



ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

VOLUME II

PROJETO COLOSSUS – VIRIDIS MINERAÇÃO LTDA.

CL-HC-2091-EIA-VOL-II

JANEIRO DE 2025



VOLUMES

O Estudo de Impacto Ambiental do Projeto Colossus da Viridis Mineração é composto por 6 (seis) volumes, sendo este documento o **VOLUME II**, que consiste no Diagnóstico do Meio Físico, o qual abrange os fatores abióticos, incluindo clima, ar, mudanças climáticas, ruído, vibração, geologia, geomorfologia, pedologia, recursos hídricos superficiais e subterrâneos, solos e sedimentos, conforme aparentado na tabela abaixo.

VOLUME I	Introdução
	Localização e Acessos
	Legislação Ambiental
	Identificação do Empreendedor e da Empresa de Consultoria
	Estudo de Alternativas Locacionais e Tecnológicas
	Caracterização da Intervenção
	Definição de Áreas de Estudo
VOLUME II	Diagnóstico Ambiental do Meio Físico
	Clima e Meteorologia
	Qualidade do Ar
	Mudanças Climáticas
	Ruído Ambiental e Vibração
	Geologia
	Geomorfologia
	Suscetibilidade a Processos Erosivos
	Pedologia e Aptidão Agrícola
	Espeleologia
	Recursos Hídricos Superficiais
	Qualidade das Águas Superficiais
	Recursos Hídricos Subterrâneos
	Qualidade das Águas Subterrâneas
	Áreas Contaminadas
VOLUME III	Diagnóstico Ambiental do Meio Biótico
	Flora regional
	Flora local
	Fauna Terrestre e Biota Aquática



VOLUME IV	Diagnóstico Ambiental do Meio Socioeconômico
	Contextualização Regional
	Contextualização Local
	Propriedades
	Caracterização das comunidades ao entorno
	Análise Integrada do Diagnóstico Ambiental
VOLUME V	Serviços Ecosistêmicos Associados à Vegetação Nativa
	Passivos Ambientais
	Avaliação de Impactos
	Áreas de Influência
	Programas Ambientais
	Programas de Mitigação, Controle, Monitoramento, Compensação e Recuperação
	Conclusão
	Referências
	Equipe Técnica
VOLUME VI	Anexos



ÍNDICE

6	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	23
6.1	MEIO FÍSICO	23
6.1.1	CLIMA E METEOROLOGIA	23
6.1.1.1	Caracterização Climática Regional	23
6.1.1.2	Caracterização Meteorológica Local	31
6.1.2	QUALIDADE DO AR	34
6.1.2.1	Metodologia	35
6.1.2.2	Resultados	41
6.1.3	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	47
6.1.3.1	Metodologia	47
6.1.3.2	Resultados	50
6.1.4	RUÍDO AMBIENTAL E VIBRAÇÃO	56
6.1.4.1	Ruído Ambiental	56
6.1.4.2	Vibração	68
6.1.5	GEOLOGIA	74
6.1.5.1	Área de Estudo Regional	74
6.1.5.2	Área de Estudo Local	79
6.1.6	GEOMORFOLOGIA	84
6.1.6.1	Área de Estudo Regional	84
6.1.6.2	Área de Estudo Local	87
6.1.7	SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS	92
6.1.8	PEDOLOGIA E APTIDÃO AGRÍCOLA	97
6.1.8.1	Área de Estudo Regional	97
6.1.8.2	Área de Estudo Local	103
6.1.9	ESPELEOLOGIA	108
6.1.9.1	Definição da Área de Avaliação Espeleológica (AAE) e Potencialidade Espeleológica Segundo Fonte Oficial	108
6.1.9.2	Potencial Espeleológico Segundo Análise Multicritério	111
6.1.9.3	Definição da Meta de Densidade de Caminhamento Compatível Com a Potencialidade Analisada	118
6.1.9.4	Resultados Quantitativos	118
6.1.9.5	Pontos Controle de Caminhamento Convencional	121
6.1.9.6	Conclusão e Considerações	149
6.1.10	RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS	150
6.1.10.1	Hidrografia	150
6.1.10.2	Hidrologia	155
6.1.10.3	Usos das Águas Superficiais	162
6.1.11	QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	174
6.1.11.1	Caracterização da Qualidade das Águas Superficiais	174
6.1.11.2	Caracterização da Qualidade dos Sedimentos	239



