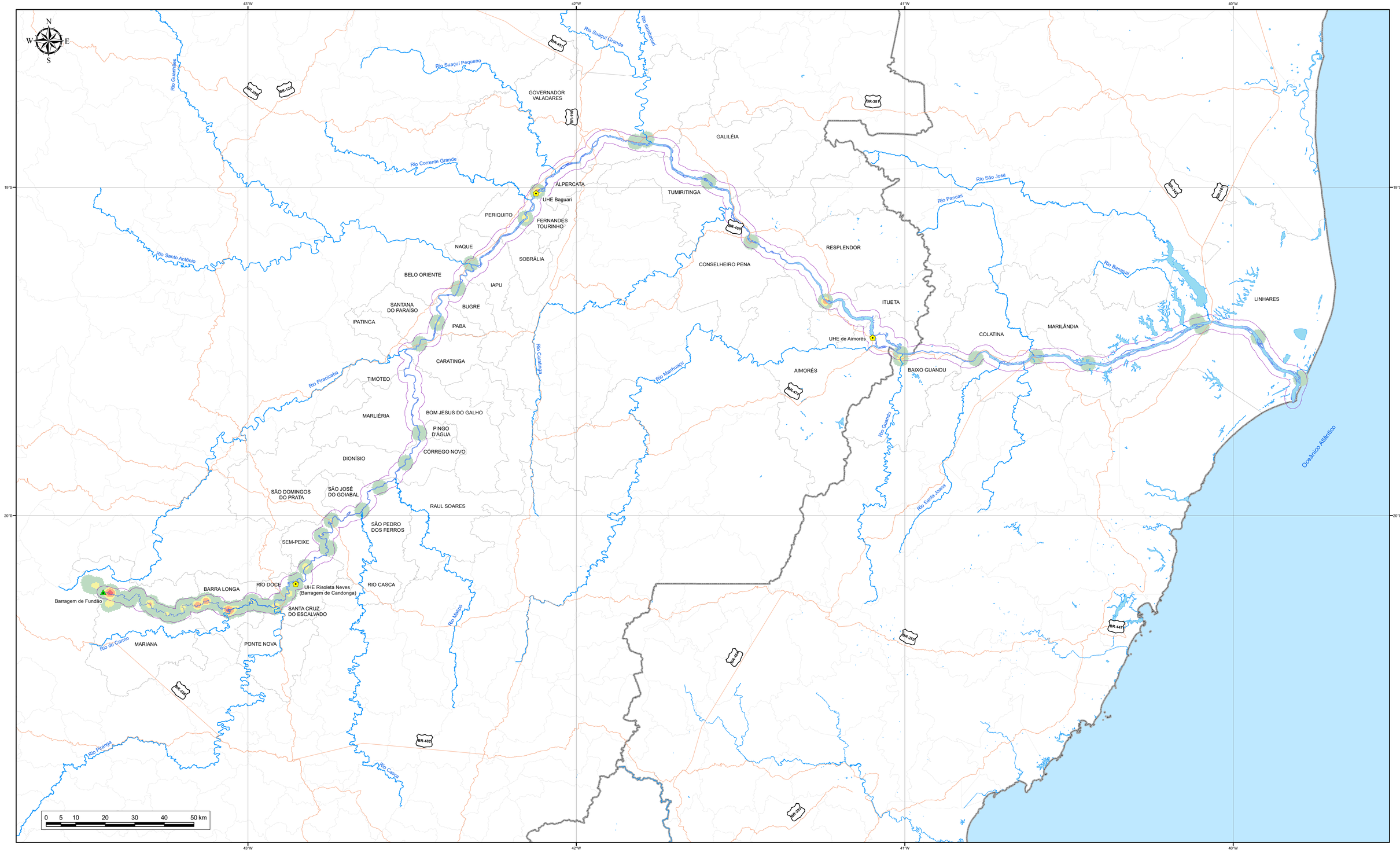
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 39 - ÍNDICE KERNEL PARA ZINCO EM SOLOS E REJEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0.0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Cr (mg/kg)

- 0 - 75
- 75 - 150
- 150 - 300
- 300 - 400

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

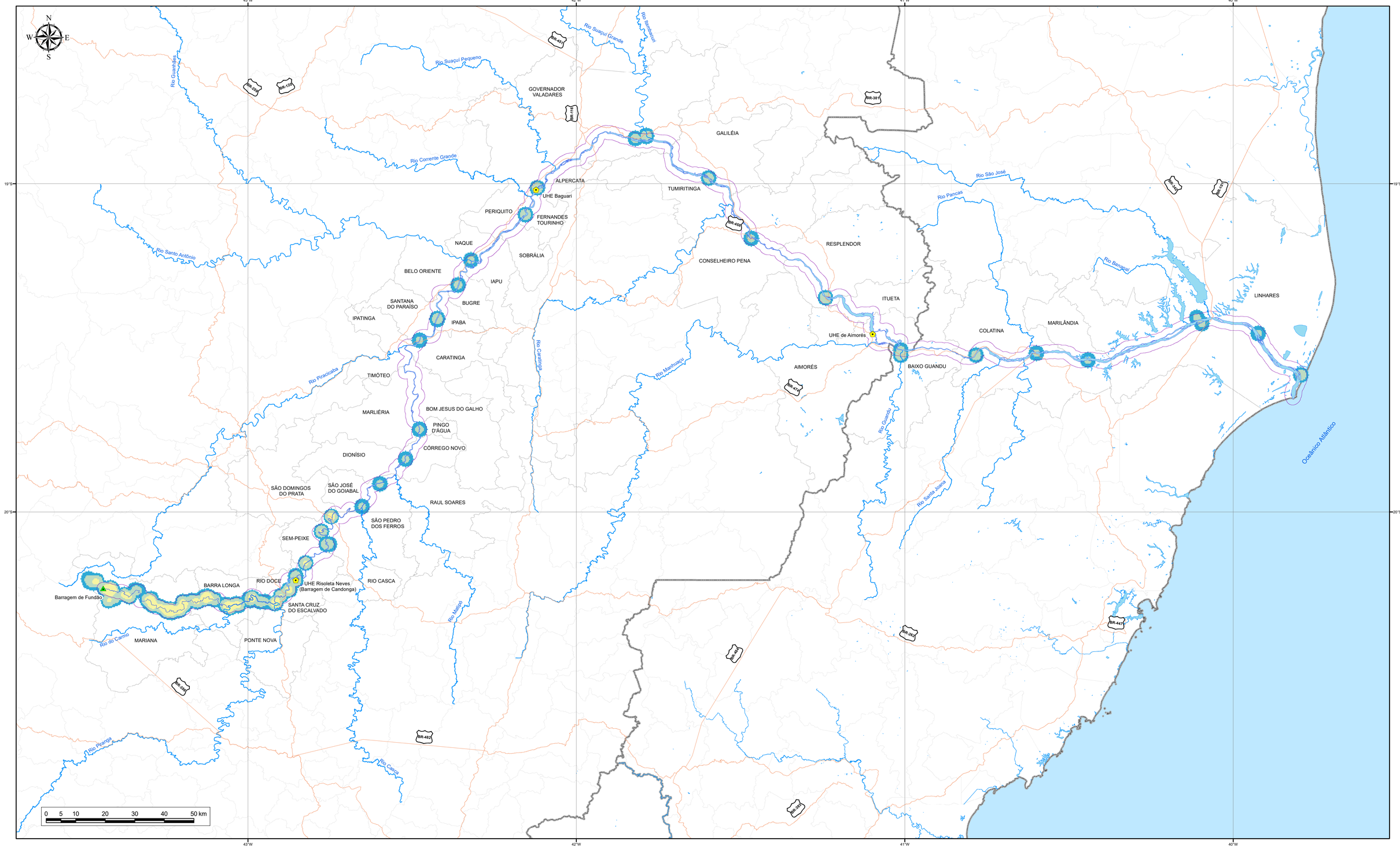
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 40 - ÍNDICE KERNEL PARA CROMO EM SOLOS E REJEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Hg (mg/kg)

- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,5
- 0,5 - 12
- 12 - 36
- 36 - 70

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

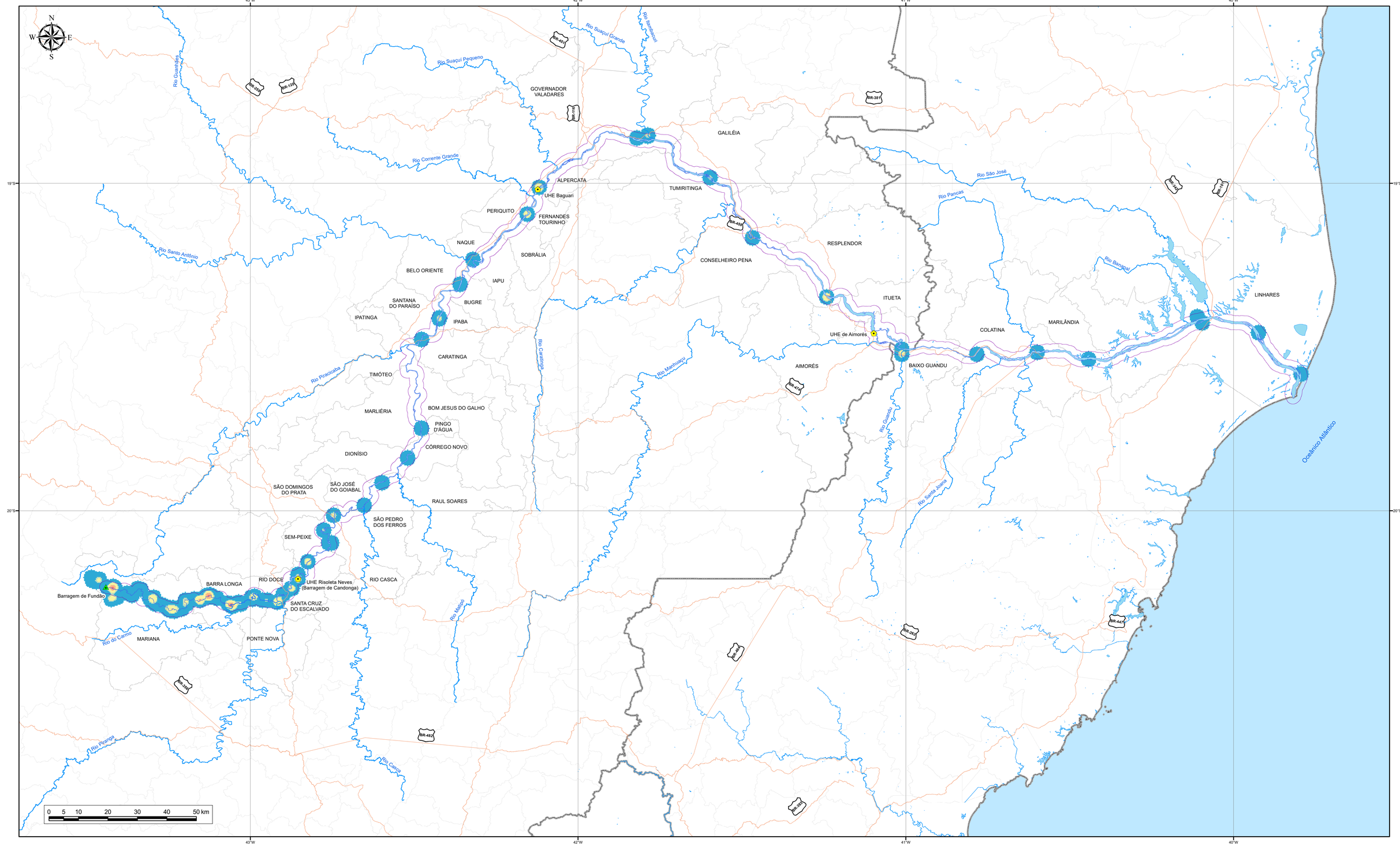
PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 41 - ÍNDICE KERNEL PARA MERCÚRIO EM SOLOS E REJEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.9.2.5 Níquel

A concentração de Ni (Figura 42 - Mapa Índice Kernel para Níquel em Solos e Rejeitos na Área de Estudo) esperada nos municípios do Trecho 1 é maior do que o VRQ, 21,5mg kg^{-1}, e o valor de prevenção (VP), 30 mg kg^{-1}, em alguns pontos. Dessa forma, a avaliação da presença desse elemento em áreas cultiváveis é de extrema importância. Apesar de ser um micronutriente, teores elevados de Ni podem ser tóxicos às plantas, resultando em perdas de qualidade na cultura. Outro ponto a ser considerado é o risco que esse metal representa à saúde humana, sobretudo às populações atingidas pela lama. Nesse trecho, predominam valores entre 5,7 mg kg^{-1} e 11,2 mg kg^{-1}, segundo Viglio e Cunha (2016). Na área próxima ao ponto de rompimento, os valores para Ni podem atingir 22,9 mg kg^{-1}, conforme os mesmos autores. Logo, abaixo do valor de prevenção.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Ni (mg/kg)

- 0 - 21,5
- 21,5 - 30
- 30 - 70
- 70 - 100
- 100 - 130

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 42 - ÍNDICE KERNEL PARA NÍQUEL EM SOLOS E REJEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.9.3 Análise do Índice Kernel para metais pesados em sedimentos

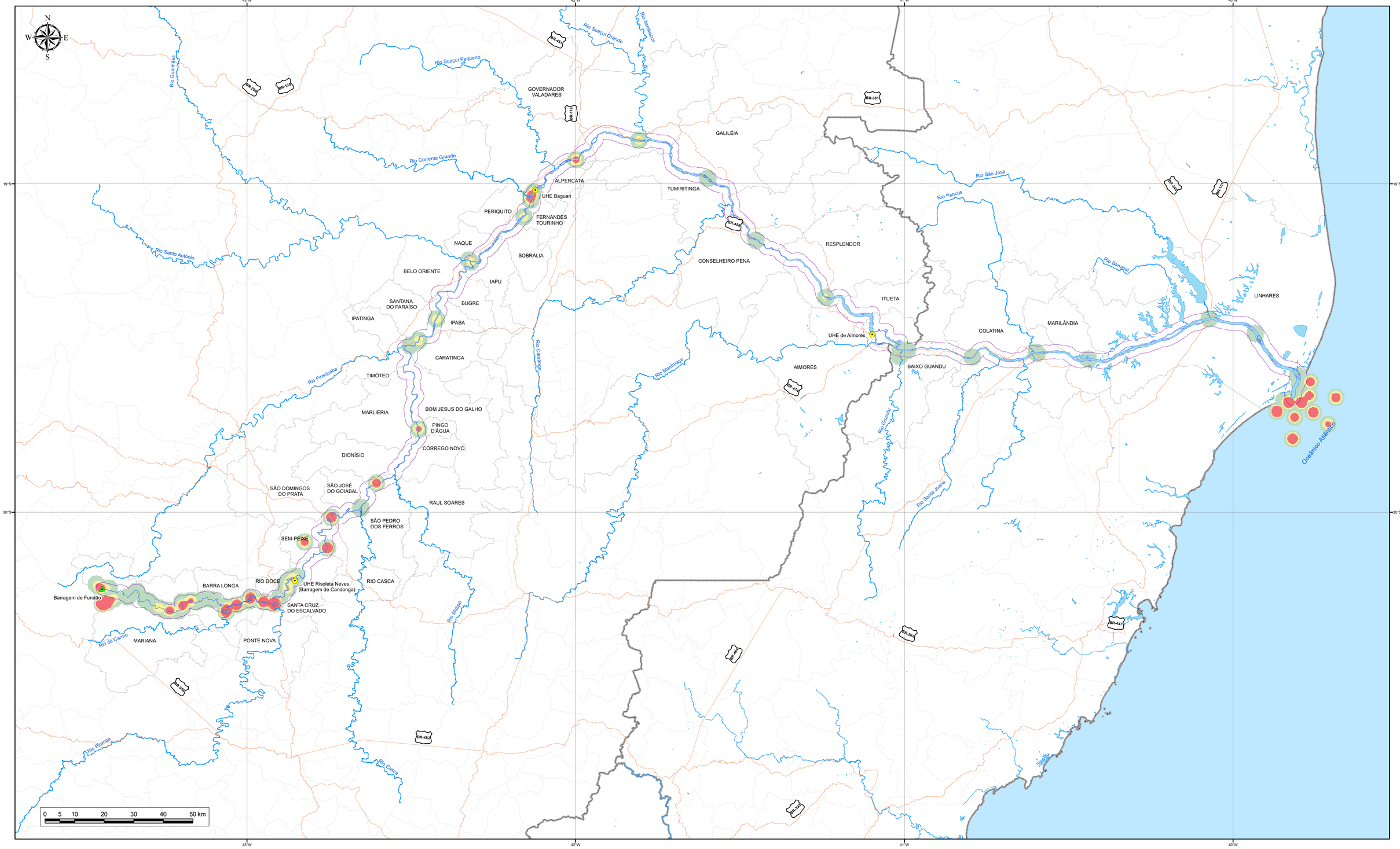
De maneira geral, a concentração de metais pesados nos sedimentos segue a mesma tendência de distribuição dos solos amostrados, exceto pela presença desses metais também na foz do Rio Doce, em consequência do arraste de material ao longo da calha do rio.

8.9.3.1 Arsênio

A probabilidade de ocorrência de As (Figura 43 - Mapa Índice Kernel para Arsênio em Sedimentos na Área de Estudo) em amostras de sedimentos coletados ao longo do Rio Doce segue a mesma tendência dos dados obtidos para solos. Sendo assim, maiores concentrações ocorrem nas regiões de Mariana e Barra Longa, locais diretamente atingidos pelo rompimento da Barragem do Fundão. As concentrações de As tanto para solo quanto para sedimento nesses pontos são similares, provavelmente em função da formação do material detrítico bem como da deposição deste nas margens dos cursos d'água afetados. Viglio e Cunha (2016) registram os maiores valores de As também nesse trecho, superiores a 17,0 mg kg^{-1}. O mesmo autor indica ocorrências pontuais no mesmo patamar nos municípios de Ipatinga e Belo Oriente. Esse fato reflete o caráter regional da influência dos teores naturais de As nas imediações do Quadrilátero Ferrífero.

Também foram avaliadas, pela Golder Associates (2017), amostras de sedimentos na foz do Rio Doce, ocasião em que se verifica a ocorrência de concentrações elevadas de As, acima de 44 mg kg^{-1}. Esse valor ultrapassa os limites impostos pela Resolução CONAMA 454/2012 para concentração de As em sedimentos, que são divididos em dois níveis, sendo o Nível I o limite inferior e Nível II o limite superior de comprometimento da biota aquática. No caso do elemento As, os valores são 5,9 mg kg^{-1} e17,0 mg kg^{-1}, respectivamente, para água doce e 19,0 mg kg^{-1} e 70 mg kg^{-1}, respectivamente, para águas salinas.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de As (mg/kg)

- 0 - 5,9
- 5,9 - 17
- 17 - 19
- 19 - 70

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 43 - ÍNDICE KERNEL PARA ARSÊNIO EM SEDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.9.3.2 Cobre, Chumbo, Cromo e Zinco

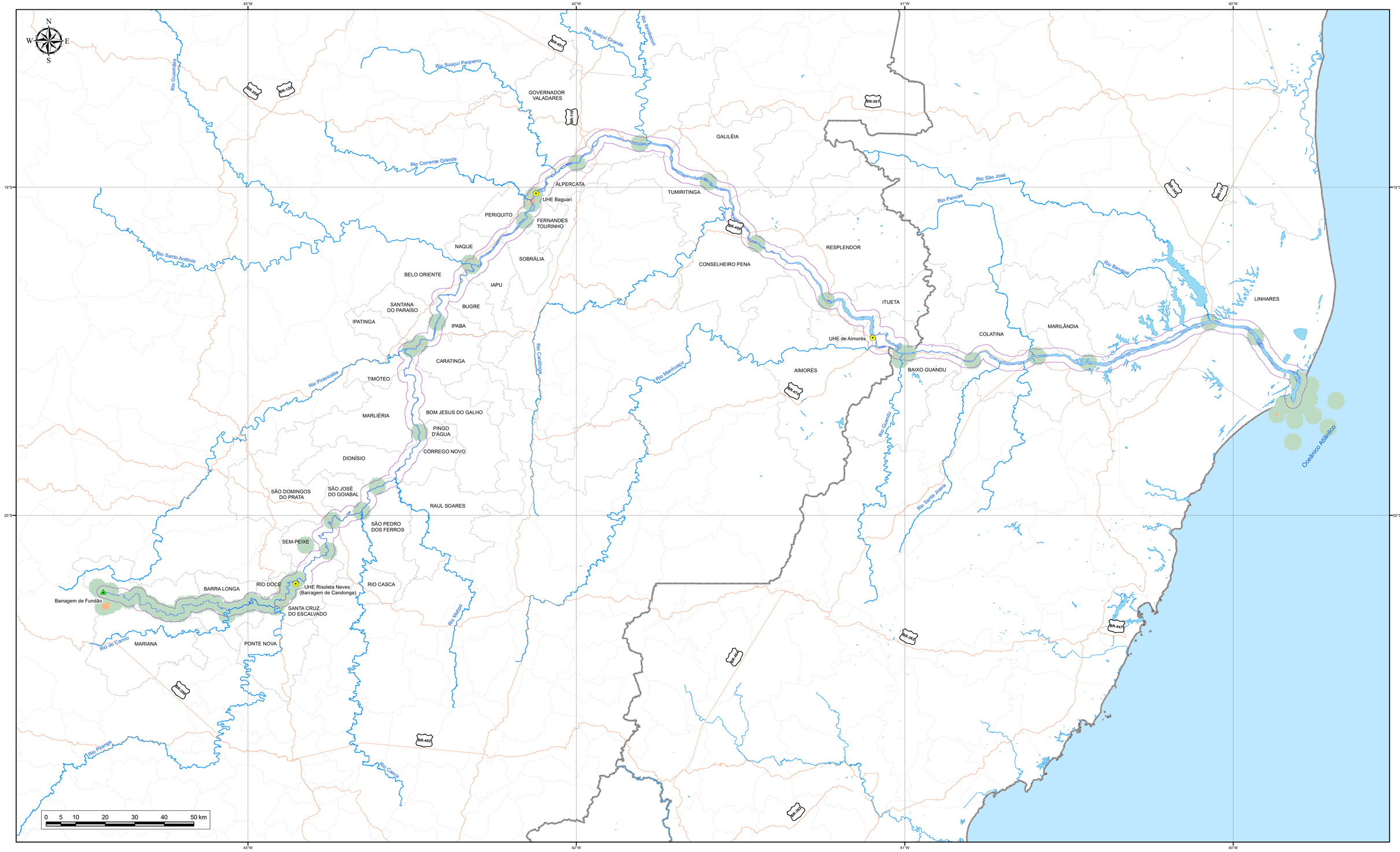
A concentração de Cu, Pb, Cr e Zn esperada para a região afetada é maior nos solos do que nos sedimentos analisados. A distribuição desses elementos ao longo dos sedimentos é similar à dos solos, sendo a maior concentração nos municípios de Mariana e Barra Longa (Figura 44 - Mapa Índice Kernel para Cobre em Sedimentos na Área de Estudo; Figura 45- Mapa Índice Kernel para Chumbo em Sedimentos na Área de Estudo; Figura 46 - Mapa Índice Kernel para Cromo em Sedimentos na Área de Estudo e Figura 47 - Mapa Índice Kernel para Zinco em Sedimentos na Área de Estudo).

Nos Trechos 1, 2 e 3, os valores de Cu apresentados por Viglio e Cunha (2016) para sedimentos foram superiores aos obtidos na análise Kernel, mostrando-se acima de 21,1 mg kg^{-1}. Os valores de Pb de Viglio e Cunha (2016) acompanharam essa tendência, também superando os valores da análise Kernel nos Trechos 2 e 3. Para o Cr, os valores indicados nos Trechos 1 e 2 por Viglio e Cunha, (2016) estão, predominantemente, acima daqueles apresentados pela Golder Associates (2017). Os resultados de Zn obtidos na análise Kernel apresentaram picos que superaram os valores de Viglio e Cunha (2016) na porção inicial do Trecho 1, entretanto, nos Trechos 2 e 3, o cenário anterior apresentado por esse autor mostrou valores superiores.

Para esses parâmetros, observou-se uma distribuição de valores elevada mesmo antes do evento de ruptura. Esse fato reflete a contribuição das ocorrências naturais desses elementos nas unidades geológicas da região, bem como a concentração destes por atividades antrópicas.

Espera-se também maior concentração de Cu, Pb, Cr e Zn nos sedimentos encontrados na foz do Rio Doce, em virtude do processo de arraste de sedimento de fundo do rio ao longo da área afetada.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Cu (mg/kg)

- 0 - 34
- 34 - 35,7
- 35,7 - 197
- 197 - 270

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

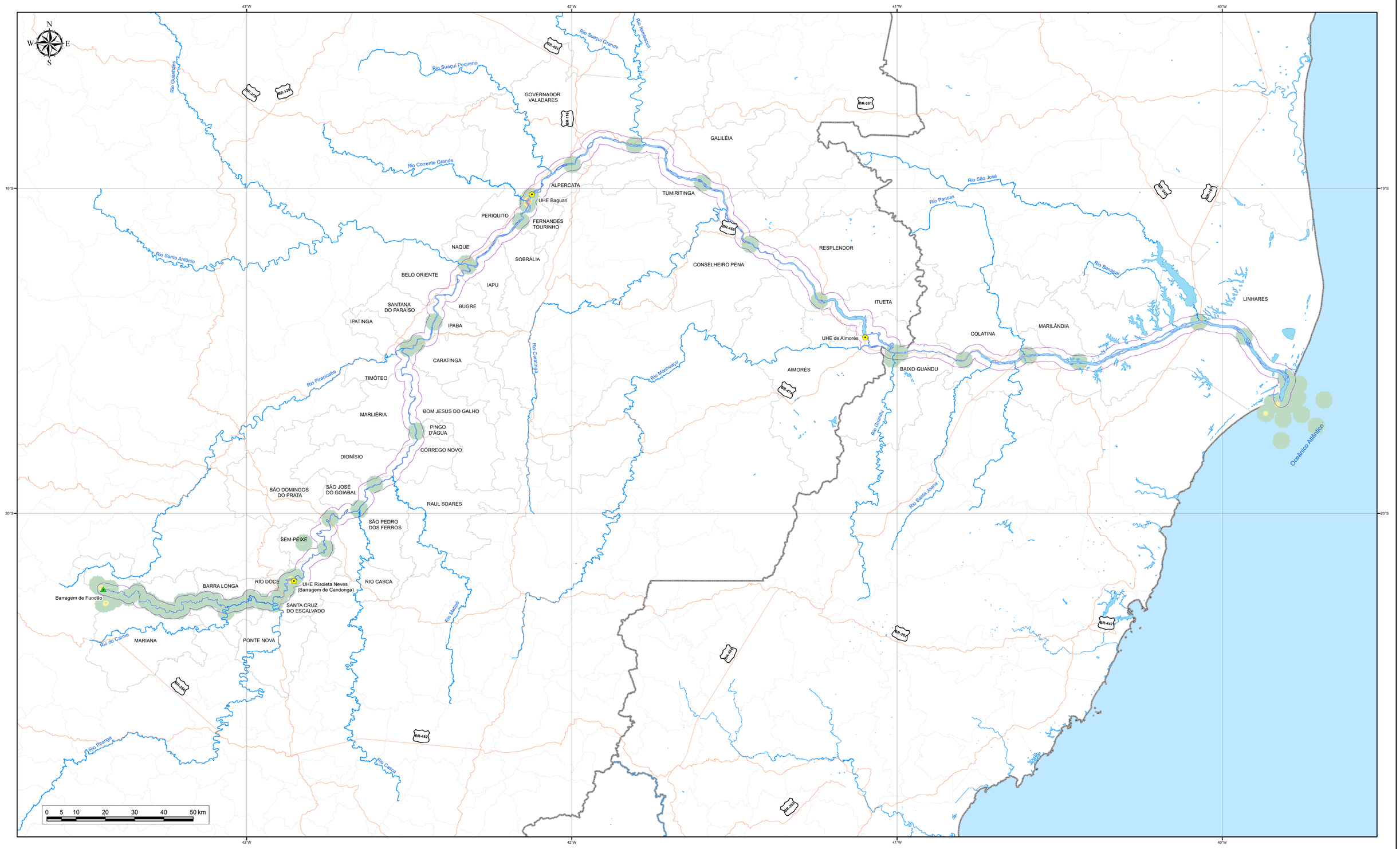
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 44 - ÍNDICE KERNEL PARA COBRE EM SEDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Pb (mg/kg)

- 0 - 35
- 35 - 46,7
- 46,7 - 91,3
- 91,3 - 218

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

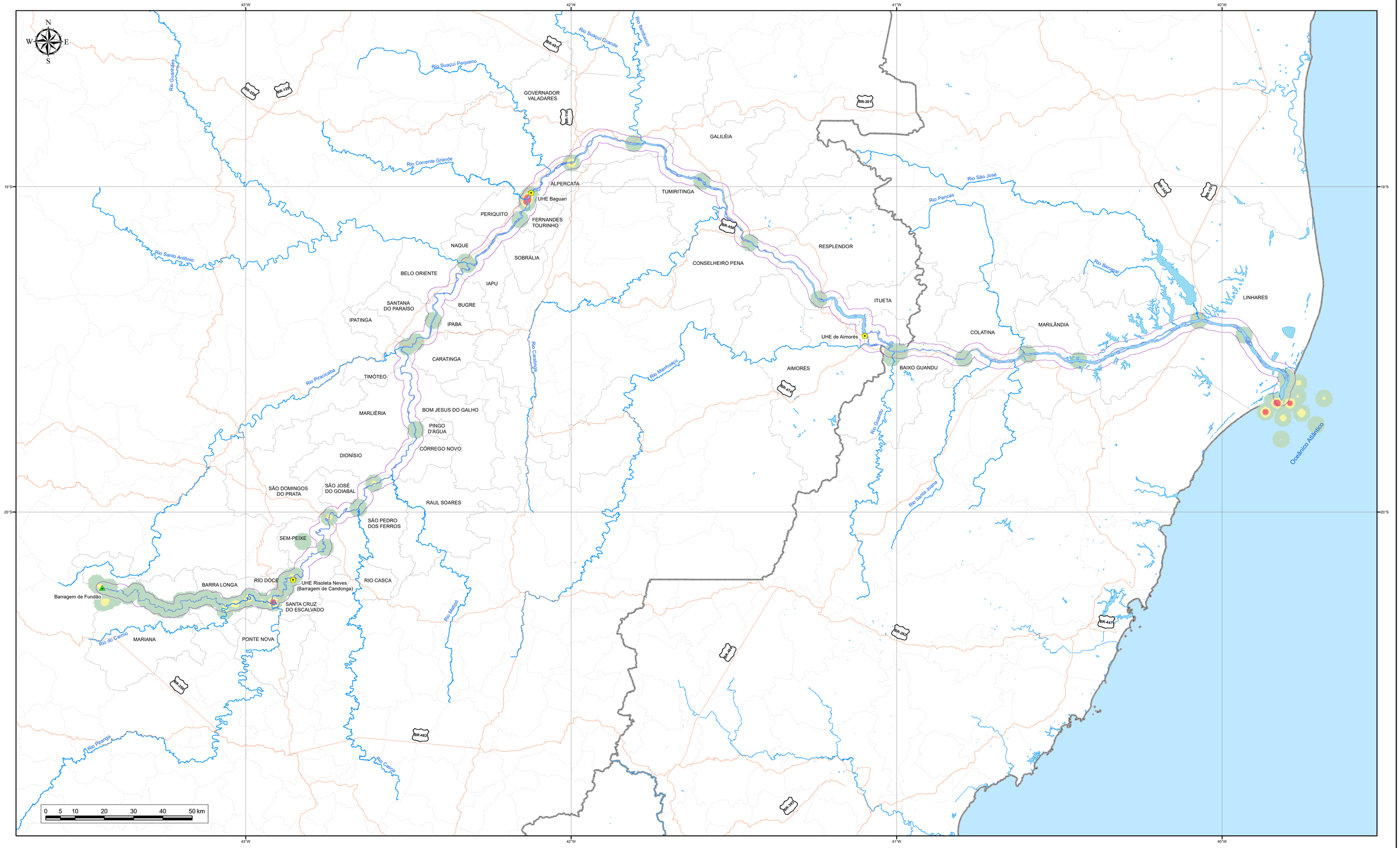
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 45 - ÍNDICE KERNEL PARA CHUMBO EM SEDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Cr (mg/kg)

- 0 - 37,3
- 37,3 - 81
- 81 - 90
- 90 - 370

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

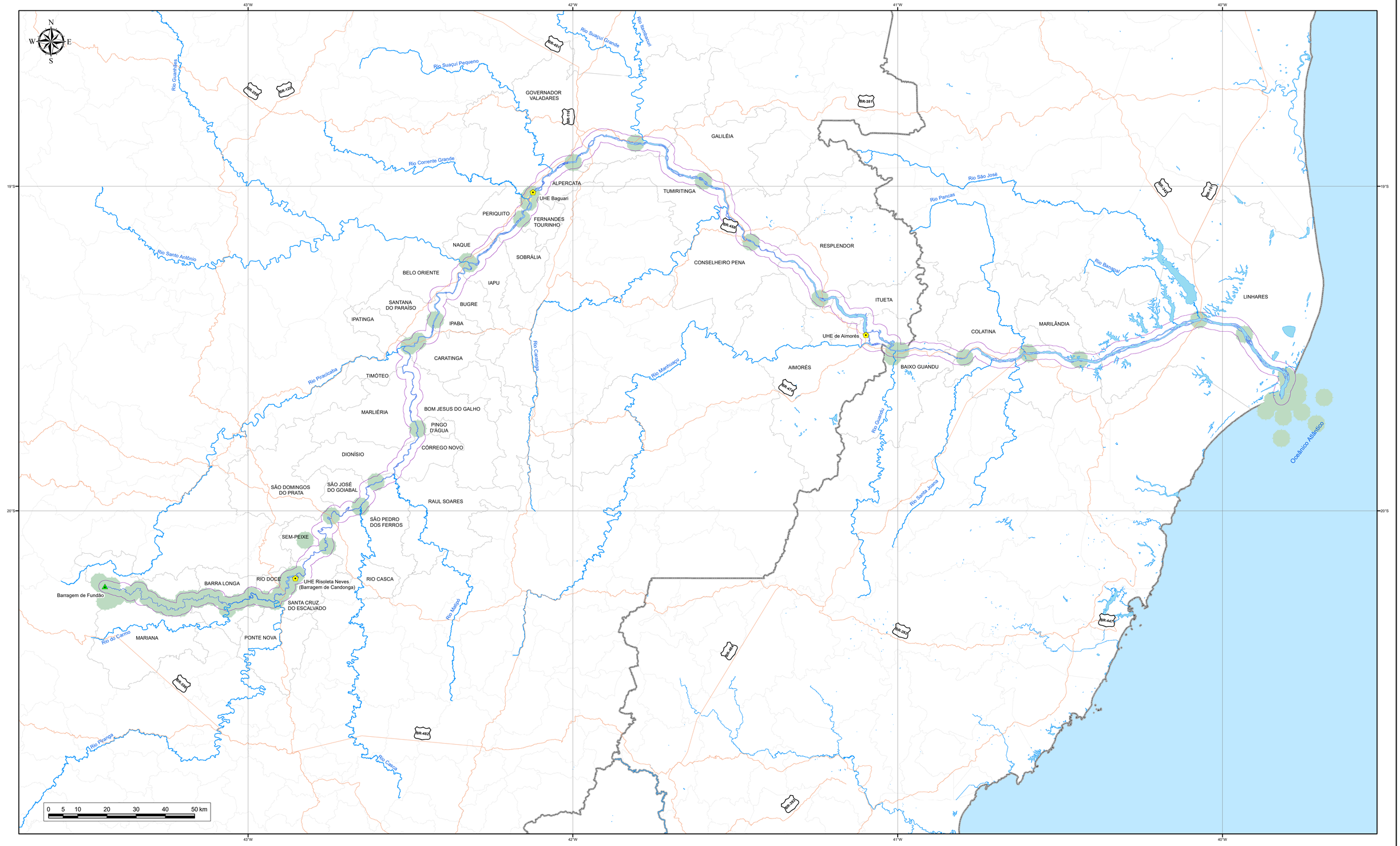
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 46 - ÍNDICE KERNEL PARA CROMO EM SEDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Zn (mg/kg)

- 0 - 123
- 123 - 150
- 150 - 315
- 315 - 410

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 47 - ÍNDICE KERNEL PARA ZINCO EM SEDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

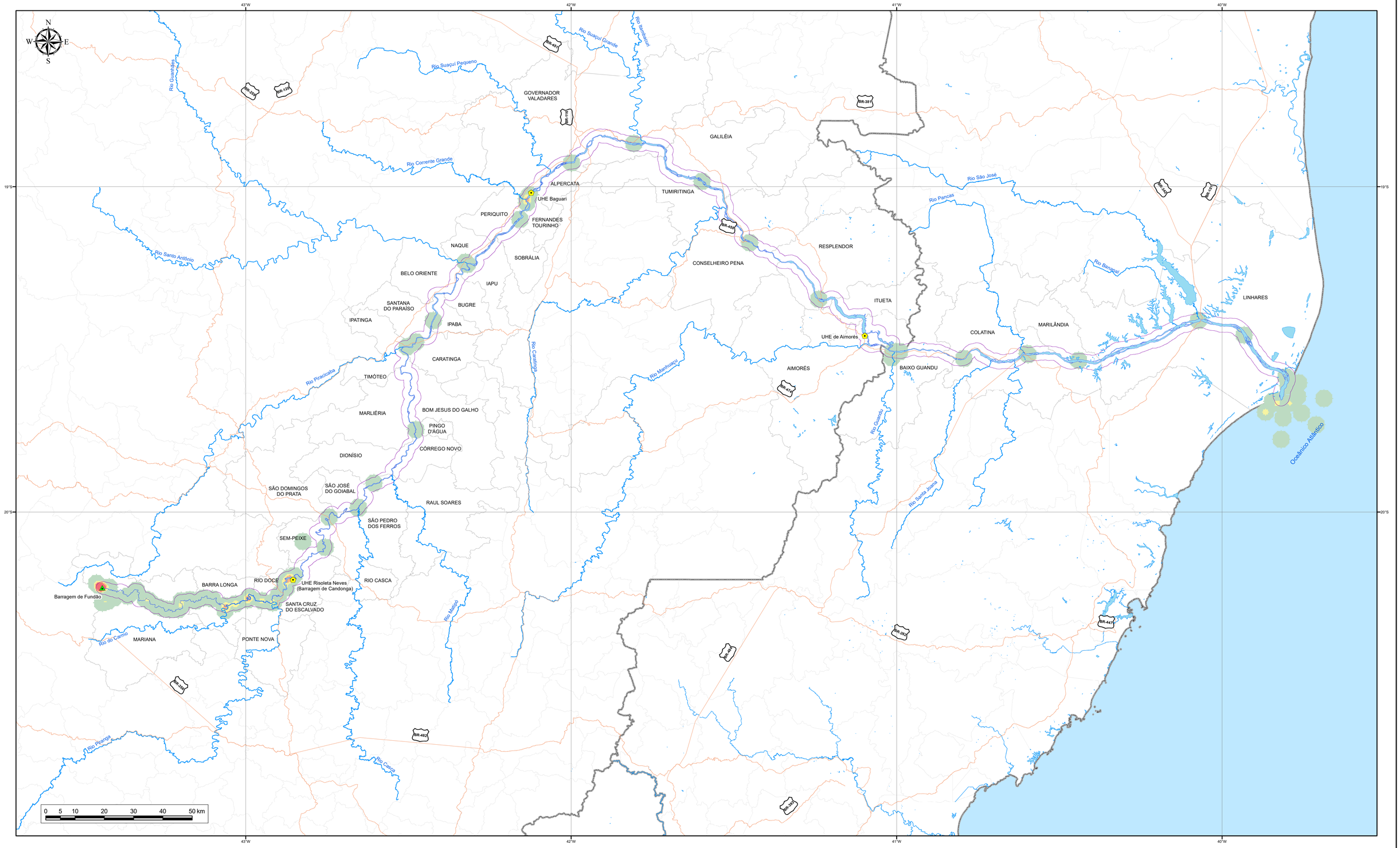
8.9.3.3 Mercúrio

A concentração de Hg (Figura 48 - Mapa Índice Kernel para Mercúrio em Sedimentos na Área de Estudo) em sedimentos percorre o mesmo trajeto dos solos amostrados, sendo os valores esperados também similares de acordo com as classes de concentração estabelecidas. Os resultados apresentados por Viglio e Cunha (2016) foram, predominantemente, concordantes com aqueles obtidos na análise realizada. Observa-se, no entanto, a presença desse elemento em teores elevados na foz, região rica em sedimentos oriundos de toda a bacia hidrográfica.

8.9.3.4 Níquel

Os pontos de ocorrência de maiores concentrações de Ni (Figura 49 - Mapa Índice Kernel para Níquel em Sedimentos na Área de Estudo) no sedimento se encontram nas mesmas regiões de ocorrência de elevados teores em solos, embora nestes a concentração esperada seja maior. Os teores de Ni no sedimento encontram-se dentro dos níveis I e II estabelecidos pela resolução, que são: 18 e 35,9 mg kg^{-1}, para água doce, e 20,0 e 51,6 $mgkg^{-1}$, para água salina (Mapa de Concentração de Níquel em Sedimentos na Área de Estudo). Na porção inicial do Trecho 1, os valores apresentados por Viglio e Cunha (2016) indicam, inclusive, valores superiores aos dos levantamentos da Golder Associates (2017). Esse fato reflete a presença desse elemento em teores acima de 30,8 mg kg^{-1} antes da ruptura, quer seja por contribuição natural (geogênica) quer seja por antrópica, ou ambas.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Hg (mg/kg)

- 0 - 0,17
- 0,17 - 0,3
- 0,3 - 0,486
- 0,486 - 1

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

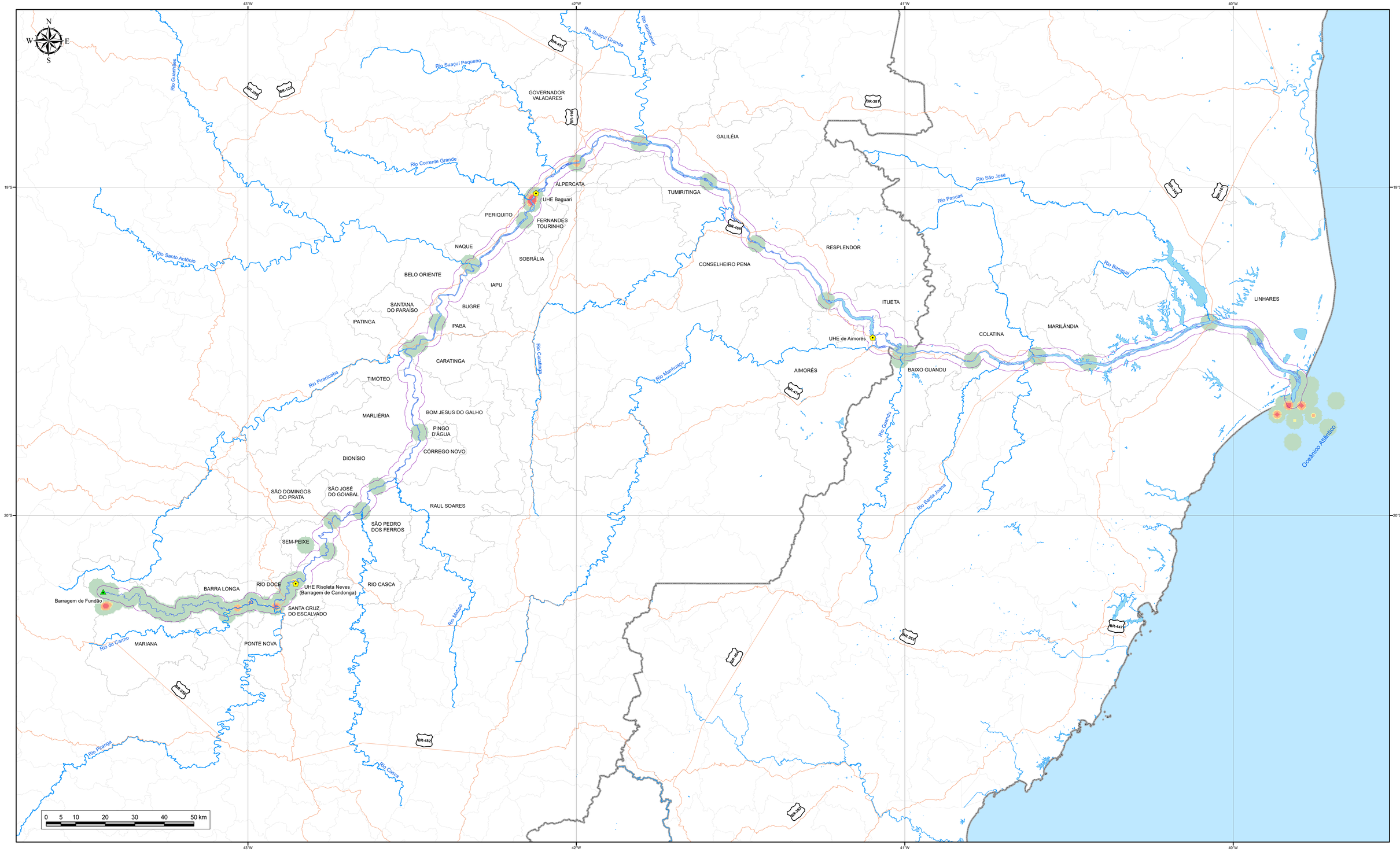
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 48 - ÍNDICE KERNEL PARA MERCÚRIO EM SEDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

2 - BASE DE DADOS DE GEOQUÍMICA: GOLDER ASSOCIATES, 2018.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Resultados de Ni (mg/kg)

- 0 - 18
- 18 - 20,9
- 20,9 - 35,9
- 35,9 - 51,6

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 49 - ÍNDICE KERNEL PARA NÍQUEL EM SEDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

8.10 Histórico da atividade e impactos aos recursos naturais

No Brasil Colonial, no período de 1530 a 1822, a exploração para obtenção do ouro se limitou à extração por meio de ouro de aluvião, com o emprego de mão de obra escrava e de técnicas rústicas para o garimpo do ouro encontrado na superfície da terra ou em leitos dos rios. Nessa época já era visível a forma como a exploração deixava a paisagem degradada. É possível encontrar vestígios dos trabalhos primitivos que eram realizados, inclusive na própria cidade de Ouro Preto. Montanhas com encostas fracionadas fornecem a confirmação dos impactos da atividade na região (AZEVEDO, 2007).

Históricos de atividades minerárias no Quadrilátero Ferrífero já vêm sendo relatados assim como os impactos gerados ao ambiente e, em geral, à superfície. Em exemplos já citados, importantes para a compreensão dos impactos gerados desde então, predominou a extração de ouro nos aluviões, cujo período inicial é definido por técnicas de garimpo rústicas, que ainda são encontradas na região (GOLDER ASSOCIATES, 2017).

Durante esse período, por volta de 1810, Ludwig von Eschwege, também conhecido como Barão de Eschwege, chegou ao Brasil com a necessidade de diagnosticar o estado da mineração brasileira e fornecer soluções práticas e modernas, assim como avaliar outros recursos minerais que ainda não tinham explorados, sugerindo novas formas de aproveitamento (DA SILVA, 1995).

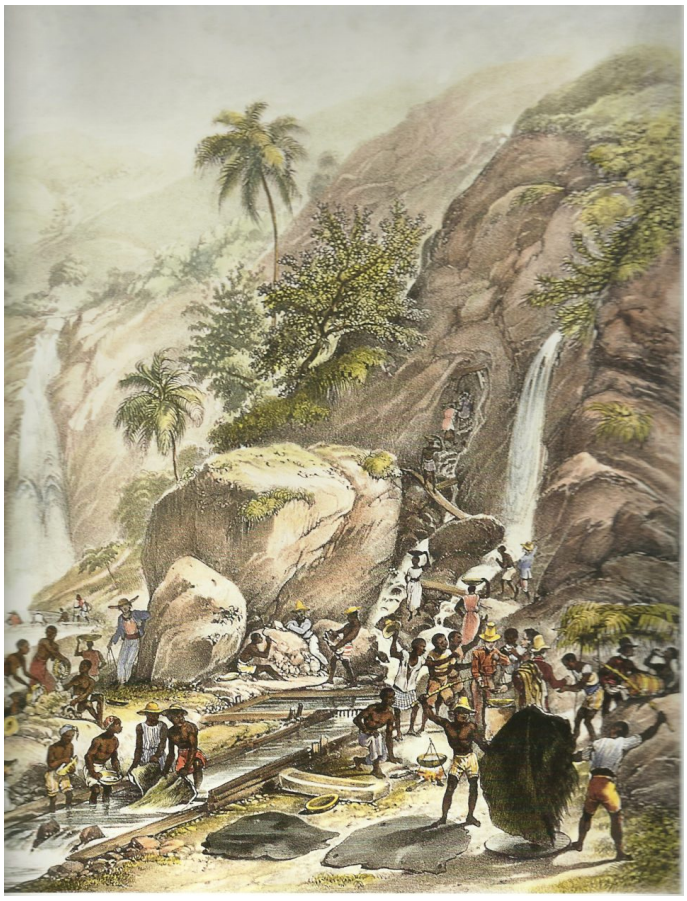
Considerada a exploração mais impactante para a sub-bacia do Ribeirão do Carmo, durante a operação da mina, a extinta Companhia Mina de Passagem de Mariana, que funcionou no período de 1874-1973, trabalhava com cerca de 4 milhões de toneladas de estéreis com arsênio e metais pesados que foram lançados naquela época diretamente no rio (GOLDER ASSOCIATES, 2017).

Os relatos dos naturalistas que passaram pela região trazem informações importantes da dinâmica da extração do ouro. Dentre eles, destacam-se Spix e Martius (1981), que percorreram o Brasil entre os anos de 1817 e 1820. Relatam que no arraial de Bento Rodrigues, que possui uma região montanhosa, grande parte do seu solo era coberta pela formação de minério de ferro e de ouro, dando evidências de algumas atividades dos faiscadores pela quantidade encontrada de fossos e trincheiras que estavam abertas. Nessa mesma região, encontrava-se ouro em várias partes da terra, na argila vermelha, por cima do xisto quartzítico, ocorrência destacada no caminho pela Estrada Real, que leva à cidade de Mariana, localizada ao sul de Bento Rodrigues.

Esses mesmos naturalistas relataram que, na fundição, o ouro encontrado na região tomava uma cor amarelada bem clara, possivelmente pela proporção de pirolusita, arsênico e antimonita, e pouco de platina. Relataram a riqueza das minas, onde o metal era extraído moendo-se as pedras com pilões (SPIX; MARTIUS, 1981).

Segundo Azevedo (2007), esses trabalhos de extração eram totalmente manuais quando realizados nos leitos dos rios. O ouro era extraído pelos trabalhadores dentro das águas, com estacas afiadas, com as quais remexiam a água e a areia depositada no fundo do rio. Posteriormente, procediam, também de forma manual, à separação dos grãos de ouro que foram encontrados. Para esses trabalhos realizados nos rios, assim como os em vales de montanhas, utilizavam o método de catas, que consistia nessas escavações até atingir o cascalho e o material de interesse (Figura 50).

Figura 50 - "Lavagem do minério de ouro, proximidades da montanha de Itacolomi"



Fonte: Johann Moritz Rugendas, aquarela sobre papel (1835).

A partir de algumas análises, Costa (2007) indica que estudos foram incentivados nessa região para avaliação dos efeitos da exploração centenária de ouro. Na cidade de Mariana, por

exemplo, são encontrados rejeitos de garimpo de ouro contendo minerais sulfetados, como arsenopirita, pirita e pirrotita. Esses foram lançados diretamente em um dos afluentes do Rio Gualaxo do Norte, por mais de 200 anos.

Rodrigues (2015) relata que foram abordados em estudos diferentes a avaliação do impacto que o mercúrio utilizado na concentração do ouro vem causando. A atividade de garimpo emprega o uso desse elemento há anos, já documentada historicamente.

9 Resultado da Análise dos Dados

Para fins didáticos, a revisão dos estudos existentes está organizada em Análise de Água; Análise de Rejeito e Solo e Análise de Parâmetros Foliares (material vegetal), detalhados na sequência.

9.1 Análise de Estudos sobre Água

Para esta análise foram utilizados como referência os dados da versão anterior do "Estudo para identificação de áreas de irrigação ao longo do Rio Doce, Gualaxo, Ribeirão do Carmo e outros cursos d'águas afetados", e no Relatório do Programa de Monitoramento Qualiquantitativo Sistemático (PMQQS), emitidos pela Fundação Renova. A Resolução Conama nº 357, de 17 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". Segundo as disposições dessa legislação, as águas doces são classificadas segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, cujas classes variam de Especial, 1, 2, 3 e 4. Já o enquadramento visa ao estabelecimento de metas ou objetivos de qualidade de água a serem alcançados ou mantidos por um determinado corpo de água. Neste contexto o uso destinado para a atividade de irrigação é citado em diferentes restrições nas classes 1, 2 e 3.

A Resolução nº 91/2008 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos indica que o processo de elaboração da proposta de enquadramento deverá ser desenvolvido em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia. Atualmente, o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, de jun/2010, define que, com exceção da sub-bacia do Rio Piracicaba, os demais afluentes da bacia do Rio Doce não possuem enquadramento. Sendo assim, na ausência dessa classificação, a maior parte dos cursos d'água da Área de Estudo se enquadram na Classe 2, sendo esta a referência para os limites e padrões a serem analisados neste trabalho.

> III - classe 2: águas que podem ser destinadas:
> a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
> b) à proteção das comunidades aquáticas;
> c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
> d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
> e) à aquicultura e à atividade de pesca (CONAMA, 2005, p, 4).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) disponibilizou, em 2010, o manual "Qualidade da água de irrigação", em que cada elemento químico e físico é analisado individualmente quanto aos limites estabelecidos para uso do recurso no processo de irrigação das culturas:

> O conjunto de parâmetros a serem considerados na avaliação da qualidade da água para a irrigação deve contemplar o conjunto de características físicas, químicas e biológicas que definem sua adequação ou não para o uso. Habitualmente as determinações que se realizam na água são: Potencial Hidrogênico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Total de Sais Dissolvidos (TSD), íons: sódio (Na+), potássio (K+), cálcio (Ca++), magnésio (Mg++), cloretos (Cl-), sulfatos (SO++), carbonatos (CO3--) e bicarbonatos (HCO3-). Por sua toxicidade manifesta, é conveniente analisar o íon boro (B+). (ALMEIDA, 2010, p.11)

O manual da Embrapa define ainda outros parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos com o potencial de entupimentos dos sistemas de irrigação e de intoxicação das culturas agrícolas através da interface água-solo-vegetais, indicando os riscos que podem oferecer para a cadeia de atividades agronômicas. Para o estudo em tela, incluiu-se ainda o parâmetro de Sólidos em Suspensão, considerando a sua relevância especialmente para os sistemas de irrigação localizados de alta frequência.

Quando as coletas ocorrerem em poços utilizados para irrigação, as análises também serão confrontadas com os valores máximos permitidos pela Resolução Conama nº 396/2008, a qual dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Em contribuição ao planejamento deste trabalho, a Fundação Renova disponibilizou diversos estudos e relatórios elaborados desde o rompimento, inclusive monitoramentos realizados em caráter emergencial. Sabe-se que parte dos estudos elaborados está vinculada à execução dos diversos Programas vinculados ao TTAC, assinado em função do rompimento da Barragem do Fundão, ocorrido em 05/nov de 2015. Dentre eles, programas envolvendo monitoramentos hídricos, os quais vêm sendo realizados com metodologias e finalidades distintas.

A princípio, a metodologia deste trabalho não favorece comparativos com análises anteriores, muito menos a alimentação de dados de séries históricas (ex: IGAM, IEMA), que retroagem o rompimento da barragem. O critério de locação dos pontos de amostragem não prevê, *a priori*, coletas nos mesmos pontos amostrados em outros monitoramentos. No entanto,

os resultados de monitoramentos anteriores poderão ser referenciados no contexto das águas usadas para irrigação, e oportunamente, correlacionados com as análises de qualidade da água acerca do objetivo deste trabalho.

9.1.1 Relação chuva/sólidos/irrigação

O incremento de chuvas representa um dos principais fatores naturais de alteração no aporte de partículas sólidas presentes nos corpos hídricos. O grande volume de água drenado pela bacia concentra-se nas calhas principais, elevando a energia no corpo hídrico, carreando mais sedimentos e suspendendo aqueles que se encontravam depositados. Diante disso, os dados de sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais, analisados no PMQQS, foram compilados e comparados com séries históricas de precipitação na Área de Estudo. Esses parâmetros físicos, juntamente com o pH da água, impactam tanto o aspecto mecânico do sistema como os do manejo cultural.

Os dados de precipitação foram obtidos através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e abrangem a série histórica do período de janeiro de 1970 a janeiro de 2018 para quatro estações pluviométricas inseridas na bacia do Rio Doce: Conceição do Mato Dentro, Viçosa, Caratinga e Aimorés. Foram determinados os valores médios de precipitação por mês abrangendo os mesmos meses monitorados pelo PMQQS. Os dados seguem no Quadro 12:

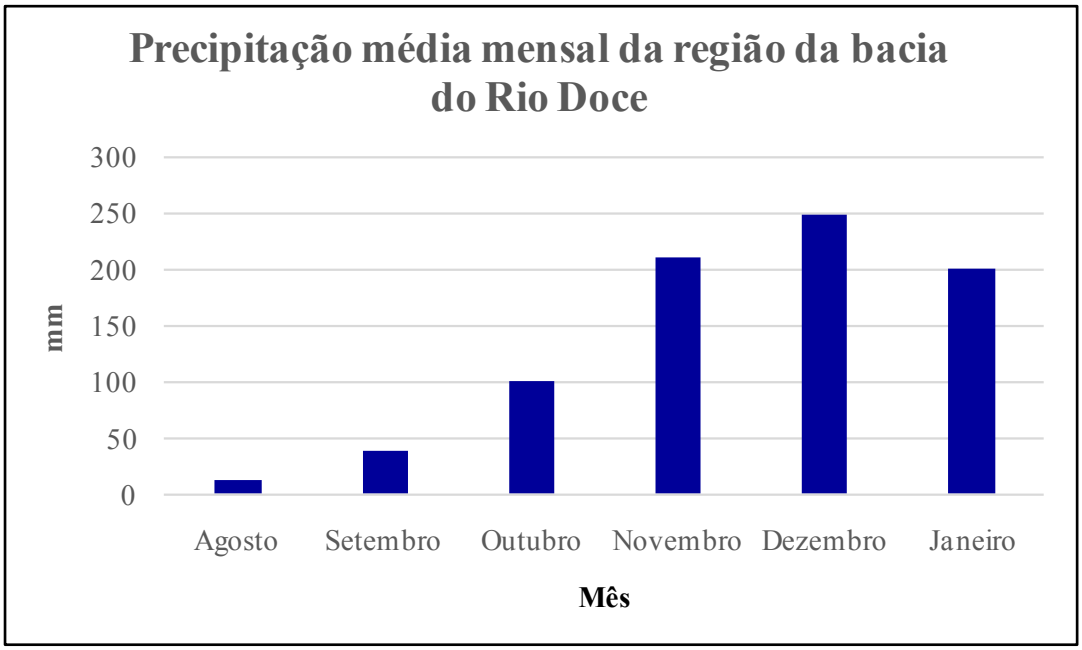
Quadro 12 - Precipitação Média por Mês (em mm) - Série 1970-2018

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL – mm (ESTAÇÕES INMET)				
	CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO	VIÇOSA	CARATINGA	AIMORÉS	MÉDIA DA REGIÃO DA BACIA DO RIO DOCE
Agosto	9,98	12,92	11,18	15,88	12,49
Setembro	35,83	49,69	36,26	32,42	38,55
Outubro	115,71	106,32	86,93	92,71	100,42
Novembro	239,62	207,9	198,2	190,55	209,07
Dezembro	290,87	242,39	250,01	212,6	248,97
Janeiro	233,39	212,61	193,46	157,12	199,15

Fonte: INMET (2018).

O Gráfico 6 apresenta os valores médios de precipitação na região do Rio Doce entre os meses consolidados.

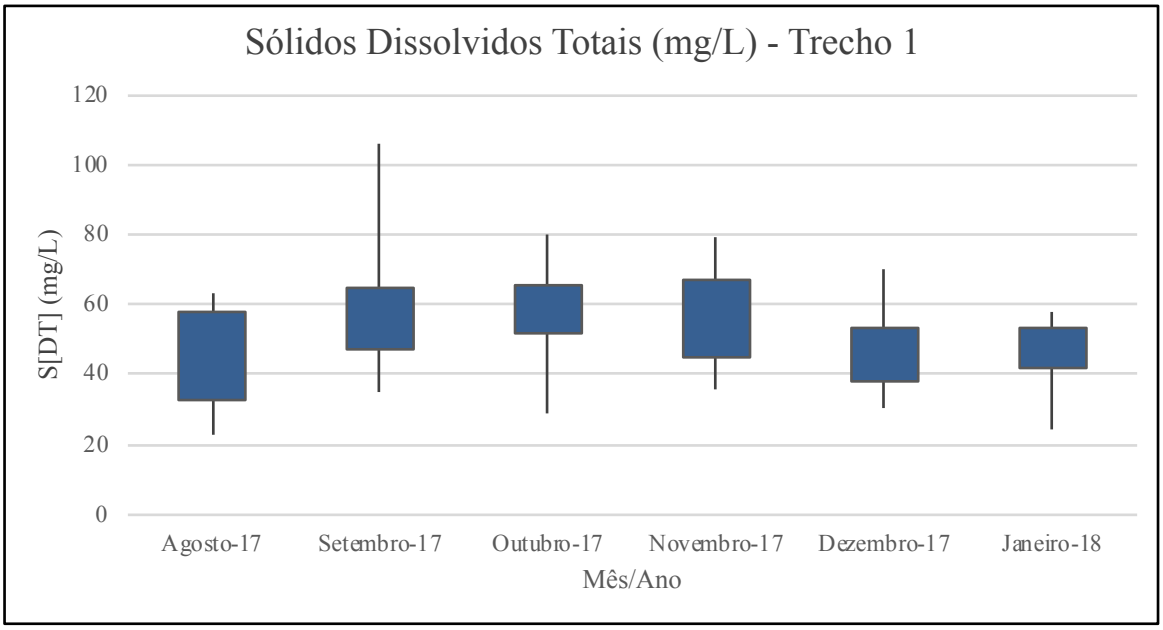
Gráfico 6 - Precipitação mensal (em mm) - Série 1970-2018.



Fonte: INMET (2018).

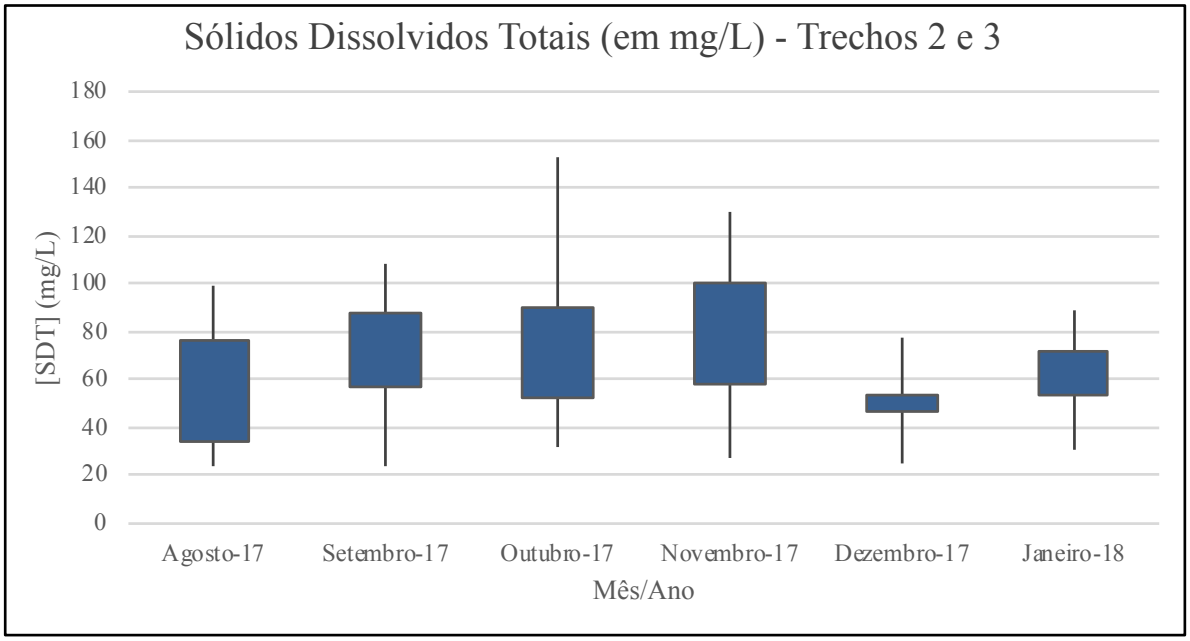
A avaliação agronômica dos resultados das análises de sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e pH fazem parte do escopo deste trabalho. Esses dados foram agrupados nos trechos Fundão-Candonga, Rio Doce-MG e Rio Doce-ES, conforme demonstrado no item "Área de Estudo", e representados nos Gráficos 7, 8 e 9.

Gráfico 7 - Sólidos Dissolvidos Totais (em mg/L) – Trecho Fundão-Candonga



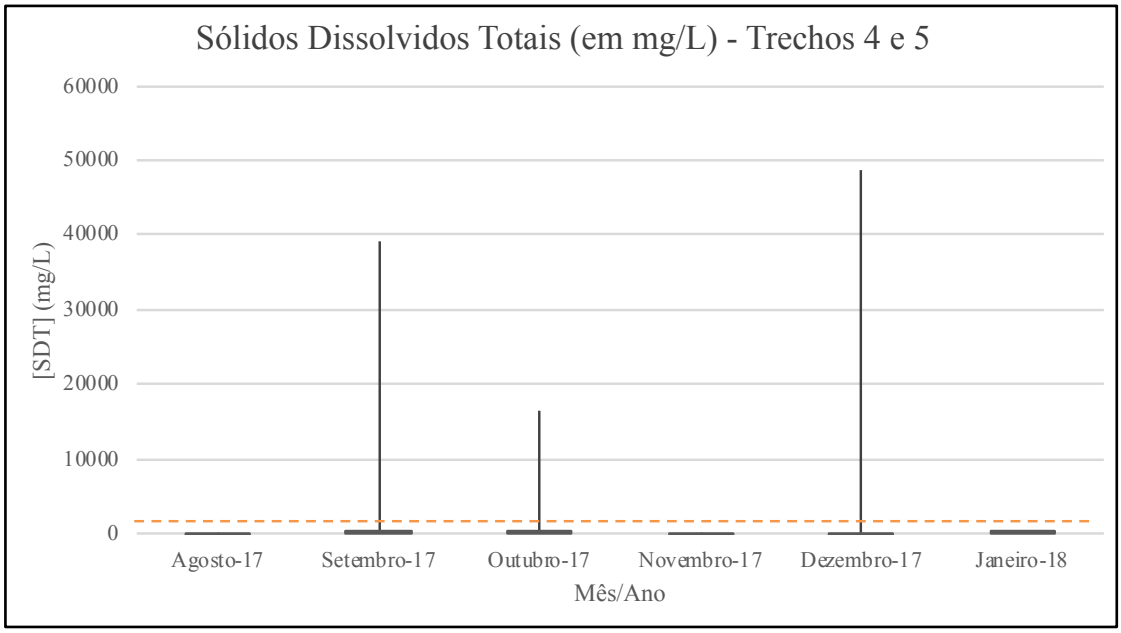
Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).
*O limite para os Sólidos Dissolvidos, segundo Conama nº357/05, expresso em 500,0 mg/L, muito superior aos limites encontrados nas análises (retirado para melhorar a visualização dos dados).

Gráfico 8 - Sólidos Dissolvidos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - MG



Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).
*O limite para os Sólidos Dissolvidos, segundo Conama nº357/05, expresso em 500,0 mg/L, muito superior aos limites encontrados nas análises (retirado para melhorar a visualização dos dados).

Gráfico 9 - Sólidos Dissolvidos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - ES



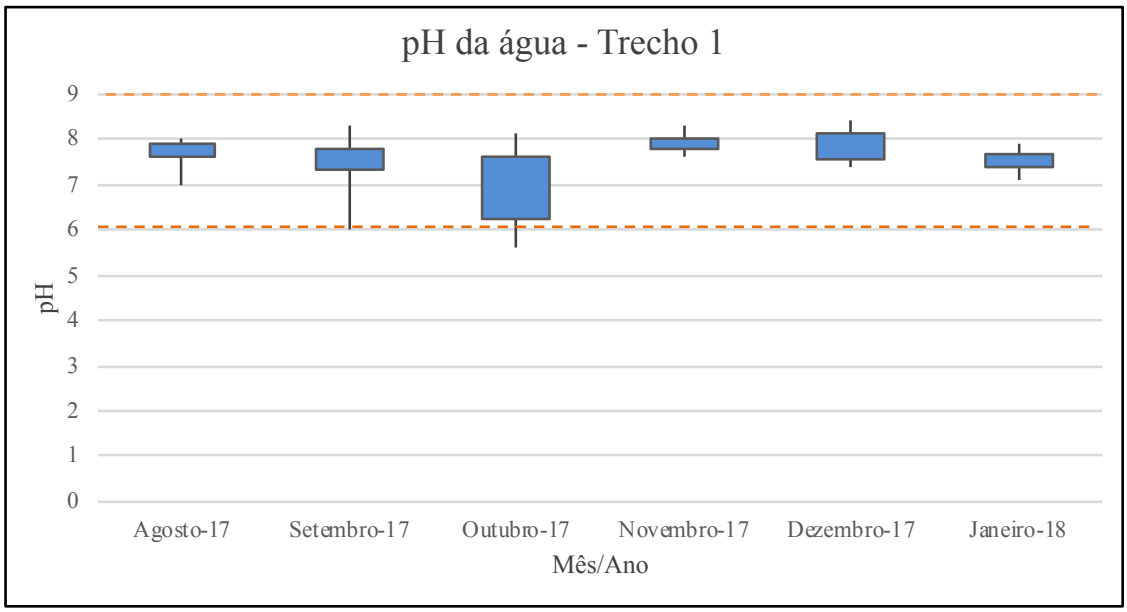
Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 500 mg/L

Conforme apresentado nos Gráficos 07, 08 e 09, os valores de sólidos dissolvidos totais mostraram-se mais elevados nos meses de setembro, outubro e novembro de 2017, apresentando picos nesses meses e também em dezembro. Esses resultados não podem ser única e diretamente associados aos eventos de precipitação na bacia, uma vez que se concentram significativamente em setembro e outubro, meses de menor pluviosidade, podendo ocorrer fatores diversos que propiciem tais elevações.

Chama atenção o fato de que a demanda por águas captadas nos cursos d'água analisados, nesses períodos de menor pluviosidade, é elevada, a fim de atender às necessidades das lavouras. As maiores demandas representam um maior aporte de sólidos dissolvidos no sistema vegetal e no solo, transmitindo-lhes os nutrientes e os eventuais contaminantes que porventura ali existam. Também elevam o risco de precipitação de minerais que conduzam à obstrução de passagem de água em determinados sistemas de irrigação.

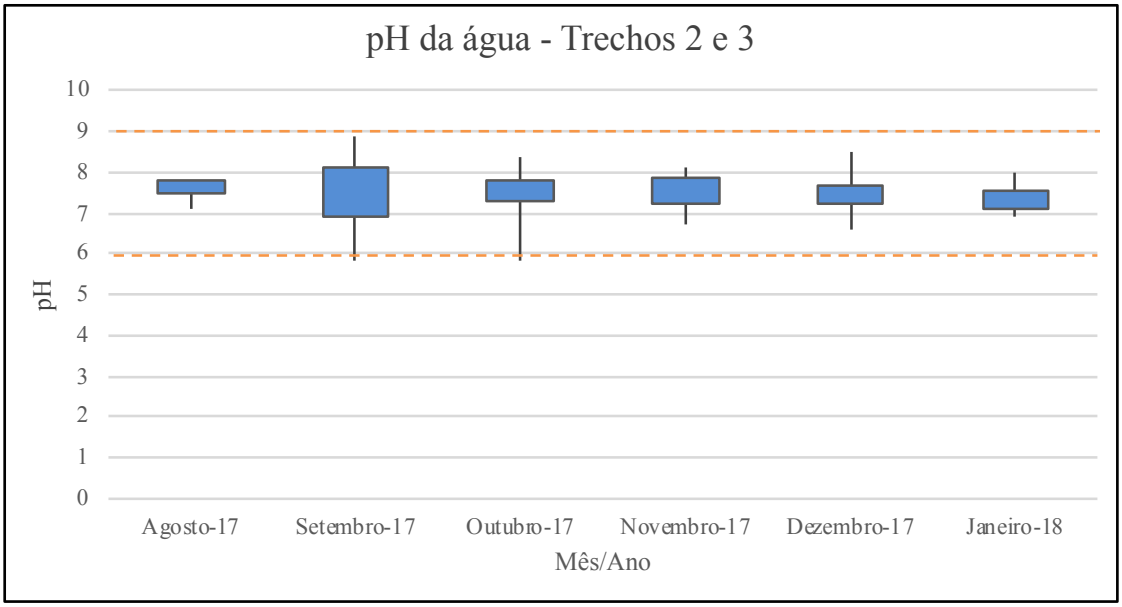
Como pode ser observado nos Gráficos 10, 11 e 12, os valores de pH mantiveram-se aproximadamente constantes ao longo dos meses estudados, ocorrendo uma maior variabilidade nos meses de agosto e dezembro de 2017. Em um primeiro momento, a única correlação possível entre os resultados de pH e os dados de precipitação é a maior amplitude dos resultados do mês de dezembro em relação às maiores pluviosidades registradas. Os valores do pH variaram entre 6 e 8, mantendo uma tendência mais básica.

Gráfico 10 –pH da água – Trecho Fundão-Candonga



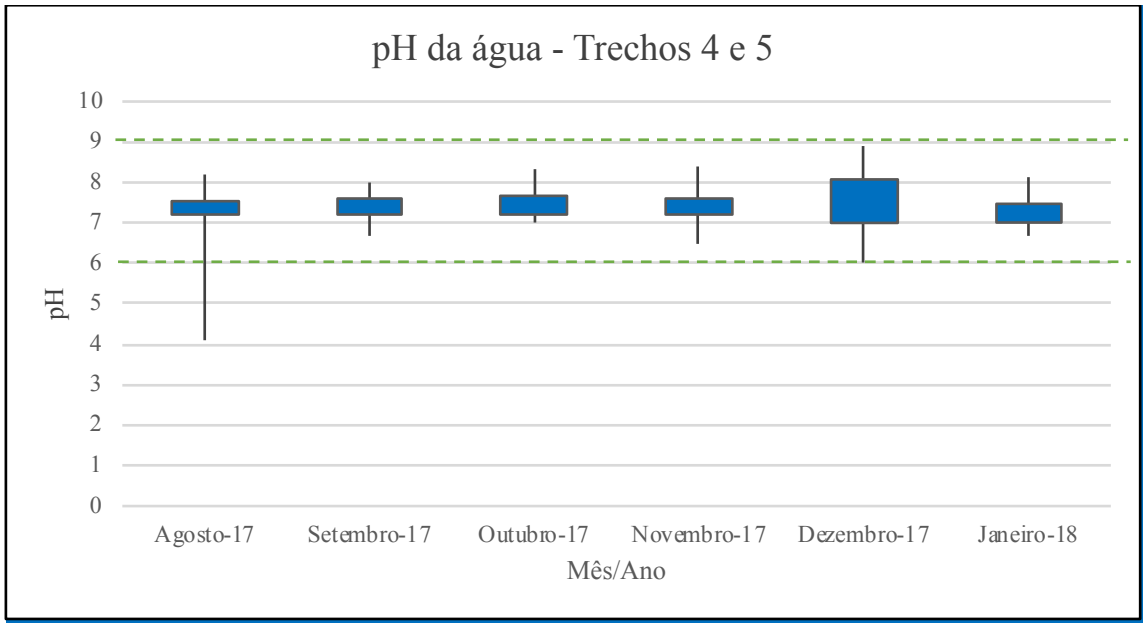
Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).
*Limite Conama 357/05 = 6 a 9

Gráfico 11- pH da água – Trecho Rio Doce - MG



Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).

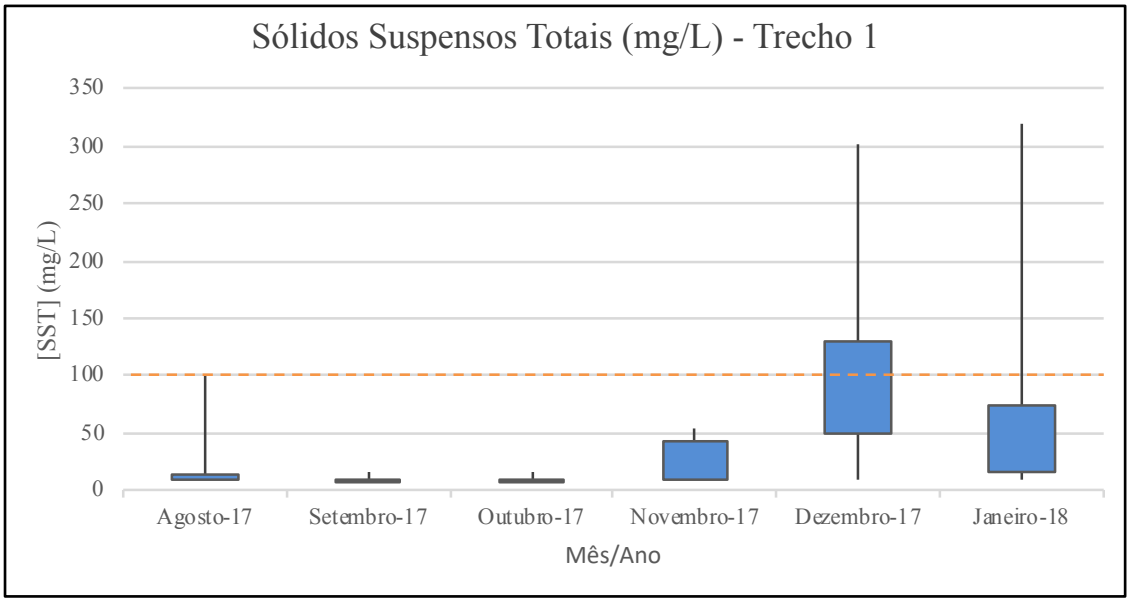
Gráfico 12- pH da água– Trecho Rio Doce - ES



Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).

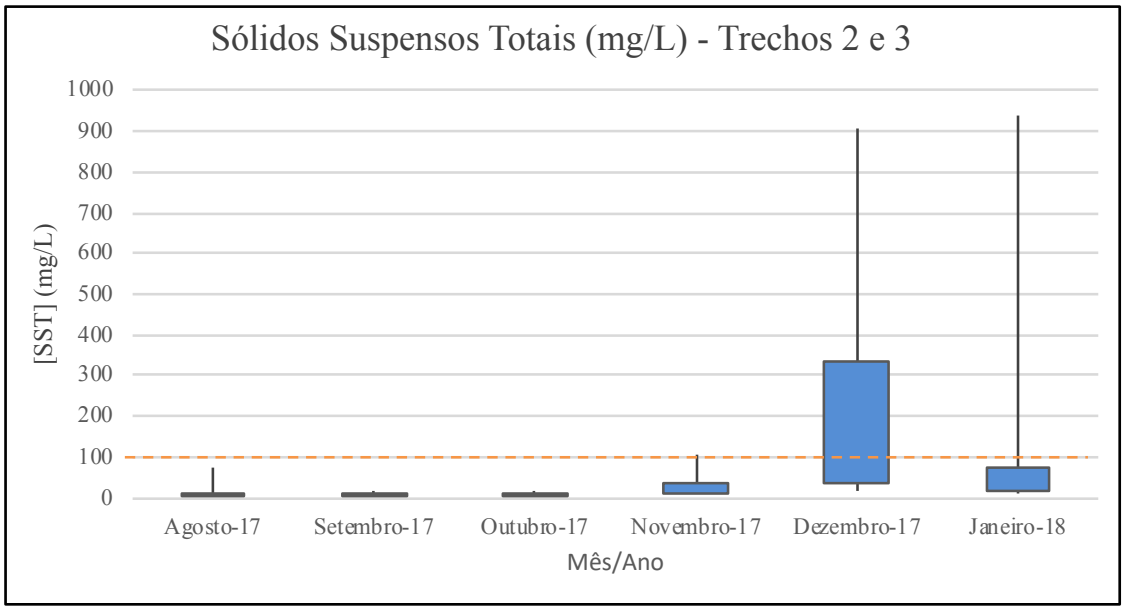
Como pode ser observado nos Gráficos 13, 14 e 15, o nível de sólidos suspensos totais se elevou nos meses chuvosos, especialmente em dezembro de 2017 e janeiro de 2018, exibindo picos potencialmente relacionados às grandes chuvas ocorridas nesse período. A elevação nos valores de sólidos suspensos constitui um problema para os sistemas de irrigação que realizam captação nos cursos d'água avaliados, uma vez que resultam em desgaste de equipamentos e entupimentos de aspersores e sistemas de gotejamento. Contudo, não é possível atribuir ao rompimento da Barragem do Fundão a existência de tais índices. É necessário comparar/avaliar um espectro temporal mais amplo dos parâmetros da qualidade da água do Rio Doce, utilizando-se de dados de monitoramento do IGAM.

Gráfico 13- Sólidos Suspensos Totais (em mg/L) – Trecho Fundão-Candonga



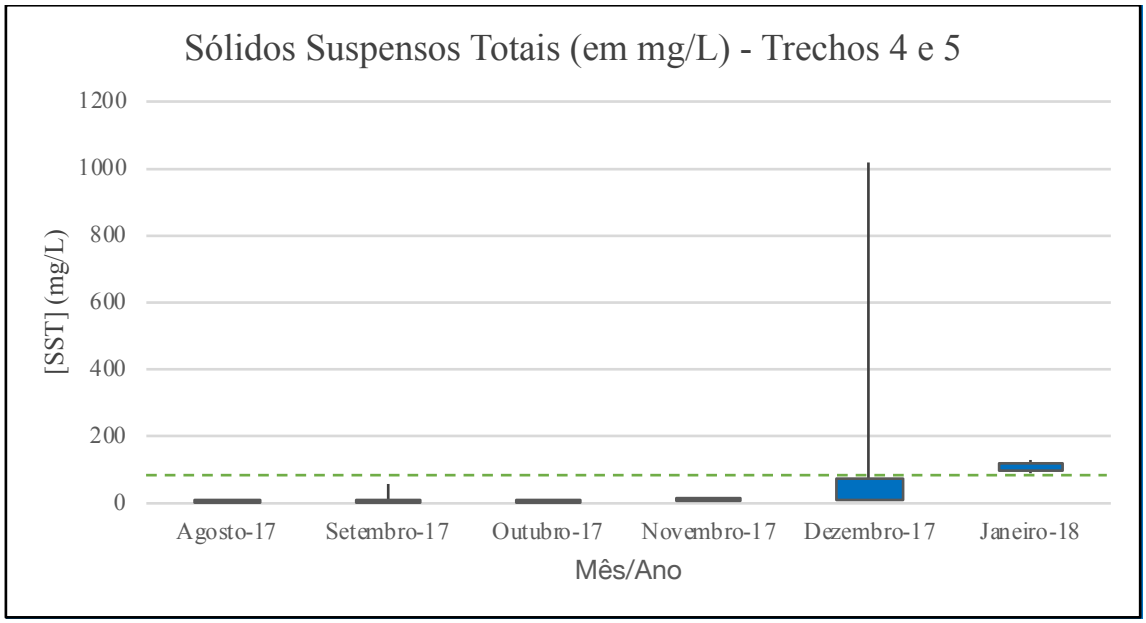
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Copam 01/08 = 100 mg/L

Gráfico 14 - Sólidos Suspensos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - MG



Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).
*Limite Copam 01/08 = 100 mg/L

Gráfico 15 - Sólidos Suspensos Totais (em mg/L) – Trecho Rio Doce - ES



Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).
*Limite Copam 01/08 = 100 mg/L

O que se pode observar, tanto para sólidos suspensos quanto para sólidos dissolvidos, é que as primeiras precipitações da estação chuvosa acarretam contribuições significativas para o transporte e dissolução de sólidos acumulados durante a estação seca. Cabe destacar que para sólidos dissolvidos, em média, há um aumento da concentração desses no período seco, em detrimento a picos de concentração elevadas no período chuvoso. Entretanto, é desconhecido o quanto essas chuvas representam em percentual de revolvimento de sedimentos ou dissolução de sólidos no decorrer do ano hidrológico. A hipótese que deve ser considerada, no contexto dos sistemas de irrigação, é a maior sobrecarga mecânica quanto ao aumento de sólidos suspensos e maior transporte de metais pesados pela água, tanto em função desse parâmetro quanto em função do parâmetro de sólido dissolvido. De modo significativo, as chuvas posteriores possuem alta representação na geração de sedimentos por erosão hídrica, embora suas contribuições também sejam desconhecidas e inestimáveis neste trabalho.

Processos erosivos podem ser desencadeados ao longo de uma estação chuvosa por diferentes variáveis de um território. Os modelos de cálculos de perda de solo por erosão hídrica nos permitem refletir sobre as contribuições ocorridas nos períodos que se deseja analisar. A Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER et al., 1978) considera a ação combinada de inúmeros fatores característicos de cada bacia hidrográfica. A erosividade das chuvas, a erodibilidade dos solos, dados topográficos, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas são fatores que influenciam na perda de solo da bacia hidrográfica, refletindo

diretamente no assoreamento dos corpos d'água. Portanto, além da conjectura sobre a influência das primeiras precipitações da estação, demais fatores, quando inter-relacionados, com posse de dados pluviométricos detalhados, podem remeter a outros vislumbres acerca da formação do sedimento na calha afetada, assim como à ressuspensão e dissolução de sólidos. Essa dinâmica foi e continua sendo impactada, em algum grau, pela dinâmica de transporte de rejeitos e metais pesados provocada pelo rompimento da Barragem do Fundão.

9.1.2 Análise dos resultados obtidos na primeira versão do estudo de áreas irrigadas

Na primeira versão do estudo de áreas irrigadas, foi realizada a análise da qualidade da água para irrigação ao longo do Rio Doce tendo como base os dados coletados pela empresa Samarco na região, desde a data do rompimento. Esses dados são coletados em 22 pontos na bacia do Rio Doce, desde o município de Barra Longa/MG até o município de Regência/ES.

Foram utilizados, como parâmetros para o estudo, aqueles preconizados pela Embrapa, que determinam a qualidade da água para uso na irrigação. Consideraram-se também como parâmetros os elementos presentes no rejeito. Analisaram-se, assim, os seguintes parâmetros: Potencial Hidrogênico (pH), Condutividade Elétrica, Sólidos Dissolvidos, Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio, Cloretos, Sulfatos, Carbonatos, Bicarbonatos, Boro, Ferro, Manganês, Turbidez, Alumínio Dissolvido, Nitrato e Cobre. Os parâmetros foram analisados tendo como referência os limites determinados na resolução do CONAMA 357/2015 e no manual "Qualidade da água de irrigação", disponibilizado pela Embrapa em 2010, sendo encontrados os seguintes valores (Quadro 13):

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

Quadro 13 -Valores médios dos parâmetros analisados na primeira versão do estudo de áreas de irrigação

PARÂMETRO	VALOR MÉDIO	LIMITE	UNIDADE
pH	6,2 a 8,2	6,0 a 9,0	-
Condutividade Elétrica	0 a 1000	3000	µS/cm
Sólido Dissolvido	0 a 400	500	mg/L
Potássio	2 a 10	2	mg/L
Cloreto Total	0 a 100	250	mg/L
Sulfato Total	0 a 100	250	mg/L
Boro	0 a 0,3	0,5	mg/L
Ferro Total	0 a 40	5	mg/L
Ferro Dissolvido	0 a 5	0,3	mg/L
Manganês	0 a 12	0,1	mg/L
Turbidez	0 a 6000	100	UNT
Alumínio Dissolvido	0 a 5	0,1	mg/L
Nitrato	0 a 4	10	mg/L
Cobre	0 a 0,04	0,009	mg/L
Cálcio	0 a 350	400	mg/L
Sódio	0 a 600	900	mg/L
Magnésio	0 a 20	60	mg/L
Bicarbonato	-	-	-

Fonte:ERG/Fundação Renova (2018).

No Quadro 13 são apresentados os valores médios da análise, porém alguns desses parâmetros – apesar de apresentarem médias dentro dos limites estabelecidos – apresentam, também, valores de alguns pontos de coleta acima dos limites.

Segundo Almeida (2010), os aspectos fundamentais a considerar no uso da água de irrigação são aqueles que afetam principalmente a conservação do solo, o rendimento e a qualidade das colheitas. Quanto ao aspecto da qualidade da água, é definido em função dos critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade e outros.

No presente estudo, os resultados das análises de qualidade da água serão interpretados demonstrando-se as influências que cada parâmetro pode indicar no contexto das atividades agrícolas, uma vez que a água coletada esteja inserida nos ciclos das culturas irrigadas.

Os resultados serão demonstrados ao longo da Área de Estudo, possibilitando inferências associadas às variações de concentrações em relação à distância até a foz do Rio Doce e às características marcantes dos locais e regiões dos pontos amostrados. Gráficos serão apresentados indicando as concentrações de cada parâmetro ao longo da bacia hidrográfica.

A interpretação das análises e discussões serão realizadas considerando as indicações elencadas na Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA. Nessa nota técnica, foi indicado que:"A metodologia de estudo da qualidade da água bruta é inadequada por selecionar apenas uma análise por mês e por ponto para representar o intervalo temporal do mês, sem estipular ou esclarecer qualquer critério para essa escolha". Nessa versão atualizada, os critérios de estudo da qualidade da água bruta considerarão os resultados de estudos anteriores da forma mais representativa possível, analisando os dados de monitoramento realizados pela Fundação Renova, existentes até o momento, e do IGAM, e realizando, também, levantamentos de dados primários conforme as metodologias estabelecidas pelos órgãos ambientais (Quadro 14).

Quadro 14 – Parâmetros a serem analisados com os respectivos significados e importâncias no âmbito do uso da água em culturas irrigadas

PARÂMETROS	IMPORTÂNCIA E CORRELAÇÃO COM OUTROS PARÂMETROS
Condutividade elétrica (CE) e Total de Sólidos Dissolvidos (TSD)	Fornecem uma medida quantitativa do total de sais dissolvidos na água de irrigação. Os sais são constituídos substancialmente pelos íons sódio, cálcio, magnésio, cloreto, carbonato e bicarbonato.
Sólidos em Suspensão	Associado à presença de partículas na água capazes de produzir incrustações e entupimentos nos sistemas de irrigação, principalmente nos sistemas localizados. Uma vez transportadas para o sistema, as partículas reduzem a vida útil dos seus componentes, tais como rotores das bombas, bocais de aspersores, emissores e tubulações dos sistemas de irrigação localizada.
Sódio (Na^{+}), o Cálcio (Ca^{2+}) e o Magnésio (Mg^{2+})	Íons carregados positivamente (chamados cátions) são expressos em milimol carga por litro (mmolc x L^{-1}). Esses cátions são indispensáveis para o cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS). A concentração de sódio é também necessária para identificar alguns efeitos tóxicos em plantas. O potássio (K) contribui ligeiramente para a salinidade.
O cloreto (Cl), o sulfato ($SO_4^{=}$), o carbonato (CO_3^{-}) e o bicarbonato (HCO_3^{-})	Íons carregados negativamente (chamados ânions) são expressos em milimol carga por litro (mmolc x L^{-1}). Os ânions bicarbonato (HCO_3^{-}) e o carbonato ($CO_3^{=}$) são usados para o ajustamento da RAS pela precipitação do carbonato de cálcio. Concentrações de cloreto (Cl) são necessárias para identificar problemas potenciais de toxicidade desse íon em plantas. O carbonato não é geralmente o maior constituinte, a não ser que o pH da água exceda de 8,0. O potássio (K^{+}) pode estar presente, mas suas concentrações mantêm-se baixas.
pH	Importante fator na avaliação da conveniência de uma água para irrigação. O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou de alcalinidade da água ou do solo. No caso das águas para irrigação, o pH normal é entre 6,5 e 8,4. Águas com pH acima de 8,4 podem provocar entupimentos nos sistemas de irrigação localizados, devido à precipitação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Por outro lado, águas com valores de pH baixos podem corroer rapidamente os componentes metálicos do sistema de irrigação por aspersão.
B	O Boro é outro fator a ser observado. Está presente nas águas subterrâneas em concentrações relativamente altas, acontecendo o contrário nas águas de fontes superficiais. Expresso em mg L^{-1}, é tóxico para algumas plantas em concentrações menores do que 1,0 mg L^{-1} . Além das características físico-químicas, outros fatores também devem ser levados em consideração e analisados em conjunto, quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação.

Fonte: Elaboração própria.

Foi estabelecida uma metodologia de análise dos dados visando estabelecer o nexo-causal entre o impacto identificado e sua correlação com o rompimento da Barragem do Fundão com os valores que serão encontrados a partir da coleta e análise de amostras que está sendo realizada em campo nas propriedades estudadas, conforme metodologia já expressa no presente documento.

9.1.3 Resultados obtidos a partir dos dados do Igam

Os parâmetros analisados evidenciam a qualidade da água da Bacia do Rio Doce a partir de uma série histórica fornecida pelo Igam e pelos dados coletados em campo. É importante destacar que os dados obtidos em campo diferem desses do Igam, pois são pontuais, obtidos de coleta única, podendo representar variações decorrentes de uma situação momentânea, expressas em picos na síntese dos dados nos gráficos.

Esses dados permitem estabelecer uma correlação da situação antes e depois do rompimento, mostrando o histórico do rio e ajudando a compreender todos esses parâmetros. Destaca-se ainda que esses dados históricos permitem mostrar se os parâmetros que excederam os limites legais ocorreram em virtude do rompimento da barragem ou se já se apresentavam anteriormente em excesso.

A turbidez é um parâmetro relacionado aos sólidos em suspensão, que indica a penetração de luz solar na água. Águas com altos valores de turbidez apresentam baixo oxigênio dissolvido devido às limitações impostas aos organismos fotossintetizantes ocorrentes na água. O limite CONAMA nº357/05 para a turbidez é de 100 NTU. A montante de Candonga registrou-se, na época do rompimento da barragem, um pico máximo de 17.949 NTU (Gráfico 16). Já nos trechos 2 e 3 o valor máximo foi, respectivamente, 7.534 NTU e 7.574 NTU (Gráficos 17 e 18). A turbidez, assim como os sólidos dissolvidos e suspensos, está ligada às condições pluviométricas. Seu aumento ocorre em épocas de chuvas devido ao carreamento de sedimentos ao curso do rio e/ou pelo revolvimento de sólidos sedimentados nas margens e na calha do rio.

Destaca-se que a periodicidade de análise do Igam é trimestral. O rompimento da Barragem do Fundão ocorreu no quarto trimestre de 2015, fazendo com que os valores superiores dos dados coletados no ano concentrem-se em posição dissonante do restante, justificando o pico máximo apresentado nesse ano nos Gráficos 16, 17 e 18. Nos anos subsequentes, percebe-se diminuição discreta dessas concentrações a valores ainda não

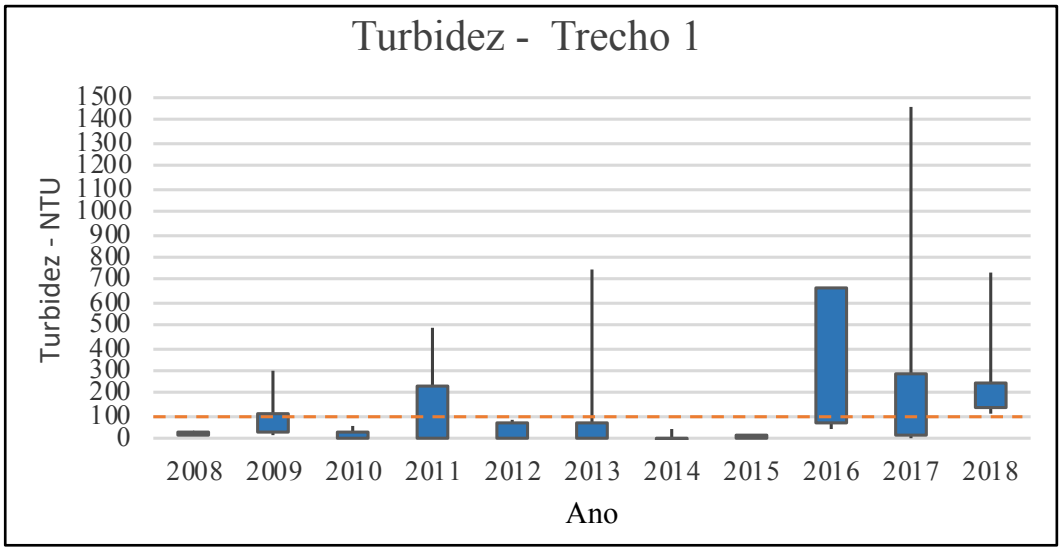
condizentes com a série histórica. Isso ocorre devido ao rompimento da barragem, mesmo depois de alguns meses do ocorrido, os valores de turbidez se mantiveram altos.

É importante destacar que nos anos 2015 e 2016, para o Trecho 1, retiraram-se os valores máximos de turbidez 17.949 NTU e 5.880 NTU, respectivamente. Esses máximos foram removidos para melhor visualizar os demais períodos, porém são significativos, e mostram valores desse parâmetro muito maior do que o limite legal.

O mesmo foi feito para o Trecho 2, onde, para mostrar os dados medianos, retiraram-se os máximos dos anos 2015 (7.534 NTU), 2016 (3.279 NTU) e 2017 (4.489 NTU). E para o Trecho 3 removeram-se os máximos de 2015, 2016 e 2017, 7.574 NTU, 9.168 NTU e 3.849 NTU, respectivamente.