6.1.11.3. Caracterização da Qualidade dos Solos	280
6.1.12. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	322
6.1.12.1. Hidrogeologia	322
6.1.12.2. Usos das Águas Subterrâneas.....	349
6.1.13. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	356
6.1.13.1. Metodologia.....	356
6.1.13.2. Resultados	370
6.1.14. ÁREAS CONTAMINADAS.....	409

412

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 SISTEMA DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA, CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KOPPEN-GEIGER E LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SÃO SIMÃO.	26
FIGURA 02 NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE TEMPERATURA MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA OBTIDOS DA ESTAÇÃO SÃO SIMÃO/SP PARA OS ANOS DE 1981-2010 E 1991-2020	28
FIGURA 03 NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA DO AR OBTIDOS DA ESTAÇÃO SÃO SIMÃO/SP PARA O PERÍODO DE 1991 A 2020.....	29
FIGURA 04 NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE NEBULOSIDADE E INSOLAÇÃO OBTIDOS DA ESTAÇÃO SÃO SIMÃO/SP PARA O PERÍODO DE 1991 A 2020.	30
FIGURA 05 NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE EVAPORAÇÃO TOTAL E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL OBTIDOS DA ESTAÇÃO SÃO SIMÃO/SP PARA O PERÍODO DE 1991 A 2020	31
FIGURA 06 DADOS LOCAIS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO POÇOS/MG PARA O PERÍODO DE 2020 A 2024..	32
FIGURA 07 DADOS LOCAIS DE PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA DO AR OBTIDOS DA ESTAÇÃO POÇOS/MG PARA O PERÍODO DE 2020 A 2024.	33
FIGURA 08 DADOS LOCAIS DE EVAPORAÇÃO DA ESTAÇÃO POÇOS/MG PARA O PERÍODO DE 2020 A 2024....	34
FIGURA 09 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR.....	40
FIGURA 10 GRÁFICO DA ROSA DOS VENTOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CALDAS	42
FIGURA 11 GRÁFICO DA VELOCIDADE DOS VENTOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CALDAS	42
FIGURA 12 GRÁFICO DA ROSA DOS VENTOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA POÇOS	43
FIGURA 13 GRÁFICO DA VELOCIDADE DOS VENTOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA POÇOS	44
FIGURA 14 GRÁFICO DE CONCENTRAÇÃO DE MP _{2,5}	45
FIGURA 15 GRÁFICO DE CONCENTRAÇÃO DE MP ₁₀	46
FIGURA 16 GRÁFICO DE CONCENTRAÇÃO DE PTS	46
FIGURA 17 FLOR DE RISCO	48
FONTE: ELABORADO POR KARINE BEZERRA, ADAPTADO DE IPCC (2014A).....	48
FIGURA 18 INTERVALO DOS ÍNDICES DE RISCO DE IMPACTO CLIMÁTICO, VULNERABILIDADE, EXPOSIÇÃO, AMEAÇA E SENSIBILIDADE DA PLATAFORMA ADAPTABRASIL MCTI	49
FIGURA 19 INTERVALO DO ÍNDICE DE CAPACIDADE ADAPTATIVA DA PLATAFORMA ADAPTABRASIL MCTI	49
FIGURA 20 ÍNDICE DE RISCO DE IMPACTO CLIMÁTICO PARA SECA	52