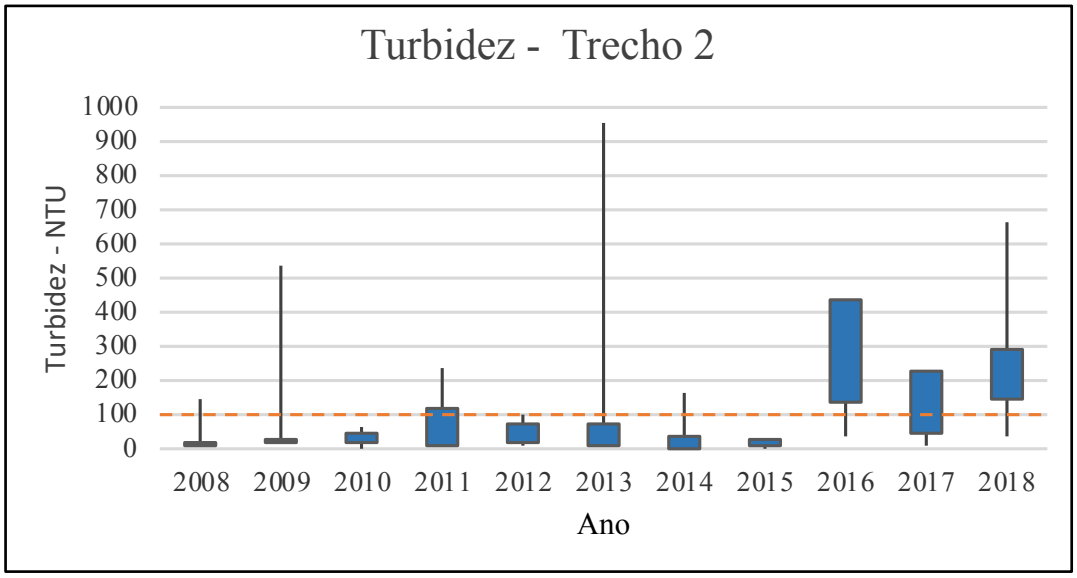
O decréscimo relativo no trecho 1 é muito maior que no trecho 2 devido à proximidade desse com a Barragem do Fundão. Já no trecho 3, houve um aumento dos valores máximos para o ano de 2016 diferentemente dos outros. Isso pode ter ocorrido devido ao relevo de várzeas da região, ao que se constatou em campo, o deslocamento do material detrítico a jusante da calha principal impactada. Essa dinâmica elevou o nível da água no rio, provocando o acúmulo da fração coloidal do material detrítico, estabelecido nas margens. Além do momento pós-rompimento, é possível que esse fenômeno ocorra em escala muito menor, no período de chuvas, com a elevação do nível das águas, associado ao aumento da turbidez.

Gráfico 16 - Turbidez (NTU) - Trecho 1



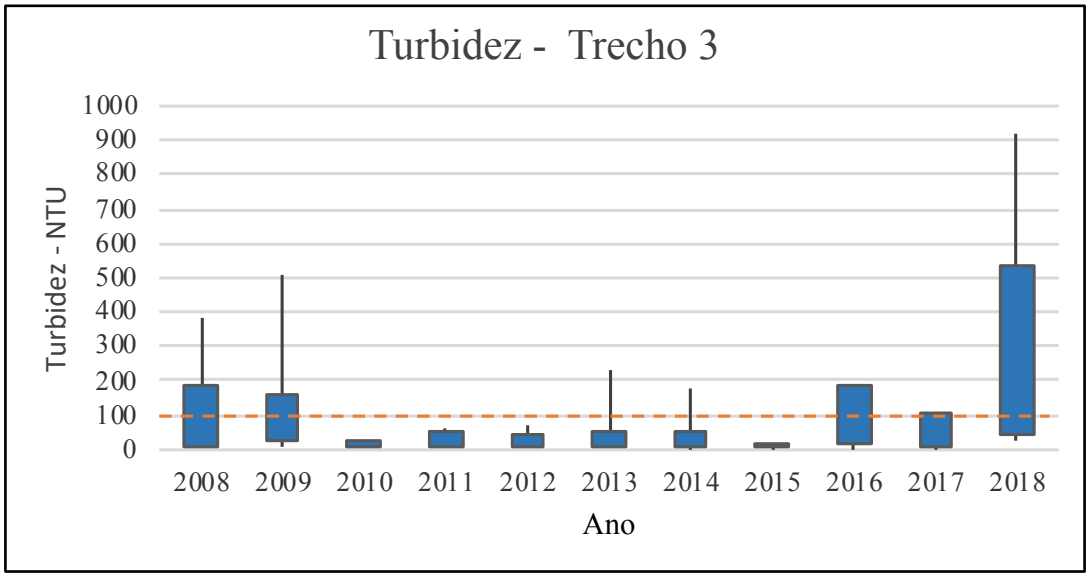
Fonte: Igam (2018)
*Limite Conama nº357/05 = 100 NTU

Gráfico 17 - Turbidez (NTU) - Trecho 2



Fonte: Igam (2018)
*Limite Conama nº357/05 = 100 NTU

Gráfico 18 - Turbidez (NTU) - Trecho 3

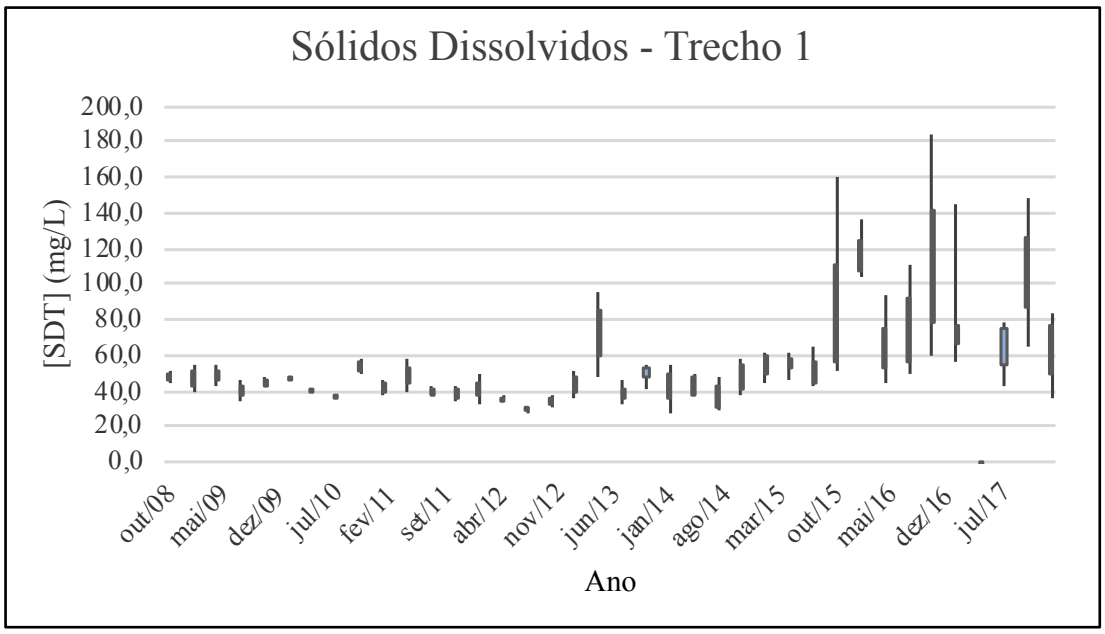


Fonte: Igam (2018)
*Limite Conama nº357/05 = 100 NTU

O parâmetro que avalia a concentração de sólidos dissolvidos é importante para determinar a quantidade de partículas presentes na água, com referência no limite para Classe 2, que é de 500mg/L, definido para o uso da água para irrigação na Conama nº357/05. Na série histórica do Igam, conforme Gráfico 19, é possível identificar uma tendência de aumento a partir do quarto semestre de 2015 a montante de Candonga, período do rompimento da Barragem do Fundão. Nesta mesma área, todas as concentrações em trimestres anteriores encontram-se abaixo do limite exposto pela legislação.

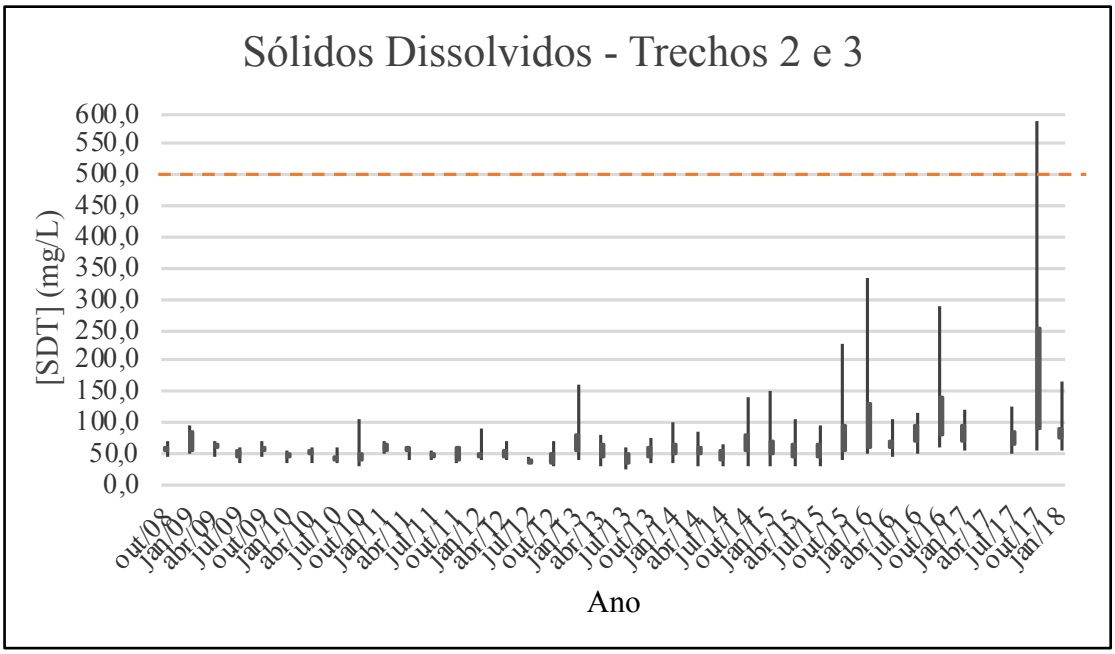
A jusante da usina, de acordo com o Gráfico 20, os valores também apresentam uma tendência de aumento a partir do quarto semestre de 2015, com o pico máximo no quarto semestre de 2017 com uma concentração de 586 mg/L, valor pouco acima do máximo da legislação.

Gráfico 19 - Sólidos Dissolvidos (mg/L) - Trecho 1



Fonte: Igam (2018).
*O limite para os Sólidos Dissolvidos, segundo Conama nº357/05, expresso em 500,0 mg/L, muito superior aos limites encontrados nas análises (retirado para melhorar a visualização dos dados).

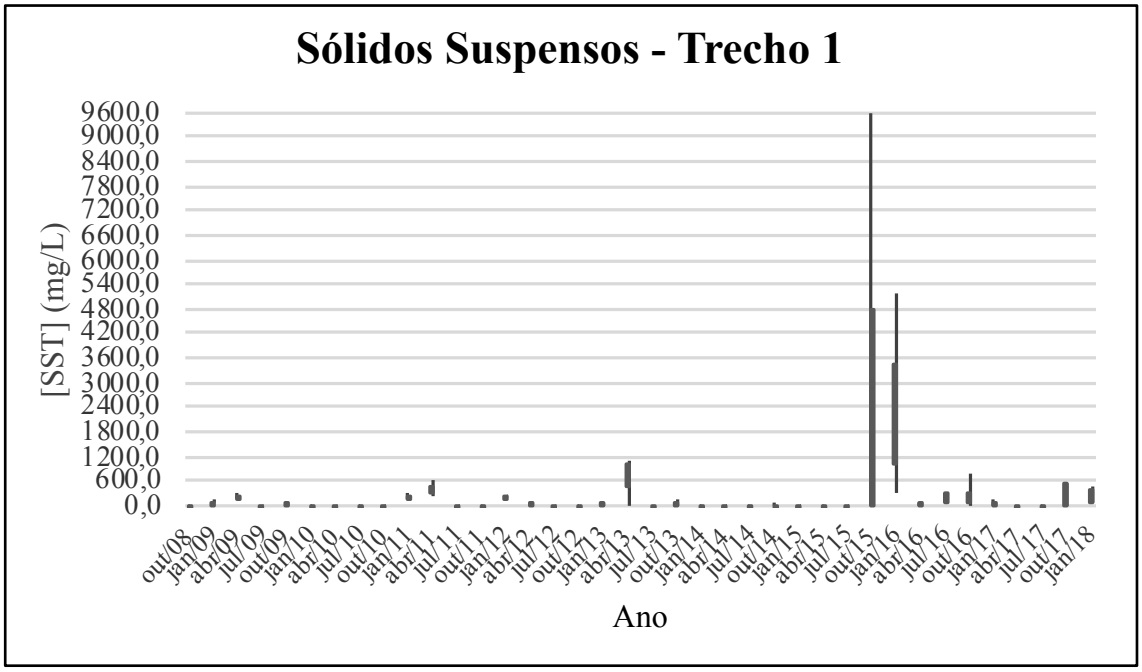
Gráfico 20 - Sólidos Dissolvidos (mg/L) - Trecho Candonga Rio Doce/MG



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 500,0 mg/L

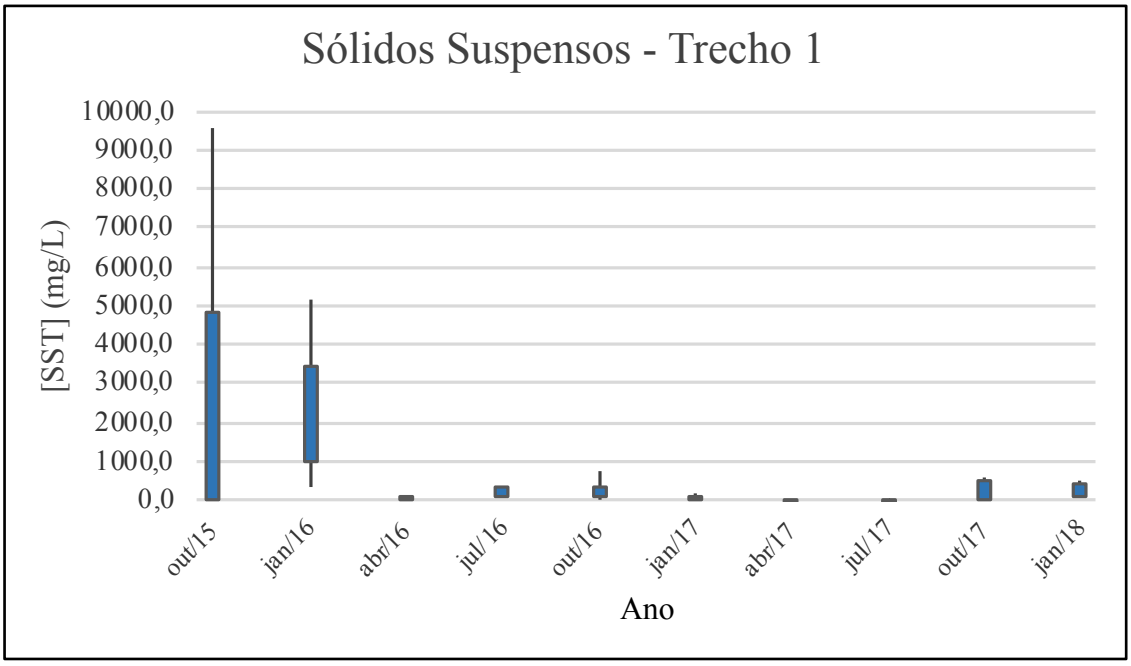
Os sólidos suspensos totais (SST) é um parâmetro que informa a quantidade de partículas em suspensão na água, e, segundo a COPAM nº 1 de 2008, o limite para águas de classe 2 é de 100 mg/L. Os SST registraram valores não antes vistos no período do rompimento da barragem para todo o curso do rio. Os maiores picos de concentração foram para a região a montante de Candonga, área em que grande parte do rejeito foi barrada devido à represa da usina hidrelétrica. De acordo com o Gráfico 21, os valores máximos a montante da represa foram 9.580,0 mg/L e 5.160,0 mg/L após o rompimento da barragem. Já a jusante de Candonga, os valores máximos registrados foram 3.100,0 mg/L e 4.712,0 mg/L.

Gráfico 21 - Sólidos Suspensos (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga



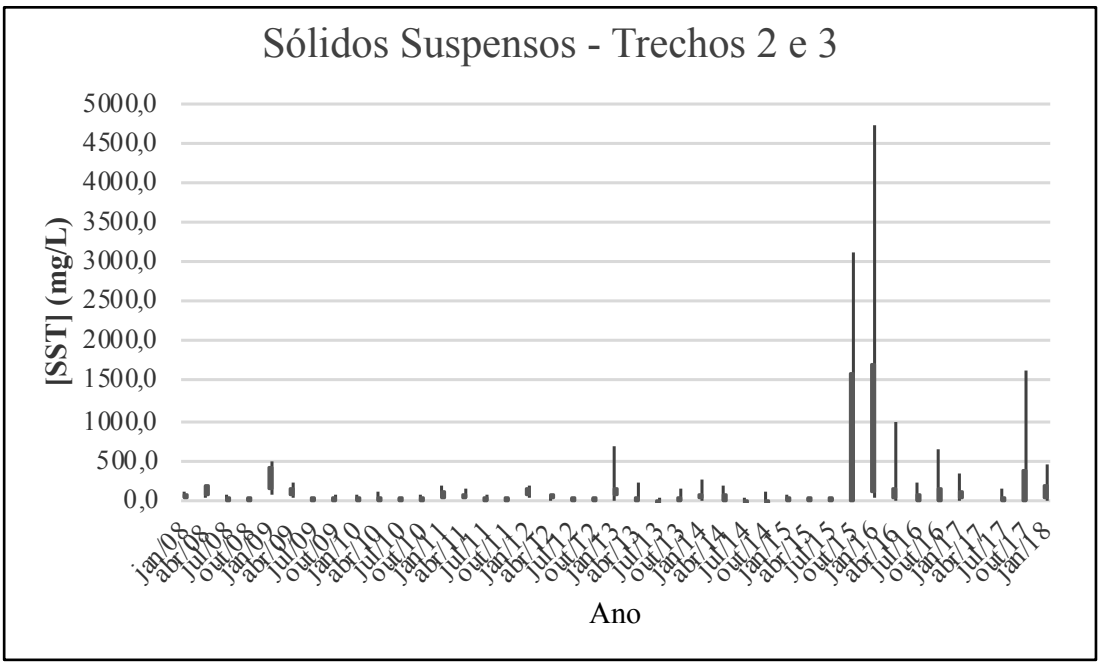
Fonte: Igam (2018).
*Limite COPAM nº01/08 = 100 mg/L

Gráfico 22 - Sólidos Suspensos (mg/L) de 2015 a 2018 - Trecho Fundão-Candonga



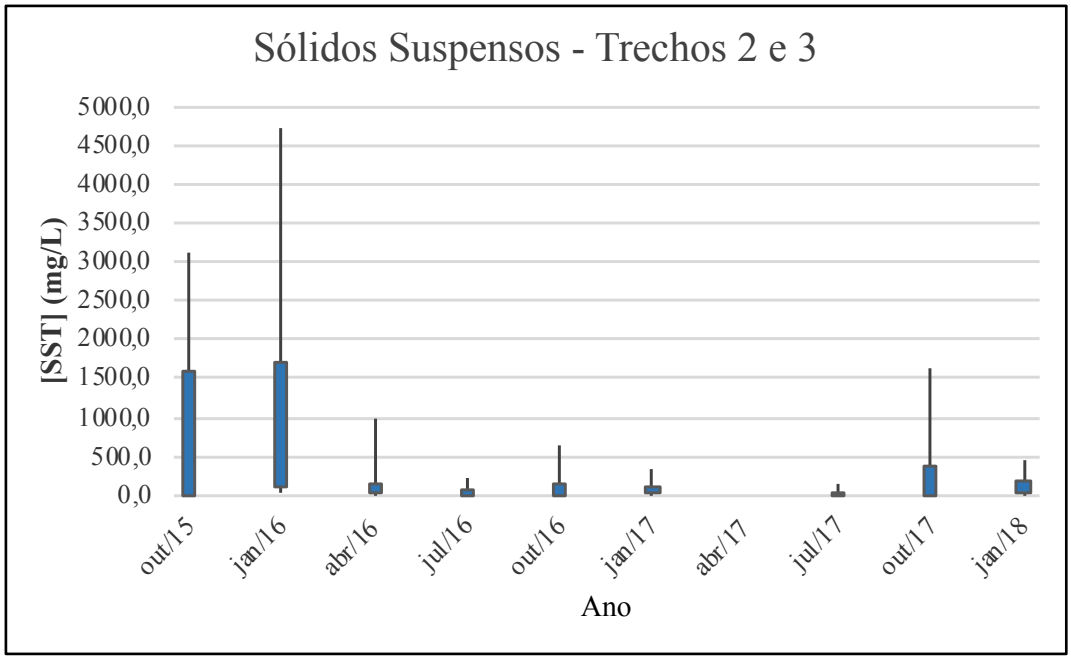
Fonte: Igam (2018).
*Limite COPAM nº01/08 = 100 mg/L

Gráfico 23 - Sólidos Suspensos (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG



Fonte: Igam (2018).
*Limite COPAM nº01/08 = 100 mg/L

Gráfico 24 - Sólidos Suspensos (mg/L) de 2015 a 2018 - Trecho Candonga-Rio Doce/MG



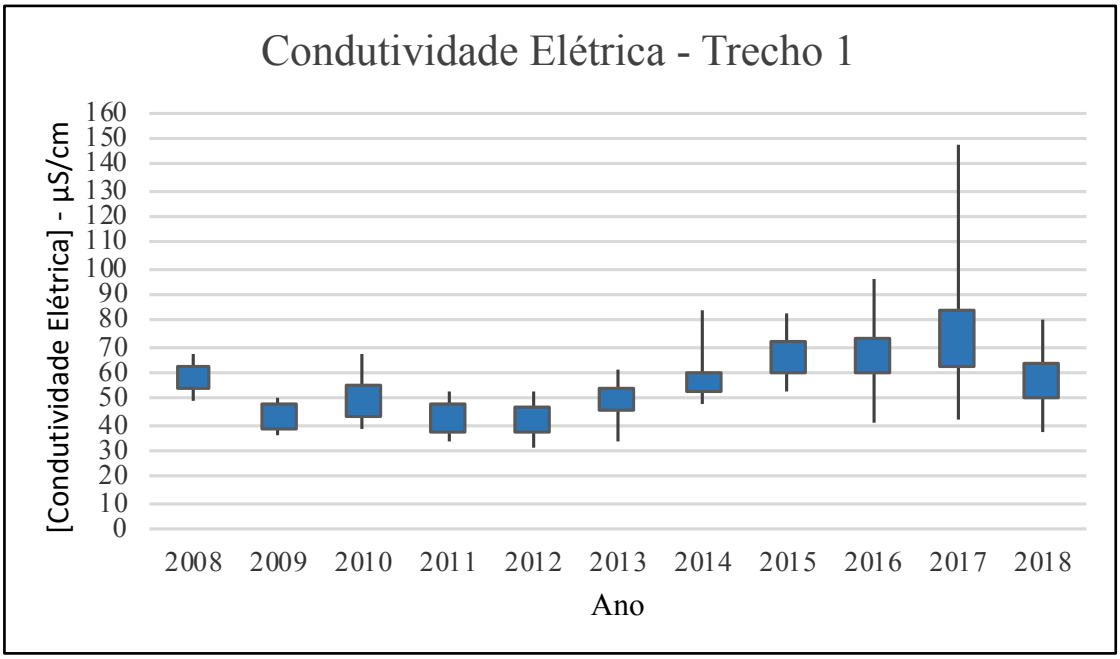
Fonte: Igam (2018).
*Limite COPAM nº01/08 = 100 mg/L

A condutividade elétrica é um parâmetro que permite avaliar indiretamente a quantidade de sais e íons dissolvidos. Segundo Cetesb (2010), altos valores de condutividade podem estar relacionados a águas mais corrosivas, o que para a irrigação pode ser prejudicial, tanto para as culturas quanto para os equipamentos usados. Nos Gráficos 25 e 26 é possível visualizar que, com o aumento de sólidos dissolvidos a montante e a jusante de Candonga, a condutividade também aumentou.

De acordo com Cetesb (2011), valores acima de 100µS/cm indicam ambientes impactados. No Gráfico 25, é possível visualizar que a montante de Candonga foi registrado um pico de 148 µS/cm para o ano de 2017. E no Gráfico 26, a jusante de Candonga, alguns pontos fora do limite ocorreram antes do rompimento da Barragem do Fundão. No ano de 2016, visualizou-se um pico de 178 µS/cm a jusante de Candonga.

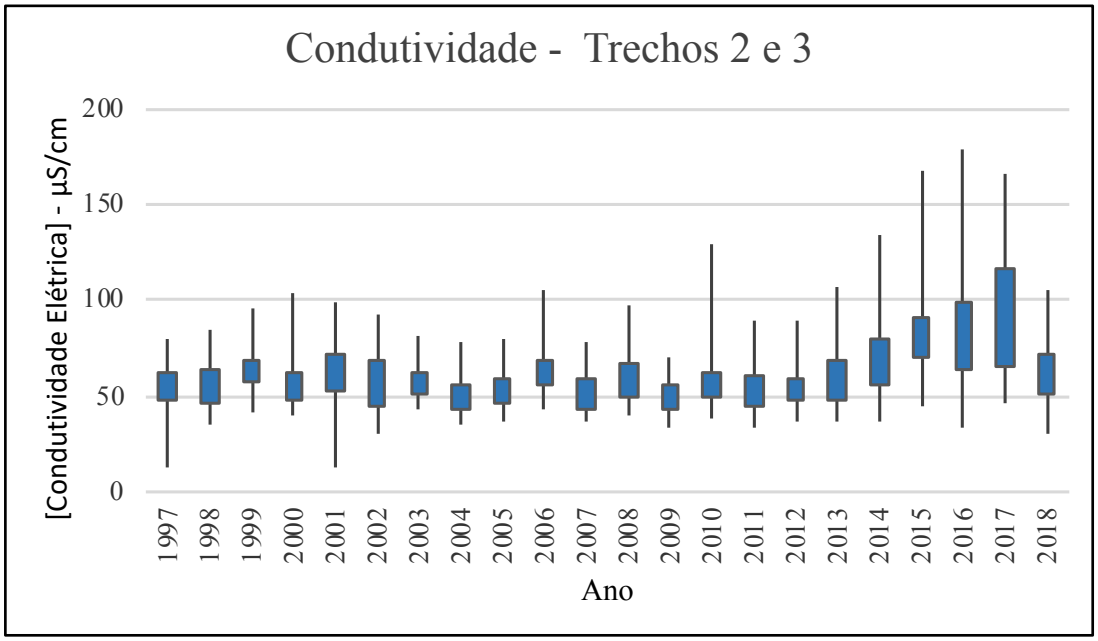
Segundo Prezotti e Guarçoni (2018), o limite da condutividade elétrica para água usada na irrigação é de 2.000 µS/cm, o que difere da Cetesb (2011), que prevê valores para águas de classes mais nobres. Sendo assim, a condutividade elétrica para uso na irrigação encontra-se com valores dentro dos padrões. Limites legais não foram estabelecidos pela Conama nº357/05.

Gráfico 25 - Condutividade Elétrica (µS/cm) - Trecho Fundão-Candonga



Fonte: Igam (2018).
*Limite para águas de uso na irrigação segundo Prezotti e Guarçoni (2018) = 2000 µS/cm, muito superior aos limites encontrados nas análises (retirado para melhorar a visualização dos dados).

Gráfico 26 - Condutividade Elétrica (µS/cm) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG



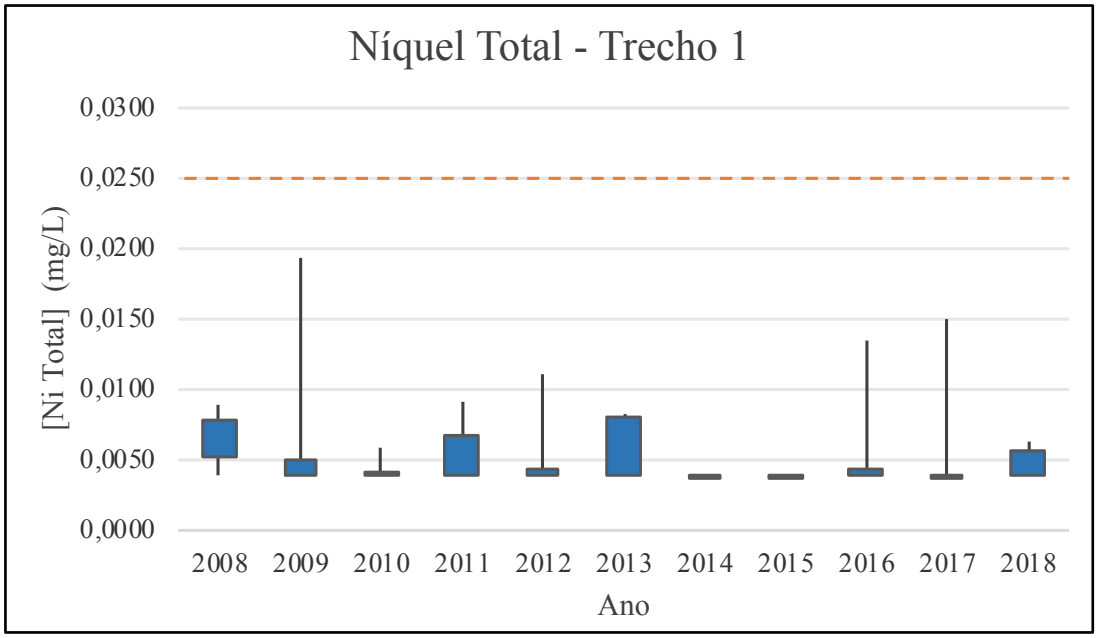
Fonte: Igam (2018).
*Limite para águas de uso na irrigação segundo Prezotti e Guarçoni (2018) = 2000 µS/cm, muito superior aos limites encontrados nas análises (retirado para melhorar a visualização dos dados).

O Níquel é um metal que pode ser encontrado na água em concentrações traços e é considerado um micronutriente para as plantas. Segundo a Conama nº357/05, seu limite para águas de classe 2 é de 0,025 mg/L. Na região de estudo a jusante da barragem Risoleta

Neves/Candonga são encontradas concentrações acima do limite Conama para os anos de 2003, 2016 e 2017. Esse metal atingiu um valor máximo de 0,028 mg/L em 2003, o que é um pouco acima do limite da Conama. Já no ano de 2016, esse metal atingiu uma concentração máxima de 0,089mg/L e, em 2017, de 0,027 mg/L aproximadamente.

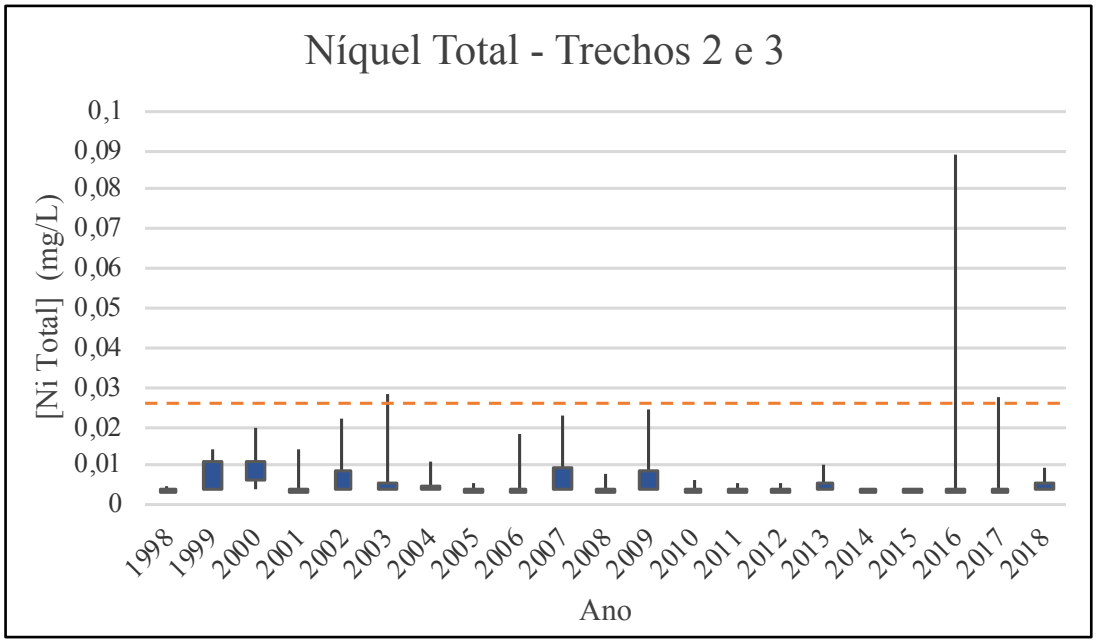
Vale ressaltar que os valores acima do limite Conama só foram encontrados após a Usina de Candonga, e o que representou maior diferença ao limite legal foi na região de Tumiritinga, na estação de monitoramento número RD053, área de influência de Governador Valadares, a jusante do setor industrial de Ipatinga/MG. A influência nos níveis desses parâmetros pode ter múltiplas origens, não necessariamente relacionadas ao impacto do rompimento da Barragem do Fundão, e vale ainda destacar que o Níquel Total não necessariamente está biodisponível para a planta (Gráficos 27 e 28).

Gráfico 27 - Níquel Total (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,025 mg/L

Gráfico 28 - Níquel Total (mg/L) - Trecho Rio Doce-MG

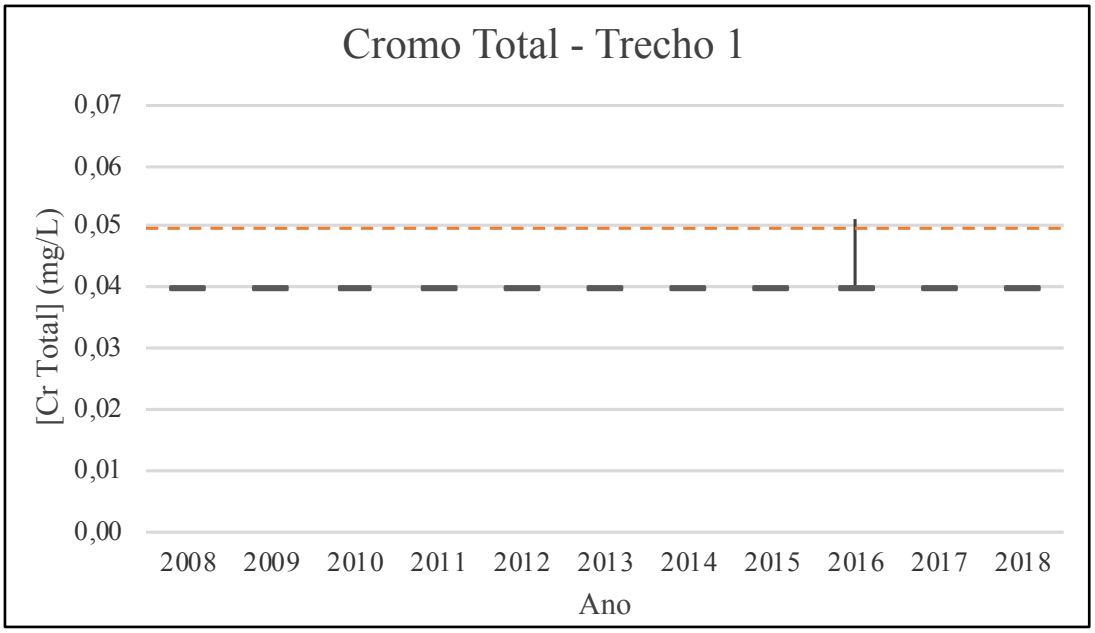


Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,025 mg/L

O Cromo é um metal utilizado em ligas metálicas, tintas, fertilizantes, conservantes de madeira e curtume e que, dependendo da forma, pode ser essencial ao metabolismo humano ou tóxico (CETESB, 2011). A montante de Candonga, o valor máximo da concentração de cromo foi de 0,051 no ano de 2016, valor pouco acima do limite estabelecido na legislação, como pode ser visto no Gráfico 29.

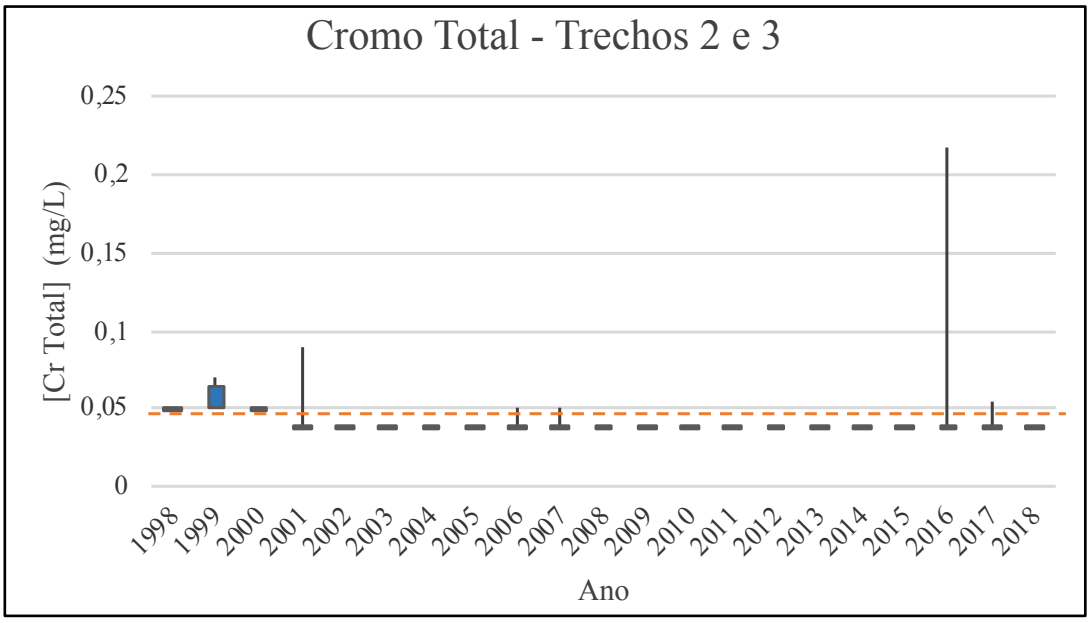
Nos trechos 2 e 3 observam-se alguns anos com valores acima do estabelecido como máximo pela legislação, tais quais 1999 e 2001 (Gráfico 30). Após o rompimento da barragem houve uma concentração máxima de 0,217mg/L no ano de 2016, para a região de Tumiritinga, área de influência de Governador Valadares.

Gráfico 29 - Cromo Total(mg/L) - Trecho Fundão-Candonga



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,05 mg/L

Gráfico 30 - Cromo Total (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,05 mg/L

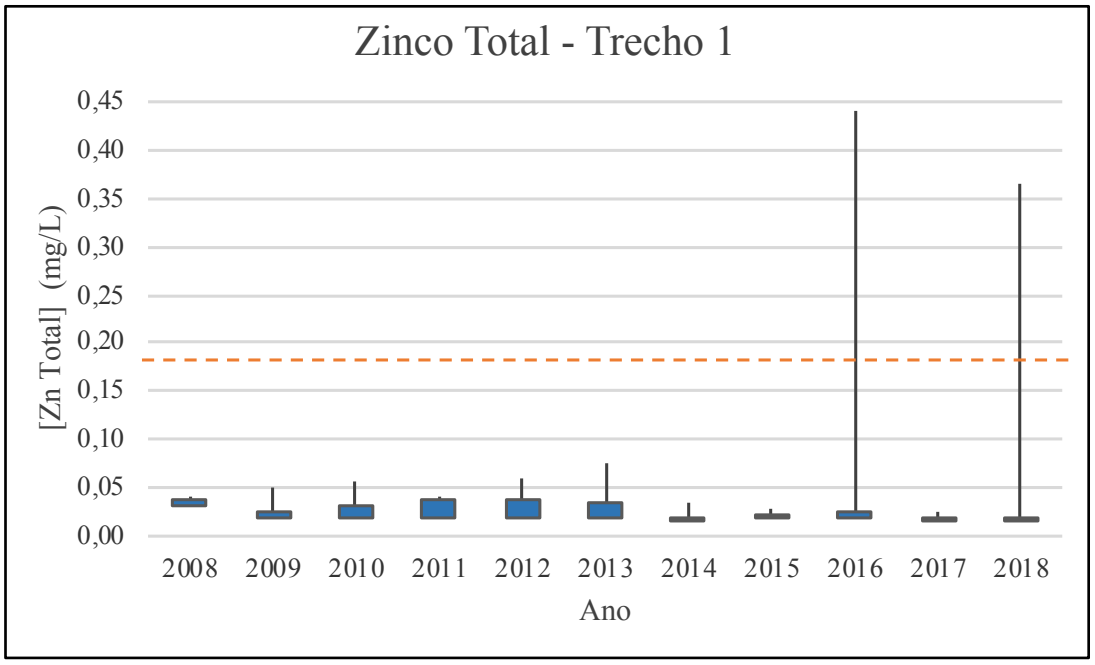
O Zinco, um dos micronutrientes da planta, é um metal usado para ligas, aço, borracha, desodorante e xampu. Sua presença em águas de classe 2 é estabelecida até um valor de 0,18 mg/L. De acordo com o Gráfico 31, é possível notar que em 2016, no trecho a montante de Candonga, ocorreram valores acima do padrão estabelecido pela Conama 357/05. Isso se repetiu também em 2018, sendo essas concentrações de 0,44 e 0,36 mg/L respectivamente. Já

para o trecho a jusante de Candonga, a maior concentração de Zinco Total foi em 2003, com um valor máximo de 0,61 mg/L e, em 2016, de aproximadamente 0,30 mg/L.

Devido à diversidade de fatores que implicam o aumento do Zinco Total presente na água, verificou-se que o trecho com as maiores concentrações após Candonga foi a região de Tumiritinga, onde há uma significante influência da cidade de Governador Valadares, que atualmente não apresenta, até então, sistema de esgotamento sanitário.

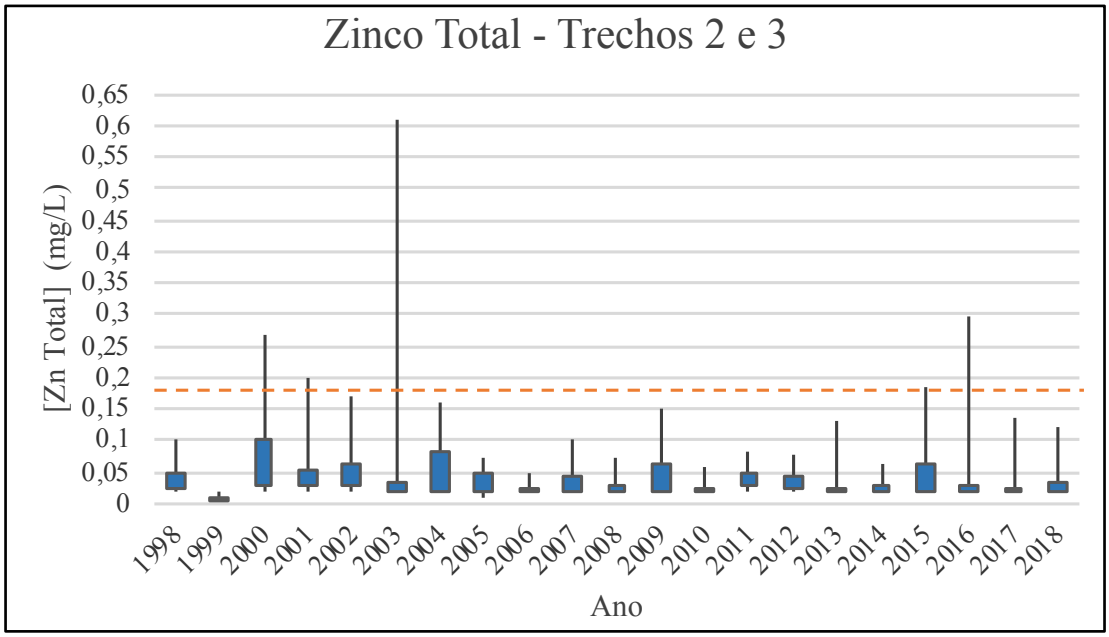
É importante destacar que esses picos a partir de 2016, nos Gráficos 31 e 32, mostram a relação direta do rompimento da barragem com o aumento desse metal na água. Esse aumento pode ser pelo excesso de Zinco presente no rejeito, ou no arraste desse metal de outras regiões por todo o curso do rio.

Gráfico 31 - Zinco Total (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,18 mg/L

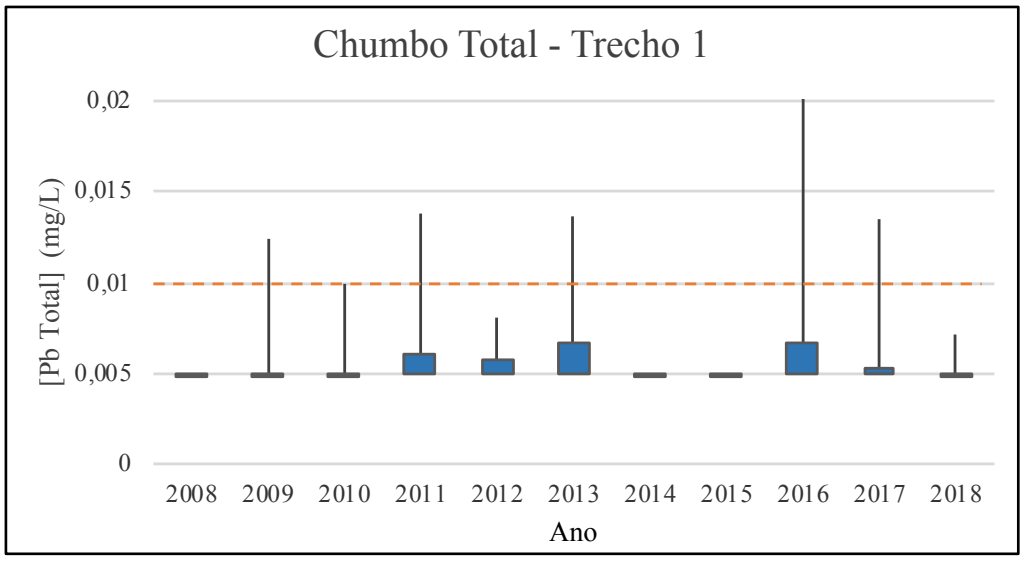
Gráfico 32 - Zinco Total (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,18 mg/L

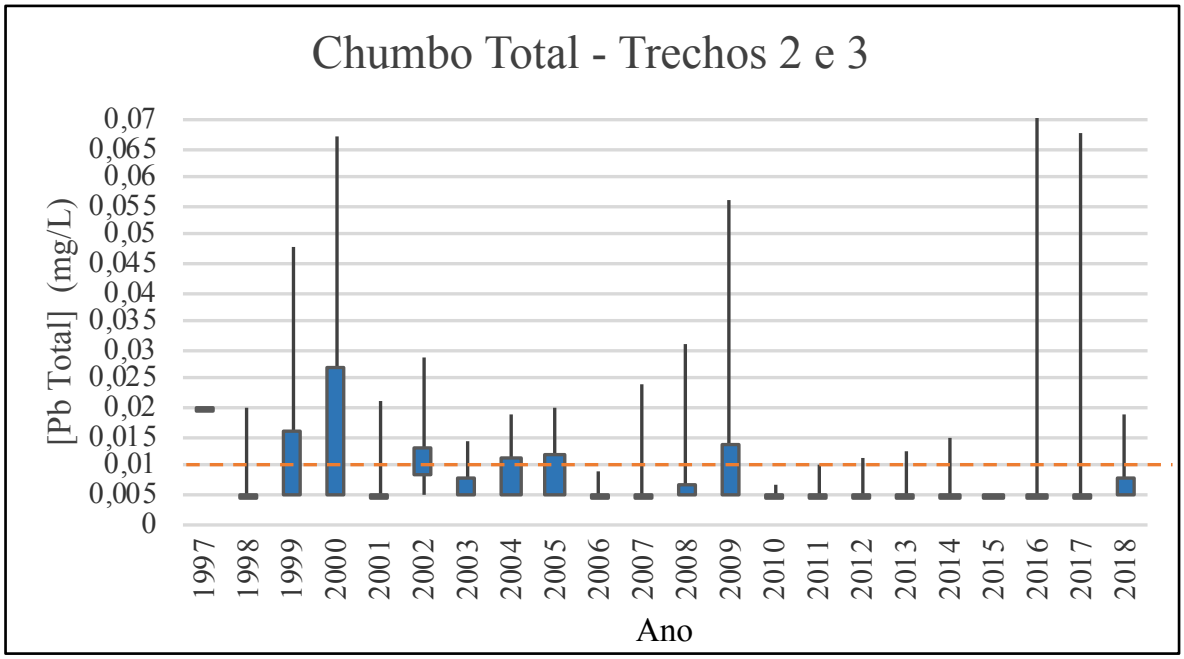
O Chumbo é um elemento que, em concentrações maiores que 5,0 mg/L, pode inibir o crescimento celular (EMBRAPA, 2010). Segundo a Conama nº357/05, o limite para classe 2 é de 0,01 mg/L. Esse parâmetro historicamente tem relação com outras fontes de contaminação. Porém, em 2016, é possível notar um aumento dessa concentração nos trechos 1, 2 e 3, o que pode estar relacionado com o rompimento da Barragem do Fundão (Gráficos 33 e 34).

Gráfico 33 - Chumbo Total (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,01 mg/L

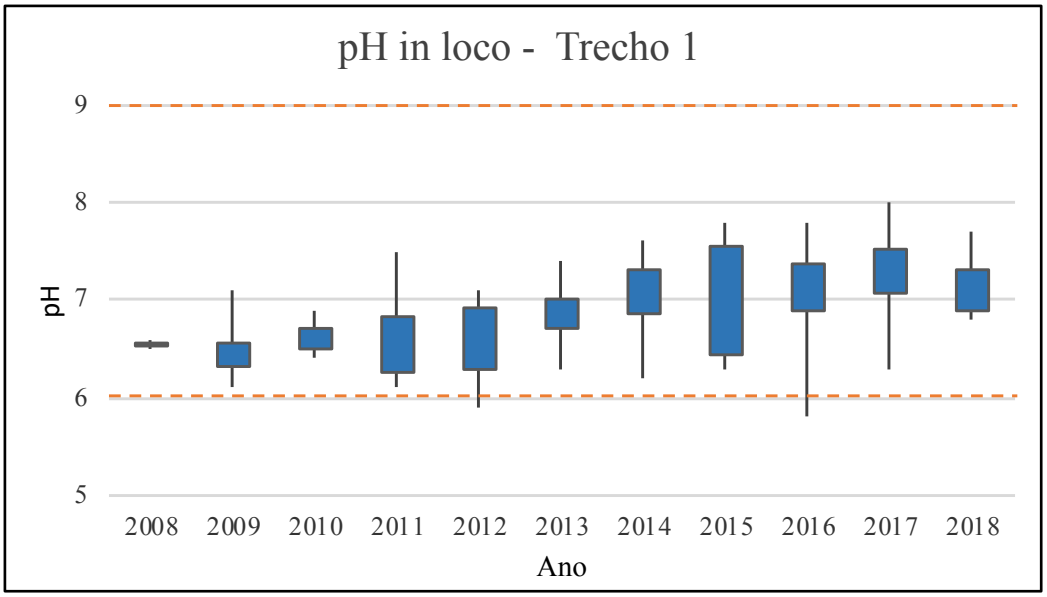
Gráfico 34 - Chumbo Total (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,01 mg/L

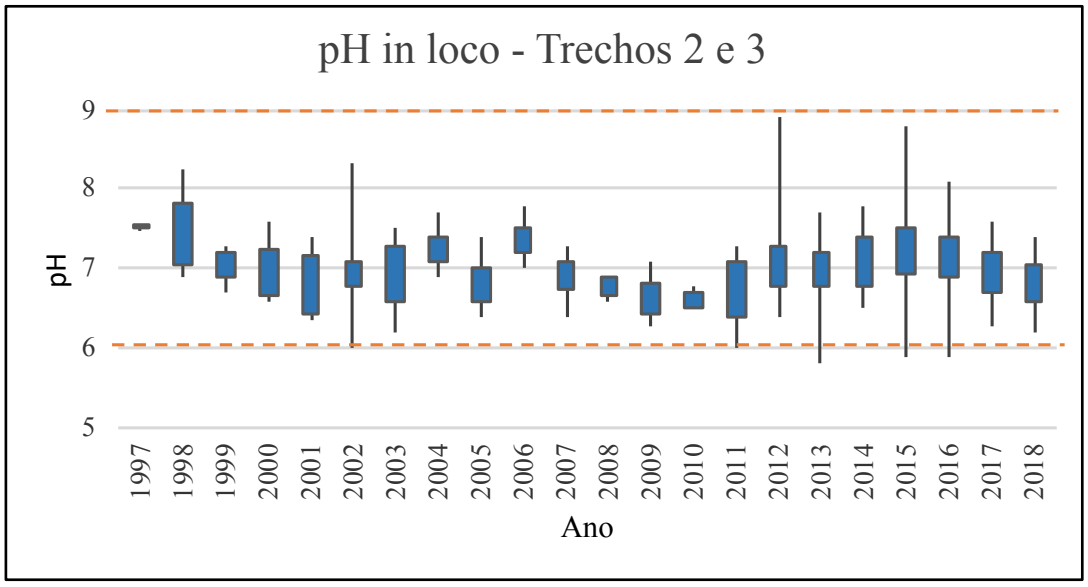
O pH é um parâmetro que tem direta relação com a fertilidade do solo, pois em determinadas faixas de pH o solo possui nutrientes disponíveis ou não. Faixas de pH muito baixas ou muito altas podem causar problemas nutritivos (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). O limite expresso pela Conama nº 357/05 é entre 6 e 9, e por Almeida (2010) e Embrapa é entre 6 e 8. Notam-se valores pouco abaixo do limite no trecho entre Fundão e Candonga no ano de 2016, mas em sua maioria todos os valores de pH encontram-se dentro do padrão Conama (Gráficos 35 e 36). Contudo, quando se consideram aspectos técnicos para a utilização da água para irrigação, o ideal é que o pH esteja entre 5,5 e 6.

Gráfico 35 - pH *in loco* - Trecho Fundão-Candonga



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 6 a 9
*Limite Almeida (2010) = 6 a 8,5 - Embrapa

Gráfico 36 - pH *in loco* - Trecho Candonga - Rio Doce/MG

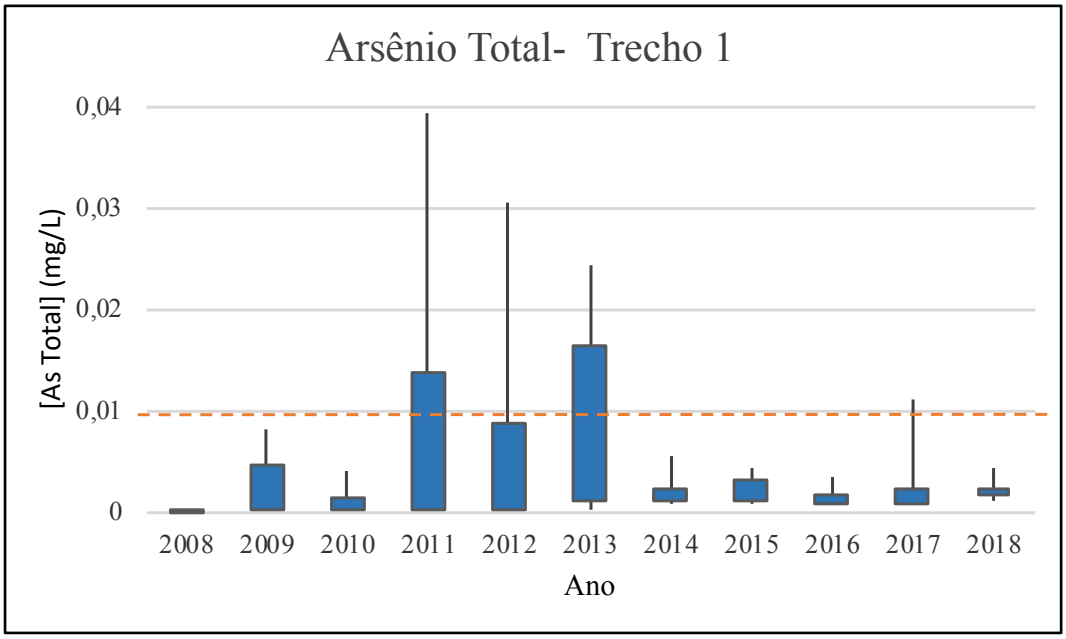


Fonte: Igam (2018)
*Limite Conama nº357/05 = 6 a 9
*Limite Almeida (2010) = 6 a 8,5 - Embrapa

O Arsênio é um elemento químico amplamente conhecido pela sua toxicidade. Nota-se que, em ambos os trechos, a montante e a jusante de Candonga, suas concentrações apresentam períodos com valores superiores ao estabelecido pela Conama nº357/05. No trecho 1 (Gráfico 37), visualizam-se valores superiores nos anos 2011, 2012, 2013 e 2017, sendo apenas o último ano citado após o rompimento da barragem.

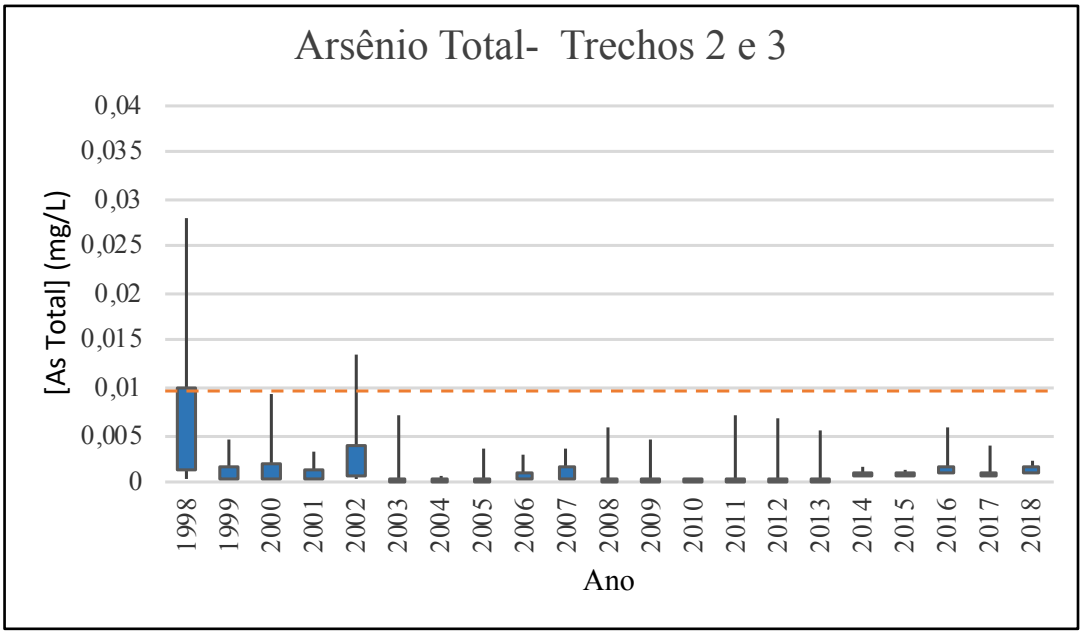
Já no trecho Candonga – Rio Doce MG, trechos 2 e 3 (Gráfico 38), nos anos 1998 e 2002, apresentaram valores acima do expresso em lei. É importante destacar que concentrações elevadas de Arsênio são apresentadas nos trechos 1, 2 e 3 nos dados geoquímicos da região, para solos e sedimentos (Golder/Fundação Renova 2017), assim como no *background*. Essas concentrações já apresentavam valores próximos a 17 mg/Kg (VIGLIO; CUNHA, 2016), mostrando, assim, que os excessos apresentados na água, em períodos anteriores aos do rompimento da barragem, provêm de outras atividades e não como consequência do rompimento da barragem.

Gráfico 37 - Arsênio (mg/L) - Trecho Fundão-Candonga



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,01 mg/L

Gráfico 38 - Arsênio (mg/L) - Trecho Candonga-Rio Doce/MG

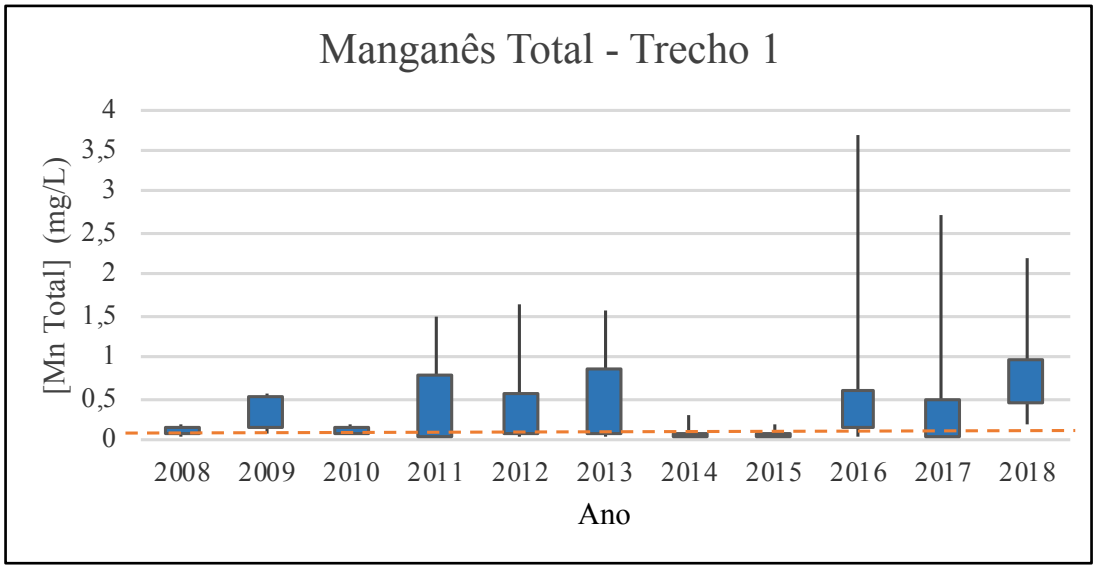


Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,01 mg/L

O Manganês, nutriente essencial às plantas, é um metal usado para ligas metálicas, aço, suplementos veterinários, baterias, vidros, produtos de limpeza, entre outros (CETESB, 2012). Segundo a Conama 357/05, os limites aceitáveis para águas de classes 2 e 3 são, respectivamente, 0,1 mg/L e 0,5 mg/L. Nos Gráficos 39, 40 e 41, identificam-se diversos anos com concentrações acima do estabelecido por lei. Com o rompimento da Barragem do Fundão, em 2015, nota-se um aumento desse metal em comparação com o ano anterior nos três trechos analisados pelo Igam. Porém, é importante destacar que, em toda a série histórica, valores acima do limite eram apresentados, mostrando uma certa contaminação de Manganês em todo o período estudado.

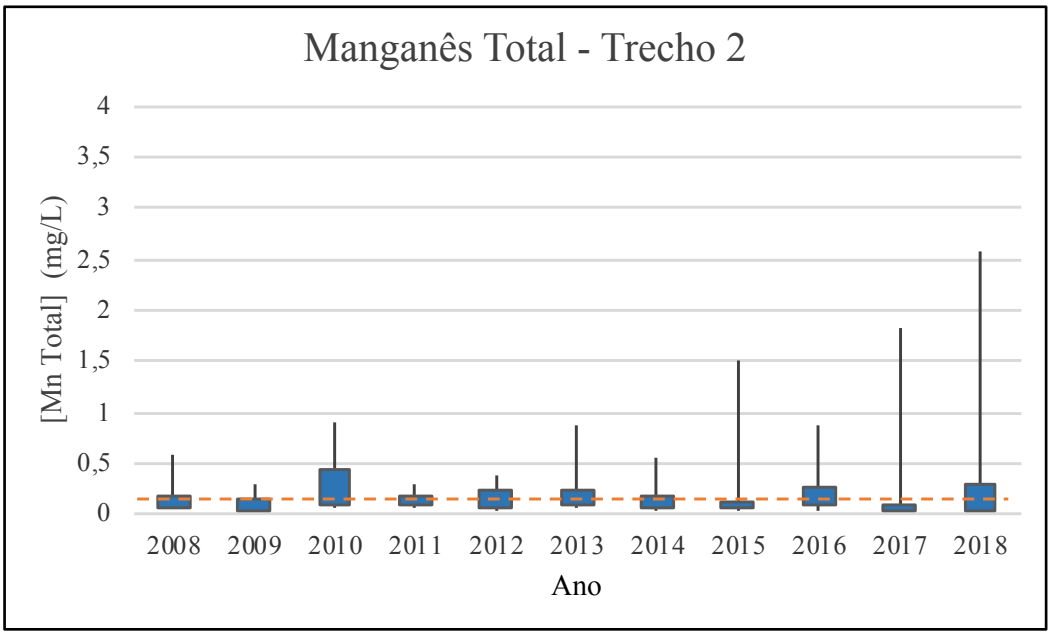
Valores de Manganês, quando muito altos, podem acarretar o entupimento de tubulações, aspersores, causando uma redução da eficácia do sistema de irrigação (SILVA et al., 2011).

Gráfico 39 - Manganês total (mg/L) - Trecho 1



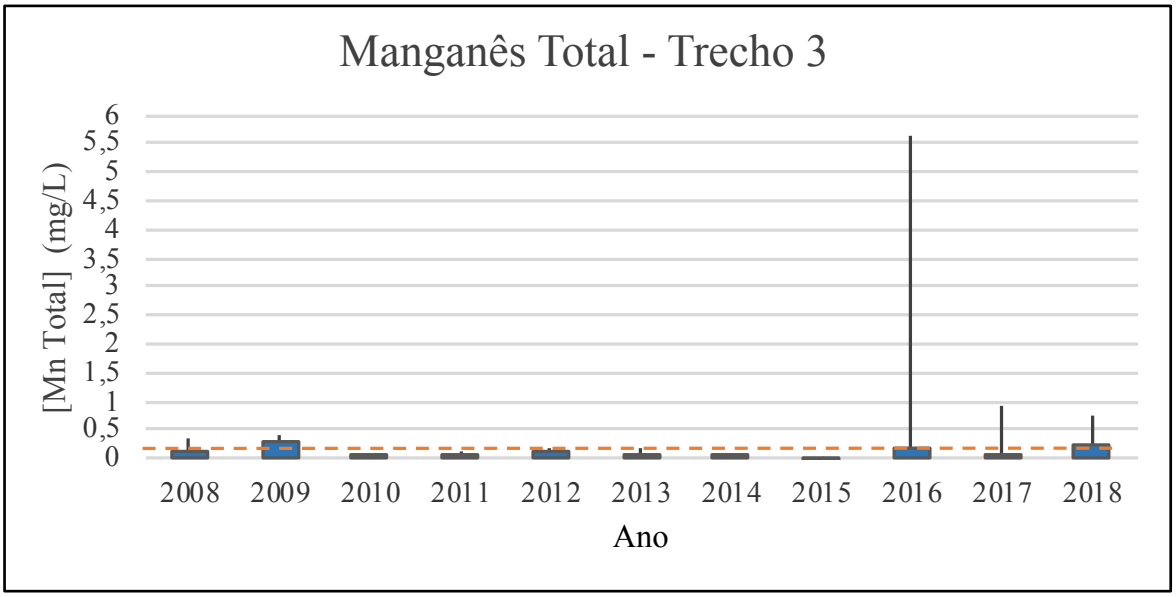
Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,1 mg/L

Gráfico 40 - Manganês total (mg/L) - Trecho 2



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,1 mg/L

Gráfico 41 - Manganês total (mg/L) - Trecho 4



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,1 mg/L

O Ferro é um micronutriente naturalmente presente em grandes concentrações no solo, de grande importância para as plantas, não estando, no entanto, completamente biodisponível para o seu metabolismo. Uma das fontes de Ferro no solo decorre do Ferro dissolvido na água, o que é expresso por lei em 0,3 mg/L (CONAMA, 2005).

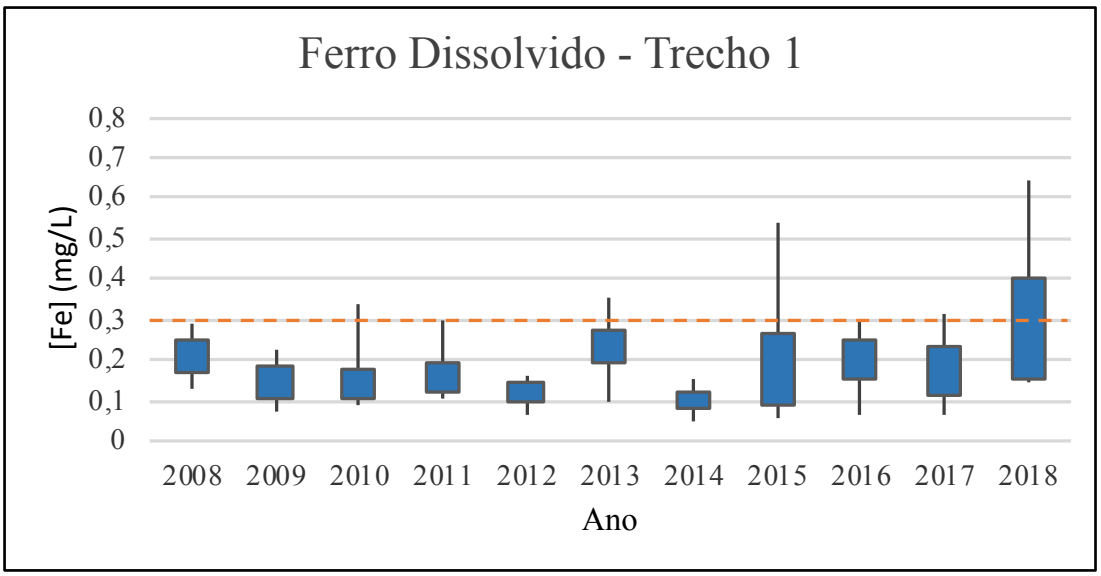
Em todo o curso do rio monitorado pelo Igam têm-se períodos antes do rompimento da barragem com máximos eventuais acima do estabelecido pela Conama nº357/05 (Gráficos 42, 43 e 44). Esses picos podem ser relacionados à ocorrência de ocupação industrial, minerária e/ou populacional. Contudo, expressiva frequência dos valores encontra-se abaixo do limite legal.

Nos trechos 1, 2 e 3, as maiores concentrações de Ferro dissolvido foram em 2018, dois anos depois do rompimento da barragem. A presença de Ferro dissolvido na água e biodisponível no solo depende da oxidação microbiana. Com a expansão da vegetação ribeirinha, essa oxidação pode ser acelerada, aumentando, assim, a biodisponibilidade do metal (QUEIROZ et al., 2018). Esse aumento justifica assim o possível aparecimento tardio do Ferro dissolvido no ano de 2018 em ambos os trechos em estudo.

Valores de Ferro, quando muito altos, podem acarretar o entupimento de tubulações, aspersores, causando uma redução da eficácia do sistema de irrigação (SILVA et al., 2011). Assim como o Manganês, concentrações elevadas de Ferro comprometem o desenvolvimento

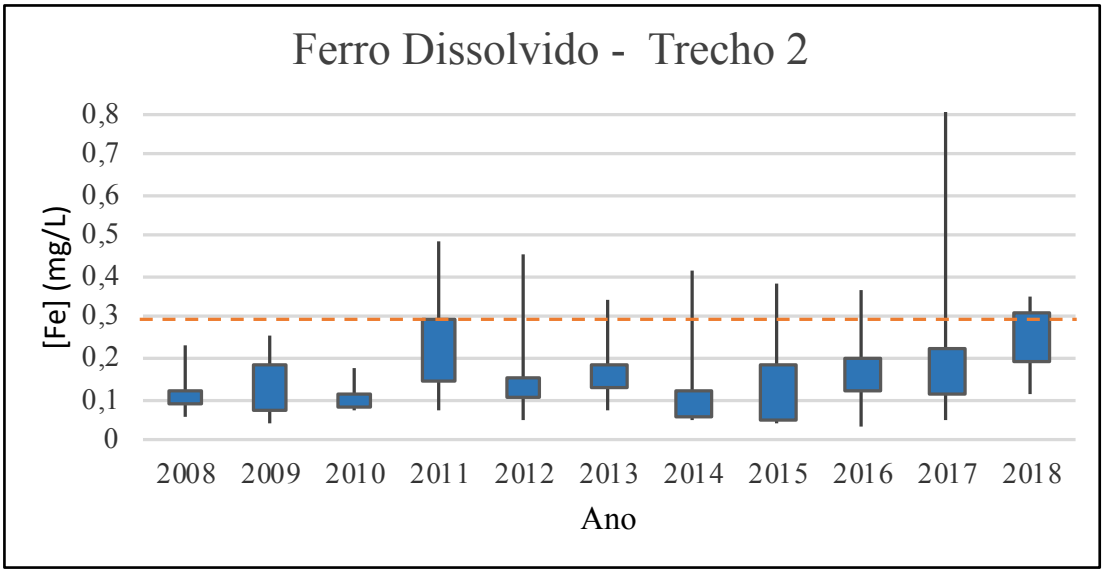
das culturas, com inibição do desenvolvimento radicular e parte aérea, incluindo redução da superfície foliar.

Gráfico 42 - Ferro Dissolvido (mg/L) - Trecho 1



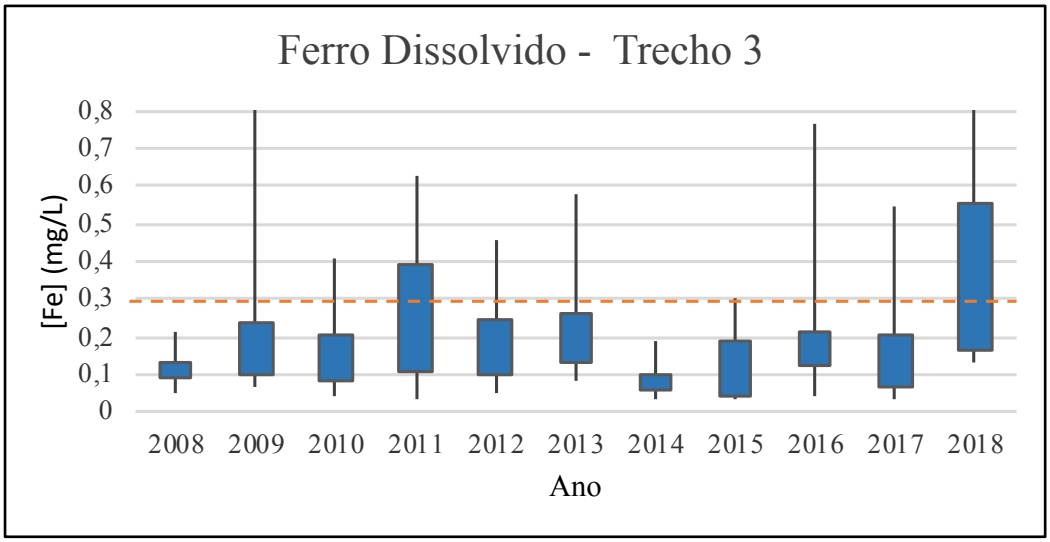
Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,3 mg/L

Gráfico 43 - Ferro Dissolvido (mg/L) - Trecho 2



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,3 mg/L

Gráfico 44 - Ferro Dissolvido (mg/L) - Trecho 3



Fonte: Igam (2018).
*Limite Conama nº357/05 = 0,3 mg/L

Como explanado, os dados analisados a partir das amostras coletadas em campo apresentam valores pontuais, com variações momentâneas de acordo com o dia e as condições locais no ato da coleta. Aspectos ambientais e indiretos ao rompimento da Barragem do Fundão devem ser considerados. Os dados apresentados não indicam correspondência entre as oscilações dos parâmetros ao rejeito, mas sim a aspectos naturais, inerentes à Área Ambiental 1, ou como uma somatória entre os aspectos ambientais e o material detrítico formado com o rompimento da barragem.

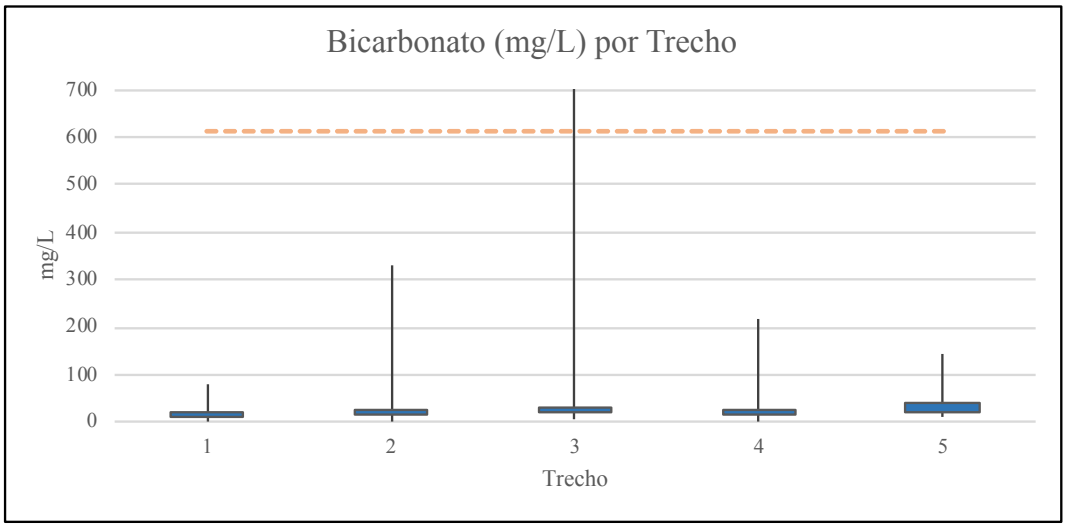
9.2 Análise das coletas de água

O Bicarbonato está relacionado com a adsorção de sódio pelo solo (ALMEIDA, 2010). A partir da relação bicarbonato e cálcio presente na água é possível chegar a índices de salinidade, os quais variam de acordo com a cultura plantada. O excesso de sais na água pode gerar estresse à plantação. Segundo Maia, Rodrigues e Lacerda (2012), o acúmulo de bicarbonatos provenientes de água de irrigação pode formar uma crosta no solo, dificultar a infiltração da água e impedir a fertilização das culturas devido à precipitação de nutrientes como ferro e fosfatos. Outro problema comum em relação ao excesso de bicarbonato na água é a sua solidificação e consequente obstrução de equipamentos de irrigação.

No trecho 3 analisado para as águas superficiais visualiza-se um único ponto de concentração máxima de Bicarbonato acima do limite legal, totalizando 2.265,30 mg/L (Gráfico 45). Já para águas subterrâneas, o trecho com valores máximos que ultrapassam o

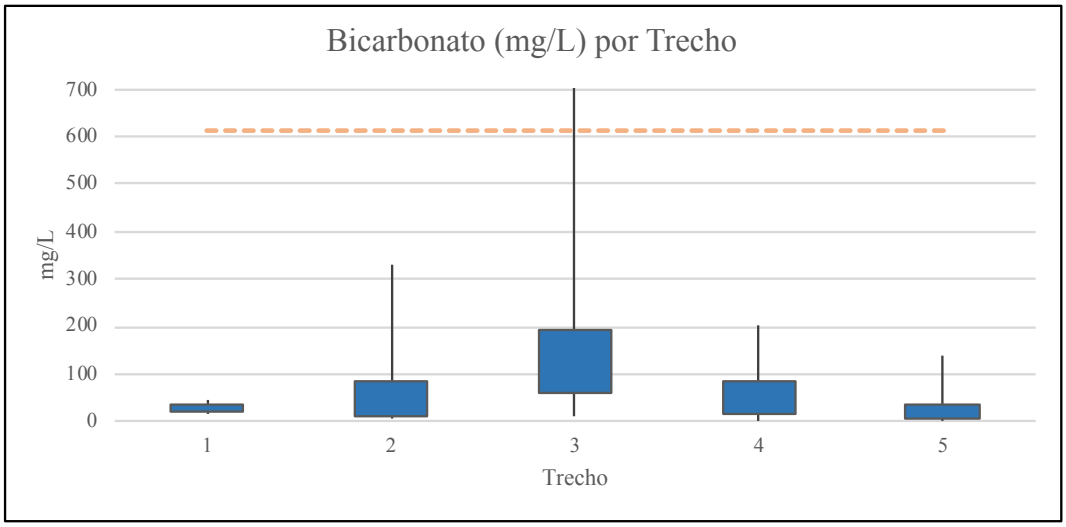
limite legal ocorrerau no terceiro, com três concentrações acima do limite, com valores 850,80 mg/L, 861,00 mg/L e 3.679,80 mg/L (Gráficos 46). Já os valores obtidos de bicarbonato para águas provenientes de abastecimento público, todos encontraram-se dentro do limite legal. Em suma, os valores medianos de todas as regiões encontram-se dentro do esperado.

Gráfico 45 - Concentração de Bicarbonato (mg/L) na água superficial por trecho



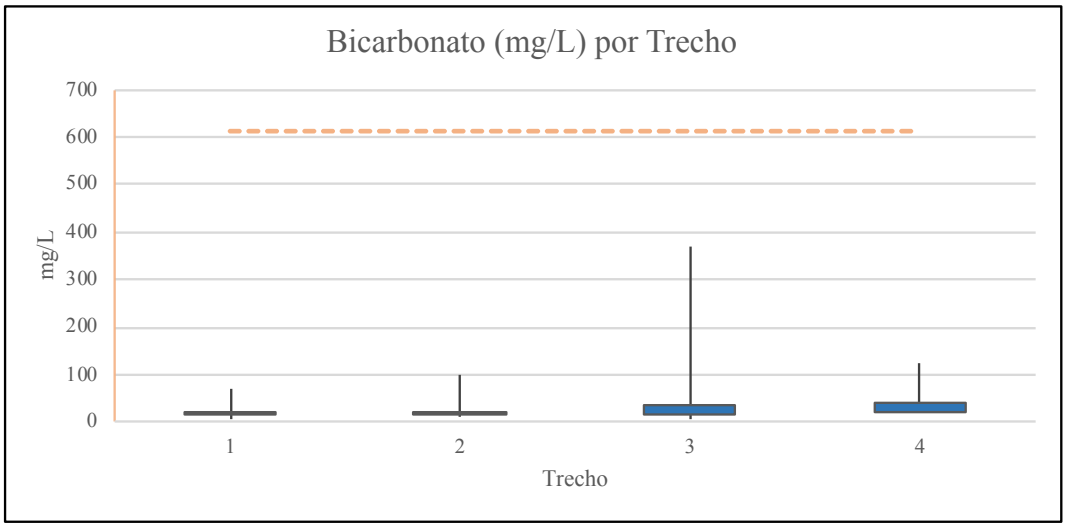
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 610 mg/L

Gráfico 46 - Concentração de Bicarbonato (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 610 mg/L

Gráfico 47 - Concentração de Bicarbonato (mg/L) na água pública por trecho

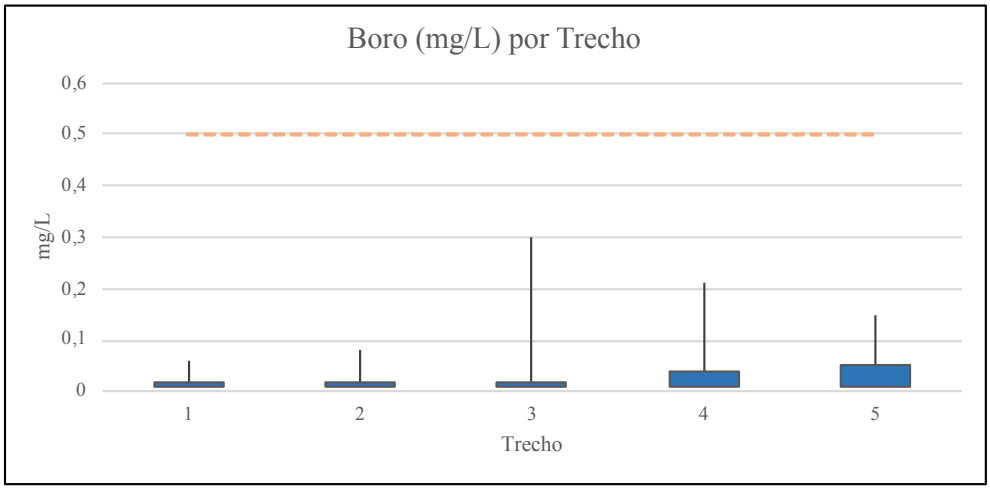


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 610 mg/L

Essencial em pequenas concentrações, o ligeiro excesso de Boro já é capaz de gerar efeitos adversos às plantas, por exemplo, o amarelamento das extremidades de suas folhas (ALMEIDA, 2010). Enquanto a Conama nº357/05 e Conama nº396/08 estabelecem a concentração aceitável de Boro para águas de classe 2 em 0,5 mg/L, Almeida (2010) apregoa 0 a 2,0 mg/L para água de irrigação.

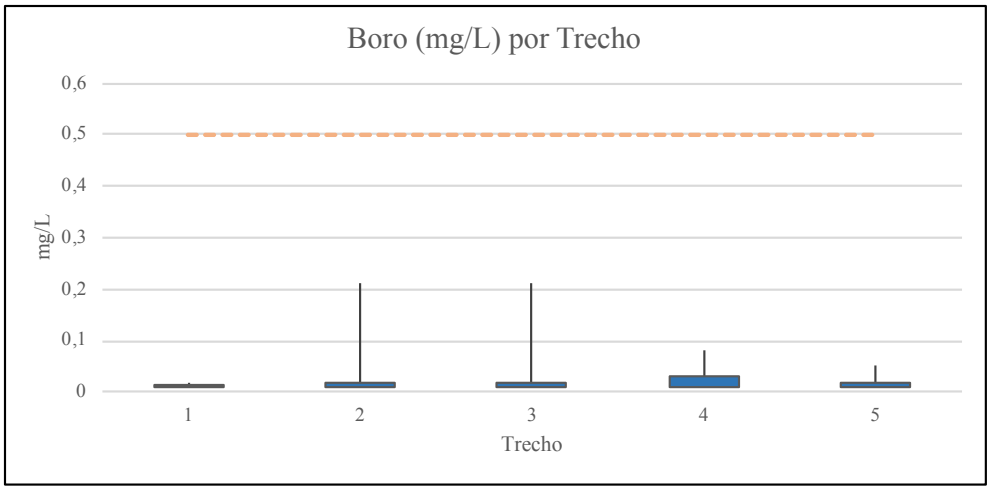
As análises de água superficial, subterrânea e provenientes de companhias de abastecimento público, obtidas para os cinco trechos, mostram valores dentro dos limites expressos para seu uso (Gráficos 48, 49 e 50).

Gráfico 48 - Concentração de Boro (mg/L) na água superficial por trecho



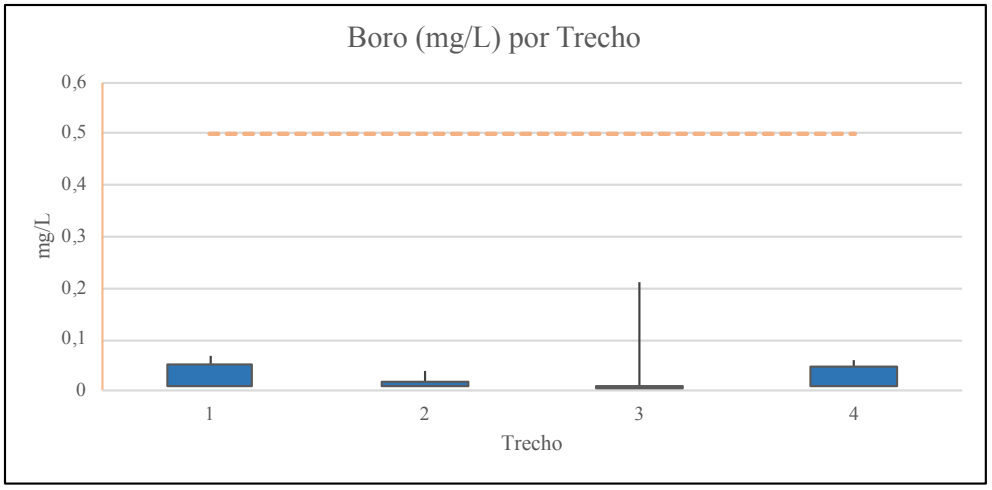
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 357/05 = 0,5 mg/L

Gráfico 49 - Concentração de Boro (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 396/08 = 0,5 mg/L

Gráfico 50 - Concentração de Boro (mg/L) na água pública por trecho

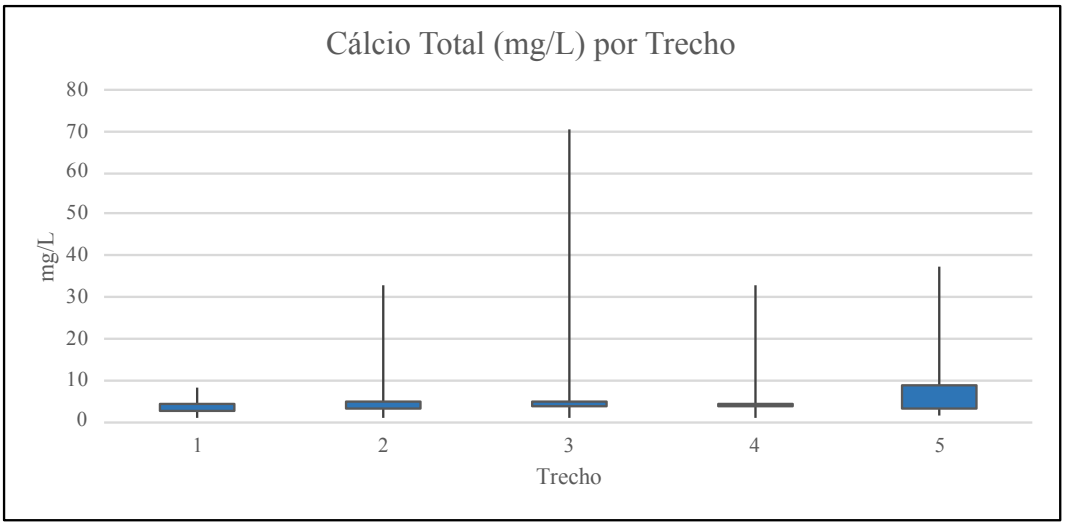


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 357/05 = 0,5 mg/L

Os teores de Cálcio no solo estão diretamente relacionados com o pH. Solos mais ácidos tendem a ter menos cálcio e magnésio disponíveis para as plantas. O excesso desse mineral na água de irrigação está associado a águas duras, o que pode causar incrustações em maiores temperaturas (SILVA et al., 2011).

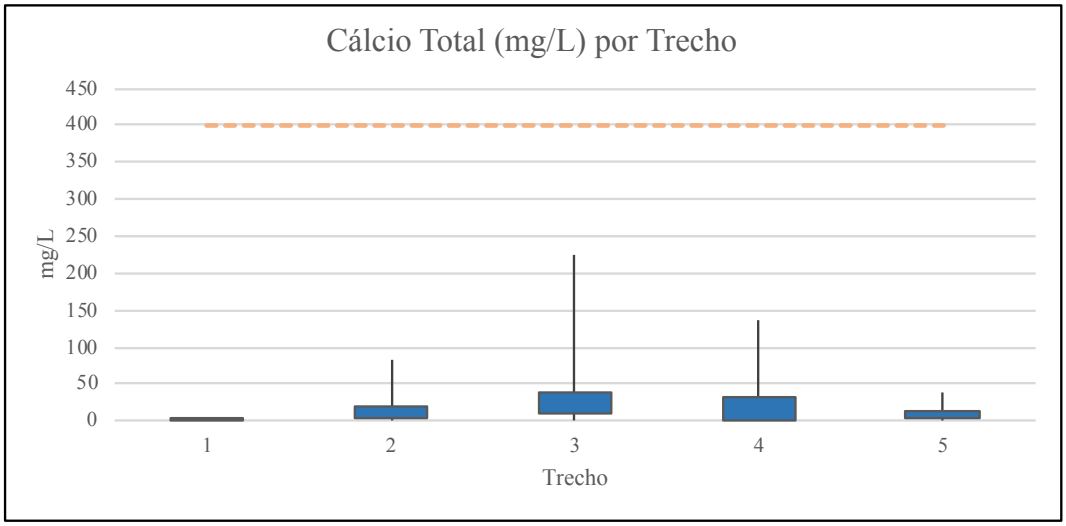
O limite previsto por Almeida (2010) para águas de irrigação é de 400 mg/L, estando assim todas as análises dentro do limite estabelecido para águas de irrigação (Gráficos 51, 52 e 53).

Gráfico 51 - Concentração de Cálcio (mg/L) na água superficial por trecho



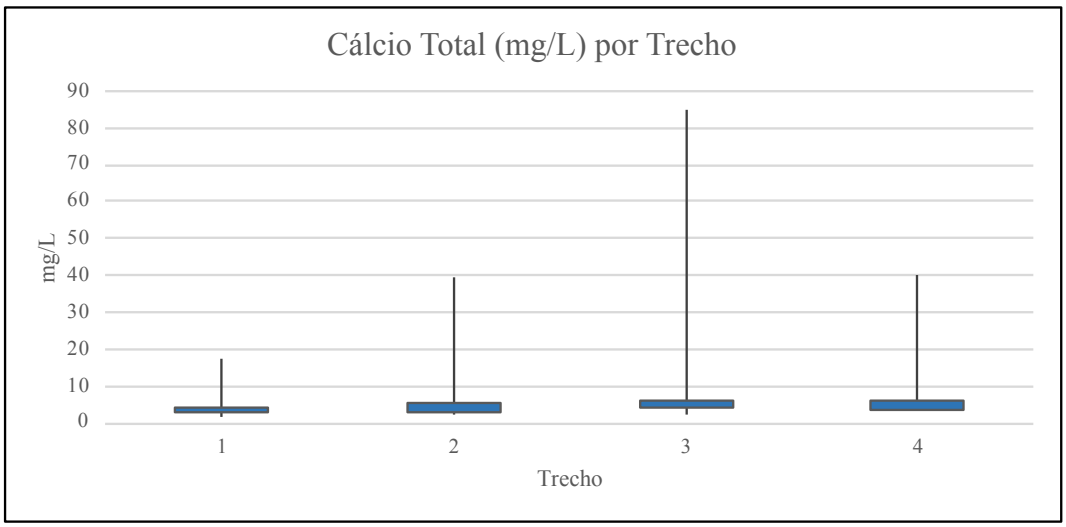
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 400,8 mg/L

Gráfico 52 - Concentração de Cálcio (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 400,8 mg/L

Gráfico 53 - Concentração de Cálcio (mg/L) na água pública por trecho



Fonte: Elaboração própria.

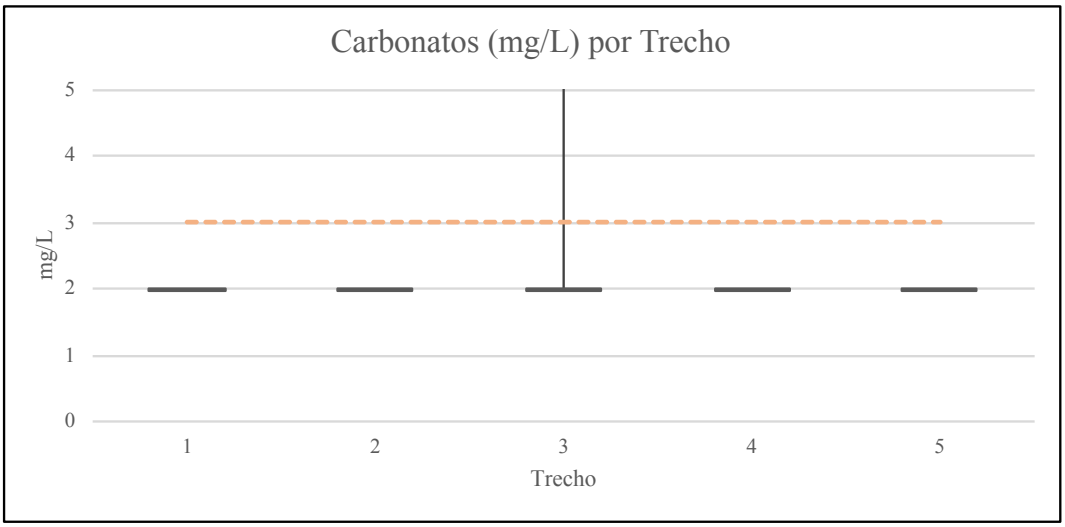
*Limite Almeida (2010) = 400,8 mg/L

Os Carbonatos, assim como os Bicarbonatos, estão relacionados com a alcalinidade da água. A falta de esgotamento sanitário industrial colabora com o seu aumento e, por conseguinte, com a elevação do pH da água (CETESB, 2014). O seu excesso pode ocasionar incrustações em tubulações, sistemas de irrigação e manchas nas culturas irrigadas (ALMEIDA, 2010).

Valor acima do limite exposto por Almeida (2010) para água de uso na irrigação é percebido em um ponto do trecho 3 das águas superficiais em uma concentração máxima de 45,90 mg/L (Gráficos 54). Para as águas subterrâneas quatro propriedades extrapolaram o limite exposto nos trechos 3 e 4, com concentrações de 6,20 mg/L, 8,20 mg/L, 10,80 mg/L e 11,2 mg/L (Gráfico 55). Esses valores acima do limite podem ser resultado de um excesso de correção de acidez do solo por uso de calcário, aumentando, assim, os carbonatos presente na água, ou devido a lançamento de efluentes domésticos e industriais.