FIGURA 21	ÍNDICE DE RISCO DE IMPACTO CLIMÁTICO PARA INUNDAÇÕES, ENXURRADAS E ALAGAMENTOS	
	55	
FIGURA 22	RD-10 – MONITORAMENTO DIURNO	58
FIGURA 23	RD-10 – MONITORAMENTO NOTURNO	60
FIGURA 24	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE RUÍDO AMBIENTAL	61
FIGURA 25	RESULTADO DIURNO – ÁREA DE RESIDÊNCIAS RURAIS	65
FIGURA 26	RESULTADO NOTURNO – ÁREA DE RESIDÊNCIAS RURAIS	65
FIGURA 27	RESULTADO DIURNO – ÁREA MISTA PREDOMINANTEMENTE RESIDENCIAL	65
FIGURA 28	RESULTADO NOTURNO – ÁREA MISTA PREDOMINANTEMENTE RESIDENCIAL	65
FIGURA 29	RESULTADO DIURNO – ÁREA MISTA COM PREDOMINÂNCIA DE ATIVIDADES DE CULTURA, LAZER E TURISMO	66
FIGURA 30	RESULTADO NOTURNO – ÁREA MISTA COM PREDOMINÂNCIA DE ATIVIDADES DE CULTURA, LAZER E TURISMO	66
FIGURA 31	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO	69
FIGURA 32	RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO PARA O EIXO LONGITUDINAL	73
FIGURA 33	RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO PARA O EIXO TRANSVERSAL	74
FIGURA 34	RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO PARA O EIXO VERTICAL	74
FIGURA 35	MAPA TECTÔNICO DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL: (1) CRÁTON DO SÃO FRANCISCO; (2) CINTURÃO BRASÍLIA; (3) TERRENO CABO FRIO; (4) TERRENO ORIENTAL — DOMÍNIO COSTEIRO; (5) TERRENO ORIENTAL — ARCO MAGMÁTICO RIO NEGRO; (6) <i>KLIPPE</i> PARAÍBA DO SUL; (7) TERRENO OCIDENTAL; (8) BACIA DO PARANÁ; (9) CORPOS ALCALINOS DO CRETÁCEO SUPERIOR AO EOCENO; (10) BACIAS DO <i>RIFT</i> CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL (RCSB): A — SÃO PAULO; B — TAUBATÉ; C — RESENDE; D — VOLTA REDONDA; E — MACACU; F — ITABORAÍ; G — BARRA DE SÃO JOÃO; (11) SEDIMENTOS CENOZOICOS INDIFERENCIADOS; (12) FALHAS REVERSAS, <i>NAPPES</i> ; (13) ALINHAMENTO MAGMÁTICO DE CABO FRIO; (14) LIMITES DE GRÁBENS DO RCSB.	75
	FONTE: MODIFICADO DE ALMEIDA & CARNEIRO (2012).....	75
FIGURA 36	MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO LOCAL E REGIONAL.....	78
FIGURA 37	SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA DO COMPLEXO ALCALINO POÇOS DE CALDAS (SEM ESCALA). 79	
	FONTE: MDGEO (2024).	79
FIGURA 38	MAPA DE LITOLOGIAS NO COMPLEXO ALCALINO POÇOS DE CALDAS, COM DESTAQUE PARA A ÁREA DE ESTUDO LOCAL	82
FIGURA 39	PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS ALCALINAS DE POÇOS DE CALDAS (MG), SOBRE AS QUAIS FORMAM-SE OS DEPÓSITOS DE BAUXITA	83
	FONTE: MODIFICADO DE BIONDI (2015).	83
FIGURA 40	MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DAS ÁREAS DE ESTUDO	86
FIGURA 41	CATEGORIAS GEOMORFOLÓGICAS DA AEL.	88
FIGURA 42	MAPA HIPSOMÉTRICO DA AEL.....	90
FIGURA 43	MAPA DE DECLIVIDADE DA AEL.	91



FIGURA 44	SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA NA AEL	96
FIGURA 45	MAPA DE PEDOLOGIA NA AER.	99
FIGURA 46	APTIDÃO AGRÍCOLA NA AER DO PROJETO COLOSSUS	102
FIGURA 47	MAPA DE PEDOLOGIA DA AEL	105
FIGURA 48	APTIDÃO AGRÍCOLA NA AEL DO PROJETO COLOSSUS.....	107
FIGURA 49	LOCALIZAÇÃO, LIMITES DA ÁREA DE AVALIAÇÃO ESPELEOLÓGICA (AAE) E POTENCIALIDADE CONFORME CECAV/IDE-SISEMA-MG.	110
FIGURA 50	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA VARIÁVEL DE DECLIVIDADE.....	114
FIGURA 51	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA VARIÁVEL DE FORMAS DO TERRENO.	115
FIGURA 52	DISTRIBUIÇÃO DA VARIÁVEL DE USO E COBERTURA NATURAL DO SOLO.	116
FIGURA 53	RESULTADO ESPACIAL DAS CLASSES DO “ÍNDICE DE POTENCIAL ESPELEOLÓGICO POR MULTICRITÉRIOS FISIOGRAFICOS – IPEMF”	117
FIGURA 54	PANORAMA DOS CAMINHAMENTOS PROSPECTIVOS REALIZADOS, EM RELAÇÃO À DISTRIBUIÇÃO LOCAL DO POTENCIAL ESPELEOLÓGICO.	120
FIGURA 55	COMPARAÇÃO GRÁFICA ENTRE PERCENTUAIS DAS CLASSES DE POTENCIAL ESPELEOLÓGICOS OBTIDAS EM ANÁLISE POR MULTICRITÉRIOS EM ESCRITÓRIOS, COM O TOTAL DE PONTOS CONTROLE CARACTERIZADOS EM CAMPO.....	121
FIGURA 56	ESFORÇO PROSPECTIVO NA ÁREA DE AVALIAÇÃO ESPELEOLÓGICA – FOLHA 1.	122
FIGURA 57	ESFORÇO PROSPECTIVO NA ÁREA DE AVALIAÇÃO ESPELEOLÓGICA – FOLHA 2.	123
FIGURA 58	ESFORÇO PROSPECTIVO NA ÁREA DE AVALIAÇÃO ESPELEOLÓGICA – FOLHA 3.	124
FIGURA 59	ÁREA DE ESTUDO REGIONAL EM RELAÇÃO ÀS BACIAS HIDROGRÁFICAS	152
FIGURA 60	ÁREA DE ESTUDO LOCAL EM RELAÇÃO ÀS BACIAS HIDROGRÁFICAS	154
FIGURA 61	LOCALIZAÇÃO DOS USOS SUPERFICIAIS AUTORIZADOS NA AER.....	163
FIGURA 62	AUTORIZAÇÕES DE DOMÍNIO ANA NA AER	164
FIGURA 63	AUTORIZAÇÕES CONCEDIDAS PELO IGAM NA AER.....	164
FIGURA 64	USOS NÃO CONSUNTIVOS IGAM QUANTO AO TIPO/MODO DE USO	165
FIGURA 65	FINALIDADES DAS AUTORIZAÇÕES CONCEDIDAS PELA ANA	165
FIGURA 66	FINALIDADES DE USOS CONSUNTIVOS IGAM	166
FIGURA 67	VAZÕES MÁXIMA AUTORIZADA PELA ANA POR TIPO DE FINALIDADE NA AER	167
FIGURA 68	VAZÕES MÁXIMA AUTORIZADA PELA IGAM POR TIPO DE FINALIDADE NA AER	167
FIGURA 69	LOCALIZAÇÃO DOS USOS SUPERFICIAIS AUTORIZADOS NA AEL	169
FIGURA 70	AUTORIZAÇÕES DE DOMÍNIO ANA NA AEL	170
FIGURA 71	AUTORIZAÇÕES CONCEDIDAS PELO IGAM NA AEL	170
FIGURA 72	USOS NÃO CONSUNTIVOS IGAM QUANTO AO TIPO/MODO DE USO	171
FIGURA 73	FINALIDADES DAS AUTORIZAÇÕES CONCEDIDAS PELA ANA	172
FIGURA 74	VAZÕES MÁXIMA AUTORIZADA PELA ANA POR TIPO DE FINALIDADE NA AER	172
FIGURA 75	FINALIDADES DE USOS CONSUNTIVOS IGAM.....	173
FIGURA 76	VAZÕES MÁXIMA AUTORIZADA PELA IGAM POR TIPO DE FINALIDADE NA AEL	174
FIGURA 77	REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS NA AER	177