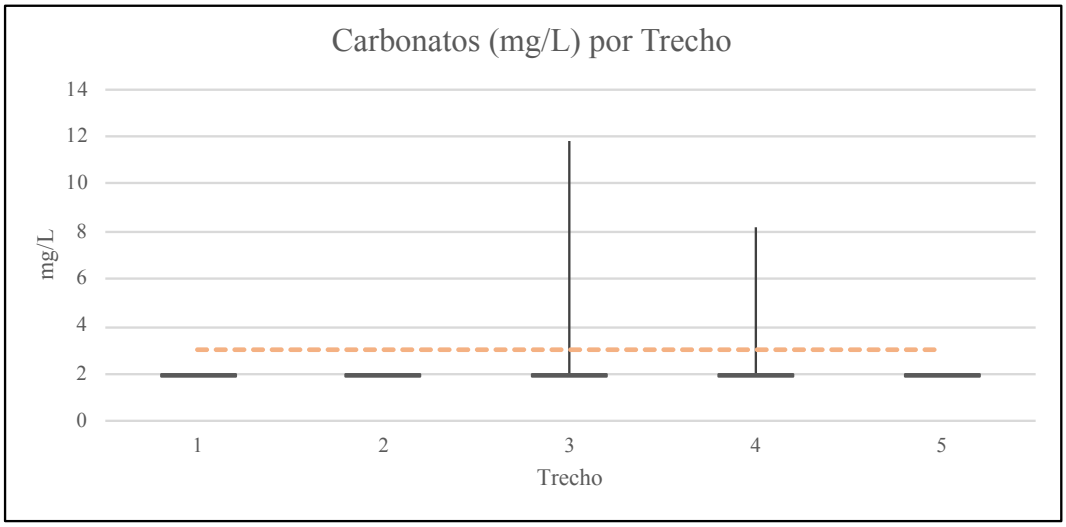
Já para as análises de água de abastecimento público todos os valores encontrados estão dentro do limite para águas de uso agrícola (Gráfico 56).

Gráfico 54 - Concentração de Carbonatos (mg/L) na água superficial por trecho



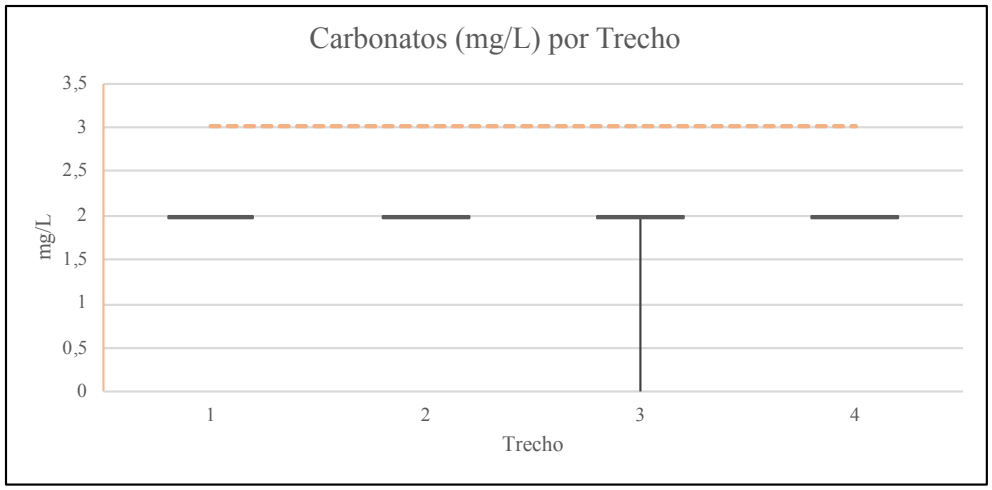
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 3,0 mg/L

Gráfico 55 - Concentração de Carbonatos (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 3,0 mg/L

Gráfico 56 - Concentração de Carbonatos (mg/L) na água pública por trecho

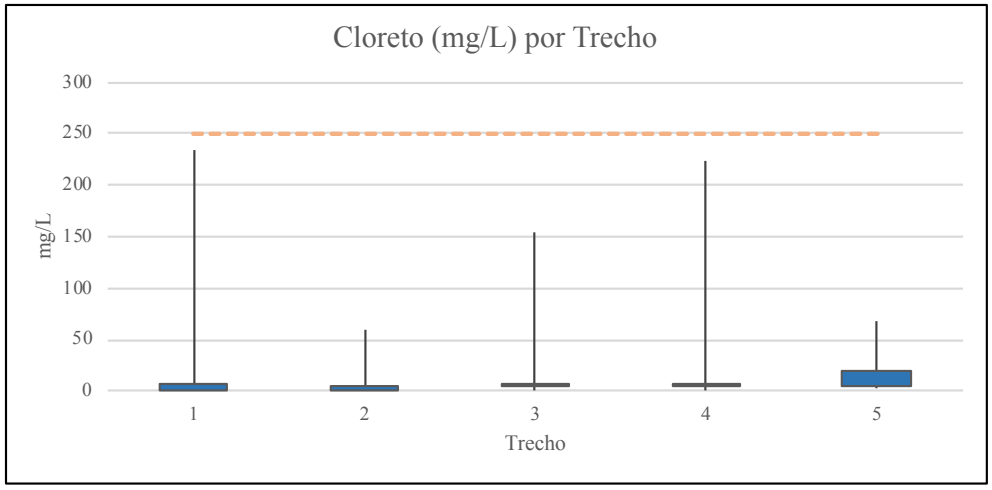


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 3,0 mg/L

Os Cloretos, assim como os Sulfatos e Nitratos, apresentam alta solubilidade em água, tendo um efeito rápido no solo. Em grandes concentrações, podem causar danos às culturas (PREZOTTI; GUARÇON, 2013), como a clorose foliar (ALMEIDA, 2010).

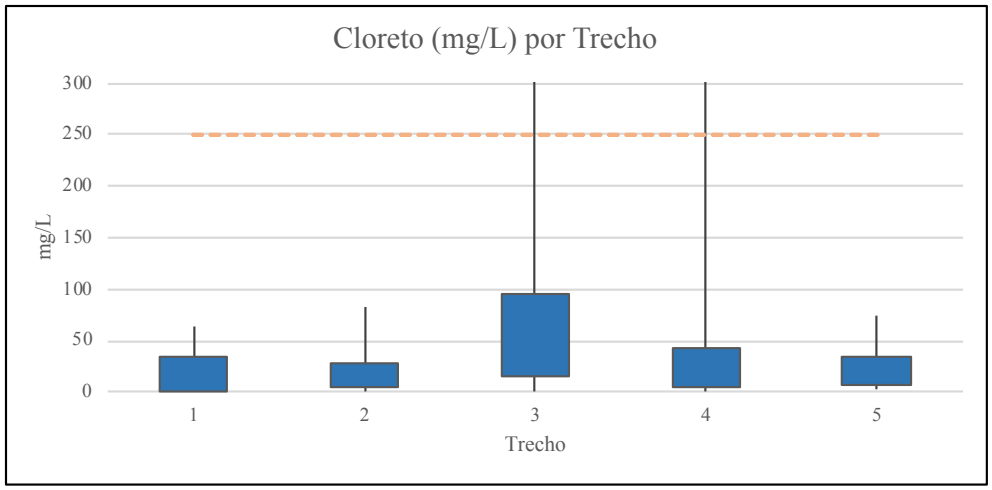
As concentrações de cloreto para águas superficiais (Gráfico 57) e águas provenientes de abastecimento público (Gráfico 59) encontram-se dentro dos padrões estabelecidos. Já para as águas subterrâneas, nos trechos 3 e 4, visualiza-se três casos pontuais de concentrações acima do limite exposto por Almeida (2010).

Gráfico 57 - Concentração de Cloreto (mg/L) na água superficial por trecho



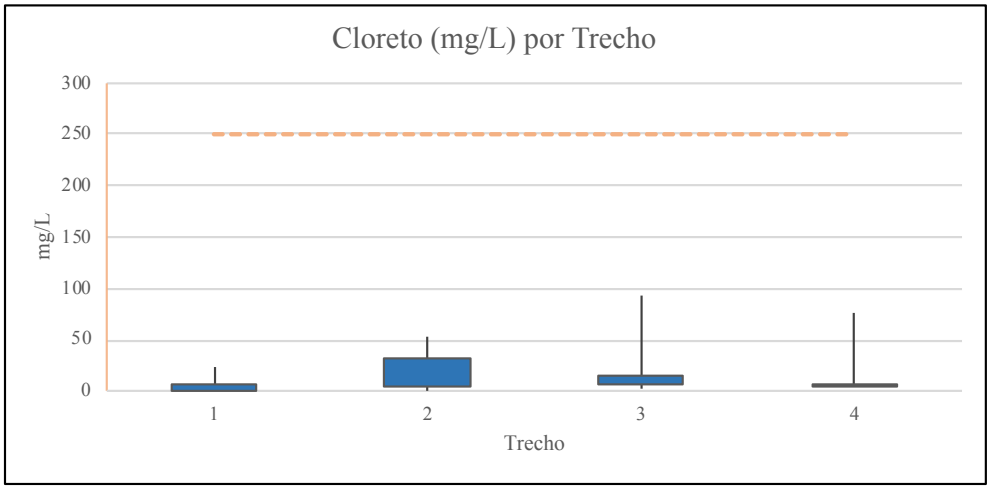
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 357/05 = 250 mg/L

Gráfico 58 - Concentração de Cloreto (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 396/08 = 700 mg/L

Gráfico 59 - Concentração de Cloreto (mg/L) na água pública por trecho

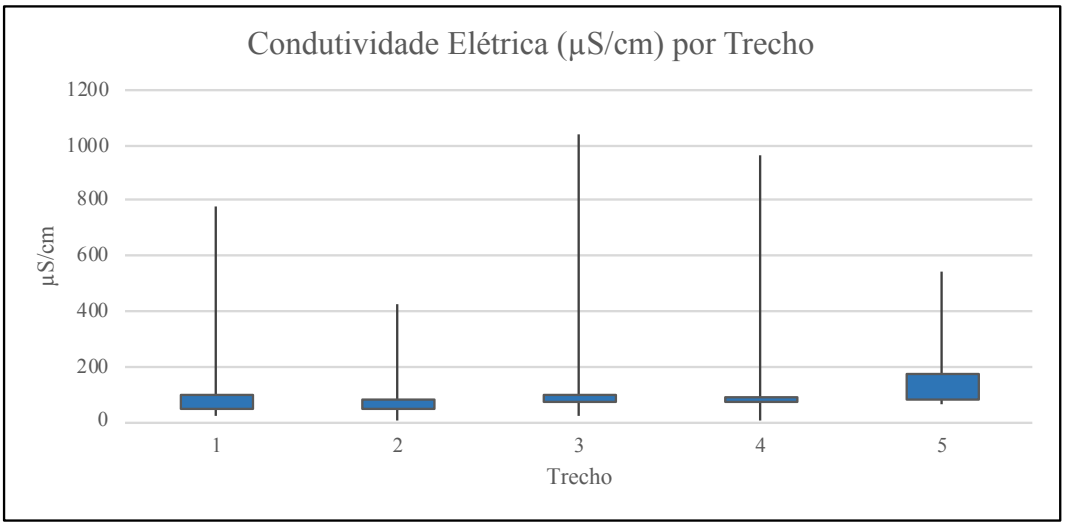


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 357/05 = 250 mg/L

A condutividade elétrica é um parâmetro que permite avaliar indiretamente a quantidade de sais e íons dissolvidos. De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), águas com uso na irrigação podem ter uma condutividade de até 2000 (µS/cm).

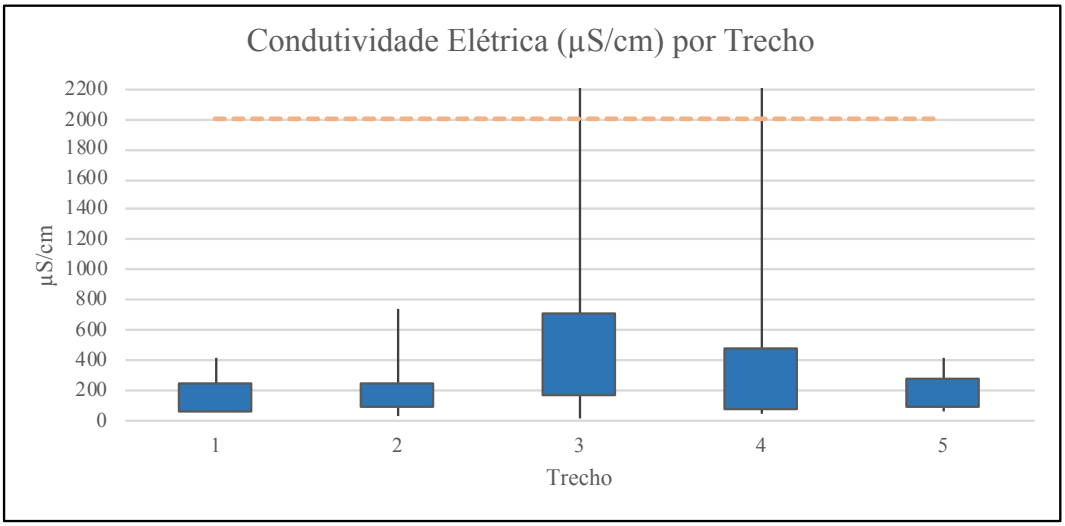
As águas superficiais (Gráfico 60) e provenientes de abastecimento público (Gráfico 62) apresentam valores de condutividade dentro dos limites estabelecidos por Prezotti e Guarçoni (2013). No caso das águas subterrâneas (Gráfico 61) encontra-se uma propriedade no trecho 3 (2.231 mg/L) e uma propriedade no trecho 4 (2.823 mg/L) com valores de concentrações acima do limite.

Gráfico 60 - Concentração de Condutividade Elétrica (µS/cm) na água superficial por trecho



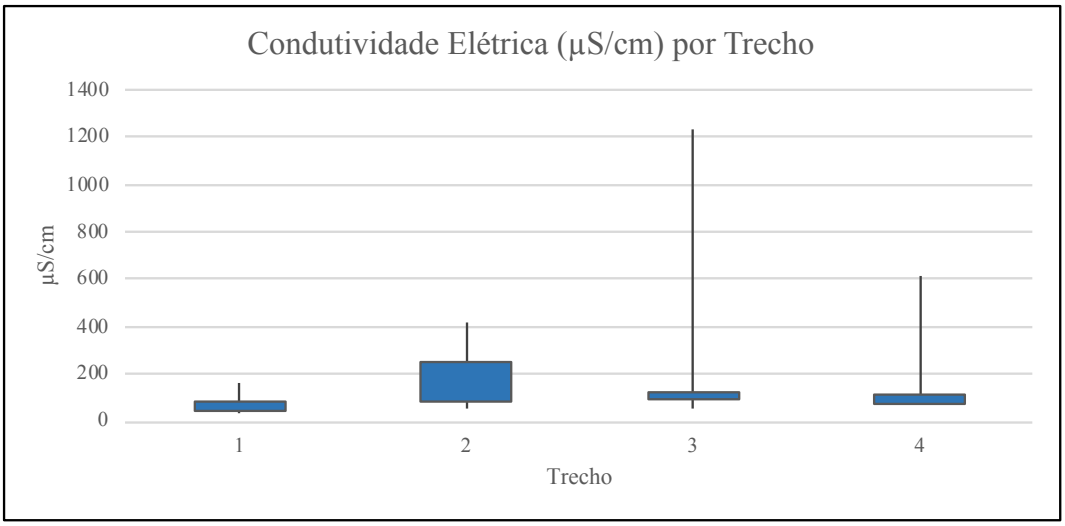
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Prezotti e Guarçoni (2013) = 2000 µS/cm

Gráfico 61 - Concentração de Condutividade Elétrica (µS/cm) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Prezotti e Guarçoni (2013) = 2000 µS/cm

Gráfico 62 - Concentração de Condutividade Elétrica (µS/cm) na água pública por trecho



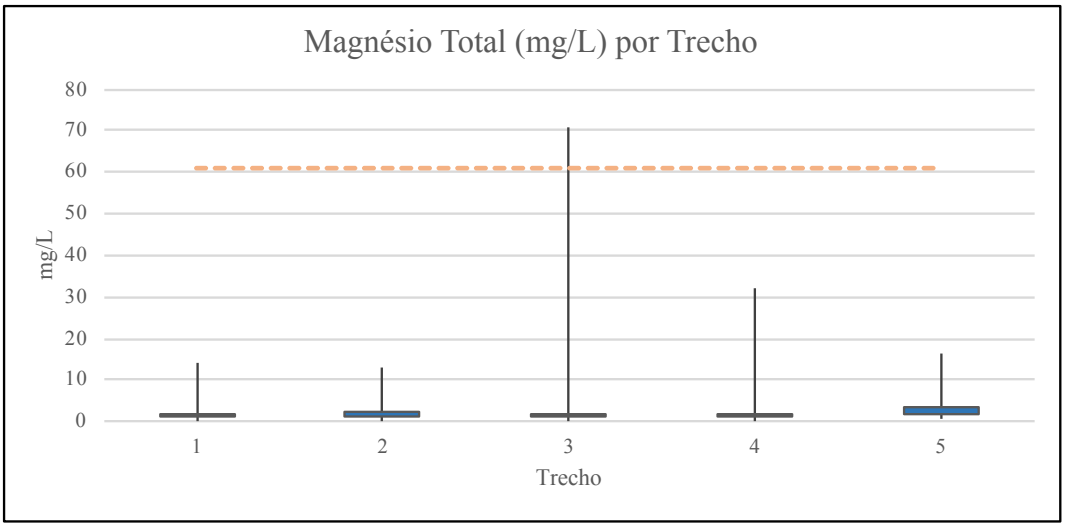
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Prezotti e Guarçoni (2013) = 2000 µS/cm

O Magnésio é um dos metais responsáveis pela dureza da água, assim como o Cálcio. Seu excesso causa a precipitação de sabões, impedindo a formação de espumas. A principal fonte de Magnésio na água é natural, decorrente da dissolução de rochas que contenham esse metal. Com isso comumente encontram-se águas subterrâneas com maior dureza do que superficiais (CETESB, 2014).

Assim como o sódio, cálcio, potássio, cloretos, bicarbonatos, carbonatos, sulfatos e boro, esse metal tem relação direta com a salinização da água e do solo. Valores de Magnésio, quando muito altos, podem acarretar o entupimento de tubulações, aspersores, causando uma redução da eficácia do sistema de irrigação (ALMEIDA 2010).

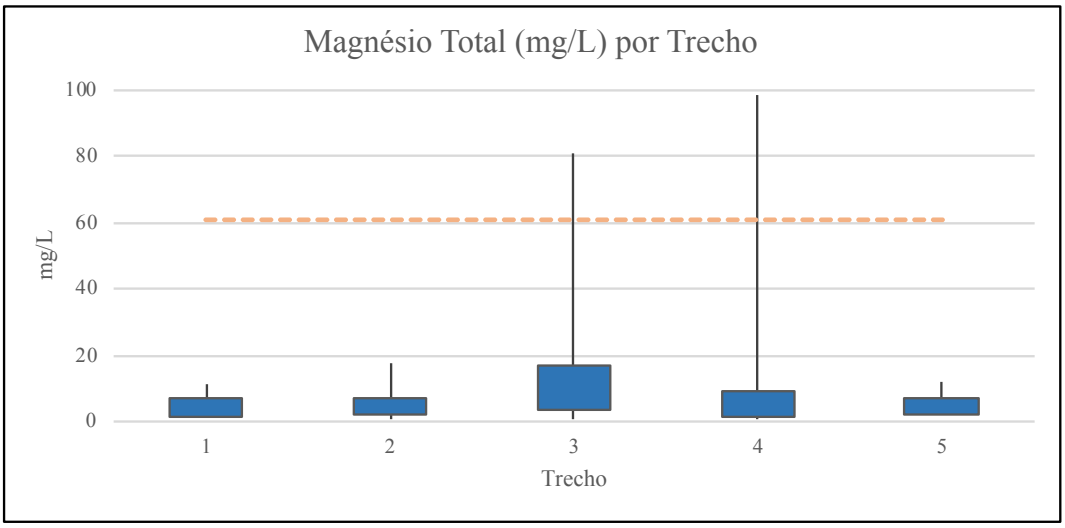
Nas amostras de água proveniente de abastecimento público todos os trechos encontram-se dentro do limite. Já para as águas superficiais e subterrâneas encontrou-se três propriedades com valores acima do limite, para os trechos 3 e 4. Nota-se que as maiores concentrações ocorrem para águas subterrâneas, o que pode ser explicado devido ao tipo de formação rochosa, ocasionando um aumento desse metal na água.

Gráfico 63 - Concentração de Magnésio (mg/L) na água superficial por trecho



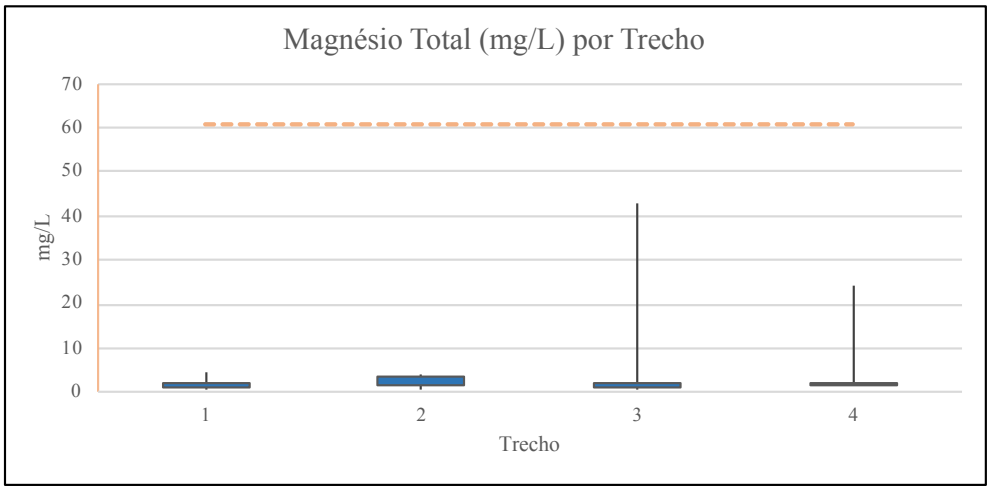
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010)= 60,8 mg/L

Gráfico 64 - Concentração de Magnésio (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010)= 60,8 mg/L

Gráfico 65 - Concentração de Magnésio (mg/L) na água pública por trecho

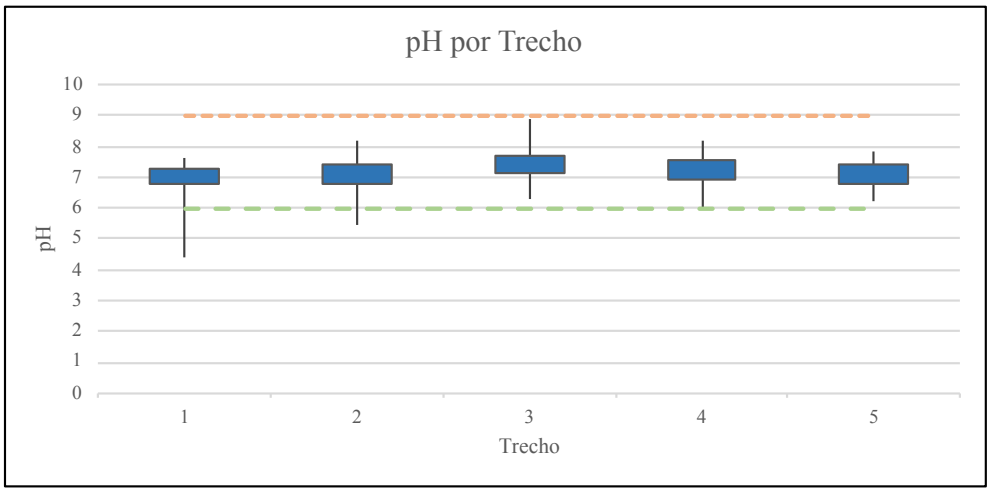


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010)= 60,8 mg/L

O pH é um parâmetro que tem direta relação com a fertilidade do solo, pois em determinadas faixa de pH o solo possui nutrientes disponíveis ou não. Faixas de pH muito baixas ou muito altas podem causar problemas nutritivos (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). O limite expresso pela Conama nº357/05 é entre 6 e 9.

Nos Gráficos 66, 67 e 68, a seguir, nota-se em sua maioria valores dentro dessas médias legais, isolados abaixo do limite inferior. Para as águas subterrâneas, nota-se para o trecho 4 valores menores de pH, o que pode ser explicado pelo excesso de efluentes lançados no curso d'água na região de Governador Valadares, devido à falta de tratamento de águas residuárias. Esses lançamentos possibilitam um aumento da eutrofização da água, e consequente decréscimo do pH.

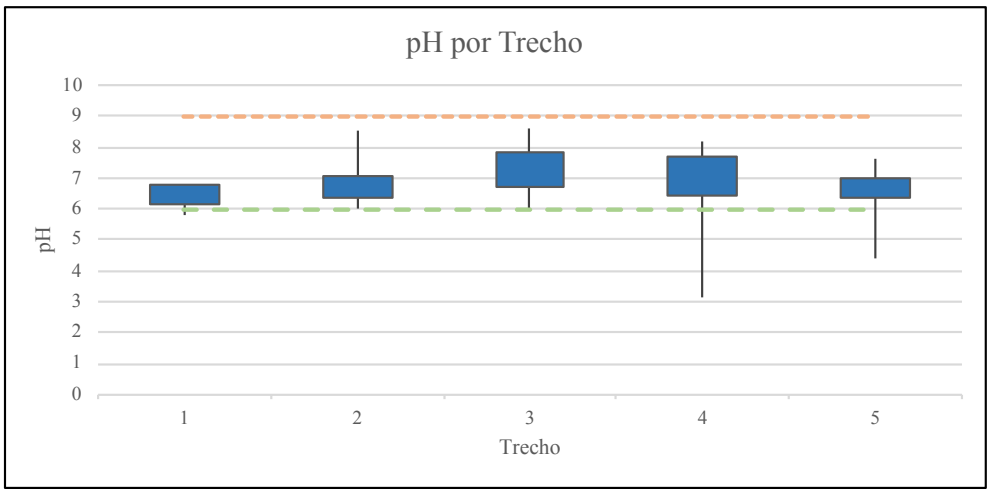
Gráfico 66 - Concentração de pH (mg/L) na água superficial por trecho



Fonte: Elaboração própria.

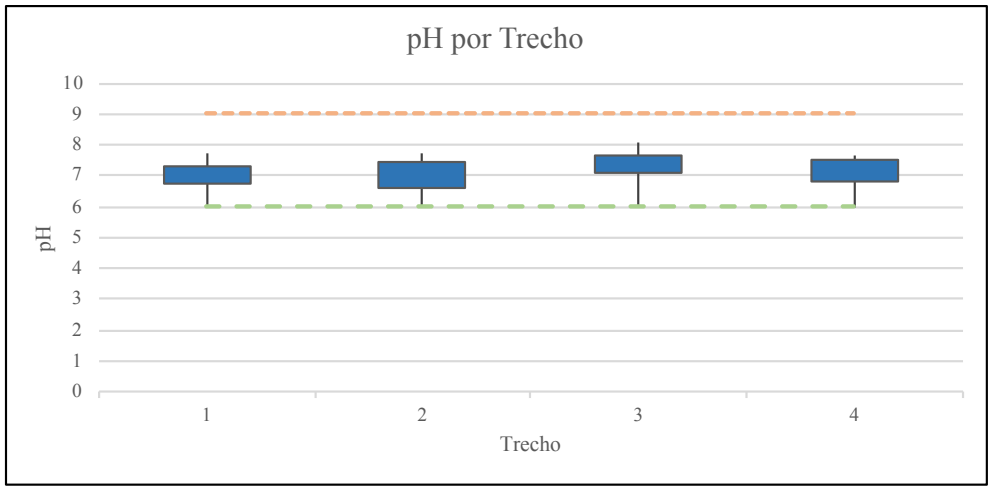
*Limite Conama nº357/05 = 6 a 9

Gráfico 67 - Concentração de pH (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama nº357/05 = 6 a 9

Gráfico 68 - Concentração de pH (mg/L) na água pública por trecho

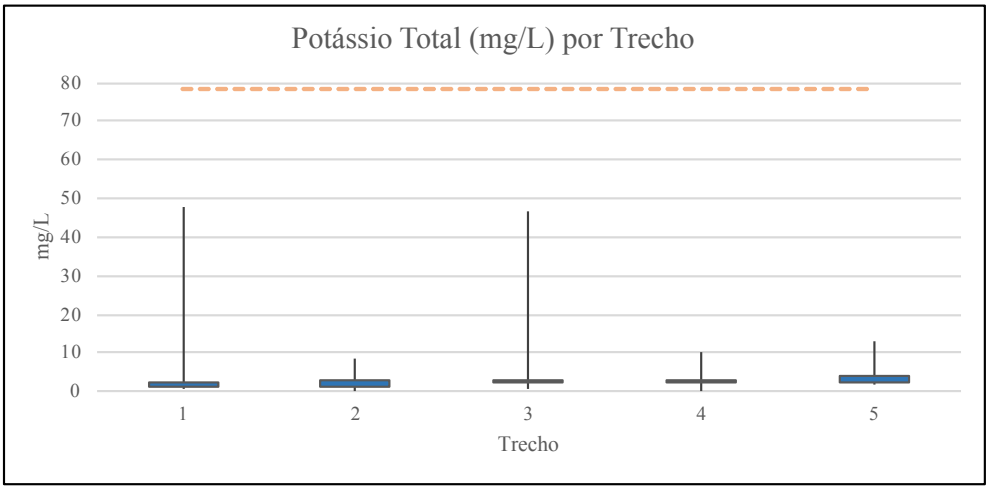


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama nº357/05 = 6 a 9

O Potássio assim como outros sais tem relação direta com a salinização da água e do solo (ALMEIDA, 2010). Naturalmente em pequenas concentrações na água, esse elemento acumula-se em consequência de descarga de efluentes e fertilizantes (CETESB, 2014).

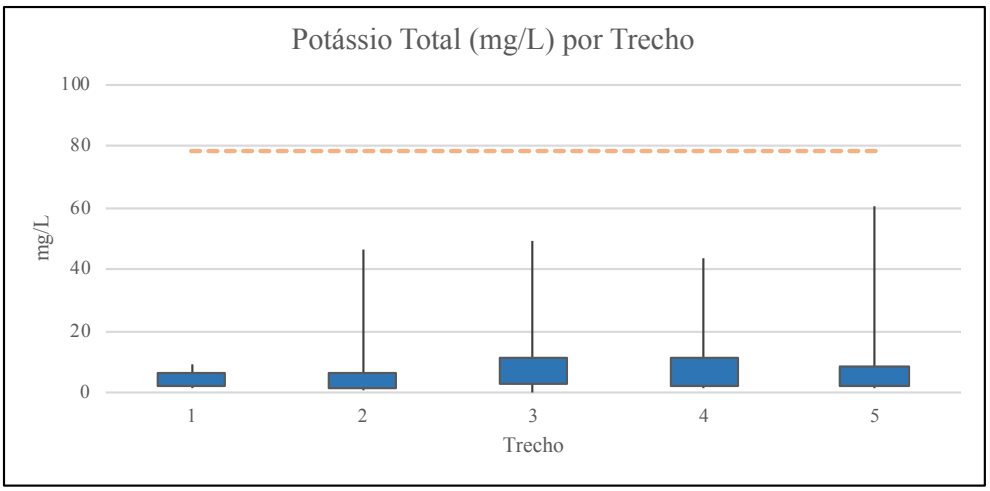
Esse metal, segundo Almeida (2010), tem como referência de concentração para água de irrigação 78,2 mg/L, e em todas as fontes de captação encontra-se dentro do padrão estabelecido (Gráficos 69, 70 e 71).

Gráfico 69 - Concentração de Potássio Total (mg/L) na água superficial por trecho



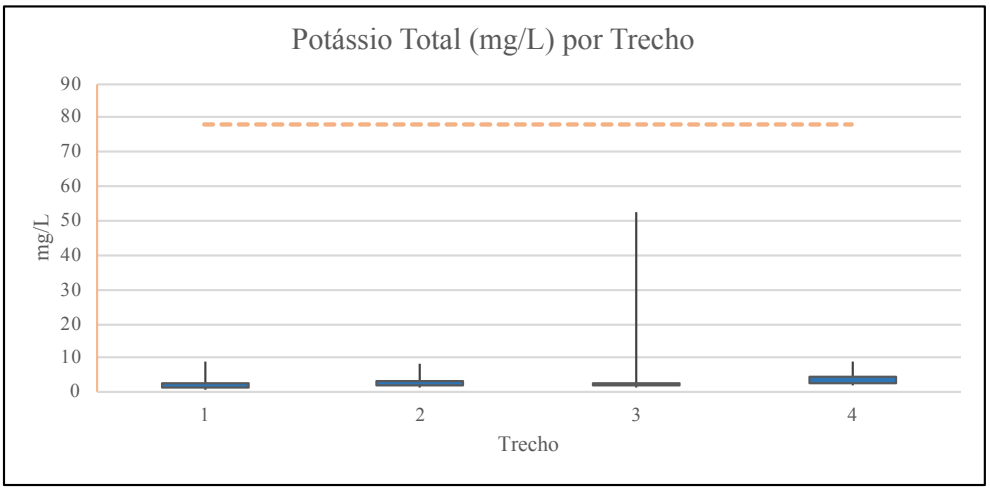
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010)= 78,2 mg/L

Gráfico 70 - Concentração de Potássio Total (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010) = 78,2 mg/L

Gráfico 71 - Concentração de Potássio Total (mg/L) na água pública por trecho



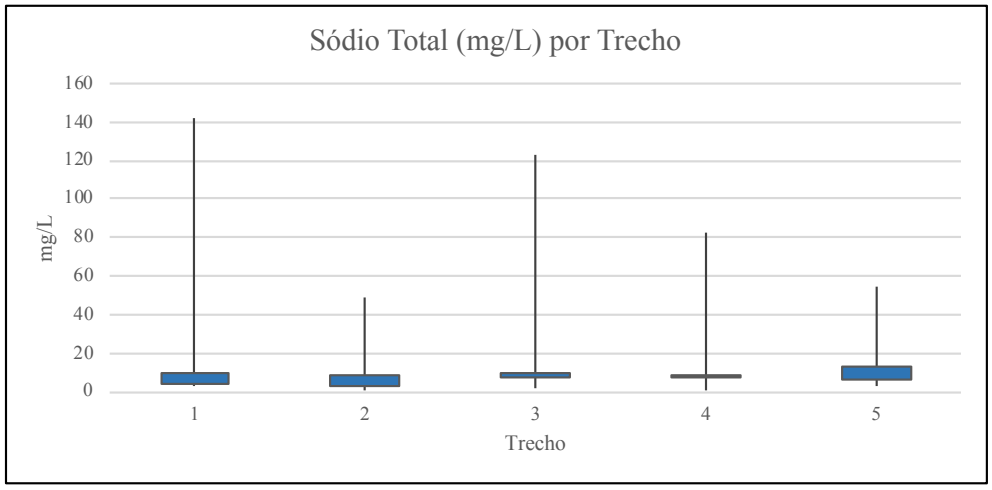
Fonte: Elaboração própria.

*Limite Almeida (2010) = 78,2 mg/L

A sodicidade representa a quantidade de Sódio presente na água. É usada como parâmetro de qualidade de águas de irrigação devido a seu impacto na permeabilidade e toxicidade do solo. Seu limite para águas com uso na irrigação é de 919,6 mg/L (ALMEIDA, 2010).

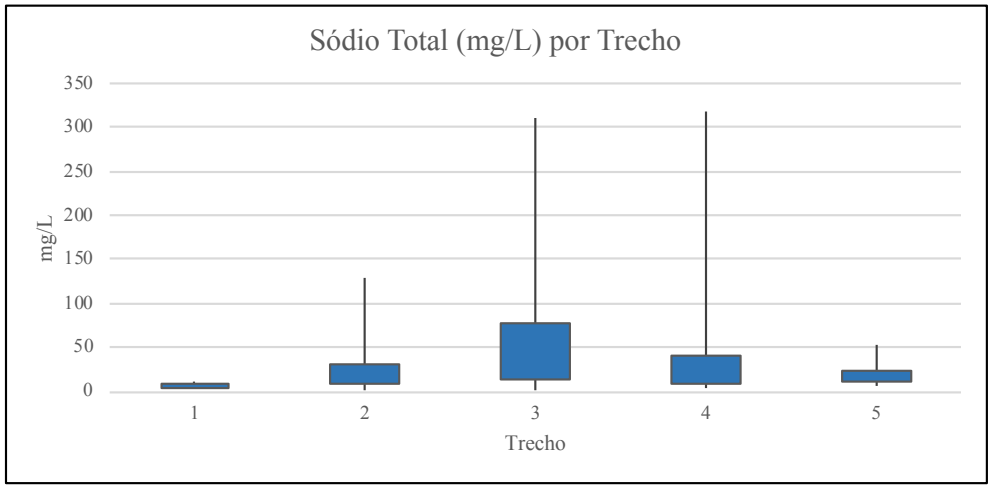
Nas análises a seguir (Gráficos 72, 73 e 74), todas as captações apresentam valores muito abaixo desse limite, por isso não foram apresentados nos gráficos esse limite para não distorcer o eixo y em excesso, perdendo assim a visualização dos dados.

Gráfico 72 - Concentração de Sódio Total (mg/L) na água superficial por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010)= 919,6 mg/L

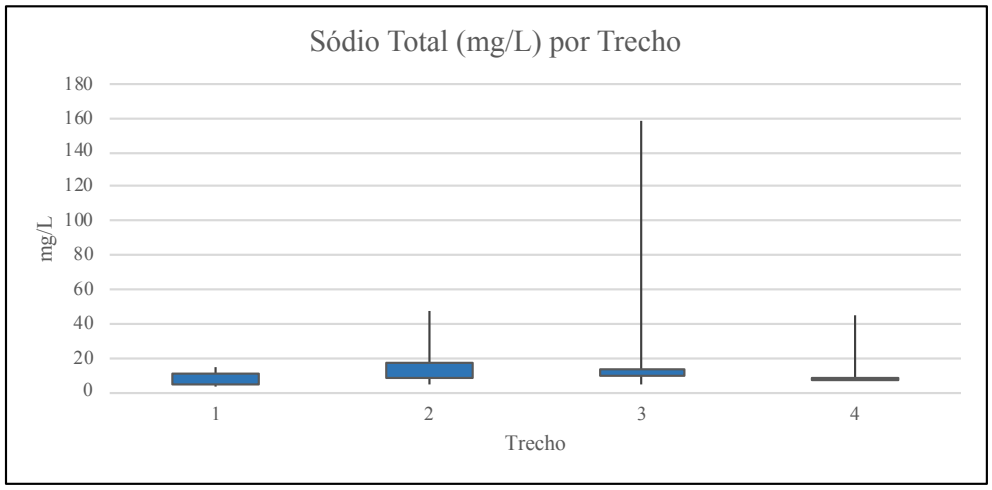
Gráfico 73 - Concentração de Sódio Total (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010)= 919,6 mg/L

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

Gráfico 74 - Concentração de Sódio Total (mg/L) na água pública por trecho

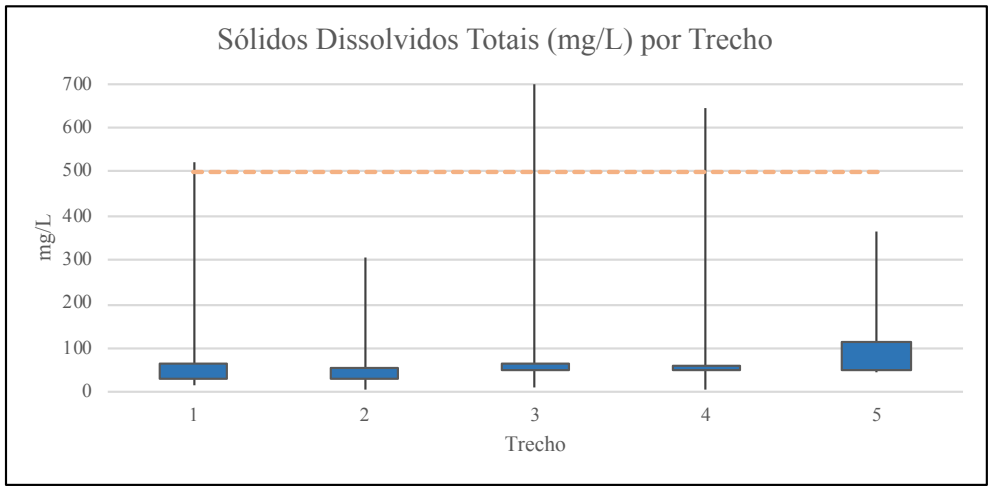


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Almeida (2010)= 919,6 mg/L

O parâmetro de sólidos dissolvidos totais tem como limite para classe 2 o valor de 500mg/L, definido para o uso da água para irrigação na Conama nº357/05. A ocorrência de valores ultrapassando o limite legal deriva-se de diversos fatores e elementos dissolvidos na água, como magnésio, ferro, sódio, carbonatos e bicarbonatos, elementos estes apresentados anteriormente em concentrações acima do limite em alguns trechos.

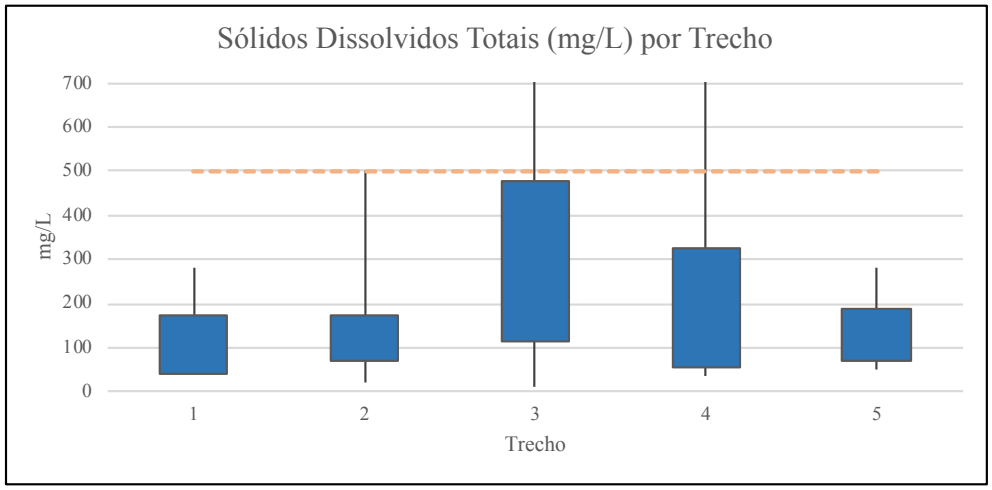
Esse parâmetro está interligado também com a condutividade elétrica, pois proporcionalmente, quando um aumenta sua concentração, o outro aumenta seu valor. Nos Gráficos 75 e 76, visualiza-se no trecho 3 e 4 pontos acima do limite Conama, região já explanada anteriormente como de grande impacto industrial e urbano, o que justificaria esse excesso. Já no Gráfico 77, nota-se um aumento de sólidos dissolvidos, e isso pode ocorrer devido à presença de desinfetantes usados no processo de tratamento da água e/ou por sulfatos usados na floculação. Porém vale destacar que de um universo amostral de 500 propriedades, dezesseis apresentaram valores acima do limite legal.

Gráfico 75 - Concentração de Sólidos Dissolvidos (mg/L) na água superficial por trecho



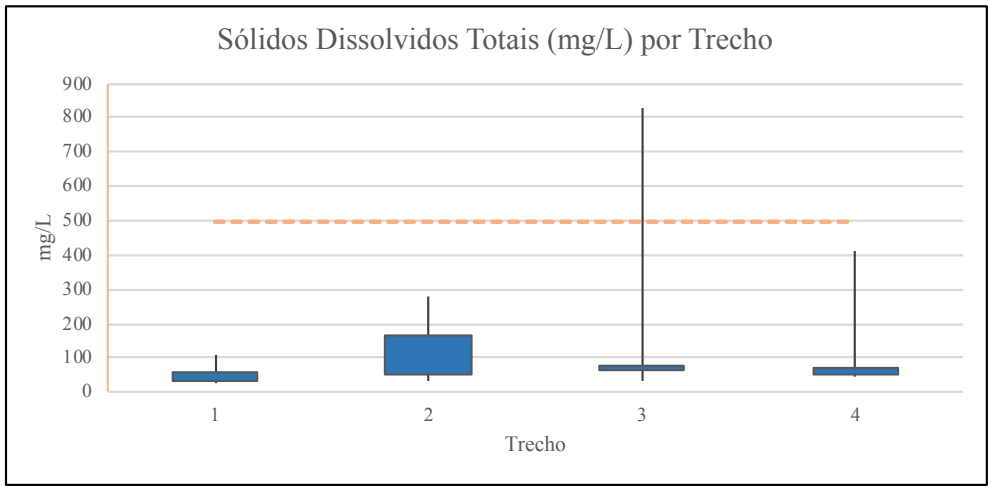
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama nº357/05 = 500,0 mg/L

Gráfico 76 - Concentração de Sólidos Dissolvidos (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama nº357/05 = 500,0 mg/L

Gráfico 77 - Concentração de Sólidos Dissolvidos (mg/L) na água pública por trecho

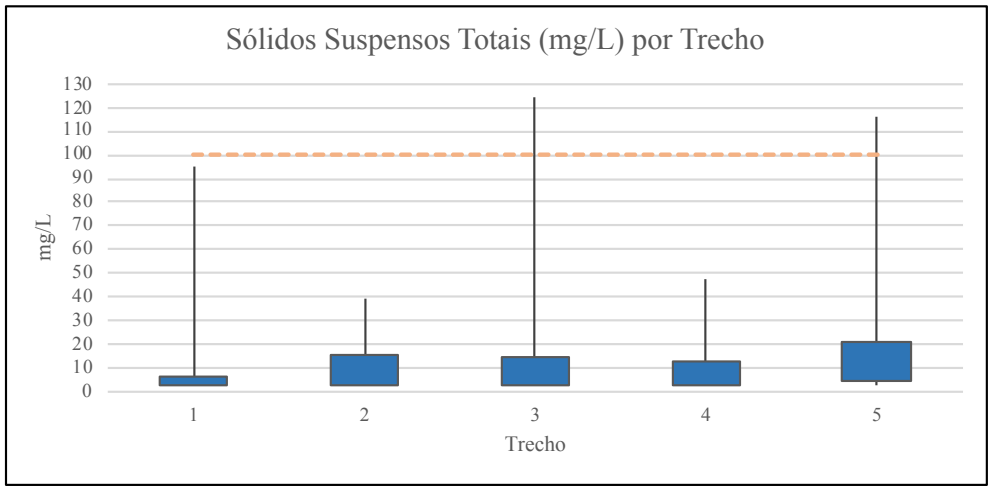


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama nº357/05 = 500,0 mg/L

Os sólidos suspensos totais (SST) são um parâmetro que informa a quantidade de partículas em suspensão na água, e, segundo a COPAM nº 1 de 2008, o limite para águas de classe 2 é de 100 mg/L. Os SST registraram valores não antes vistos.

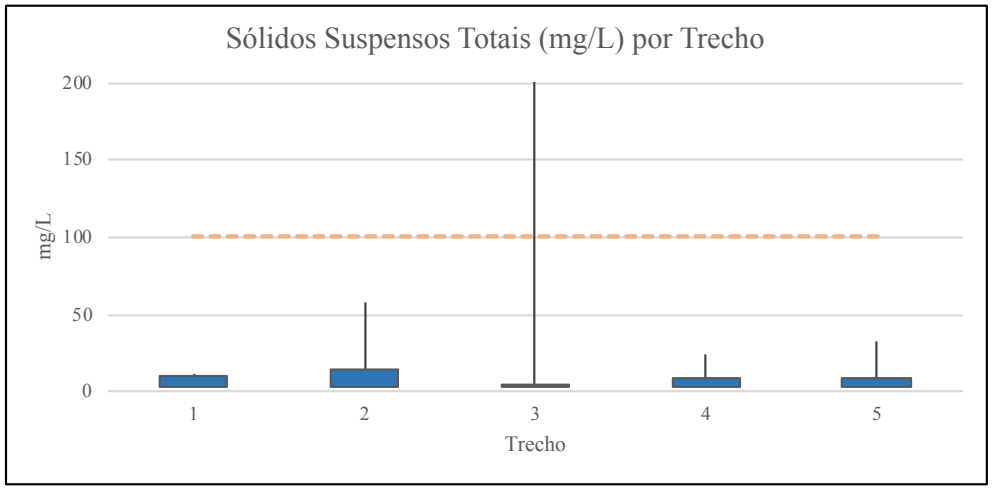
Para as águas superficiais e subterrâneas nota-se que as maiores concentrações foram no trecho 3, e para captações de abastecimento público todos os trechos apresentam valores dentro do limite. Já para os gráficos 78 e 79, tem-se como hipótese o revolvimento de sólidos devido a obras de engenharia que vêm ocorrendo em todo o período de coleta de dados no curso do rio. Deve destacar também que menos de 10% das amostras estão acima do limite exposto.

Gráfico 78 - Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) na água superficial por trecho



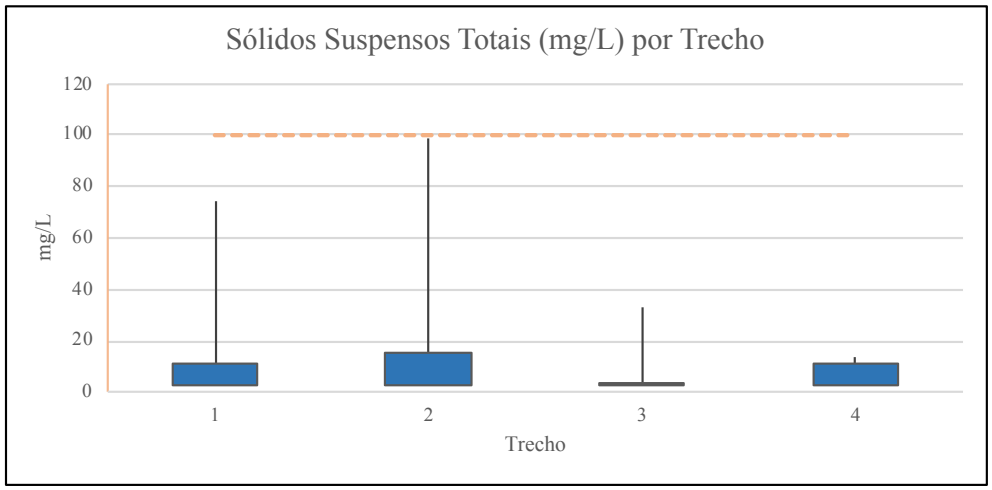
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Copam 01/08 = 100 mg/L

Gráfico 79 - Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Copam 01/08 = 100 mg/L

Gráfico 80 - Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) na água pública por trecho

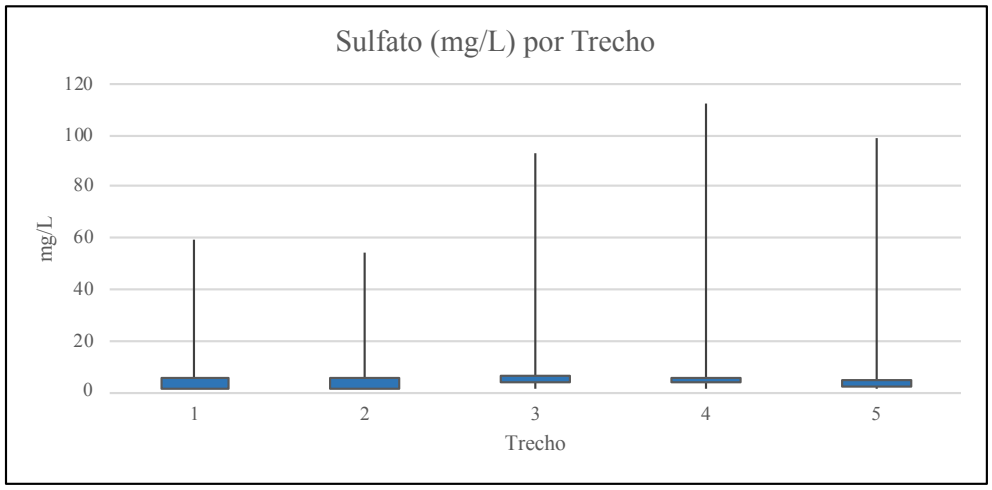


Fonte: Elaboração própria.
*Limite Copam 01/08 = 100 mg/L

Os Sulfatos ligados ao cálcio e magnésio são os principais componentes causadores da dureza na água, impedindo a formação de espumas em sabões e suas precipitações (CETESB, 2014). O sulfato de cálcio, assim como os carbonatos de magnésio e cálcio, é responsável por incrustação em tubulações (ALMEIDA, 2010).

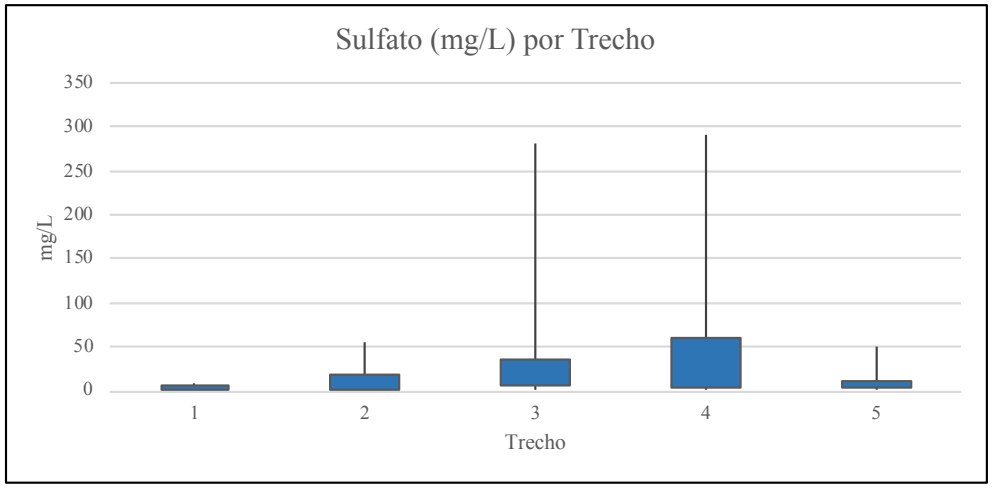
Segundo a Conama nº357/05, a sua concentração limite para águas de classe 2 é de 250 mg/L. As análises a seguir apresentam dentro do limite expresso pela Conama (Gráficos 81, 82 e 83). Devido as concentrações muito abaixo do limite Conama, este não foi expresso nos gráficos para não distorcer o eixo y.

Gráfico 81 - Concentração de Sulfato (mg/L) na água superficial por trecho



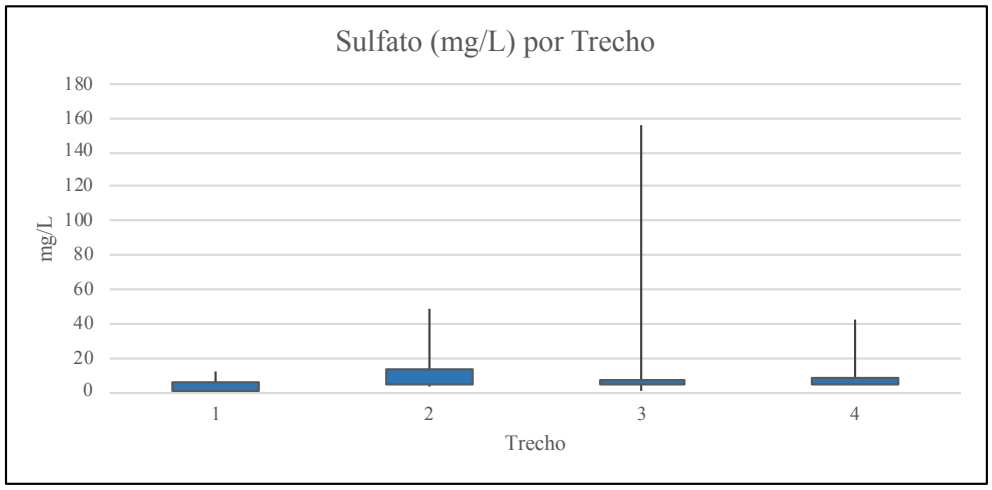
Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 357/05 = 250 mg/L

Gráfico 82 - Concentração de Sulfato (mg/L) na água subterrânea por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 357/05 = 250 mg/L

Gráfico 83 - Concentração de Sulfato (mg/L) na água pública por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limite Conama 357/05 = 250 mg/L

9.2.1 Análise Espacial das Culturas Irrigadas

A análise espacial das culturas irrigadas tem como referência os bancos de dados disponíveis, imagens de satélite de alta resolução e os *layers* gerados a partir dessas imagens. Das propriedades mapeadas a partir das imagens de satélite, foram indicadas aquelas que se referem a áreas: **agrícolas**, com lavouras permanentes ou temporárias, de ciclo longo ou curto, incluindo hortaliças, café; **forrageiras**, referentes a áreas de pastagem irrigadas/não irrigadas ou culturas de pequeno porte, com baixa biomassa, em áreas extensas; e **silvicultura**, principalmente eucalipto, que predomina na atividade na Área de Estudo.

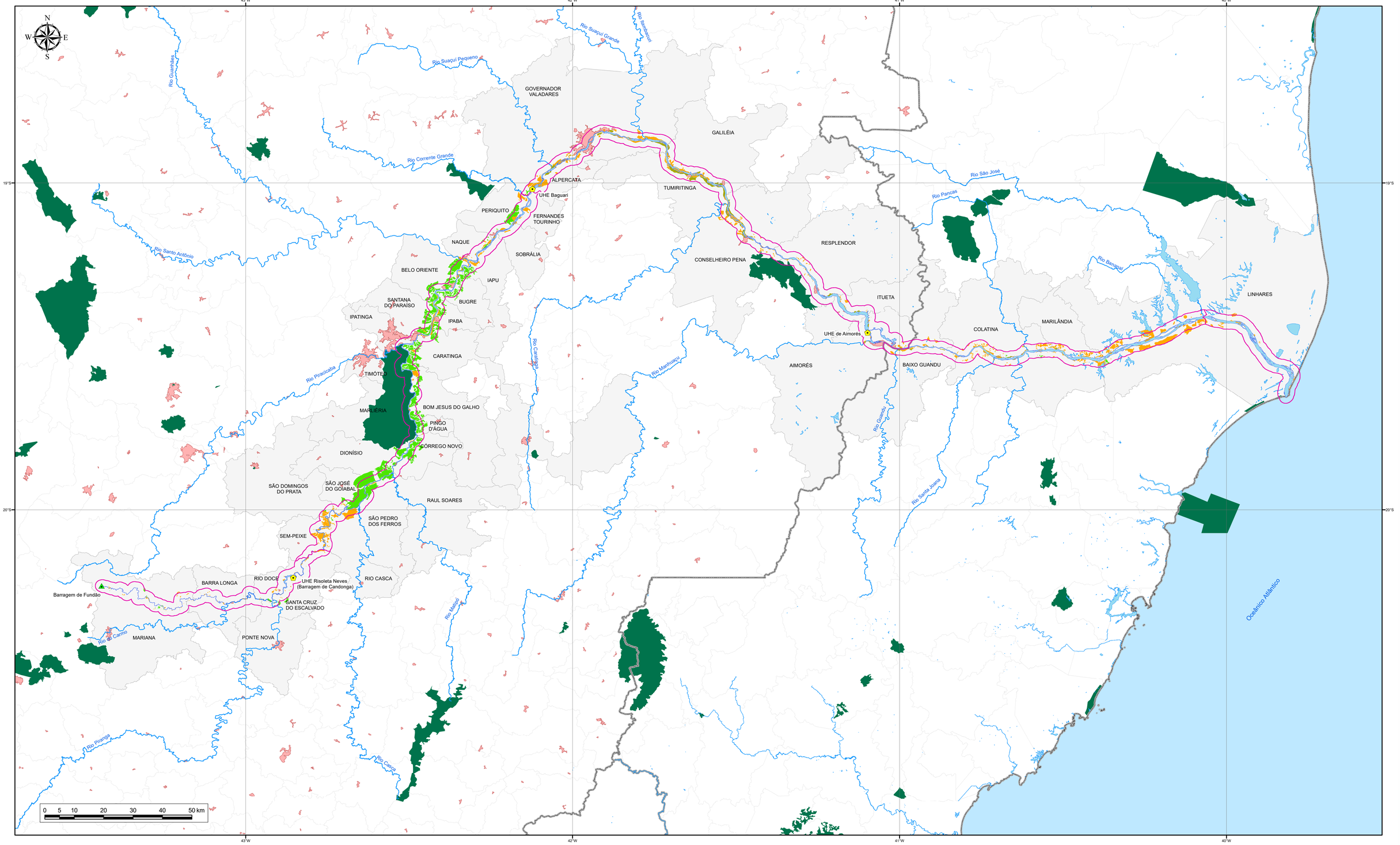
Visando a um entendimento mais aprofundado da situação das propriedades antes do rompimento da Barragem do Fundão, realizou-se uma interpretação das imagens de satélite para o ano de 2015, 2016, 2017 e 2018, que possibilitou a extração de informações de áreas cultiváveis de agricultura e silvicultura.

A área total em T0 (Tabela 12) de áreas agrícolas foi de 21.536 ha, de forrageiras 2.913 há, e a área total de silvicultura representa 568,01 ha (Figura 51 - Mapa Síntese de Áreas Cultivadas - T0). Já em T1 e T2, não se observaram diferenças na superfície das áreas cultivadas, mantendo, assim, os mesmos valores de tamanho. Em T1+T2 foram mapeados 21.536 ha de áreas agrícolas, mantendo-se praticamente inalteradas, de forrageiras 2.919 ha e a área total de silvicultura representa 31.631 ha (Tabela 12). Esses dados são consistentes com as informações do cadastro, em que a minoria das propriedades afirmou ter áreas destinadas à silvicultura (Figura 52 - Mapa Síntese de Áreas Cultivadas - T1+T2).

Tabela 12 - Áreas mapeadas no contexto do estudo de culturas irrigadas, em T0 e T1+T2

Trecho	Tempo	Área (ha) para cada tipo de utilização			
		Agrícolas	Forrageiras	Silvicultura	Total Geral
Trecho 1	T0	685,36	5,50	333,03	1.023,89
	T1	586,27	2,16	364,31	952,74
Trecho 2	T0	6.379,64	95,95	30.976,07	37.451,66
	T1	6.520,13	95,80	30.984,75	37.600,68
Trecho 3	T0	5.805,77	2.585,94	84,33	8.476,03
	T1	5.757,59	2.593,95	84,33	8.435,86
Trecho 4	T0	8.174,71	226,15	208,48	8.609,34
	T1	8.184,59	227,48	198,42	8.610,48
Trecho 5	T0	490,63	0,00	0,00	490,63
	T1	488,17	0,00	0,00	488,17
Total Geral - T0		**21.536,10**	**2.913,54**	**31.601,92**	**56.051,55**
Total Geral - T1 + T2		**21.536,74**	**2.919,38**	**31.631,81**	**56.087,94**

Fonte: Elaboração própria.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Curso de água
- Corpo de água
- Áreas urbanas
- Limites estaduais

LEGENDA

Áreas Cultivadas (T0)

- Areas agrícolas
- Pastagem
- PlantacaoEucalipto
- Unidadede de Conservação - Uso Integral
- Municípios afetados
- Municípios

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Trechos da área de estudo

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	-	-	X	X	17/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

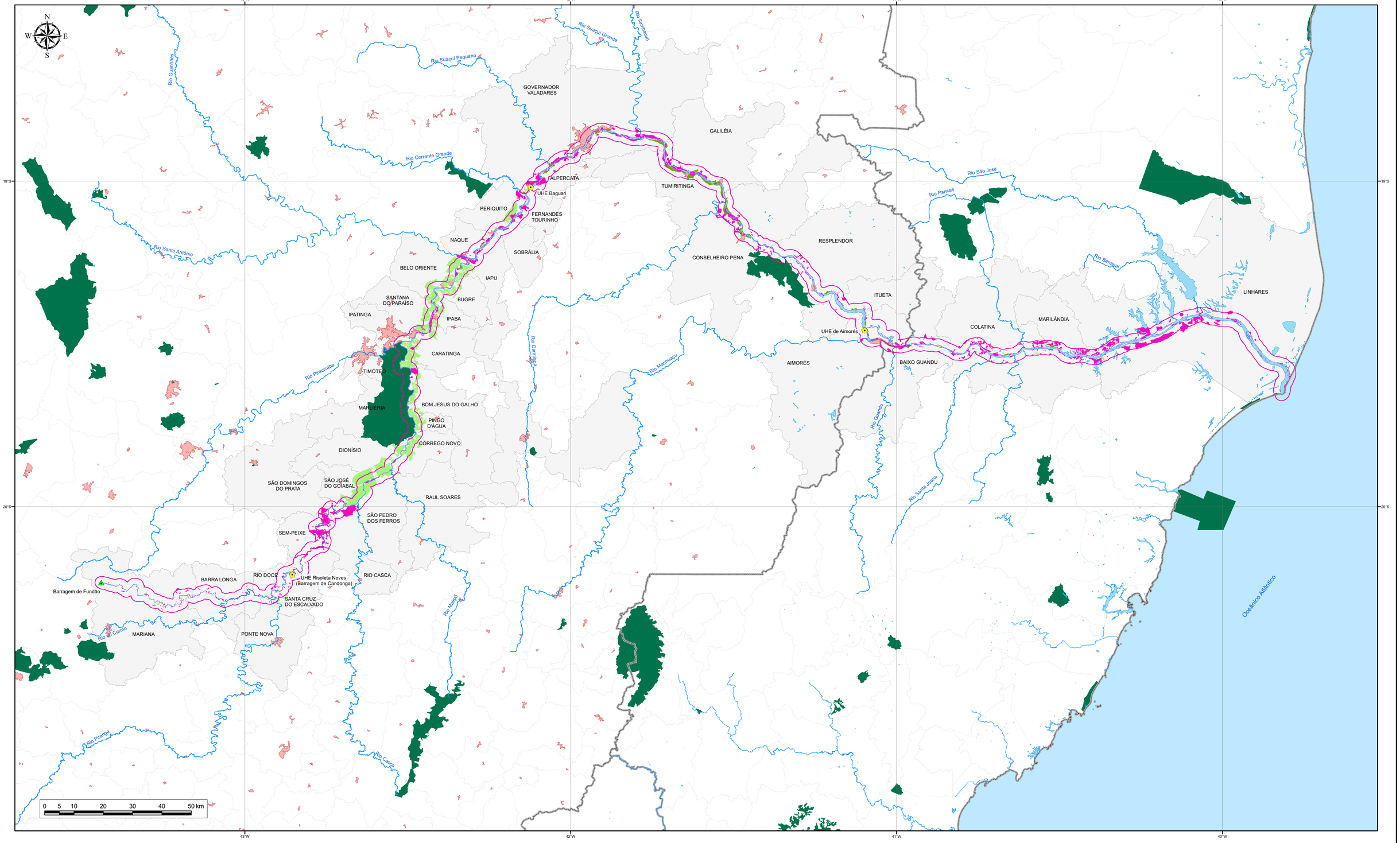
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 51 - MAPA SÍNTESE DE ÁREAS CULTIVADAS - T0

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Curso de água
- Corpo de água
- Áreas urbanas
- Limites estaduais

LEGENDA

Áreas Cultivadas (T1+T2)

- Cultivos Diversos
- Pastagem
- Plantação Eucalipto
- Unidadede de Conservação - Uso Integral
- Municípios afetados
- Municípios

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Trechos da área de estudo

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	-	-	X	X	17/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 52 - MAPA SÍNTESE DE ÁREAS CULTIVADAS - T1+T2

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

Com relação a mudanças na área cultivada nos diferentes momentos (Tabela 13), observam-se mudanças percentuais significativas no Trecho 1. Nesse trecho, as áreas cultivadas eram pequenas, e o número de polígonos de áreas mapeadas era bem menor em T0, quando comparado com os demais trechos. Essa é uma região que sofreu o maior impacto pela deposição de material detrítico. Ao se avaliarem essas mudanças de forma espacializada, observa-se o grande impacto na localidade de Bento Rodrigues e impactos importantes em Paracatu de Baixo e Gesteira. Nos demais trechos, essas alterações foram pouco representativas. Apenas para a silvicultura do Trecho 5 se observa uma perda de área de 4,8% de área de silvicultura. Isso está relacionado com os ciclos de corte de áreas de eucalipto.

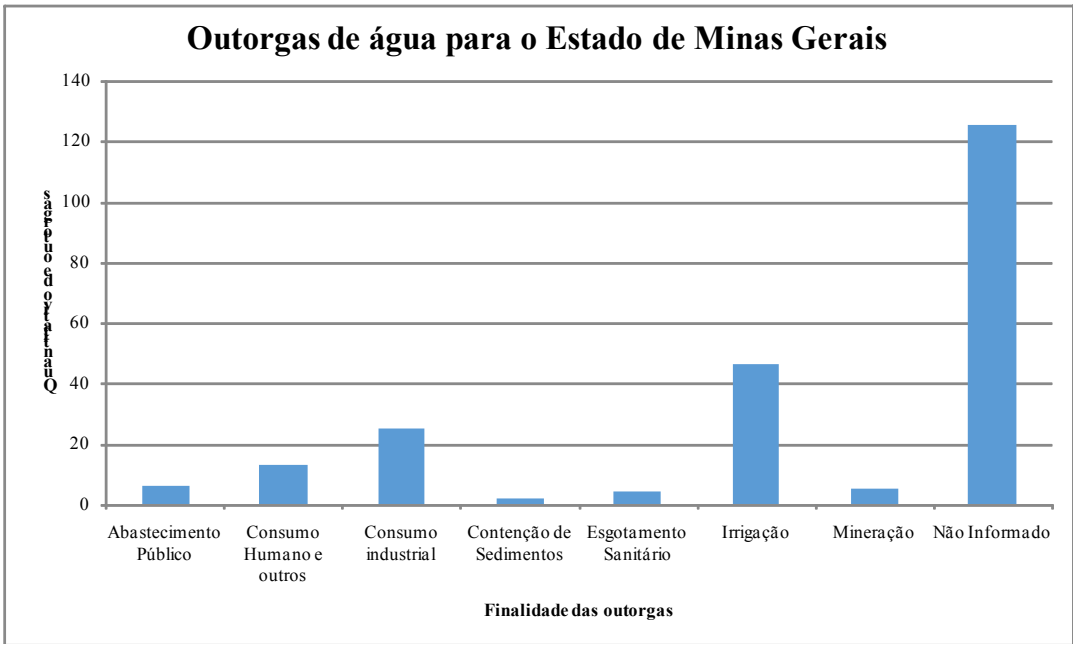
Tabela 13 - Diferença entre as áreas mapeadas, no contexto do estudo de culturas irrigadas, de T0 para T1+T2

Diferença percentual para cada tipo de utilização				
Trecho	**Agrícolas**	**Forrageiras**	**Silvicultura**	**Total Geral**
Trecho 1	-14,5%	-60,7%	9,4%	-6,9%
Trecho 2	2,2%	-0,2%	0,0%	0,4%
Trecho 3	-0,8%	0,3%	0,0%	-0,5%
Trecho 4	0,1%	0,6%	-4,8%	0,0%
Trecho 5	-0,5%	0,0%	0,0%	-0,5%
Área de Estudo Total	**0,0%**	**0,2%**	**0,1%**	**0,1%**

Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao cumprimento de regularidade das outorgas de água, na porção mineira da área de estudo, foram identificadas 226 outorgas (IGAM, 2018). Dessas outorgas, 46 são indicadas como de uso para a irrigação (Gráfico 84). Essa informação tem correspondência com os dados das vistorias realizadas em campo. Com relação ao número de outorgas por trecho, destaca-se do Trecho 2, com a metade das outorgas do Estado de Minas Gerais. Nesse trecho, estão indicadas 24 outorgas de uso industrial (Tabela 14). Os dados de outorga para o estado do Espírito Santo não foram disponibilizados pelo órgão responsável na ocasião da elaboração deste trabalho.

Gráfico 84 - Síntese das outorgas no Estado de Minas Gerais



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 - Síntese das outorgas no Estado de Minas Gerais

Outorgas de Água		
Trecho	**Finalidade**	**Total**
Trecho 1	Abastecimento Público	5
	Consumo Humano e outros	1
	Contenção de Sedimentos	2
	Esgotamento Sanitário	1
	Irrigação	20
	Mineração	3
	Não Informado	19
Subtotal		51
Trecho 2	Abastecimento Público	1
	Consumo Humano e outros	9
	Consumo industrial	24
	Esgotamento Sanitário	2
	Irrigação	20
	Não Informado	57
Subtotal		113
Trecho 3	Consumo Humano e outros	3
	Consumo industrial	1
	Esgotamento Sanitário	1
	Irrigação	6
	Mineração	2
	Não Informado	49
Subtotal		62
Total Geral		226

Fonte: Elaboração própria.

9.3 Análise de estudos de solos, rejeito e sedimento

Para o presente item de análise de aspectos de dados coletados nos estudos de solos e rejeitos, foram utilizados como referência os dados da versão anterior do estudo de áreas de irrigação (ERG Engenharia / Fundação Renova 2017) e de caracterização geoquímica (Golder Associates / Fundação Renova, 2017). No caso do estudo do material vegetal, na versão anterior do estudo de áreas de irrigação, o mesmo foi realizado em nível de presença de sintomas visíveis de deficiência nutricional e/ou toxicidade. Dessa forma, na sequência, descrevem-se os aspectos de análise dos dados secundários de solos, rejeito e sedimentos, que nortearam a discussão dos resultados obtidos por meio dos laudos de laboratório dos materiais coletados neste estudo.

9.3.1 Classificação textural de solos e rejeito ao longo da Bacia do Rio Doce

De acordo com a classificação textural proposta por Santos et al. (2005) e com os valores obtidos a partir da base de dados da Fundação Renova, a fração de rejeito depositada sobre as áreas afetadas ao longo da bacia do Rio Doce possui textura predominantemente arenosa-siltosa. Até então acreditava-se que a fração argilosa do rejeito, caracterizada pela presença de material em suspensão, dificilmente teria se depositado nos solos da margem do Rio Doce, ficando suspensa ao longo de toda a calha do rio, dada a característica de ser um material muito fino. Contudo, o que se observou em campo, na região do médio Rio Doce, é a deposição de finos, apontados pelos proprietários de áreas cultivadas às margens do rio (Figura 53).

Figura 53 -Propriedades rurais impactadas pelo recobrimento de finos no município de Governador Valadares



Fonte: Elaboração própria.
Legenda: Acima, observar a textura arenosa dos solos naturais presentes na região; abaixo, à esquerda, *technosoil* com a incorporação da fração argilosa, formando gretas de contração, alteração supostamente promovida pela deposição da mistura de rejeito ao solo; abaixo, à direita, relato do produtor sobre a dinâmica de inundação periódica nas margens do rio, mostrando, nas marcas da parede, abaixo, a inundação provocada pelo rompimento da barragem, e acima, mais clara, inundação máxima presenciada pelo mesmo, em 1979.

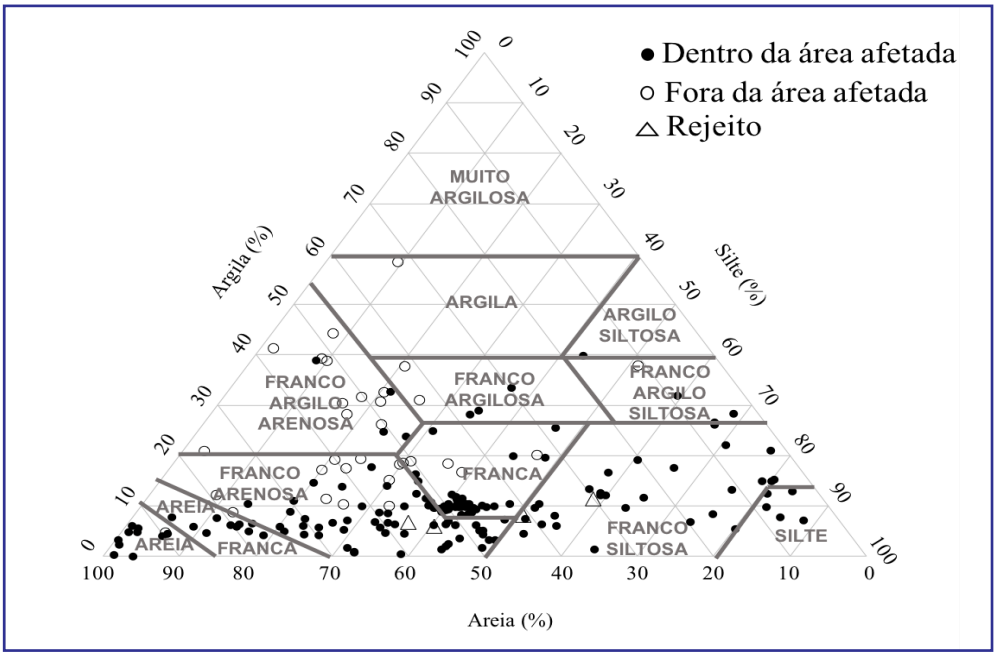
As amostras coletadas fora da área afetada servem de subsídio para confirmação dos impactos nos sistemas de irrigação gerados pela deposição do rejeito e, consequentemente, na produção agrícola ao longo do vale do Rio Doce, uma vez que esses pontos podem ser considerados como áreas de referência ou pontos controle. Observa-se neste material, no trecho de Fundão a Candonga, maior teor de argila do que o apresentado para os solos de áreas afetadas, devido à formação geológica local e à dinâmica de formação de solos dos diversos ambientes que compõem a Bacia do Rio Doce, conforme abordado no estudo geomorfológico. É importante ressaltar que mesmo as áreas não afetadas possuem solos com teores consideráveis de silte e areia, uma vez que são solos de áreas de encosta ou planícies de inundação, as quais recebem diretamente o material carreado pelo Rio Doce.

Nota-se que a deposição de rejeito, sobretudo até a Barragem de Candonga, promoveu a homogeneização da textura da camada superficial do solo, formando um substrato rico em

partículas grossas. Tal característica desse substrato afeta sobremaneira a dinâmica dos nutrientes e metais pesados ao longo das áreas atingidas. Solos ou substratos com pouca quantidade de argila geralmente são aqueles que não armazenam água e nutrientes em quantidades adequadas para plantas, sendo a fração argila grande responsável por essa característica. Sendo assim, a disponibilidade de nutrientes para plantas, que depende de inúmeros fatores, dentre eles a textura do solo/substrato, pode ter diminuído nesses ambientes. Por outro lado, a presença desse material grosseiro promove maior mobilidade de metais pesados, uma vez que a fração argila também é responsável pela retenção desses metais no complexo de troca. Para a região do Médio Rio Doce, a incorporação e a percolação da argila no solo também possibilitam o encontro de metais pesados transportados pela dinâmica do evento de rompimento da barragem. Nesse caso, há que se ressaltar a dinâmica sazonal ou periódica de inundação das planícies fluviais do Médio e Baixo Rio Doce.

Além disso, a presença de grande quantidade de silte no material pode ocasionar a compactação da camada superficial do substrato, dificultando assim a penetração de raízes e a infiltração da água ao longo do perfil. Essa modificação no solo pode comprometer o desenvolvimento do sistema radicular das culturas presentes no local, o que resultaria em menor capacidade de absorção de água e nutrientes. Essas hipóteses tiveram como base a análise da pirâmide de classificação textural de solos e rejeito e as visitas realizadas em campo (Figura 54).

Figura 54 – Classificação Textural de Solos e Rejeito



Fonte: Golder/Fundação Renova (2018).

9.3.2 Mobilidade de nutrientes e metais pesados

A mobilidade de elementos químicos nos solos depende de inúmeros fatores, dentre eles o teor de argila, o tipo de mineral presente na fração argila e o pH do solo. A presença desses elementos em solução (disponível para plantas) é função da força com que esse elemento está ligado à matriz do solo, composta por esses minerais que possuem cargas elétricas, positivas ou negativas, dependentes ou não do pH. Sendo assim, em função do pH e da quantidade de cargas dependentes de pH presentes no solo, ele pode estar carregado negativamente ou positivamente, sendo o pH maior que 7,0 responsável pela presença de cargas negativas, enquanto as cargas positivas aparecem em pH menor que a neutralidade.

Esse comportamento influencia diretamente na retenção dos nutrientes e metais pesados pelo solo. Solos que possuem muitas cargas positivas, sobretudo aqueles ricos em óxidos de Fe e Al, possuem grande atração por elementos presentes na forma de ânions, por exemplo, arsênio (As) e fósforo (P), esse último nutriente extremamente importante para o crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais. Por outro lado, solos com mais cargas negativas são responsáveis por reter cátions, resultando em maior atração por elementos como zinco (Zn), chumbo (Pb), níquel (Ni), entre outros.

A partir do estudo de caracterização geoquímica (GOLDER, 2017), observa-se nas áreas irrigadas pelas águas do Rio Doce que o pH do solo se encontra em média próximo à neutralidade ou ligeiramente ácido (6,1), sendo o maior valor encontrado de 8,2, e o menor valor 4,5. O pH médio encontrado é considerado alto do ponto de vista agronômico, uma vez que a disponibilidade de micronutrientes torna-se menor com o aumento do pH do solo, e uma das causas é a diminuição da solubilidade dos mesmos com o aumento da alcalinidade do solo. A falta de nutrientes para plantas é responsável, principalmente, pela perda de produtividade da cultura, resultando também em produtos de baixa qualidade e baixo valor agregado. O pH deve ser mantido, preferencialmente, na faixa de 5,5 a 6,0, o que foi observado em grande parte dos solos amostrados. A maioria das culturas avaliadas apresentou valor adequado em função da facilidade de acesso ao calcário e ao gesso agrícola, insumos muito usados para correção do pH de solos na bacia do Rio Doce.

Do ponto de vista da disponibilidade de metais pesados e metaloides, não existe valor ideal de pH, porém, quanto maior o pH, menor a solubilidade dos metais pesados, portanto, menor a disponibilidade destes para as plantas. Atenção especial deve ser dada ao arsênio, uma

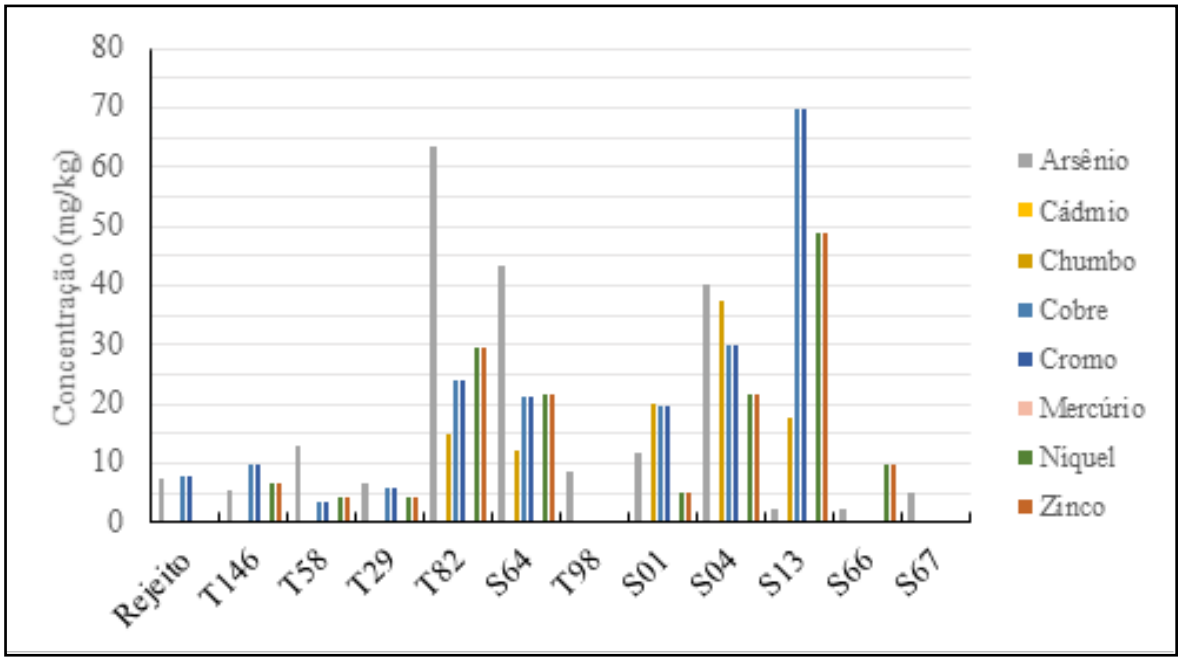
vez que sua disponibilidade pode ser maior com o aumento do pH, em função do aumento de cargas negativas no solo e, consequentemente, maior repulsão.

É importante ressaltar que alguns metais pesados são também considerados micronutrientes, como zinco (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu) e chumbo (Pb). Estes são elementos essenciais às plantas, porém requeridos em menores quantidades para a execução de suas funções básicas.

Diante da importância dos nutrientes para as culturas irrigadas ao longo da bacia do Rio Doce e também da preocupação quanto à presença de elementos tóxicos nessas áreas, foram compilados, a partir do banco de dados do estudo de caracterização geoquímica (Golder Associates / Fundação Renova, 2017) dados de teores semitotais (Gráfico 85), solúveis (Gráfico 86) e trocáveis (Gráfico 87) dos elementos arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn). As amostras foram coletadas após o rompimento da Barragem do Fundão, na Área Ambiental 1. Amostras cujas barras não foram representadas nos gráficos indicam teores abaixo do limite de quantificação pelo método utilizado. Esses elementos foram escolhidos em função da importância de cada deles para as plantas e por fazerem parte do topo da lista de elementos mais perigosos à saúde humana disponibilizada pela agência americana de substâncias tóxicas, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2017).

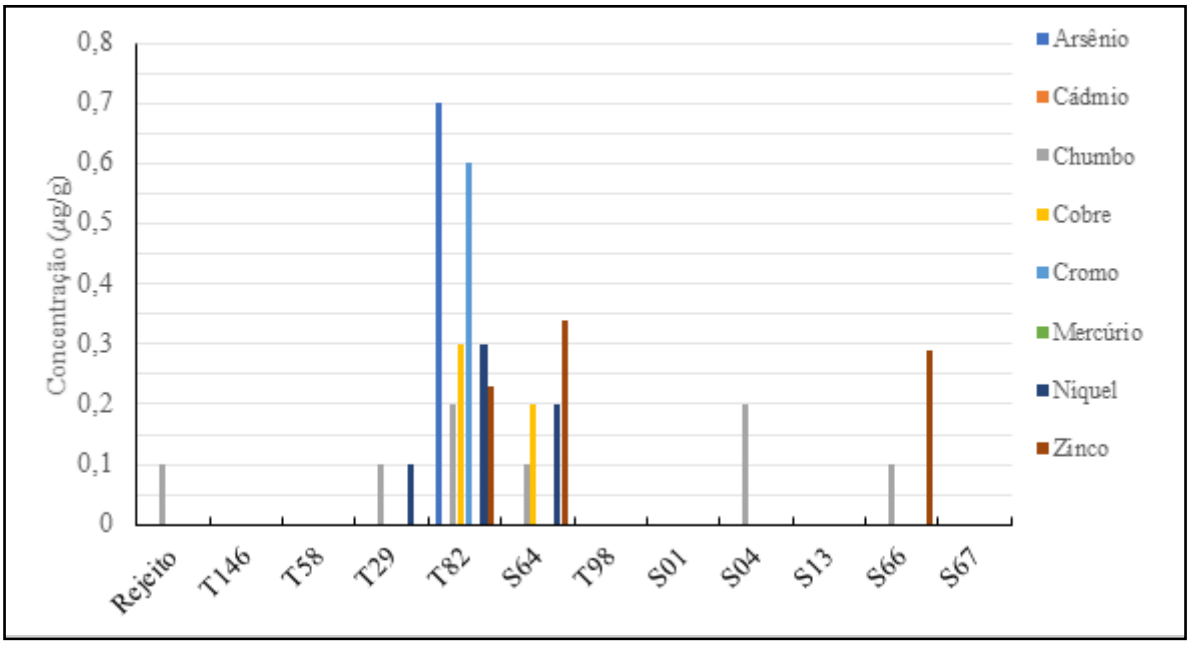
É importante ressaltar que as amostras com nomes S01, S04, S13, S66 e S67 foram coletadas fora da área afetada, portanto, a presença de metais pesados nelas pode estar associada ou não ao efeito de *background*, dado pela presença natural ou de atividades antrópicas não relacionadas à Mineradora Samarco. Ou seja, a presença de metais pesados fora da área afetada demonstra que eles podem constar em função do material de origem ou de qualquer outra atividade antrópica que seja realizada ao longo da Bacia do Rio Doce, por exemplo, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, garimpo, extração de pedras semipreciosas, entre outras atividades.

Gráfico 85 - Teores semitotais de metais pesados em amostras de solos na Área Ambiental 1



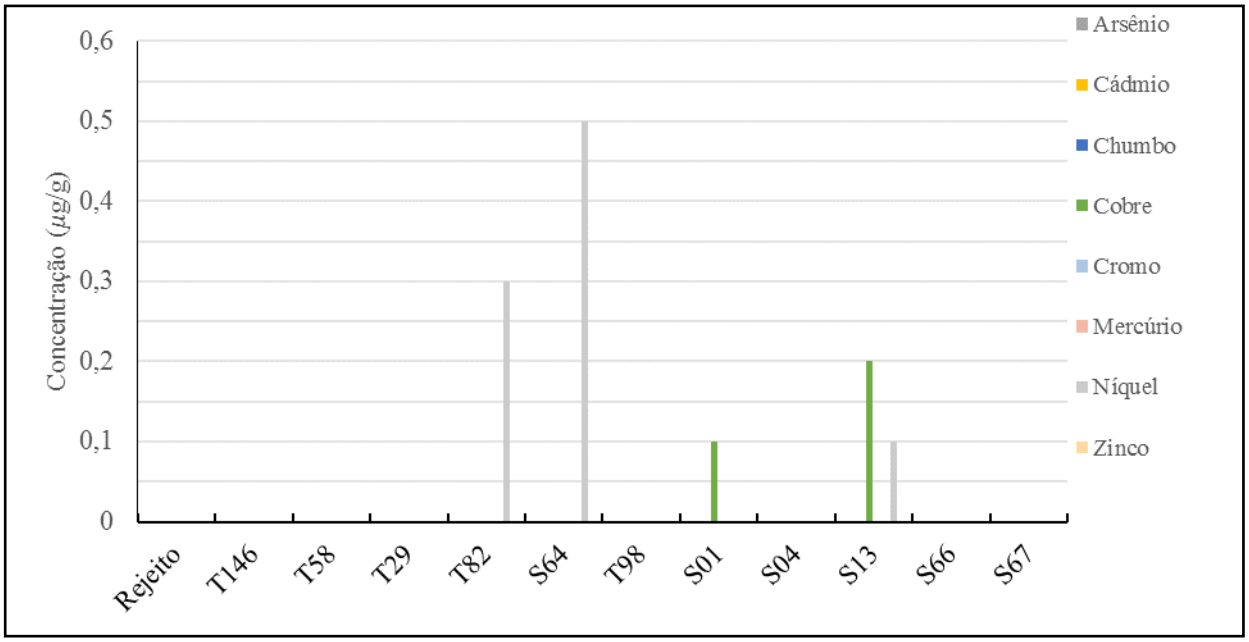
Fonte: Golder/Fundação Renova (2017).

Gráfico 86 – Teores solúveis de metais pesados em amostras de solos na Área Ambiental 1



Fonte: Golder/Fundação Renova (2017).

Gráfico 87 – Teores trocáveis de metais pesados em amostras de solos na Área Ambiental 1



Fonte: Golder/Fundação Renova (2017).

De acordo com os dados disponibilizados e a Resolução CONAMA 420 de 2009, nenhum dos valores de investigação agrícola para os elementos listados foi ultrapassado para as amostras de teores solúveis e trocáveis, embora outros resultados apontem contaminações pontuais, sobretudo de As e Ni, para os teores semitotais (ver também análises com índice Kernel).

Levando em consideração ainda os teores solúveis e trocáveis desses elementos, ou seja, teores que estariam disponíveis para as plantas naquelas condições em que se encontram, a maioria dos resultados foi abaixo do limite de detecção do método utilizado, enquanto para elementos como As, Ni, Zn, Pb e Cr, os valores encontrados foram extremamente baixos, não atingindo 1,0 mg/kg em nenhum dos solos.

9.3.3 Teores foliares de nutrientes e metais pesados

A presença de nutrientes em excesso pode comprometer o crescimento e desenvolvimento de culturas, principalmente quando estes são micronutrientes. Os macronutrientes, por serem requeridos em grandes quantidades, geralmente não representam problema quando presentes em teores elevados no solo, porém existe um limite para cada tipo de planta, uma vez que pode haver o estresse salino com consequente comprometimento da cultura. Esses problemas serão identificados neste trabalho a partir dos dados de condutividade elétrica do solo e da avaliação em campo das condições da cultura onde foram coletadas as amostras.

Os micronutrientes, por sua vez, quando presentes em grandes quantidades, podem causar toxidez às plantas, sendo cada sintoma característico do nutriente específico e da tolerância da planta a ele. Os valores médios esperados para as culturas, de forma geral, estão apresentados no Quadro 15**.**

Quanto à presença de metais pesados no material vegetal, foram analisados especificamente As e Hg, uma vez que são elementos de grande risco à saúde humana, além de alguns micronutrientes. Os sintomas visuais de toxidez são de grande importância na avaliação da cultura quanto à contaminação por elementos tóxicos. Uma vez detectados em campo, amostras foram coletadas para quantificação dos teores desses elementos em laboratório.

Entre os sintomas mais comuns de toxidez por As e Hg estão: pouco ou nenhum desenvolvimento da planta; clorose e necrose das folhas; inibição da fotossíntese; diminuição do desenvolvimento do sistema radicular e, especificamente para As, deficiência de fósforo em algumas plantas.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

Quadro 15 - Valores generalizados para teores foliares de micronutrientes em tecido foliar

MICRONUTRIENTE	DEFICIÊNCIA	NORMAL	TOXIDEZ
	mg kg^{-1}		
Fe	<50	100-500	>500
Mn	15-25	20-300	300-500
Zn	10-20	27-150	100-400
Cu	2-5	5-30	20-100
Ni	-	0,1-5	10-100
B	5-30	10-200	50-200
Mo	0,003-0,15	0,1-2	>100
Cl	<100	100-500	500-1000

Fonte: Ribeiro et al. (1999).

A partir dos dados de solos apresentados previamente, era esperado encontrar nas plantas concentrações ainda que pequenas de metais pesados, da mistura solo/rejeito, do solo ou da água usada na irrigação. Dessa forma, constatada a contaminação, a fonte foi determinada com base na comparação entre os valores obtidos para cada tipo de amostra (solo, água e material vegetal) em um mesmo ponto de coleta.

Os teores de metais nas plantas geralmente são muito menores do que aqueles encontrados no solo, uma vez que a quantidade que fica realmente disponível para as plantas absorverem é muito menor do que o valor total encontrado no solo. Por isso a importância de se conhecer os teores solúveis e trocáveis desses metais no solo. Em algumas áreas que compõem as margens do Rio Doce, foram obtidos teores de As superiores ao valor de investigação em áreas agrícolas, ou seja, concentrações de As no solo maiores do que 35 mg/kg, as quais demandam monitoramento da área por apresentarem riscos potenciais à saúde humana.

9.3.4 Análise da disponibilidade de nutrientes em função do pH

Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), a faixa de pH ideal para o cultivo em solos é de 6,0 a 6,5, faixa na qual os macro e micronutrientes possuem disponibilidade intermediária às plantas (Tabela 15). Além disso, nessa faixa de pH, o teor de alumínio em solução (Al^{3+}) é nulo devido à precipitação na forma de oxi-hidróxidos de alumínio, diminuindo a probabilidade de

toxidez por esse elemento. Diante disso, uma breve análise dos dados da versão anterior do estudo de áreas de irrigação foi realizada com o objetivo de enquadrar as propriedades visitadas quanto às características químicas dos solos e suas consequências para o cultivo. Observou-se que alguns parâmetros fundamentais não foram analisados, por exemplo, fósforo remanescente, condutividade elétrica e teores dos micronutrientes Ni e Pb. Não obstante, foram gerados gráficos para cada micronutriente analisado e para Al, cujas disponibilidades são dependentes do pH em que se encontra o solo. Apesar de não terem sido explicitados na versão anterior quais são os métodos de extração adotados para os micronutrientes e Al, assume-se que foram estabelecidos protocolos de análises definidos pela EMBRAPA, os quais são tomados como base para definição dos padrões de classificação dos teores de cada elemento.

Portanto, pelo Gráfico 88, obtido pelos dados da versão anterior do estudo, observa-se que, a partir do pH = 5,5, a concentração de Al^{3+} cai a zero e permanece nesse valor mesmo com o aumento do pH. A maioria dos solos analisados se enquadra na faixa ideal de pH, entretanto alguns pontos amostrados apresentam pH baixo ou muito baixo (pH < 5,5) ou muito alto (pH > 7,0), o que acarreta a indisponibilidade ou toxidez de alguns nutrientes às plantas.

Os fatores relacionados ao pH e aos nutrientes, principalmente macronutrientes, estão diretamente relacionados ao tipo de manejo adotado pelo produtor. Dessa forma, é necessário estabelecer um plano de manejo voltado para cada tipo de solo, contemplando suas características e o tipo de cultura que será cultivada naquele ambiente. A partir daí, é possível calcular a necessidade de adubação e correção do solo em função da demanda específica de cada cultura.

Em relação aos micronutrientes, a presença de sedimentos ao longo da calha e das margens do Rio Doce pode contribuir com os valores elevados encontrados para alguns elementos, uma vez que o aporte destes pode ocorrer tanto pela irrigação quanto pela sedimentação nas áreas de cultivo após períodos de cheia. Para maior parte das amostras, os teores de Mn, Zn e Fe (Gráficos 89, 90 e 91) disponíveis nos solos amostrados na versão anterior foram muito acima dos valores considerados altos para solos, o que pode ocasionar problemas de toxidez às culturas. Esses elementos são naturalmente abundantes nos solos brasileiros, sendo sua disponibilidade reduzida com o aumento do pH.

O micronutriente B, por ser facilmente lixiviado em solos, principalmente arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, foi encontrado dentro do intervalo de concentração

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

considerado como médio, tendendo a aumentar com o maior pH do solo. A disponibilidade de B também é controlada pela umidade do solo, parâmetro que não foi avaliado no estudo anterior (Gráfico 92).

As concentrações de Cu (Gráfico 93) nos solos analisados ficaram entre as faixas médio e alto. Embora esse elemento seja facilmente lixiviado em solos, percebe-se que alguma atividade antrópica pode estar contribuindo para o aporte desse elemento no solo, seja pelos sedimentos provenientes do Rio Doce, ou pelas atividades já existentes ao longo da bacia.

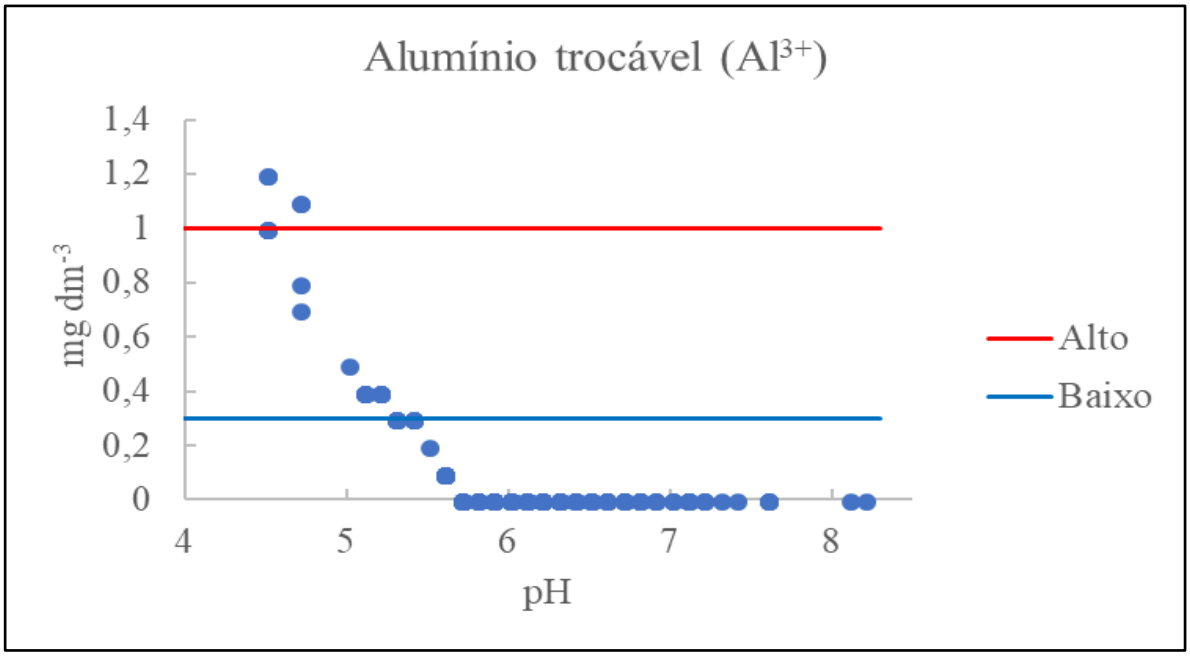
A análise dos macronutrientes realizada anteriormente foi desconsiderada neste relatório, uma vez que esses elementos são requeridos em grande quantidade pelas plantas, o que diminui, porém não exclui, os riscos de toxidez mesmo quando presentes em teores elevados. Além disso, para uma correta avaliação dos teores de P, por exemplo, faz-se necessária a análise textural do solo e/ou do parâmetro fósforo remanescente (P-rem), que está diretamente relacionado com a capacidade do solo de reter fósforo, tornando-o indisponível às plantas. A análise do P-rem foi realizada nas amostras coletadas em campo pela equipe da Embaúba Ambiental, possibilitando uma discussão mais aprofundada em relação à presença dos macronutrientes no solo.

Tabela 15 – Faixa de disponibilidade e classificação quanto aos teores de B, Fe, Zn, Cu, Mn e Al no solo

	B	Fe	Zn	Cu	Mn	Al
Faixa de pH de maior disponibilidade	5,0 – 7,0	4,0 – 6,0	5,0 – 6,5	5,0 – 6,5	5,0 – 6,5	< 5,5
Classificação						
Baixo	< 0,35	< 20	< 1,0	< 0,8	< 5,0	< 0,3
Médio	0,35 – 0,9	20 – 45	1,0 – 2,2	0,8 – 1,8	5,0 – 12	0,3 – 1,0
Alto	> 0,9	> 45	> 2,2	> 1,8	> 12	> 1,0

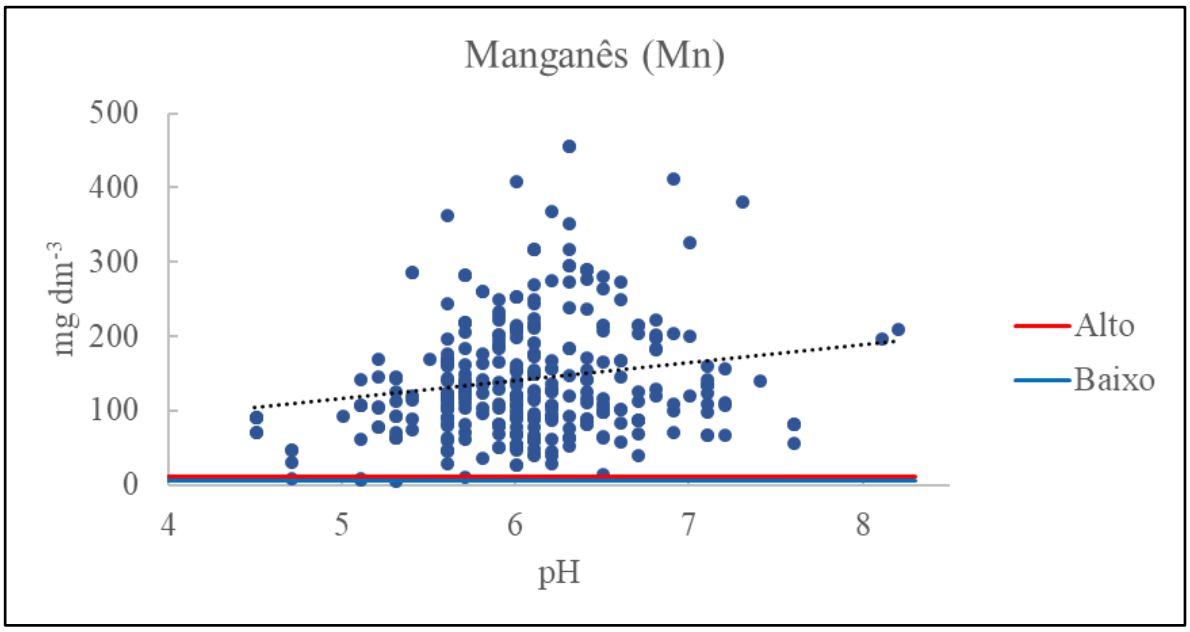
Fonte: Adaptado de Prezotti e Guarçoni (2013) e Abreu et al. (2007).

Gráfico 88 -Concentração de Al trocável nos solos amostrados



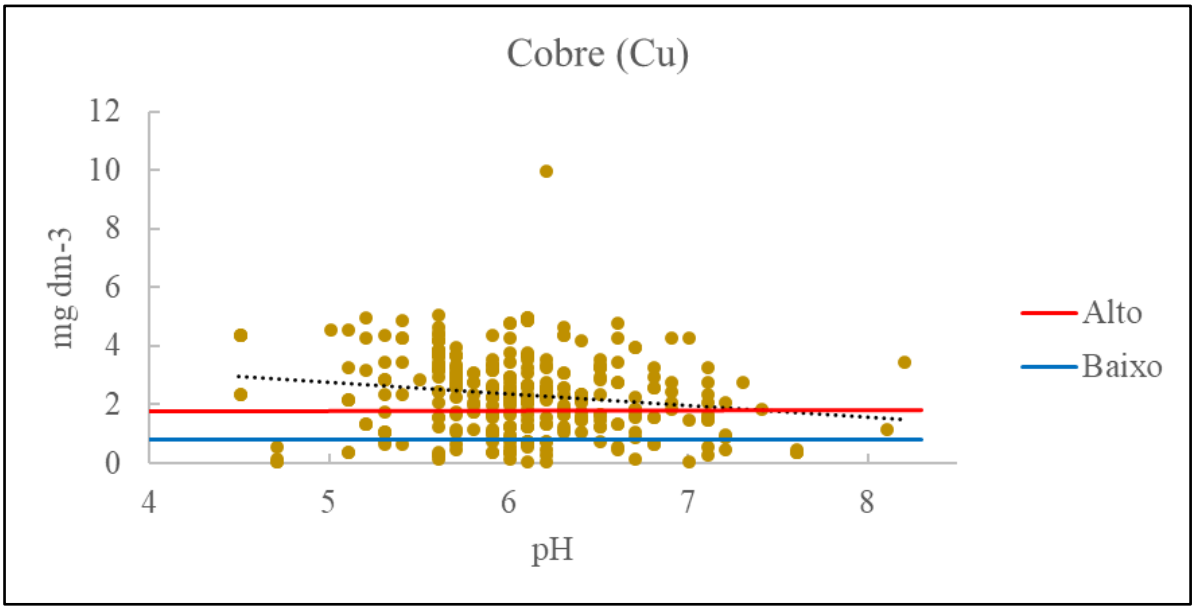
Fonte: Golder Associates e Fundação Renova (2017).

Gráfico 89 – Concentração de Mn disponível nos solos amostrados



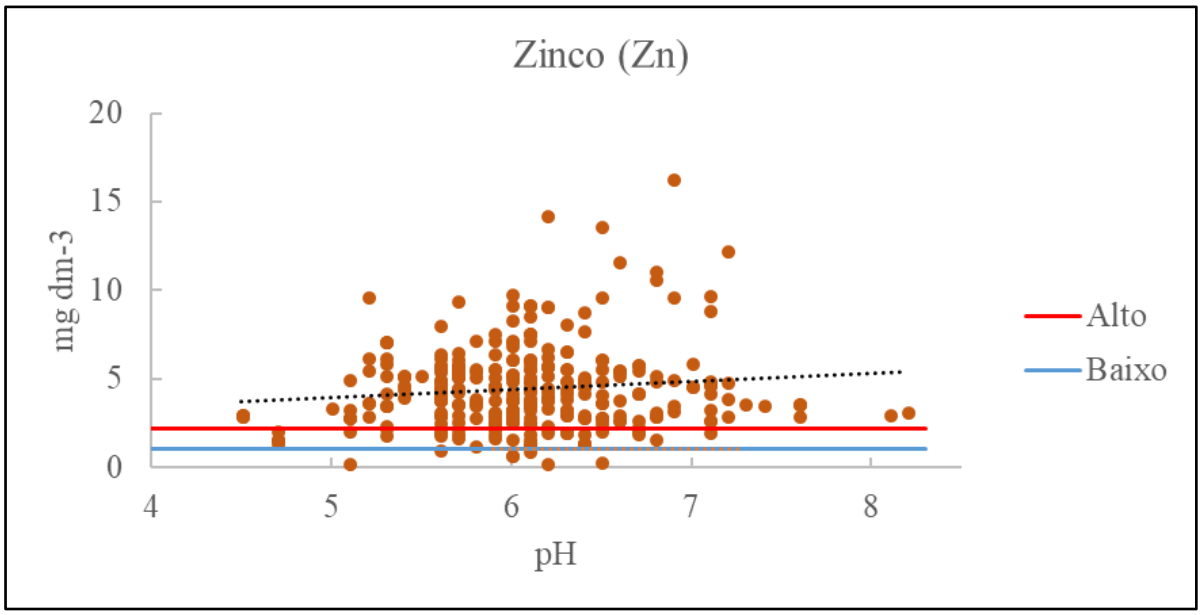
Fonte: Golder Associates e Fundação Renova (2017).

Gráfico 90 - Concentração de Cu disponível nos solos amostrados



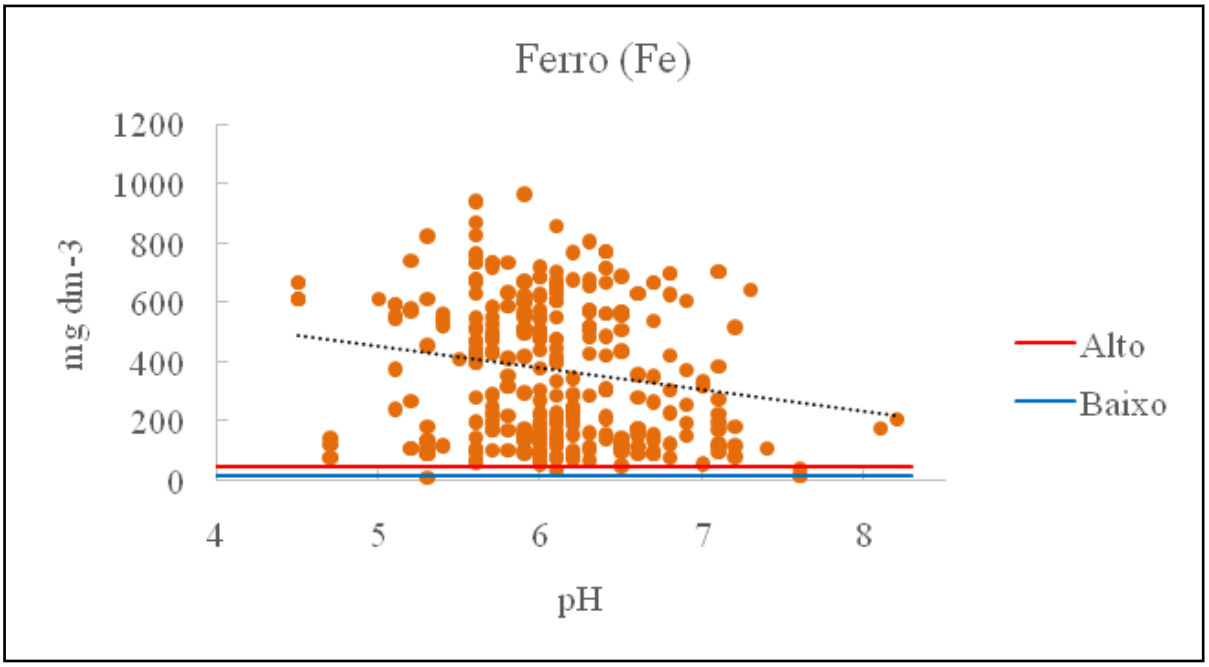
Fonte: Golder Associates e Fundação Renova (2017).

Gráfico 91 - Concentração de Zn disponível nos solos amostrados



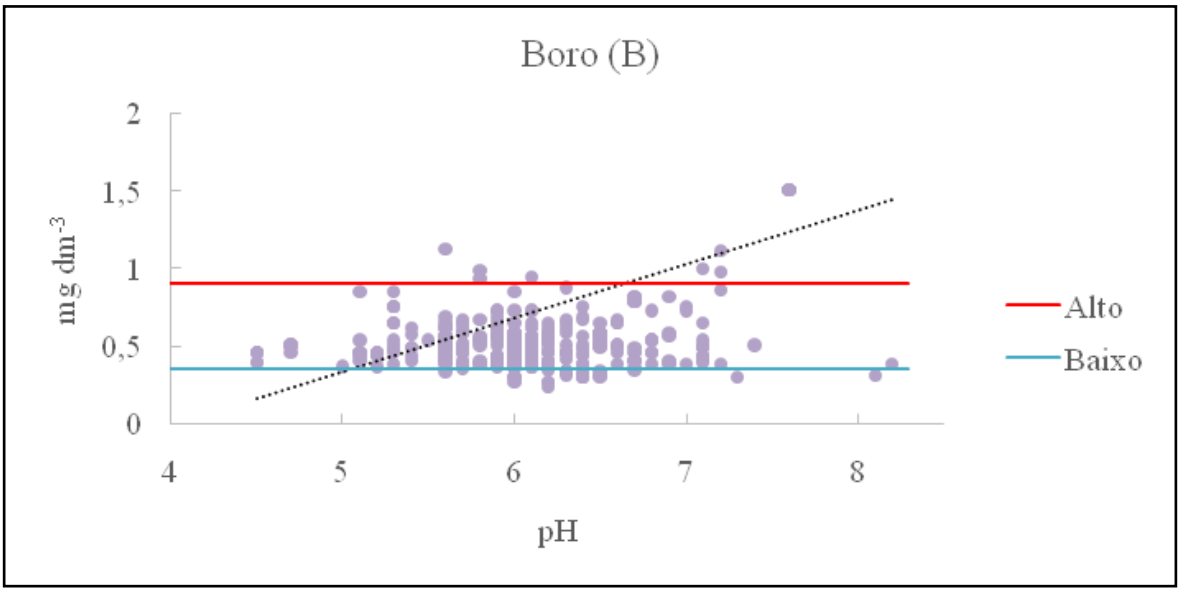
Fonte: Golder Associates e Fundação Renova (2017).

Gráfico 92 – Concentração de Fe disponível nos solos amostrados



Fonte: Golder Associates e Fundação Renova (2017).

Gráfico 93 – Concentração de B disponível nos solos amostrados



Fonte: Golder Associates e Fundação Renova (2017).

9.4 Resultado das análises de solo e planta coletados

9.4.1 Caracterização dos solos nas áreas estudadas

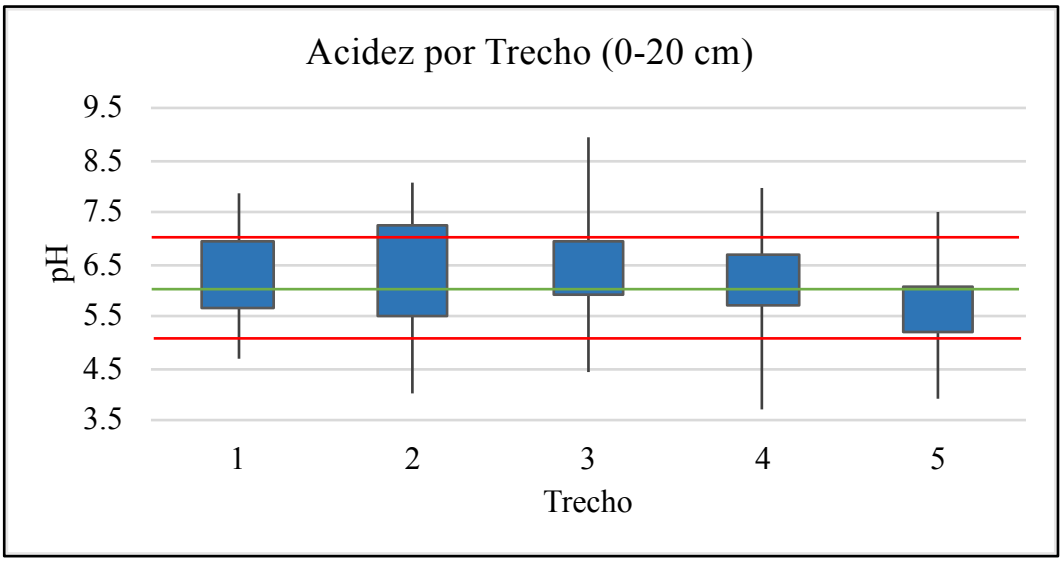
A qualidade do solo para cultivo está diretamente relacionada com os teores dos nutrientes e sua disponibilidade para as culturas, o que pode variar em função do tipo de solo, pH e práticas de manejo adotadas. Geralmente, áreas de cultivo devidamente preparadas possuem características químicas favoráveis para o desenvolvimento das plantas, devido, principalmente à adubação e correção de acidez. No entanto, nem todos os produtores realizam tais práticas nas propriedades visitadas ou, quando realizadas, não são feitas de maneira criteriosa com base nas características naturais do solo e no requerimento específico para cada cultura.

Foram realizadas coletas de solo em 517 propriedades que realizam a irrigação das culturas com água superficial do Rio Doce, água subterrânea ou de abastecimento público. Em cada propriedade, foram coletadas amostras de solo em duas profundidades, 0 a 20 e 20 a 40 cm, totalizando 1034 amostras de solo enviadas ao laboratório de análises.

As áreas amostradas referem-se a propriedades direta ou indiretamente afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão. Em propriedades do Trecho 1, compreendidas entre Mariana e a UHE Risoleta Neves, foi possível observar a deposição de sedimentos grosseiros nas planícies de inundação ao longo das margens dos rios afetados. A partir do Trecho 2, observa-se ainda deposição de sedimentos, entretanto, esse material possui textura fina, sendo classificado em sua maioria como argila, conforme dados apresentados por Golder Associates (2017) e observações em campo.

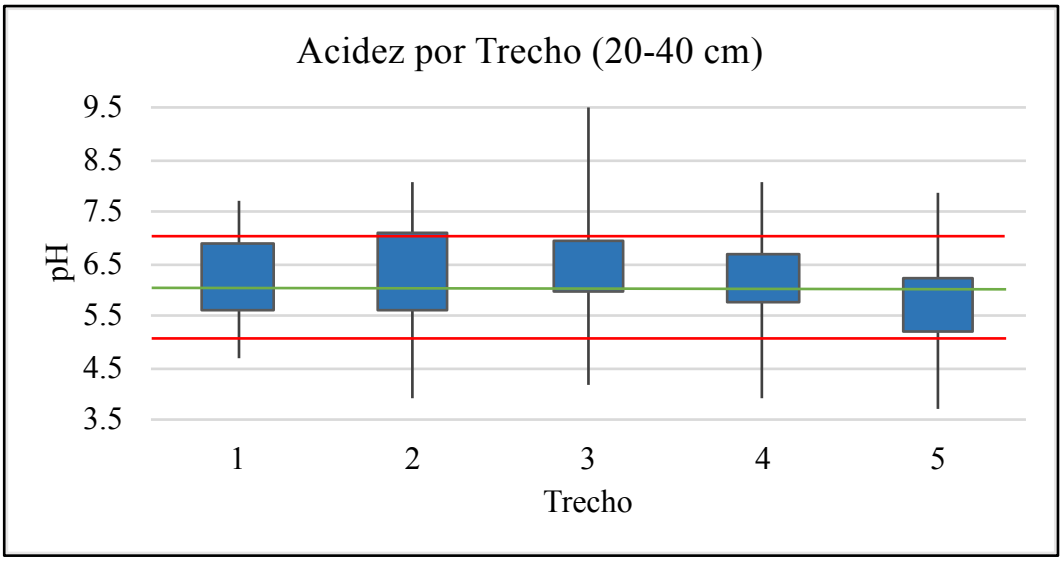
Diante disso, as características dos solos estudados são apresentadas nos gráficos, a seguir, bem como os critérios agronômicos adequados para cada parâmetro estudado.

Gráfico 94 – Acidez de solos na profundidade de 0-20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 95 – Acidez de solos na profundidade de 20-40 cm por trecho

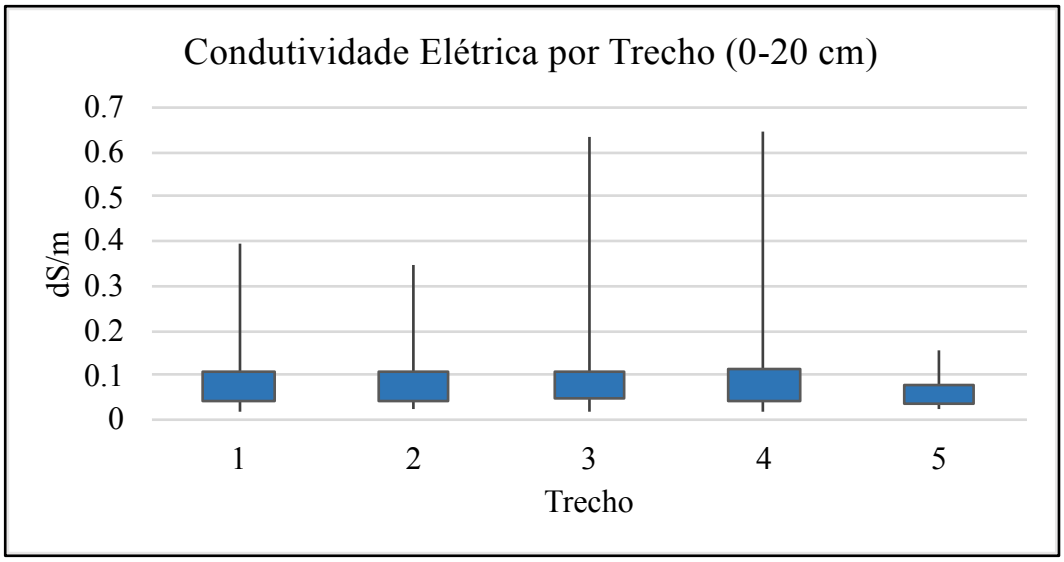


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

O pH do solo é responsável pelo controle da solubilidade de nutrientes, influenciando diretamente na absorção pelas plantas, além disso, controla a disponibilidade de metais pesados, juntamente com parâmetros de CTC, matéria orgânica e concentração do elemento no solo (COSTA & COSTA, 2015). Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), os solos analisados possuem, em geral, acidez fraca na camada de 0 a 20 cm, exceto para o Trecho 5 (Figura 55) (Gráfico 94). Nesse trecho, o menor valor de pH pode estar associado ao tipo de solo ou ao manejo das culturas. Solos de regiões costeiras, sobretudo aqueles que passam por ciclos de umedecimento e secagem, podem se tornar mais ácidos em função da oxidação de sulfetos presentes ou até mesmo do acúmulo de matéria orgânica em algumas áreas.

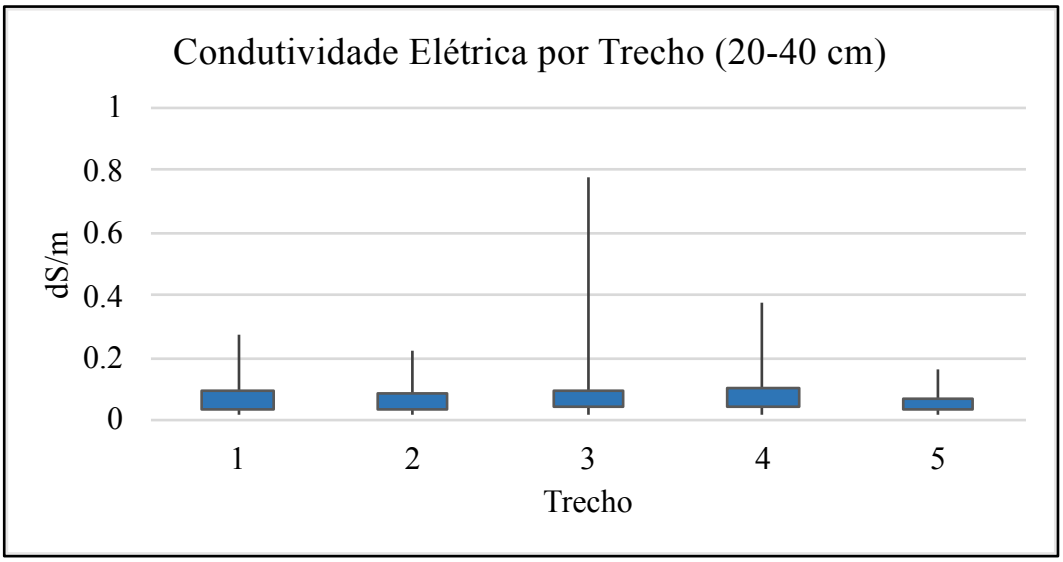
A faixa ideal de pH para um bom desenvolvimento das culturas varia de 6,0 a 6,5, sendo este o intervalo em que a maior parte dos nutrientes requeridos pelas plantas estão presentes na solução do solo (PREZOTTI & GUARÇONI, 2013). Para a camada de 20 a 40 cm, os solos apresentaram, em média, acidez fraca, exceto para o Trecho 5, cuja maioria dos valores se encontra dentro da faixa de acidez média para os solos (Gráfico 95). Segundo a classificação agronômica proposta por Ribeiro et al. (1999), o pH de maior parte dos solos estudados encontra-se alto, ou seja, entre 6,1 e 7,0. Valores de pH entre 5,5 e 6,0 são considerados bons segundo a classificação agronômica, uma vez que valores de pH a partir de 5,5 inibem a atividade de alumínio na solução do solo, evitando, dessa forma, a toxidez por esse elemento.

Gráfico 96 – Condutividade Elétrica na profundidade de 0-20 cm por trecho

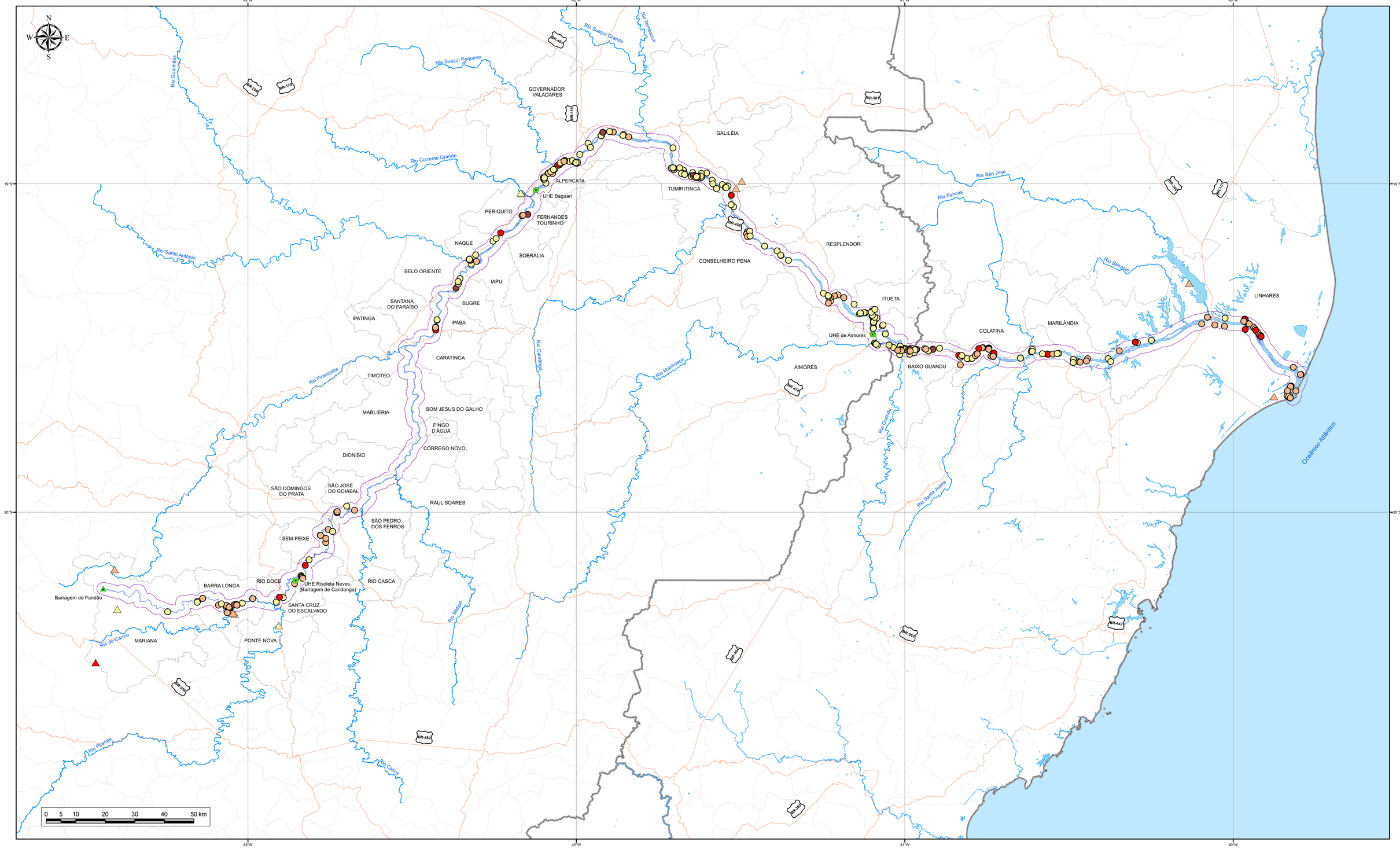


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013) – 4,0 dS/m.

Gráfico 97 – Condutividade Elétrica na profundidade de 20-40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013) – 4,0 dS/m.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

pH - 0 cm - 20 cm

- < 5,0
- 5,0 - 5,9
- 6,0 - 6,9
- > 7,0

pH - Grupo controle

- < 5,0
- 5,0 - 5,9
- 6,0 - 6,9
- > 7,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

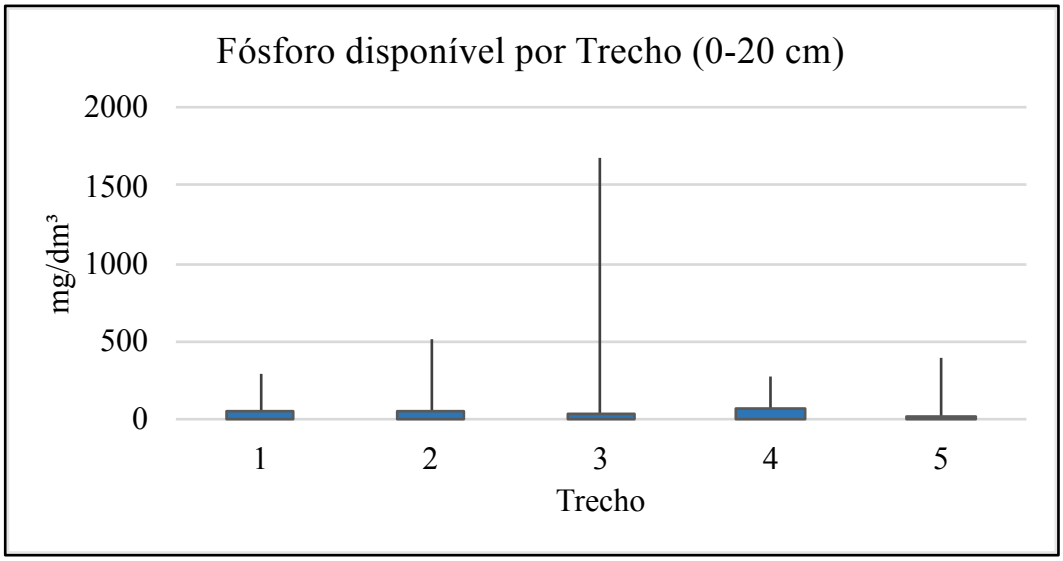
FIGURA 55 - PH EM SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO
PROFUNDIDADE 0 CM - 20 CM

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

A condutividade elétrica dos solos nas duas camadas avaliadas ficou abaixo do limite a partir do qual um solo passa a ser considerado salino (4 dS/m), o que representa baixo teor de sais dissolvidos em solução (Gráficos 96 e 97). Valores de condutividade elétrica acima de 4 dS/m podem acarretar perda de 50% na produção da maioria das culturas agrícolas (RIBEIRO et al.,1999). Mesmo em solos do Trecho 5, onde a concentração de sais tende a ser maior por se tratarem de áreas costeiras, a condutividade elétrica encontra-se aceitável, dentro dos limites tolerados para cultivo agrícola.

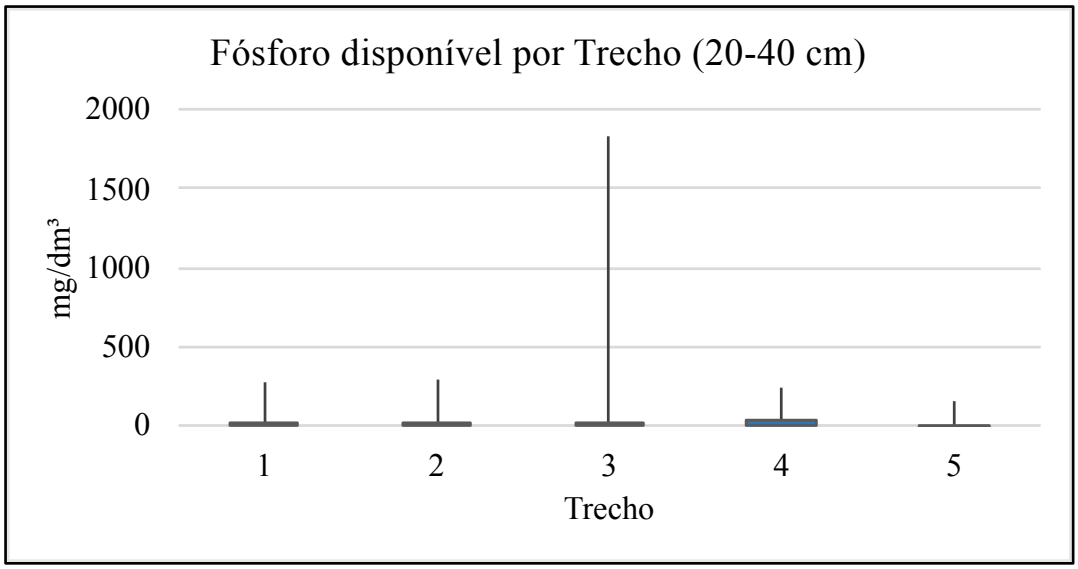
De acordo com Ribeiro et al. (1999), com exceção do Trecho 5, a disponibilidade de P nos solos avaliados encontra-se muito boa, quando interpretada de acordo com o fósforo remanescente (P-rem) de cada trecho. No Trecho 5, por sua vez, o teor de P disponível encontra-se baixo de acordo com os limites técnicos consultados na literatura. Com base nos resultados obtidos para P-rem, no Trecho 5 os solos apresentam grande variação com relação à retenção de P (Gráficos 98, 99, 100, 101), uma vez que na região são encontrados tanto solos com textura arenosa (alto P-rem e baixa CTC) quanto argilosa (baixo P-rem e alta CTC).

Gráfico 98 – Teores disponíveis de fósforo na profundidade de 0-20 cm por trecho



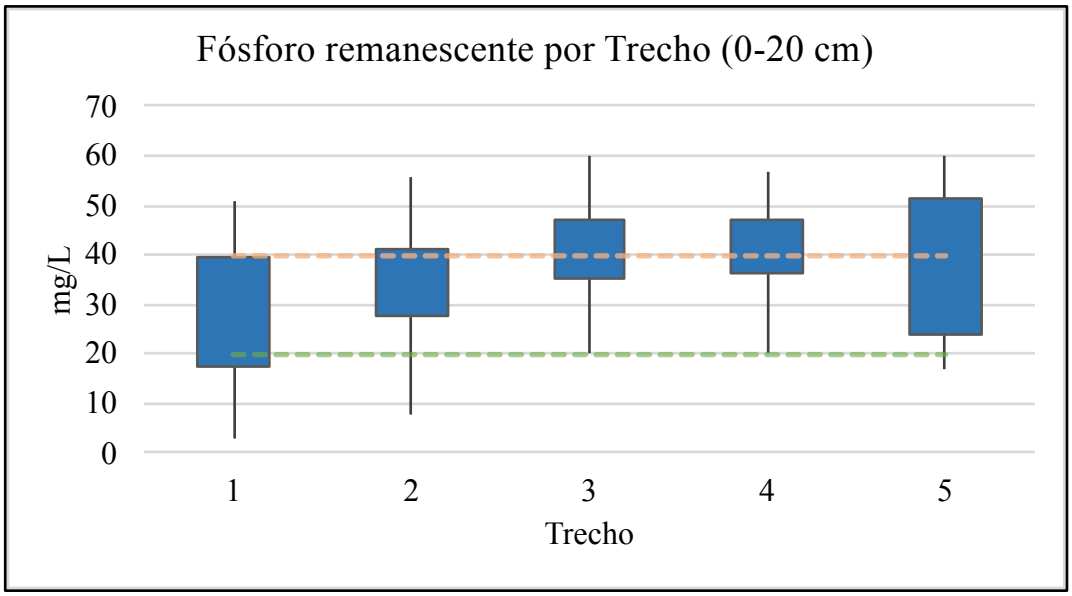
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 99 – Teores disponíveis de fósforo na profundidade de 20-40 cm por trecho



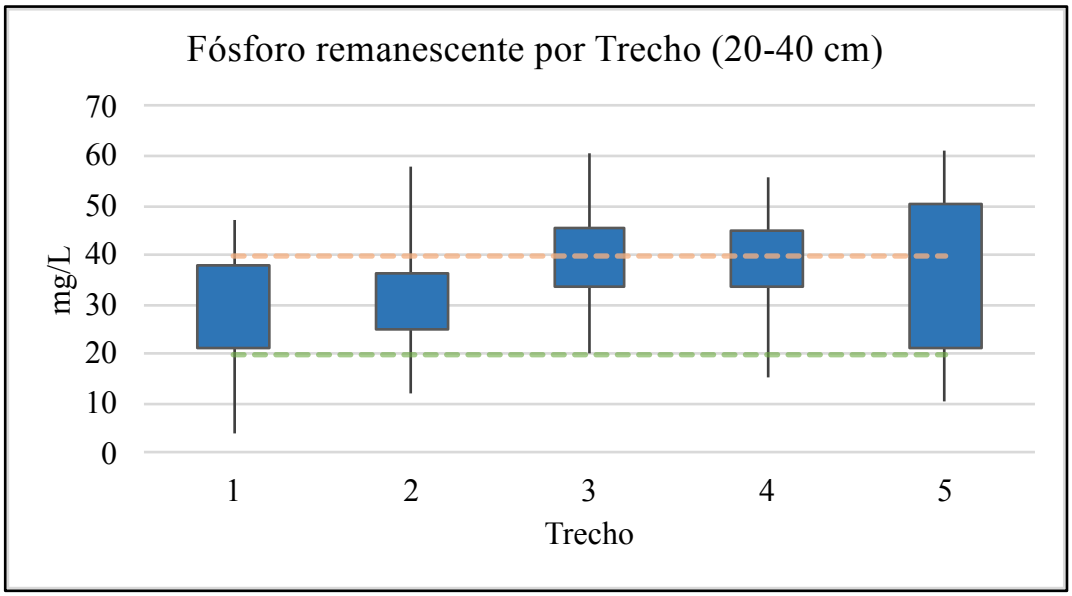
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 100 – Fósforo remanescente por trecho na camada de 0 a 20 cm



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

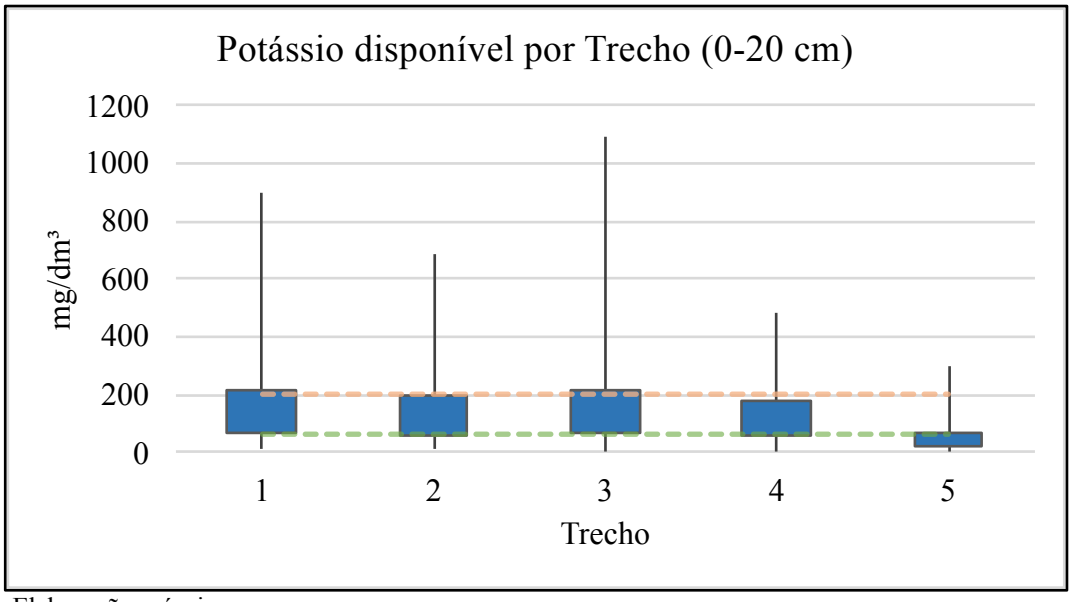
Gráfico 101 – Fósforo remanescente por trecho na camada de 20 a 40 cm



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

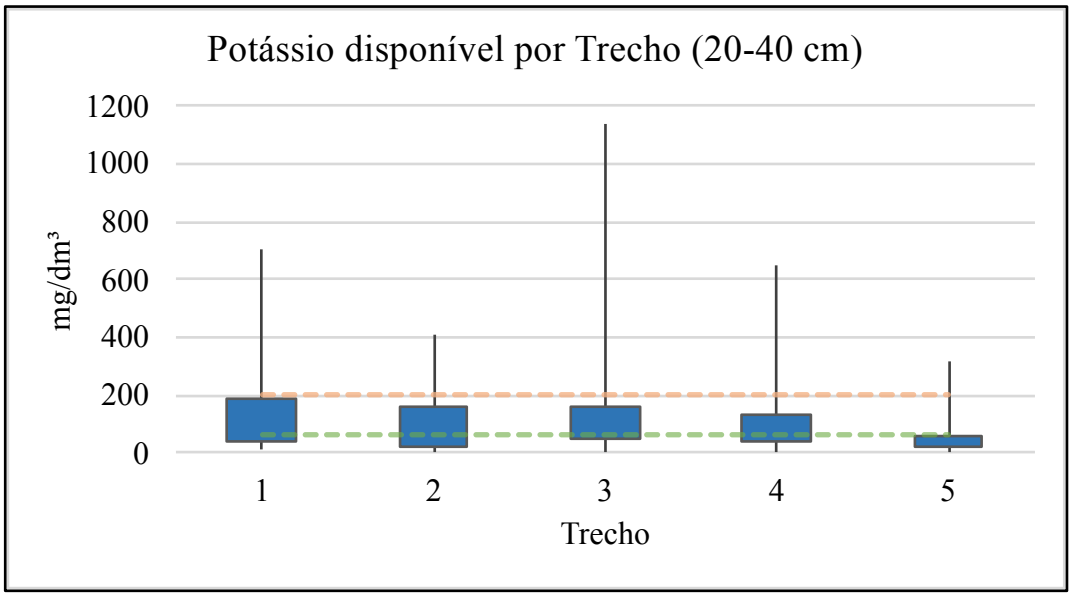
Os teores de potássio encontram-se dentro do considerado médio para os solos amostrados (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Apenas o Trecho 5 apresentou teores baixos, provavelmente em função da presença de solos arenosos e da grande possibilidade de perdas desse elemento por lixiviação (Gráficos 102, 103, 104, 105).

Gráfico 102 – Teores disponíveis de potássio por trecho na camada de 0 a 20 cm de profundidade



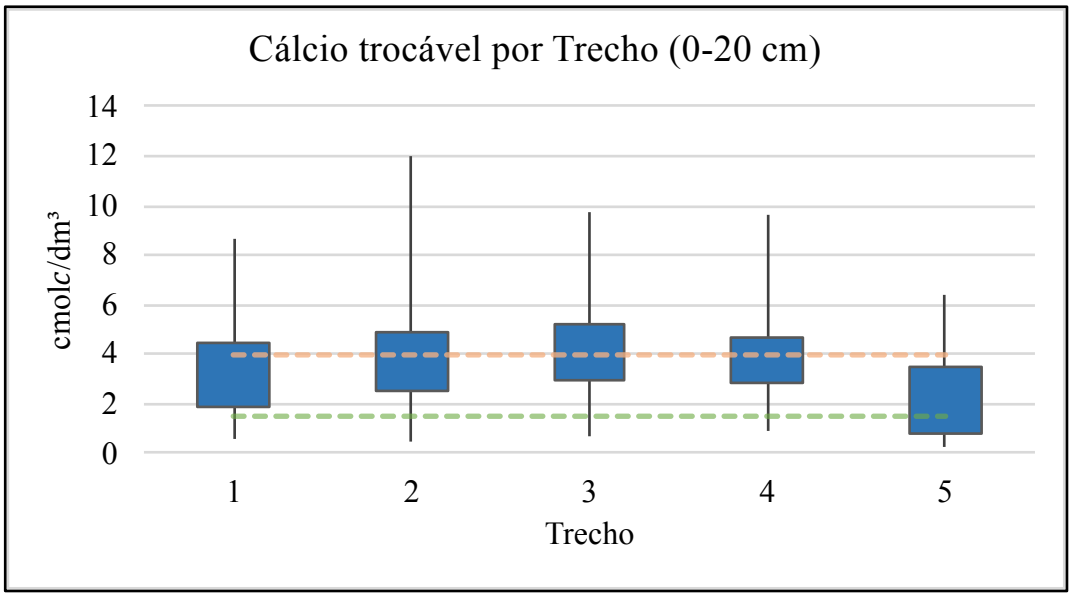
Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 103 – Teores disponíveis de potássio por trecho na camada de 20 a 40 cm de profundidade



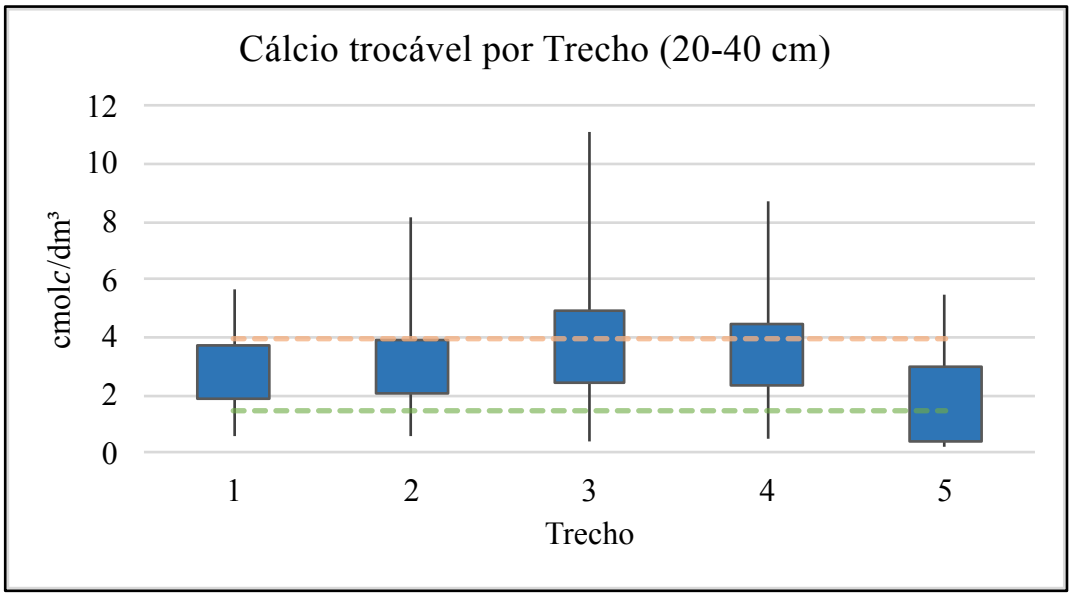
Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 104 – Teor de cálcio trocável por trecho na camada de 0 a 20 cm de profundidade



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

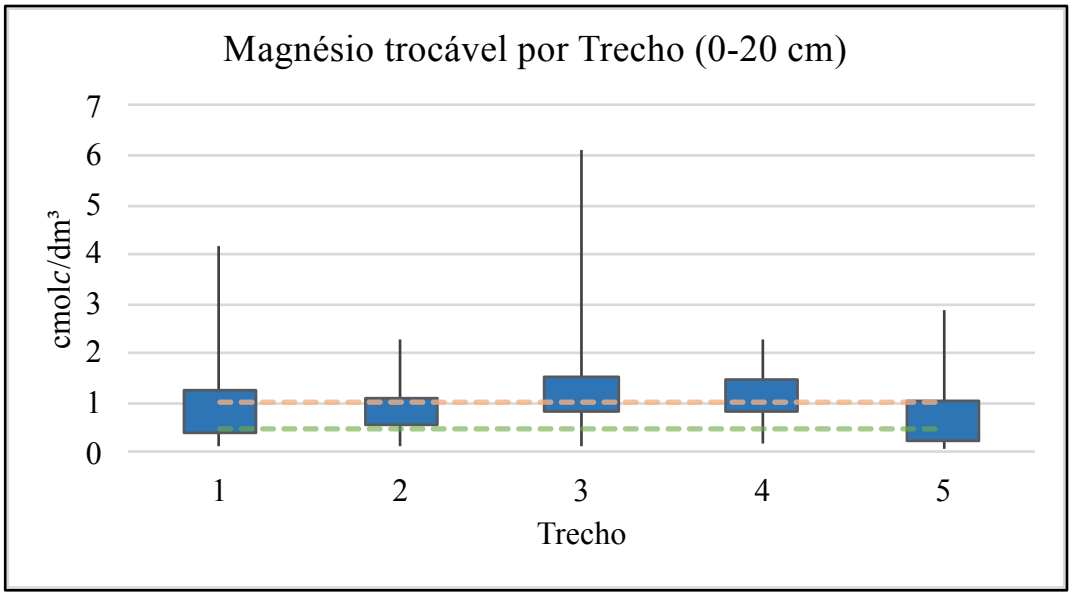
Gráfico 105 – Teor de cálcio trocável por trecho na camada de 20 a 40 cm de profundidade.



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

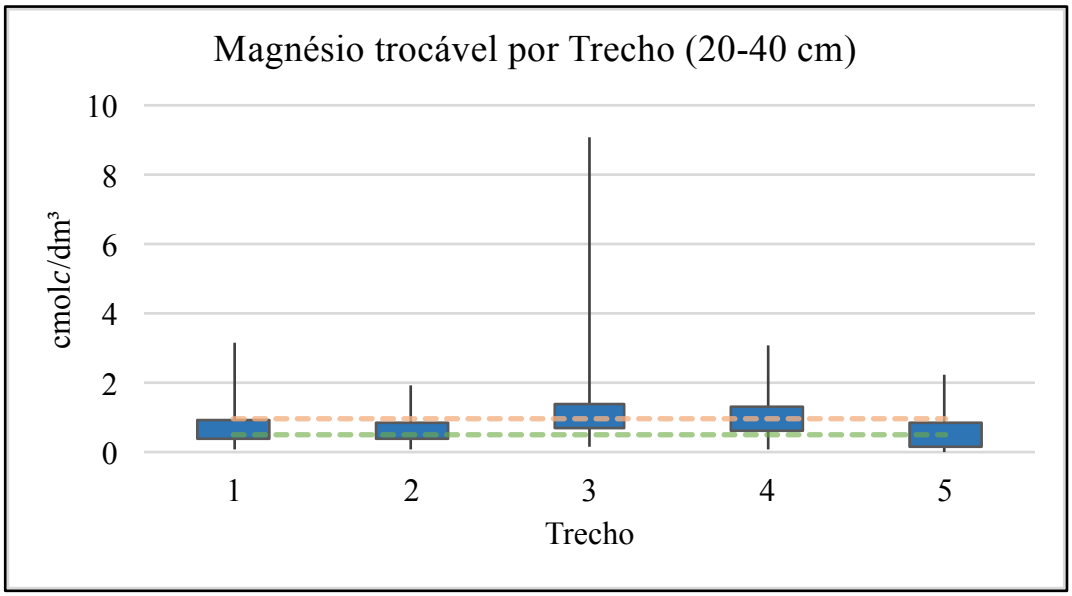
Os teores de Ca e Mg trocáveis variaram entre médio e alto nos trechos avaliados. Observou-se tendência de queda nesses valores no trecho 5, devido à baixa capacidade de troca de cátions (CTC efetiva) dos solos dessa região (Gráficos 106, 107, 108, 109).

Gráfico 106 – Teor de magnésio trocável por trecho na camada de 0 a 20 cm de profundidade



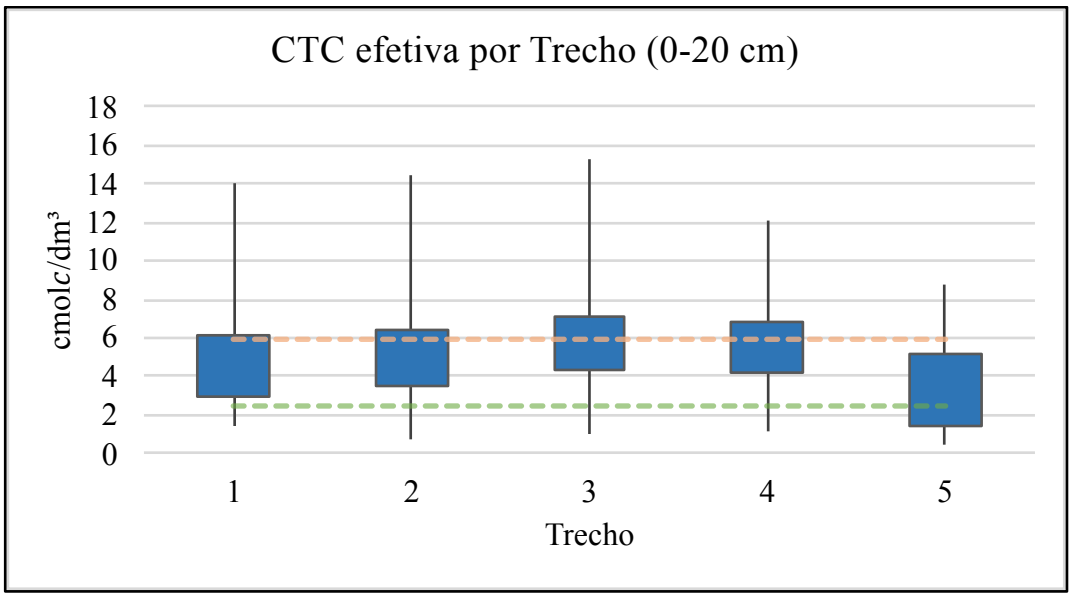
Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 107 – Teor de magnésio trocável por trecho na camada de 20 a 40 cm de profundidade



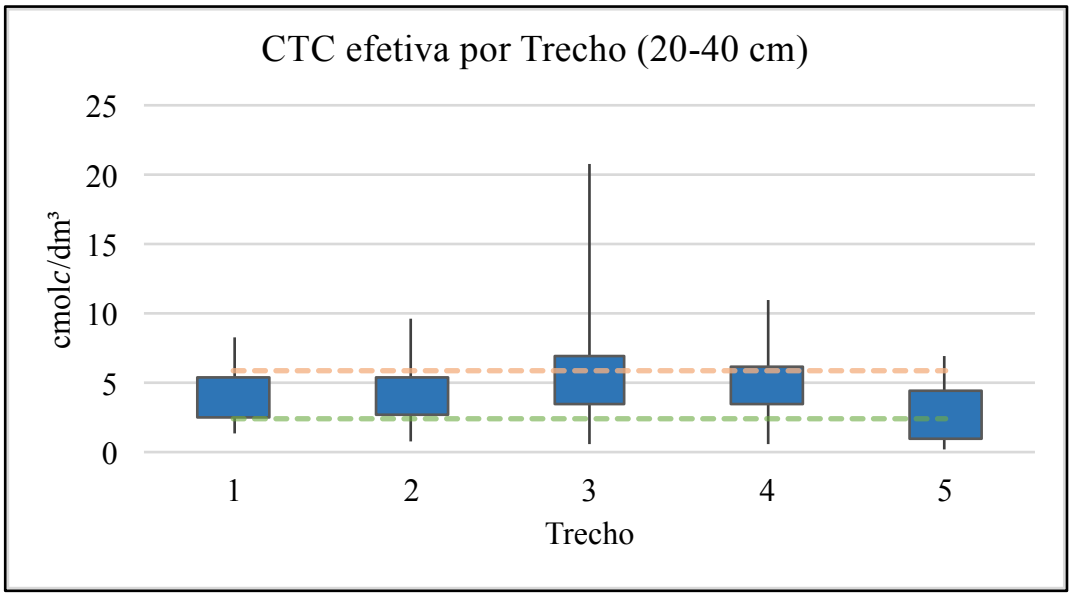
Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 108 – Capacidade de troca catiônica efetiva do solo na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

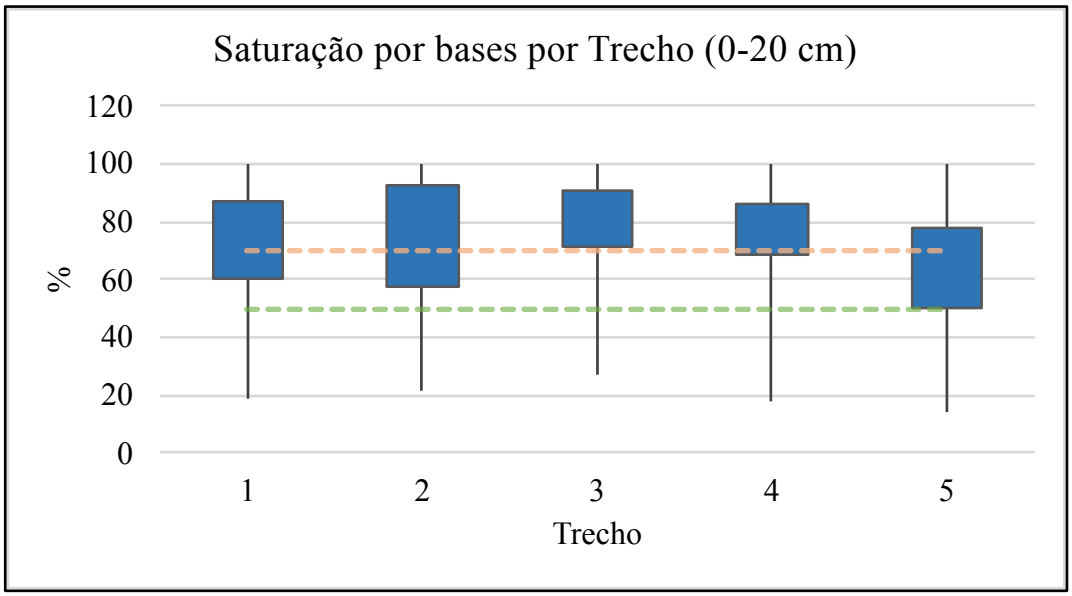
Gráfico 109 – Capacidade de troca catiônica efetiva do solo na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

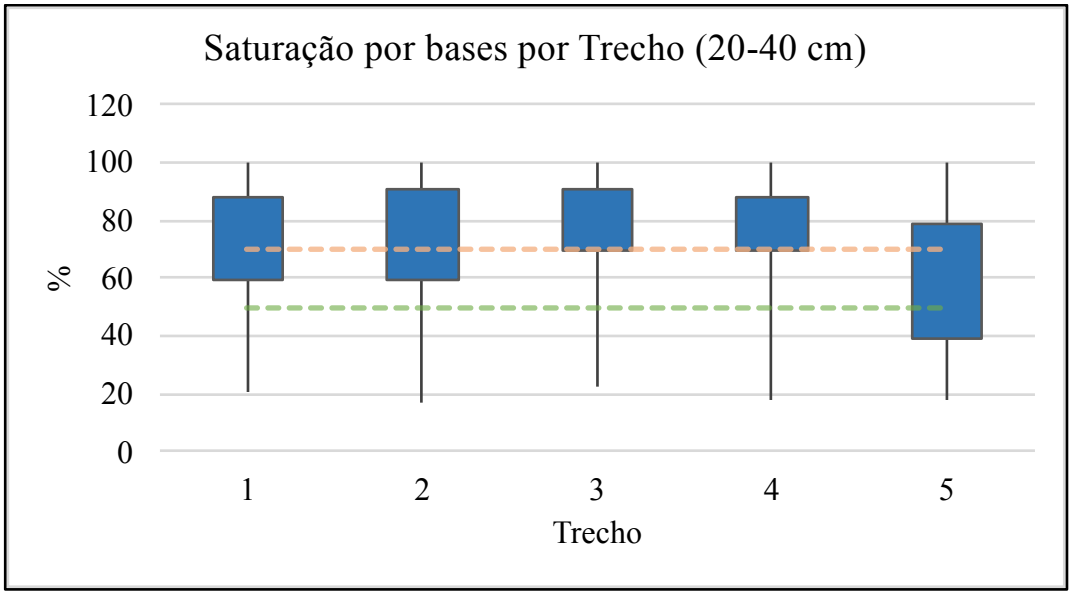
A saturação por bases (V) segue a mesma tendência nas duas camadas amostradas. Solos que apresentam saturação por bases acima de 50% são considerados eutróficos, ou seja, são solos que apresentam maior quantidade de cátions trocáveis, sendo considerados bons sob o ponto de vista da disponibilidade de nutrientes como Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+} para as plantas. A presença desses cátions nos solos avaliados pode ser atribuída, principalmente, ao manejo adotado pelos produtores, com adubação e correção de pH, uma vez que estes não são elementos abundantes em solos tropicais. A maioria dos solos cultivados são eutróficos, sendo menor valor de V observado no Trecho 5. Solos que apresentaram baixo valor de V são aqueles cultivados apenas com base na fertilidade natural, com pouca ou nenhuma adição de corretivo ou fertilizantes (Gráficos 110 e 111).

Gráfico 110 – Saturação por bases na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

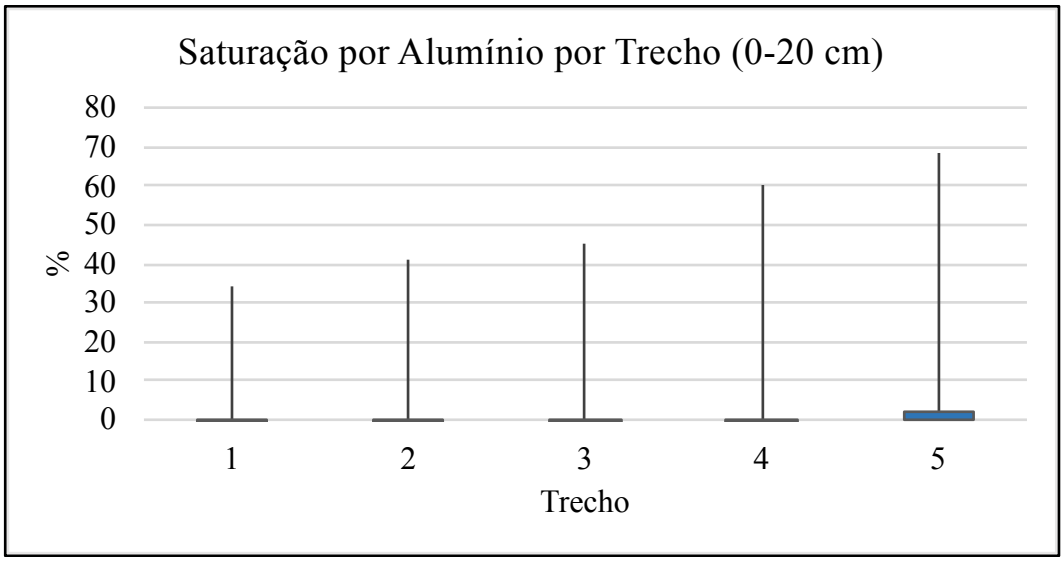
Gráfico 111 - Saturação por bases na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

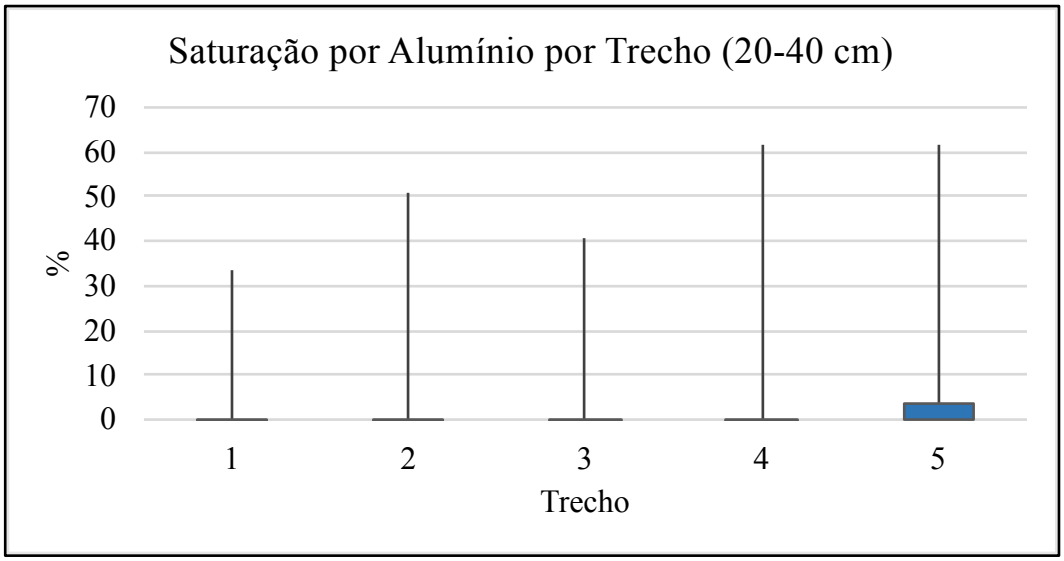
De acordo com os Gráficos 112 e 113, a saturação por alumínio encontra-se próxima a zero para a maioria dos solos nos trechos 1 a 4. No Trecho 5, os valores médios aumentam nas duas profundidades. Tal variação ocorre em função da variação do pH ao longo dos trechos, conforme mencionado.

Gráfico 112 – Saturação por alumínio na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.

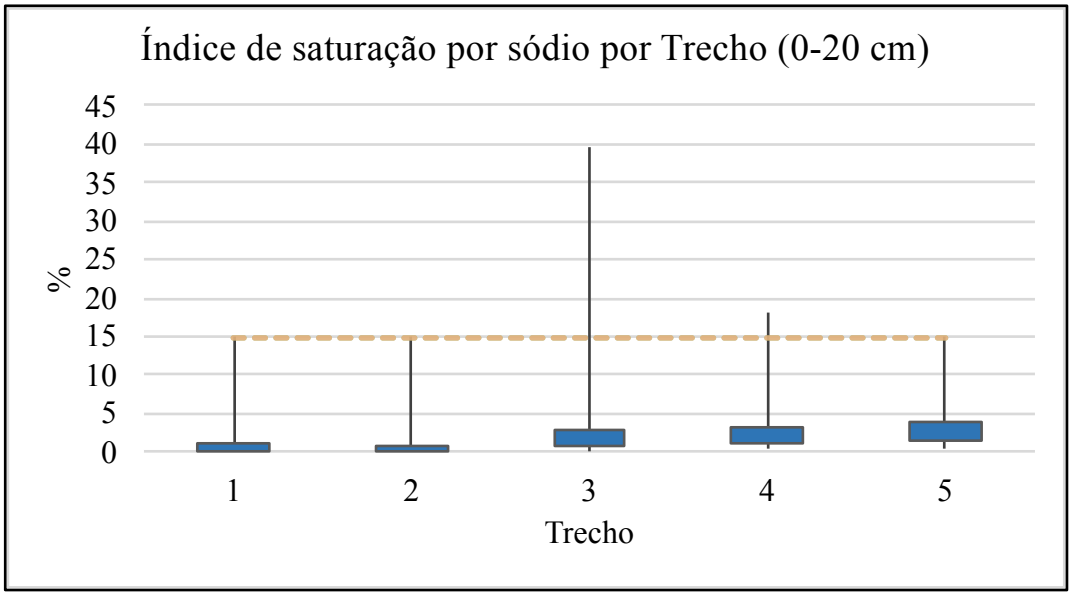
Gráfico 113 – Saturação por alumínio na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.

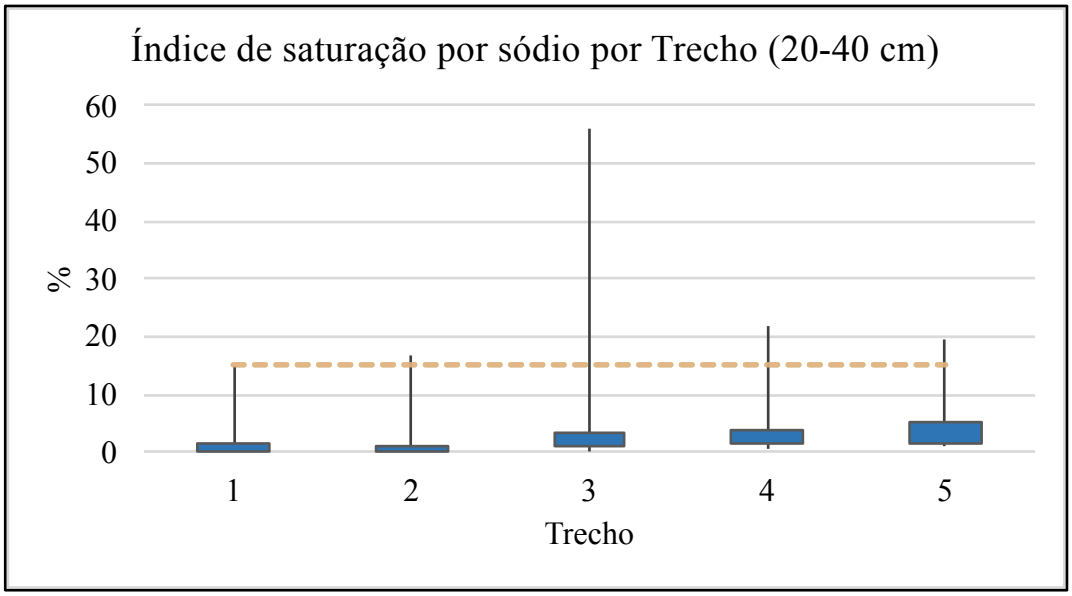
Para que um solo seja considerado sódico, o índice de saturação por sódio (ISNa) deve ultrapassar 15%. Poucos foram os solos encontrados que se enquadram nesta situação, sendo o teor de sódio mais elevado nos solos do Trecho 5, em virtude, principalmente, da proximidade da zona costeira (Gráficos 114 e 115).

Gráfico 114 – Índice de saturação por sódio (ISNa) na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria
*Limites: Ribeiro et al. (1999).

Gráfico 115 – Índice de saturação por sódio (ISNa) na camada de 20 a 40 cm por trecho

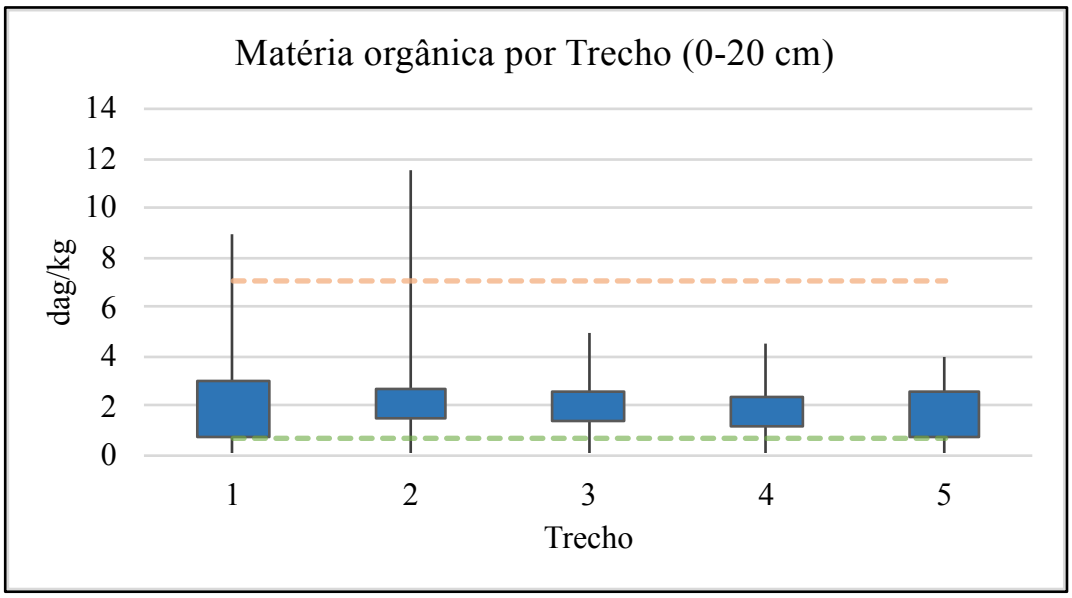


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Ribeiro et al. (1999).

A distribuição da matéria orgânica ao longo das duas profundidades amostradas segue a tendência de que, na superfície, esse teor é maior em função do aporte de resíduos de plantas e animais que se decompõem, formando a matéria orgânica do solo. Apesar disso, os teores de matéria orgânica encontrados para todos os trechos foram considerados médios (2,01 – 4,00 dag/kg) ou baixos (0,71 – 2,00 dag/kg) para as camadas de 0 a 20 cm, e baixos para as camadas de 20 a 40 cm. Por se tratarem de solos cultivados por muitos anos, com poucos períodos de

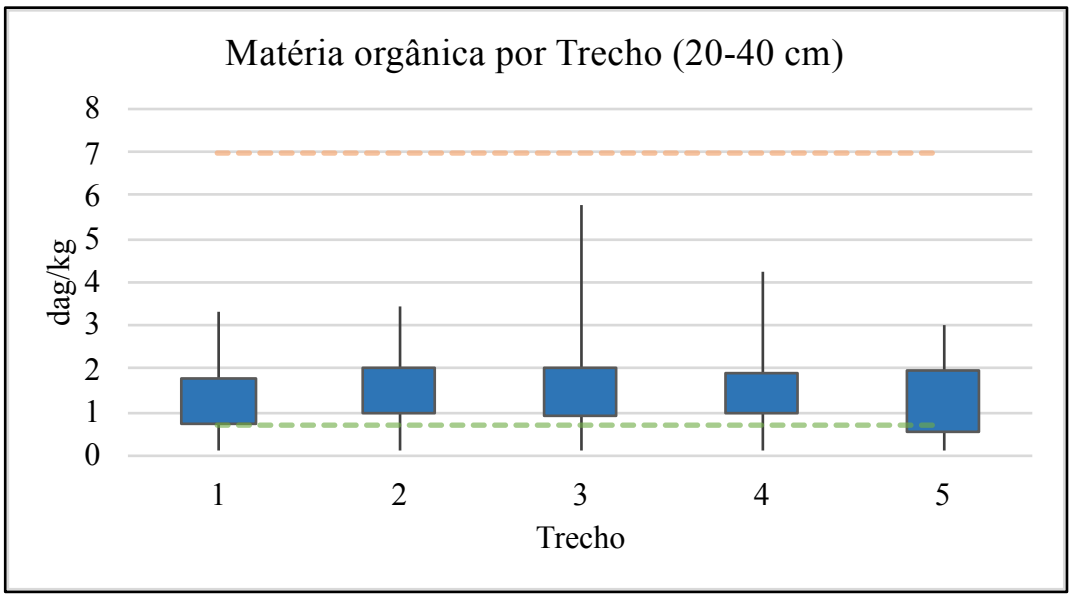
pousio, bem como solos de regiões de clima quente e úmido, a matéria orgânica é pouco preservada, resultando em menor teor nas camadas superficiais. A matéria orgânica é extremamente importante para a manutenção da fertilidade, temperatura e umidade do solo, sendo, portanto, necessárias práticas de manejo que visem à sua preservação (Gráficos 116 e 117.

Gráfico 116 – Teor de matéria orgânica do solo na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Ribeiro et al. (1999).

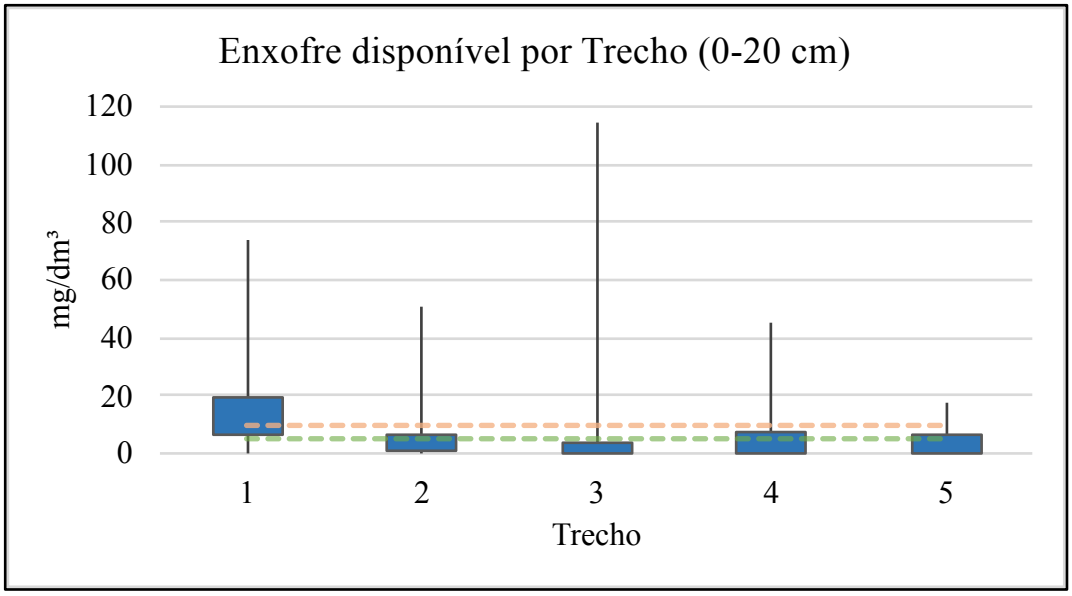
Gráfico 117 – Teor de matéria orgânica do solo na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Ribeiro et al. (1999).

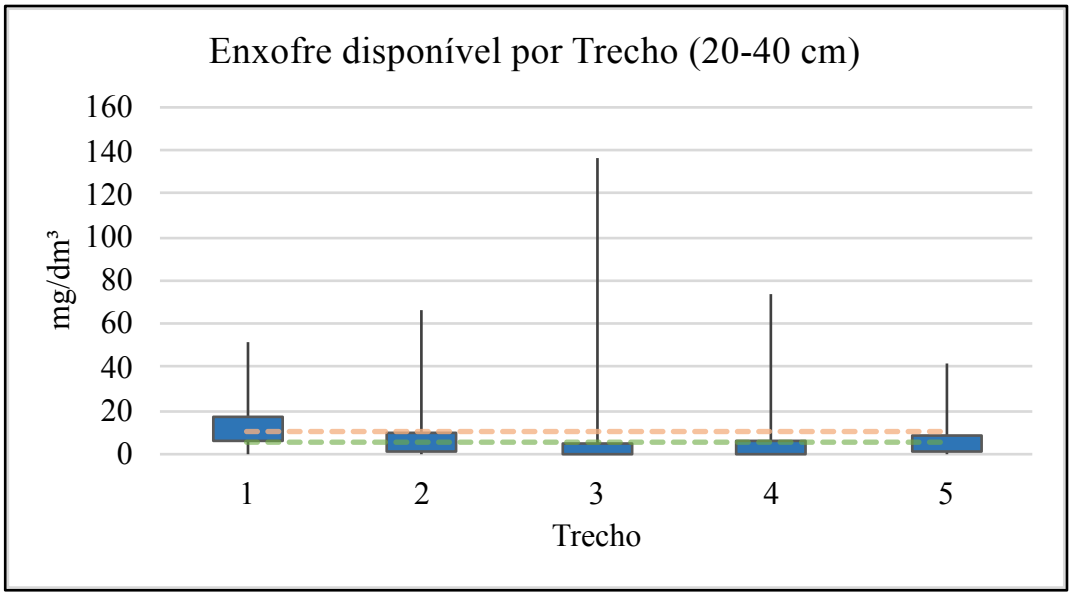
O teor de Enxofre disponível para solos do Trecho 1 tende a ser baixo ou médio em relação ao limite recomendado por Prezotti e Guarçoni (2013). Nos trechos 2, 3 e 4, os teores variaram de médio a baixo. A presença de Enxofre em maior quantidade nos trechos 1 e 5 pode estar associada, respectivamente, à formação geológica local e à proximidade do ambiente marinho, com ciclos de alagamento que promovem a redução dos sulfatos e disponibilização do S (Gráficos 118 e 119).

Gráfico 118 - Teor de Enxofre disponível na camada de 0 a 20 cm de profundidade por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

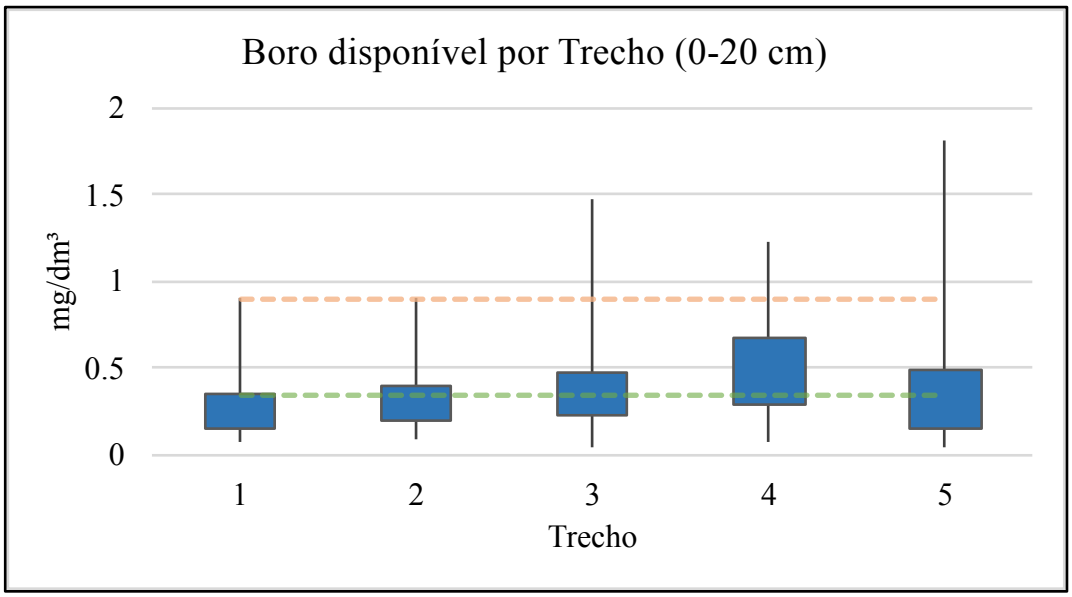
Gráfico 119 – Teor de Enxofre disponível na camada de 20 a 40 cm de profundidade por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

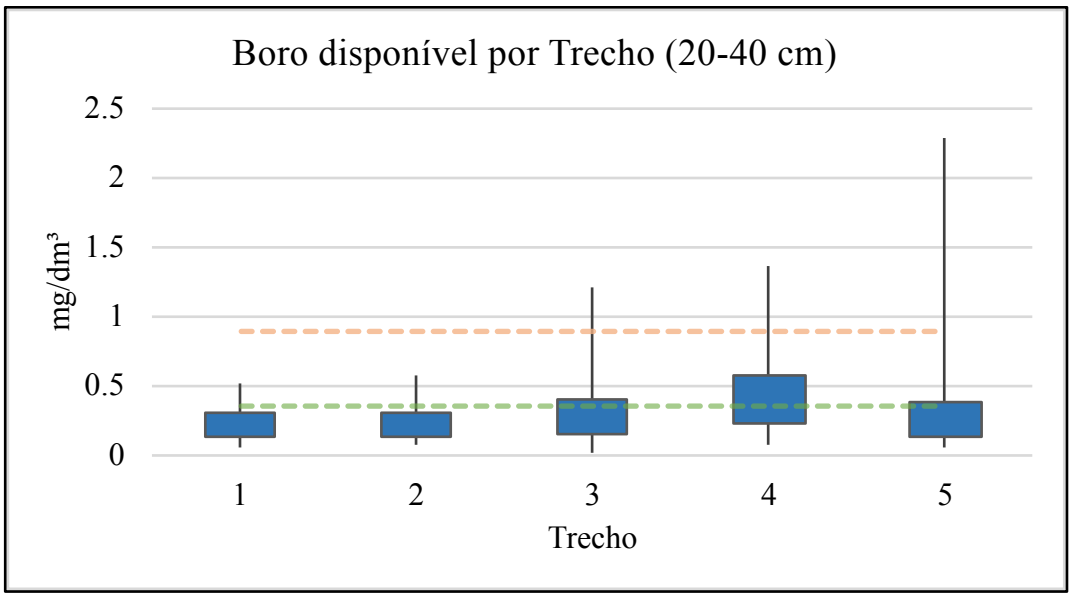
O Boro disponível nas amostras avaliadas apresentou-se baixo na maioria dos trechos estudados. Apenas no Trecho 4, a concentração desse elemento foi classificada como média. O Boro é encontrado nas camadas superficiais de solos bem drenados, geralmente ligado à matéria orgânica. Dessa forma, em períodos de seca, época na qual os solos foram coletados, a disponibilidade desse elemento é limitada para as plantas. Além disso, menores teores de B nos trechos 1 e 2 podem estar associados ao pH mais alto nesses trechos, o que limita a disponibilidade desse nutriente às plantas (Gráficos 120 e 121).

Gráfico 120 - Teor de Boro disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

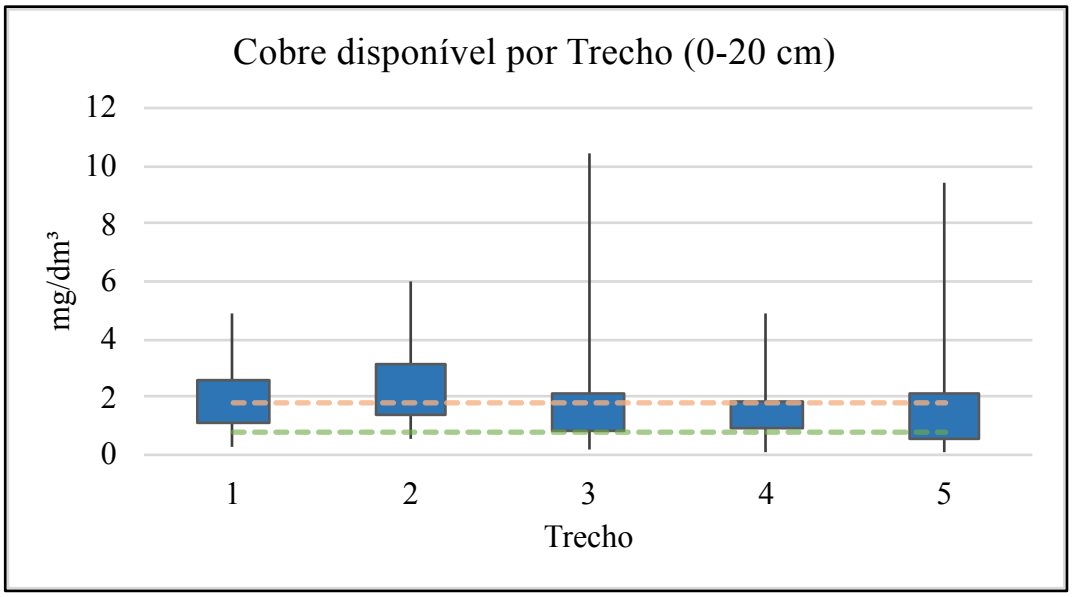
Gráfico 121 - Teor de Boro disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

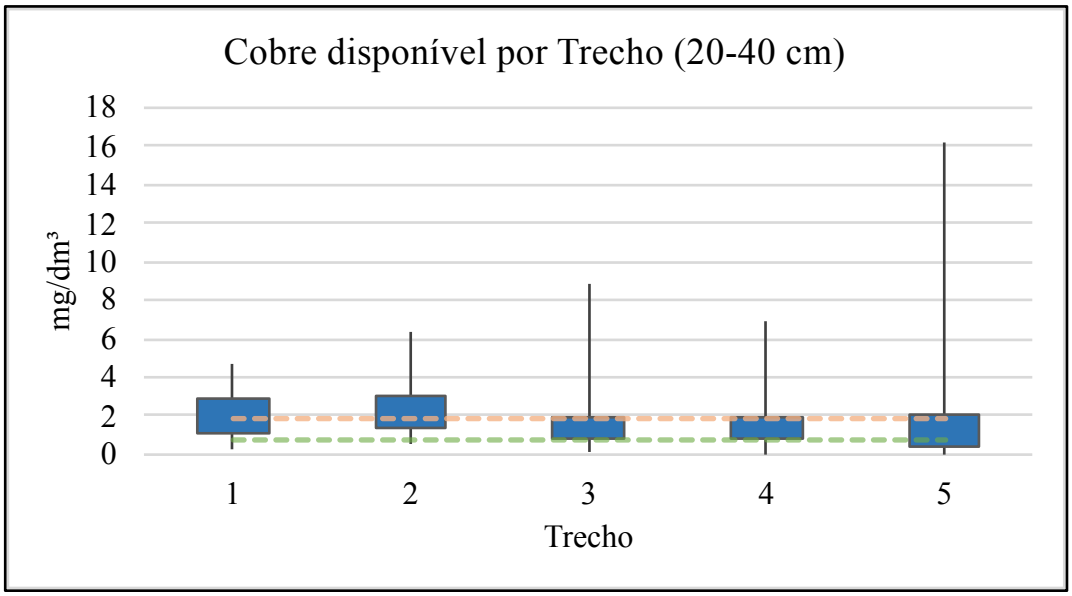
Em geral, foram encontrados valores médios de Cobre disponível nas duas profundidades, sendo este considerado alto apenas nos trechos 1 e 2. Valores de Cobre muito altos foram encontrados em solos de propriedades específicas, sendo os maiores nos trechos 3 e 5 da Área de Estudo (Gráficos 122 e 123).

Gráfico 122 - Teor de Cobre disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 123 - Teor de Cobre disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho

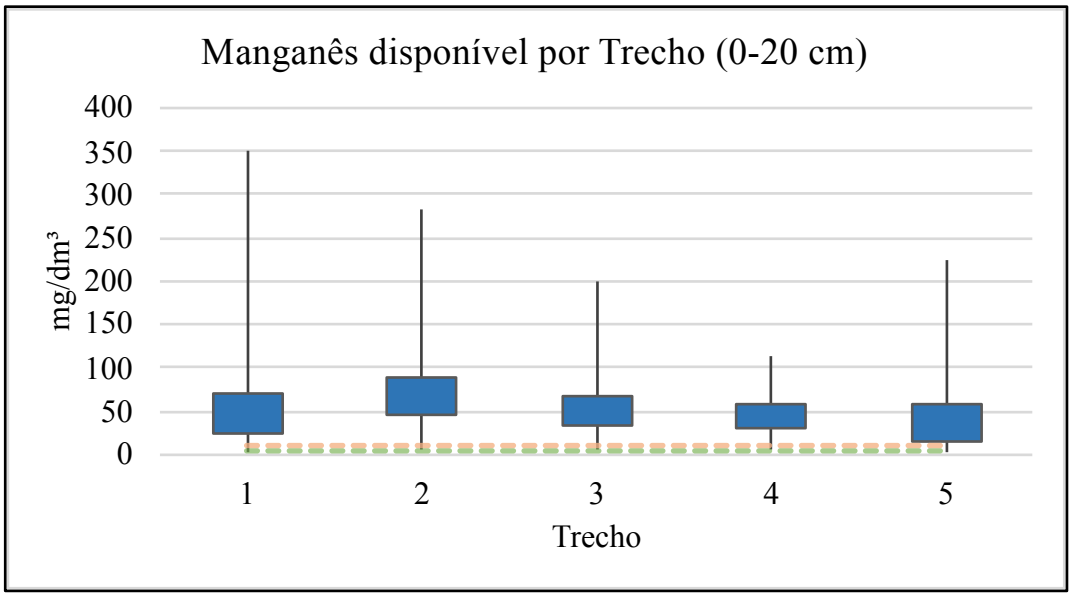


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Os teores disponíveis de Manganês encontrados em todos os trechos estudados foram altos, de acordo com Prezotti e Guarçoni (2013) (Gráficos 124 e 125). Dados de monitoramento

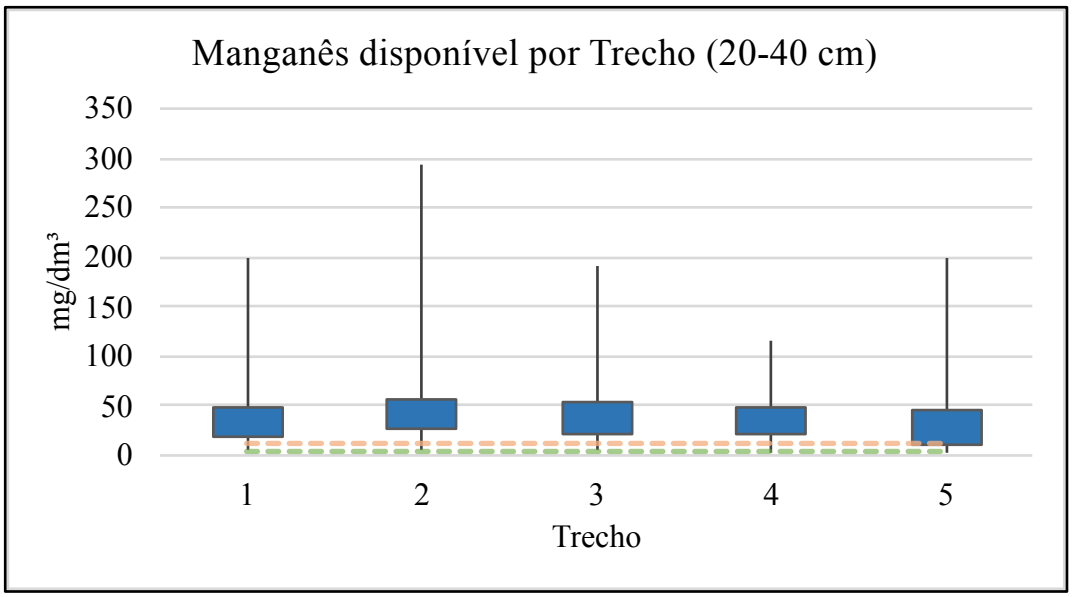
da qualidade da água realizado pelo Igam (2018) demonstram a presença desse elemento também na água, o que pode estar sendo a causa para o aumento da concentração desse elemento no solo (Figura 56 - Mapa de Manganês em Solo na Área de Estudo Profundidade 0 cm - 20 cm).

Gráfico 124 - Teor de Manganês disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 125 – Teor de Manganês disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho

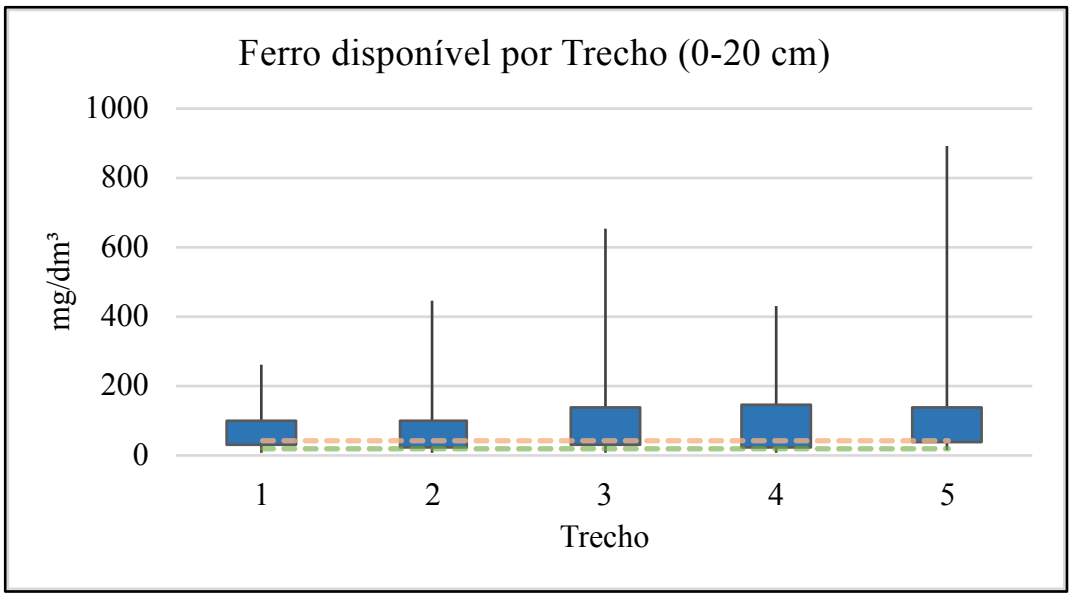


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Os teores de Ferro encontram-se nas faixas de médio a alto, sendo este um dos parâmetros mais importantes para o estudo. A presença de Ferro em grandes quantidades na região estudada pode estar associada tanto à formação do solo, rico em óxidos de Ferro, quanto ao evento do rompimento da barragem (Figura 57 - Mapa de Ferro em Solo na Área de Estudo Profundidade 0 cm - 20 cm). É importante considerar que o Ferro na forma de óxidos de Ferro não está biodisponível, sendo assim, a fração disponível desse elemento pode estar associada à presença de Ferro dissolvido na água ou até mesmo à redução e consequente solubilização do Ferro associado aos materiais detríticos depositados ao longo das áreas cultivadas (Gráficos 126 e 127).

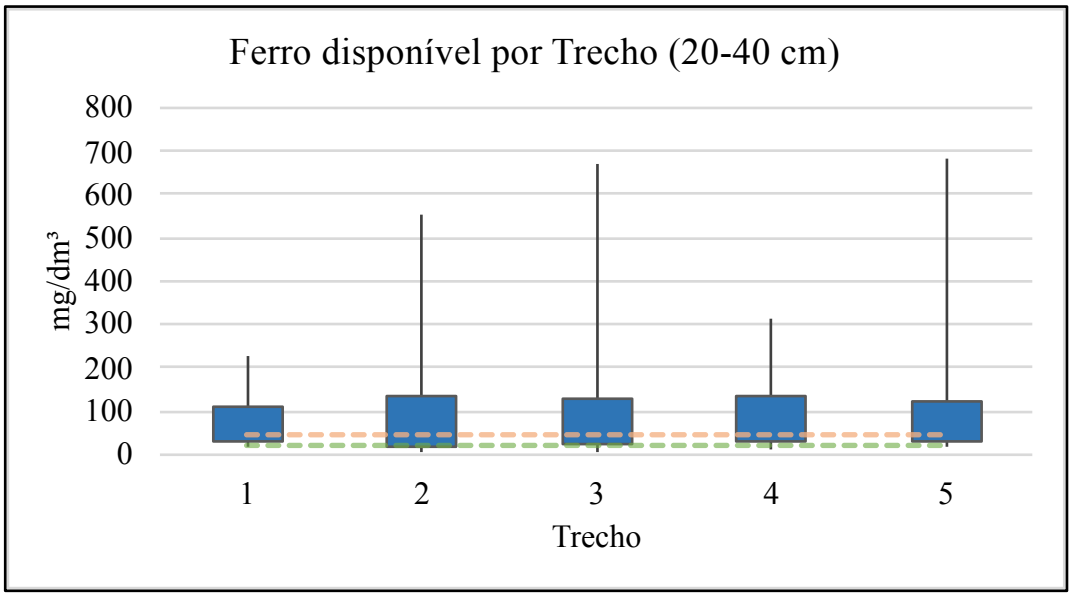
Segundo Abreu et al. (2007), a disponibilidade do Fe nos solos é maior na faixa de pH entre 4,0 e 6,0. A maioria dos solos estudados encontra-se na faixa de pH acima de 5,5, entretanto, mesmo em pH acima do ideal para maior disponibilidade deste micronutriente, os teores de Fe no solo estiveram acima dos limites ideiais para solos.

Gráfico 126 - Teor de Ferro disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho.



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

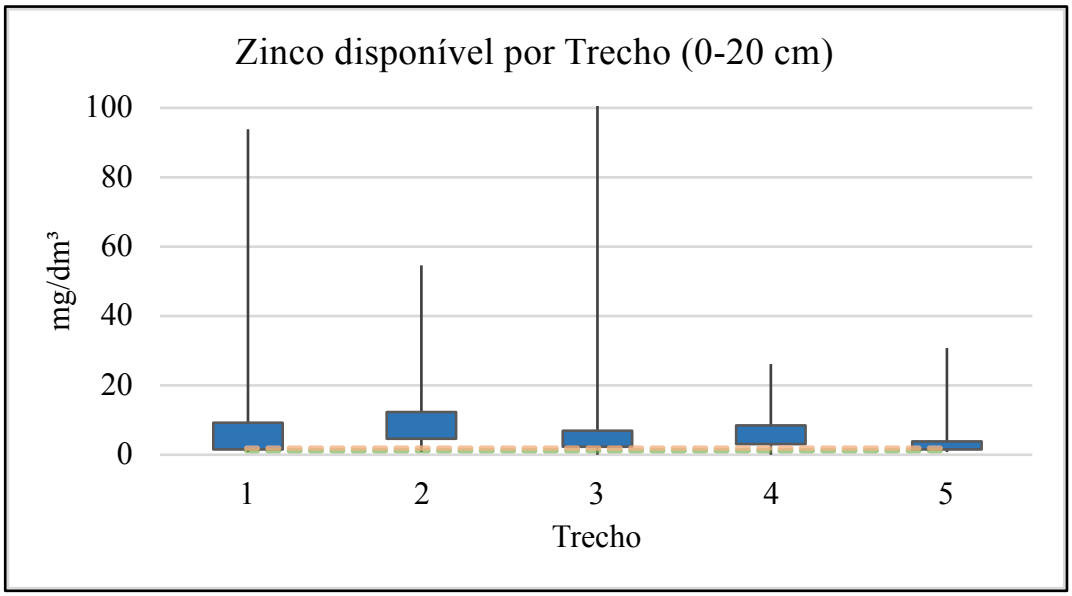
Gráfico 127 - Teor de Ferro disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

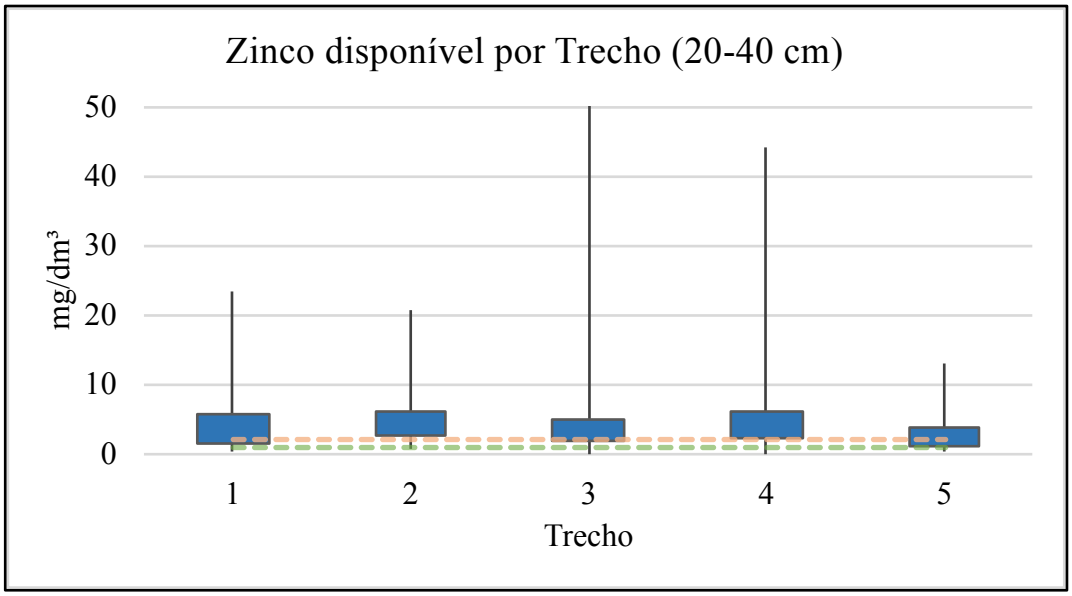
Os teores disponíveis de Zinco encontram-se acima daqueles mais altos normalmente encontrados para solos, que chegam a 2,2 mg dm^{-3}. Teores acima de 2,2 mg dm^{-3} são considerados altos para os solos brasileiros (PREZZOTTI & GUARÇONI, 2013; ABREU et al., 2007). O maior valor encontrado foi no Trecho 3 (Figura 58 - Mapa de Zinco em Solo na Área de Estudo Profundidade 0 cm - 20 cm), para as duas profundidades, porém esse dado não representa a tendência geral dos solos analisados (Gráficos 128 e 129). A faixa de pH que confere maior disponibilidade do Zn nos solos está entre 5,0 e 6,5 (ABREU et al., 2007), sendo esta encontrada em grande parte dos solos estudados. Nos gráficos 128 e 129, teores de Zn acima de 100 mg dm^{-3} e 50 mg dm^{-3}, respectivamente, não foram representados, uma vez que foram teores muito acima daqueles encontrados para os outros solos coletados. Os dados não representados correspondem a um ponto de 0-20 cm (935,35 mg dm^{-3}) e um de 20-40 cm (353,5 mg dm^{-3}), ambos pertencentes ao Trecho 3.

Gráfico 128 - Teor de Zinco disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho

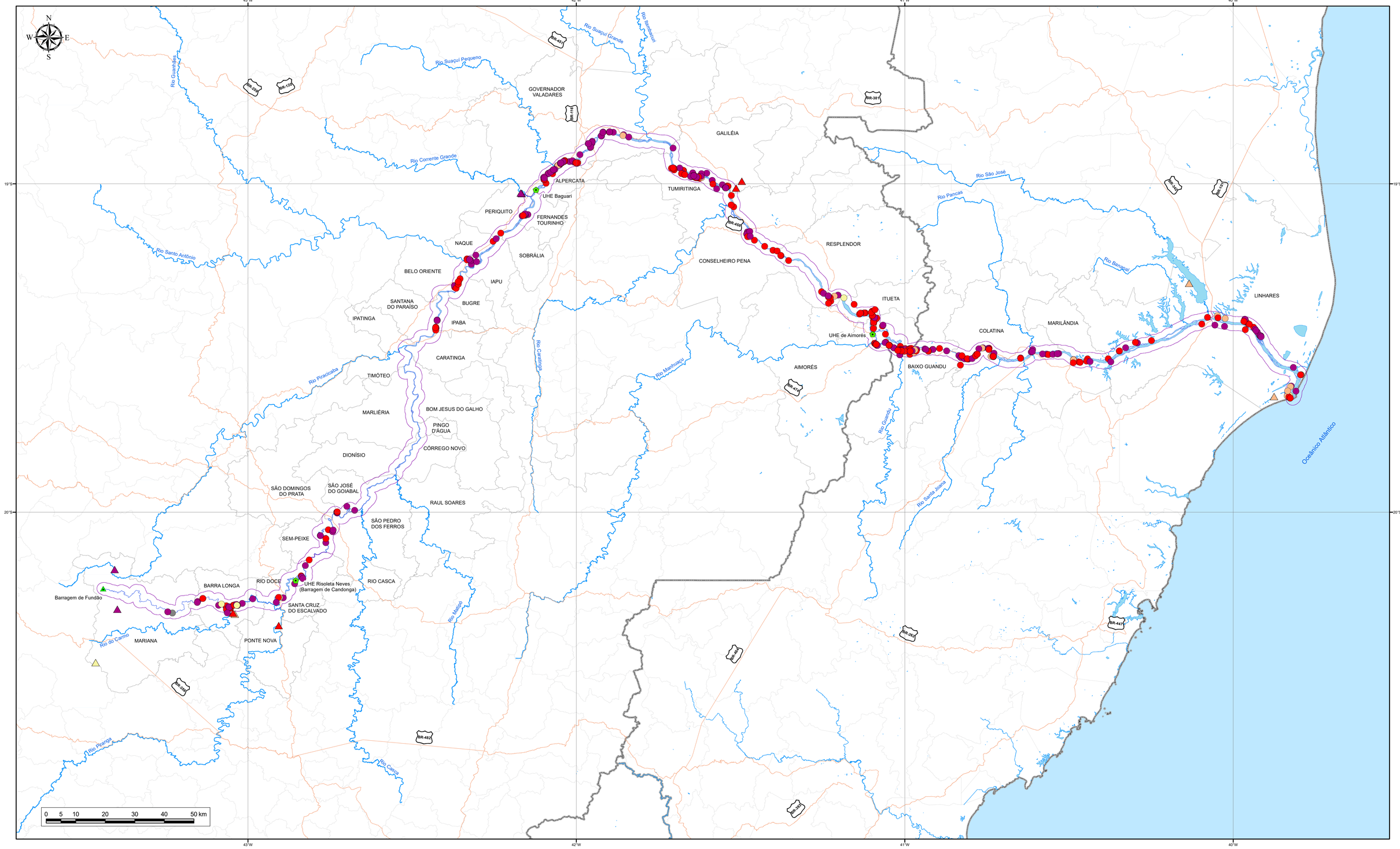


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).

Gráfico 129 - Teor de Zinco disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: Prezotti e Guarçoni (2013).



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Mn 0 - 20 cm (mg/dm³)	Mn - Grupo controle
< 5,0	< 5,0
5,0 - 12,0	5,1 - 12,0
12,1 - 50,0	12,1 - 50,0
50,1 - 200,0	50,1 - 200,0
> 200,0	> 200,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

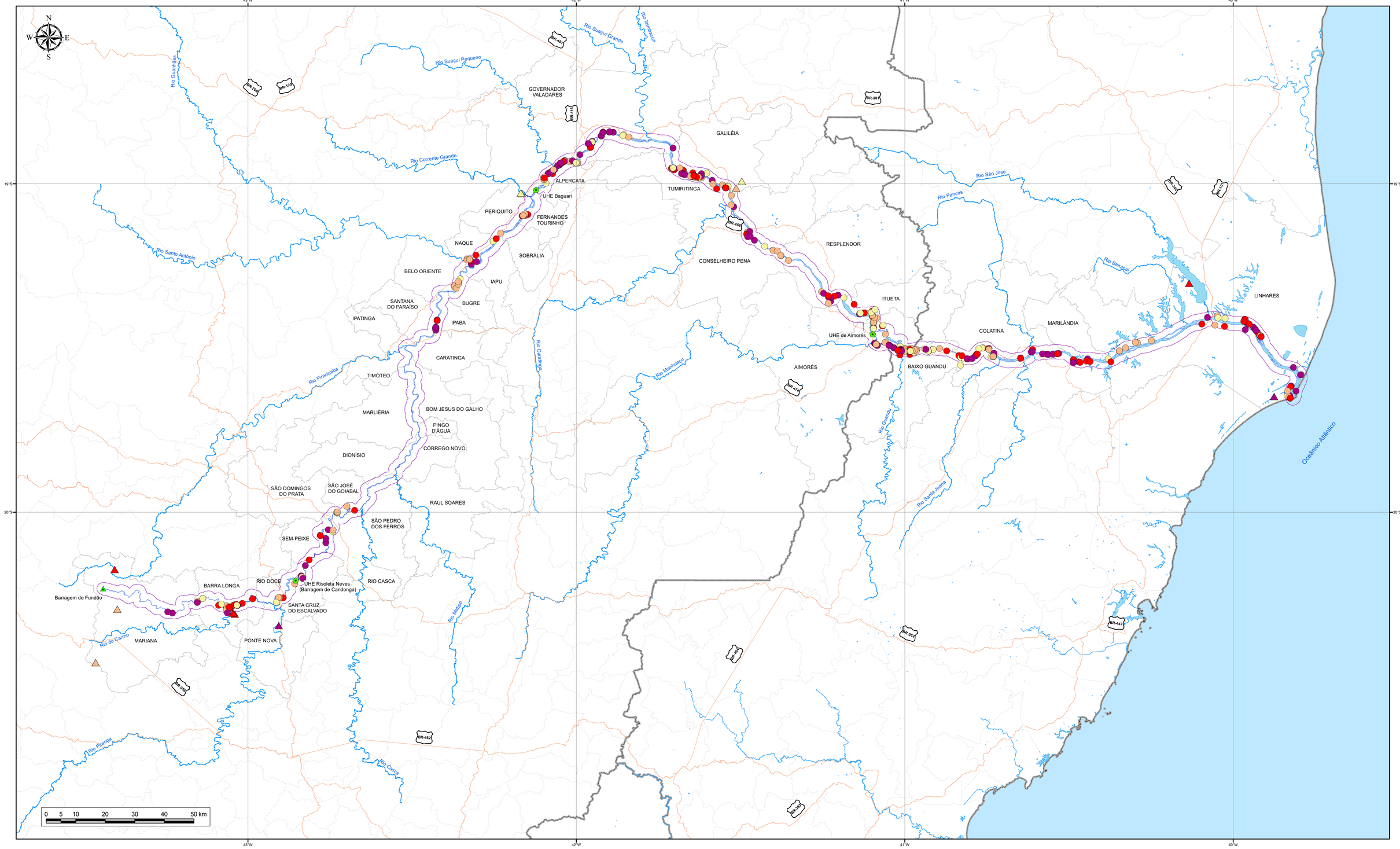
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 56 - TEORES DE MANGANÊS EM SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO - PROFUNDIDADE 0 CM - 20 CM

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Fe 0 - 20 cm (mg/dm³)	Fe - Grupo controle
< 20,0	< 20,0
20,0 - 45,0	20,0 - 45,0
45,1 - 100,0	45,1 - 100,0
100,1 - 500,0	100,1 - 200,0
> 500,0	> 200,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

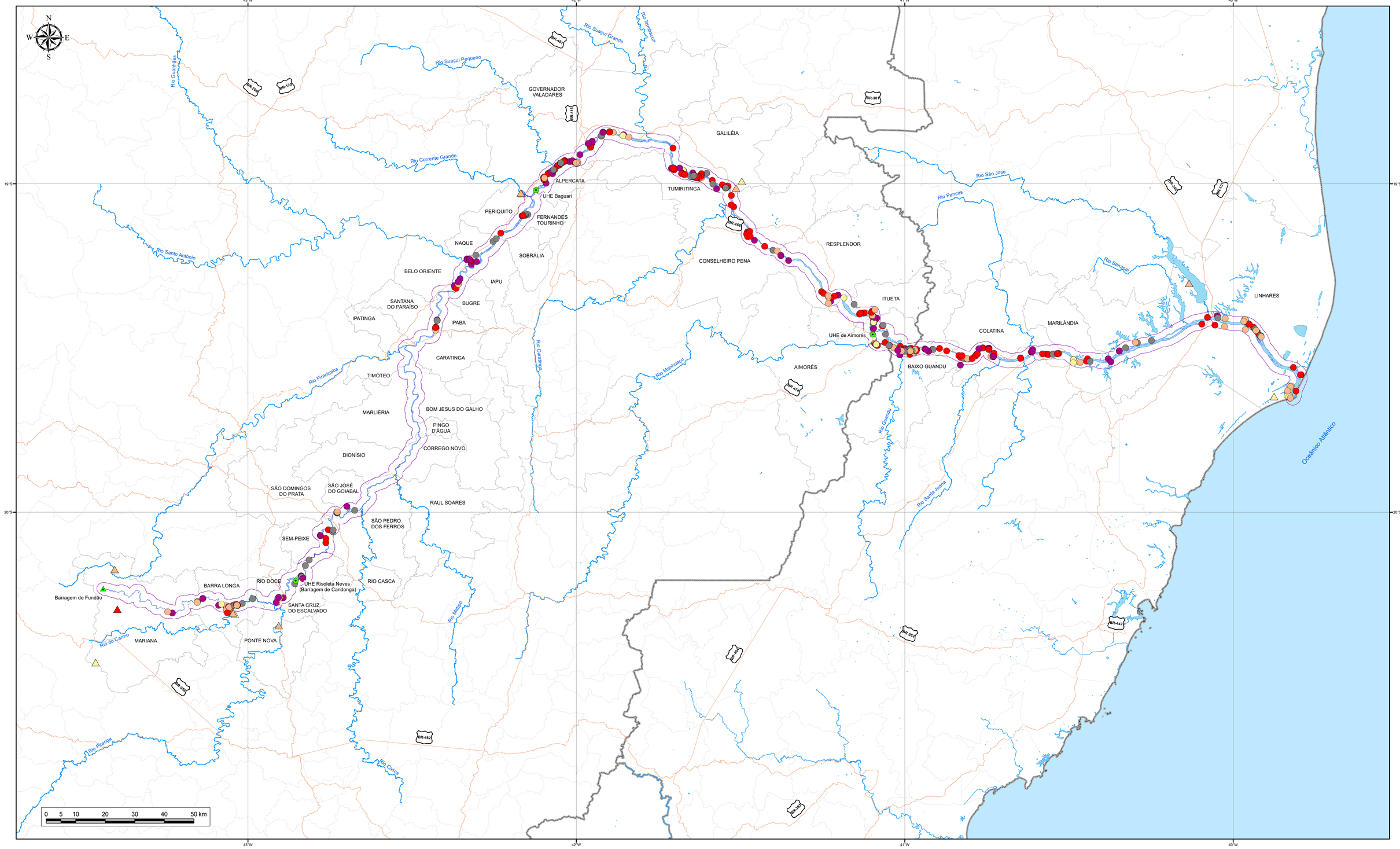
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 57 - TEORES DE FERRO EM SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO - PROFUNDIDADE 0 CM - 20 CM

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Zn 0 - 20 cm (mg/dm³)

- < 1,0
- 1,0 - 2,2
- 2,3 - 5,0
- 5,1 - 10,0
- > 10,0

Zn - Grupo controle

- < 2,2
- 2,2 - 10,0
- 10,1 - 50,0
- > 50,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

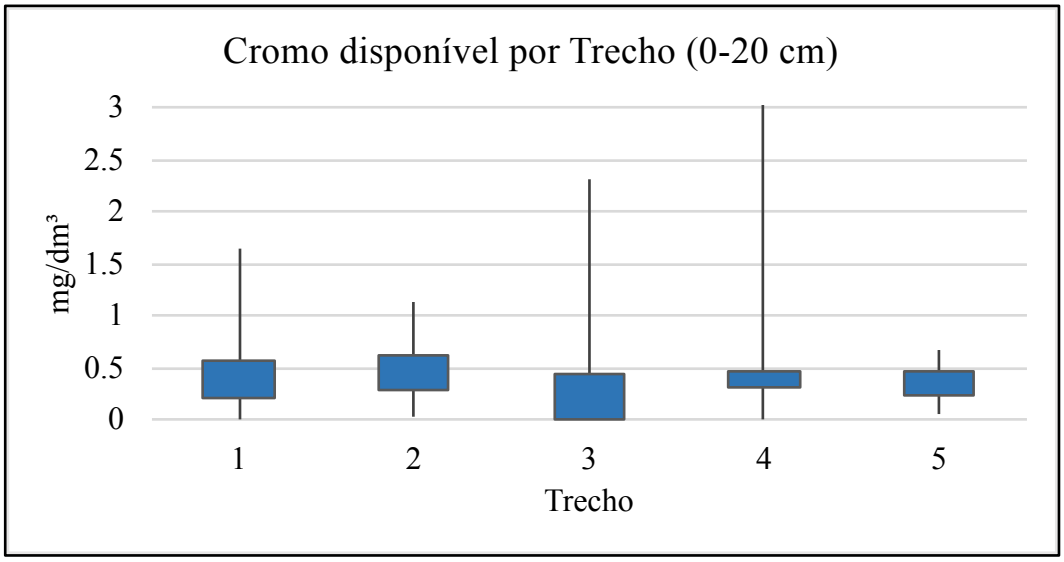
PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 58 - TEORES DE ZINCO EM SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO - PROFUNDIDADE 0 CM - 20 CM

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

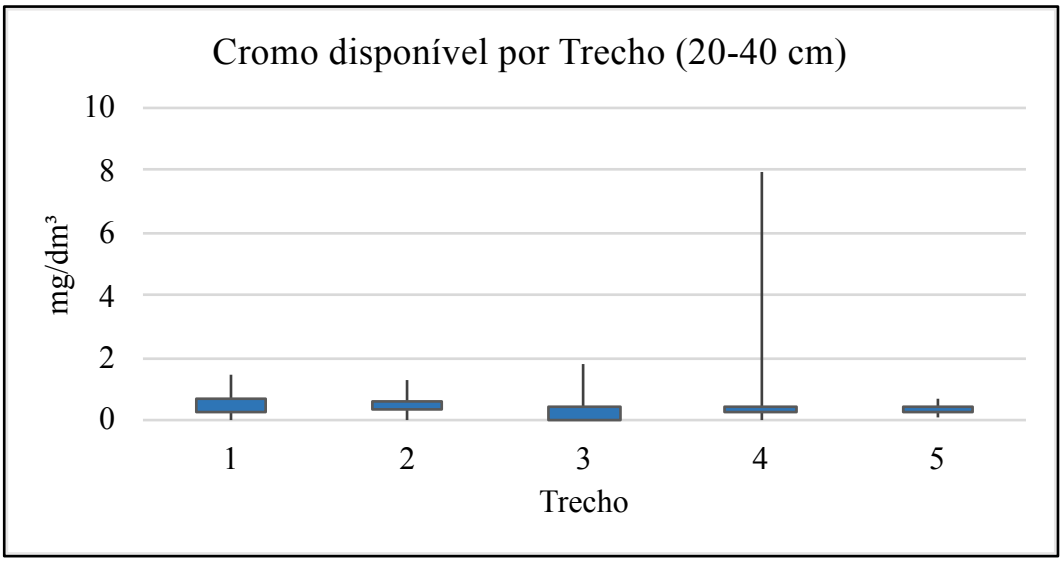
Embora não existam limites legais para os teores disponíveis de metais pesados no solo, foram realizadas análises com o extrator Mehlich I, comumente utilizado para quantificação da disponibilidade de nutrientes para as plantas, para determinação dos elementos cromo (Cr), níquel (Ni), cádmio (Cd) e chumbo (Pb), conforme Gráficos 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137. Teores disponíveis de nutrientes são aqueles que se encontram prontamente dissolvidos na solução do solo além daqueles que a planta, por meio de interações em sua rizosfera, consegue retirar da matriz do solo, ou seja, são elementos que estão facilmente trocáveis e podem ser absorvidos. A disponibilidade desses elementos nos solos está diretamente relacionada com sua presença na planta, sendo assim, a discussão dos dados relacionados a esses dois aspectos será integrada, no item a seguir. Cabe ressaltar que no Gráfico 130, teores de cromo maiores que 3,0 mg dm^{-3} não foram representados, devido à discrepância em relação aos outros resultados, o que inviabilizaria a observação do gráfico.

Gráfico 130 - Teor de Cromo disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho



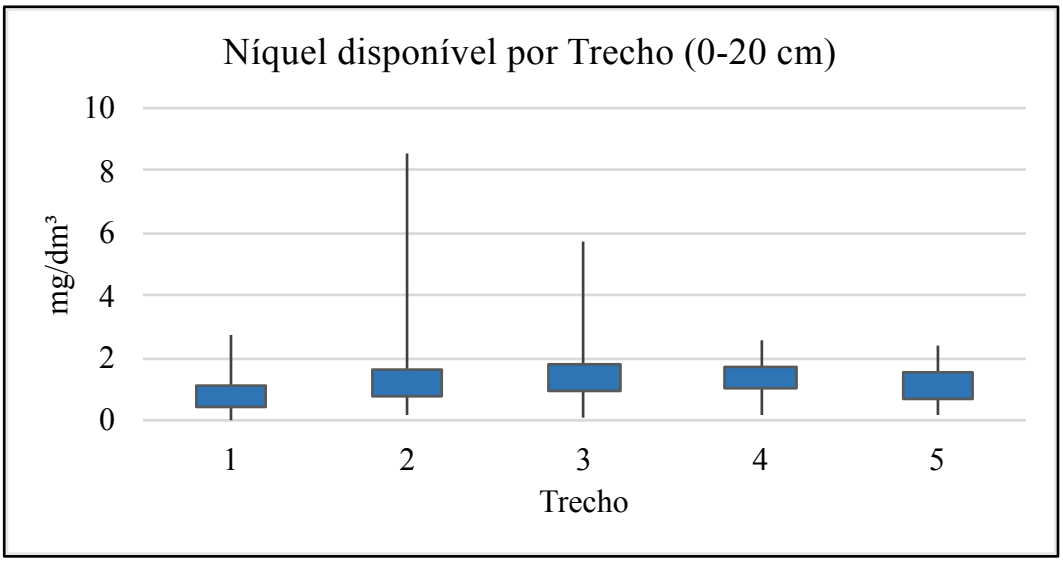
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 131 - Teor de Cromo disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho



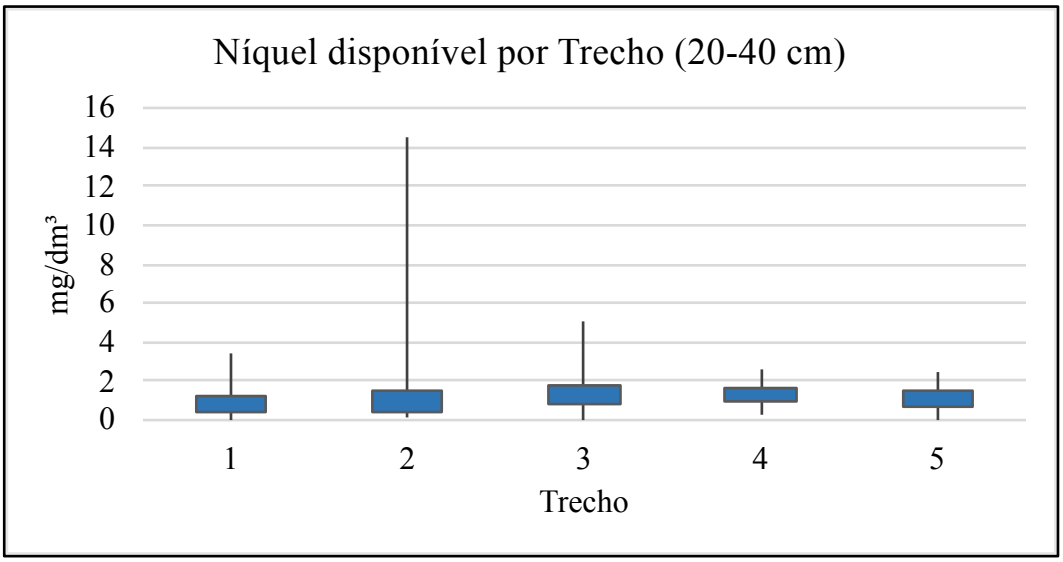
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 132 - Teor de Níquel disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho



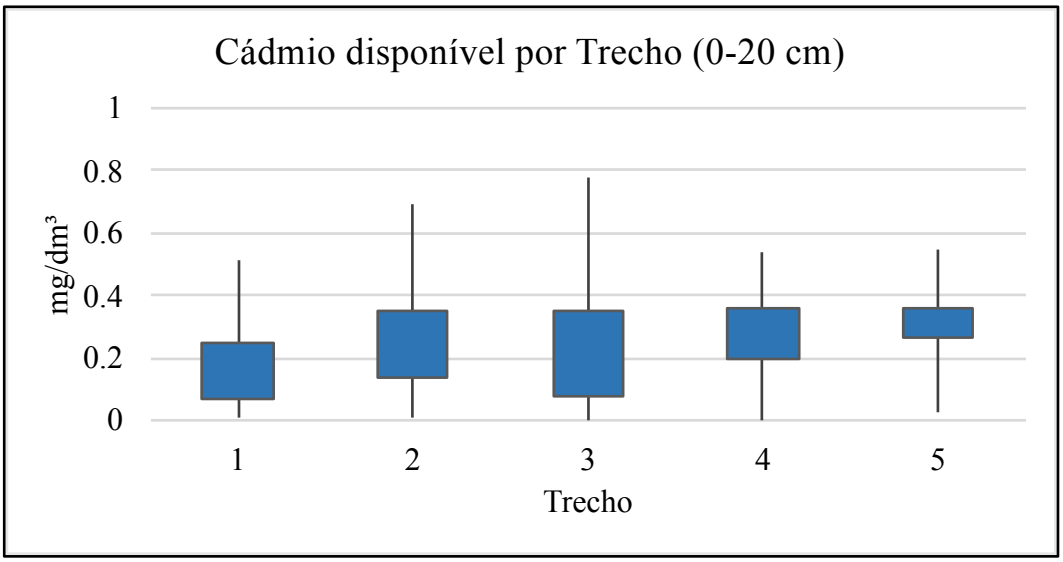
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 133 – Teor de Níquel disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho



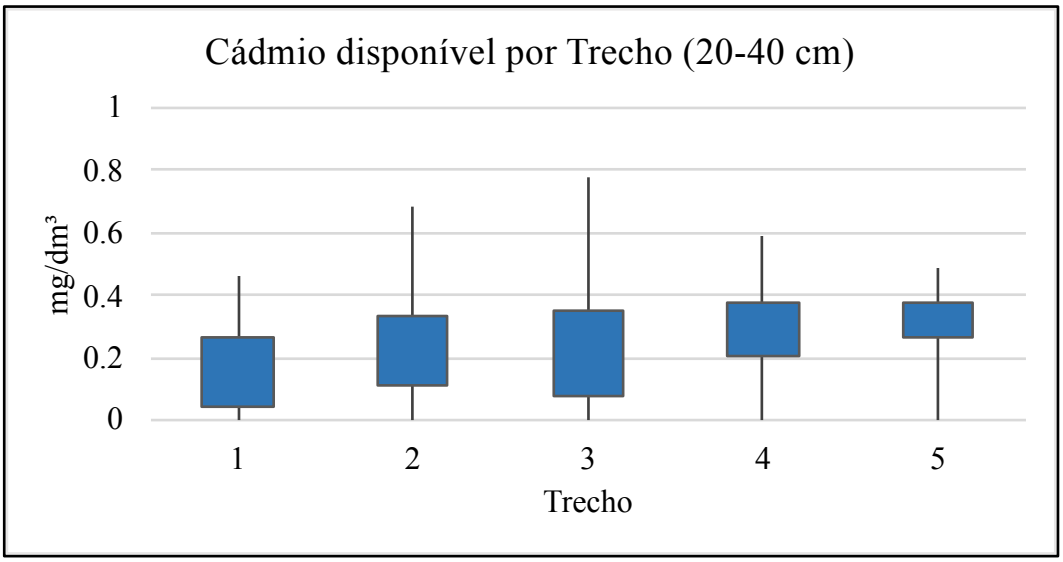
Fonte: elaboração própria

Gráfico 134 – Teor de Cádmio disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho



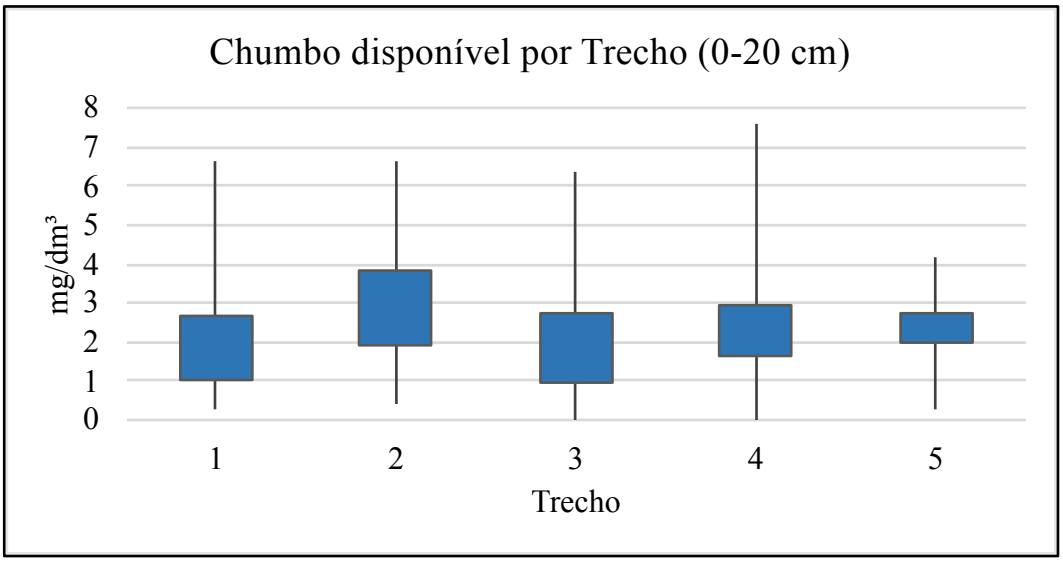
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 135 - Teor de Cádmio disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho



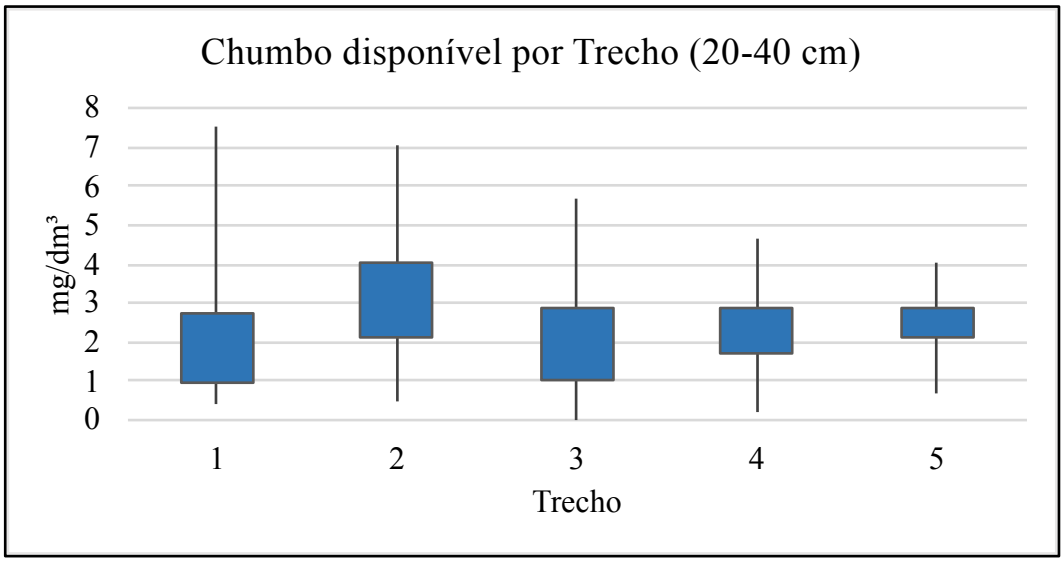
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 136 - Teor de Chumbo disponível na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 137 - Teor de Chumbo disponível na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.

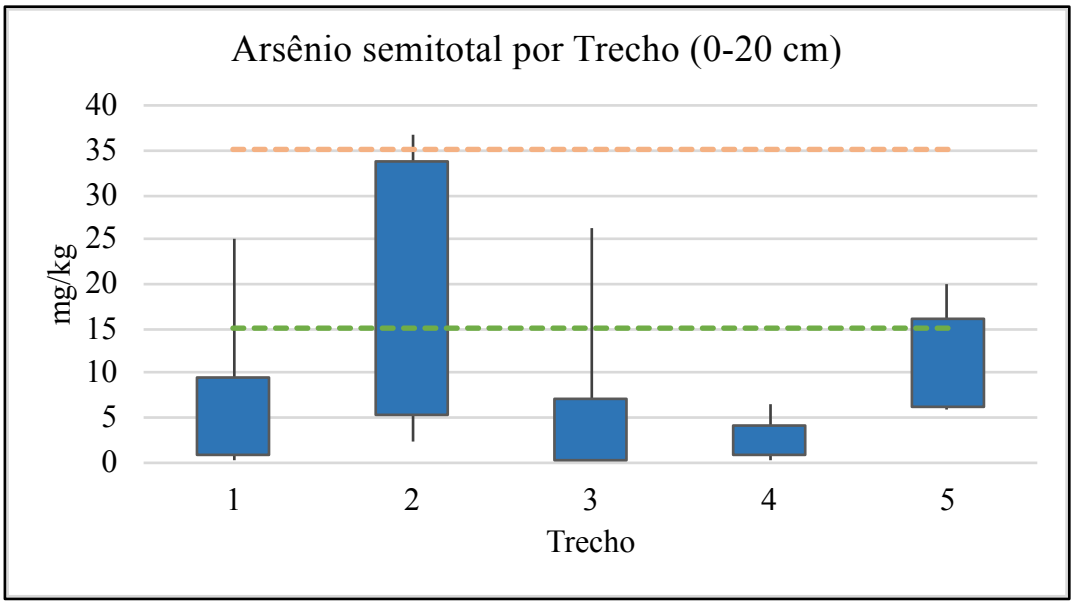
É importante ressaltar que a metodologia adotada para a extração de As do solo fornece, como resultado, o teor semitotal deste elemento presente no solo. Teor semitotal envolve não somente aqueles biodisponíveis (que a planta é capaz de absorver), como também teores que pertencem a matriz sólida ou que a ela estão fortemente adsorvidos. Dessa forma, nem todo o As encontrado nos solos analisados está disponível para as plantas. Por outro lado, com base nestes teores, é possível avaliar a contaminação do solo tomando como base a Resolução CONAMA 420 de 2009, a qual define valores orientadores de qualidade do solo. O valor de prevenção (VP) para arsênio é de 15 mg/kg enquanto o valor de investigação para áreas agrícolas ($VI_{Agrícola}$) é de 35 mg/kg.

Os solos analisados apresentaram teores de As acima do $VI_{Agrícola}$ no Trecho 2 (Gráficos 138 e 139), ocorrendo ainda, aumento dos teores com o aumento da profundidade. Nesta região os teores elevados podem estar associados principalmente à presença de intensa atividade industrial e ocorrência de lançamento de efluentes domésticos *in natura*, conforme mencionado anteriormente. Pacheco (2015) observou nos solos ao longo das margens do rio Doce e também nos sedimentos, grande concentração de arsênio, principalmente em maiores profundidades. É importante notar que o estudo supracitado as amostras foram coletadas nos anos de 2013 e 2014, ou seja, antes do rompimento da barragem de Fundão.

Nos outros Trechos, não foram encontrados teores preocupantes deste elemento no solo. É importante ressaltar que valores acima do $VI_{Agrícola}$ também foram encontrados em uma das áreas de referência, conforme localização dada pelo mapa (Figura 59). Novas investigações

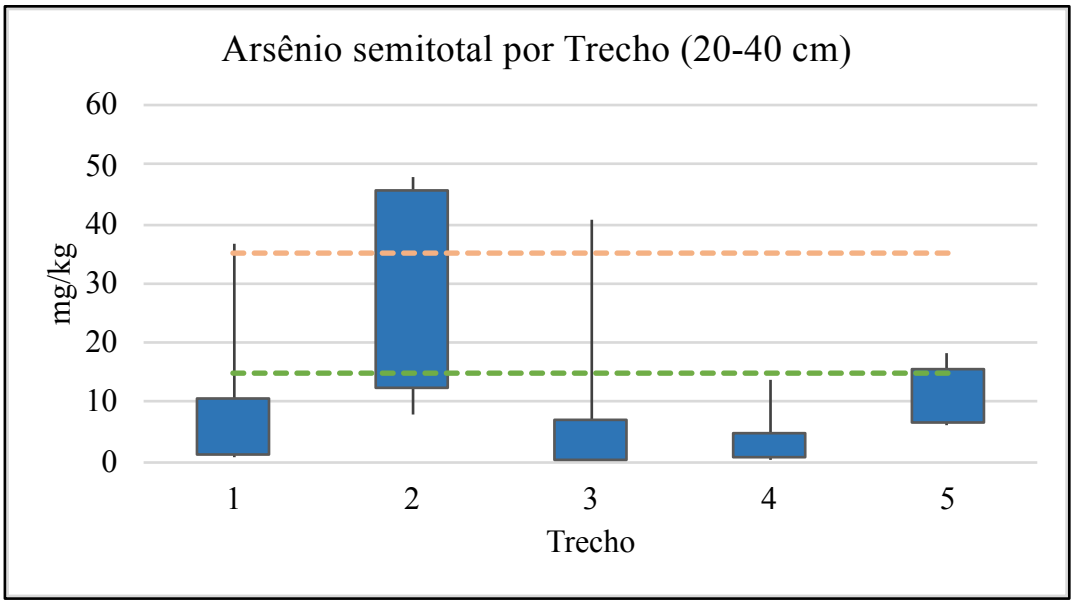
devem ser realizadas nessas áreas, de modo a compreender a origem deste elemento e propor medidas de mitigação dos impactos a ele associados.

Gráfico 138 - Teores semitotais de Arsênio na camada de 0 a 20 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: CONAMA 420/2009 – VP = 15 mg/kg; $VI_{Agrícola}$ = 35 mg/kg

Gráfico 139 - Teores semitotais de Arsênio na camada de 20 a 40 cm por trecho

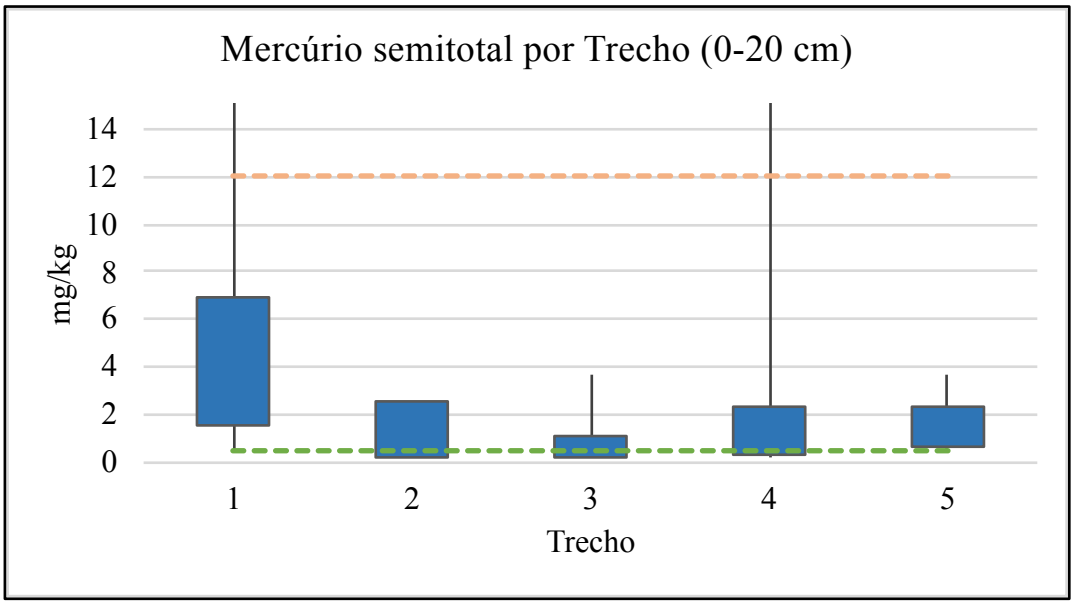


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: CONAMA 420/2009 – VP = 15 mg/kg; $VI_{Agrícola}$ = 35 mg/kg

Os teores de mercúrio (Hg) no solo se mantiveram, em sua maioria, abaixo do $VI_{Agrícola}$ para este elemento, que é de 12 mg/kg conforme a Resolução CONAMA 420 de 2009 (Gráficos 140 e 141). Entretanto, quatro propriedades apresentaram teores acima deste limite, sendo duas pertencentes ao Trecho 1 (13,90 e 47,35 mg/kg) e duas ao Trecho 4 (12,99 e 33,30 mg/kg) (Figura 60). Os teores de Hg acima de 15 mg/kg não foram representados no Gráfico 140 para facilitar a visualização da maior parte dos resultados.

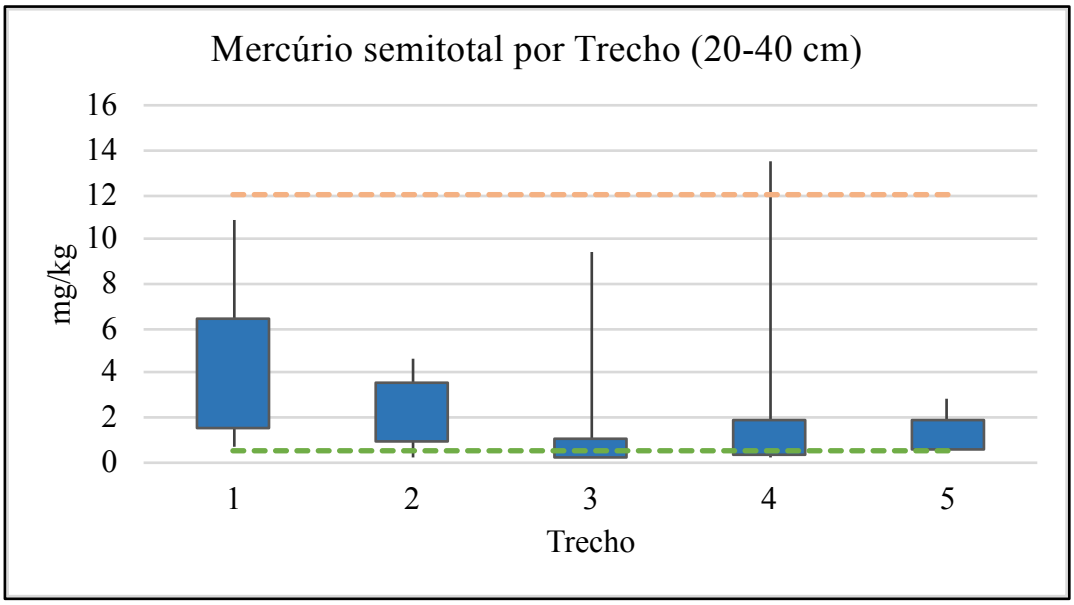
Embora não tenha sido detectado Hg em pontos coletados ao longo das margens rio Doce antes do rompimento da barragem (PACHECO, 2015), a presença de Hg no solo pode estar associada também à atividade antrópica bastante acentuada na região, sobretudo ao garimpo, cuja ocorrência foi constatada ao longo do percurso de nossa equipe de campo. Conforme mencionado anteriormente, esta substância é muito utilizada na separação do ouro de aluvião, e tal atividade vem ocorrendo desde séculos passados ao longo da calha do rio Doce. Além disso, a ocorrência do mercúrio também pode estar associada ao lançamento de efluentes tanto domésticos quanto industriais de maneira clandestina no rio, contribuindo para o aporte e carreamento de metais pesados.

Gráfico 140 - Teores semitotais de Mercúrio na camada de 0 a 20 cm por trecho

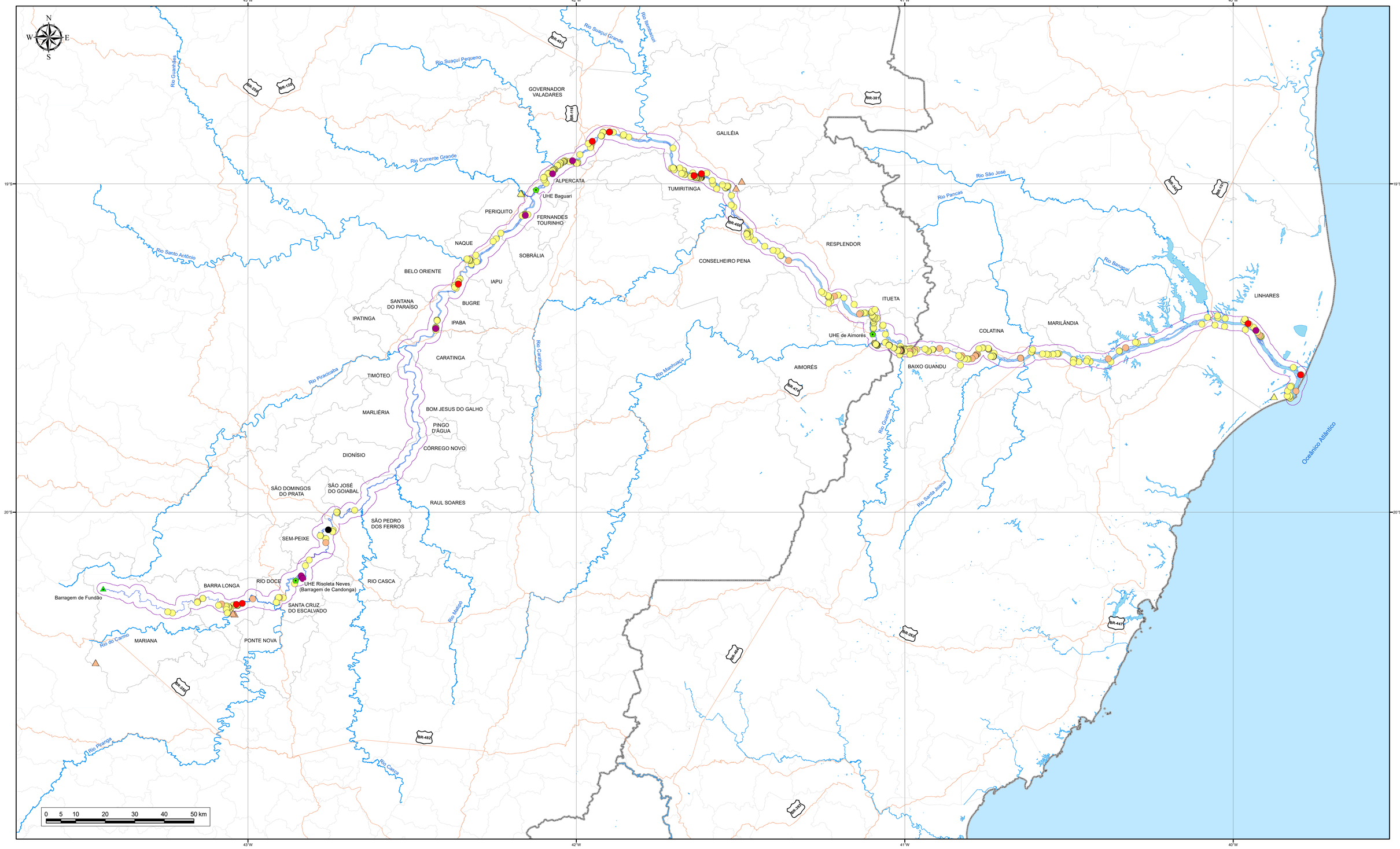


Fonte: Elaboração própria.
*Limites: CONAMA 420/2009 – VP = 0,5 mg/kg; $VI_{Agrícola}$ = 12 mg/kg
*Limite de detecção: 0,22 mg/kg de As.

Gráfico 141 - Teores semitotais de Mercúrio na camada de 20 a 40 cm por trecho



Fonte: Elaboração própria.
*Limites: CONAMA 420/2009 – VP = 0,5 mg/kg; $VI_{Agrícola}$ = 12 mg/kg
*Limite de detecção: 0,14 mg/kg de Hg.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Semiminor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

As (mg/kg)	As Grupo controle
< LD	< LD
LD - 8,0	LD - 8,0
8,01 - 15,0	8,1 - 15,0
15,1 - 35,0	15,1 - 35,0
> 35,0	> 35,0

LD = 0,22 mg/kg

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

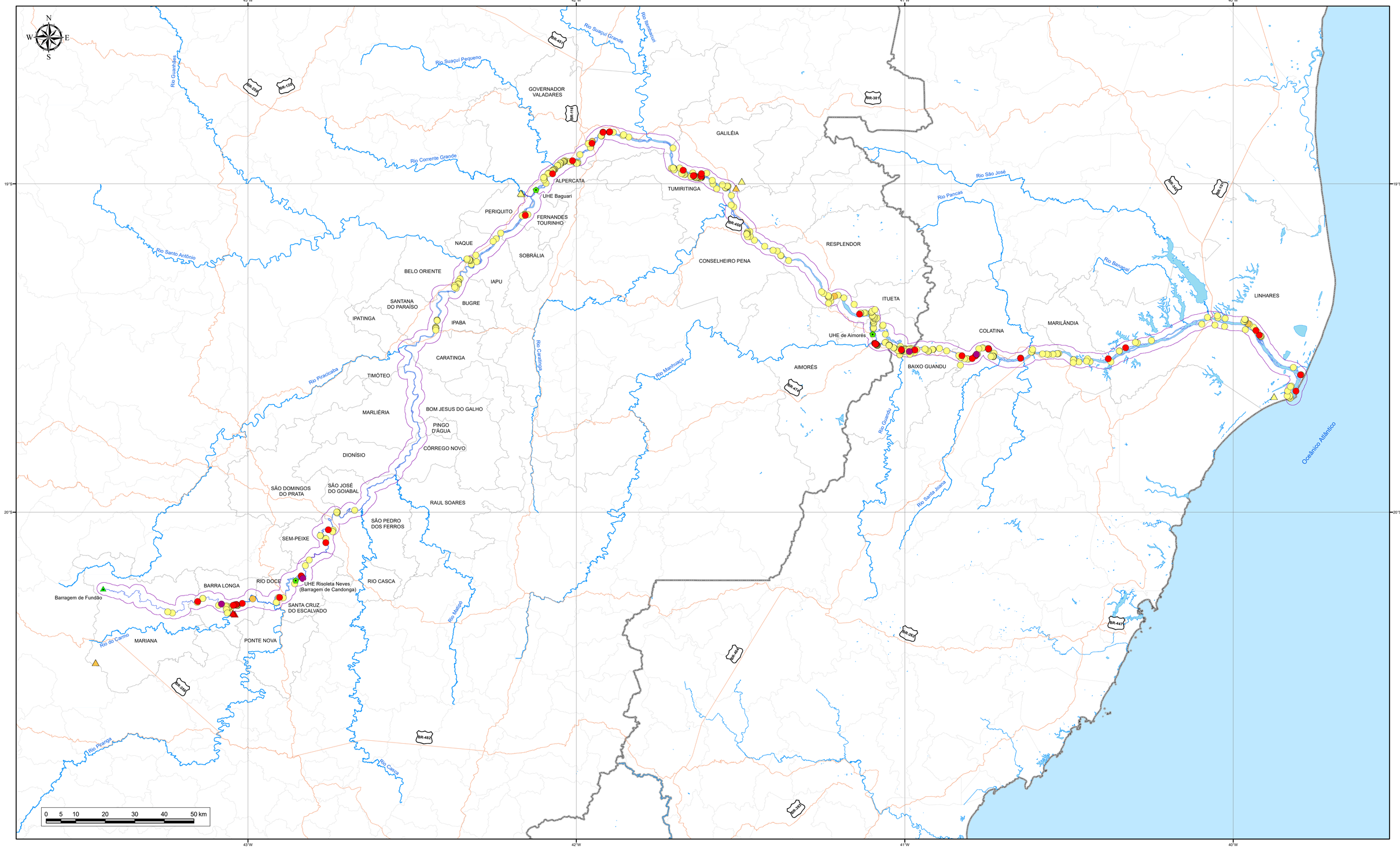
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 59 - ARSÊNIO EM SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO
PROFUNDIDADE 0 CM - 20 CM

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Hg (mg/kg)

- < LD
- LD - 0,50
- 0,51 - 12,0
- > 12,0

Hg Grupo controle

- < LD
- LD - 0,50
- 0,51 - 12,0
- > 12,0

LD = 0,14 mg/kg

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 60 - MERCÚRIO EM SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO
PROFUNDIDADE 0 CM - 20 CM

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

9.4.2 Teores de macro e micronutrientes e metais pesados nas culturas irrigadas

A produtividade das culturas está diretamente relacionada à disponibilidade de nutrientes na solução do solo. Uma vez disponíveis, esses nutrientes são absorvidos para compor as estruturas das plantas e fazer parte de processos bioquímicos essenciais ao crescimento, desenvolvimento e produtividade de cada cultura.

Cada tipo de planta possui faixas específicas de requerimento para nutrientes e limites de toxidez para metais pesados, porém, neste estudo, foram considerados valores para plantas em geral, desconsiderando as especificidades de cada tipo de cultura e o período de coleta. Foram levados em consideração valores sugeridos na literatura (PREZOTTI & GUARÇONI, 2013; KABATA-PENDIAS, 2010; PRASAD; HAGEMEYER, 1999; NOVAIS et al., 2007; RIBEIRO et al., 1999) para diferentes tipos de cultura e solos, tanto para nutrientes quanto para metais pesados.

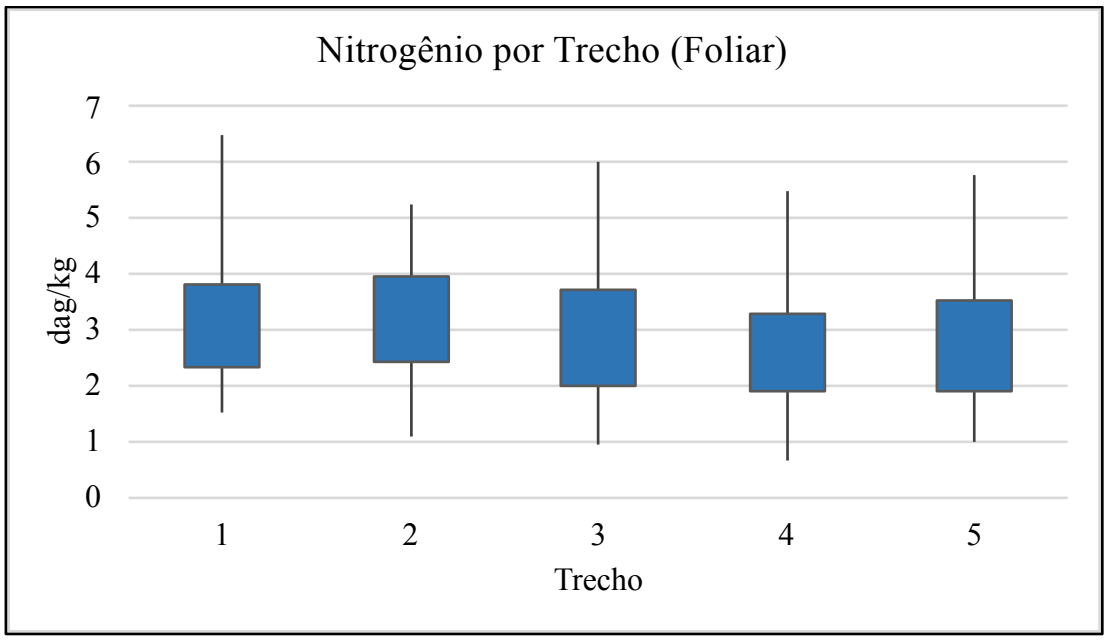
Por se tratar de uma área de 3.000 km^2, a variabilidade do terreno, relevo e clima pode ser um grande complicador na definição desses parâmetros, uma vez que foram amostradas culturas em diferentes tipos de relevo, solo e formação geológica. As áreas amostradas referem-se a propriedades direta ou indiretamente afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão. Em propriedades do Trecho 1, compreendidas entre Mariana e a UHE Risoleta Neves, foi possível observar a deposição de sedimentos grosseiros nas planícies de inundação ao longo das margens dos rios afetados. A partir do Trecho 2, observa-se ainda deposição de sedimentos, entretanto, esse material possui textura fina, sendo classificado em sua maioria como argila, conforme dados apresentados por Golder Associates (2017) e observações em campo.

Foram realizadas coletas de material vegetal em 513 propriedades que realizam a irrigação das culturas, com água superficial do Rio Doce, água subterrânea ou de abastecimento público. Em cada propriedade, foram coletadas amostras de folhas e, eventualmente, frutos da cultura irrigada de maior importância na propriedade. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de análises para determinação dos parâmetros discutidos a seguir. No Quadro 16, foram listadas as principais características das folhas de culturas com sintomas de deficiência ou toxidez observados por trecho.

Os teores de Nitrogênio nas plantas variam entre 0,2 e 7,5 dag/kg de matéria seca, sendo os valores de 2 e 5 dag/kg, considerados adequados para o desenvolvimento da cultura (NOVAIS et al., 2007). Para todos os trechos amostrados, os teores de N nas plantas encontram-

se dentro do normal, possivelmente em função da adubação contínua das culturas irrigadas. Tal comportamento foi observado também pela ausência de sintomas visuais de deficiência desse elemento nas culturas avaliadas (Gráfico 142).

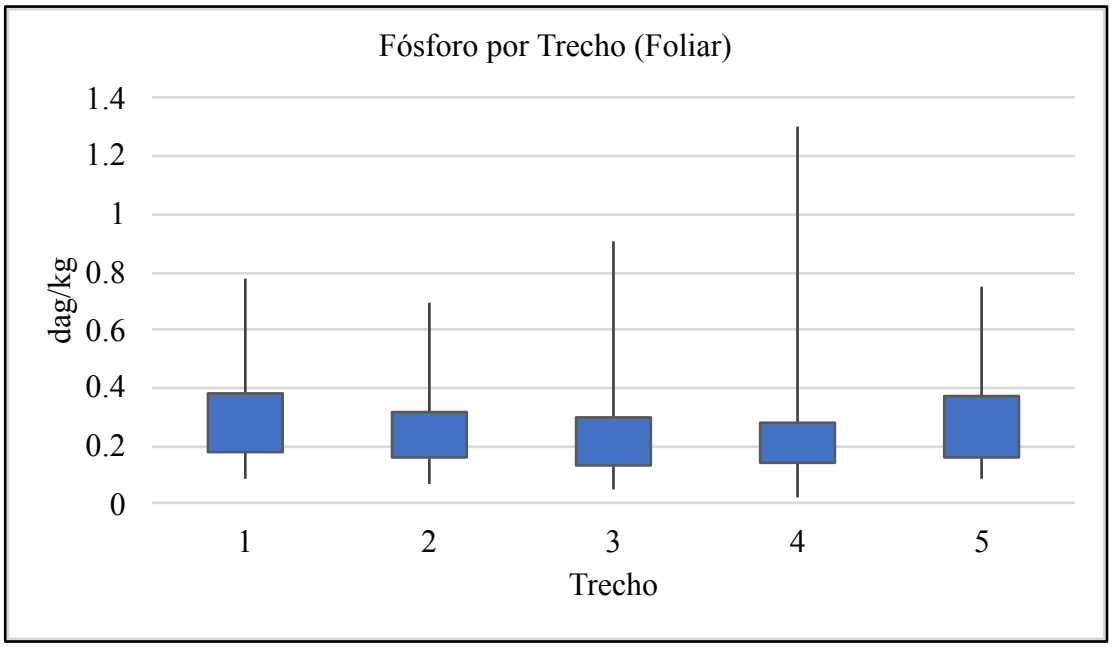
Gráfico 142 –Teores de Nitrogênio nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria.

Os teores de Fósforo nas plantas variam de 0,05 a 0,3 dag/kg, sendo que os teores entre 0,1 e 0,15 dag/kg são considerados normais para o desenvolvimento das espécies vegetais (NOVAIS et al., 2007). As plantas amostradas apresentaram teores foliares de P, em média, acima dos valores normais encontrados para a maioria das culturas. Entretanto, sendo o P um nutriente requerido em grandes quantidades pelas plantas, os valores encontrados não acarretam sintomas de toxidez às plantas, sendo, portanto, benéficos para o desenvolvimento das culturas. Teores elevados de P nas plantas são, em grande parte, decorrentes da adubação da cultura e, principalmente, do tipo de solo em que ocorre o cultivo, visto que a disponibilidade desse elemento depende do teor de argila e das cargas elétricas presentes no solo (Gráfico 143).

Gráfico 143 – Teores de Fósforo nas folhas das culturas por trecho

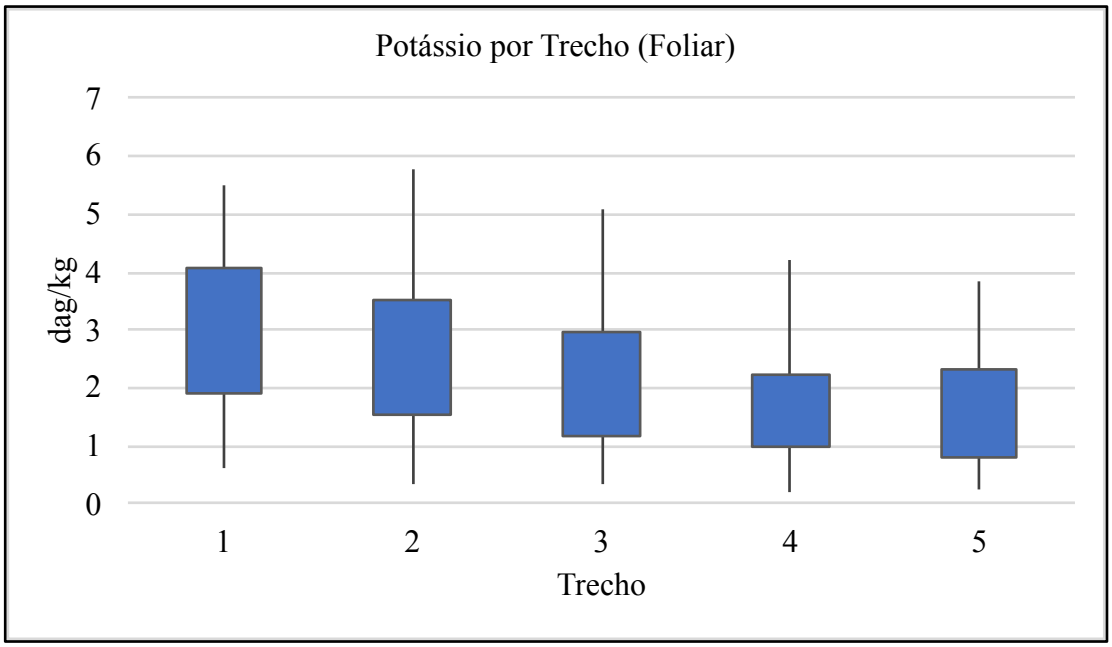


Fonte: Elaboração própria.

Os teores de Potássio adequados para o crescimento das plantas variam entre 1,0 e 3,0 dag/kg, enquanto a deficiência geralmente ocorre quando esses teores se encontram abaixo de 0,8 dag/kg, gerando sintomas visuais de clorose internerval nas folhas das culturas (NOVAIS et al., 2007). Os principais sintomas de clorose observados ao longo da Área de Estudo foram identificados em culturas de milho e feijão. É importante ressaltar que, neste estudo, as coletas foram realizadas em um único período, nos meses de maio, junho e julho. Em virtude disso, as plantas foram amostradas em diferentes estágios de desenvolvimento, o que reflete na distribuição variável dos nutrientes ao longo das estruturas. A maior parte das culturas que apresentaram sintomas de deficiência de K estavam no início do estágio de preenchimento dos grãos, sendo grande parte dos nutrientes direcionados aos frutos. Nestes casos, frutos também foram coletados e incorporados ao material submetido à análise.

Além disso, o Potássio é um elemento muito móvel no solo em função de sua pequena interação com as partículas de argila, dessa forma, muito pode ser perdido por lixiviação ao longo do perfil do solo, diminuindo os teores disponíveis desse elemento para a planta. Conforme se observa no Gráfico 144, os teores foliares de K diminuíram gradualmente ao longo dos trechos, no Trecho 1 foram observados maiores teores médios nas culturas, enquanto nos Trechos 4 e 5 esses teores foram os menores observados. A distribuição do K nas culturas não seguiu a mesma tendência do K disponível no solo, exceto para o Trecho 5.

Gráfico 144 – Teores de Potássio nas folhas das culturas por trecho

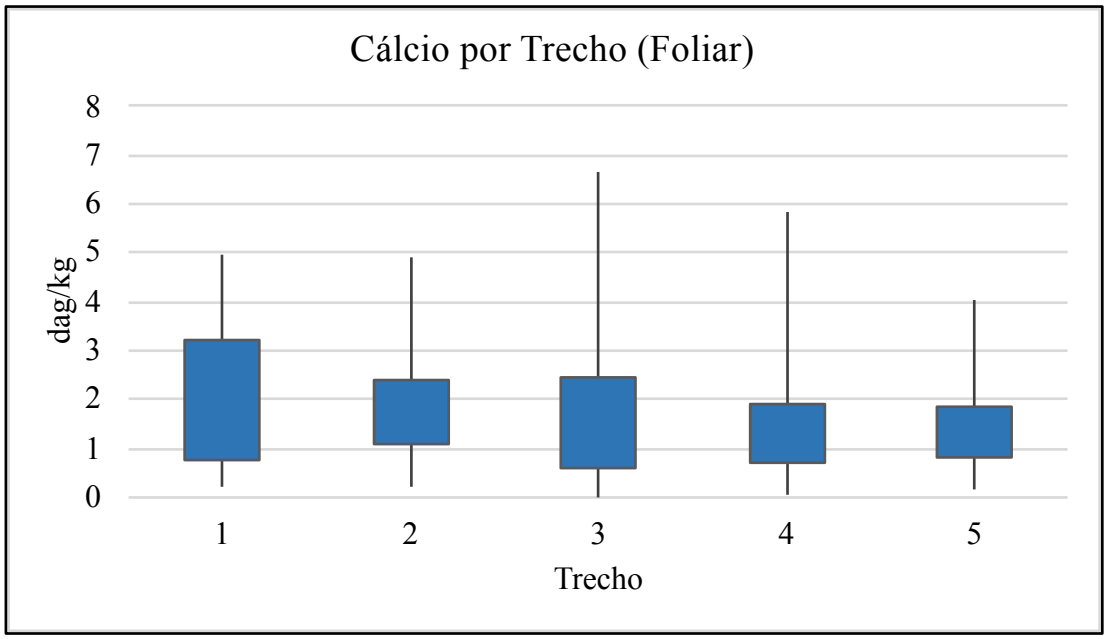


Fonte: Elaboração própria.

O Cálcio é de fundamental importância para o crescimento das raízes das plantas, além de estimular a atividade microbiana e auxiliar na absorção de outros nutrientes. Geralmente é obtido a partir da correção do pH do solo com calcário ou até mesmo com o uso do gesso agrícola. Os teores adequados de Ca para o crescimento das plantas variam entre 1,0 e 5,0 dag/kg de matéria seca. Teores foliares menores do que 0,4 dag/kg podem acarretar deficiência nas plantas e comprometer o desenvolvimento da cultura e, principalmente, o crescimento das raízes (NOVAIS et al., 2007).

Para a maioria das culturas avaliadas, observaram-se teores foliares normais de Ca (Gráfico 145). Entretanto, em algumas propriedades, as culturas apresentaram concentração muito baixa ou muito alta deste elemento, o que pode ter acarretado sintomas de deficiência ou toxidez, respectivamente. Não foram avaliadas diretamente as raízes das culturas coletadas, sendo apenas o crescimento das culturas em função do estágio de desenvolvimento e a produtividade, parâmetros para a identificação da ocorrência ou não de deficiência deste e de outros macronutrientes, como P e N.

Gráfico 145 – Teores de Cálcio nas folhas das culturas por trecho

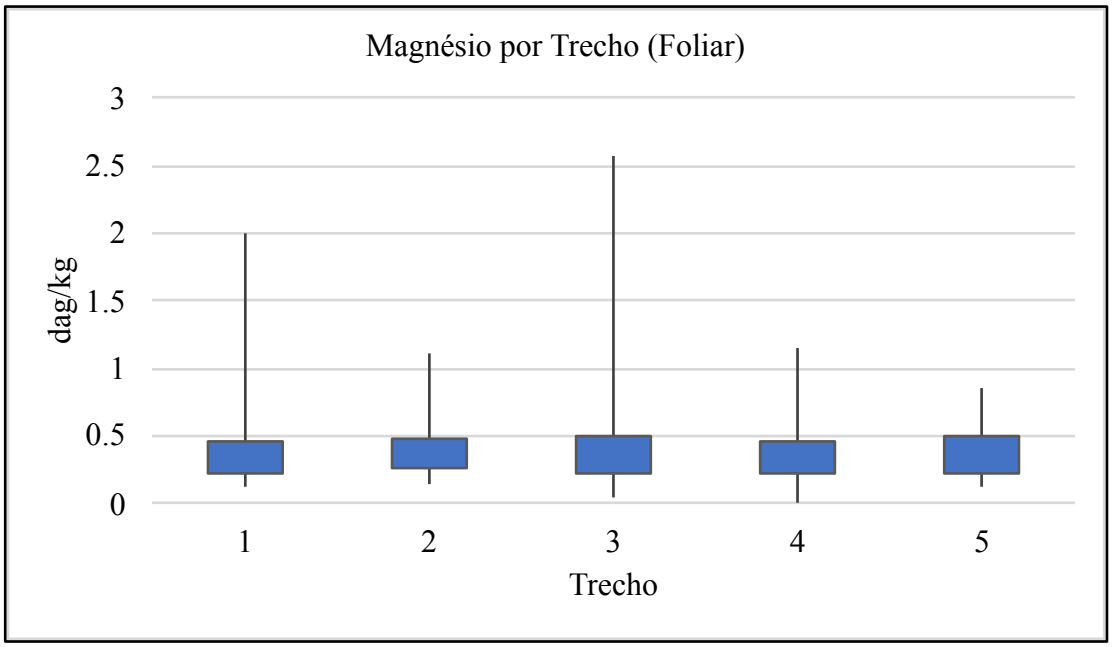


Fonte: Elaboração própria.

A absorção de Magnésio pelas plantas pode ser influenciada pela disponibilidade de outros elementos no solo, como K^{+}, Ca^{2+}, NH_4^{+}, e Mn^{2+}. Os teores de Mg considerados adequados ao desenvolvimento das culturas variam de 0,3 a 0,5 dag/kg, ou seja, teores menores que 0,3 dag/kg podem representar deficiência desse nutriente na planta. Por outro lado, podem ser encontrados teores de até 1 dag/kg de matéria seca em diversas culturas (NOVAIS et al., 2007).

Os dados apresentados no Gráfico 146 indicam teores médios de Mg dentro da faixa adequada às culturas, embora ocorram alguns pontos com teores baixos desse nutriente. Em algumas propriedades, os teores de Mg encontrados no material vegetal foram muito acima do normal, sendo isto atribuído, provavelmente, ao manejo da cultura e excesso de aplicação de calcário dolomítico para correção da acidez do solo. O maior pH do solo no Trecho 3, observado pelo pico no Gráfico 94, pode ter relação com o maior teor de Ca e Mg encontrado nas plantas desse trecho.

Gráfico 146 – Teores de Magnésio nas folhasdas culturas por trecho

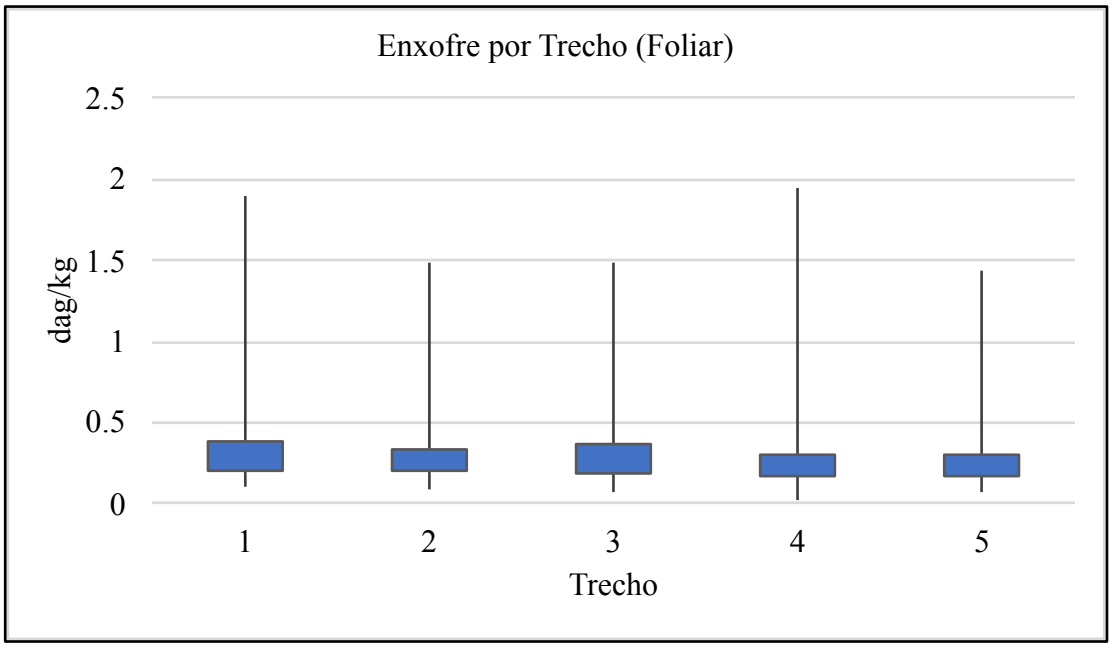


Fonte: Elaboração própria.

O Enxofre nas plantas é parte importante de compostos orgânicos, como aminoácidos, proteínas e clorofila, entre outros. Teores na faixa de 0,1 a 0,3 dag/kg desse macronutriente são considerados adequados para o crescimento normal das culturas, sendo que teores abaixo de 0,1 dag/kg podem estar associados a sintomas de deficiência na planta (NOVAIS et al., 2007).

Em todos os trechos foram encontradas culturas com teores foliares de S superiores à faixa normal, embora a maioria dos valores esteja situada dentro dessa faixa. Os teores elevados de S encontrados em algumas culturas corroboram os valores mais altos S disponíveis nos solos estudados, sobretudo no Trecho 1 e em algumas propriedades do trecho 3 (Gráfico 147).

Gráfico 147 – Teores de Enxofre nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria.

Os teores de Ferro nas plantas podem variar de 10 a 1500 mg/kg, dependendo da estrutura da planta que for analisada. De maneira geral, os teores de Fe adequados para o crescimento das culturas variam entre 50 e 100 mg/kg (NOVAIS et a., 2007), podendo chegar a 500 mg/kg (RIBEIRO et al., 1999), porém os dados obtidos levam a inferir que boa parte das culturas na área em estudo absorve grande quantidade de Ferro, algumas delas acima de 12600 mg/kg de matéria seca. No gráfico apresentado (Gráfico 148), valores maiores do que 3500 mg/kg não foram representados devido à grande discrepância em relação aos resultados obtidos (três dos 254 pontos coletados no Trecho 3 e três dos 109 pontos coletados no Trecho 4), porém estes pontos estão devidamente representados no mapa (Figura 62 - Mapa Teores Foliares de Ferro na Área de Estudo).

No Trecho 1, as plantas apresentaram em média maior teor foliar de Fe (Figura 62), principalmente em função da riqueza de Fe dos solos cultivados e, em alguns pontos, pela deposição de sedimentos ricos em Fe como consequência, provavelmente, do rompimento da Barragem do Fundão. O Ferro presente neste material pode ser solubilizado ao longo do tempo em função da dinâmica de oxirredução desse elemento, devido aos ciclos de inundação e secagem dos solos (NOVAIS et al., 2007; QUEIROZ et al., 2018). Para toda a Área de Estudo, os teores disponíveis de Fe no solo foram considerados altos, o que reflete diretamente nos teores elevados de Fe encontrados nas plantas (Gráfico 148).

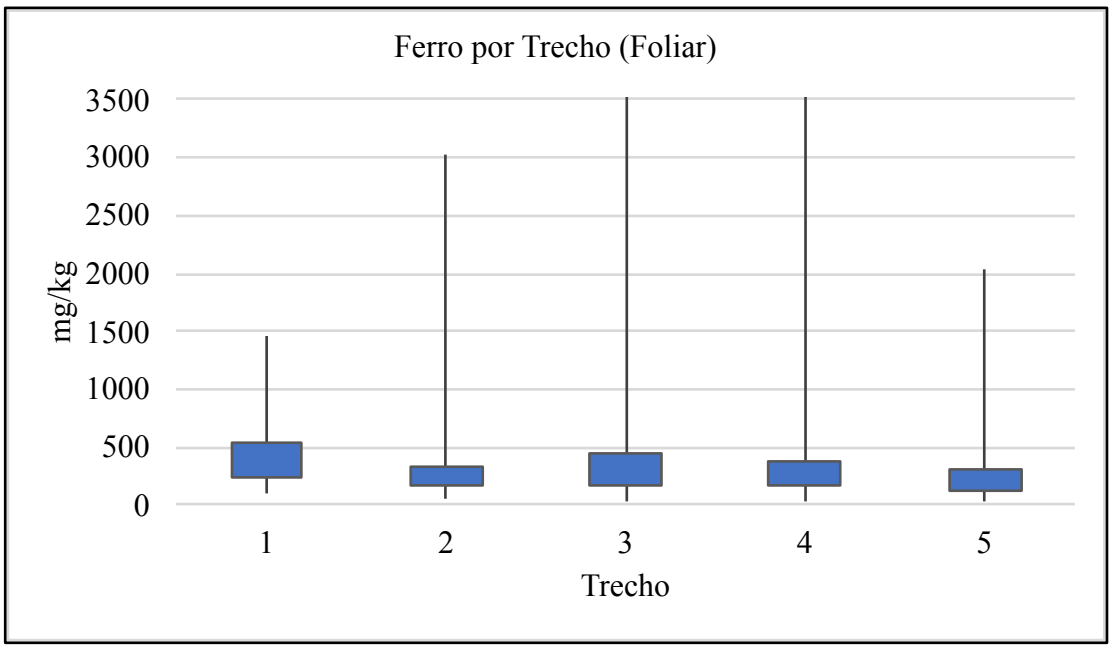
Os sintomas de toxidez por Ferro podem ser retardo no crescimento, manchas foliares de cor amarelo/amarronzada, podendo evoluir para lesões necróticas, diminuição da área (JUCOSKI et al., 2016), conforme observado em uma das propriedades estudadas (Figura 61).

Figura 61 – Sintomas de toxidez por Ferro em cultura de milho



Fonte: Elaboração própria.

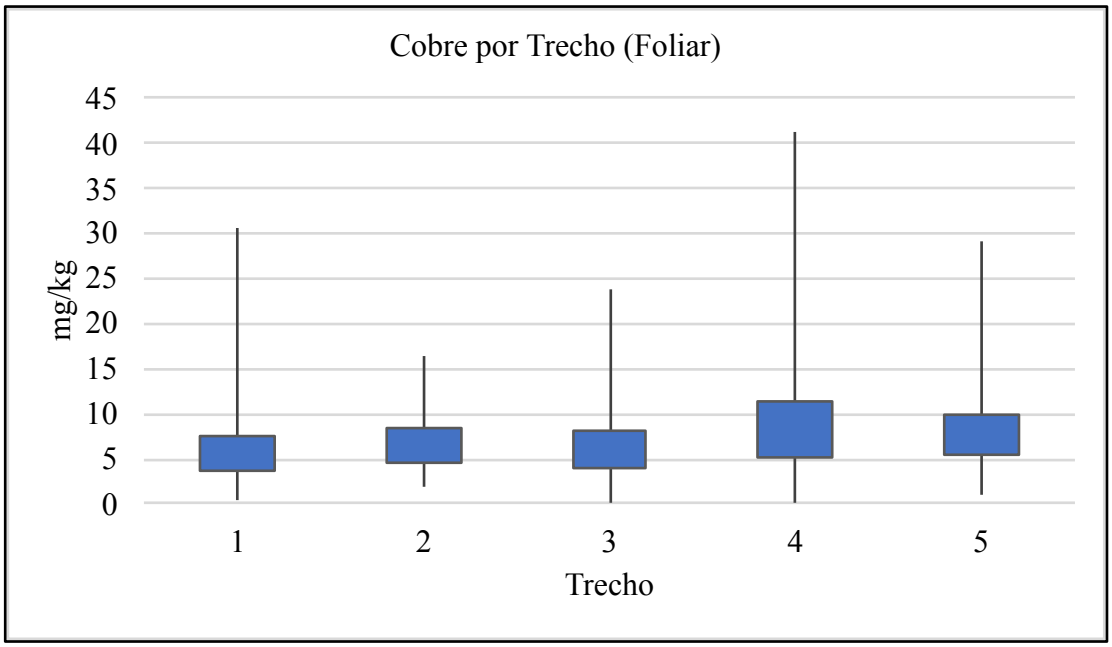
Gráfico 148 - Teores de Ferro nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria.

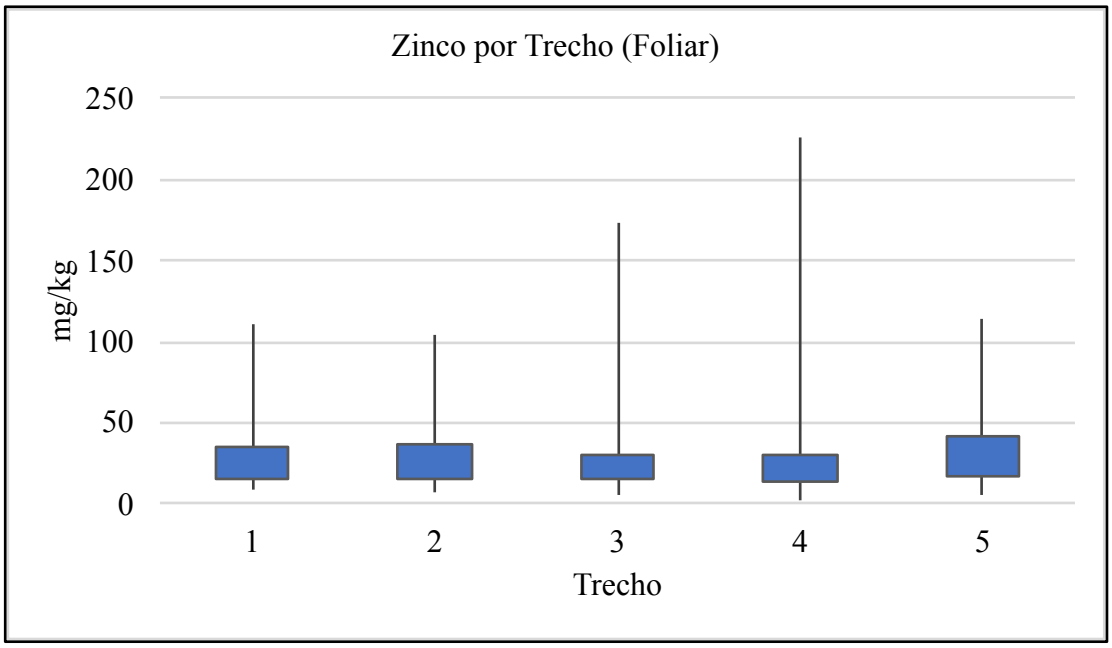
Os teores de Cobre nas plantas podem variar de 2 a 75 mg/kg, sendo este micronutriente requerido pelas plantas em concentrações de 5 a 20 mg/kg para um crescimento adequado (NOVAIS et al., 2017). De acordo com o Gráfico 149, os teores médios de Cu nas plantas estão entre aqueles considerados normais, não sendo observados sintomas de toxidez por esse elemento para as culturas avaliadas. Culturas de algumas propriedades apresentaram valores elevados de Cu, conforme observado no mapa Teores Foliares de Cobre na Área de Estudo (Figura 63), porém esses valores ainda se encontram dentro da média esperada para as culturas estudadas. Os sintomas de deficiência de Cu podem ser observados em plantas que apresentem menos de 4 mg/kg de matéria seca, sendo valores menores que os encontrados em propriedades de todos os trechos, conforme pode ser observado no mapa Teores Foliares de Cobre na Área de Estudo (Figura 63).

Gráfico 149 – Teores de Cobre nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 150 - Teores de Zinco por Trecho

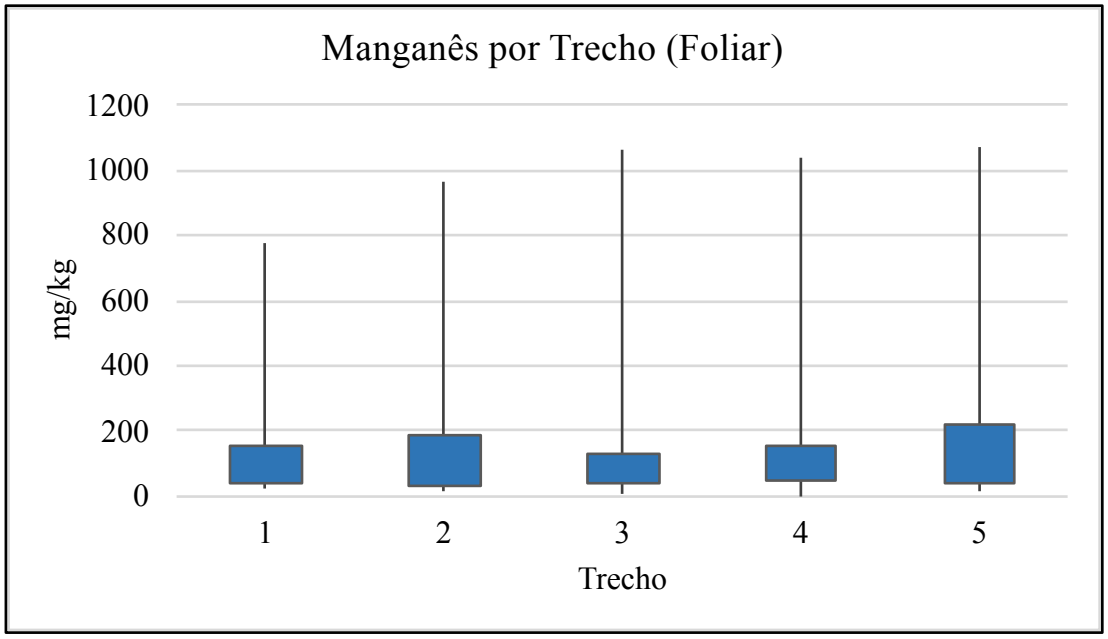


Fonte: Elaboração própria.

O Zinco é um micronutriente essencial à atividade, regulação e estabilização de estruturas proteicas. Esse elemento é encontrado nas plantas em concentrações que podem variar de 3 a 150 mg/kg, sendo valores abaixo de 25 mg/kg considerados limítrofes para a deficiência desse elemento na maioria das culturas. A falta de zinco nas plantas pode acarretar diminuição da atividade enzimática, do desenvolvimento de cloroplastos e no conteúdo de proteínas e ácidos nucleicos.

Os dados obtidos demonstram que as culturas apresentaram teores médios normais de Zinco nas folhas, embora, em alguns casos específicos, a concentração desse elemento tenha sido menor do que o limite de 25 mg/kg e, em outros casos, sobretudo no Trecho 3 (Figura 64 - Mapa Teores Foliares de Zinco na Área de Estudo), tenham chegado a 226 mg/kg (Gráfico 150), o que representa quase o dobro do limite superior adequado para esse elemento. Teores altos de Zn na planta eram esperados neste estudo em função do maior teor biodisponível nos solos analisados, uma vez que a média de concentração em todos os trechos ultrapassou o limite normalmente encontrado em solos brasileiros (2,2 mg/dm^3). Entretanto, não foram observados sintomas de toxidez severa nas culturas pela presença em excesso desse micronutriente.

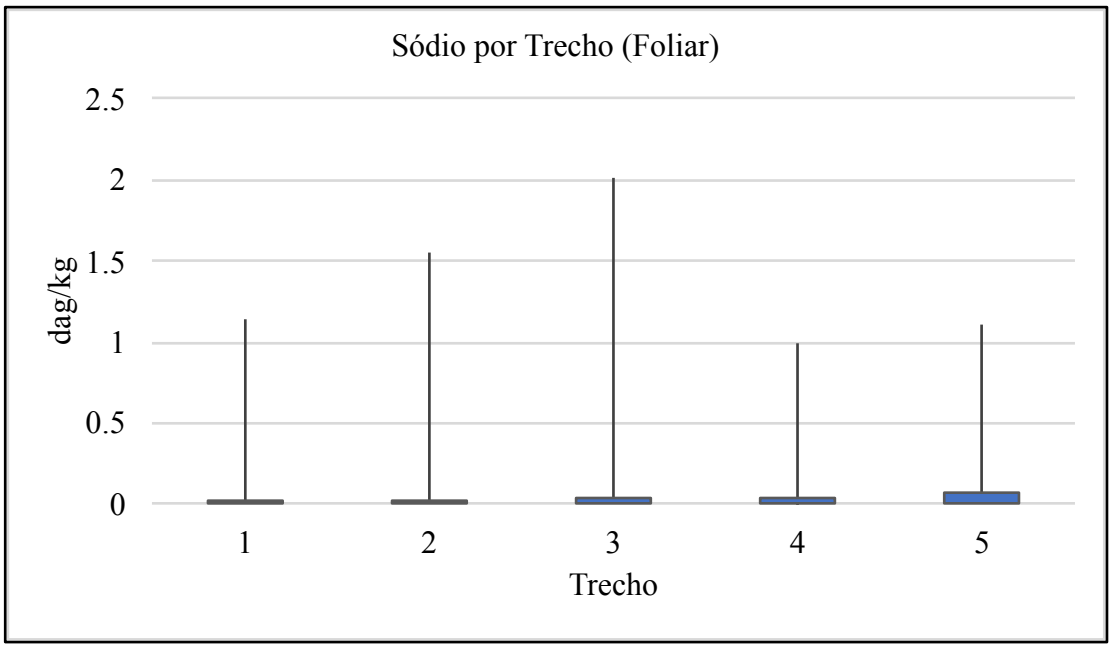
Gráfico 151 – Teores de Manganês nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria.

Embora o solo e a água da região estudada (Figura 65 - Mapa Teores Foliares de Manganês na Área de Estudo) apresentem teores elevados de Manganês prontamente disponível, o material vegetal analisado apresentou valores médios dentro da faixa de Mn encontrada em plantas, que pode variar de 5 a 1500 mg/kg (Gráfico 151). Normalmente, plantas se desenvolvem bem com teores de Mn que vão de 20 a 500 mg/kg, faixa que compreende os valores médios encontrados em todos os trechos. Entretanto, algumas amostras apresentaram valores altos de Mn em folhas, sendo esse resultado atribuído aos altos teores encontrados na água (IGAM, 2018) e nos solos.

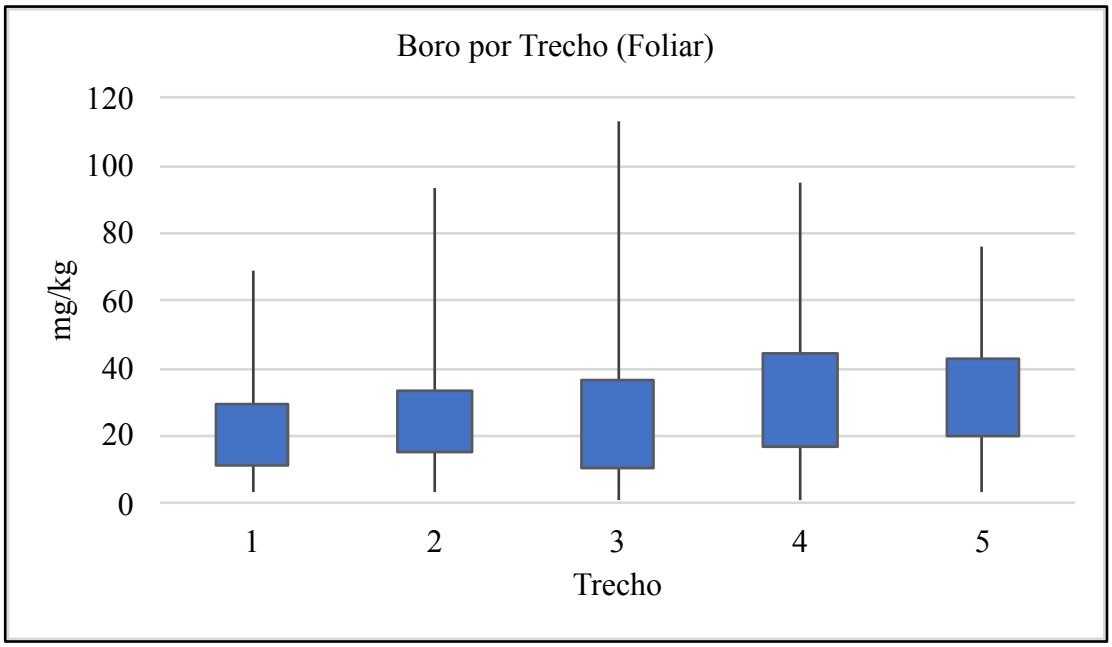
Gráfico 152 – Teores de Sódio nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria.

O Sódio, embora não seja considerado nutriente, é um elemento essencial às plantas. Ele estimula o crescimento pelo alongamento celular e pode substituir o K como um soluto na dinâmica da osmose na célula vegetal (NOVAIS et al., 2007). Sendo assim, a presença desse elemento, em pequenas concentrações, é benéfica para o desenvolvimento das plantas. Os teores de Na na planta variam muito em função da cultura e, principalmente, das salinidade do ambiente. O potencial produtivo das culturas em áreas ricas em sais será influenciado diretamente em função da condutividade elétrica média na zona radicular e da água de irrigação. O maior teor médio de Na nas folhas foi encontrado no trecho 5 (Gráfico 152), devido principalmente à sua proximidade com o ambiente marinho, à ocorrência de águas salinas e/ou salobras na região e, consequentemente, à presença de culturas mais adaptadas a essa condição.

Gráfico 153 - Teores de Boro nas folhas das culturas por trecho

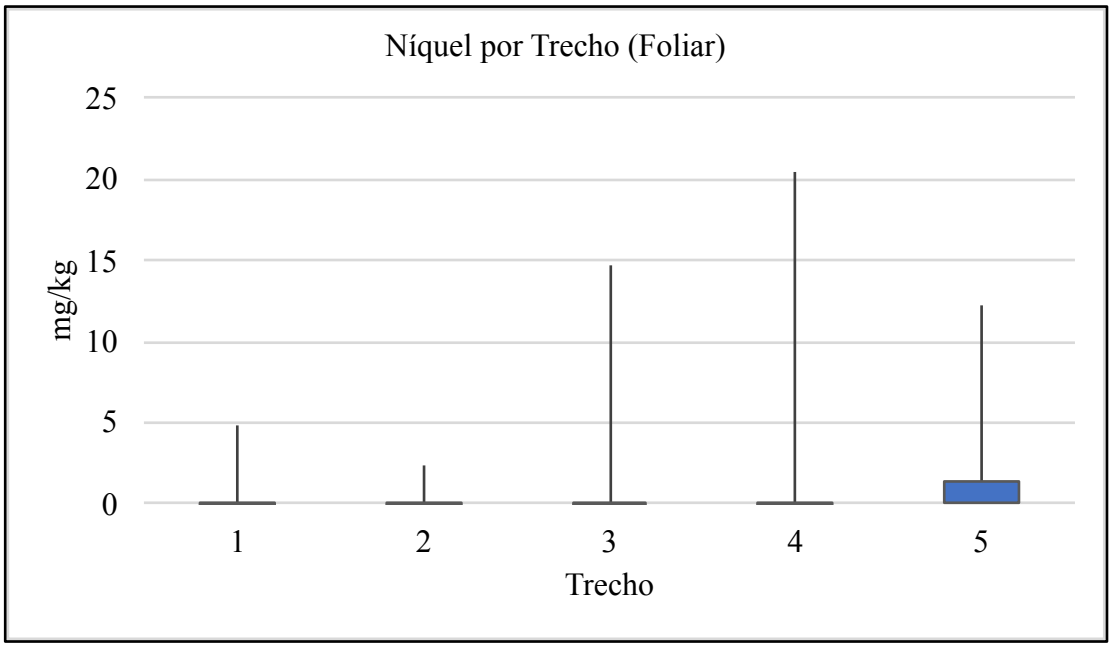


Fonte: Elaboração própria.

O Boro é um elemento de baixa mobilidade na planta, acumulando-se geralmente nas margens e pontas de folhas velhas. É um elemento de grande importância para a translocação de açúcares e metabolismo de carboidratos, essencial, portanto, para células jovens. As células maduras, por sua vez, não são afetadas pela deficiência desse elemento (NOVAIS et al., 2007).

Os teores de B na planta variam entre 10 e 50 mg/kg, e os valores adequados ao crescimento estão entre 30 e 50 mg/kg. Os dados obtidos neste relatório indicam que os teores médios de Boro estão dentro da faixa adequada (Gráfico 153), porém, em algumas amostras (Figura 66 - Mapa Teores Foliares de Boro na Área de Estudo), os valores estiveram acima ou abaixo daqueles considerados adequados, resultando em toxidez ou deficiência desse elemento, respectivamente. Em períodos de seca, a absorção de B pelas plantas pode ser limitada em função da baixa disponibilidade de matéria orgânica, estrutura à qual esse elemento se liga quando presente no solo.

Gráfico 154 - Teores de Níquel nas folhas das culturas por trecho

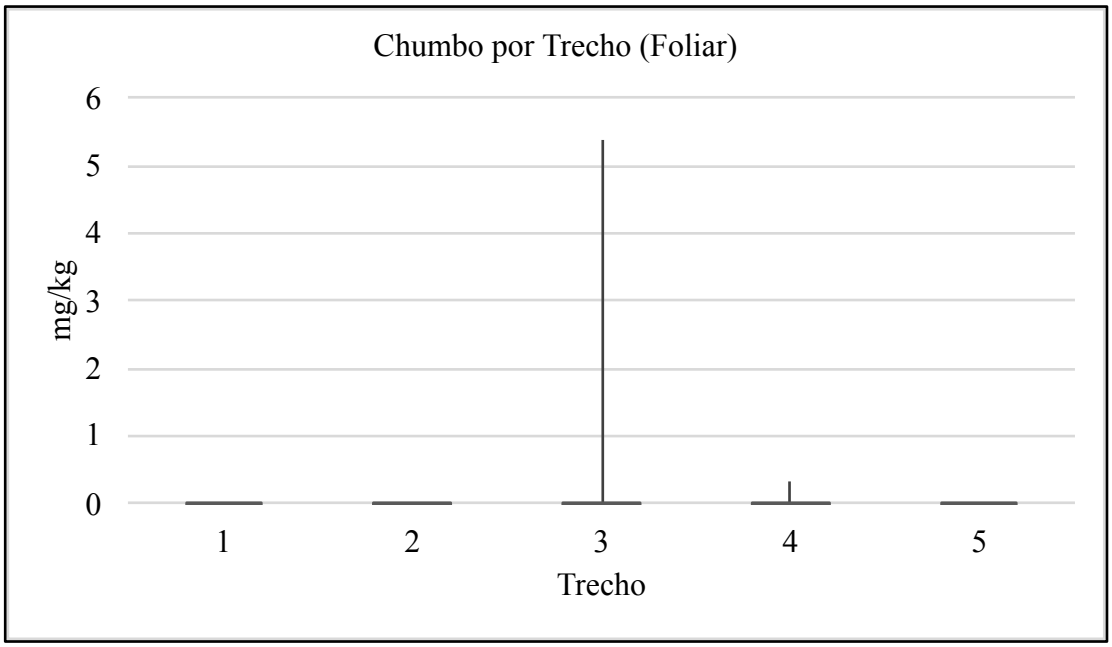


Fonte: Elaboração própria.

Embora tenham sido encontrados teores disponíveis de Níquel nos solos de todos os trechos amostrados, apenas as amostras do Trecho 5 apresentaram valores médios expressivos no tecido vegetal (Gráfico 154). Nos outros trechos, apenas em propriedades específicas foram encontrados teores de níquel maiores do que zero. Teores de Ni na planta próximos a 1,5 mg/kg são considerados adequados ao desenvolvimento das culturas; por outro lado, teores de Ni acima de 3,0 mg/kg podem causar problemas relacionados à toxidez por esse elemento, o qual também é considerado um metal pesado. Os pontos de coleta onde foi observada a presença do Ni em folhas são identificados no mapa Teores Foliares de Níquel na Área de Estudo (Figura 67).

Segundo Costa & Costa (2015), o Ni precipita na forma de óxidos quando o pH do solo está entre 6,7 e 8,2. De acordo com os dados obtidos, o valor de pH da maioria dos solos esteve entre 5,0 e 6,5, o que pode corroborar a presença deste elemento disponível em todos os trechos. Como no trecho 5 houve queda do pH em relação aos outros trechos, foi possível observar a presença deste metal prontamente disponível e consequentemente sua absorção pelas plantas.

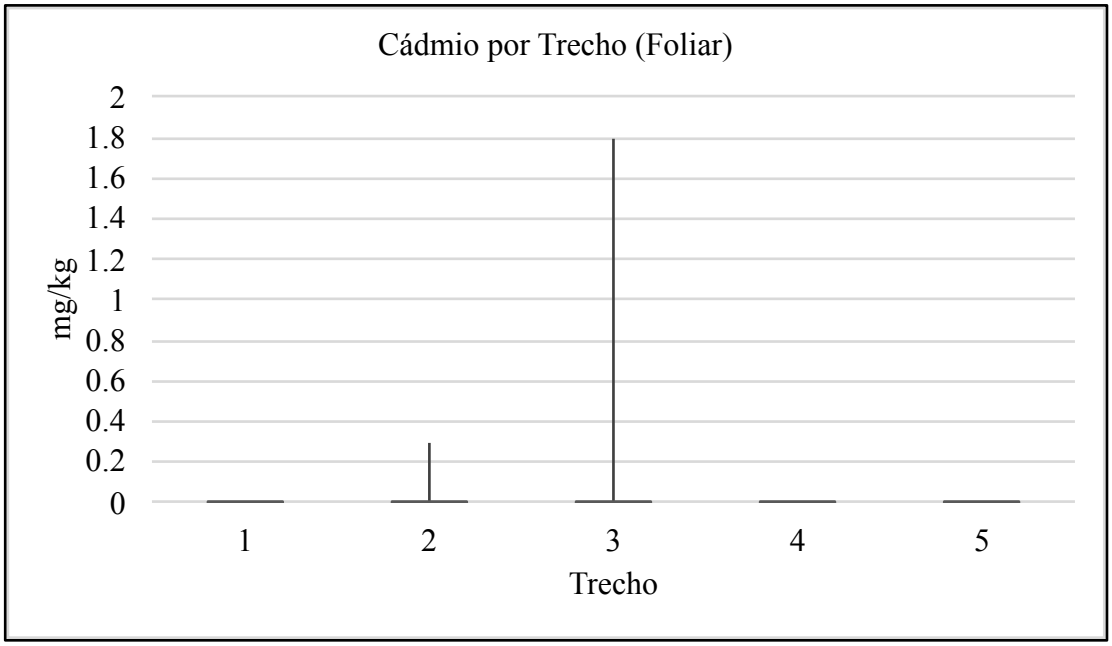
Gráfico 155 - Teores de Chumbo presente nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria.

Apesar da presença de Chumbo disponível no solo em todos os trechos estudados, somente nos trechos 3 e 4 foram encontrados teores desse elemento no tecido vegetal (Gráfico 155), em propriedades específicas representadas no mapa Teores Foliares de Chumbo na Área de Estudo (Figura 68). Além do pH, outro fator importante para a disponibilidade de Pb em solos é a matéria orgânica, uma vez que a presença de Pb nas camadas de solo está intimamente relacionada à acumulação de matéria orgânica ao longo do perfil. Neste caso, a matéria orgânica tem o papel de reter o Pb presente (KABATA-PENDIAS, 2010; COSTA & COSTA, 2015).

Gráfico 156 - Teores de Cádmio presentes nas folhas das culturas por trecho

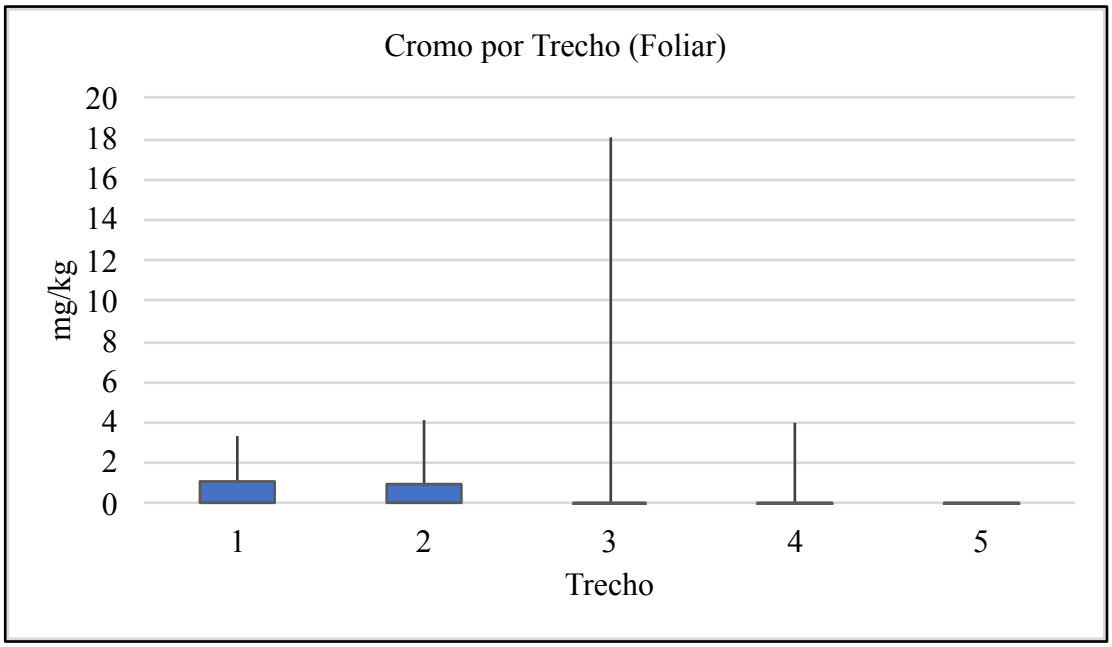


Fonte: Elaboração própria.

Foram encontrados teores de Cádmio no tecido vegetal apenas nos trechos 2 e 3 (Gráfico 156), sendo o maior valor encontrado para esse elemento no Trecho 3 (Figura 69 - Mapa Teores Foliares de Cádmio na Área de Estudo), correspondente a 1,8 mg/kg para cultura de milho. Teores elevados de Cádmio no tecido vegetal correlacionam-se com os valores disponíveis no solo para os diferentes trechos estudados, ou seja, solos com maiores teores disponíveis de Cádmio resultaram em culturas com presença de Cd nas folhas.

A faixa de pH ideal para a precipitação de Cd na forma de hidróxido é de 8,0 a 9,5 (COSTA & COSTA, 2015). Nos solos estudados, o valor de pH ficou abaixo dessa faixa, o que indica que a eventual presença de Cd no solo representaria disponibilidade para as plantas, como demonstrado nos Gráficos 134 e 135. Entretanto, apenas duas amostras pontuais (Trechos 2 e 3) apresentaram teores foliares deste elemento, o que indica que, apesar da disponibilidade de cádmio no solo, as plantas não o absorveram em grandes quantidades.

Gráfico 157 - Teores de Cromo presentes nas folhas das culturas por trecho

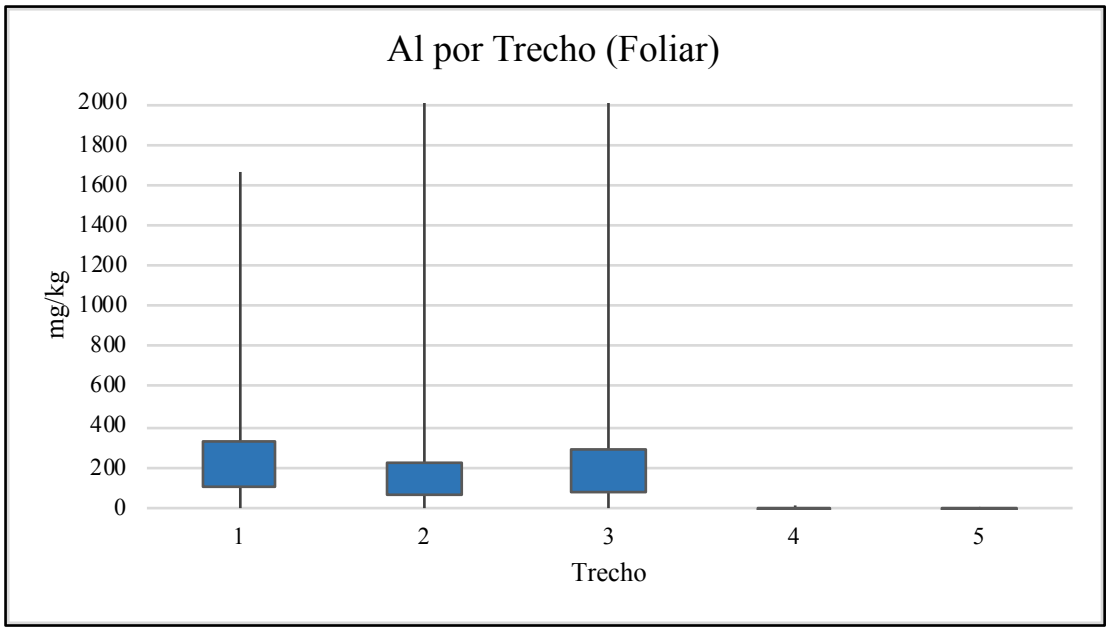


Fonte: Elaboração própria.

A presença de Cromo é mais representativa em plantas coletadas nos trechos 1 e 2 (Gráfico 157), o que pode ser uma consequência das características do *background* da região conforme mencionado anteriormente no tópico 8.9 Levantamentos Geoquímicos (Figura 25). Os valores médios encontrados estão dentro daqueles considerados normais para as culturas que é de 1,5 mg/kg (PRASAD & HAGEMEYER, 1999). Valores discrepantes de Cr foram encontrados em propriedades específicas representadas pelo mapa Teores Foliares de Cromo na Área de Estudo (Figura 70). O cromo se precipita na forma de hidróxidos quando o pH do solo se encontra entre 4,6 e 5,6, (COSTA & COSTA, 2015) faixa esta que não corresponde à faixa de pH da maioria dos solos estudados. Porém, solos do Trecho 5 apresentaram pH mais baixo, o que pode ter contribuído para a precipitação ou baixa disponibilidade de Cr no solo e, consequentemente, ausência deste elemento nas folhas das plantas coletadas ao longo deste trecho.

Pontos que apresentaram teores foliares de Al acima de 2000 mg/kg não foram representados para facilitar a visualização do gráfico (Gráfico 158). Estes pontos correspondem aos Trechos 2 (dois pontos: 2015,42 e 2466,81mg/kg) e 3 (três pontos: 3435,94; 5176,90 e 15140,63 mg/kg)

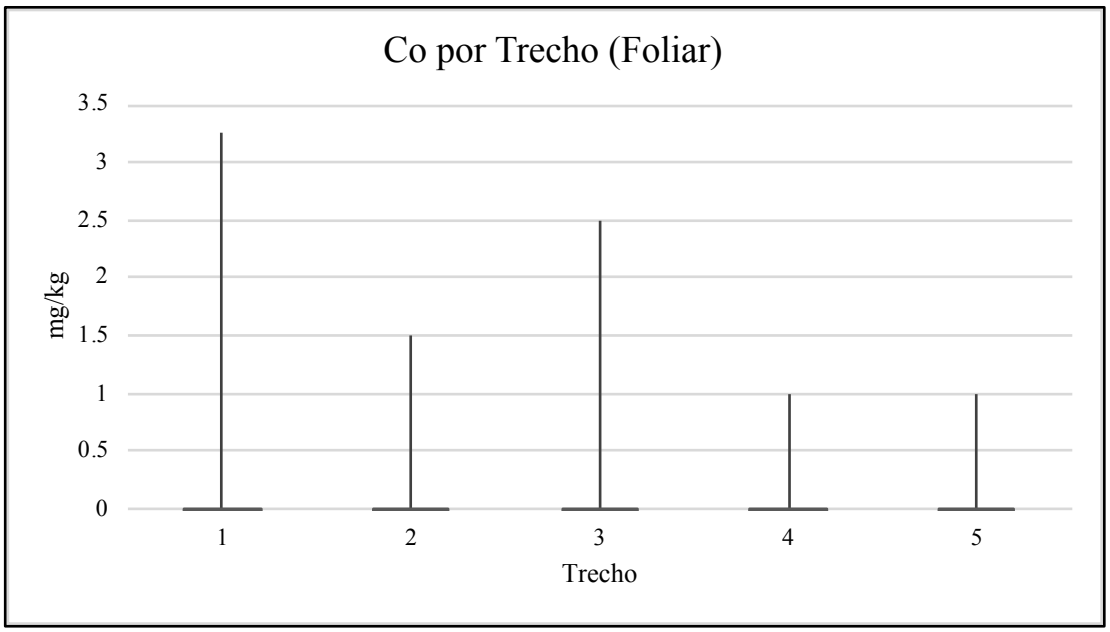
Gráfico 158 - Teores de Alumínio presentes nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria

O teor de cobalto nas plantas é de aproximadamente 0,2 mg/kg segundo Prasad and Hagemeyer (1999). Entretando, teores entre 30 e 40 mg/kg de Co nas plantas são reportados na literatura como níveis críticos para este elemento (KABATA-PENDIAS, 2010). Os resultados apresentados encontram-se muito abaixo dos limites técnicos encontrados na literatura (Gráfico 159), o que demonstra nenhum efeito deste elemento nas plantas estudadas.

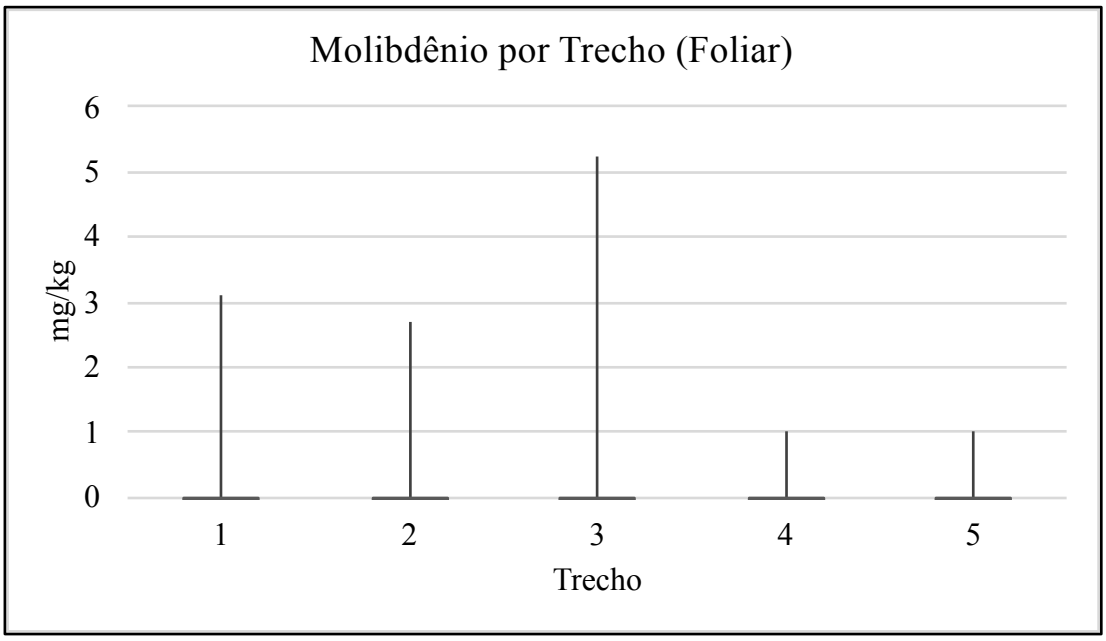
Gráfico 159 - Teores de Cobalto presentes nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria

Os teores de molibdênio normais para as plantas compreendem a faixa de 0,1 a 2 mg/kg de matéria seca. Teores acima de 100 mg/kg podem gerar efeitos de toxicidade nas plantas (RIBEIRO et al., 1999). Todas as amostras avaliadas apresentaram teores baixos de Mo, sendo a maior parte dos resultados igual zero para este elemento (Gráfico 160).

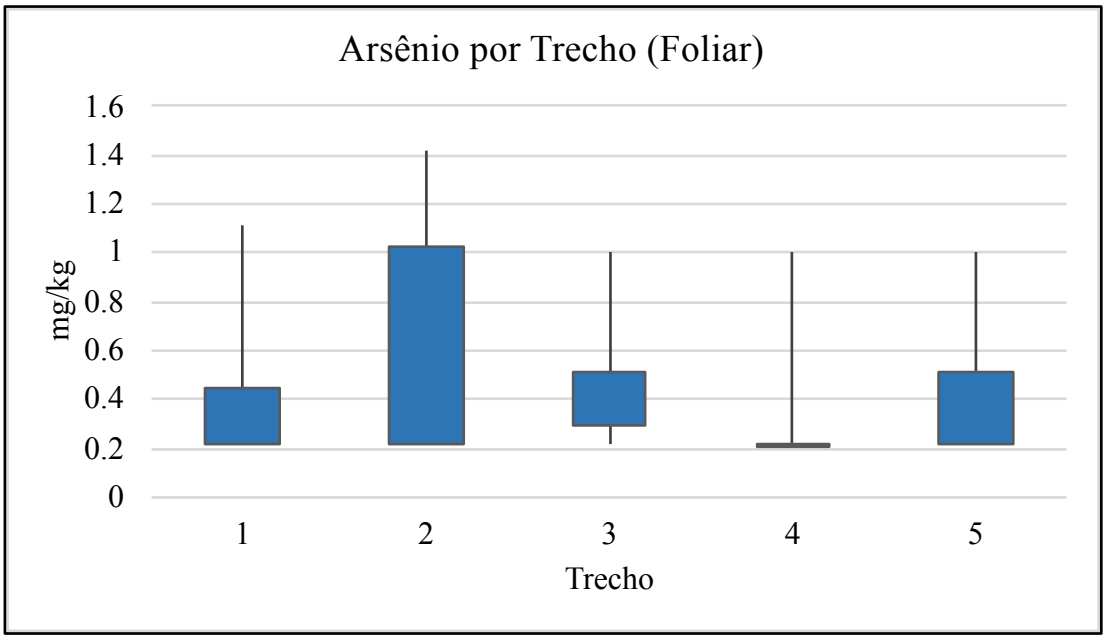
Gráfico 160 - Teores de Molibdênio presentes nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria

Os teores de arsênio encontrados normalmente nas culturas variam de 0,5 a 330 µg/kg, sendo maiores para as forrageiras (KABATA-PENDIAS, 2010). Os teores encontrados nas amostras analisadas foram mais expressivos em hortaliças (0,30 a 1,42 mg/kg) e cítricos (0,35 a 0,61 mg/kg), sendo grande parte encontrada no Trecho 2, o que corresponde aos maiores teores de As encontrados também nos solos deste trecho (Gráfico 161). Exceto pelo Trecho 4, todos os Trechos apresentaram teores consideráveis de As nas plantas (Figura 71), inclusive uma das amostras de referência (fora do buffer de 2 km).

Gráfico 161 - Teores de Arsênio presentes nas folhas das culturas por trecho



Fonte: Elaboração própria
*Limite de detecção: 0,22 mg/kg de As.

Os dados de mercúrio no material vegetal não serão apresentados neste relatório, devido à inconsistência dos resultados prévios obtidos para este parâmetro. Devido à variabilidade intrínseca ao método de leitura utilizado, as leituras anteriormente realizadas apresentaram resultados não condizentes com os teores encontrados no solo e aqueles esperados para as plantas de cada Trecho correspondente. Portanto, para garantir a confiança nos dados apresentados neste relatório, novas leituras foram solicitadas para comparação dos resultados obtidos e os dados serão apresentados oportunamente.

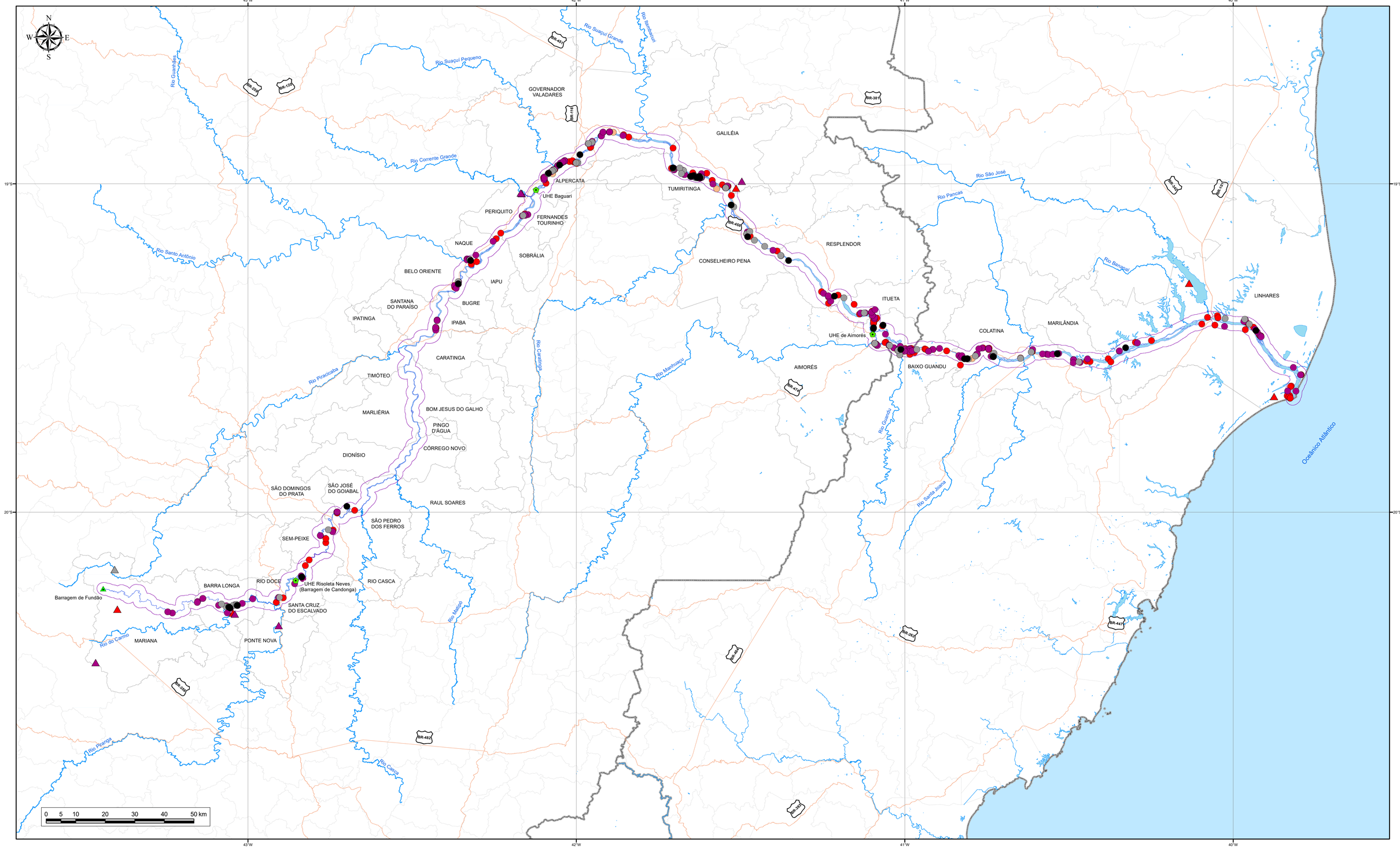
A seguir, no Quadro 16, as principais características das folhas de culturas com sintomas de deficiência observados por trecho.

Quadro 16 - Principais características das folhas de culturas com sintomas de deficiência observados por trecho

TRECHO	CULTURA	CARACTERÍSTICAS DAS FOLHAS COM SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA OU TOXIDEZ
1	Feijão	cor verde, amarelada, clorose, folhas com perfurações
	Jiló	coloração verde, folhas com perfurações
	Batata doce	cor predominantemente verde com poucas folhas amarelas, a maioria das folhas apresenta perfurações
	Banana	cor verde, necrose, folhas secas
	Mexerica	cor verde, presença de fumagina, enrugadas
	Braquiária	cor verde, folhas secas
2	Banana	cor verde e folhas secas, necrose, amarelada
	Manga	cor verde, necrose, pontuações
	Mamão	cor verde, necrose
	Laranja	cor verde, presença de fumagina, folhas enrugadas e recurvadas
	Mexerica	cor verde, presença de fumagina, enrugadas
	Quiabo	cor verde, presença de necroses, pontuações ou cloroses, folhas secas
	Pastagem	cor verde, amarelada, folhas secas
	Milho	cor verde, amarelada, presença de necroses ou cloroses
3	Feijão	cor verde, amarelada, clorose, folhas com perfurações
	Laranja	cor verde, amarelada, recurvadas, coloração diferenciada nas nervuras e espaços entre nervuras e folhas enrugadas
	Milho	cor verde ou amarelada, presença de início de necrose, ferrugem, clorose
	Pastagem	cor verde com coloração diferenciada e seca
	Coco	cor verde, amarelada, folhas com manchas, secas
	Mandioca	folhas murchas verdes, amarelas, necrose
	Banana	cor verde com coloração diferenciada e secas, folhas amareladas e com manchas, aparentemente necrosadas, queimaduras aparentemente, presença de necroses ou cloroses
	Mamão	folhas amareladas e com manchas, cor verde, necrose, folhas secas, pontuações ou cloroses, colorações diferenciadas nas nervuras, espaços internervuras
	Limão	folhas escuras sem brilho, cor verde, folhas enrugadas com presença de fumagina
	Cana	cor verde pálido com queimaduras e manchas, folhas secas, necrose
	Abóbora	cor verde, necrose, folhas com perfurações
	Mexerica	cor verde, presença de necroses, presença de fumagina, folha enrugadas
	Graviola	cor verde, presença de necroses, cloroses, folhas secas
	Taioba	cor verde, amarelada, presença de necroses ou cloroses
	Quiabo	cor verde, amarelada, presença de necroses, pontuações ou cloroses
	Uva	folhas recurvadas e enrugadas, folhas secas

TRECHO	CULTURA	CARACTERÍSTICAS DAS FOLHAS COM SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA OU TOXIDEZ
4	Goiaba	verde, presença de necrose, folhas recurvadas e enrugadas
	Pimenta	verde, amarelada, coloração diferenciada nas nervuras espaço internervuras
	Café	verde, amarelada, presença de necrose e clorose, folhas enrugadas e recurvadas
	Banana	cor verde, amarelada e presença de necrose
	Pastagem	verde, amarelada, pálida, presença de necrose e clorose
5	Feijão	cor verde, amarela, folhas com clorose e perfurações
	Goiaba	cor verde, folhas com necrose e perfurações
	Café	cor verde, folhas com necrose e perfurações

Fonte: Elaboração própria.



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Fe (mg/kg)

- < 10,0
- 10,1 - 80,0
- 80,1 - 200,0
- 200,1 - 500,0
- 500,1 - 1000,0
- > 1000,0

Fe - Grupo Controle

- 80,0 - 200,0
- 200,1 - 500,0
- 500,1 - 1000,0
- > 1000,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

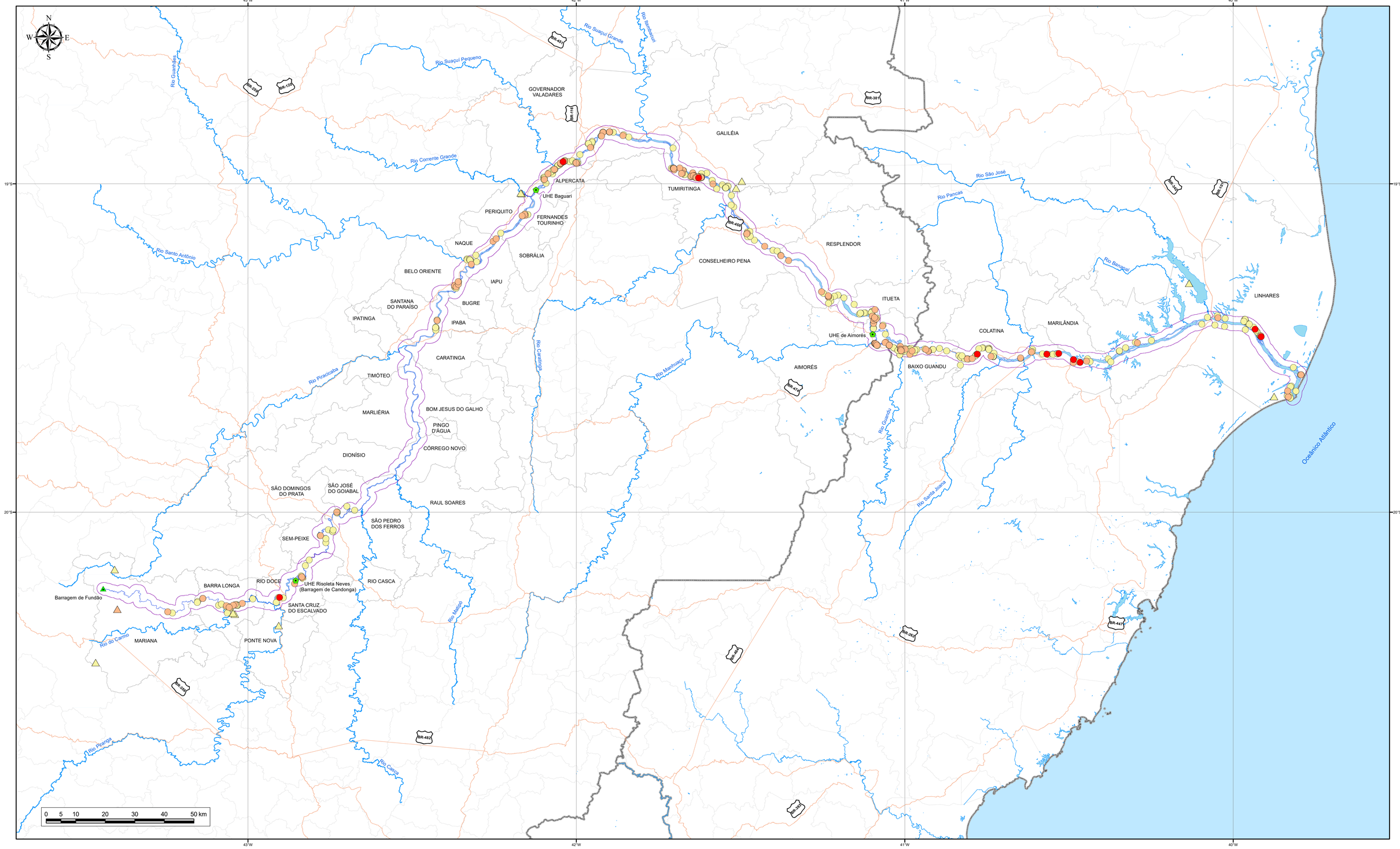
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 62 - TEORES FOLIARES DE FERRO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Cu (mg/kg)	Cu - Grupo Controle
< 4,0	< 4,0
4,1 - 20,0	4,1 - 20,0
> 20,0	> 20,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

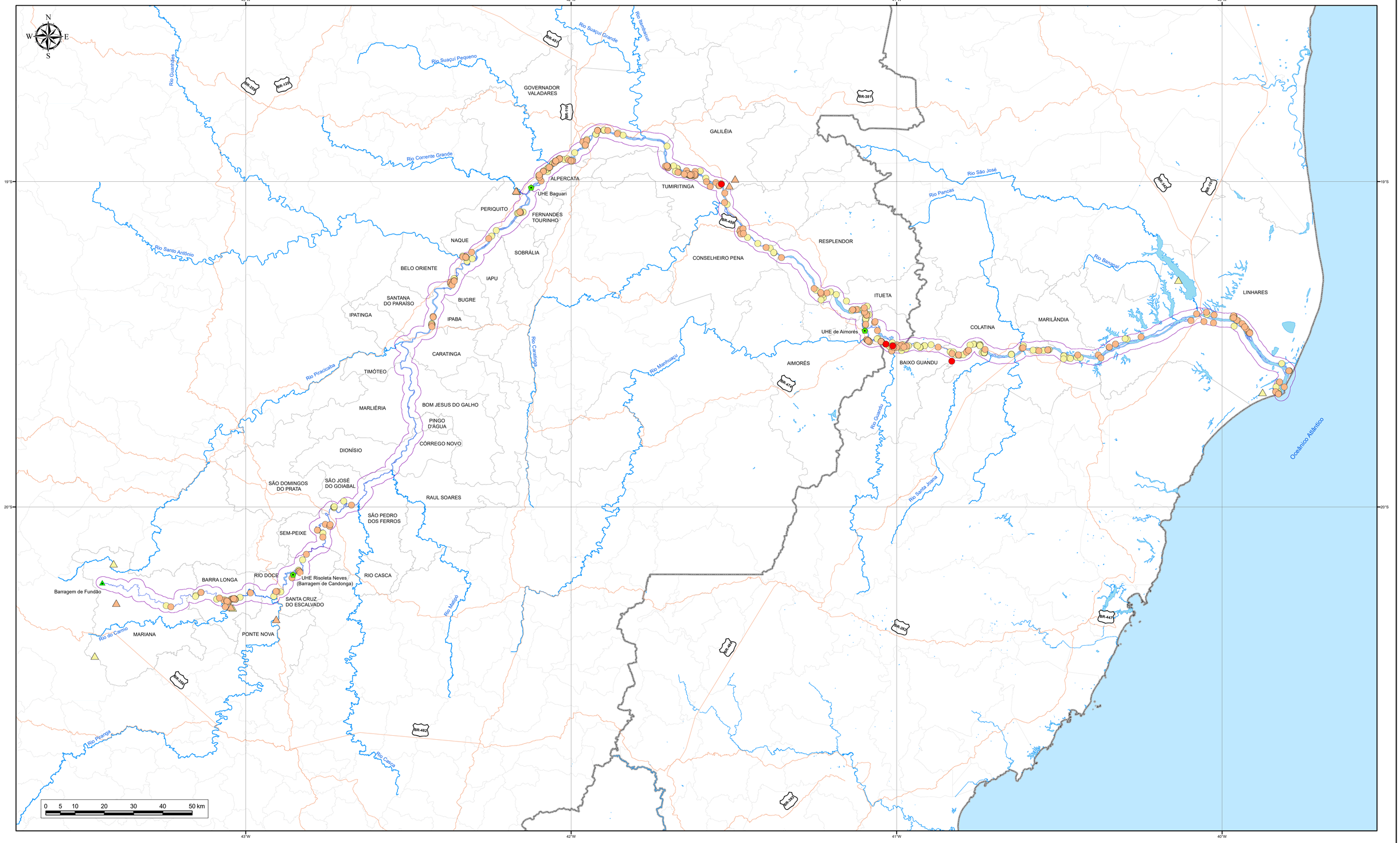
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 63 - TEORES FOLIARES DE COBRE NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Zn (mg/kg)

- < 25,0
- 25,0 - 150,0
- > 150,0

Zn - Grupo Controle

- < 25,0
- 25,0 - 150,0
- > 150,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

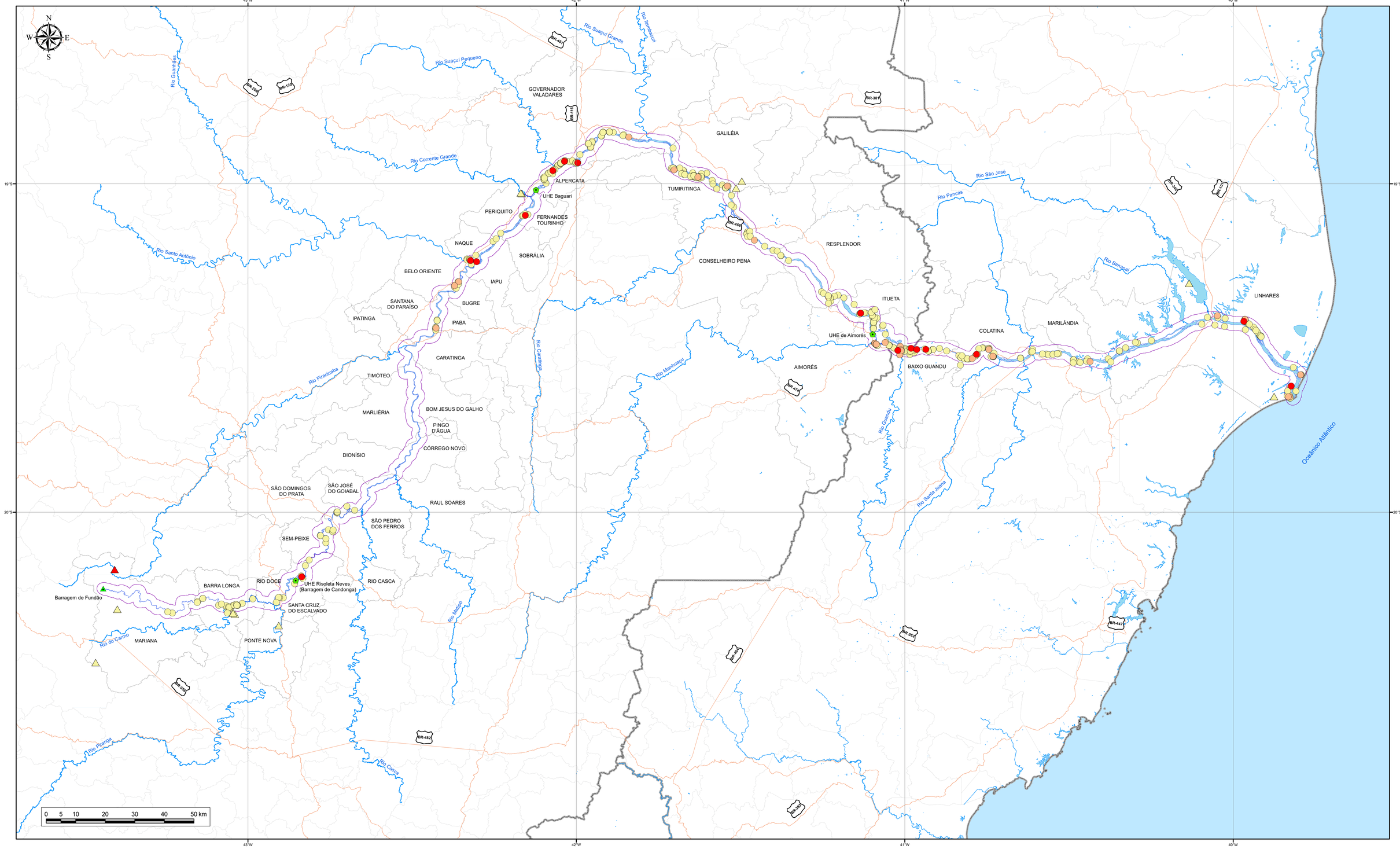
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 64 - TEORES FOLIARES DE ZINCO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Mn (mg/kg)

- < 20
- 20 - 700
- > 700

Mn - Grupo Controle

- 20 - 700
- > 700

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

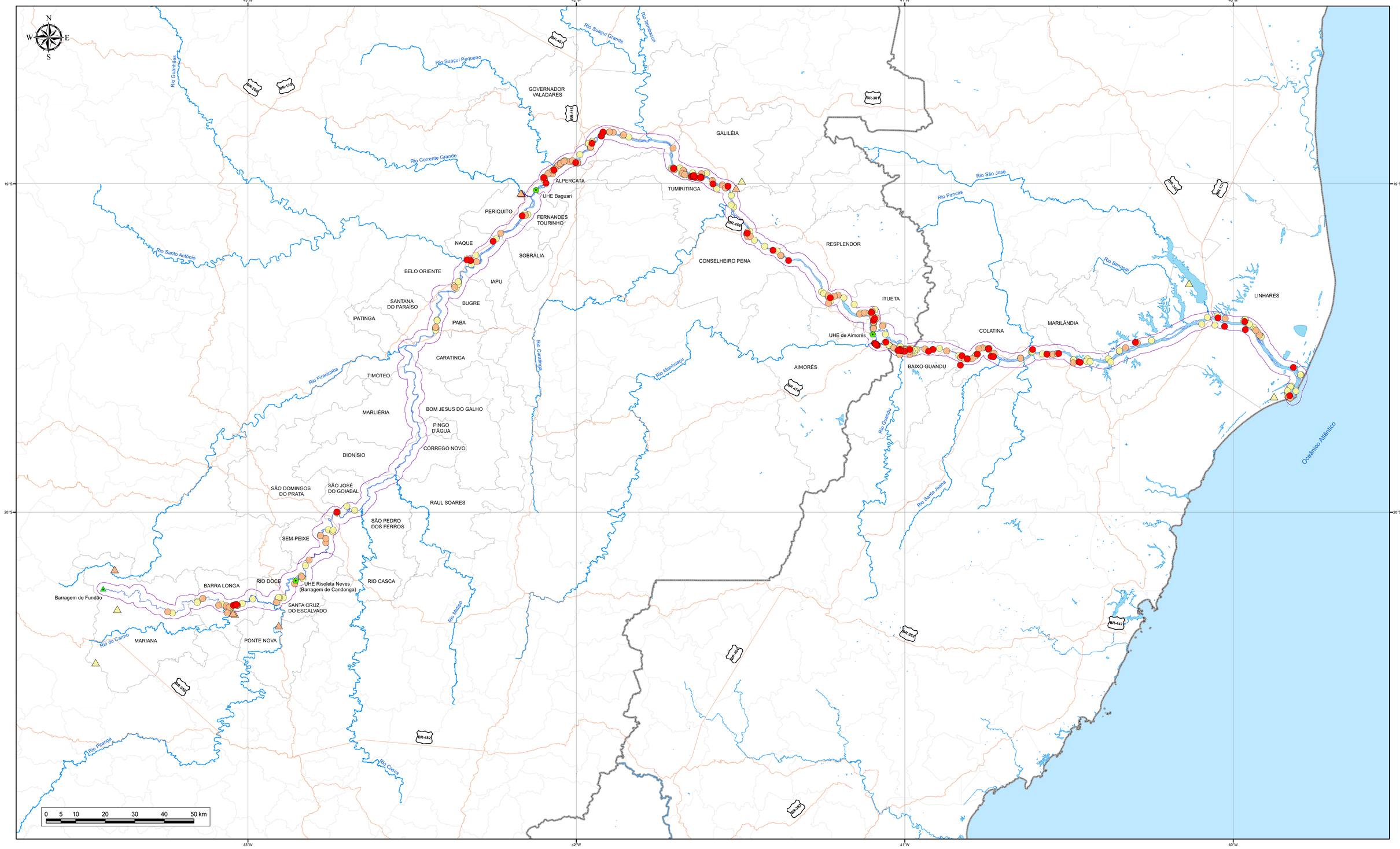
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 65 - TEORES FOLIARES DE MANGANÊS NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

B (mg/kg)

- < 15
- 15 - 50
- > 50

B - Grupo Controle

- < 15,0
- 15,1 - 50,0
- > 50,1

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

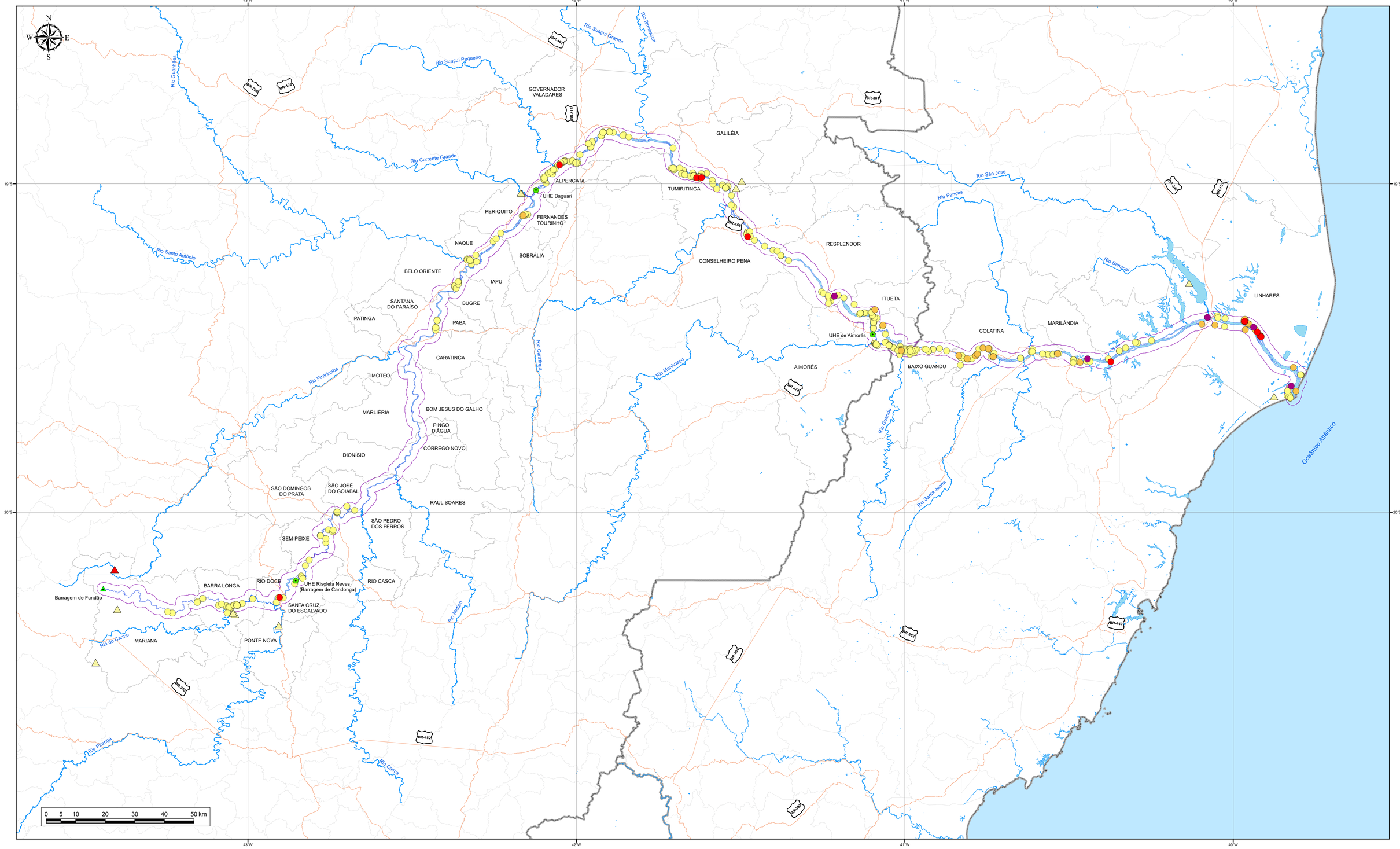
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 66 - TEORES FOLIARES DE BORO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Ni (mg/kg)

- < 0,40
- 0,41 - 3,00
- 3,01 - 10,00
- > 10,00

Ni - Grupo Controle

- 0,00
- 4,20

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

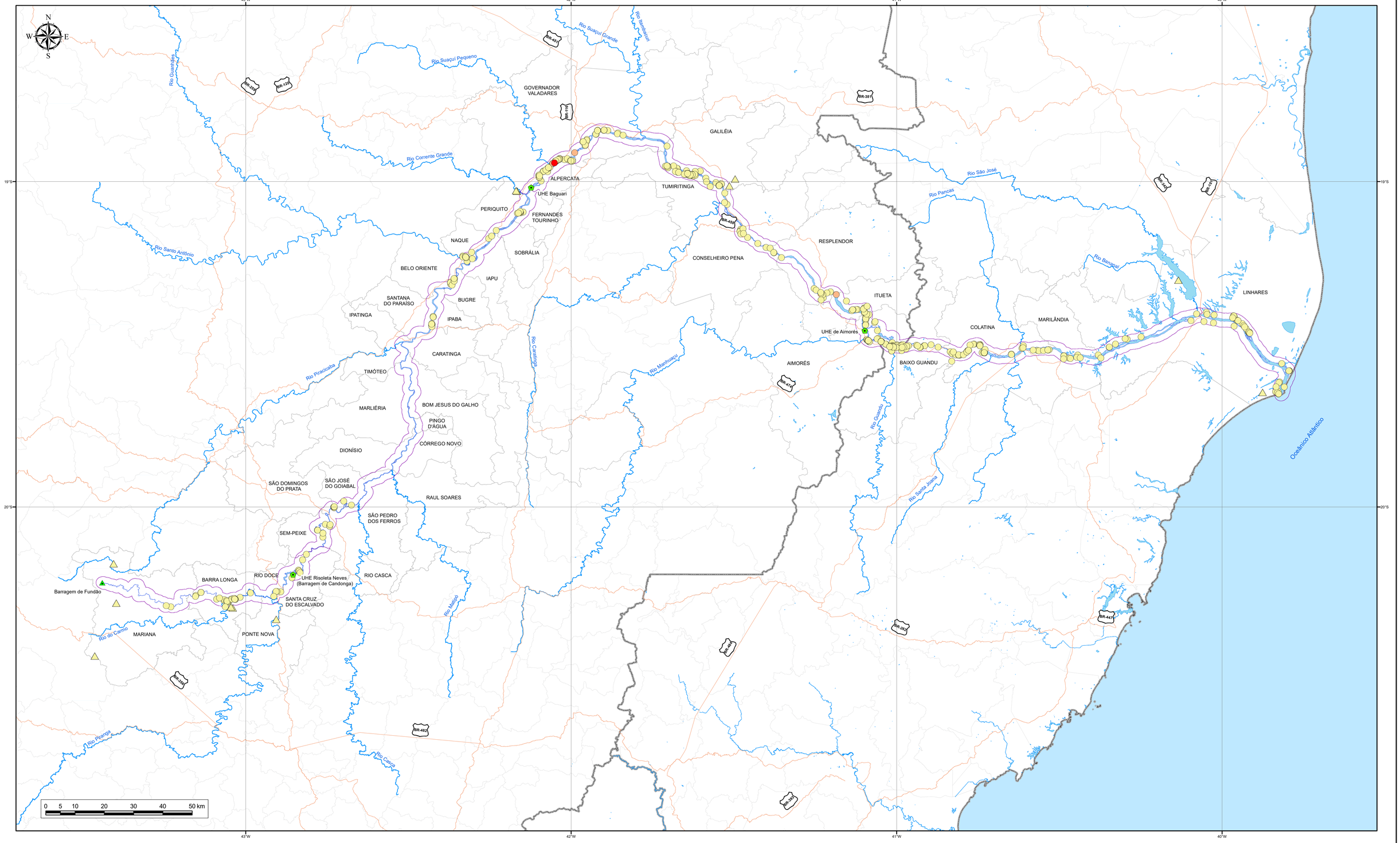
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 67 - TEORES FOLIARES DE NÍQUEL NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Pb (mg/kg)

- < 1,0
- 1,1 - 5,0
- > 5,0

Pb - Grupo Controle

- < 1,0

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

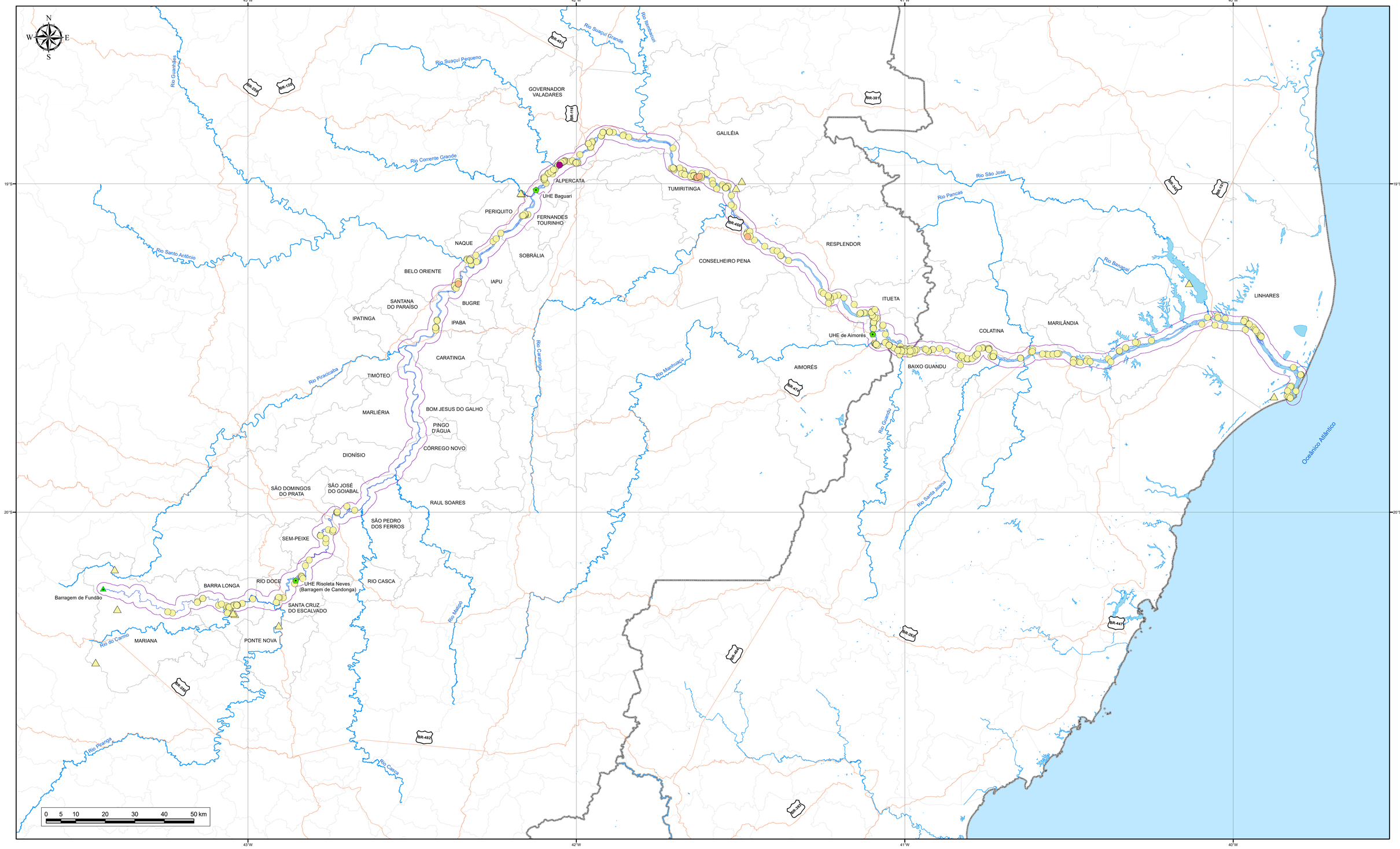
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 68 - TEORES FOLIARES DE CHUMBO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Cd (mg/kg)

- < 0,05
- 0,06 - 0,50
- 0,51 - 1,00
- > 1,00

Cd - Grupo Controle

- < 0,05

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

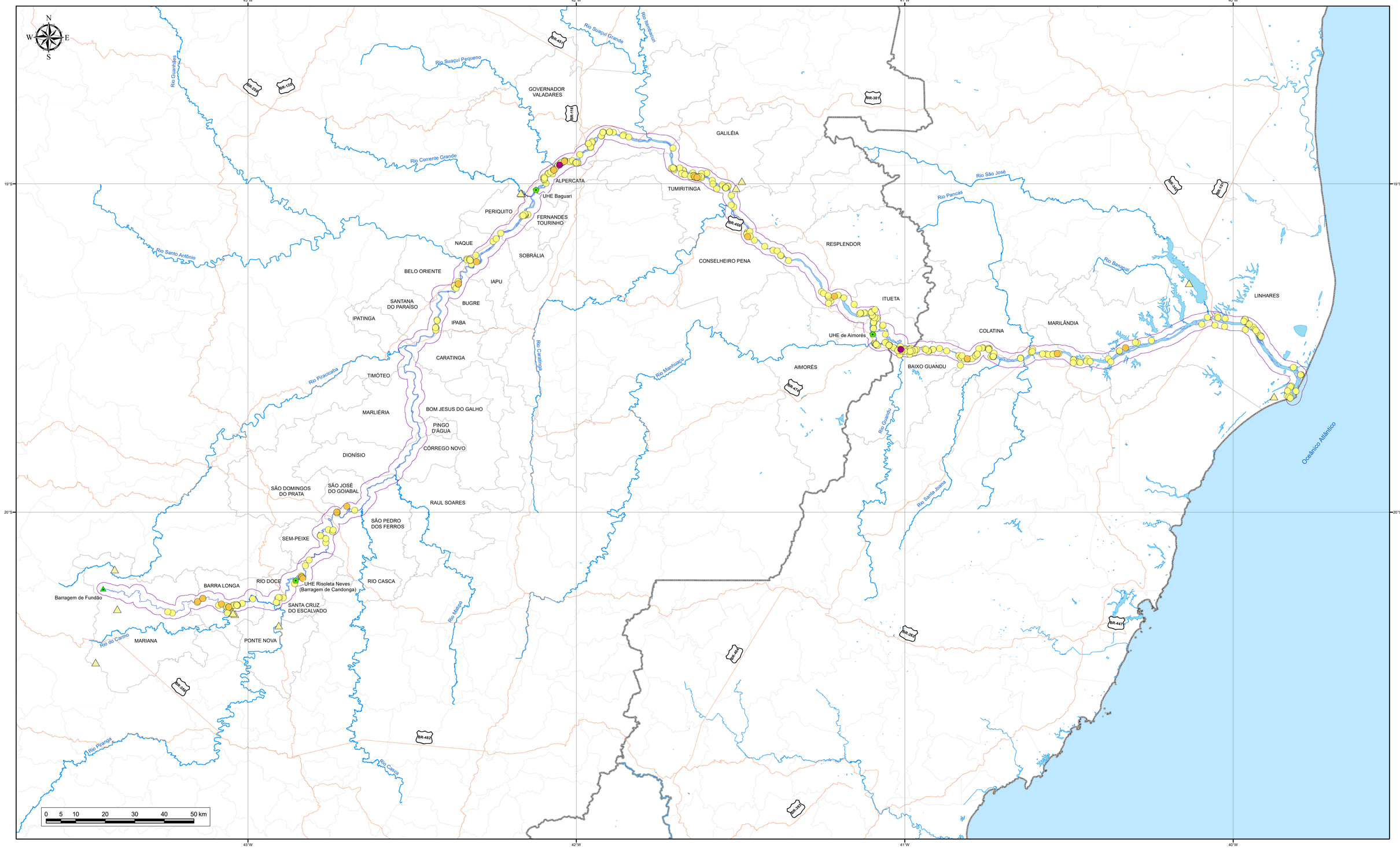
embaúba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 69 - TEORES FOLIARES DE CÁDMIO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

Cr (mg/kg)

- < 1,50
- 1,51 - 5,00
- 5,01 - 10,00
- > 10,00

Cr - Grupo Controle

- < 1,50

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

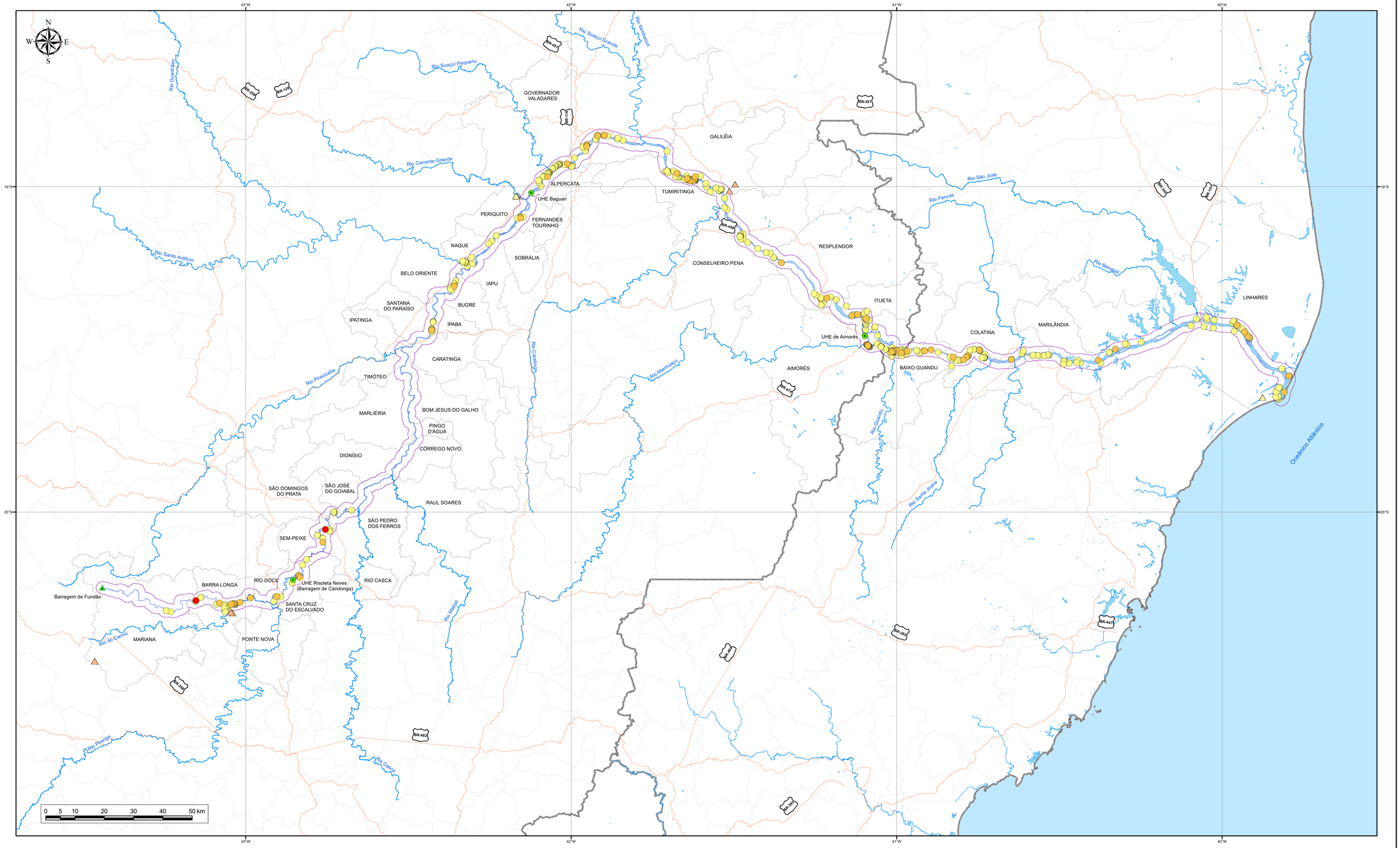
embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 70 - TEORES FOLIARES DE CROMO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0



NOTAS

1 - SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICA - GCS SIRGAS 2000
WKID: 4674 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) - Spheroid: GRS_1980
Prime Meridian: Greenwich (0,0) - Datum: D_SIRGAS_2000
Semimajor Axis: 6378137,0 - Seminmor Axis: 6356752,314140356
Inverse Flattening: 298,257222101

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovias Federais
- Curso de água
- Corpo de água
- Limites estaduais

LEGENDA

- Barragem de Fundão
- UHE Baguari
- UHE Risoleta Neves (Barragem de Candonga)
- UHE de Aimorés
- Área de Estudo
- Municípios que compõem a área de estudo

As (mg/kg)

- < LD
- LD - 1,00
- 1,01 - 5,0
- > 5,0

As - Grupo Controle

- < LD
- LD - 1,00
- 1,01 - 5,0
- > 5,0

LD = 0,21 mg/kg

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL	SAM	SAM	X	X	01/08/18

REVISÕES

T.E. TIPO DE EMISSÃO: (A) PRELIMINAR (B) PARA APROVAÇÃO (C) PARA CONHECIMENTO (D) PARA COTAÇÃO (E) PARA CONSTRUÇÃO (F) CONFORME COMPRADO (G)CONFORME CONSTRUÍDO (H) CANCELADO

embauba AMBIENTAL

FUNDAÇÃO renova

PROGRAMA 23 - MANEJO DE REJEITO

FIGURA 71 - TEORES FOLIARES DE ARSÊNIO NA ÁREA DE ESTUDO

ESCALA NUMÉRICA	Nº RENOVA	REVISÃO
1:600.000	CONTRATO 4800008016 - RFP 4200006582	0

9.5 Contexto socioeconômico relativo às culturas e irrigação

Entre os municípios banhados pelo Rio Doce, inseridos na Área de Estudo (*buffer* de 2 km), os quantitativos de propriedades afetadas indicadas pelo Cadastro Integrado da Fundação Renova (SGC) é de 223. Tumiritinga, Linhares e Colatina contemplam 39,74% das propriedades afetadas. O que se observa é uma distribuição das áreas cultivadas ao longo do curso da calha afetada pelo rompimento da Barragem do Fundão, com maior densidade e quantidade de propriedades à medida que se avança a jusante. Tem reflexo na cultura agronômica de cada região, sendo áreas a montante, municípios de vocação minerária, onde a atividade rural é diminuída pelo deslocamento de atividades para a indústria de extração mineral.

A partir dos dados do cadastro da Renova, foi possível ampliar o número de propriedades avaliadas de 397 (dados da versão anterior do estudo de áreas de irrigação) para 1.464 propriedades. Cabe salientar que, no momento de elaboração do estudo inicial de áreas irrigadas, os dados do cadastro não se encontravam disponíveis. Atualmente, essa informação se encontra com o grau de organização satisfatório, sendo validados nas atividades de campo, nas propriedades que possuíam sistema de irrigação antes do evento e que realizam irrigação no momento de realização dos trabalhos em campo.

Durante a elaboração da primeira versão do estudo de áreas irrigadas, a delimitação do universo de propriedades afetadas ainda requeria um esforço muito grande, sendo orientado o encontro principalmente pelo cumprimento da metodologia de mapeamento, que adotou critérios de obtenção das informações (foram selecionadas as áreas em que, mesmo no período mais seco, as culturas ainda se encontravam com verde típico de área com boa umidade relativa, o que caracteriza a adoção de um sistema de irrigação). Também o que prejudicou foi a escala de mapeamento possível para o estudo, com a adoção de imagens de satélite de baixa resolução.

Quanto aos apontamentos dos diferentes órgãos ambientais, no que se refere aos aspectos socioeconômicos, extraem-se os seguintes trechos:

> Ausência da metodologia de identificação de sistemas artesanais de irrigação. (Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02).
>
> Os dados apresentados pela metodologia (...) não retratam a realidade local que apresenta agropecuária com agricultores familiares que cultivam culturas alimentares (milho, feijão, mandioca), fruticultura (mamão, coco, banana e

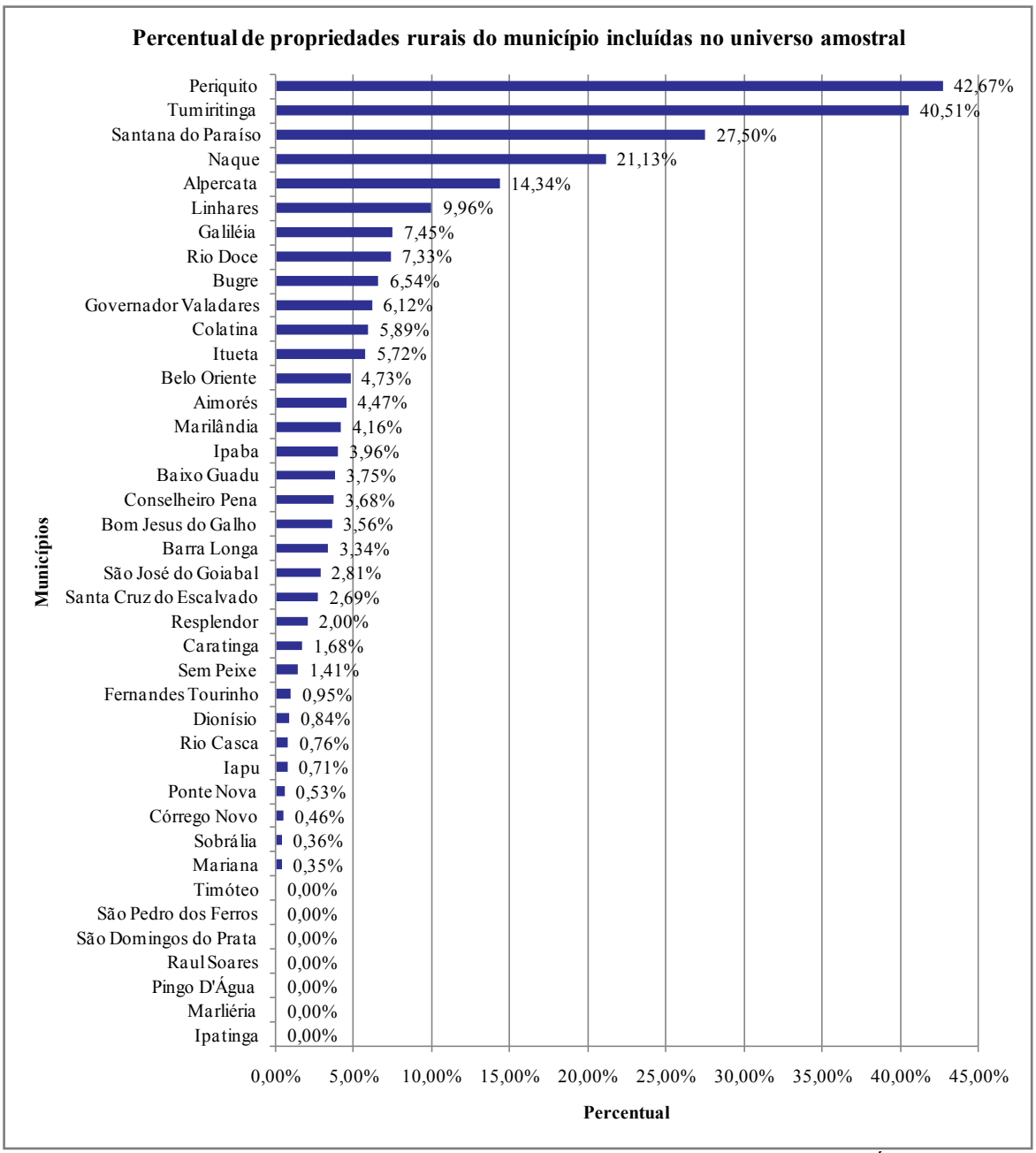
cacau), cafeicultura e pecuária com prevalência do uso da irrigação direta e indireta. (Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017).

Demonstra-se, a partir desse universo de dados utilizados, a ampliação massiva de propriedades para o presente estudo, mais que triplicando o número inicial apresentado na primeira versão, considerando de forma objetiva a caracterização em propriedades da Agricultura Familiar, com a amplitude de tipos de culturas encontradas na Área de Estudo, contemplando sistemas de irrigação de pequeno porte e artesanais. Há de se lembrar, conforme apresentado neste relatório, que foram adicionados ao universo de amostragem aqueles declarantes que afirmaram "não saber" se possuíam sistemas de irrigação no momento do rompimento da Barragem do Fundão.

Um aspecto sobre a confiabilidade dos dados obtidos pelo cadastro da Renova se refere à adequabilidade da informação prestada pelos seus declarantes. Do total de propriedades que se identificam com sistemas de irrigação no momento do rompimento da barragem ou não sabem, apenas 58 propriedades não se encontram na Área de Estudo, no *buffer* de 2 km a partir das margens dos cursos d'água. A espacialização dos dados demonstra a coerência da informação prestada pelos seus declarantes e, também, a qualidade do dado.

A partir da comparação entre os dados da Renova (SGC) e do Censo Agropecuário, observa-se percentual significativo de propriedades rurais impactadas pelo rompimento da barragem, principalmente nos municípios do médio e baixo Rio Doce (Gráfico 162). Isso é reflexo de um tipo de agricultura que privilegia o uso de áreas de várzeas mais amplas, que ocorrem nessas regiões da bacia, numa estrutura fundiária de propriedades de agricultura familiar ou de pequeno e médio portes.

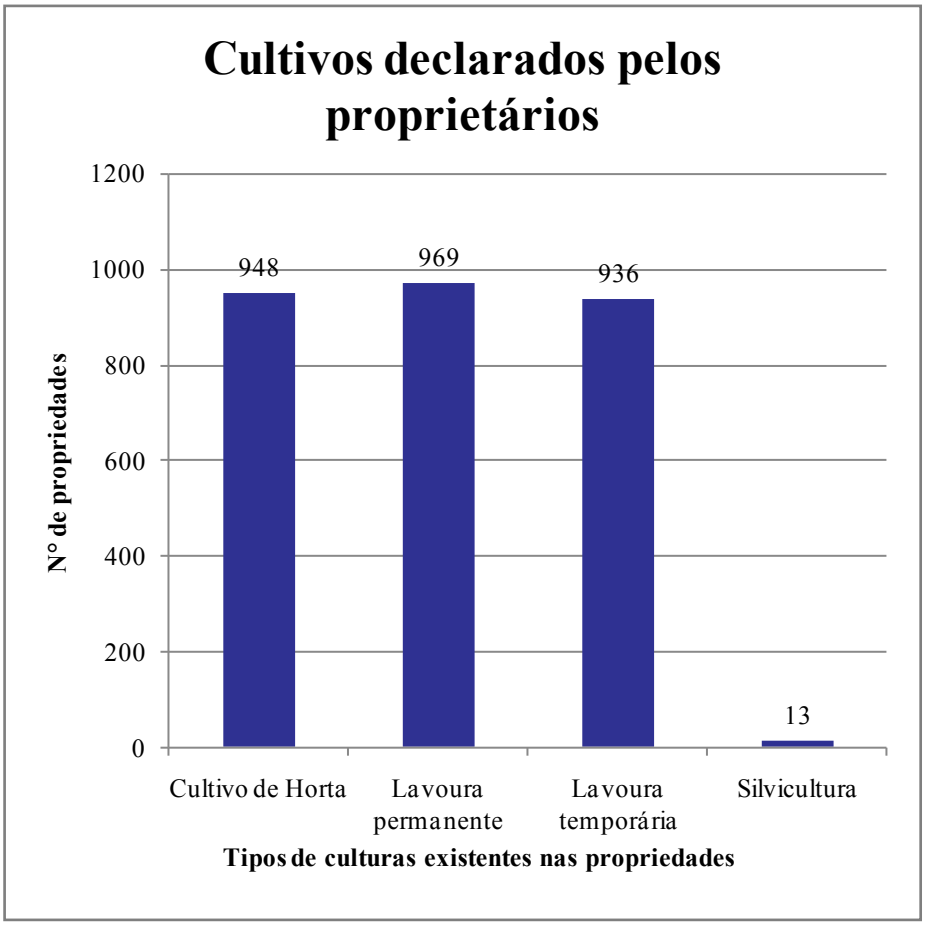
Gráfico 162 - Percentual de propriedades cujos declarantes se indicaram afetados pelo rompimento da Barragem do Fundão, de acordo com dados do Censo Agropecuário



Fonte: Dados de cadastro de propriedades com sistemas de irrigação, na abrangência da Área Ambiental 1. Fundação Renova (2018); Censo Agropecuário, IBGE (2006).

Em linha com o que será apresentado em sequência na "Análise Espacial das Culturas Irrigadas", entre as propriedades cadastradas (Gráfico 163), 948 cultivam hortas, 969 lavouras permanentes (pomares, café, fruticultura) e 936 cultivam lavouras temporárias (milho, feijão, tubérculos, cana-de-açúcar). Esses dados mostram a diversificação nas propriedades, que podem adotar mais de um sistema de cultivo. Interessante notar que a silvicultura, conhecidamente expressiva na região, é pouco citada pelos declarantes.

Gráfico 163 - Tipos principais de culturas desenvolvidas nas propriedades apontadas no cadastro



Fonte: Dados de cadastro de propriedades com sistemas de irrigação, na abrangência da Área Ambiental 1. Fundação Renova (2018).

Entre os pontos de captação, destaca-se o Rio Doce, com 691 propriedades que afirmaram possuir irrigação no momento de rompimento da barragem. Esses dados estão atrelados ao aspecto do relevo, como discutido anteriormente, assim como da dinâmica de ocupação das várzeas. A montante, as propriedades apresentam várzeas estreitas, sendo clara a predominância da pecuária leiteira e de corte, principalmente naqueles municípios de perfil rural, no trecho entre Fundão e Candonga. A topografia acidentada nessas áreas impede a captação da água para ser bombeada a montante. Nessas áreas, o predomínio de cambissolos também prejudica o desenvolvimento de outras culturas que não áreas de pastagem. Na região do Médio Rio Doce, é possível observar a degradação pelo uso excessivo em áreas de cambissolo, nos morros (Figura 72).

Figura 72 - Propriedades às margens do Rio Doce que fazem captação de água para irrigação; ao fundo, áreas de morro com cambissolo degradado

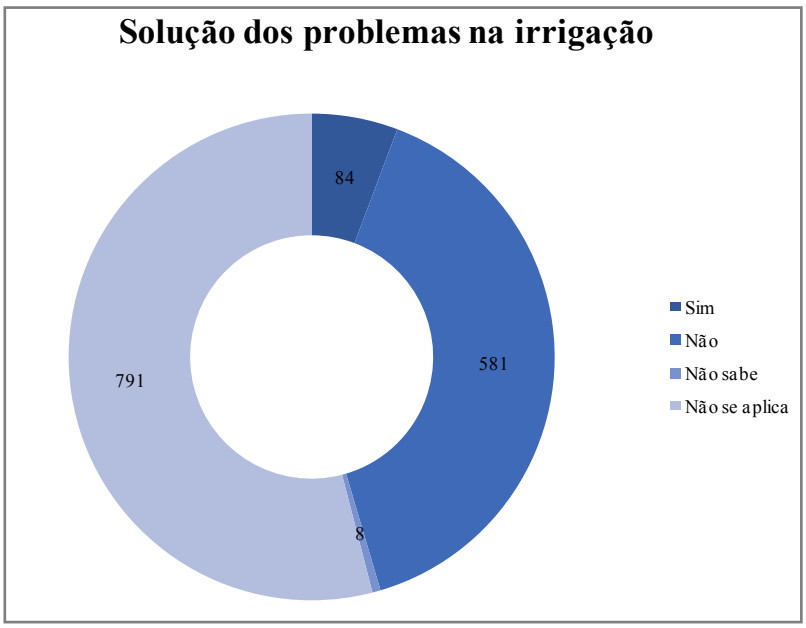


Fonte: Elaboração própria.

Conforme apresentado, identificaram-se propriedades que tiveram seus sistemas de irrigação comprometidos. Esse comprometimento se deu com a passagem da onda de rejeitos pela calha do rio, preenchendo as margens no trecho entre Fundão e Candonga, restrito à calha a partir daí. As captações de pequeno porte, que tenham utilizado até então mangueiras acopladas a bombas de baixa potência (popularmente conhecidas como bombas sapo) podem ter sido arrastadas. Os sistemas podem ter sido comprometidos com a sobrecarga de adutoras, bombas e filtros, pela quantidade de sólidos suspensos e sólidos dissolvidos. De acordo com o parecer integrado Incaper/Iema, é indicado que: “Não são apresentadas evidências de que os problemas causados à infraestrutura dos sistemas de irrigação e na produção das culturas são relacionados ou não ao EVENTO" (Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017).

Observa-se, pelos dados do Cadastro Integrado da Fundação Renova, colhidos a partir do relato dos proprietários, que o rompimento da barragem comprometeu os sistemas de irrigação. 84 usuários afirmam já terem corrigido o problema até o momento da coleta das informações (Gráfico 164). Essas informações serão confrontadas com os dados de vistoria, com o preenchimento das informações no relatório do Apêndice A. Além da própria declaração dos proprietários, a utilização de análises laboratoriais com parâmetros objetivos permitirá detalhar possíveis impactos.

Gráfico 164 - Número de propriedades apontadas no SGC que solucionaram seus problemas nos sistemas de irrigação, após o comprometimento no rompimento da barragem



Fonte: Dados de cadastro de propriedades com sistemas de irrigação, na abrangência da Área Ambiental 1. Fundação Renova (2018).

Ainda com relação às unidades da Agricultura Familiar e aos sistemas de irrigação artesanais ou de pequeno porte, a aplicação da metodologia de enquadramento das propriedades do SGC nos espaços territoriais dos municípios (urbano, conurbano ou limite urbano/rural, distritos, localidades rurais e estritamente rurais) dá a devida dimensão da perspectiva deste estudo. O que se entende a partir desse dado, como se apresenta, é um total de pelo menos 30% das propriedades (urbano, conurbano, distrito e localidades rurais) do SGC que são menores que a quantidade mínima de módulos rurais que caracterizam, na lei, as unidades da Agricultura Familiar. São propriedades em que as áreas cultivadas não se apresentam possíveis de mapear e que, portanto, devem adotar sistemas artesanais de irrigação ou de pequeno porte.

Com relação aos cultivos adotados, a partir do BD da primeira versão deste estudo, que avaliou 397 propriedades, nessas, milho, áreas de pastagens, hortaliças e cana-de-açúcar são as mais expressivas. O que se pode ver, pelos dados apresentados, é que as propriedades abordadas na primeira versão do estudo de áreas irrigadas tiveram o foco principal em áreas cultivadas. Isso é demonstrado nos quantitativos do Gráfico 165.

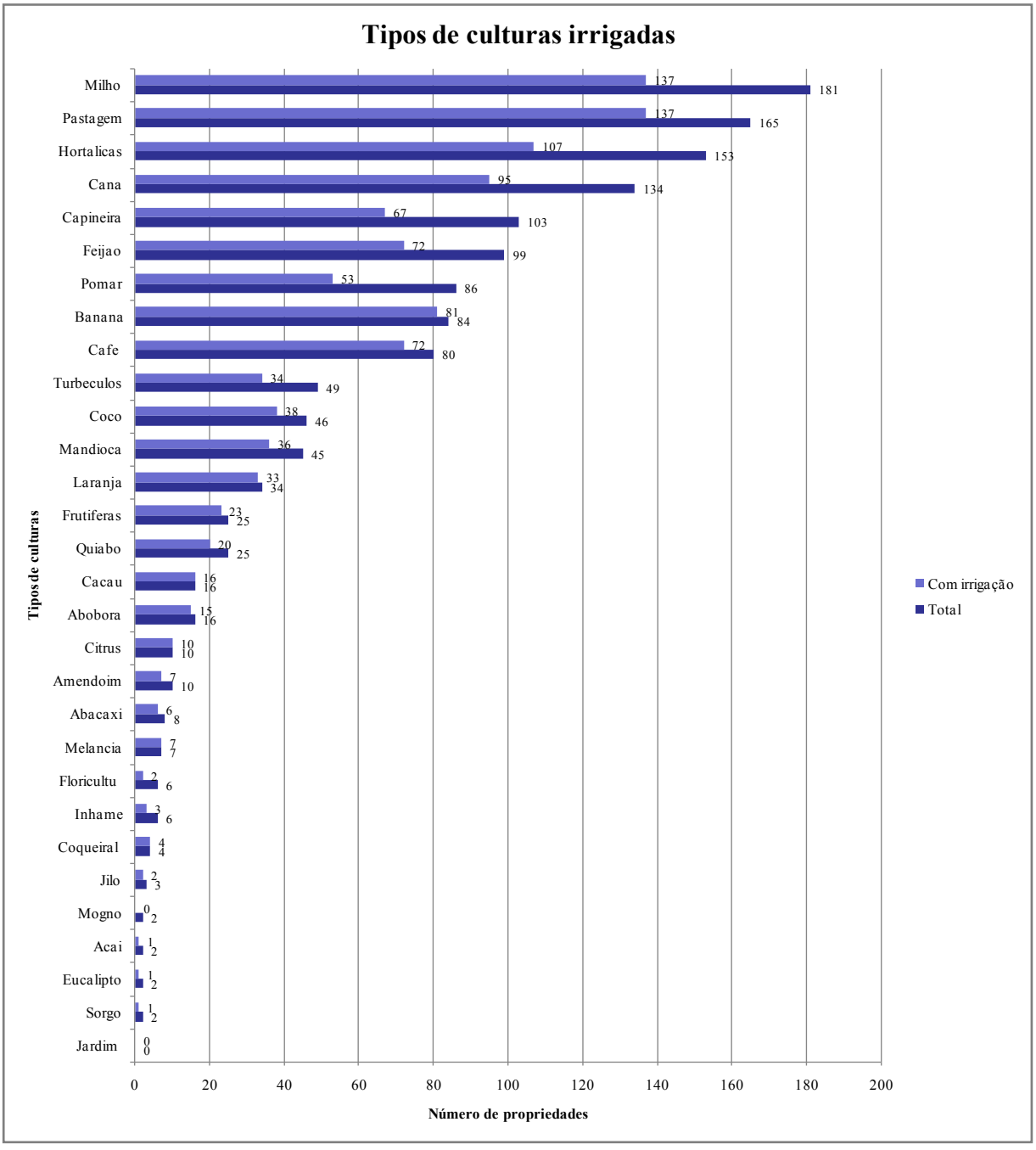
Ainda com relação à nota que trata:

> Deverá ser dado suporte técnico para todos os produtores que tiveram seus sistemas de irrigação impactados e fornecidas captações alternativas quando os parâmetros identificados nas análises de água bruta não forem passíveis de

tratamento pelos métodos convencionais. (Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 06).

Em "Projeto Básico Conceitual" deste relatório, são indicadas as sugestões para adequação das propriedades, de acordo com os cenários constatados pelos dados apresentados e aspectos técnico-econômicos das áreas cultivadas com sistemas de irrigação.

Gráfico 165 - Tipos de culturas empregadas nas propriedades avaliadas na primeira versão do estudo de áreas irrigadas, considerando áreas irrigadas e não irrigadas



Fonte: ERG e Fundação Renova (2017).

9.5.1 Análise dos Dados de Vistorias em Campo

A partir dos dados do cadastro de propriedades afetadas (SGC) disponibilizado pela Fundação Renova, foi possível avaliar a distribuição daqueles que declararam apresentar sistema de irrigação no momento do evento, considerando também aqueles que não souberam responder a esse item. A partir da aplicação de filtros no banco de dados, foram identificados 1.384 proprietários declarantes inseridos no *buffer* de 2 km nas margens do Rio Doce, que passou a ser o universo de propriedades-foco desse trabalho.

Dessa relação de propriedades, foram realizadas vistorias em 838 propriedades nos 24 municípios da Área de Estudo. Em 516 dessas propriedades foram realizadas 1.032 coletas de solo (0-20 e 20-40 cm), 516 coletas de folhas e 516 coletas de água.

A estratégia de atuação nos 24 municípios teve o avanço a partir de 5 municípios definidos como "bases de apoio": Ponte Nova, Ipatinga, Governador Valadares, Baixo Guandu e Linhares. Os trabalhos de campo, por sua vez, iniciaram-se efetivamente a partir do dia 24 de maio na "Base" de Ponte Nova, permanecendo lá até o dia 1º de junho, quando ocorreu a mudança de base para Ipatinga, atendendo aos municípios definidos para as respectivas regiões. Já no dia 6 de junho ocorreu a mudança para a base de Governador Valadares, e no dia 18 junho foram iniciados os serviços na nova base de Baixo Guandu. Em 1º de julho ocorreu a mudança para a última base de trabalhos em Linhares, finalizando os trabalhos no dia 13 de julho, cumprindo assim todo o curso do Rio e os 24 municípios.

Durante a realização dos trabalhos de coleta em campo, o cronograma precisou ser ajustado em função da greve dos caminhoneiros, quando não foi possível cumprir com a logística de entrega de amostras de água. Apesar disso, a participação espontânea dos proprietários foi extremamente satisfatória, considerando, também, que em campo ocorreu o acompanhamento das equipes de Diálogo Social da Fundação Renova, que apoiou e orientou as equipes em campo, assim como prestou esclarecimentos aos proprietários sobre os objetivos do trabalho.

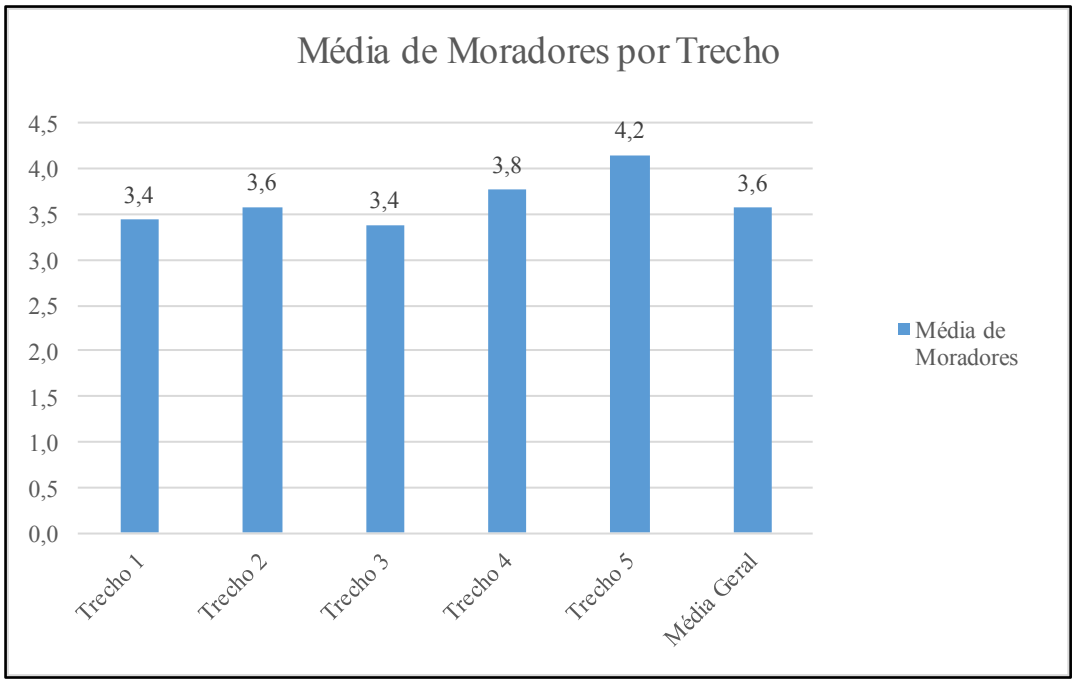
Este capítulo tem por objetivo caracterizar o perfil socioeconômico e da situação dos cultivos irrigados, em agosto de 2018, dois anos e dez meses após o evento do rompimento, e em diferentes propriedades ao longo dos 702 km do Rio Doce e tributários impactados até a foz, em Regência, distrito pertencente à Linhares.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org

Na aplicação do questionário de vistoria, foi possível avaliar aspectos para o entendimento dos tipos de culturas irrigadas produzidas, tamanho médio das propriedades, contexto de regularidade ambiental (CAR e Outorga), comercialização da produção, tipos de irrigação utilizada, identificação de danos à irrigação, perda de qualidade da água usada na irrigação, alteração do manejo de culturas após o rompimento, prejuízos e perdas da produção e mesmo identificar propriedades que pararam de irrigar após o evento.

Assim, inicialmente, com o objetivo de verificar a quantidade de pessoas que foram de alguma forma impactadas pelo rompimento no contexto da irrigação, verificou-se que, em média, as propriedades possuem 3,6 moradores que moram e realizam atividades agrícolas nas propriedades. Conforme pode ser verificado no Gráfico 166, em sequência, por trecho de rio, a média de moradores varia de 3,4 a 4,2 moradores por propriedade.

Gráfico 166 - Média de moradores por trecho de rio



Fonte: Elaboração própria.

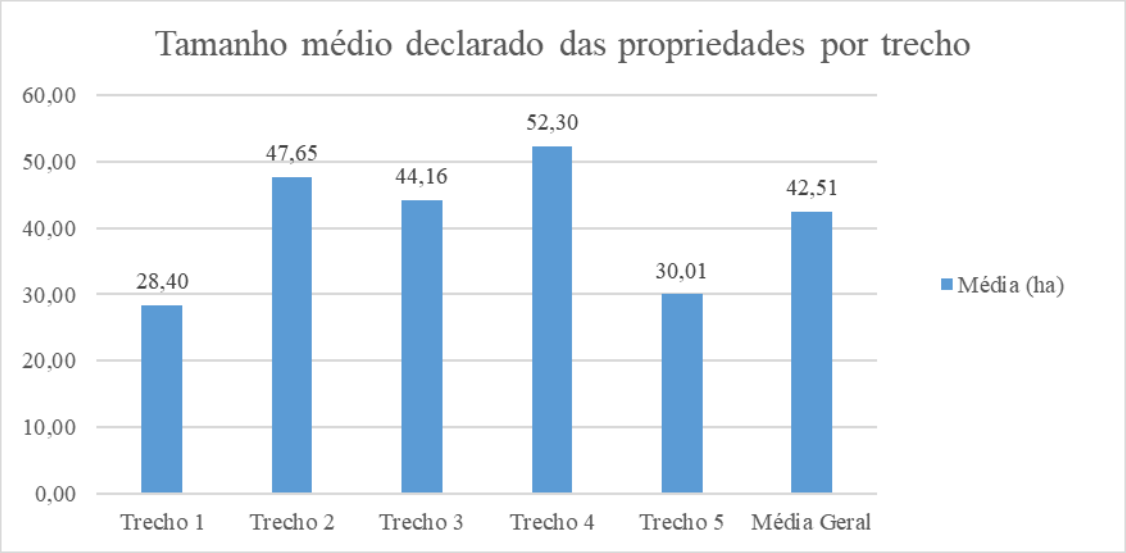
Quando se extrapola para o universo das 1.384 propriedades cadastradas no banco de dados da Renova e aplicada a média de 3,6 moradores por propriedade, chegamos a um quantitativo em torno de 4.982 pessoas que estão supostamente sujeitas a impactos pelo rompimento da Barragem do Fundão no contexto de propriedades irrigadas ao longo dos 702 km de curso de rio.

No que se refere aos tamanhos médios de propriedades rurais vistoriadas, que tiveram os seus tamanhos declarados, é possível verificar que a média de hectares de áreas varia entre 28,40 a 52,30 hectares e, quando considerada a média de todas as propriedades avaliadas, essas possuem, em média, 42,51 hectares de área.

Levando em consideração a média do tamanho das propriedades no enquadramento da unidade de medida por módulos fiscais (medida expressa em hectare fixada para cada município do Brasil), verificou-se que as propriedades possuem tamanhos em torno de 1 módulo fiscal (33 hectares, média de Minas Gerais e 20 hectares, média do Espírito Santo), ou seja, pequenas propriedades rurais, enquadradas como propriedades da agricultura familiar.

Como forma de quantificar o universo de área total das propriedades irrigadas, estima-se um total de 59 mil hectares distribuídos nas 1.384 propriedades do cadastro da Renova (Gráfico 167). Destacando-se o fato de que as áreas foram declaradas pelos proprietários.

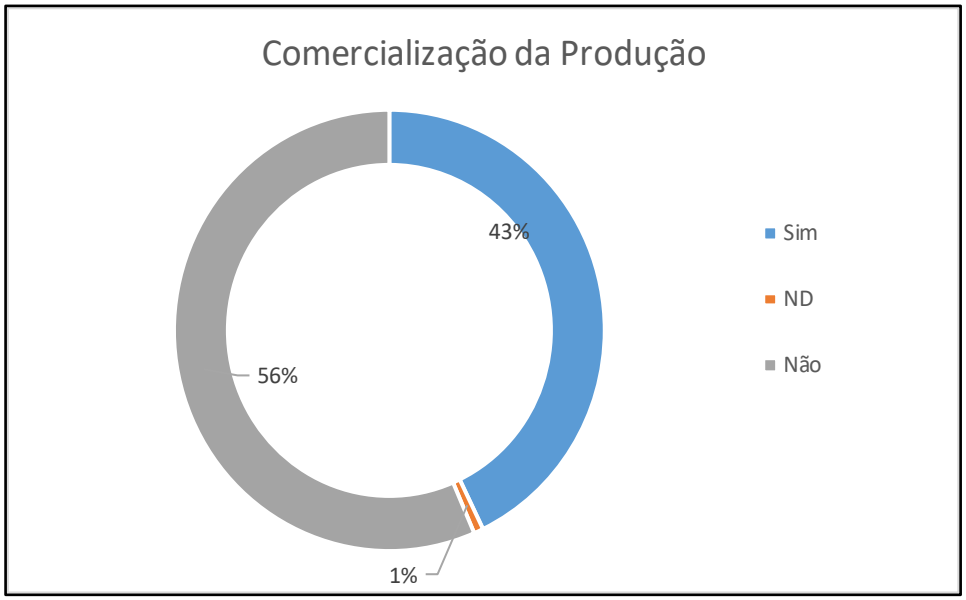
Gráfico 167 - Tamanho médio declarado das propriedades por trecho (GRF3)



Fonte: Elaboração própria.

No Gráfico 168, a seguir, apresentamos a participação das propriedades irrigadas que realizam comercialização da produção, sendo que 56% delas não comercializam produção, confirmando o retrato da vocação de subsistência do produtor rural na região em análise.

Gráfico 168 - Propriedades irrigadas que realizam comercialização da produção

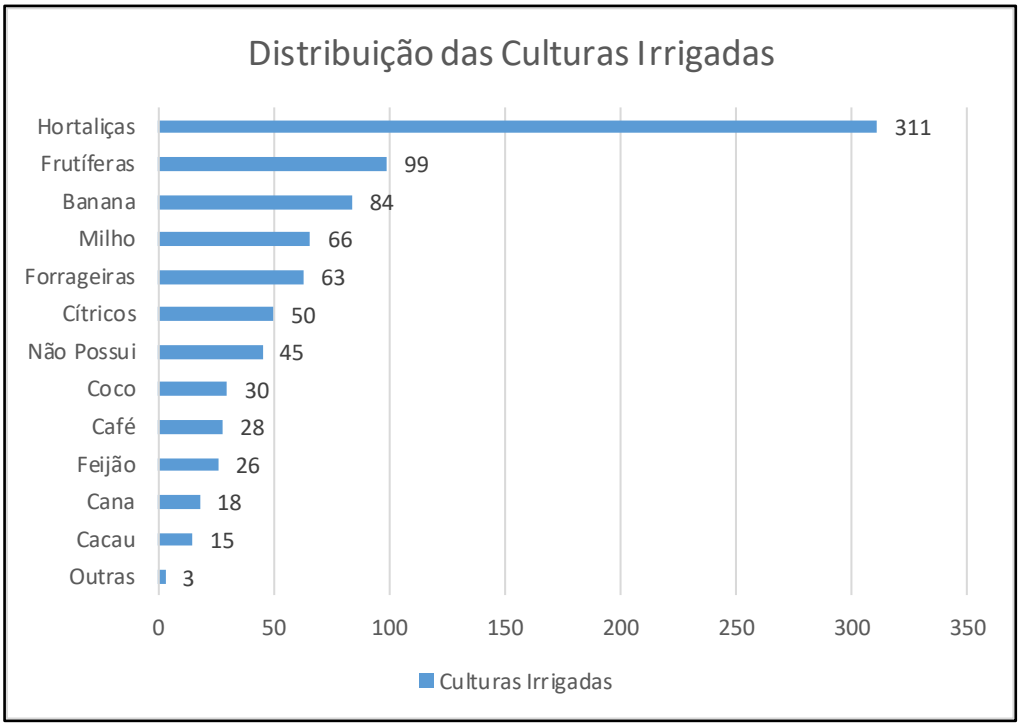


Fonte: Elaboração própria.

Na avaliação da distribuição de culturas irrigadas diagnosticadas, foi constatado que as mesmas são principalmente cultivos de hortaliças, frutas e outros, conforme demonstrado no Gráfico 169, em sequência. Quando se analisa em conjunto o quadro de culturas e a destinação para comercialização, podemos verificar que a maior parte dos plantios irrigados estão relacionados a culturas de subsistência familiar de hortaliças e frutíferas em geral.

Outras culturas, tais como a do coco, cacau, cana, feijão, milho e café, encontradas em menores quantidades de propriedades, são, por outro lado, as mais representativas em termos de tamanho de áreas agrícolas, sofisticação de sistemas de irrigação e de efetiva geração de renda direta para os proprietários.

Gráfico 169 - Distribuição de culturas irrigadas



Fonte: Elaboração própria.

9.5.1.1 Regularidade Ambiental

Para a avaliação do contexto do licenciamento ambiental das propriedades, levaram-se em consideração os aspectos de regularidade de captação de água por meio de outorga e do uso e cobertura do solo por meio do CAR (Cadastro Ambiental Rural), conforme Tabela 16.

Tabela 16 - Aspectos de regularidade de captação de água

Possui Outorga	Contagem	Percentual
Sim	70	8,4%
Não declarado	35	4,2%
Não	733	87,5%
Total Geral	**838**	**100,0%**

Fonte: Elaboração própria.

A outorga de água de direito de uso tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água, bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos (ANA, 2018). Na Tabela 16 verificam-se as propriedades que possuem ou não a outorga sobre a utilização da água. Em maior número se encontram proprietários que não possuem esse direito assegurado, uma quantidade equivalente a 87% do total de propriedades levantadas. É importante ressaltar que durante a aplicação dos questionários foi possível constatar que a

grande maioria dos proprietários que alegam não possuir outorga não possuem o conhecimento dessa licença ou mesmo os caminhos para a devida regularização.

O alto índice de propriedades sem a outorga pode estar também relacionado à localização das mesmas, uma vez que elas estão, em grande parte, localizadas em regiões urbanas ou por possuírem, em sua grande maioria, sistemas de irrigação artesanais. Outro fator é que 20,7% das propriedades diagnosticadas (173) utilizam água direta da companhia de abastecimento e não precisariam possuir outorga.

Tabela 17 - Cadastro Ambiental Rural

Cadastro Ambiental Rural		
Trecho	**Contagem**	**Percentual**
Trecho 1	**69**	**8,2%**
Não	43	62,3%
Sim	26	37,7%
Trecho 2	**97**	**11,6%**
Não	79	81,4%
Sim	18	18,6%
Trecho 3	**420**	**50,1%**
Não	327	77,9%
ND	13	3,1%
Sim	80	19,0%
Trecho 4	**158**	**18,9%**
Não	112	70,9%
ND	10	6,3%
Sim	36	22,8%
Trecho 5	**94**	**11,2%**
Não	79	84,0%
Sim	15	16,0%
Todo o curso	**838**	**100,0%**
Não	640	76,4%
Sim	175	20,9%
Não declarado	23	2,7%
Total Geral	**838**	**100,0%**

Fonte: Elaboração própria.

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é um registro eletrônico obrigatório para todos os imóveis rurais que tem como objetivo formar uma base de dados estratégicos para controle, monitoramento e combate ao desmatamento das florestas e demais formas de vegetação nativa

do Brasil e, assim, realizar o planejamento ambiental e econômico dos imóveis rurais (MMA, 2018).

Na Tabela 17 é demonstrado em quantidades de propriedades por trechos as que possuem ou não o CAR além do total geral e a porcentagem do resultado de todo o curso. 640 (76%) alegam não possuir o CAR, e apenas 175 (21%) possuem o cadastro.

Devemos considerar que essa grande quantidade observada de propriedades sem o CAR pode ser explicada, em parte, pelo fato de serem propriedades em áreas urbanas (dispensadas do CAR) ou estarem com a situação fundiária irregular.

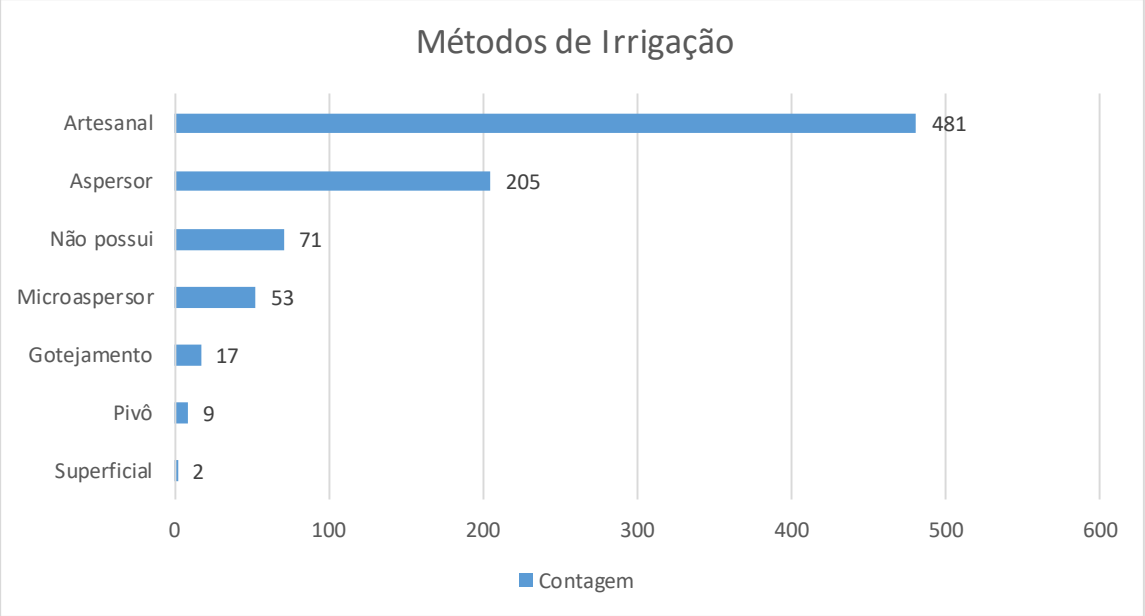
9.5.1.2 Caracterização da Irrigação

A irrigação é conhecida por ser uma técnica antiga que evoluiu ao passar dos tempos. Seu objetivo é suprir as necessidades hídricas das culturas agrícolas, garantindo melhor qualidade à produção. Atualmente, é uma prática comum, que está presente no cotidiano de produtores rurais em diferentes tipos e métodos.

O Gráfico 170 demonstra que, entre os métodos de irrigação, o mais comum para as propriedades é o artesanal (caracterizado pela irrigação por balde, mangueira e regador), alcançando um total de 481 propriedades. A irrigação por aspersor, por sua vez, aparece como o segundo método mais utilizado, com um total de 205 propriedades, sendo empregado normalmente em áreas de maior tamanho e em plantações de grande porte.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

Gráfico 170 - Métodos de irrigação



Fonte: Elaboração própria.

9.5.1.3 Impactos registrados nas culturas irrigadas

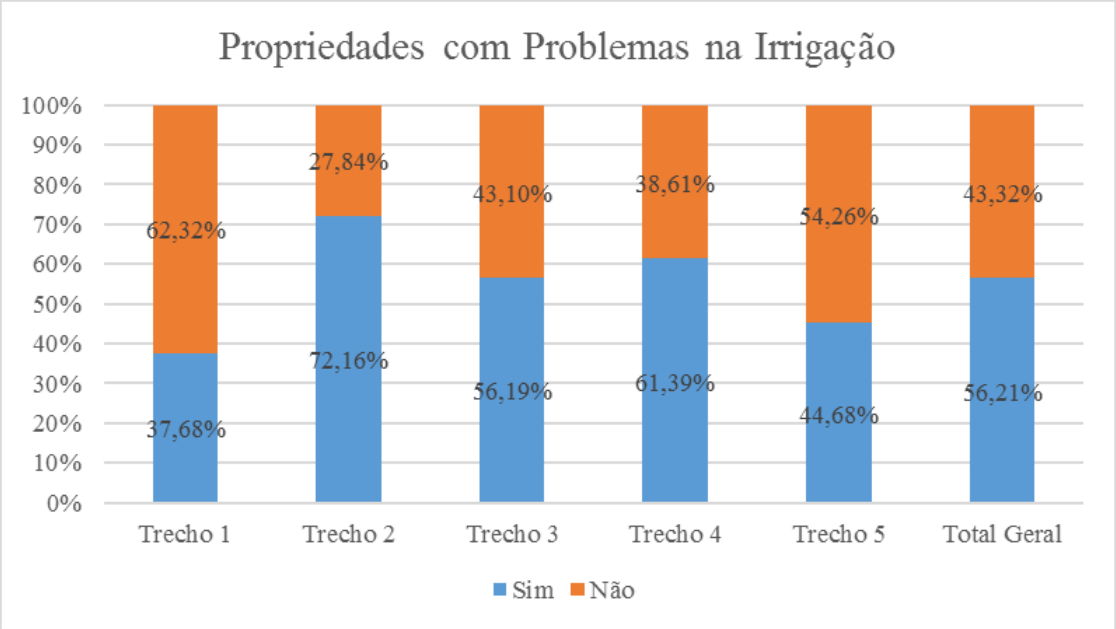
Na presente seção apresentaremos a síntese dos impactos percebidos pelos produtores rurais registrados por meio de inspeção visual, mas, principalmente, por relatos dos entrevistados durante a aplicação de questionários de vistoria. A temporalidade do acontecimento do evento e da realização do presente serviço, 2 anos e 10 meses após o rompimento da Barragem do Fundão, acarretou a caracterização dos danos à irrigação, em sua maior parte, autodeclaratória, pelos próprios entrevistados.

No Gráfico 171, apresentamos as propriedades que tiveram algum tipo de problema na irrigação, dentre eles: perda de bomba, entupimento de bicos e mangueiras, reparos com manutenção. Os problemas citados vão desde perdas parciais até a total desses sistemas de irrigação.

Nas regiões avaliadas com o menor índice de problemas, estão as regiões dos Trechos 1 e 5, onde 62% e 54% dos entrevistados, respectivamente, alegam não terem tido qualquer dano na irrigação. Já nos Trechos 2, 3 e 4, os entrevistados: 72%, 56% e 61%, respectivamente, declararam a ocorrência de problemas na irrigação advindos do rompimento da barragem. Para a Área de Estudo, registrou-se uma média de 56% de todos os proprietários ao longo de todo o curso do rio que apresentaram relatos de danos à irrigação.

Quando se extrapola para as 1.384 propriedades do banco de dados, estimam-se que 775 propriedades rurais tiveram, de alguma forma, comprometimento parcial ou total dos equipamentos de irrigação.

Gráfico 171 - Propriedades que apresentaram problemas na irrigação

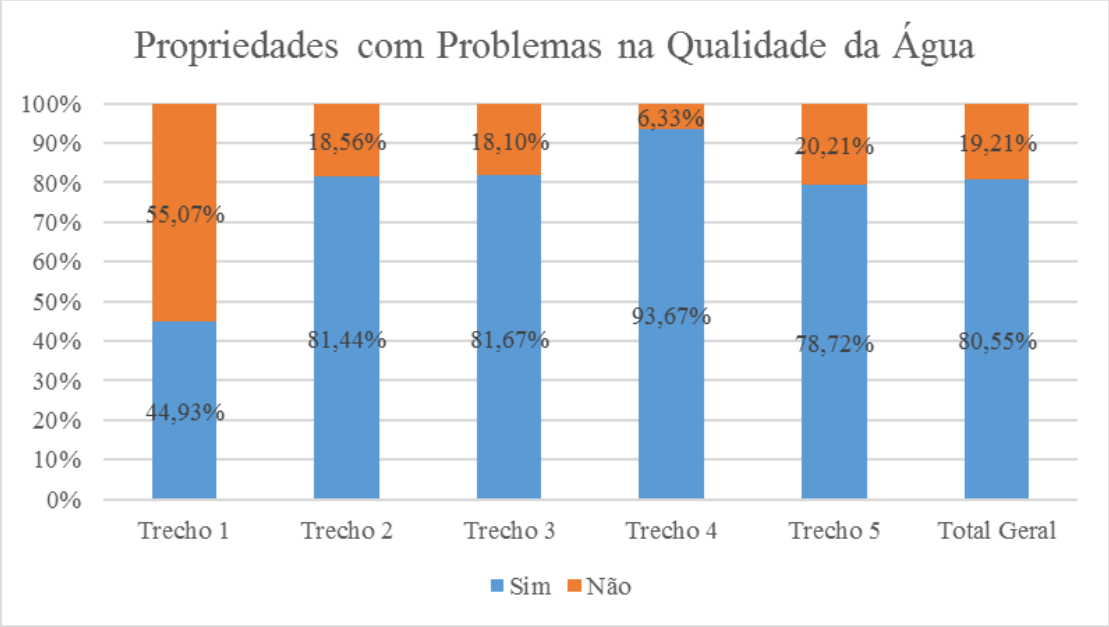


Fonte: Elaboração própria.

A qualidade da água tem um papel fundamental na irrigação da produção. A diminuição da qualidade da água em função de efluentes domésticos ou industriais, contaminação ou deposição de material detrítico no leito dos rios, lagos, córregos e nascentes, são impactos de elevada gravidade não só para a irrigação, como potencialmente para a saúde humana. No item análise de água, tratamos de maneira mais aprofundada esse tema com as devidas considerações pelas análises de água coletadas para as culturas irrigadas.

O Gráfico 172 demonstra a perturbação causada na maioria dos municípios, nos trechos registrados, em função da percepção dos proprietários pela perda de qualidade da água após o rompimento da barragem. Em geral, 81% dos proprietários declararam esse tipo de problema com a qualidade da água, dentre eles, alteração na coloração, gosto e até mesmo problemas de saúde relacionados a essa baixa qualidade.

Gráfico 172 - Propriedades que declararam pereceber problemas relacionados à qualidade da água



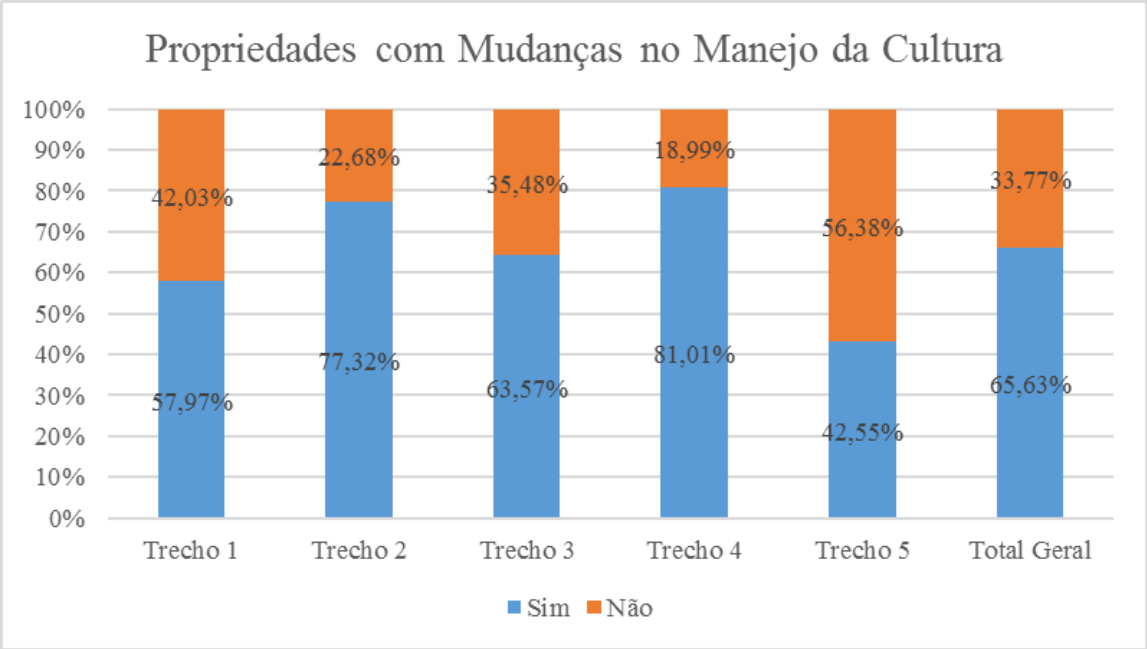
Fonte: Elaboração própria.

Já no Gráfico 173, em sequência, apresentam-se, de maneira relativa, as propriedades que precisaram mudar a forma de cultivar ou alterar o manejo das culturas: alteração nas áreas de plantio, alteração da qualidade do solo, necessidade de maior adubação ou até mesmo alterações de uma cultura para outra.

Considerando o total geral das propriedades diagnosticadas, a maior parte delas apresentou algum tipo de alteração no manejo das culturas, alcançando uma relação de 65,63% entre todas.

Os maiores índices podem ser observados nos Trechos 4 e 2, com valores proporcionais a 81,01% e 77,32%, enquanto os menores ocorrem nos Trechos 5 e 1, porcentagens equivalentes a 56,38% e 42,03%, respectivamente.

Gráfico 173 - Propriedades com mudanças no manejo da cultura



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 18 demonstra os prejuízos financeiros, que ocorreram basicamente devido aos aspectos relacionados no Gráfico 174, em sequência.

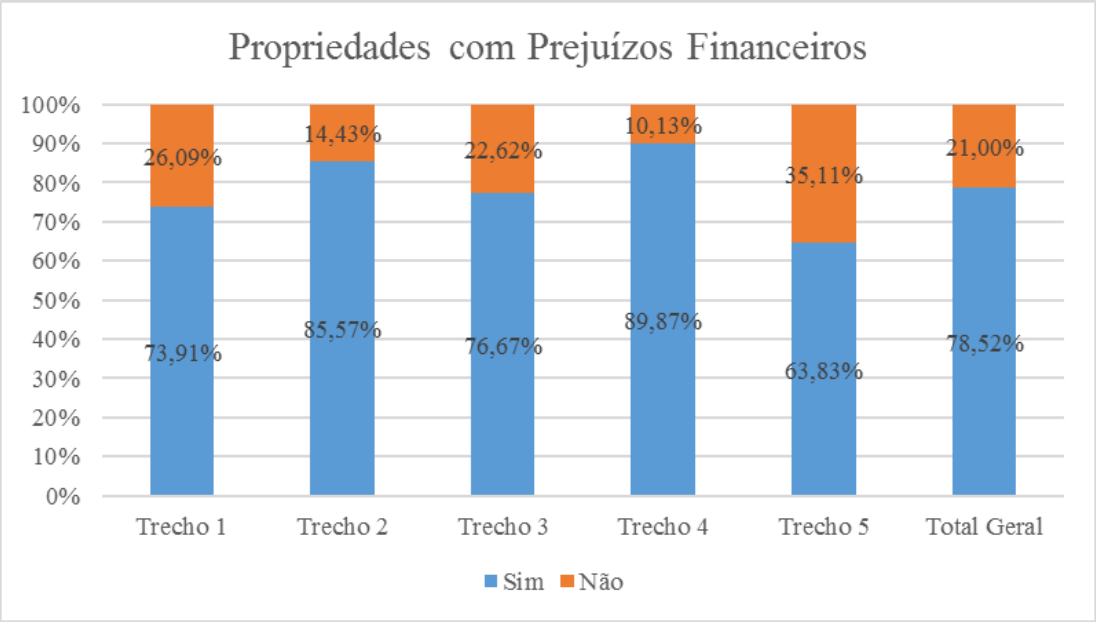
Tabela 18 - Prejuízos financeiros

Descrição	Participação
Perda de produtividade das culturas	28%
Perda de qualidade da água do poço	1%
A lama atingiu a área de produção irrigada	18%
Iniciou novo plantio	1%
Comprometeu o sistema de irrigação	11%
Perda total da produção	8%
Água do rio aparentemente mais turva e/ ou ferruginosa	6%
Passou a utilizar água do abastecimento público	6%
Parou de irrigar totalmente	10%
Outros Prejuízos Financeiros não relacionados à irrigação	11%
Total de Propriedades	**100%**

Fonte: Elaboração própria.

Em grande parte das propriedades houve algum tipo de prejuízo financeiro, direta ou indiretamente. No total geral apresentado, uma média de 78,52% dos produtores teve perdas financeiras e apenas 21% não tiveram problemas. Nos Trechos 2 e 4 nota-se a ocorrência de maior quantidade de produtores prejudicados, um total de 89,87% e 85,57%, respectivamente.

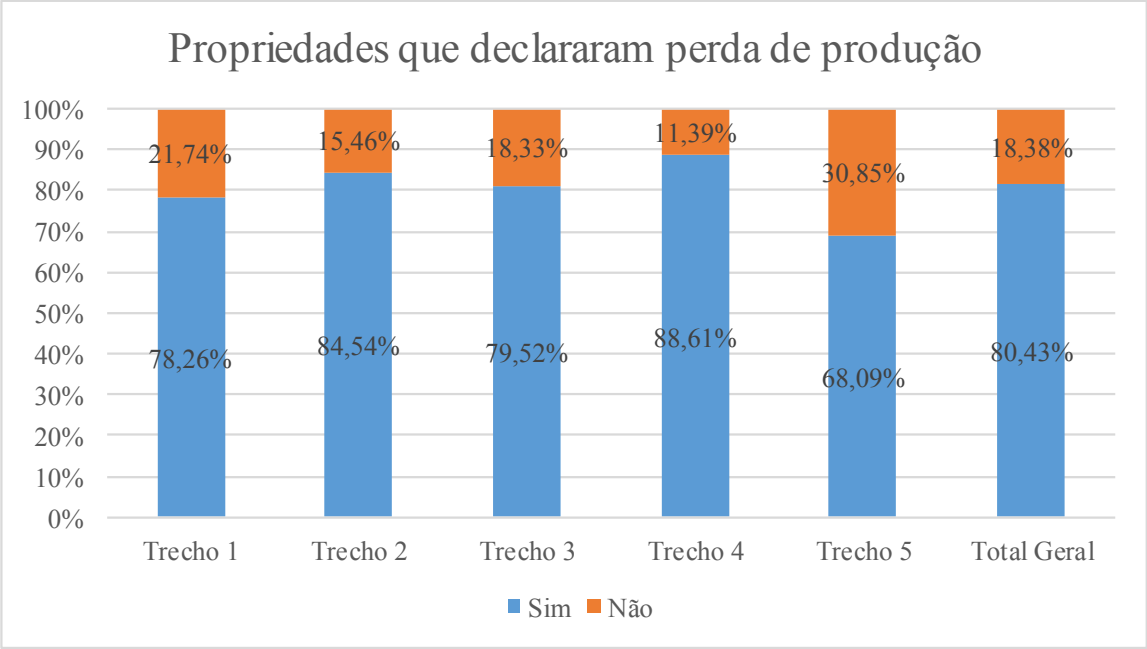
Gráfico 174 - Proprietários que declararam ter tido prejuízos financeiros



Fonte: Elaboração própria.

No Gráfico 175, em sequência, nota-se que em média 80% das propriedades tiveram perda de produção. Verifica-se que esse padrão de comportamento não ocorreu em grande variação expressiva ao longo do curso, trazendo assim um cenário de alto impacto às produções irrigadas.

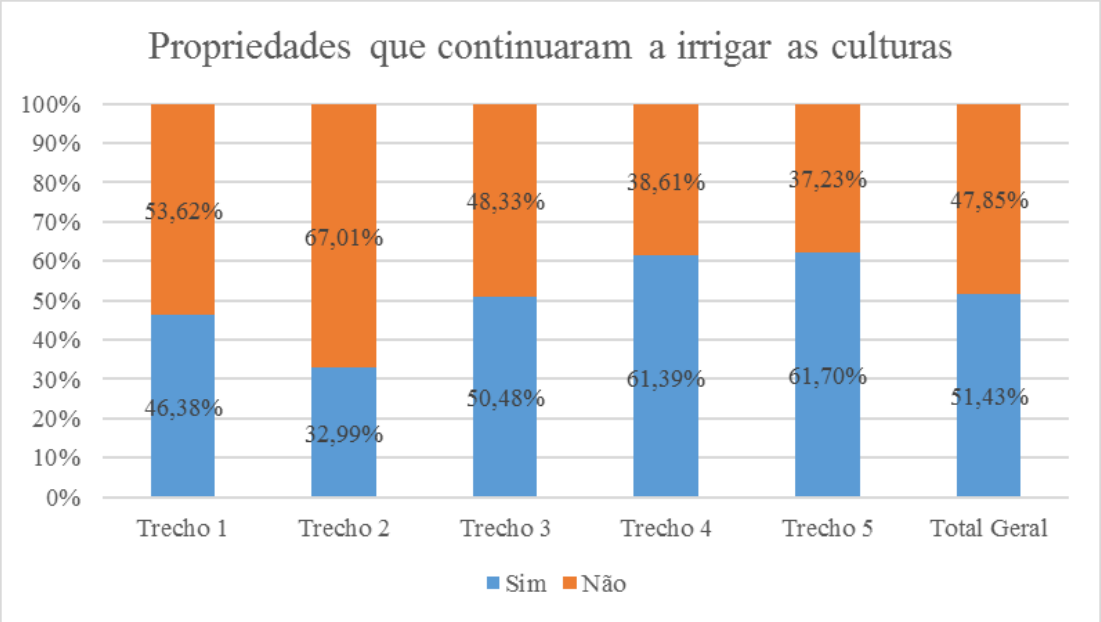
Gráfico 175 - Propriedades que declararam perda de produção



Fonte: Elaboração própria.

No Gráfico 176, a seguir, por sua vez, é possível verificar que, após o rompimento da barragem, 51% das propriedades continuaram a irrigar normalmente, mas aproximadamente 48% pararam em algum momento de irrigar as culturas devido aos altos impactos sofridos durante e após o evento.

Gráfico 176 - Propriedades que continuaram a irrigar as culturas



Fonte: Elaboração própria.

9.5.2 Análise dos Laudos de Indenização

A partir da amostra de coleta e análise das informações em 838 propriedades, escopo do presente trabalho, foi realizado o cruzamento com um quantitativo de 365 laudos de indenização identificados na base de dados da Fundação Renova.

O cruzamento dessas informações foi de fundamental importância para se obter uma média de valor de indenização para as propriedades que realizam cultivos irrigados e de alguma forma foram impactadas pelo evento. Assim, por meio da análise desses 365 laudos, foram obtidos valores de terreno, cultivos, passivo ambiental, máquinas e equipamentos, itens relacionados a danos às propriedades que realizam cultivos irrigados ao longo do curso do rio impactado (Figura 73). A partir destes valores, obteve-se o valor médio de R$ 11.540 por propriedade.

Figura 73 - Valores relativos a danos às propriedades

VALORES DE REPARAÇÃO DE BENS, DANOS E PERDAS							PERDAS ECONÔMICAS	
TERRENO	EDIFICAÇÕES	CULTIVOS	PASSIVO AMB.	SEMOVENTES	MOBÍLIAS	MAQ.&EQUIP.	LUCRO CESSANTE	OCUP. & RENDA
0,00	0,00	2.165,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

VALOR TOTAL DE REPARAÇÃO PATRIMONIAL (R$)	
R$	2.165,64

Fonte: Elaboração própria.

A partir da obtenção de valor médio de R$ 11.540 por propriedade e extrapolado para as 1.384 propriedades do banco de dados, calculou-se um valor estimado de R$ 15.971.837 de reparação do prejuízo para as propriedades irrigadas impactadas (Tabela 19).

Tabela 19 - Valor estimado de reparação do prejuízo das propriedades irrigadas

Descrição	Terreno	Cultivo	Passivo Amb.	Maq. e Equip.	Média P/ Propriedade	Banco de dados Renova	Valor de Idenização estimado
Média dos Valores	**R$ -**	**R$ 10.848**	**R$ -**	**R$ 693**	**R$ 11.540**	**1.384**	**R$ 15.971.837**

Fonte: Elaboração própria.

No capítulo deste documento referente ao "Projeto Conceitual", é demonstrado o modelo de irrigação por aspersor e gotejamento adequado para a melhoria da irrigação das propriedades que realizam produção irrigada com a perspectiva da produção para subsistência e comercialização, segundo a atual conjuntura de qualidade de solo e água identificados.

Esse projeto é, por sua vez, um piloto apresentado em módulo de implantação em um hectare, com os devidos quantitativos de materiais e com um custo de aquisição e implantação estimados.

10 Projeto Básico Conceitual

Após a revisão da versão anterior do estudo de impacto às áreas irrigadas, foi apontado na Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 06 que a Fundação Renova deverá dar "suporte técnico para todos os produtores que tiveram seus sistemas de irrigação impactados e fornecidas captações alternativas quando os parâmetros identificados nas análises de água bruta não forem passíveis de tratamento pelos métodos convencionais".

O Projeto Básico Conceitual aqui apresentado busca integrar aspectos ambientais aos produtivos de lavouras que utilizam sistemas de irrigação que captam água da calha principal impactada, além de avaliação de danos causados. Refere-se à realização de um exercício de tratativas de adequação das culturas e dos sistemas de irrigação bem como a conciliação dos aspectos dos impactos com um modelo que melhor se aproxima da resolução da situação atual da irrigação nas propriedades.

Foram utilizadas como premissas as informações do diagnóstico das propriedades, assim como dos parâmetros avaliados em solo, água e material vegetal. Os dados analisados de água indicaram a necessidade de se ajustarem os equipamentos de irrigação em função do novo *status* de parâmetros relevantes para o alcance dos resultados pretendidos pelos produtores rurais que fazem uso da água superficial captada na calha principal impactada, principalmente no Rio Doce. Como premissas, são indicados os seguintes aspectos no processo de tomada de decisão:

- Parâmetros de metais, como Ferro e Manganês, que, quando em níveis acima do indicado pela legislação ou das referências técnicas, devem ser remediados antes da entrada no sistema de irrigação.
- Necessidade de se intensificar o tratamento de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos que alcançam níveis indesejáveis sazonalmente, relacionado ao regime de chuvas na Área de Estudo.
- Regularização do uso da água por meio de obtenção da outorga de uso da água, bem como regularização do uso do solo pelo CAR.
- Necessidade de se atender a diferentes grupos de culturas, preferencialmente aquelas que predominam na região, possibilitando indicar estimativas de custos para atendimento do universo de produtores rurais inseridos nesse contexto.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

- Sistemas de irrigação que atendam a uma ou mais culturas, com uma estrutura de captação e distribuição que permita adequações futuras aos produtores, com ajustes nos sistemas de aspersão, ou produtores que utilizam um mesmo sistema de irrigação para diferentes espécies ou tipos de culturas.
- Especificidades regionais do manejo das culturas e sistemas de irrigação usualmente utilizados pelos produtores rurais, fortalecendo práticas já consolidadas.
- Foco maior de investimento e tratamento da água em propriedades que apresentam a produção com finalidade de comercialização, em escalas maiores que 1 hectare, que já utilizam sistemas de aspersão.

Este estudo visa, além de relatar o cenário das culturas irrigadas no Rio Doce, apontar um direcionamento de ação com um olhar para a propriedade "da porteira para dentro", com respeito às opções técnicas consolidadas pelo produtor rural, assumindo pilares básicos de condução da melhoria do contexto das culturas irrigadas impactadas:

- Recuperar operacionalmente os sistemas de irrigação impactados (bicos aspersores encrustados por óxidos de ferro ou manganês que se precipitaram, por exemplo).
- Ajustar o sistema de irrigação com foco no incremento da produtividade das culturas impactadas.
- Promover a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas de áreas impactadas.
- Garantir aspectos da sanidade dos alimentos produzidos.
- Prestar assistência técnica até que se retomem as condições normais de operação dos sistemas de irrigação.

Nesta seção, vamos tratar da proposição de sistemas de irrigação e da importância da adoção de medidas de tratos culturais apropriados, devendo a assistência técnica estar contemplada por meio da contratação de um "Programa de Assistência Técnica Continuada". Conciliará as especificidades de produção de cada propriedade que, por sua vez, devem ser inseridas em um contexto de desenvolvimento social e econômico da região. Deve se considerar a existência de sistemas de irrigação não eletrificados, principalmente no médio e baixo Rio Doce. Deve-se buscar, quando possível, atender a demanda de segurança patrimonial dos equipamentos.

No Quadro 17, em sequência, são demonstradas medidas de correção e manejo que minimamente devem ser adotadas no "Programa de Assistência Técnica Continuada".

Quadro 17 - Medidas para a correção do solo

AÇÕES A SEREM QUANTIFICADAS	IMPORTÂNCIA
Calagem	Necessária para diminuir a toxicidade de alumínio e aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas no solo.
Gessagem	Somente se aplica quando alcançar níveis de toxicidade alta por alumínio ou para reposição de enxofre.
Manejo da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica	Cálculo da demanda por adubação e indicação de proporções de NPK desejáveis em adubação de cobertura (i.e.: 4:14:8, 10:10:10, 20:5:20, etc.) ou fertirrigação, bem como adubação natural com caldas, estercos curtidos ou produtos de compostagens.
Adubação orgânica	Indicação de espécies para incorporação de matéria orgânica e nutrientes ao solo, principalmente leguminosas.
Manejo de adubação de micronutrientes	Será avaliada a partir da análise dos solos, considerando interação de micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mn, Cl, Mo e Ni) com elementos da contaminação dos solos por rejeitos e água com traços químicos por contaminação pelo rejeito.
Adubação foliar	Indicada somente para reposição de Zn, principalmente em locais onde os resíduos do rejeito mantêm esse micronutriente indisponível.

Fonte: Fundação Renova (2018).

O desenvolvimento dos projetos de sistemas de irrigação apresentados em sequência, por sua vez, levou em consideração, além das diferentes culturas irrigadas, as variações de complexidade, desde a captação, adutoras, filtragem, tratamento da água, tanques de sedimentação e reservatórios. Também são consideradas as diferentes tecnologias e equipamentos disponíveis no mercado, tais como bombas, mangueiras, caixas de armazenamento, encanamento, filtros e aspersores.

São apresentados em sequência dois modelos de irrigação:

- Captação, tratamento e irrigação **por aspersão.**
- Captação, tratamento e irrigação **por gotejamento.**

10.1 Sistemas de irrigação

10.1.1 Irrigação por Aspersão

Apresentamos nesta seção o dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão para 1 hectare que melhor atenda as culturas compatíveis com esse modelo, tais como hortaliças e forrageiras em geral.

O sistema de irrigação por aspersão é uma técnica que visa suprir a demanda hídrica da cultura pelo fracionamento de um jato de água em gotas lançadas sobre a superfície do terreno, simulando uma chuva intensa e de maneira mais uniforme possível para toda a cultura sob irrigação. A passagem da água sob pressão através de orifícios de pequena dimensão é o que causa o fracionamento do jato. Com o auxílio de um sistema de bombeamento, a água percorre um conjunto de tubulações, gerando a pressão necessária para acionar os aspersores.

O sistema de irrigação por aspersão é composto das seguintes partes: aspersores, acessórios, tubulações (linhas laterais e linha principal) e o conjunto motobomba.

Os aspersores podem ser considerados como o principal componente do sistema de irrigação, pois são os responsáveis pela distribuição da água na superfície do terreno, sob forma de precipitação, através de um bocal responsável pela pulverização do jato d'água. O projeto proposto especificou, inclusive, um tipo de aspersor que regula a pressão de água de maneira que permita que toda a área seja molhada uniformemente, compensando as diferenças de pressão presentes em diferentes partes dos tubos e mangueiras.

Para a montagem do sistema são necessários peças e acessórios, responsáveis pela acomodação da tubulação que conduz a água e sua elevação até os aspersores. Podem-se destacar como principais acessórios: curvas, luvas, registros, "T"s, redução, cotovelo, válvulas, tubo e adaptadores.

As tubulações são responsáveis pela condução da água desde a motobomba até os aspersores. São divididas em linha principal e linhas laterais até os aspersores. O conjunto motobomba é responsável pela captação da água na fonte (sucção), impulsionando-a pelo sistema, sob pressão, até os aspersores. A bomba é responsável pela sucção e recalque da água, proporcionando aos aspersores a pressão de serviço ideal para o seu funcionamento.

10.1.2 Irrigação por gotejamento

A irrigação por gotejamento consiste na aplicação da água pressurizada em apenas uma parte da área irrigada, ou seja, diretamente sobre o sistema radicular da planta, na superfície do solo, por meio de um sistema hidráulico com baixa vazão e alta frequência. Esse tipo de irrigação é bastante utilizado em culturas perenes de produção de frutíferas, café, arbóreas, entre outras.

10.1.3 Tratamento da água

Devido às particularidades identificadas nos relatos dos produtores, pela análise de dados históricos da qualidade da água na bacia e mesmo pelas análises de água realizadas, entre outros aspectos, foi verificado um elevado nível de turbidez na água, que varia bastante ao longo do ano (períodos secos e chuvosos), sólidos suspensos e alguns metais, em destaque para o Ferro (Fe). Esses parâmetros afetam os sistemas de irrigação e podem prejudicar o desenvolvimento das culturas. No caso específico do Ferro, quando associado a bactérias, tende a gerar sobrecarga ao sistema de irrigação, ocasionando entupimentos das mangueiras, tubos e aspersores. O tratamento de água deve ser considerado para as duas formas de irrigação.

Inicialmente, a água bombeada deve passar por uma pequena torre de aeração, onde é iniciado o processo de oxidação dos metais presentes na água. Após essa etapa, a água passa por uma canaleta de decantação onde ocorrerá a precipitação e oxidação dos metais presentes, assim como os demais sólidos suspensos. Essa decantação ocorre de maneira lenta ao longo da canaleta e em um tempo médio de 11 horas. A água já decantada será armazenada e, no momento do bombeamento para a irrigação, passará por dois filtros de areia e de disco. Essa medida previne a entrada de partículas retidas pelo filtro que possam obstruir o sistema de irrigação. Além dos filtros, será injetada uma pequena quantidade de cloro de maneira regulada. Essa medida irá combater a formação de colônias de bactérias, que se associam aos metais dissolvidos presentes em menores concentrações que no momento da captação, que poderiam gerar sobrecarga ao sistema de irrigação.

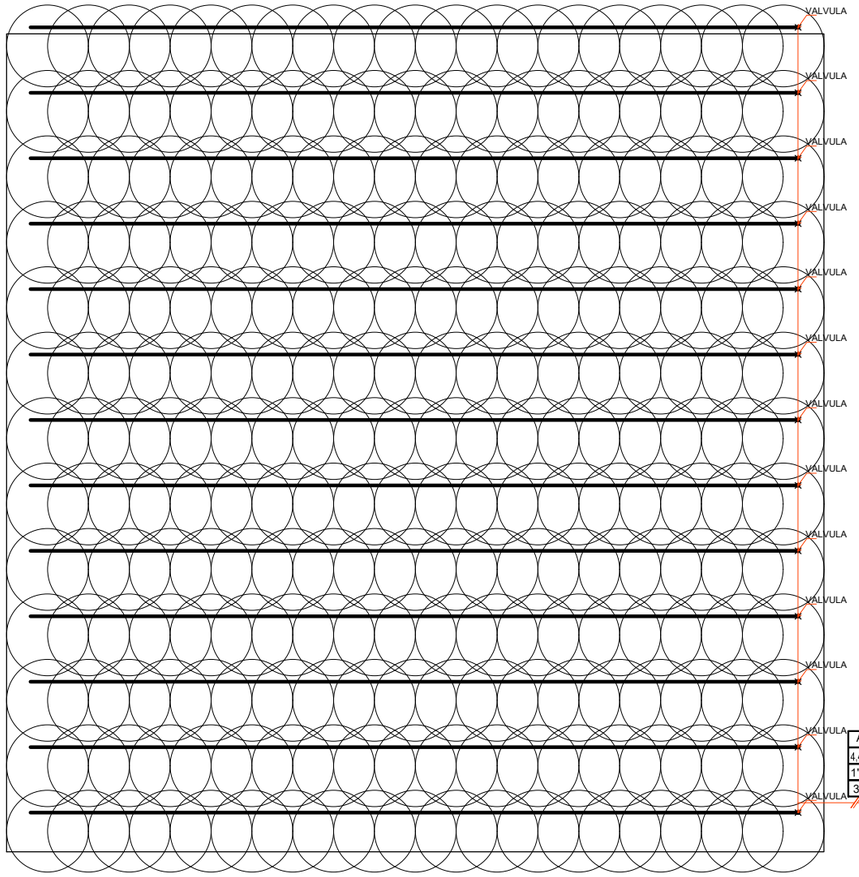
Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

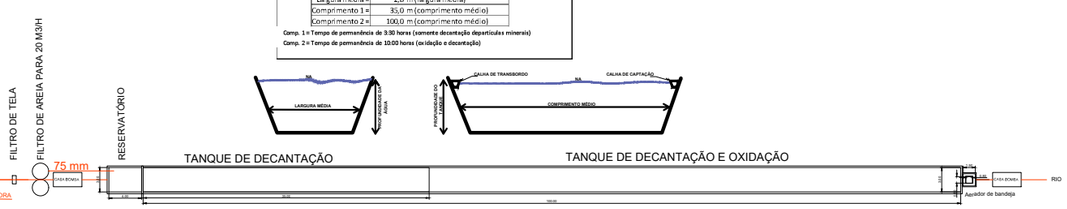
10.1.4 Irrigação das culturas

Cumprida a etapa de tratamento da água, ela será bombeada para as culturas e obedecerá ao tempo de irrigação pela quantidade de água necessária às culturas e segundo as condições climáticas. A aspersão ou o gotejamento podem ter uma frequência maior (mais vezes ao dia) ou por maior período, com mais ou menos água. A seguir, são apresentados os desenhos técnicos dos dois sistemas, contemplando os aspectos técnicos apresentados anteriormente.

10.1.5 Projetos de irrigação

Com o intuito de exemplificar e dimensionar os sistemas de irrigação propostos como Projeto Conceitual, foram elaboradas plantas baixas para o projeto de irrigação por aspersão (Figura 74 – Irrigação Planta I) e por gotejamento (Figura 75 – Irrigação Planta II). Essas propostas poderão ser implementadas como um projeto piloto, para avaliação da adequabilidade aos produtores de cada um dos trechos analisados.





Tratamento continuo - Cl

Com tempo de aplicação de 1 hora mais o tempo de avanço

Concentração de cloro do produto comercial	10	%
Vazão do sistema de irrigação	20	m³/h
Vazão do injetor de fertlizantes	100	l/h
Tempo de avanço	60	min.
Volume de cloro para injetar no sistema	2,0	litros
Tempo de aplicação	2,00	horas
Volume de água para diluir o cloro *	198	l/h

*No tanque do injetor de fertilizantes

Importante: Preencher somente as células de cor azul

Tratamento continuo com 5 ppm de Cl

Legenda

—	tubogotejador Naan Taldrip 1,7 l/h
75 mm 50 mm	diâmentro do tubo
⊠⊠	válvulas
—	adutora em tubos de 75 mm
A1	válvula
4,42	litros/hora
1"	diâmetro da válvula
38	precipitação em mm/h
CASA BOMBA	bomba, controlador e quadro elétrico

embaúba AMBIENTAL

Rua Apucarana, 525
Ouro Preto - BH - MG
Fone: (31) 2512-6455

Cliente: FUNDAÇÃO renova

Nº Contrato: 4800008016

Data: Agosto / 2018

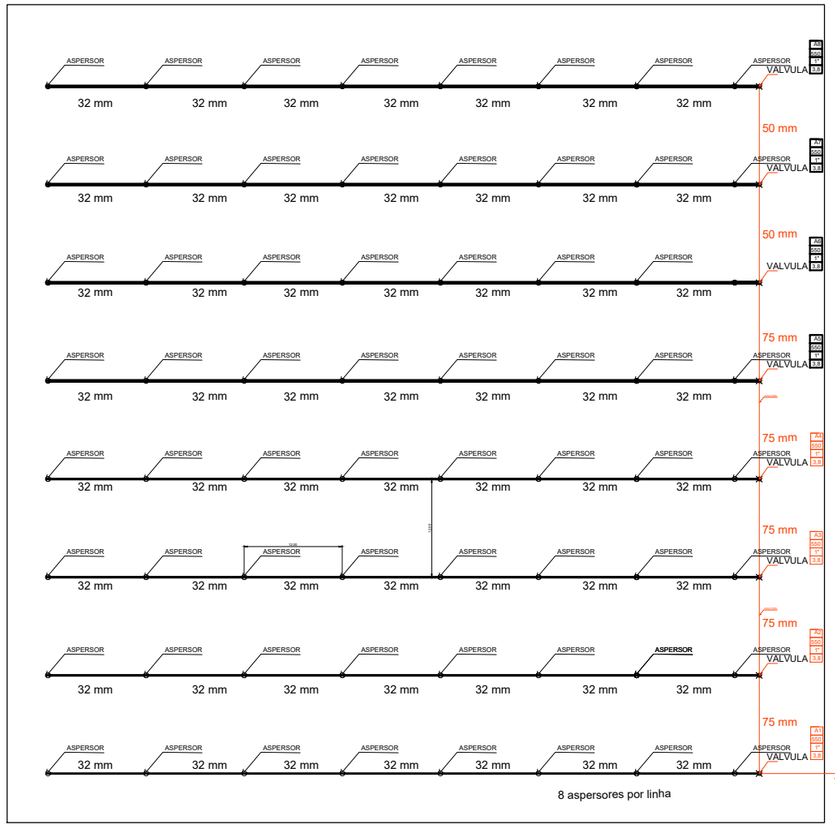
Projeto: REVISÃO DO ESTUDO DE IRRIGAÇÃO

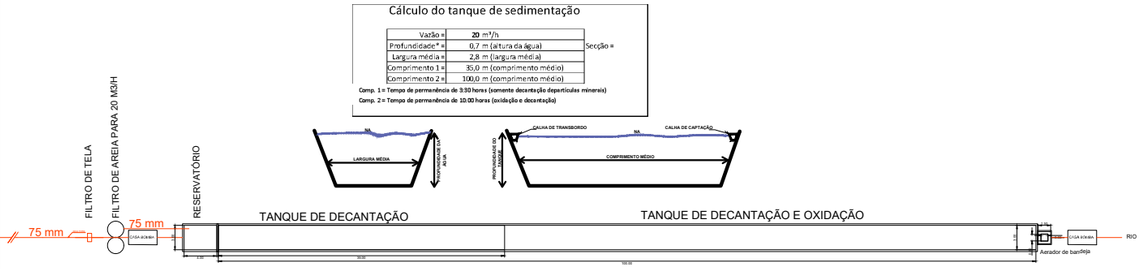
Engº Resposável:
Edmundo Queiroz Lopes...CREA nº 13023/d
Everson P. Abreu.....CREA nº 81143/d

Escala: 1:750

Titulo: SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Número da Folha: **Figura - 74**





Cálculo do tanque de sedimentação

Vazão =	20 m³/h	Secção =
Pmfundidade* =	0,7 m (altura da água)	
Largura média =	2,8 m (largura média)	
Comprimento 1 =	35,0 m (comprimento médio)	
Comprimento 2 =	100,0 m (comprimento médio)	

Comp. 1 = Tempo de permanência de 3:30 horas (somente decantação dopersticulas minerais)
Comp. 2 = Tempo de permanência de 10:00 horas (oxidação e decantação)

VÁLVULAS	VAZÃO M3/h	DU	SC
SETOR A1	4,40 M3 /h	0,79	1,3
SETOR A2	4,40 m3/h	0,79	1,3
SETOR A3	4,40 m3/h	0,79	1,3
SETOR A4	4,40 m3/h	0,79	1,3
SETOR A5	4,40 m3/h	0,79	1,3
SETOR A6	4,40 m3/h	0,79	1,3
SETOR A7	4,40 m3/h	0,79	1,3
SETOR A8	4,40 m3/h	0,79	1,3

Legenda

- tubulação
- 75 mm / 50 mm — diâmetro do tubo
- válvulas
- aspersor Super 10 550l/h
- adutora em tubos de 75 mm
- A1 — válvula/registro
- 550 — litros/segundo
- 1" — diâmetro da válvula
- 3,8 — precipitação em mm/h
- CAIXA ACIMA — bomba, quadro elétrico

BOMBA 5 CV BC-22 R 1 1/4
VAZÃO DE 18,3 M3/H A 3,8 BAR

embaúba AMBIENTAL

Rua Apucarana, 525
Ouro Preto - BH - MG
Fone: (31) 2512-6455

Cliente: FUNDAÇÃO renova

Nº Contrato: 4800008016

Data: Agosto / 2018

Projeto: REVISÃO DO ESTUDO DE IRRIGAÇÃO

Engº Resposável:
Edmundo Queiroz Lopes...CREA nº 13023/d
Everson P. Abreu.....CREA nº 81143/d

Escala: 1:750

Título: SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPEÇÃO

Número da Folha: **Figura - 75**

10.1.6 Formação do quantitativo e custo da irrigação

Na sequência, demonstramos os custos de implantação da irrigação de gotejamento e aspersão, os quais foram dimensionados a partir das quantidades de equipamentos definidos em projeto. Buscaram-se referências de equipamentos de reconhecida eficiência para a obtenção de custos unitários estimados.

A primeira parte (Tabela 20) é de formação do custo da captação e do tratamento e armazenamento de água e é comum aos dois sistemas de irrigação, como segue:

Tabela 20 - Formação do custo da captação, tratamento e armazenamento da água

Descrição	Qtd	Vr. unitário	Valor Total
Captação e tratamento de água			**R$ 13.811,20**
Bomba 1,5 vc scheneider BC-92 S/T 1C	1	R$ 1.350	R$ 1.350,00
Bomba 5 vc scheneider BC-22 R 1 1/5	1	R$ 3.330	R$ 3.330,00
Aerador de bandeja	1	R$ 350	R$ 350,00
Cola PVC 850 g	1	R$ 45	R$ 45,00
Curva 45 75 mm	10	R$ 17	R$ 170,00
Curva longa 90 75 mm	8	R$ 17	R$ 136,00
Curva registro 1 1/4" x 3"	1	R$ 10	R$ 10,00
Fita isolante	1	R$ 8	R$ 8,00
Fita veda rosca	1	R$ 12	R$ 12,00
Lixa de ferro	4	R$ 3	R$ 10,00
Luva 75 mm	10	R$ 8	R$ 75,00
Luva redução 75 x 50 mm	6	R$ 7	R$ 42,00
Serra starret	2	R$ 7	R$ 14,00
Registro de 1"	8	R$ 12	R$ 96,00
Registro de 75 mm	4	R$ 95	R$ 380,00
Tê 75	6	R$ 20	R$ 120,00
Tê 75 x 32	8	R$ 18	R$ 144,00
Válvula de pé 3"	1	R$ 295	R$ 295,00
Adaptador Microtubo 12/8mm ranhuraxfêmea 504.0039	64	R$ 25	R$ 1.600,00
Adaptador 2" x50mm	2	R$ 3	R$ 6,00
Cap 1"	2	R$ 2	R$ 4,60
Adaptador Macho Compressão DE 32 X 1"	64	R$ 2	R$ 96,00
Adaptador Fêmea1/2 p/ base macho 1/2	64	R$ 3	R$ 211,20
Tubo PE flex 12.09.0 em metro	64	R$ 3	R$ 166,40
Filtro de disco de 3"	2	R$ 670	R$ 1.340,00
Conjunto de filtro de areia completo com válvulas de retrolavagem automatizado	1	R$ 1.000	R$ 1.000,00
Tubo de 50 mm	1	R$ 28	R$ 28,00
Tubo de 75 mm	20	R$ 52	R$ 1.040,00
União c/ anel liso p/tubo PE 16mm	64	R$ 1	R$ 64,00
Tubo 32 mm	120	R$ 14	R$ 1.668,00

Fonte: Elaboração própria.

Em sequência, Tabela 21, demonstramos o custo da parte específica à microaspersão.

Tabela 21 - Custo específico da microaspersão

Irrigação por Aspersão			**R$ 32.339,70**
Adaptador femea1/2 p/ base macho 1/2	502	3,30	R$ 1.656,60
Tubo PE flex 12.09.0 em metro	1506	2,60	R$ 3.915,60
União c/ anel liso p/tubo PE 16mm	502	1,00	R$ 502,00
Adaptador 50 mm x 2"	40	3,00	R$ 120,00
Aspersor Naan 435	134	42,00	R$ 5.628,00
Aspersor Naan 427 existente	39	42,00	R$ 1.638,00
Aspersor Naan SUPER 10	329	35,00	R$ 11.515,00
Caixa simplast	23	25,00	R$ 575,00
Cap 100 mm	3	16,00	R$ 48,00
Cola PVC 850 g	2	43,00	R$ 86,00
Colar 3/4 50 mm	16	9,00	R$ 144,00
Curva longa 90 100 mm	8	35,00	R$ 280,00
Curva longa 90 75 mm	8	17,00	R$ 136,00
Curva registro 1 1/4 x 4"	1	10,00	R$ 10,00
Fita veda rosca	3	12,00	R$ 36,00
Lixa d'água	5	2,50	R$ 12,50
Luva redução 100 x 75 mm	6	12,00	R$ 72,00
Luva redução 75 x50 mm	40	7,50	R$ 300,00
Tê 100	6	40,00	R$ 240,00
Tê 75	40	10,00	R$ 400,00
Tê 50	20	8,00	R$ 160,00
Tubo de 100 mm	40	110,00	R$ 4.400,00
Curva 45 50 mm	15	10,00	R$ 150,00
Curva 45 75 mm	10	15,00	R$ 150,00
Luva 75 mm	15	7,50	R$ 112,50
Luva 50 mm	15	3,50	R$ 52,50
TOTAL			**R$ 46.150,90**

Fonte: Elaboração própria.

O valor de aspersão é totalizado pela **primeira parte + custo da aspersão** em R$ 46.150,90.

A seguir, Tabela 22, demonstramos o custo da parte específica do gotejamento.

Tabela 22 - Custo específico do gotejamento

Irrigação por gotejo			**R$2.873,50**
Microaspersor hadar verde 87 l/h	108	R$ 5	R$486,00
TubogotejadorNaan Taldrip de 1,7 l/h parede de 25 mil em metros	1500	R$ 1	R$900,00
Tubo de 50 mm	10	R$ 28	R$280,00
Válvula limpadora de linha	14	R$ 34	R$476,00
Cap 50mm	1	R$ 4	R$3,50
Tubo de 50 mm	20	R$ 28	R$560,00
Conecção inicial com registro	14	R$ 11	R$154,00
Chula	14	R$ 1	R$14,00
TOTAL			**R$16.684,70**

Fonte: Elaboração própria.

O valor do gotejo é totalizado pela **primeira parte + custo do gotejo** em R$16.684,70.

11 Síntese e Análise Integrada dos Dados

Quadro 18 - Síntese dos dados

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Físico	Relevo	Relevo variável ao longo da Área de Estudo.	As características do relevo influenciaram na forma da deposição do material detrítico nas unidades geomorfológicas.	A forma de uso do solo pela classe de áreas cultivadas guarda relação com as características do relevo, privilegiando os terraços e planícies adjacentes à calha impactada.	Os sistemas de irrigação são projetados de acordo com as características do relevo, considerando os desníveis desde a captação até o ponto de aspersão, considerando também aspectos do próprio rio, no ponto de captação.	As grandes unidades geológicas e de solos estão relacionadas com o relevo que se diferencia desde a montante, no Quadrilátero Ferrífero, até o sistema estuarino na foz do Rio Doce.
	Geologia	Diversidade de unidades geológicas.	A existência de elementos químicos que provocam fitotoxicidade tem origens diversas, inclusive antrópica.	A influência da qualidade e características físico-químicas da água nas culturas pode acarretar respostas agrícolas diversas.	Captações subterrâneas tem características físico-químicas diversas, influenciadas pela diversidade geológica.	Existe relação entre os tipos geológicos, dos solos e características da água.
		Deposição de material detrítico composto principalmente pela fração silte e argilosa/coloidal + solos + sedimentos.	O material se depositou na calha do Rio Doce, nas planícies e terraços aluvionares, pelo comportamento de cheias sazonais, em geral bianuais, assim como da onda de material detrítico proveniente do rompimento da barragem em 2015	Prejuízos temporários ao desenvolvimento das culturas ou alterações permanentes no solo.	Não se aplica ou não se constatou em campo.	Alteração das características físico-químicas dos solos nessas áreas, destacando as formas de manejo de plantio na vazante.

Continuação

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Físico	Geologia	Presença de minerais ricos em elementos tóxicos quimicamente estáveis.	Dificuldade de se determinar origem de elementos químicos totais, semitotais ou biodisponíveis.	A influência das características físico-químicas dos solos nas culturas pode acarretar respostas agrícolas diversas, dependente de aspectos geoquímicos.	Presença de metais pesados na água com captação subterrânea ou superficial pode variar em função dos aspectos da geologia local.	Aspectos do manejo podem influenciar e ser influenciados pela presença de elementos tóxicos (biodisponíveis) ou pela disponibilidade de macro e micronutrientes. Variam em função do pH e/ou pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro, em diferentes concentrações.
		Grande diversidade de minerais na região a montante da Área de Estudo, no Quadrilátero Ferrífero.	Deposição de minerais e elementos pelo transporte de materiais de áreas a montante.	Deposição de minerais e elementos químicos diversos exógenos às áreas cultivadas, quando houve a deposição de material detrítico.	Sobrecarga ou danos no momento do deslocamento da onda de materiais detríticos pela calha principal impactada e nas margens, em áreas cultivadas.	Interações físico-químicas diversas com os solos e a água.
		O *background* da região, referente aos dados de metas pesados e elementos químicos tóxicos presentes no solo, indicam níveis naturais de ocorrência de potenciais contaminantes à água e solos.	Além do rejeito proveniente da barragem, o material detrítico apresentou níveis altos de metais pesados e elementos químicos tóxicos presentes naturalmente nos solos e sedimentos da Área de Estudo.	Os índices naturais do *background* são encontrados nos solos, em toda a Área de Estudo.	Os índices naturais do *background* são encontrados nas águas, em toda a Área de Estudo.	Geologia e Geoquímica regional.
	Hidrografia	A extensão da calha impactada tem 702 km.	A extensão da calha impactada na Área Ambiental 1 se estendeu da região a montante da bacia até a foz.	As áreas cultivadas mais próximas à calha tem maior potencial de impacto pelo rompimento da barragem.	Sistemas de captação instalados na calha foram potencialmente danificados ou totalmente perdidos em função do rompimento.	Alteração persistente da qualidade da água superficial e, supostamente, das subterrâneas adjacentes.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Físico	Hidrografia	Área de contribuição de cada sub-bacia.	A vazão de cada sub-bacia contribui para a autodepuração da calha principal impactada	As áreas cultivadas irrigadas utilizam a água drenada pelas sub-bacias.	Essas drenagens podem se tornar alternativas às captações presentes na calha principal.	Contribuição para a formação do *background* na calha principal, pela contribuição da drenagem total da Bacia do Rio Doce.
		Existência de cursos d'água contribuintes impactados.	Áreas com deposição de material detrítico podem ter extrapolado a calha principal impactada, principalmente a montante ou nos sistemas lagunares.	Áreas cultivadas às margens do curso d'água, tanto no Trecho 1 (principais impactos), como nos demais trechos, puderam ser diagnosticadas no estudo.	Alterações de fonte de captação de água da calha principal para cursos d'água adjacentes próximos pode não resolver aspectos da qualidade da água.	Necessidade de avaliação de áreas além do *buffer*, contempladas neste estudo.
	Solos	Grande diversidade de solos existentes na Área de Estudo.	Solos com afinidade fluvial, próximo à calha principal impactada, tiveram alterações físico-químicas.	Inclusão de uma variação de solo (*technosoil*) a uma ampla matriz diversa de solos naturais.	Possível alteração da capacidade de campo nos *technosoils* formados.	Alterações na forma de manejo das culturas, alteração de culturas ou impedimento de cultivos em função de incorporação de material detrítico.
		Alteração das texturas de solos.	Os trechos com deposição de material detrítico tiveram suas características texturais modificadas, de formas diferentes nos diferentes trechos.	Alteração do potencial produtivo para culturas usualmente utilizadas nessas áreas.	Possível alteração da capacidade de campo nos *technosoils* formados.	Necessidade de alteração no manejo do solo e das culturas, incluindo a substituição de áreas cultivadas.
		Presença de solos tiomórficos.	Não existe correlação com o rompimento da barragem, ocorrendo de forma natural no Trecho 5.	Os solos tiomórficos apresentam grande quantidade de enxofre que se oxida, liberando ácidos fortes, prejudicando áreas cultivadas, inviabilizando o uso para fins de cultivo.	Podem comprometer todo o sistema de irrigação.	Podem afetar diretamente o manejo dos solos, na perspectiva agrícola, quando manejados de forma indevida.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Físico	Uso e ocupação do solo	Presença de solos expostos ou erodidos em toda a área de contribuição da Bacia do Rio Doce.	Não existe correlação com o rompimento da barragem, sendo presente historicamente na região.	O uso intensivo do solo pode acarretar a ampliação de áreas degradadas, assim como a substituição de áreas impactadas pela deposição de material detrítico.	Relação direta com aumento de sólidos totais (suspensos e dissolvidos), incrementando a deposição sedimentar na calha principal impactada.	Assoreamento do curso principal do rio, principalmente na região de foz, com aumento de perda de *solum*, afetando o ganho financeiro da pecuária.
		Degradação da vegetação nativa em áreas de APP às margens de cursos d'água e nascentes.	A onda de material detrítico teve impacto direto nas áreas de APP com vegetação nativa a montante da Área de Estudo.	Perda de serviços ambientais (polinização, proteção do solo, qualidade de recursos hídricos e proteção da fauna nativa) que beneficiam as áreas cultivadas.	Diminuição de quantidade e qualidade da água.	Aumento de processos erosivos.
		Presença de áreas urbanas próximas à calha principal impactada no médio e baixo Rio Doce.	Deposição de material detrítico em propriedades nas áreas urbanas e conurbanas próximas às margens da calha principal impactada.	Impacto nos quintais produtivos e pequenas áreas da agricultura urbana ou da agricultura familiar.	Substituição da captação de água superficial da calha principal impactada para, principalmente, sistemas públicos de abastecimento, mas também de poços ou cisternas.	Impacto financeiro nos gastos mensais com o consumo de água.
		Presença de extensas áreas protegidas no Parque Estadual do Rio Doce.	Não mensurado.	Áreas com impedimento de cultivo.	Contribuição para a melhoria da qualidade da água.	Municípios não contemplados com esse estudo, em função da existência dessa UC.
		Presença de extensas áreas de silvicultura no médio Rio Doce.	Áreas impactadas pela deposição de material detrítico pouco expressivas e não quantificadas.	Grandes áreas de silvicultura em poucas propriedades, principalmente no médio Rio Doce.	Irrigação utilizada em viveiros comerciais para o desenvolvimento de mudas e em áreas cultivadas.	Pequeno impacto encontrado para essas áreas.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Físico	Clima	Variações climáticas ao longo da Área de Estudo.	Não tem relação com o rompimento da barragem.	Adequabilidade de culturas em função do clima.	Necessidade de irrigação em áreas mais quentes e com menor pluviosidade, para compensação do déficit hídrico.	Influência direta na fenologia e desenvolvimento das culturas agrícolas, assim como da forma de manejo ao longo da Área de Estudo.
		Oscilação da distribuição média de chuvas ao longo das últimas décadas.	Não tem relação com o rompimento da barragem.	Perda de ano agrícola ou diminuição da produtividade.	Necessidade de utilização da irrigação em períodos em que historicamente ocorreriam chuvas suficientes e regulares.	Correlação com a utilização excessiva de água para irrigação em períodos chuvosos, com a ressuspensão de sólidos totais (suspensos ou dissolvidos).
	Background e Geoquímica da Área de Estudo	Os dados secundários do Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Doce indicam a presença natural de elementos químicos constatados em estudos de caracterização geoquímica do material detrítico.	Esses elementos químicos, presentes nos solos e sedimentos dos cursos d'água, foram incorporados ao material detrítico.	A deposição de material detrítico nas margens da calha principal impactada, principalmente no Trecho 1, provocou alterações nos solos.	A presença de elementos químicos na água pode estar correlacionada com a deposição no sedimento e lixiviação do material detrítico gerado com o rompimento da barragem, com maiores ou menores concentrações, variando com o elemento químico avaliado.	Tem correlação com a geologia, solos, hidrogeologia e aspectos socioeconômicos.
		Os estudos geoquímicos realizados com o material detrítico apontam índices altos de elementos químicos (tóxicos ou metais pesados), pontualmente ao longo da bacia, com especial atenção no Trecho 1.	A origem dos elementos não está relacionada diretamente ao rejeito, contudo a dinâmica do rompimento da barragem de rejeito causou uma onda de material detrítico que incorporou esses diferentes elementos, depositando o material detrítico nas margens e no fundo da calha principal impactada.	Os elementos químicos, quando se tornam biodisponíveis, podem comprometer as áreas cultivadas, causando fitotoxicidade.	Os elementos químicos que causam fitotoxicidade podem estar presentes na água, além de, em alguns casos, comprometerem mecanicamente os sistemas de captação e irrigação das culturas.	Podem interagir com os nutrientes do solo.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Antrópico	Fontes de contaminação diversas	Áreas de aproveitamento minerário regulares ou irregulares.	Contribuição na participação com materiais diversos na composição dos materiais detríticos da onda gerada pelo rompimento da barragem.	Incorporação de elementos químicos tóxicos ao solo.	Contaminação da água com elementos químicos tóxicos dissolvidos e incremento de sólidos totais.	Impactos ambientais inerentes à atividade minerária.
		Lançamento de efluentes residenciais e industriais (regulares ou não) principalmente no médio Rio Doce.	Contribuição na participação com materiais diversos na composição dos materiais detríticos da onda gerada pelo rompimento da barragem.	Impacto direto nas áreas de várzea cultivadas nas margens do Rio Doce, nos Trechos de 2 a 5, na época das cheias sazonais, em manejos adotados por comunidades ribeirinhas.	Piora na qualidade da água do rio, utilizada para a irrigação.	Eutrofização dos sistemas lagunares.
Aspectos legais	Áreas de Preservação Permanente - APP	Áreas às margens da calha principal impactada estão também inseridas em áreas de APP.	As áreas com deposição de material detrítico, em geral, se encontram em áreas de APP.	São encontradas áreas cultivadas consolidadas em APP, destacando-se áreas de pastagem ou utilização de técnicas de cultivo em vazante.	A implementação de sistemas de irrigação pode ser caracterizada como intervenções pontuais em áreas de APP, a depender do porte da captação.	Aspectos referentes às formas de acesso e utilização tradicionais dos recursos naturais devem ser mais bem avaliados.
	Registro de outorga do uso da água	87,5% das propriedades avaliadas não têm outorga de captação de água.	Não existe impacto objetivo nas outorgas proveniente do rompimento da Barragem do Fundão.	Esse é um aspecto muito sensível apontado pelo estudo, já que se configura uma situação de irregularidade no desenvolvimento de cultivos com irrigação.	As outorgas se aplicam a situações específicas, como a captação de água superficial ou subterrânea.	Do total de propriedades vistoriadas, 20,17% são provenientes do abastecimento público, não se aplicando, portanto, o registro de outorgas. Estas estão inclusas nos 87,5% que não possuem outorga.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Aspectos legais	Cadastro Ambiental Rural - CAR	Apenas 20,88% das propriedades avaliadas apresentam CAR (Fonte: dados de vistoria nas propriedades).	Após o rompimento da Barragem do Fundão, a Fundação Renova vem desenvolvendo, junto aos produtores rurais, a elaboração do CAR das propriedades próximas à calha principal impactada.	A delimitação de áreas de APP, Reserva Legal e das áreas utilizadas com finalidade agrícola, deve ser feita no momento da elaboração dos Programas de Regularização Ambiental (PRAs).	Sem correlação direta.	Pelo menos 30,63% das propriedades cadastradas no SGC se encontram em localidades como área urbana, localidades em áreas rurais, áreas conurbadas ou distritos, onde não se aplica a obrigatoriedade do CAR ou são propriedades de pequeno porte (Fonte: análise espacializada de dados do SGC).
Socioeco-nomia	Propriedades impactadas	O SGC da Fundação Renova indicou 1.442 propriedades com potencial de haver impactos nos sistemas de irrigação, incluindo irrigação manual, com um recorte de 1.384 propriedades no *buffer* de 2 km.	Essas propriedades foram cadastradas no contexto do rompimento da Barragem do Fundão, sendo avaliados impactos diversos, incluindo os nas áreas cultivadas irrigadas.	Essas propriedades, no momento do cadastro, indicaram áreas cultivadas, destacando hortaliças, culturas perenes ou anuais.	A captação da água ocorria principalmente na calha principal impactada, com impactos apontados pelos proprietários.	A distribuição das propriedades tem relação com aspectos do meio físico e socioeconômicos.
	Ocupação variável de áreas com potencial agrícola	Aumento da densidade de propriedades a jusante, com a presença de grandes propriedades de cultivo de eucalipto no médio Rio Doce e de maior concentração de propriedades com culturas irrigadas no médio e baixo Rio Doce.	As áreas mais impactadas têm menor densidade de áreas cultivadas, incluindo as áreas irrigadas.	As áreas de topografia mais plana são mais apropriadas ao cultivo.	Captação de água foi modificada com a percepção pelos produtores rurais de alteração da qualidade da água.	Aspectos socioeconômicos dos municípios a jusante são relevantes no contexto do impacto, já que na região do médio e baixo Rio Doce há maior percentual de propriedades do município na Área Ambiental 1.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Socioeco-nomia	Residentes em propriedades com culturas irrigadas	A partir dos dados de vistoria, foi constatada uma média de 3,6 moradores por propriedades.	Estimam-se 4.982 pessoas residentes em propriedades com culturas irrigadas potencialmente impactadas.	As pessoas que residem nessas propriedades estão envolvidas na produção agrícola em áreas cultivadas.	Os residentes são responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas de captação e irrigação.	Existe correlação com o número de pessoas por município.
	Estrutura fundiária	As propriedades possuem tamanhos em torno de 1 módulo fiscal (33 hectares, média de Minas Gerais), caracterizadas como pequenas propriedades rurais, da Agricultura Familiar, totalizando 59 mil hectares, distribuídos em 1.384 propriedades.	Em números absolutos, a maior parte das propriedades impactadas são pequenas, com tamanho médio de 42,51 hectares.	As áreas cultivadas com irrigação variam em função do tamanho das propriedades.	As pequenas propriedades apresentam sistemas de irrigação de pequeno porte ou artesanal.	O tamanho das propriedades varia com os espaços nos municípios (urbano, rural, distritos, localidades rurais e conurbano).
	Comercialização de produtos de áreas cultivadas irrigadas	56% das propriedades não comercializam a produção, que pode ser atribuída ao consumo das próprias famílias.	Existe uma correlação direta (produção comercializada) e indireta (consumo próprio) dos impactos com as fontes de renda das famílias.	As áreas cultivadas fornecem alimentos para as próprias famílias.	Os sistemas de irrigação são compatíveis com os propósitos da produção nas áreas cultivadas.	Aspectos da indenização e adequação dos sistemas de irrigação devem considerar os objetivos da produção.
	Culturas agrícolas em áreas irrigadas nas propriedades vistoriadas	Predominam os cultivos de hortaliças e frutíferas.	As áreas de culturas anuais possivelmente tiveram perdas de cultivos inteiros, enquanto as culturas perenes tiveram perdas parciais ou de produtividade.	As áreas cultivadas são diversificadas nas propriedades avaliadas e se destinam a culturas diversas, enquadradas em grupos principais.	Uma mesma captação pode ser destinada para diferentes culturas, com diferenciação ou não do sistema de irrigação.	Aspectos da indenização e adequação dos sistemas de irrigação devem considerar os diferentes tipos de cultura.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Socioeconomia	Métodos de irrigação	As propriedades vistoriadas apresentam diferentes métodos de irrigação, destacando-se a irrigação artesanal e por aspersores.	Os impactos aos sistemas de irrigação variam em função dos métodos de irrigação utilizados.	Os sistemas de irrigação artesanal estão relacionados a pequenas áreas cultivadas, com diferentes espécies cultivadas, tornando-se mais complexos com o aumento das áreas e da especificidade dos cultivos.	Alterações na captação após o rompimento podem estar relacionadas aos métodos de irrigação utilizados.	Estrutura fundiária e perfil de agricultura (Agricultura Familiar ou cultivos comerciais).
	Presença de práticas de manejo específicas	As práticas agropecuárias apresentam especificidades regionais.	As práticas tradicionais de cultivo na vazante podem ter sido comprometidas parcialmente a jusante de Candonga.	As áreas cultivadas apresentam formas de manejo diversas.	As práticas de cultivo em vazante possivelmente não apresentavam sistemas de irrigação fixos, em função da dinâmica das cheias nas planícies de inundação.	Aspectos da indenização e adequação dos sistemas de irrigação devem considerar práticas agrícolas específicas.
Aspectos agronômicos	Macronutrientes	Constatação de teores normais de macronutrientes no solo.	Não se constatou relação com o rompimento da Barragem do Fundão.	Níveis adequados de macronutrientes em função do manejo (adubação e correção do solo).	Índices de pH indesejáveis e presença de elementos metálicos na água podem prejudicar práticas de fertirrigação.	Diferentes tipos de solos requerem diferentes tipos de adubação e correção; uso excessivo de insumos agrícolas pode contaminar a água.
	Micronutrientes	Constatação de teores elevados de alguns micronutrientes (Fe, Mn e Zn).	O rejeito pode ter contribuído para o aporte desses micronutrientes, principalmente Fe.	Índices indesejáveis de micronutrientes impactam as áreas cultivadas.	Presença de Fe e Mn em níveis indesejáveis na água comprometem a mecânica dos sistemas de irrigação, além de serem adicionados às áreas cultivadas.	Impacto na produtividade das culturas.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Aspectos agronô-micos	pH no solo	Constatação de níveis de pH alto (acima de 6).	Não foi constatada correlação.	Necessidade de correção, já que acarreta a diminuição da disponibilidade de nutrientes; dificuldade de se corrigir pH básico.	O pH do solo pode ser alterado pela irrigação com água de características básicas.	Manejo inadequado do solo, principalmente pelo uso excessivo de corretivo.
	Culturas agrícolas em áreas irrigadas	Sintomas visuais de deficiência nutricional ou de toxidez.	Os altos teores de Fe no solo causam intoxicação às plantas (altas concentrações natural ou de origem no material detrítico)	Raramente encontrada nas áreas cultivadas, em geral de pequenas propriedades, com cultivos mistos.	A qualidade da água pode provocar sintomas de deficiência nutricional ou de toxidez.	Perdas econômicas na produção.
	Metais pesados	A presença de metais pesados totais ou semitotais nas análises de estudos anteriores não implica biodisponibilidade para as plantas.	São encontradas contaminações pontuais, com destaque para As e Hg nas planícies de inundação	Metais pesados biodisponíveis presentes no solo em níveis superiores aos normais para as culturas pode causar sintomas de fitotoxicidade.	Metais pesados dissolvidos na água em níveis superiores aos limites legais podem causar sintomas de fitotoxicidade.	Pode afetar a saúde humana e tem correlação com a geoquímica da bacia do Rio Doce.
Qualidade da água	Sólidos suspensos	Níveis altos sem precedente na série histórica do IGAM, principalmente em 2015 e 2016.	Correlação direta com o deslocamento de material detrítico, desde a Barragem do Fundão até a foz, com tendência de retorno aos níveis históricos, já a partir do primeiro ano.	Material depositado nas várzeas, às margens da calha principal impactada, prejudicando áreas cultivadas.	Comprometimento severo do sistema de irrigação.	Correlação com a dinâmica de chuvas na Área de Estudo.

Meio / contextos	Item	Pontos de destaque	Correlação com o rompimento da Barragem do Fundão	Correlação com as áreas cultivadas	Correlação com a captação da água e os sistemas de irrigação	Correlações com outros aspectos
Qualidade da água	Sólidos dissolvidos	Níveis altos sem precedente na série histórica do IGAM, apresentando, ainda em 2017, níveis indesejáveis.	Correlação direta com o deslocamento de material detrítico e sedimentação do material, desde a Barragem do Fundão até a foz, atualmente sem tendência de retorno aos níveis históricos a partir do Trecho 2.	Sólidos dissolvidos podem carrear íons de metais pesados ou elementos tóxicos para as culturas.	Os sólidos e alguns íons dissolvidos na água podem obstruir aspersores e outros componentes dos sistemas de irrigação.	Correlação com a dinâmica de chuvas na Área de Estudo.
	Ferro e Manganês	Esses elementos metálicos sempre estiveram presentes em elevadas concentrações na água.	Possivelmente contribuiu para elevação das concentrações desses elementos, tendo o Ferro uma resposta tardia.	Podem ser adicionados às áreas cultivadas pela irrigação.	Presença de Fe e Mn em níveis indesejáveis na água comprometem a mecânica dos sistemas de irrigação.	Correlação com solos e geologia da Área de Estudo.
	pH	Aumento médio dos valores de pH.	Correlação com o rompimento da barragem no Trecho 1, não sustentando níveis elevados nos demais trechos em Minas Gerais.	Pode prejudicar o desenvolvimento das culturas.	O pH indesejável pode interferir na fertirrigação e provocar a precipitação de elementos metálicos.	Geologia, hidrografia e geoquímica.
Externali-dades	Aspectos Históricos	A Área de Estudo vem acumulando impactos desde o século XVII, com o início do ciclo do ouro.	O deslocamento de material detrítico possivelmente ressuspendeu materiais depositados historicamente, por processos de extração mineral.	As áreas cultivadas a montante foram historicamente impactadas.	Não apresenta correlação.	Deposição de metais pesados no solo e sedimentos em áreas de garimpo histórico.
	Infraestrutura de Barragens	As barragens das UHEs ao longo da calha principal impactada funcionaram como reguladores do fluxo do material detrítico.	Os impactos gerados pelo deslocamento do material detrítico a jusante foram minimizados pela existência das barragens das UHEs.	A deposição de material detrítico nas margens dos cursos d'água foi menos intensa a jusante de cada barragem.	Os impactos de materiais detríticos suspensos, em números absolutos, foram, supostamente, menores de montante a jusante da calha principal.	Dinâmica e composição de deposição de material detrítico ao longo da calha principal impactada.

Fonte: Elaboração própria.

11.1 Análise integrada dos dados

O presente capítulo de análise integrada dos dados visa demonstrar de forma clara e resumida a situação do solo, água, plantas e sistemas de irrigação ao longo do Rio, avaliados nos trabalhos de campo e, quando necessário, complementados com estudos já realizados e divididos nos 5 trechos de recortes de análises do projeto. Procurou-se nesta seção refletir as análises dos dados descritos no capítulo 9 e apontar os caminhos para a posterior solução dos problemas identificados.

Os resultados de cada um dos principais parâmetros são demonstrados no entorno do quadrado e variam entre: verde – Adequado (dentro dos limites legais); amarelo – Requer adequação (estão relacionados a níveis regulares até ruins do parâmetro); e vermelho – Requer maiores adequações (níveis acima do definido legalmente ou classificados como ruins).

A partir da análise de todos os parâmetros e aspectos para solo, folha, água e dano da irrigação é dado o resultado no centro do quadro para cada grupo de análise e em cada trecho do rio.

De uma forma didática, esse quadro-resumo apresenta os principais parâmetros das análises e os aspectos avaliados para danos à irrigação nas propriedades. No centro de cada aspecto em análise são dadas respostas da situação: “Adequado” em verde, “Requer Adequação” em amarelo e “Requer maiores adequações” (solos, vegetais e água) ou com maior demanda nos sistemas de irrigação, em vermelho, como segue:

Adequado
Requer adequação
Requer maiores adequações ou grande demanda (irrigação)

Conforme os resultados, são apontados os caminhos de adoção de manejo de culturas por meio da assistência técnica continuada e proposição de adequação do sistema de irrigação previstos no “Projeto Conceitual”. Vide Figura 76, em sequência:

Figura 76 - Principais parâmetros das análises e aspectos avaliados para danos à irrigação nas propriedades

<table>
<tr><th>Trecho</th><th colspan="4">Solo</th><th colspan="4">Água</th><th colspan="4">Folha</th><th colspan="2">Dano a Irrigação</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Trecho I - Fundão a Candonga</td><td>pH</td><td>Na (ISNa)</td><td>Al (m)</td><td>V</td><td>Ph</td><td>Na</td><td>Fe</td><td>Mg</td><td>P</td><td>N</td><td>Ca</td><td>Mg</td><td rowspan="5">Sistema de Irrigação comprometidos, com sobrecarga ou com alteração na frequência de manutenção</td><td>Ressarcimento de prejuízo Financeiro</td></tr>
<tr><td>P</td><td colspan="2" rowspan="4">A presença de [Fe] no solo em teores acima do desejável ocorre significativamente nas amostras, o que também é compatível com a presença nativa desse elmento no solo da Área de Estudo.</td><td>Fe</td><td>Bicarbon.</td><td colspan="2" rowspan="4">As séries históricas do IGAM mostram a elevação da [Fe] em 2008 e 2018, relacionado à reccorência de chuvas intesas em período de recorrência de 10 anos.</td><td>Turbidez</td><td>Ni</td><td colspan="2" rowspan="4">As [Fe] nas folhas assumiram médias elevadas, originados da ocorrência naturual desse elemento nos solos e no material detrítico. Para As, não existem referências técnicas, necessitando aprofundamento com outros estudos.</td><td>Fe</td><td rowspan="4">Ressarcimento de perdas de produção</td></tr>
<tr><td>S</td><td>Mn</td><td>B</td><td>K</td><td>S</td><td>Mn</td></tr>
<tr><td>B</td><td>Zn</td><td>Sólidos Dissolv.</td><td>Mn</td><td>B</td><td>Zn</td></tr>
<tr><td>Cu</td><td>Mat. Orgânica</td><td>Ca</td><td>Sólidos Suspen.</td><td>Cu</td><td>Cr</td></tr>
<tr><td>Condut. Elétrica</td><td colspan="2">As</td><td>Hg</td><td>K</td><td>Carbonatos</td><td>Cloreto</td><td>Condut. Elétrica</td><td>Sulfato</td><td>Cd</td><td>As</td><td>Hg</td><td>K</td><td colspan="2">Necessidade de adequação do Manejo da Cultura</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Trecho II - Candonga a Baguari</td><td>pH</td><td>Na (ISNa)</td><td>Al (m)</td><td>V</td><td>Ph</td><td>Na</td><td>Fe</td><td>Mg</td><td>P</td><td>N</td><td>Ca</td><td>Mg</td><td rowspan="5">Sistema de Irrigação comprometidos, com sobrecarga ou com alteração na frequência de manutenção</td><td>Ressarcimento de prejuízo Financeiro</td></tr>
<tr><td>P</td><td colspan="2" rowspan="4">A presença de [Fe] no solo em teores acima do desejável ocorre em XX% das amostras, o que também é compatível com a presença nativa desse elmento no solo da Área de Estudo. A presença de [As] ocorre pontualmente nos solos.</td><td>Fe</td><td>Bicarbon.</td><td colspan="2" rowspan="4">As séries históricas do IGAM mostram a elevação da [Fe] em 2008 e 2018, relacionado à reccorência de chuvas intesas em período de recorrência de 10 anos.</td><td>Turbidez</td><td>Ni</td><td colspan="2" rowspan="4">As [Fe] nas folhas assumiram médias elevadas, originados da ocorrência naturual desse elemento nos solos e no material detrítico. Para As, não existem referências técnicas, necessitando aprofundamento com outros estudos, com teores elevados no Trecho 2.</td><td>Fe</td><td rowspan="4">Ressarcimento de perdas de produção</td></tr>
<tr><td>S</td><td>Mn</td><td>B</td><td>K</td><td>S</td><td>Mn</td></tr>
<tr><td>B</td><td>Zn</td><td>Sólidos Dissolv.</td><td>Mn</td><td>B</td><td>Zn</td></tr>
<tr><td>Cu</td><td>Mat. Orgânica</td><td>Ca</td><td>Sólidos Suspen.</td><td>Cu</td><td>Cr</td></tr>
<tr><td>Condut. Elétrica</td><td colspan="2">As</td><td>Hg</td><td>K</td><td>Carbonatos</td><td>Cloreto</td><td>Condut. Elétrica</td><td>Sulfato</td><td>Cd</td><td>As</td><td>Hg</td><td>K</td><td colspan="2">Necessidade de adequação do Manejo da Cultura</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Trecho III - Baguari a Marcarenhas</td><td>pH</td><td>Na (ISNa)</td><td>Al (m)</td><td>V</td><td>Ph</td><td>Na</td><td>Fe</td><td>Mg</td><td>P</td><td>N</td><td>Ca</td><td>Mg</td><td rowspan="5">Sistema de Irrigação comprometidos, com sobrecarga ou com alteração na frequência de manutenção</td><td>Ressarcimento de prejuízo Financeiro</td></tr>
<tr><td>P</td><td colspan="2" rowspan="4">A presença de [Fe] no solo em teores acima do desejável ocorre significativamente nas amostras, o que também é compatível com a presença nativa desse elmento no solo da Área de Estudo.</td><td>Fe</td><td>Bicarbon.</td><td colspan="2" rowspan="4">As séries históricas do IGAM mostram a elevação da [Fe] em 2008 e 2018, relacionado à reccorência de chuvas intesas em período de recorrência de 10 anos.</td><td>Turbidez</td><td>Ni</td><td colspan="2" rowspan="4">As [Fe] nas folhas assumiram médias elevadas, originados da ocorrência naturual desse elemento nos solos e no material detrítico. Para As, não existem referências técnicas, necessitando aprofundamento com outros estudos.</td><td>Fe</td><td rowspan="4">Ressarcimento de perdas de produção</td></tr>
<tr><td>S</td><td>Mn</td><td>B</td><td>K</td><td>S</td><td>Mn</td></tr>
<tr><td>B</td><td>Zn</td><td>Sólidos Dissolv.</td><td>Mn</td><td>B</td><td>Zn</td></tr>
<tr><td>Cu</td><td>Mat. Orgânica</td><td>Ca</td><td>Sólidos Suspen.</td><td>Cu</td><td>Cr</td></tr>
<tr><td>Condut. Elétrica</td><td colspan="2">As</td><td>Hg</td><td>K</td><td>Carbonatos</td><td>Cloreto</td><td>Condut. Elétrica</td><td>Sulfato</td><td>Cd</td><td>As</td><td>Hg</td><td>K</td><td colspan="2">Necessidade de adequação do Manejo da Cultura</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Trecho IV - Marcarenhas a Linhares</td><td>pH</td><td>Na (ISNa)</td><td>Al (m)</td><td>V</td><td>Ph</td><td>Na</td><td>Fe</td><td>Mg</td><td>P</td><td>N</td><td>Ca</td><td>Mg</td><td rowspan="5">Problema ao Sistema de Irrigação</td><td>Ressarcimento de prejuízo Financeiro</td></tr>
<tr><td>P</td><td colspan="2" rowspan="4">A presença de [Fe] no solo em teores acima do desejável ocorre significativamente nas amostras, o que também é compatível com a presença nativa desse elmento no solo da Área de Estudo.</td><td>Fe</td><td>Bicarbon.</td><td colspan="2" rowspan="4">As séries históricas do IGAM mostram a elevação da [Fe] em 2008 e 2018, relacionado à reccorência de chuvas intesas em período de recorrência de 10 anos. A [Sólidos Dissolvidos] oscila ao longo ano, em patamares maiores que da série histórica do IGAM.</td><td>Turbidez</td><td>Ni</td><td colspan="2" rowspan="4">As [Fe] nas folhas assumiram médias elevadas, originados da ocorrência naturual desse elemento nos solos e no material detrítico. Para As, não existem referências técnicas, necessitando aprofundamento com outros estudos.</td><td>Fe</td><td rowspan="4">Ressarcimento de perdas de produção</td></tr>
<tr><td>S</td><td>Mn</td><td>B</td><td>K</td><td>S</td><td>Mn</td></tr>
<tr><td>B</td><td>Zn</td><td>Sólidos Dissolv.</td><td>Mn</td><td>B</td><td>Zn</td></tr>
<tr><td>Cu</td><td>Mat. Orgânica</td><td>Ca</td><td>Sólidos Suspen.</td><td>Cu</td><td>Cr</td></tr>
<tr><td>Condut. Elétrica</td><td colspan="2">As</td><td>Hg</td><td>K</td><td>Carbonatos</td><td>Cloreto</td><td>Condut. Elétrica</td><td>Sulfato</td><td>Cd</td><td>As</td><td>Hg</td><td>K</td><td colspan="2">Necessidade de adequação do Manejo da Cultura</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Trecho V - Linhares à Foz do Rio Doce</td><td>pH</td><td>Na (ISNa)</td><td>Al (m)</td><td>V</td><td>Ph</td><td>Na</td><td>Fe</td><td>Mg</td><td>P</td><td>N</td><td>Ca</td><td>Mg</td><td rowspan="5">Problema ao Sistema de Irrigação</td><td>Ressarcimento de prejuízo Financeiro</td></tr>
<tr><td>P</td><td colspan="2" rowspan="4">A presença de [Fe] no solo em teores acima do desejável ocorre significativamente nas amostras, o que também é compatível com a presença nativa desse elmento no solo da Área de Estudo.</td><td>Fe</td><td>Bicarbon.</td><td colspan="2" rowspan="4">As séries históricas do IGAM mostram a elevação da [Fe] em 2008 e 2018, relacionado à reccorência de chuvas intesas em período de recorrência de 10 anos.</td><td>Turbidez</td><td>Ni</td><td colspan="2" rowspan="4">As [Fe] nas folhas assumiram médias elevadas, originados da ocorrência naturual desse elemento nos solos e no material detrítico. Para As, não existem referências técnicas, necessitando aprofundamento com outros estudos.</td><td>Fe</td><td rowspan="4">Ressarcimento de perdas de produção</td></tr>
<tr><td>S</td><td>Mn</td><td>B</td><td>K</td><td>S</td><td>Mn</td></tr>
<tr><td>B</td><td>Zn</td><td>Sólidos Dissolv.</td><td>Mn</td><td>B</td><td>Zn</td></tr>
<tr><td>Cu</td><td>Mat. Orgânica</td><td>Ca</td><td>Sólidos Suspen.</td><td>Cu</td><td>Cr</td></tr>
<tr><td>Condut. Elétrica</td><td colspan="2">As</td><td>Hg</td><td>K</td><td>Carbonatos</td><td>Cloreto</td><td>Condut. Elétrica</td><td>Sulfato</td><td>Cd</td><td>As</td><td>Hg</td><td>K</td><td colspan="2">Necessidade de adequação do Manejo da Cultura</td></tr>
</table>

Fonte: Elaboração própria.

* Alguns parâmetros de água, tais como Ferro, Magnésio e Turbidez, foram obtidos das análises de monitoramento do IGAM em Minas Gerais. Esses não foram avaliados nas amostras coletadas em campo, mas são de fundamental importância para o contexto da água na irrigação. Em adição, as médias identificadas no trecho II e III foram consideradas para os demais IV e V de maneira a refletir uma uniformidade de análises para todos os parâmetros. Os danos ã irrigação são avaliados por si, sem correlação com outros materiais analisados.

12 Análise de impacto

Os impactos mais significativos encontrados na Área de Estudo (Figura 79) definidos como importantes referem-se a:

- alteração da qualidade do solo (pós-rompimento), com alteração de micronutrientes no solo em destaque (Fe, Mn, Zn, Cu e B);
- impactos nas propriedades, culturas e sistemas de irrigação, a partir de relados dos produtores rurais, principalmente na alteração do manejo do solo e das culturas;
- alteração da qualidade da água, com origens diferentes (material detrítico, *background*, efluentes domésticos ou industriais de núcleos urbanos na Área de Estudo), seja pelas concentrações elevadas de Ferro e Manganês, comprometendo o desenvolvimento das culturas, com inibição do desenvolvimento radicular e parte aérea, incluindo redução da superfície foliar, seja pelo aumento das médias históricas da turbidez, principalmente pelos sólidos suspensos e dissolvidos na água.

Os impactos encontrados em solos e plantas não foram significativos. Foram encontrados impactos pontuais (exceto Ferro) e a relação de nexo causal não atribui relação com o rejeito em si, mas sim com o material detrítico gerado com o rompimento da Barragem Fundão. Os relatos dos proprietários sobre o impacto às culturas são provenientes de autodeclaração e alterações na produtividade não foram medidas.

Quanto à alteração das características do solo, até o início dos estudos, as informações dos impactos na Área Ambiental 1 mencionavam alterações ocorridas a montante da Área de Estudo. Nessa região, no Trecho 1, existem áreas naturais, preservadas como reservas de vegetação nativa, em áreas das mineradoras do Quadrilátero Ferrífero, com poucas áreas agriculturadas, principalmente no município de Mariana. Essas áreas agrícolas se tornam mais frequentes próximas à divisa desse município com Barra Longa. Nesse trecho inicial, destacam-se comunidades rurais que foram impactadas severamente pelo rompimento da barragem, principalmente Gesteira e Paracatu de Baixo, com destaque aos impactos à comunidade de Bento Rodrigues. Na sede do município de Barra Longa, muitos dos quintais produtivos da área urbana foram impactados com a acumulação de uma grande camada de mistura de rejeitos.

O que se observou em campo foi que as áreas de inundação às margens da calha principal foram impactadas pela deposição de material fino, na descida do material detrítico,

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

ampliando a deposição desse material nas chuvas subsequentes, em 2016 e 2017, quando ocorreram cheias nessas áreas. Esse fenômeno pode ser observado a partir de imagens de satélite (Figura 77) e não se restringem apenas às margens, mas também ocorrem nas ilhas fluviais.

Figura 77 – Ilha fluvial do Rio Doce



Fonte: Google Earth (2018).

Legenda: Ilha fluvial no Rio Doce, em Periquito (-19.166000° S / -42.239426° O) em dois momentos: acima, em período de seca anterior ao rompimento da barragem (26/09/2014); abaixo, com pontos de inundação com material coloidal (09/02/2016), três meses após o rompimento.

Quando analisados os dados de mapeamento das áreas cultivadas, ocorreu apenas 0,1% de variação entre T0 e T1+T2. Assim, como um todo, foi muito pouco significativa. Porém, quando avaliado por trecho, o Trecho 1 teve alteração de -6,95% entre T0 e T1+T2. Entre as perdas de áreas cultivadas, destacam-se, aqui, as de áreas cultivadas na comunidade de Bento Rodrigues.

Ao avaliar a distribuição dos registros do SGC no cadastro, constatou-se a ocorrência de alguns fora da área do *buffer*. Aqueles na região do dique que regula o fluxo de águas no Rio Corrente, no município de Periquito, chamaram a atenção, em função do possível avanço do material detrítico a montante desse rio. Esse dique regulariza o fluxo das águas nos momentos de cheia do Rio Doce (Figura 77).

Foram avaliadas áreas de agricultura às margens dos remansos existentes na área alagada do Rio Corrente. Apesar de os proprietários rurais apontarem impactos em seus sistemas de irrigação em função do rompimento da Barragem do Fundão, o que se observa é o isolamento do avanço do material detrítico a montante do Rio Corrente. Notam-se, tanto no Rio Doce quanto no Rio Baguari, em dezembro de 2015, águas turvas, mas com colorações diferentes, inferindo-se a presença de diferentes materiais e a contenção, pelo dique, do avanço do material dissolvido na água (Figura 78).

Figura 78 - Barragem de Baguari e dique no Rio Corrente, Periquito [16/12/2015 (-19.031724° S / -42.131891° O]



Fonte: Google Earth (2018).

A seguir, será vista a matriz de avaliação dos impactos causados pelo rompimento da Barragem do Fundão (Figura 79).

Figura 79 – Matriz de avaliação dos impactos causados às áreas cultivadas com sistema de irrigação pelo rompimento da Barragem do Fundão

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Impactos nas propriedades, culturas e sistemas de irrigação (percepção dos produtores rurais)	Perda de produção (culturas anuais ou bianuais)	Impactos às culturas de ciclo rápido (anuais ou bianuais), com perdas de safras inteiras no ano agrícola de 2016, em função de processos diversos, como a deposição de material detrítico ou comprometimento do sistema de irrigação.	N	D/I	R	T	3	1	1	2	6	**D**
	Atraso no desenvolvimento de culturas perenes	Impactos às culturas perenes, com perdas de safras inteiras no ano agrícola de 2016, incluindo o atraso no desenvolvimento da cultura, em função de processos diversos, como a deposição de material detrítico ou comprometimento do sistema de irrigação.	N	D/I	R	T	3	1	1	2	6	**D**
	Diminuição da produtividade	A diminuição da produtividade se dá pela alteração das características do solo, da contaminação da água e pela deterioração do sistema de irrigação, o que acarreta aumento da mortandade de plantas (culturas perenes) e da produtividade geral (perenes, anuais ou bianuais).	N	I	I/R	T	1	2	2	1	4	**D**
	Substituição das culturas cultivadas	A substituição de culturas pode ocorrer quando existem alterações drásticas nas características do meio físico ou do sistema de irrigação.	N	D/I	I/R	T	1	1	1	1	1	**D**
	Alteração do manejo do solo e das culturas	As alterações do manejo da cultura podem ser percebidas pelo agricultor, pela alteração da qualidade e quantidade de insumos utilizados para correção e adubação do solo, assim como da dinâmica da irrigação, refletindo em equipamentos, tempo e frequência das regas.	N	D/I	I/R	T	3	3	3	2	54	**I**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Impactos nas propriedades, culturas e sistemas de irrigação (percepção dos produtores rurais)	Perda de áreas cultiváveis	Áreas com grande quantidade de material detrítico depositado, convertidas para outras finalidades, como preservação de APP.	N/P	D/I	I/R	T	1	1	2	2	4	**D**
	Perda parcial ou completa de sistemas de irrigação	Com o deslocamento a jusante da onda de material detrítico, ocorreram danos aos sistemas de irrigação em seus diferentes componentes (captação, distribuição e aspersão).	N	D/I	R	T	2	1	1	3	6	**D**
	Sobrecarga aos sistemas de irrigação	As alterações da qualidade da água, principalmente em parâmetros que influenciam na dinâmica da mecânica dos equipamentos de irrigação, tendo persistido com níveis muito maiores que o histórico na calha principal impactada por um período curto ou persistido com patamares mais altos e picos altos.	N	D/I	R/I	L/T	3	3	2	2	36	**S**
	Mudança na fonte de captação de água	Devido à diminuição da qualidade da água na captação original, assim como pela desconfiança sobre a qualidade atual da água, muitos produtores se viram com a necessidade de abertura de poços ou a utilização de água proveniente de sistemas de abastecimento público, nesse caso, para pequenas áreas cultivadas.	N	I	R	L	3	3	3	1	27	**S**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Risco de contaminação das culturas por metais pesados biodisponíveis, pela utilização da água na irrigação	Contaminação da água pela incorporação de material detrítico no ecossistema do rio	Captação de água na calha principal dos cursos d'água impactados.	N	I	R	L	3	1	2	1	6	**D**
	Contaminação do lençol freático	Captação de água em poços artesianos ou semiartesianos próximos às margens dos cursos d'água impactados.	N	I	R	L	1	1	1	1	1	**D**
	Traços de contaminantes em água de sistemas de abastecimento públicos	Irrigação a partir de água fornecida por sistemas públicos de abastecimento, tratadas a partir da captação em poços ou da água superficial próximo ou da calha principal impactada.	N	I	R	L	2	1	1	1	2	**D**
	Contaminação da água superficial, subterrânea ou de sistemas de abastecimento públicos, que não tenham relação com o rejeito ou dinâmica do rompimento da Barragem do Fundão	Efluentes domésticos ou industriais; atividades de garimpo ou minerárias ao longo da calha principal impactada; disposição indevida de resíduos domésticos, agrícolas ou industriais; contaminação de *background*; contaminações diversas não constatadas até o momento.	N	D/I	R/I	L	3	2	2	3	36	**S**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Incorporação de rejeitos, frações de rejeitos ou mistura de rejeitos, solos e sedimentos às camadas superficiais dos solos de áreas cultivadas com irrigação	Alteração das características físicas do solo pela deposição/incorporação de solo+rejeito, formando *technosoil*	Grande volume de rejeito completo + solos + sedimentos, material com fração arenosa fina, média e grossa, assim como silte e fração argila. O material foi depositado em calhas e planícies ou terraços aluvionares dos Rios Gualaxo, do Carmo e trecho inicial do Rio Doce, nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, incluindo as localidades de Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo, Gesteira e o Reservatório de Candonga – Trecho 1 Estudo de Irrigação, correspondendo aos Trechos 1 a 12 do Plano de Manejo de Rejeitos.	N	D	R/I	T	3	1	1	3	9	**D**
		Comparativamente ao trecho anterior, há uma diminuição no volume de material detrítico transportado, mas ainda se encontra composto, principalmente pela fração silte e argilosa/coloidal de rejeitos + solos + sedimentos. O material se depositou na calha do Rio Doce, nas planícies e terraços aluvionares do Rio Doce, nos municípios Sem Peixe, Rio Casca, São José do Goiabal, Ipatinga, Belo Oriente, Naque, Periquito e Fernandes Tourinho – Trecho 2 Estudo de Irrigação, correspondendo ao Trecho 13 do Plano de Manejo de Rejeitos.	N	D/I	R	T	3	2	2	2	24	**S**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Incorporação de rejeitos, frações de rejeitos ou mistura de rejeitos, solos e sedimentos às camadas superficiais dos solos de áreas cultivadas com irrigação	Alteração das características físicas do solo pela deposição/incorporação de solo+rejeito, formando *technosoil*	Comparativamente ao trecho anterior, a UHE de Baguari parece ter diminuído, novamente, o volume de material detrítico transportado, mas ainda assim, como no trecho anterior, é composto, principalmente, pela fração silte e argilosa/coloidal de rejeitos + solos + sedimentos, com diminuição de partículas arenosas, advindas do rejeito, mas de outras fontes, carreados pelos processos erosivos nas sub-bacias. O material se depositou na calha do Rio Doce, nas planícies e terraços aluvionares do Rio Doce, nos municípios Aimorés, Alpercata, Conselheiro Pena, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Resplendor e Tumiritinga – Trecho 3 Estudo de Irrigação, correspondendo ao Trecho 14 do Plano de Manejo de Rejeitos.	N	D/I	R	T	2	2	2	2	16	**S**
		Comparativamente ao trecho anterior, a UHE de Mascarenhas não alterou o volume e composição de material detrítico transportado, sendo incorporados materiais advindos de outras fontes, carreados pelos processos erosivos nas sub-bacias. O material se depositou na calha do Rio Doce, nas planícies e terraços aluvionares do Rio Doce, nos municípios Baixo Guadu, Colatina, Marilândia e em Linhares, nesse último entre seu limite a oeste e a área urbana da sede do município – Trecho 4 Estudo de Irrigação, correspondendo ao Trecho 15 do Plano de Manejo de Rejeitos	N	D/I	R	T	2	2	2	2	16	**S**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Incorporação de rejeitos, frações de rejeitos ou mistura de rejeitos, solos e sedimentos às camadas superficiais dos solos de áreas cultivadas com irrigação	Alteração das características físicas do solo pela deposição/incorporação de solo+rejeito, formando *technosoil*	Comparativamente ao trecho anterior, ocorrem mudanças em função da dinâmica da paisagem e complexidade dos sistemas lagunares e estuarinos. O volume e composição de material detrítico transportado pelo evento não foi alterado, sendo os materiais incorporados a esses ambientes, advindos também de outras fontes. O material se depositou na calha do Rio Doce, nas planícies e terraços aluvionares do Rio Doce e, em menor escala, nas lagunas e sistema estuarino no município de Linhares, próximo à foz – Trecho 5 Estudo de Irrigação, correspondendo ao Trecho 16 do Plano de Manejo de Rejeitos.	N	D/I	R	T	2	2	2	2	16	**S**
Suspensão de sedimentos (obras atuais)	Ressuspensão de materiais detríticos	Em função de obras de engenharia nos diques, dragagem no Reservatório de Candonga e obras de remoção de material detrítico.	N	D/I	R	L/T	1	3	3	2	18	**S**
Alteração da qualidade da água (pós-rompimento)	Aumento das médias históricas da turbidez (principalmente pelos sólidos suspensos e dissolvidos na água)	Origem diversa, tanto pelo material detrítico quanto de áreas degradadas, mas principalmente pelo material detrítico, alterando a qualidade da água utilizada na irrigação, em toda a Área Ambiental 1.	N	D/I	R	L/T	3	3	3	3	81	**I**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Alteração da qualidade da água (pós-rompimento)	Concentrações elevadas de Ferro e Manganês, comprometendo o desenvolvimento das culturas, com inibição do desenvolvimento radicular e parte aérea, incluindo redução da superfície foliar.	Origens diversas, mas fortemente associadas ao material detrítico formado pelo rompimento da Barragem do Fundão, sendo que esses elementos apresentavam altas concentrações no rejeito.	N	I	R	L/T	3	3	3	2	54	**I**
	Oscilação do pH da água, com amplitude variando em índices maiores que 6,5	Alteração das características físico-químicas do sedimento, sazonais e oscilação natural.	N	I	R	L/T	3	3	3	1	27	**S**
Alteração da qualidade do solo (pós-rompimento)	pH: solos em faixa de pH fora dos padrões agrícolas	A alteração da relação do potencial hidrogeniônico (pH) do solo interfere na absorção/disponibilidade de nutrientes ou elementos tóxicos às plantas, com potencial de alterar aspectos do manejo do solo, para o desenvolvimento das culturas.	N/P	D/I	R	T	1	2	2	1	4	**D**
	Condutividade elétrica	Aumento de concentração de sais no solo.	N/P	D/I	I	T	1	1	1	1	1	**D**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Alteração da qualidade do solo (pós-rompimento)	Alteração de macronutrientes no solo [nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)]	Interação com outros elementos incomuns aos solos contaminados, com alterações em função do pH ou saturação de bases, assim como aumento excessivo, intoxicando as plantas.	P	NA	R	T	1	1	1	1	1	D
	Alteração de micronutrientes no solo [ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) e cloro (Cl)]	Interação com outros elementos incomuns aos solos contaminados, com alterações da disponibilidade em função do pH.	N/P	D/I/ NA	R	T	2	3	1	1	6	D
		Aumento excessivo pela deposição de material detrítico, ou pela água, intoxicando as plantas nesses casos.	N	D/I	R/I	T	3	2	3	2	36	I
	Alteração matéria orgânica do solo	Diminuição da MO nas camadas superficiais do solo, nas planícies de inundação a montante de Candonga, no Trecho 1.	N	D	R	T	1	1	1	2	2	D
	Alteração da saturação por alumínio	Aumento da quantidade de alumínio no solo ou em função do pH.	N	NA	R	T	1	1	1	1	1	D
Contaminação do solo por metais pesados (semitotais – pós-rompimento)	Metais pesados no solo que podem se tornar biodisponíveis para absorção pelo sistema radicular das plantas	Atividade antrópica, deposição de material detrítico, somado a grandes variações do pH e do potencial de oxirredução do solo.	N	D/I	R	T/L	2	1	1	3	6	D

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS ÀS ÁREAS CULTIVADAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO												
Impactos	**Aspectos**	**Origem**	**Classificação dos Impactos**									
			Natureza	**Forma**	**Reversibilidade**	**Requisitos legais e técnicos**	**Abrangência**	**Frequência**	**Probabilidade**	**Severidade**	**Subtotal**	**Significância**
Contaminação do solo por metais pesados (semitotais – pós-rompimento)	Diminuição da disponibilidade e/ou absorção de nutrientes	Interação dos metais pesados com os nutrientes. Esse é um aspecto extremamente variável em função do tipo de solo, dos elementos químicos e da espécie vegetal.	N	D/I	R/I	T/L	2	1	1	3	6	**D**
Contaminação do solo por metais pesados (biodisponíveis – pós-rompimento)	Intoxicação das plantas	Comprometimento no desenvolvimento das culturas, podendo gerar inibição do crescimento do sistema radicular, perda de produtividade ou mortandade de plantas.	N	D/I	R/I	T	2	1	1	3	6	**D**
	Comprometimento da saúde humana	Alimentos com índices não desejáveis de metais pesados.	Está sendo tratado no âmbito do Estudo de Avaliação Ambiental de Risco à Saúde Humana – piloto em andamento									

Fonte: Elaboração própria.

Legenda: Natureza: efeitos benéficos/positivos (P) ou adversos/negativos (N); **Forma:** direto (D), indireto (I) ou impacto secundário (S); **Reversibilidade:** irreversíveis (I) ou reversíveis (R); **Abrangência:** pontual (1), abrangente (2) ou regional (3); **Frequência:** baixa (1), média (2) ou alta (3); **Probabilidade:** baixa (1), média (2) ou alta (3); **Severidade:** baixa (1), média (2) ou alta (3); **Significância: i**mpacto desprezível (D), significativo (S) ou importante (I)

13 Recomendações

No Quadro 19 seguinte encontram-se as medidas de adequação recomendadas.

Quadro 19 - Medidas gerais de adequação

Solo	Pelas alterações observadas, é necessária a execução de práticas de manejo e de correção do solo (Trecho 1, em função das alterações das características físicas do solo; Trecho 2, pontualmente onde se encontrar teores inadequados de Arsênio; pontualmente onde se constata a necessidade de remediar aspectos de contaminação). Pode-se utilizar de práticas extensionistas para promover a melhoria de conhecimentos técnicos aos proprietários rurais, tanto no manejo do solo (calagem, adubação e mecanização) como nas práticas de utilização de produtos fitossanitários. Deve-se focar nas práticas preventivas mais simples, e que possam ser melhor assimiladas pela comunidade agrícola, como prevenção de erosão, controle de poluentes, recuperação de áreas degradadas e, também, leitura das informações em tempo real que podem ser passadas pela Fundação Renova.
Água	Deve-se garantir o monitoramento contínuo das condições da água (via estações automáticas) com acesso público aos dados de monitoramento. Deve ser executado tratamento da água, ao longo de toda a extensão da calha principal impactada, conforme é sugerido no item do projeto conceitual, bem como a adoção de práticas sustentáveis de uso da água. Deve-se fomentar a integração do uso da água, principalmente em locais com alta densidade de pequenas propriedades, utilizando o menor número de pontos de captação possível, preferencialmente próximos à estações de monitoramento.
Folha	Requer a adoção de práticas de manejo adequado do solo e a execução de tratamento da água de maneira a alcançar uma situação de melhor sanidade das plantas cultivadas, conforme é sugerido no item do projeto conceitual, bem como a adoção de práticas sustentáveis de uso da água. Pode-se realizar o monitoramento eventual, em pontos aleatórios ao longo da área afetada, da presença de elementos-traço em folhas de culturas utilizadas para alimentação, principalmente às culturas que utilizam as folhas de forma direta (alface, couve, etc), que são de ciclo rápido.
Dano à Irrigação	É necessária a implantação de novas práticas de irrigação, ao longo de toda a extensão da calha principal impactada, conforme é demonstrado no projeto conceitual, e a realização de manejo de solo e irrigação via "Programa de Assistência Técnica continuada. Pode-se incluir o monitoramento em tempo real das condições climáticas (como chuvas/granizos) e dos cursos d'água afetados (sólidos em suspensão, alertas de possíveis poluentes) e garantir o

	acesso às informações importantes aos produtores (via diálogo social, internet, associação de produtores e outras entidades).
Regularização Ambiental	As propriedades que não estão incluídas no Cadastro Ambiental Rural devem ser regularizadas, bem como as captações de água devem possuir outorga ou autorização para uso insignificante, a depender do volume captado. Deve-se fomentar a regularização ambiental destas propriedades, bem como incentivar a recuperação de áreas de preservação permanente e conservação de nascentes. Contudo, deve-se atentar para não intimidar o produtor rural que, por ventura, possa estar em situação irregular. Para estes casos, recomenda-se a interação da Fundação Renova com os órgãos públicos, para que a regularização destas propriedades venha trazer benefícios reais ao meio ambiente, sem a geração de possíveis sanções que possam afastar a comunidade das boas práticas legais.
Sistema Integrado de Informações	Deve-se considerar a utilização e integração de sistemas informatizados que disponibilizem à comunidade informações importantes a respeito da qualidade da água e informações climáticas em tempo real e considerar a criação de sistemas de alertas. Sugere-se que tais informações sejam públicas e que haja o incentivo à sua utilização por entidades mais próximas ao produtor rural (associações de produtores/moradores, diálogo social, secretarias de meio ambiente e agricultura). Deve-se disponibilizar tais dados de forma *on-line* e tais sistemas devem ser pensados de forma a integrar informações de outros estudos que venham a ser executados e prezar pela transparência e consistência dos dados. É necessário ressaltar que à dificuldade de acesso à internet diretamente pelo produtor rural deve ser compensada com o fomento do repasse de informações pelas entidades sugeridas.

Fonte: Elaboração própria.

Em resumo, o Quadro 19 demonstra a necessidade do incentivo à Assistência Técnica Rural - ATER, com práticas de educação ambiental, voltadas à prevenção de problemas relacionados ao solo e água e, consequentemente, aos vegetais ligados à saúde humana e animal. A ATER é essencial para que as atividades agrícolas sejam sustentáveis não apenas na perspectiva ambiental, mas também social e econômica. Propriedades em que o produtor alcance viabilidade econômica, com o fortalecimento dos vínculos sociais, principalmente da Agricultura Familiar, quando os resultados pretendidos são alcançados, também se fortalece as ações de melhoria ambiental da bacia como um todo. Além da elaboração dos PRAs, projetos individuais, para cada propriedade, devem ser elaborados considerando a capacidade produtiva delas e as demandas dos produtores. O corpo de profissionais envolvidos deve ter tanto o perfil

generalista, no contato direto com os produtores, assim como técnicos especialistas, para o melhor detalhamento das ações, para além da adequação dos sistemas de irrigação.

Para as tomadas de decisão de ações a serem tomadas em toda a região, deve-se considerar aspectos como o tamanho das propriedades e o uso do solo destinado às atividades agrícolas. Nessa perspectiva, deve-se ampliar as investigações quanto à concentração de Arsênio nos solos e nas plantas, assim como de Mercúrio nas plantas. Para tanto, deverão ser consideradas ações específicas de manejo dos solos, tanto na perspectiva agronômica, quanto conciliada com as atividades do Programa de Manejo de Rejeitos. Essas ações devem considerar a interlocução com a FEAM no Estado de Minas Gerais, resgatando dados de áreas contaminadas ao longo da Área de Estudo.

Considerando que existe uma maior concentração de Arsênio nos solos nas planícies de inundação, essa investigação também deverá considerar as delimitações de APP em função do tamanho das propriedades, considerando o que está estabelecido na legislação atual. Na elaboração dos PRAs, no contexto do CAR, essa delimitação deve ser feita caso a caso, por propriedade.

Ainda na perspectiva das atividades que envolvem a regularização ambiental das propriedades, deve-se definir ações específicas para regularização de outorgas de uso da água, estimulando, principalmente, o cadastro eletrônico daqueles de uso insignificante, no Estado de Minas Gerais. Mas não devem estar restritas apenas à essa categoria de uso. Essa medida também deve ser estimulada nas propriedades do Espírito Santo, considerando os procedimentos específicos da AGERH-ES. Uma constante na região, que pode dificultar tais ações, se refere aos aspectos da regularidade fundiária, assim como a informalidade perante aos aspectos da regularidade ambiental por si. Esses aspectos, também são influenciados pelas multiplicidades do *modus operandis* de se fazer a agricultura na região, dificultam as tomadas de decisão para indenização. Esse estudo está sendo concluído após 2 anos e 10 meses após o rompimento da Barragem de Fundão, dificultando o resgate de evidências de prejuízos às culturas e aos sistemas de irrigação.

Finalmente, pontua-se a necessidade de informar a comunidade, sintetizando estes dados em informações objetivas e de grande importância para agricultor, através de organismos facilitadores, como as associações ou órgãos. Os laudos de análises laboratoriais são um instrumento inicial de aproximação e abordagem da ATER, que podem balizar atividades de

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

retomada da produção na Bacia do Rio Doce. Contudo, deve se avaliar com muito cuidado a forma como essas informações de contaminação por metais pesados serão repassadas, optando-se por órgãos que tenham maior legitimidade nesse processo. O momento da devolutiva dessas informações deve ser conciliado com a conclusão dos estudos de impacto à saúde humana, sendo, assim, melhor referenciado em aspectos que transcendem a perspectiva agronômica da fitotoxicidade. Nesse momento, o compromisso com ações concretas deve estar bem vinculado a programas contínuos de ATER, estabelecendo-se compromissos com o produtor rural. Ainda que a demanda por ações de ATER seja grande, as tratativas a serem tomadas na perspectiva da irrigação e adequações de manejo devem ser tomadas considerando a implantação inicial de projetos pilotos, principalmente quando envolver alterações importantes perante às práticas adotadas atualmente. Ressalta-se a importância do monitoramento em tempo real da qualidade da água (PMQQS) e condições climáticas para previsão e prevenção de possíveis problemas ligados ao manejo do solo e da água.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

14 Análise de Pareceres dos Órgãos Ambientais

Um aspecto fundamental do presente estudo está relacionado à análise de pareceres de diferentes órgãos ambientais acerca do relatório de avaliação dos aspectos de irrigação das propriedades apresentado anteriormente. As diferentes demandas dos órgãos formalizadas em ofícios, deliberações e notificações encaminhados à Fundação Renova, para atendimento da Cláusula 180- do TTAC, estão apresentadas no Quadro 20 a seguir e apresentam o parecer da Embaúba Ambiental para a sua solução no curso da execução do presente trabalho.

Tal organização sistemática visa, assim, responder e adequar aspectos de avaliação apontados nos pareceres técnicos dos órgãos listados:

- Comitê Interfederativo (CIF).
- Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER).
- Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA).
- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD-MG).

Quadro 20 – Demandas dos órgãos formalizadas em ofícios, deliberações e notificações encaminhados à Fundação Renova, para atendimento da Cláusula 18- do TTAC

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA DADA	EVIDÊNCIA DE REALIZAÇÃO
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02	Não foram apresentadas as análises de solo nas propriedades visitadas.	Foram realizadas coletas de 1.034 amostras de solo e os respectivos resultados analíticos apresentados na forma de tabelas editáveis e banco de dados.	Item 9.4.1 (página 245) e cadeias de custódia
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II	Deverão ser apresentados dados que atestem que não houve contaminação das culturas através da irrigação, podendo estes dados serem obtidos através de análises do material vegetal.	Foram realizadas a coleta e análise de 513 amostras de material vegetal de culturas irrigadas na área de interesse a fim de identificar possíveis contaminações advindas da irrigação com águas captadas dentro da área de estudo. Esses dados foram comparados com estudos que avaliaram a composição química do rejeito.	Item 9.4.2 (página 279) e cadeias de custódia
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 03	A metodologia de estudo da qualidade da água bruta é inadequada por selecionar apenas uma análise por mês e por ponto para representar o intervalo temporal do mês, sem estipular ou esclarecer qualquer critério para essa escolha.	Os critérios de estudo da qualidade da água bruta consideraram os resultados de estudos anteriores da forma mais representativa possível, analisando os dados de monitoramento disponibilizados pela Fundação Renova e realizando levantamentos de dados primários conforme as metodologias estabelecidas pelos órgãos ambientais.	Itens 9.1 (página 169) e 9.2 (página 203)
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 03	O estudo de fitotoxidade não analisa de maneira conjunta o teor de metais e o pH.	O estudo de fitotoxidade considerou os teores de metais em relação aos valores de pH. Foram apresentados gráficos de pH *versus* Teor de Metal, com um gráfico por metal/elemento.	Item 9.4.2 (página 279)

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 05	Os valores de cobre do solo deverão ser monitorados, pois, embora não tenham apresentado valores excessivos, pode ocorrer interação com outros nutrientes que estão em excesso.	Foram apresentadas análises de cobre em solo e em material vegetal a fim de relacioná-lo com demais micro e macronutrientes, visando à plena compreensão do estado nutricional das lavouras cadastradas.	Gráfico 122, 123 e 148 (páginas 263 e página 290)
Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF)	Apresentar método de análise dos dados com os respectivos resultados, quando couber.	Os resultados analíticos foram apresentados em planilha eletrônica e banco de dados juntamente com os respectivos métodos analíticos e unidades de medida.	Banco de dados disponibilizado no ArcGIS *online*
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 03	Os dados de captação deverão ser complementados com os dados da outorga do IGAM/SEMAD, da AGERH e deverão contemplar todos os usuários dispersos e não inseridos no limite de 1 quilômetro. Caso haja alguma área de cultivo em que a outorga não foi levantada, esta deve ser inserida na base de dados.	Foi adotado o limite de 2 quilômetros a partir das margens dos cursos d'água estudados, e todas as lavouras além desse limite que realizem irrigação com águas captadas dentro da área de estudos serão inseridas na base de dados. Os dados de outorga do IGAM/SEMAD, da AGERH, também foram inseridos na base de dados.	Banco de dados disponibilizado no ArcGIS *online*
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 02	O conceito de área degradada deve extrapolar os limites da barragem da UHE Risoleta Neves (Candonga).	O conceito técnico de "área degradada" foi apresentado, e a área de estudo foi avaliada à luz de tal conceito. A área de estudo está inserida na Área Ambiental 1, como caracterizada no TTAC.	A área degradada foi ampliada incluindo as planícies de inundação nos trechos 2 a 4 (página 347).

Continuação

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02	Ausência da metodologia de identificação de sistemas artesanais de irrigação.	A metodologia de identificação de sistemas artesanais de irrigação foi devidamente apresentada em item apropriado que compõe o relatório.	Atendido com a delimitação do universo amostral com os dados do Cadastro Integrado da Fundação Renova. Item 7.1.1 (página 34)
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 06	Deverá ser dado suporte técnico para todos os produtores que tiveram seus sistemas de irrigação impactados e fornecidas captações alternativas quando os parâmetros identificados nas análises de água bruta não forem passíveis de tratamento pelos métodos convencionais.	Foi elaborado Projeto Básico Conceitual, integrando aspectos ambientais aos aspectos produtivos de lavouras que utilizam sistemas de irrigação que captam água da calha principal impactada, além de avaliação de danos causados.	Item 10 Projeto Básico Conceitual (página 334)
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	Não são apresentadas evidências de que os problemas causados à infraestrutura dos sistemas de irrigação e na produção das culturas são relacionados ou não ao EVENTO.	Foram aplicados questionários aos produtores rurais visando à identificação de danos causados aos sistemas de irrigação e às culturas em virtude do EVENTO e foram realizados registros fotográficos das evidências apresentadas pelos mesmos, quando estas existirem. Além disso, foram analisados laudos de indenização elaborados pela Fundação Renova, atrelado às propriedades cadastradas.	Item 9.5.2 (página 332)

Continuação

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	Os dados apresentados pela metodologia (nas páginas 67 e 96) não retratam a realidade local, que apresenta agropecuária com agricultores familiares que cultivam culturas alimentares (milho, feijão, mandioca), fruticultura (mamão, coco, banana e cacau), cafeicultura e pecuária com prevalência do uso da irrigação direta e indireta.	Foram aplicados questionários aos produtores rurais visando à identificação das culturas presentes na área de estudo. Este questionário permite caracterização das culturas, irrigadas ou não, e embasa o estudo realizado, retratando de forma representativa a realidade dos produtores rurais ali inseridos. As propriedades avaliadas são enquadradas no perfil de Agricultura Familiar, quando tamanho for menor que a quantidade de módulos rurais indicada pela legislação, considerando as variações em cada município da Área de Estudo.	Item 9.5.1 Análise dos dados de vistorias em campo (página 320)
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02	Banco de Dados estava inacessível na plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG) disponibilizada.	O Banco de Dados será inserido no Sistema de Informações Geográficas indicado pela Fundação RENOVA.	Banco de dados disponibilizado no ArcGIS *online*
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02	O Banco de Dados foi apresentado fora das especificações definidas entre a SEMAD e a Samarco.	O Banco de Dados foi elaborado conforme as especificações da SEMAD e Fundação Renova.	Banco de dados disponibilizado em Excel

Continuação

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 02	Os dados não foram apresentados de forma georreferenciada.	Os resultados analíticos bem como os dados dos produtores rurais foram disponibilizados através de um banco de dados georreferenciado e foram elaborados mapas que favorecem as análises espaciais das informações.	Banco de dados disponibilizado no ArcGIS *online* e mapas ao longo de todo o relatório.
Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF)	Apresentar dados em planilhas eletrônicas editáveis (acompanhadas de dicionário de dados ou nota técnica que explique o conteúdo de cada coluna ou das variáveis contidas na planilha).	O banco de dados foi elaborado juntamente com o dicionário de dados e foi disponibilizado também no formato de planilha eletrônica.	Banco de dados disponibilizado no ArcGIS *online* e em formato Excel
Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF)	Apresentar arquivos vetoriais de todos os mapas apresentados no documento em formato shapefile, com projeção SIRGAS2000, acompanhados de metadados completos e dicionário de dados.	Os arquivos no formato shapefile foram criados em sistema de coordenadas geográficas no datum horizontal SIRGAS2000 e foram disponibilizados no sistema indicado pela Fundação Renova (ArcGIS *online*). Esses arquivos contam com metadados e dicionário de dados.	Banco de dados disponibilizado no ArcGIS *online* e em formato Excel
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	O documento discute resultados sem explicitar a origem das informações e o conjunto de dados.	Todos os dados primários e secundários foram apresentados de forma clara, permitindo ao leitor a plena compreensão quanto à sua origem e metodologia de obtenção. Foi apresentada uma síntese com os Bancos de Dados utilizados.	Item 6.1 Fase I: Análise e avaliação das informações disponíveis (página 27)

Continuação

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	As discussões de resultados são apresentadas de forma generalizada para os minerais (macronutrientes e micronutrientes) além do uso inadequado dos termos de quantidade e níveis de nutrientes.	As avaliações e discussões dos resultados analíticos foram realizadas por profissionais especialistas, com vasta experiência na área de nutrição vegetal, e foram submetidas a criteriosa revisão, a fim de apresentar um produto elaborado sob o mais elevador rigor e qualidade técnica.	Ao longo de todo o relatório.
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	A influência que o pH exerce sobre a disponibilidade dos minerais é apresentada de forma generalizada sem citação dos dados e de sua interação.	O estudo de fitotoxidade considerou os teores de metais em relação aos valores de pH. Foram apresentados gráficos de pH *versus* Teor de Metal, com um gráfico por metal/elemento.	Foi avaliada a influência do pH na fitotoxidade.
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02	Ausência da metodologia de identificação dos graus de impacto às culturas	As metodologias de identificação dos graus de impactos às culturas foram apresentadas em item específico dos relatórios.	Item 12 Análise de impacto (página 358)
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 03	Os órgãos estaduais de assistência técnica e extensão rural não foram formalmente consultados a fim de fornecer informações mais precisas sobre a localização das áreas de irrigação, principalmente sobre os sistemas artesanais.	Foi realizada consulta formal ao IGAM para a avaliação de outorgas e duas apresentações preliminares do andamento dos estudos junto à Câmara Técnica de Rejeitos, envolvendo os órgãos que à compõe. Estes dados foram obtidos também junto ao cadastro da Fundação Renova (SGC) e em vistorias de campo.	Item 9.2.1 Análise realizada das culturas irrigadas e Item 9.5 Contexto sócio econômico relativo às culturas de irrigação (páginas 225 e 313)

Continuação

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA A SER DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02	As imagens contidas no documento apresentam baixa resolução, o que dificulta a leitura e análise.	Todas as imagens que compuseram o relatório contaram com resolução adequada à leitura e interpretação. Além disso, laudos originais foram disponibilizados no SIG Web da Renova, *on-line*.	Ao longo de todo o relatório e banco de dados disponibilizado no ArcGIS *online*
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 01	Todas as imagens (gráficos e tabelas) aparecem com baixa resolução. Os gráficos não possuem escala padronizada e possuem algumas datas incompletas. Quadros e tabelas foram identificados como imagens.	Os gráficos elaborados foram apresentados com resolução adequada à leitura e análise, com escalas padronizadas e dados completos.	Ao longo de todo o relatório.
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 03	Todos os gráficos de qualidade de água se apresentam em escalas inadequadas que impossibilitam a adequada visualização dos dados.	Os resultados analíticos em todas as matrizes (água, solo e vegetal) foram disponibilizados em forma de banco de dados e planilhas. Os gráficos foram gerados de forma a assegurar a plena visualização das informações e interpretação do leitor.	Item 9 (página 169 a 330).
Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF)	Apresentar sumário executivo que resuma o documento completo.	Foi apresentado o sumário executivo.	Página 17
Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF)	Apresentar planilha indicando as páginas do documento em que se atesta o atendimento aos ofícios, deliberações e notificações encaminhados à Fundação.	Foi elaborado este quadro indicando o atendimento às demandas oficiais relacionadas a este projeto endereçadas à Fundação Renova.	Item 14 Análise de pareceres dos órgãos ambientais (página 375)

Continuação

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF)	Os documentos devem ser entregues completos, com anexos, apêndices, mapas e demais documentos complementares citados no relatório principal.	O relatório final foi apresentado com todos os mapas e demais documentos auxiliares existentes.	Ao longo de todo o relatório
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	As imagens, gráficos e tabelas não apresentam os dados primários ou valores numéricos, e os mapas apresentam baixa resolução (colocar páginas).	Todos as imagens, gráficos e tabelas foram apresentados em resolução adequada à leitura e interpretação dos dados. Todos os dados primários e valores numéricos foram apresentados de forma clara ao leitor.	Ao longo de todo o relatório.
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	Não há padronização na apresentação dos dados, classes/categorias (baixo, médio e alto), quantidades e amostras utilizadas.	Os dados e resultados analíticos foram apresentados conforme diretrizes estabelecidas pela legislação vigente, EMBRAPA e Prezotti & Guarçoni (2013)	Item 9 (página 169 a 333).
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	Não são apresentados valores com referências de qualidade de solos para o estado do Espírito Santo, que poderão ser obtidas no livro: *Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar*, Prezotti e Guarçoni, INCAPER, 2013.	Os valores de referência adotados para todos os parâmetros analisados foram inseridos em todos os gráficos e tabelas apresentados no relatório. Quando as escalas não foram compatíveis foram indicados os níveis nas anotações	Item 9 (página 169 a 333).

Continuação

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA A SER DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 03	Na análise de solo, os valores de referência para culturas agrícolas não foram aqueles ditados pela Embrapa. Os resultados foram apresentados em forma de imagem e em baixa resolução e não foram informados os métodos analíticos empregados.	Os valores de referência adotados na avaliação dos resultados tiveram como base, além dos definidos em legislação nacional, aqueles ditados pela Embrapa e Prezotti & Guarçoni (2013). Os resultados foram apresentados em forma de banco de dados georreferenciados e planilhas. Os métodos analíticos estão explicitados junto a cada parâmetro.	Ao longo de todo o relatório.
Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO III – Página 05	Terminologias/classes diferentes dos padrões estabelecidos pela Embrapa em relação aos teores de metais presentes no solo.	Foi adotada a terminologia empregada pela Embrapa.	Item 9.4. (página 245).
Nota técnica conjunta – INCAPER/IEMA – N° 001/2017	Não são apresentados os dados pretéritos ao EVENTO no documento como um todo.	Foram utilizados dados de qualidade de água e sedimento ou geoquímica de solo coletados após o rompimento. Também foi apresentada uma síntese da série histórica de análise de dados do IGAM. Além disso, foi apresentado o mapeamento de áreas cultivadas em 2 momentos (T0, T1+T2), contemplando o momento anterior ao rompimento da Barragem de Fundão, até o último ano agrícola.	Item 9.1.3 Resultados obtidos a partir dos dados do IGAM (página 183). Iten 8.9.1 Atlas geoquímico da CPRM (página 127). Item 8.9.2 Análise do índice de kernel para metais pesados em solos (página 144) Item 8.9.3 Análise do índice de kernel para metais pesados em sedimentos (página 156).

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | fundacaorenova.org

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	PROBLEMA APONTADO	TRATATIVA A SER DADA	EVIDÊNCIA DE AVANÇO
Deliberação n° 25, de 20 de setembro de 2016 – Comitê Interfederativo (CIF)	Apresentar cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do(s) profissional(is) que assina(m) o estudo, quando couber.	Foram apresentadas, juntamente com relatório, as ARTs dos responsáveis técnicos principais.	Anexadas

Fonte: Comitê Interfederativo (CIF); Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER); Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA); Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD-MG).

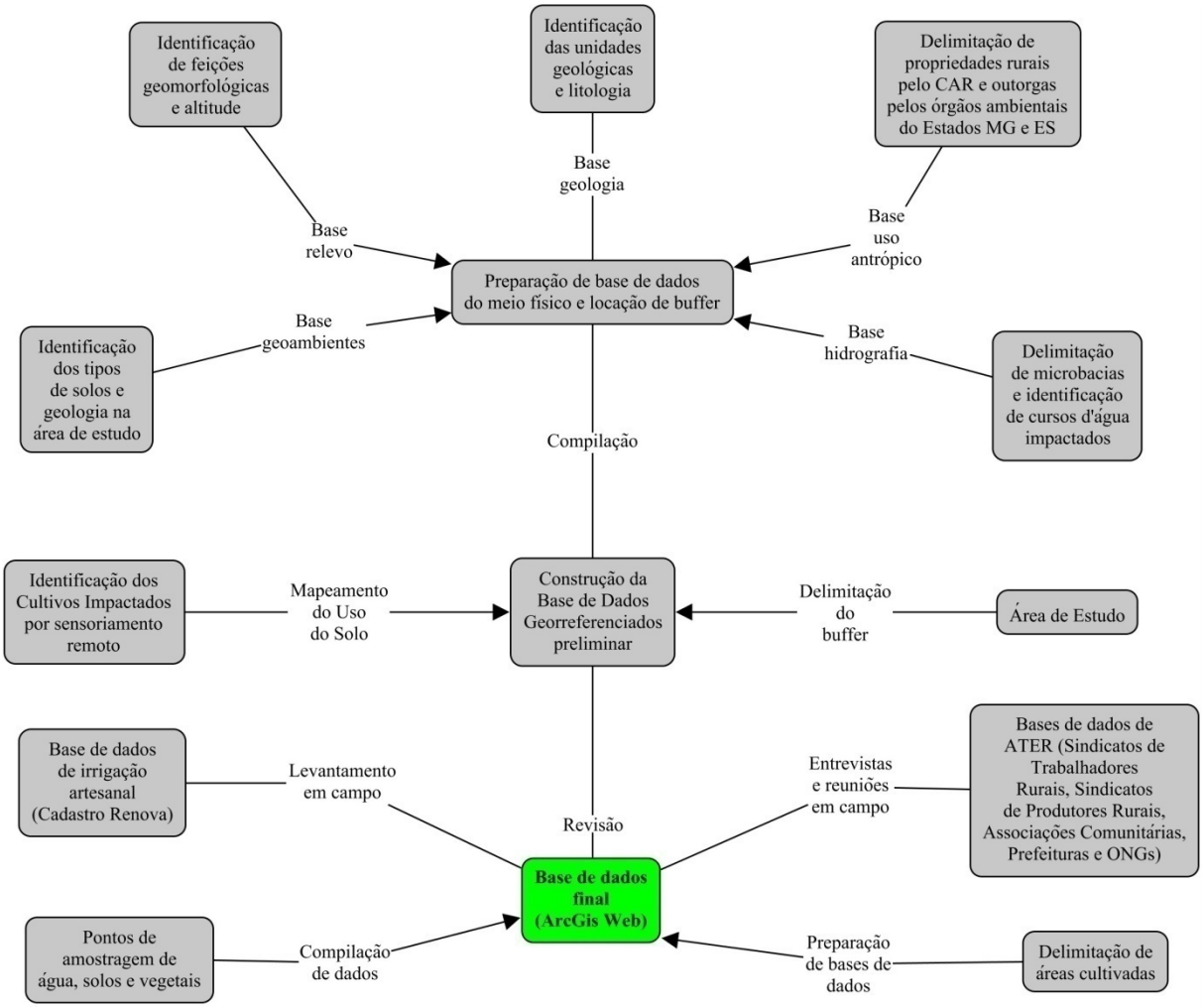
15 Sistema – Base de Dados

Para o atendimento a demandas de armazenamento e visualização de dados em ambiente de nuvem, eles estão organizados de acordo com as diretrizes da Fundação Renova, considerando a necessidade de se atender a demandas de georreferenciamento das informações coletadas em campo, e, principalmente, laudos laboratoriais. O fluxo de dados está resumido na Figura 77.

Os dados provenientes de bases públicas, cedidos ou disponibilizados pela Fundação Renova, assim como os gerados durante os trabalhos de campo ou de análise de imagens, todos eles compõem o Banco de Dados. Os arquivos provenientes de bases georreferenciadas foram apresentados em formato *shapefile*. Os arquivos de mapeamento das áreas cultivadas apresentam, quando confirmadas em campo, informações tais como dados do proprietário, tipo de cultura, se é permanente ou temporária, cultivos de subsistência da família do proprietário ou se ele comercializa o que é produzido. Esses dados compõem a tabela de atributo.

A organização das informações que compõem o banco de dados cumprem o padrão de qualidade estabelecido pelas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Resolução do Presidente do IBGE nº 1/2005; Decreto nº 5334/2005; Decreto nº 89.817/1984) e a normatização estabelecida pela Fundação através do manual "Orientações para Construção de Bases Cartográficas – Tecnologia da Informação – Geoprocessamento" versão 03. Todos os arquivos disponibilizados contêm com o Dicionário de Dados e Metadados, além da tabela de atributos organizada.

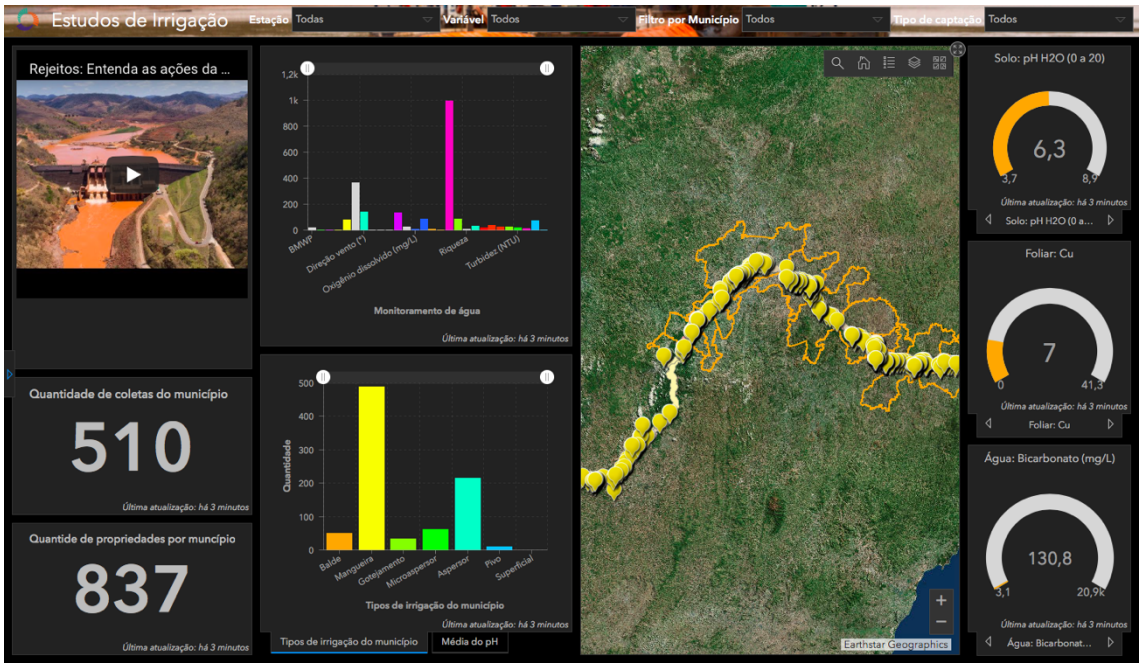
Figura 77 - Fluxograma principal



Fonte: Fundação Renova (2018).

A apresentação da base de dados final no ArcGis Web busca tanto atender a demanda dos órgãos ambientai, expressa na Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA – ANEXO II – Página 02. Foram apresentadas as outorgas presentes na Área de Estudo, em Minas Gerais. Para o Estado do Espírito Santo, essa informação não se encontra disponível para consulta imediata em banco de dados. Todos os dados de análises laboratoriais e vistorias, assim como cópias em meio digital de laudos, questionários e fotografias estão apresentadas ali. Na Figura 78 é apresentada a aparência do Sistema de Informações Geográficas - SIG do Estudo de Irrigação, elaborado especificamente para esse estudo, com as informações em gráficos e mapas.

Figura 78 – Aparência geral do Sistema de Informação Geográfica – Estudo de Irrigação



Fonte: Embaúba Ambiental / Fundação Renova (2018).

Link para cesso:
https://fundacaorenova.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/26e1cd23d93f4588918183541b3f97d3

Dentre as funcionalidades do SIG do Estudo de Irrigação, pode se destacar a síntese das informações de coletas de materiais para análises laboratoriais e propriedades vistoriadas, assim como as coordenadas de cada ponto de coleta de solos, água e plantas, com a apresentação das informações do Banco de Dados. No *dash board*, as informações de médias podem ser filtradas por municípios (Figura 78, gráficos à direita), assim como as informações dos tipos de irrigação (Figura 78, gráfico abaixo, à esquerda).

Além das informações dos dados primários coletados, o SIG apresenta as informações do Monitoramento Contínuo da Qualidade da Água, coletados pelas estações automáticas, ação que é parte do PMQQS. Esses dados, atualizados diariamente, são úteis para comunicar a qualidade da água ao produtor, prevenindo maiores impactos ao acionar o sistema de irrigação, quando ocorrem picos indesejáveis dos parâmetros específicos para a irrigação.

16 Conclusão

O escopo do presente projeto de avaliação dos impactos nas propriedades que realizam irrigação, em decorrência do rompimento da Barragem do Fundão, englobou:

- análise de estudos disponíveis, que fazem interface com os estudos realizados;
- realização de 838 vistorias em propriedades rurais;
- realização de 516 grupos de análises de água, planta e solo (em duas profundidades, 0-20 cm e 20-40 cm);
- avaliação de irrigação em 702 km de curso d'água impactados;
- 24 municípios em Minas Gerais e no Espírito Santo.

Foram utilizadas abordagens múltiplas de obtenção e análise de dados, como entrevistas com os proprietários rurais; coletas de amostras de materiais *in loco*; exame e compilação de bancos de dados de estudos anteriores e de dados públicos; referências legais de parâmetros de água, solo e planta; modelos estatísticos compatíveis para a realização de análises para cada propriedade. A Área de Estudo foi dividida em cinco diferentes trechos de rio (Fundão a Candonga, Candonga a Baguari, Baguari a Marcarenhas, Mascarenhas a Linhares e Linhares até a foz). Foi possível apontar as demandas para a adequação das propriedades que utilizam irrigação nas suas culturas ao longo da calha principal impactada, desde a Barragem do Fundão até a foz do Rio Doce.

A fonte primária de informações para este trabalho possuiu diversas variáveis, tanto discretas (como na análise social) quanto contínuas (como nos resultados laboratoriais). Para cada variável foi utilizada análise mais compatível.

As informações do questionário socioeconômico foram analisadas utilizando-se os gráficos do tipo barras, barras percentuais e do tipo rosca. Os dados também foram apresentados em tabelas, com os valores absolutos e, quando foi o caso, percentuais.

Os resultados laboratoriais foram analisados graficamente, utilizando-se de gráficos do tipo "*candlestick*" (ou "velas"), que possuem a característica de representar diversas informações no mesmo gráfico. Cada agrupamento de dados é representado por quatro informações: mínimo, máximo, primeiro quartil e terceiro quartil. Há, também, os limites

mínimos e máximos permitidos por lei, ou recomendados por literatura técnica, quando for o caso.

Em separado, não constante no relatório, Também foram realizadas análises utilizando-se gráficos de dispersão das amostras. Estes gráficos de dispersão dos resultados dos laboratórios foram construídos tendo o seu eixo X, a distância do ponto amostrado até a foz do Rio Doce, e o eixo Y com o valor numérico do parâmetro. Desta forma, foi possível observar possíveis tendências de aumentos ou diminuições nos valores, relacionados com a localização do ponto amostrado ao longo do rio para os parâmetros analisados. Também foi possível observar visualmente a presença de valores muito altos ou muito baixos para qualquer um dos parâmetros.

Numericamente, os dados dos resultados de laboratório foram descritos utilizando-se das estatísticas mais usuais: média, desvio-padrão, erro-padrão da média, coeficiente de variação. Também foram analisadas a eficiência da amostragem, para cada parâmetro, com erro de amostragem máximo de 10%, e nível de probabilidade de 90% e demonstrado o limite de confiança para este percentual para cada parâmetro, o que significa que a cada 100 processos de amostragem, tem-se 10% de probabilidade de o erro máximo ultrapassar o limite de 10% estipulado. O intervalo de confiança é o intervalo em que a média real do parâmetro analisado tem 90% de probabilidade de ser maior que o limite inferior e menor que o limite superior.

Devido à presença de valores máximos dissonantes dos outros pontos (podendo ser visto nos gráficos de dispersão) em algumas amostras, foi realizada a retirada destes *outliers*. Essa análise foi realizada de forma complementar à análise com os dados completos. Foram considerados como pontos fora do padrão, todos os pontos com probabilidade menor que 2,33% (ou dois sigmas para cada extremidade da curva normal) de ocorrência. Ou seja, os pontos que ocorrem nas extremidades da curva normal, na área de probabilidade entre $-\infty$ e -2σ e, também, $+2\sigma$ e $+\infty$, com média e desvios iguais às do universo amostral.

Os valores das estatísticas para cada parâmetro se encontram no Apêndice D. Para a maior parte dos parâmetros, o valor da quantidade de amostras necessárias foi menor que o número de amostras obtidas, o que indica que a amostragem foi suficiente, para o nível de significância estipulado para estes parâmetros.

Considerando todo o estudo, o número de amostras foi satisfatório na obtenção e sintetização das informações. Contudo para os parâmetros que apresentaram valor de "n" maior

que o número de amostras, indicando uma possível necessidade no aumento da intensidade amostral, estes foram analisados separadamente e foi constatado que a maior parte destes parâmetros possuiu o maior desvio-padrão devido à quantidade de valores iguais a zero. Estas ocorrências foram encontradas, principalmente, para os parâmetros de elementos-traço, como Chumbo, Níquel, Cádmio e Cromo, bem como para o Alumínio. A presença destes elementos (tanto em solo quanto em planta) é, no geral, considerada problemática, devido às interferências negativas destes parâmetros na fisiologia das plantas e demais seres vivos e, portanto, os valores de não detecção se apresentaram satisfatórios. Foram testados, para fins de verificação, todas as estatísticas excluindo os valores iguais a zero e nessa abordagem, todos os parâmetros possuíram a intensidade amostral satisfatória para o nível do estudo. Esses valores são compatíveis quando se considera o universo amostrado e todo o conjunto de variações existentes do *background*, principalmente a diversidade do meio físico, tais como solos e geologia.

Para todos os parâmetros de elementos com presença não desejada no sistema solo-água-planta, principalmente os elementos-traço, não se verificou uma presença muito acentuada. Todavia, é importante ressaltar, que os pontos com picos de teor de elementos-traço devem ter uma atenção especial, uma vez que um pico de elemento-traço pode ter relação com situações locais eventuais (excesso de adubação, poluição geral, etc), e pode não abranger uma área significativa ou permanecer por longos períodos no local.

Foram consideradas para a análise numérica todas as propriedades em que houve resultados consistentes para todos os materiais (água, folha e solo). O número total de propriedades com amostragem consistente dos três materiais foi de 492 (já excluído os pontos controle). Para cada parâmetro, o número de amostras utilizadas variou, conforme mencionado anteriormente, devido à desconsideração dos *outliers* na amostra. Os elementos Arsênio e Mercúrio, tanto no solo quanto nas amostras foliares, não foram coletados para todas as propriedades. Foram escolhidas propriedades com pontos de amostra a no máximo 100 metros do curso d'água afetados e foram realizadas 80 amostras, para fins de levantamento inicial de possíveis problemas com esses elementos. Nas análises estatísticas desses elementos, foram considerados todas as amostras e a suficiência amostral não foi considerada, uma vez que esses pontos foram analisados para levantar informações iniciais a respeito destes elementos.

Foram contabilizados, por trecho de estudo, a quantidade de parâmetros fora dos limites aceitáveis (para os parâmetros que possuem tais limites) ou a simples presença deles no sistema

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

(para os elementos-traço), e sintetizados em mapa. Desta forma foi possível observar os locais com maior necessidade de atenção quanto a esses elementos. Também foi elaborado, de forma gráfica, a representação da participação de cada elemento nesses possíveis locais de maior atenção.

O elemento que merece destaque nas análises numéricas e gráficas é o Ferro (Fe) que se apresentou teores altos em todas as amostras de solos e vegetais, bem como houve uma presença expressiva de sólidos no meio aquoso, do qual o Ferro é constituinte, juntamente com outros elementos. O Ferro é um elemento abundante na natureza, devido à própria constituição do material do rochoso e do solo, e é o produto extraído pelo setor mineral na área de estudo, e que faz parte da constituição principal do material detrítico.

Foi observado uma extensão de pH do solo de 3,73, considerado solo ácido, até mesmo para culturas mais tolerantes, até 8,93, considerado solo básico. A faixa de pH recomendada para a maioria das culturas é por volta de 5,5. Essa variação para a faixa mais básica pode ser explicada, possivelmente, por erros no manejo do solo (calagem excessiva) ou calagem realizada poucos dias antes da coleta do material do solo.

Quanto aos parâmetros associados à fertilidade do solo, os trechos 4 e 5 apresentaram menores teores de Fósforo, Potássio e Cálcio (P, K e Ca) e pH levemente mais ácido além de maior concentração de Alumínio e menor CTC efetiva e menor soma de bases. Pode-se inferir que as condições do solo encontradas no momento do estudo, para os trechos 4 e 5 são de menor fertilidade que os demais trechos.

Contudo, devido à gama de culturas agrícolas praticadas ao longo do estudo e considerando a tecnologia agrícola empregada na correção de solos e manejo de culturas, deve-se ter cautela ao interpretar os valores dos parâmetros relacionados à fertilidade como baixa aptidão do solo ao uso agrícola, uma vez que tais locais possuem forte atividade agrícola. As regiões dos trechos 4 e 5 apenas podem demandar maiores interferências humanas para a produção agrícola que outros locais, além das demandas intrínsecas à cada cultura.

Recomendações gerais para boas práticas agrícolas poderão ser realizadas com base nos dados coletados, todavia, cabe ressaltar que pontos em que houve discrepância nos teores de elementos-traço deverão ser alvo de levantamentos mais detalhados ou assistência técnica mais direta ao proprietário.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

O estudo aponta para a necessidade de regularização ambiental das propriedades, principalmente as outorgas de água e do uso e ocupação do solo por meio dos Cadastros Ambientais Rurais - CAR.

Verificou-se a necessidade de adoção de práticas agrícolas adequadas ao contexto do solo e água, conciliando a produção de culturas de vocação produtiva da região com o suporte de assistência técnica continuada ao produtor. Deverão também ser realizadas adequações nas estruturas de irrigação, com realização de tratamento da água captada do rio.

De maneira contínua, os produtores deverão ser informados com os dados do monitoramento contínuo da água (PMQQS). Também deve-se implementar o monitoramento de parâmetros de água, solo e plantas, quando alcançaram índices críticos, nas propriedades onde foram realizadas tais coletas, possibilitando a construção de um histórico para gerenciamento de possíveis distorções que possam afetar a sanidade das culturas e mesmo a saúde humana.

Em relação aos solos da região estudada, é importante que se amplie a amostragem, contemplando maior número de propriedades, para avaliação da contaminação por metais pesados, principalmente Arsênio. Municípios que não foram contemplados nesse estudo também devem ter a amostragem ampliada.

A assistência técnica continuada é imprescindível na região, uma vez que foi constatado o manejo inadequado em muitas propriedades, resultando em uso excessivo de fertilizantes e corretivos no solo. Essas práticas comprometem a disponibilidade de nutrientes para as plantas e ainda pode incrementar o aporte de metais pesados no sistema água-solo-planta. Atenção maior deve ser dada aos elementos Zn, Fe e Mn que estiveram presentes em grandes quantidades no solo, comprometendo o desenvolvimento das culturas irrigadas.

Não se pode afirmar a existência do nexo causal direto entre o evento do rompimento da barragem de Fundão simplesmente pela presença de metais pesados nos solos, uma vez que foram observados pontos fora da área impactada com grandes concentrações de metais. As causas para isso podem ser múltiplas, conforme relatado ao longo do texto. Ainda assim, o estudo realizado, ainda que seja recomendada a ampliação da amostragem, é suficiente, sendo atendida, portanto, todas as exigências dos órgãos ambientais para complementação do Estudo de Irrigação. Na perspectiva da realização do estudo, a Cláusula 180 foi atendida.

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**

17 Equipe

Para a realização das atividades referentes a esse item, serão contratados profissionais especializados e auxiliares de campo, os quais serão responsáveis pelas coletas, sistematização de dados e confecção de relatórios (Quadro 21). As análises físico-químicas serão realizadas por laboratório especializado.

Quadro 21 - Equipe de colaboradores envolvidos no estudo

EQUIPE PRINCIPAL	
FUNÇÃO - FORMAÇÃO E EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL	**NOME**
Coordenação Embaúba - Biólogo pleno, MSc Botânica	Renato Ramos da Silva (CRBio 049205/04-D)
Análise Econômica - Economista pleno, especialista em finanças	Dalmy Ramos da Silva (Corecon 8364)
Geoquímica - Engenheira Ambiental Plena, PhD Solos e Nutrição de Plantas	Silmara Costa Silva (CREA/MG 137570-D)
Geologia - Geólogo Júnior	Sófocles de Assis Gabriel Menezes
Elaboração de projetos técnicos - Engenheira Civil	Alana Araújo Laureano
Coordenação Geo - Analista de geoprocessamento plena, Especialista em Geoprocessamento	Luciana Eler França (CREA/MG 105740-D)
Interpretação de imagens aéreas - Analista de geoprocessamento pleno	Edmundo Queiroz Lopes (CREA/AM 13023-D)
Coordenação de elaboração de texto – Comunicação	Daniela Vilaça Souza
Coordenação administrativa de campo – Economista	Michelle dos Santos
Supervisão de atividades de campo, constituição de Bancos de Dados - Engenheiro Florestal pleno, MsC em estatística florestal	Tarço Murilo de Oliveira (CREA/MG 159.182/D)

EQUIPE DE APOIO E DE CAMPO	
FUNÇÃO - FORMAÇÃO E EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL	**NOME**
Qualidade	
Técnico de Administração e Bacharel em Agronomia	Técnico - Flavia Cristina França de Oliveira
Ensino médio completo - Consultor em Segurança no Trabalho	Auxiliar - Josimar Rocha Real
Tecnóloga em Produção de Grãos	Auxiliar - Raphaela Caroline de Assis Neves
Técnicos e Auxiliares de Campo	
Técnico em Segurança do trabalho; Técnico em Meio Ambiente; Técnico em Reciclagem e Técnico em Agropecuária	Técnico - Fabrício Pereira Da Silva
Técnico de Edificações	Técnico - Lucas Guimarães da Silva
Técnico em Agropecuária	Técnico - Luciano Alves de Souza
Engenheiro Ambiental	Técnico - Marcelo Gonzaga de Oliveira Junior
Engenheiro de Energias Renováveis e Biocombustível	Técnico - Thallison Pedro de Souza
Técnico de Agropecuária	Técnico - Vanderlei da Silva
Ensino médio completo	Auxiliar - Alessandro Siqueira dos Santos
Técnico em Eletrotécnica	Auxiliar - Elias Alves de Souza
Superior em Administração de Empresas	Auxiliar - Igor de Castro Cunha Andrade
Técnico em Eletrônica	Auxiliar - Reginaldo Dorneles Correia
Ensino médio completo	Auxiliar - Wellington Bruno de Assis
Ensino fundamental incompleto	Auxiliar - Welinton Alves Silva

*A Embaúba priorizou a contratação de mão de obra da região para a composição de equipes de campo e contratou colaboradores naturais de áreas de abrangência adotada pela Fundação Renova bem como residentes da Bacia no quadro de técnicos de nível superior.
Fonte: Elaboração própria.

Referências

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; GABRIELLI, G. C. XI – Micronutrientes. In: NOVAIS et al. (ed) *Fertilidade do Solo*. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. *Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Doce*. 2018. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home> Acesso em: 19 jul. 2018.

ANA 2018. *Metadados bacia hidrográfica do Rio Doce.* Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

ALMEIDA, F.F.M. Estruturas do pré-Cambriano inferior brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, 1976, Ouro Preto. *Resumos*. Belo Horizonte: SBG, 1976. p.201-202.

ALMEIDA, O. A. *Qualidade da água de irrigação*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ALMEIDA, Otávio Álvares de. *Qualidade da água de irrigação* [recurso eletrônico]. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro_qualidade_agua.pdf>. Acesso em 12 ago. 2018.

APHA, A. W. W. A. WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 2012, 22.

ARAI, Mitsuru. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. Geologia USP. *Série Científica*, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *The ATSDR 2017 Substance Priority List*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health & Human Services, 2017. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>

BARBOSA, A.; GETULIO V.; RODRIGUES, D. M. S. (1967) apud AZEVEDO, U. R.; MACHADO. M.M.; MAGELA, M.M.; CASTRO, P.T.A.; RENGER, F. E.; TREVISOL, A. BEATO, D.A.Ch. *Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG):* Proposta. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17149>. Acesso em: 23 maio 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução no 357, de 17 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. *Diário Oficial da União*: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n.53, 18 mar. 2005. Seção 1, p.58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 11 ago. 2018.

CABALLERO, Enrique Miguel Combatt. *Solos tiomórficos do Espírito Santo–Brasil e Córdoba–Colômbia*: métodos de análise de enxofre e alumínio e de necessidade de calagem. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

CASTILLO, A. S.; PINTO, E. J. A.; NUNES, H. M. T. Definição da planície de inundação da cidade de Governador Valadares. CPRM. *Relatório Técnico Final*, 2004.

CIF. Comitê Interfederativo e SEMAD-MG. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. 2017. *Nota Técnica 0006/2017 CT/CIF/GRSA* – Anexo II.

CIF. Comitê Interfederativo. 2017. *Deliberação n° 25*, de 20 de setembro de 2016.

CIF. Comitê Interfederativo. 2017. *Nota Técnica 10/2017 CT/CIF/GRSA* – Anexo III.p. 01.

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais - *Mapa geológico do Estado de Minas Gerais* - Escala 1:1.000.000 - 2014

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Relatório de Qualidade das Águas Superficiais:* Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. 2014. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO -CETESB. *Manganês***.** 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/manganes.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) (2009) Resolução n. 420, de 20 de dezembro de 2009. *Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.* Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) (2012). Resolução n. 454, de 1º de novembro de 2012. *Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>

COSTA, Adelaide de F. S. da; COSTA, Aureliano N. *Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo*. Vitória – ES. Incaper, 2015. 152 p.

COUTINHO, Marlon M.; MOTTA, Breno G. Definição da planície de inundação da cidade de Colatina-ES: *Relatório Técnico*. CPRM, 2016.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa geológico do estado do Espírito Santo.* Belo Horizonte: CPRM, 2014. Escala 1:400.000.

CUNHA, A. de M.; FEITOZA, H.N.; FEITOZA, L.R.; OLIVEIRA, F.S. de; LANI, J. L.; CARDOSO, J.K.F.; TRINDADE, F.S. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no GEOBASES para uso dos dados em GIS. *Geografares*, [S.L.], n. 23, p. 32 a 66, Dez. 2016.

DINIZ, João Alberto Oliveira et al. *Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Nota técnica*. CPRM, 2014.

DORR II, J. V. N.; GAIR, J. E.; POMERENE, J.B.; REYNEARSON, G. A. *Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. Rio de Janeiro, DNPM, 1957. p. 7-58. (DFPM, Avulso, 81). Trad. A. L. M. Barbosa.

DORR II, J.V. Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *USGS Professional Paper* 614-A, 1969. 110 p.

ECOPLAN-LUME. LUME, CONSÓRCIO ECOPLAN. *Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do Rio Doce*. Governador Valadares: Consórcio Ecoplan-Lume, v. 1, p. 478, 2010

EMBRAPA, Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. *EMBRAPA Produção de Informação,* Brasília, p. 16, 1999.

ERG ENGENHARIA. *Estudo para identificação de áreas de irrigação ao longo do Rio Doce, Gualaxo, Ribeirão do Carmo e outros cursos d'águas afetados*. Fundação Renova. 2017. Relatório Técnico.

EVANGELISTA, Hanna Jordt. *O grupo Dom Silvério, SE de Minas Gerais*: petrografia, metamorfismo, geoquímica e geologia econômica. 1992.

FUNDAÇÃO RENOVA. *Imagens de satélite GeoEye-1, WorldView-2 e WordView-3,* 2015-2017.

FUNDAÇÃO RENOVA. *Programa de Monitoramento Qualiquantitativo Sistema de Água e Sedimentos* - Relatório Técnico. 2018. Atualizado trimestralmente. Disponível em: <http://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2017/07/pmqqs_rev_dez-17.pdf>

FUNDAÇÃO RENOVA. *Revisão do Estudo de Identificação de Áreas de Irrigação ao Longo dos Rios Gualaxo, Ribeirão do Carmo, Doce e outros Cursos d'água Afetados* - Plano de Trabalho. 2018.

FUNDAÇÃO RENOVA. *Sistema de Cadastro Integrado***.** Belo Horizonte, consulta restrita, atualizado constantemente. 2018.

GOLDER ASSOCIATES. *Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão*- Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos. Fundação Renova, Belo Horizonte - Relatório Técnico 2017.Disponível em: <http://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2018/01/geoquimico.zip>

GONÇALVES, Maria de Melo. Cromo. *Balanço Mineral Brasileiro*, 2001.

IBGE. *Censo*. Disponível em:< http://www. censo2010. ibge. gov. br/> Acesso em: junho 2018.

IBGE. *Cidades*. Disponível em: http://www. ibge. gov. br/cidadesat/topwindow. htm? 1 Acesso em: junho 2018.

IBGE. Decreto No 89.817, de 20 de junho de 1984. *Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (IRNTCN)*. Brasília: Diário Oficial da União (DOU) de, 22: 06-84.

IBGE. *Mapas do Clima do Brasil*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2002. Disponível em: < ftp://geoftp. ibge. gov. br/mapas_ tematicos/mapas_murais/clima. pdf>. Acesso em: 26 jul. 2018.

IBIO - *Uso e Cobertura do Solo*, 2012. Disponível em: <https://www.igeo.org.br/map#> Acesso em: 25 jul. 2018.

IBIO –*Limite sub-bacias*. Disponível em: <https://www.igeo.org.br/map#> Acesso em: 23 jul. 2018.

IGAM 2018. *Base de dados de outorgas de água*. Atualizado constantemente. Mídia digital. Atualizado constantemente. Disponível em: <http://www.semad.mg.gov.br/outorga/relacao-deferidos-indeferidos-cancelados-e-outros>

IGMINE. *Processos minerários*. 2018. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/> Acesso em: 24 jul. 2018.

INAES - *Estado da Arte das Pastagens em Minas Gerais*. Belo Horizonte, 2015.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural; IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo. 2017. *Nota técnica conjunta* – INCAPER/IEMA – N° 001/2017.

INMET. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa* (BDMEP). 2015. Atualizado constantemente. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil*. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/> Acesso em: 26 maio 2018.

KABATA-PENDIAS, A. *Trace Elements in Soils and Plants*. (A. Kabata-Pendias, Ed.) (4th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press, 2010.

MAIA, Celsemy E.; RODRIGUES, Kelly Kaliane R. P.; LACERDA, Viviane da S.. Relação entre bicarbonato e cloreto em águas para fins de irrigação. *Irriga*, Botucatu, n., p.206-219, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/celsemy_maia/publication/264037606_relacao_entre_bicarbonato_e_cloreto_em_aguas_para_fins_de_irrigacao/links/0c96053c91e58e6f9e000000/relacao-entre-bicarbonato-e-cloreto-em-aguas-para-fins-de-irrigacao.pdf?origin=publication_list>. Acesso em: 08 ago. 2018.

MAXWELL, C. H. Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil. *U.S.Geol. Survey Prof.* Paper 341 J, 1972. 72p.

MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.o 1, de 05 de maio de 2008. 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. Retificação no “Minas Gerais” no dia 20/05/2008.

NALINI Jr., H. A. *Caractérisation des suites magmatiques néoprotérozoiques de la region de Conselheiro Pena et Galiléia (Minas Gerais, Brésil)*. Etude géochimique et structurale des suites Galiléia et Urucum et relations avec les pegmatites à éléments rares associées. Paris: Ecole des Mines de Saint Etienne et Ecole des Mines de Paris, 1997. 237p. (Tese de Doutorado).

NOCE, C.M. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos da região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 1995. Tese. (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo/USP,1995.

NOCE, Carlos M. et al. O embasamento arqueano e paleoproterozoico do Orógeno Araçuaí. *Revista Geonomos*, v. 15, n. 1, 2013.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do Solo*. SBCS, Viçosa, 2007.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, 2011, 30: 30-43.

PEDROSA-SOARES, A. C. et al. Magmatismo e tectônica do orógeno araçuaí no extremo leste de Minas e norte do Espírito Santo (18°-19° S, 41°-40° 30'W) 1. *Revista Geonomos*, v. 14, n. 2, 2013a.

PEDROSA-SOARES, A. C. et al. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Revista Geonomos*, v. 15, n. 1, 2013b.

PRASAD, P. M. N. V.; HAGEMEYER, J. (Eds.). (1999). *Heavy Metal Stress in Plants*: From Molecules to Ecosystems. Springer Berlin Heidelberg.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI M. A. *Guia de interpretação de análise de solo e foliar*. Vitória, ES. Incaper, 2013. 104p.

QUEIROZ, Hermano M. et al. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science Of The Total Environment* [s.l.], v. 637-638, p.498-506, out. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.370. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718315547?via%3Dihub> Acesso em: 12 ago. 2018.

RENGER, F.S.; NOCE, C.M.; ROMANO, A.W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v.2, n.1, p.1-11, 1994.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVARES, V.H. (Eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*: 5a aproximação. Viçosa, MG: UFV, 1999. p.289-302.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H. *Manual de descrição e coleta de solos no campo.* 53 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, 100p.

SCHORSCHER, H. D. Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt", série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero. Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, 1978, Recife. *Resumo das Comunicações*... Recife: SBG, 1978. Boletim n.1, p.292-293.

SE23-XB-II, FOLHA. PONTE NOVA. *Texto explicativo*. Brasília, 1991.

SILVA, Ítalo Nunes et al. Qualidade de água na irrigação. *Agropecuária Científica no Semi-Árido,* Patos, v. 7, n. 3, p.1-15, set. 2011. Disponível em: <http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA/index>. Acesso em: 07 ago. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais* - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

VIEIRA, Valter Salino. et al. *Mapa geológico do Estado Espírito Santo*, Escala 1: 400. 000. Vitória. CPRM, v. 1, 2014.

VIEIRA, Valter Salino. *Significado do grupo Rio Doce no contexto do Orógeno Araçuaí*. 2007.

VIGLIO, Eduardo Paim; CUNHA, Fernanda Gonçalves da. *Atlas geoquímico da bacia do Rio Doce*: Minas Gerais e Espírito Santo. CPRM. 2016.

WISCHMEIER, Walter H., et al. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning.* 1978.

Apêndice A – Caracterização das Propriedades

(Relatório de Campo)

	Caracterização Propriedades				
	Código Propriedade: EMP.0001				
	Carro: (EMB - 00____) DATA / /2018 HORA: :				
Projeto	**Revisão do estudo de identificação de áreas de irrigação ao longo dos rios Gualaxo, Ribeirão do Carmo, Doce e outros cursos d'água afetados**				
Município da Propriedade					
Coordenada Geográfica	Latitude		Longitude		
Nome do Proprietário					
CPF			Data de Nascimento		
Telefone	( )		E-mail:		
Número de moradores			CAR		
Nome da Propriedade			Área Total em hectares:		
Endereço					
Faz algum tipo de Irrigação ( ) sim ( )não					
Tipos de irrigação:( )Mangueira ( )Gotejamento ( )Microaspersor ( )Aspersão ( )Pivot Central ( )Superfície					
Fonte captação:( )Cisterna ( )Poço ( )Nascente ( ) Curso d'água /Nome do Curso_____					
( )Abastecimento Público ( )Lagoa ( )Açude ( )Outro:_____					
Tipo de Alimentação:( )Gravidade ( )Bombeamento **Observação:**					
Possui algum tipo de filtragem:( )Sim ( )Não **Descrever:**					
Possui reservatório/ Caixa d'água:( )Sim - Capacidade litros: ( )não **Observação:**					
Informações da Cultura					
Possui cultura irrigada?	Sim	Não	**Possui cultura não irrigada?**	Sim	Não
Principais culturas?	**Culturas**	**Hectare**	**4 Principais culturas?**	**Culturas**	
Comercializa produtos agrícolas da propriedade?:( )Sim ( )Não Qual(is)?:					
Está realizando pousio nesse momento:( )Sim ( )Não Para sim, quanto tempo**:**					

Rotação de cultura:( )Sim ( )Não Para sim qual(is)**:**				
Possui Outorga de Água	Sim	Não	Consumo diário litros na irrigação:	
Após o rompimento da barragem				
Houve problemas na estrutura da irrigação?	Sim	Não		
Perda da qualidade da água?	Sim	Não		
Precisou mudar forma de cultivar/manejo da cultura?	Sim	Não		
Houve prejuízos financeiros?	Sim	Não		
Continuou a irrigar as culturas normalmente?	Sim	Não		
Houve perda de produtividade?	Sim	Não		
Realizado Coletas	**( ) Solo ( ) Foliar ( ) Água ( )Nenhuma**			
Assinaturas - Técnico			**Auxiliar**	
*Mangueira: é realizado manualmente por meio do manuseio de mangueiras. Gotejamento: Mangueiras dispostas ao longo das culturas com furos e realizando gotejamento direto. Microaspersão: Bicos de aspersão montados diretamente nas mangueiras produzem pequenas gotículas, aproximando-se à névoa. Irrigação por aspersão: é uma simulação de chuva artificial direcionada, que jorra pequenas gotículas absorvidas pelo solo. Pivot central: é a irrigação feita por meio de uma torre, com uma estrutura suspensa que gira de forma circular para a parte superior da plantação. Irrigação de Superfície: a água é conduzida para infiltração pela superfície do solo. Os métodos mais comuns são os que realizam irrigações por sulcos no solo ou inundações.				

Apêndice B – Formulários da Cadeia de Custódia de Água, Solos e Material Vegetal

	Cadeia de Custódia - Amostragem de Água			
	Embaúba Ambiental Ltda.			
	Contrato 4800008016 / RFP 4200006582			
Cliente	Fundação Renova			
Endereço	Av. Getúlio Vargas, 671 - 4º andar Funcionários - Belo Horizonte - CEP: 30112-021			
Projeto	Revisão do estudo de identificação de áreas de irrigação ao longo dos rios Gualaxo, Ribeirão do Carmo, Doce e outros cursos d'água afetados			
Município				
Código da propriedade			**Código do Frasco**	
Data da Amostragem			**Hora da Amostragem**	
Coordenadas Leste			**Coordenadas Norte**	
Condições Ambientais				
Tipo de amostragem		1=Superficial (Lótico, Lêntico) 2=Subterrânea (Cisterna, poços com ou sem bombeamento)		
Local de amostragem		1=Junto à captação 2=Montante da captação (justifique)		
Características da margem		1=Mata ciliar 2=Pastagem 3=Cultivo 4=Solo exposto 5= Erosão 6=Água estagnada		
Características singulares		1=Barramento 2=Queda d'água 3=Confluência 4=Meandro 5=Obras/Terraplenagem		
Lançamento de efluentes		1=Sim 2=Não		
Tipo de efluente/Resíduos		1=Doméstico 2=Industrial 3=Curtume 4=Têxtil 5=Granja 6=Matadouro 7=Lixo 8=Outros		
Chuvas nas últimas 24h		1=Não 2=Fracas 3=Médias 4=Fortes		
Condição do tempo		1=Bom 2=Nublado 3=Chuvoso		
Temperatura do ar				
pH da água				
Nº das Fotos				

Observações			
Técnico de campo		**Auxiliar de campo**	
Assinatura técnico de campo			
Data da Entrega no Laboratório		**Hora da Entrega no Laboratório**	
Temp. de recebimento no laboratório (C°)		**Nome do responsável pelo recebimento no laboratório:**	
Assinatura responsável pelo recebimento no laboratório:			

	Cadeia de Custódia - Amostragem de Solo					
	Embaúba Ambiental Ltda.					
	Contrato 4800008016 / RFP 4200006582					
Cliente	Fundação Renova					
Endereço	Av. Getúlio Vargas, 671 - 4º andar Funcionários - Belo Horizonte - CEP: 30112-021					
Projeto	Revisão do estudo de identificação de áreas de irrigação ao longo dos rios Gualaxo, Ribeirão do Carmo, Doce e outros cursos d'água afetados					
Município						
Código da propriedade						
Data da Amostragem			**Hora da Amostragem**			
Coordenadas Leste			**Coordenadas Norte**			
Condições Ambientais						
Chuvas nas últimas 24h		1=Não 2=Fracas 3=Médias 4=Fortes				
Condição do tempo		1=Bom 2=Nublado 3=Chuvoso				
Temperatura do ar						
Tipo de relevo		1=Topo de morro 2=Encosta 3=Terraço 4=Várzea				
Tipo de cultura presente		1=Hortaliça 2=Tubérculo 3=Milho 4=Feijão 5=Pastagem e forrageiras 6=Outros				
Data da última adubação						
Nº das Fotos						
Observações						
Técnico de campo				**Auxiliar de campo**		
Assinatura técnico de campo						
Data da Entrega no Laboratório				**Hora da Entrega no Laboratório**		
Nome do responsável pelo recebimento no laboratório:			**Assinatura responsável pelo recebimento no laboratório:**			

	Cadeia de Custódia - Amostragem Foliar					
	Embaúba Ambiental Ltda.					
	Contrato 4800008016 / RFP 4200006582					
Cliente	Fundação Renova					
Endereço	Av. Getúlio Vargas, 671 - 4º andar Funcionários - Belo Horizonte - CEP: 30112-021					
Projeto	Revisão do estudo de identificação de áreas de irrigação ao longo dos rios Gualaxo, Ribeirão do Carmo, Doce e outros cursos d'água afetados					
Município						
Código da propriedade						
Data da Amostragem			**Hora da Amostragem**			
Coordenadas Leste			**Coordenadas Norte**			
Condições Ambientais						
Chuvas nas últimas 24h		1=Não 2=Fracas 3=Médias 4=Fortes				
Condição do tempo		1=Bom 2=Nublado 3=Chuvoso				
Temperatura do ar						
Tipo de cultura amostrada		1=Hortaliça 2=Tubérculo 3=Milho 4=Feijão 5=Pastagem e forrageiras 6=Arbóreas 7=Outros				
Tipo de cultura presente		1=Hortaliça 2=Tubérculo 3=Milho 4=Feijão 5=Pastagem e forrageiras 6=Arbóreas 7=Outros				
Uso pesticidas		1=Sim 2=Não				
Uso fertilizantes		1= Solo 2=Planta 3=Ambos 4=Ausente				
Data da última adubação						
Nº das Fotos						
Observações						
Técnico de campo			**Auxiliar de campo**			
Assinatura técnico de campo						
Data da entrega no Laboratório			**Hora da entrega no Laboratório**			
Nome do responsável pelo recebimento no laboratório:			**Assinatura responsável pelo recebimento no laboratório:**			

Apêndice C – Relatório Fotográfico

BARRA LONGA / MG



Foto 1: Treinamento prático da equipe de campo. – 23/06/2018

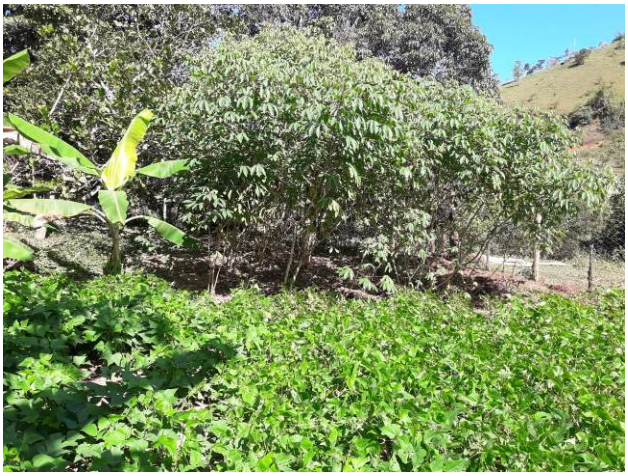


Foto 2: Registro fotográfico de cultura agrícola (hortaliça) em propriedade vistoriada. – SGC12534



Foto 3: Registro fotográfico do sistema de irrigação em propriedade vistoriada. – SGC 12307



Foto 4: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 12915



Foto 5: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 12296



Foto6: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (capineira) em propriedade vistoriada. – SGC 12296



Foto 7: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo. – SGC 16287



Foto8: Registro fotográfico de cultura agrícola (feijão) em propriedade vistoriada. – SGC 15964



Foto 9: Registro fotográfico de cultura agrícola (milho) e coleta de solo em propriedade vistoriada. – SGC 16287



Foto 10: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 15970



Foto 11: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 15965



Foto 12: Registro fotográfico do sistema de irrigação em propriedade vistoriada. – SGC 15965



Foto 13: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo. – SGC 14648



Foto 14: Registro fotográfico de cultura agrícola (hortaliças) em propriedade vistoriada. – SGC 15161



Foto 15: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 14938



Foto 16: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 27465

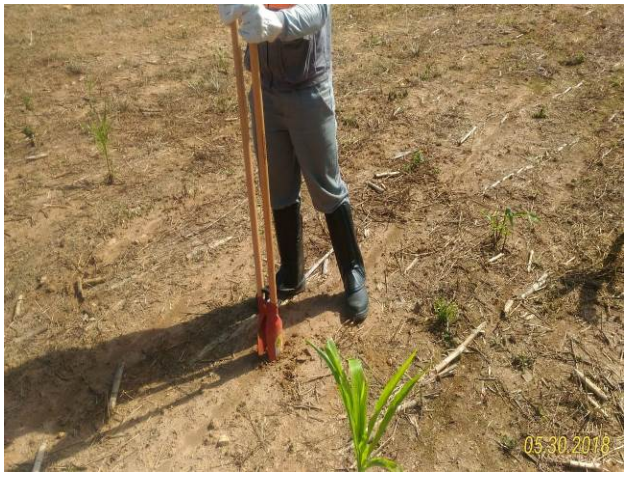


Foto 17: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 14935



Foto 18: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (cana-de-açúcar) em propriedade vistoriada. – SGC 14648



Foto 19: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na Área de Estudo. – CPF 046.125.496-43



Foto 20: Registro fotográfico de cultura agrícola em propriedade vistoriada. – CPF 046.125.496-43



Foto 21: Registro fotográfico do sistema de irrigação em propriedade vistoriada. – CPF 046.125.496-43



Foto 22: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – CPF 046.125.496-43



Foto 23: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – CPF 040.943.986-00



Foto 24: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (hortaliça) em propriedade vistoriada. – CPF 040.943.986-00



Foto 25: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na Área de Estudo. – SGC 35763



Foto 26: Registro fotográfico de cultura agrícola em propriedade vistoriada. – SGC 35763



Foto 27: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – CPF 000.590.476-58



Foto 28: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – CPF 000.590.476-58



Foto 29: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – CPF 000.590.476-58



Foto 30: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (feijão) em propriedade vistoriada. – SGC 35763



Foto 31: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na Área de Estudo. – SGC 17909



Foto 32: Registro fotográfico de cultura agrícola (hortaliça) em propriedade vistoriada. – SGC 13657



Foto 33: Registro fotográfico de cultura agrícola (citrus) em propriedade vistoriada. – SGC 17909



Foto 34: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 13657



Foto 35: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 17909



Foto 36: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (pomar) em propriedade vistoriada. – SGC 17909



Foto 37: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na Área de Estudo. – SGC 13575



Foto 38: Registro fotográfico de cultura agrícola (hortaliça) em propriedade vistoriada. – SGC 39730



Foto 39: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada – SGC 39730



Foto 40: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 28527



Foto 41: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 39730



Foto 42: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (pomar) em propriedade vistoriada. – SGC 19616



Foto 43: Registro fotográfico de propriedade e cultura agrícola na Área de Estudo. – CPF 079.009.456-87



Foto 44: Registro fotográfico de culturas agrícolas (vazante) em propriedade vistoriada. – SGC 27989



Foto 45: Registro fotográfico do sistema de irrigação e coleta de água em propriedade vistoriada. – CPF 079.009.456-87



Foto 46: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 25791



Foto 47: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 25791



Foto 48: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal em propriedade vistoriada. – SGC 25314



Foto 49: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo. – CPF 964.069.256-53



Foto 50: Registro fotográfico de cultura agrícola em propriedade vistoriada. – CPF 964.069.256-53



Foto 51: Registro fotográfico do ponto de captação da água usada na irrigação em propriedade vistoriada. – SGC 17990



Foto 52: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 17990



Foto 53: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 17993



Foto 54: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (mandioca) em propriedade vistoriada. – SGC 17990



Foto 55: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo. – CPF 111.125.526-18



Foto 56: Registro fotográfico de cultura agrícola (hortaliça) em propriedade vistoriada. – CPF 111.177.446-39



Foto 57: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada (COPASA / Grupo controle). – CPF 879.100.396-20



Foto 58: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – CPF 024.938.126-54



Foto 59: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – CPF 111.177.446-39



Foto 60: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (bananeira) em propriedade vistoriada. – CPF 488.990.547-20



Foto 61: Registro fotográfico de propriedade e cultivos agrícolas na área de estudo. – CPF 007.817.376-05



Foto 62: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 19749



Foto 63: Registro fotográfico do sistema de irrigação e cultura agrícola (hortaliça) em propriedade vistoriada. – SGC 13261



Foto 64: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 13242



Foto 65: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 13261



Foto 66: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (cítrico) em propriedade vistoriada. – SGC 13242



Foto 67: Registro fotográfico de propriedade na área de estudo. – SGC 27801



Foto 68: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 27801



Foto 69: Registro fotográfico de propriedade e cultivos na área de estudo. – SGC 13051



Foto 70: Registro fotográfico de cultura agrícola (hortaliça) em propriedade vistoriada. – SGC 34637



Foto 71: Registro fotográfico de irrigação e cultivo agrícola em propriedade vistoriada. – SGC 13051



Foto 72: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 34637



Foto 73: Registro fotográfico do ponto de captação/bombeamento do sistema de irrigação em propriedade vistoriada. – SGC 19302



Foto 74: Registro fotográfico de propriedade e cultivos na Área de Estudo. – SGC 19302



Foto 75: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na Área de Estudo. – CPF 669.677.756-34



Foto 76: Registro fotográfico do sistema de bombeamento usado na irrigação (pivô) da propriedade vistoriada. – CPF 669.677.756-34



Foto 77: Registro fotográfico do sistema de irrigação (pivô) e cultivo agrícola (feijão) em propriedade vistoriada. – CPF 669.677.756-34



Foto 78: Registro fotográfico do sistema de irrigação (aspersão) e cultivo agrícola em propriedade vistoriada. – CPF 459.109.526-68



Foto 79: Registro fotográfico do sistema de bombeamento usado na irrigação da propriedade vistoriada. – SGC 13450



Foto 80: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – – SGC 13450



Foto 81: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na Área de Estudo. – SGC 15729



Foto 82: Registro fotográfico de cultura agrícola (bananeira) em propriedade vistoriada. – SGC 15729



Foto 83: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 14878



Foto 84: Registro fotográfico da captação e coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 15729



Foto 85: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 14825



Foto 86: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal (bananeira) em propriedade vistoriada. – SGC 14878



Foto 87: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na Área de Estudo. – CPF 469.657.506-34



Foto 88: Registro fotográfico de coleta de solo e cultura agrícola (milho) em propriedade vistoriada. – CPF 003.364.606-60



Foto 89: Registro fotográfico do ponto de captação em poço usado para irrigação em propriedade vistoriada (ponto de coleta de água). – CPF 069.559.426-54



Foto 90: Registro fotográfico do ponto de bombeamento do sistema de irrigação e coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – CPF 003.364.606-60



Foto 91: Registro fotográfico do ponto de captação em poço usado para irrigação em propriedade vistoriada (ponto de coleta de água). – CPF 096.376.416-02



Foto 92: Registro fotográfico do ponto de bombeamento do sistema de irrigação em propriedade vistoriada (ponto de coleta de água). – CPF 040.634.006-46



Foto 93: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo. – SGC 16052



Foto 94: Registro fotográfico de cultura agrícola (feijão) e sistema de irrigação de propriedade vistoriada. – SGC 16052



Foto 95: Registro fotográfico do ponto de bombeamento do sistema de irrigação em propriedade vistoriada (ponto de coleta de água). – SGC 16052



Foto 96: Registro fotográfico da coleta de amostra de água em propriedade vistoriada. – SGC 15452



Foto 97: Registro fotográfico do ponto de bombeamento do sistema de irrigação da propriedade vistoriada (ponto de coleta de água). – SGC 16812



Foto 98: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal em propriedade vistoriada. – SGC 16812



Foto 99: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo. – CPF 626.368.046-68



Foto 100: Registro fotográfico de cultura agrícola irrigada (aspersão) em propriedade vistoriada. – CPF 626.368.046-68



Foto 101: Registro fotográfico de cultura agrícola irrigada (hortaliça) em propriedade vistoriada. – CPF 243.020.906-34



Foto 102: Registro fotográfico da coleta de amostra de água (poço) em propriedade vistoriada. – CPF 243.020.906-34



Foto 103: Registro fotográfico do ponto de bombeamento do sistema de irrigação em propriedade vistoriada (ponto de coleta de água). – CPF 046.627.406-81



Foto 104: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal em propriedade vistoriada. – CPF 243.020.906-34



Foto 105: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo. – SGC 18014



Foto 106: Registro fotográfico de cultura agrícola (café) em propriedade vistoriada. – SGC 17983



Foto 107: Registro fotográfico do sistema de irrigação e cultura agrícola (hortaliças) em propriedade vistoriada. – SGC 21379



Foto 108: Registro fotográfico do sistema de irrigação e cultura agrícola (hortaliças) em propriedade vistoriada. – SGC 17833



Foto 109: Registro fotográfico da coleta de amostra de solo em propriedade vistoriada. – SGC 18014



Foto 110: Registro fotográfico da coleta de amostra de material vegetal em propriedade vistoriada. – SGC 30482



Foto 111: Registro fotográfico de propriedade vistoriada na área de estudo (café). – SGC DORMIDES GUILERME



Foto 112: Registro fotográfico da coleta de solo de propriedade vistoriada. – SGC DORMIDES GUILERME



Foto 113: Registro fotográfico do sistema de irrigação e cultura agrícola (feijão) em propriedade vistoriada. – SGC 862.753.487-04



Foto 114: Registro fotográfico da coleta de água em propriedade vistoriada. – SGC 493.480.357-20



Foto 115: Registro fotográfico da Área de Estudo. em propriedade vistoriada. – SGC 25886



Foto 116: Registro fotográfico da área a ser amostrada em propriedade vistoriada. – SGC 991.753.637-04

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice D – Análises estatísticas

PDf Estísticas

Av. Getúlio Vargas 671 4º andar | Funcionários | Belo Horizonte | MG | 30112-021 | 0800 031 2303 | **fundacaorenova.org**