FIGURA 78	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS ..	186
FIGURA 79	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	191
FIGURA 80	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PH NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	192
FIGURA 81	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TEMPERATURA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	192
FIGURA 82	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COR VERDADEIRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	193
FIGURA 83	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TURBIDEZ NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	193
FIGURA 84	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA – PERÍODO DE SECA	194
FIGURA 85	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA – PERÍODO DE CHUVA.....	195
FIGURA 86	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	196
FIGURA 87	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO DBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	196
FIGURA 88	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITROGÊNIO AMONÍACAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	197
FIGURA 89	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FÓSFORO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	197
FIGURA 90	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	198
FIGURA 91	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO <i>E. COLI</i> NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	198
FIGURA 92	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ALUMÍNIO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	199
FIGURA 93	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FERRO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	200
FIGURA 94	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MANGANÊS TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	201
FIGURA 95	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	201
FIGURA 96	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	202
FIGURA 97	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	202



FIGURA 98	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBRE DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	203
FIGURA 99	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	203
FIGURA 100	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TÓRIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	204
FIGURA 101	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	204
FIGURA 102	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE ALFA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	205
FIGURA 103	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE BETA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	205
FIGURA 104	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	208
FIGURA 105	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PH NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	209
FIGURA 106	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TEMPERATURA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	209
FIGURA 107	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COR VERDADEIRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	210
FIGURA 108	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TURBIDEZ NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	210
FIGURA 109	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	211
FIGURA 110	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	212
FIGURA 111	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	212
FIGURA 112	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO DBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	213
FIGURA 113	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITROGÊNIO AMONÍACAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS – PERÍODO DE SECA.....	214
FIGURA 114	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITROGÊNIO AMONÍACAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS – PERÍODO DE CHUVA	214
FIGURA 115	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FÓSFORO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	215
FIGURA 116	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	216
FIGURA 117	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO E. COLI NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	216



FIGURA 118	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ALUMÍNIO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	217
FIGURA 119	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FERRO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	217
FIGURA 120	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MANGANÊS TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	218
FIGURA 121	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	219
FIGURA 122	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	219
FIGURA 123	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBRE DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	220
FIGURA 124	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	220
FIGURA 125	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TÓRIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	221
FIGURA 126	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	221
FIGURA 127	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE ALFA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	222
FIGURA 128	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE BETA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	222
FIGURA 129	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	224
FIGURA 130	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PH NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	225
FIGURA 131	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TEMPERATURA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	225
FIGURA 132	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COR VERDADEIRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	226
FIGURA 133	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TURBIDEZ NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	226
FIGURA 134	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	227
FIGURA 135	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	228
FIGURA 136	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	229
FIGURA 137	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO DBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	229



FIGURA 138	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITROGÊNIO AMONÍACAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	230
FIGURA 139	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FÓSFORO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	230
FIGURA 140	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	231
FIGURA 141	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO <i>E. COLI</i> NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	231
FIGURA 142	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ALUMÍNIO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	232
FIGURA 143	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FERRO DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	233
FIGURA 144	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MANGANÊS TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	233
FIGURA 145	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	234
FIGURA 146	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	234
FIGURA 147	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBRE DISSOLVIDO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	235
FIGURA 148	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	235
FIGURA 149	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TÓRIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	236
FIGURA 150	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO TOTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	236
FIGURA 151	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE ALFA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	237
FIGURA 152	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE BETA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	237
FIGURA 153	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE SEDIMENTOS.....	246
FIGURA 154	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	250
FIGURA 155	GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SEDIMENTOS DE FUNDO, CONFORME A RESOLUÇÃO CONAMA N°454/2012.....	251
FIGURA 156	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	252
FIGURA 157	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CÁDMIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	253



FIGURA 158	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	254
FIGURA 159	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBRE NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	254
FIGURA 160	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CROMO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	255
FIGURA 161	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MERCÚRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	255
FIGURA 162	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	256
FIGURA 163	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	257
FIGURA 164	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TÓRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	257
FIGURA 165	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	258
FIGURA 166	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE ALFA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	259
FIGURA 167	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE BETA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	260
FIGURA 168	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	260
FIGURA 169	GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SEDIMENTOS DE FUNDO, CONFORME A RESOLUÇÃO CONAMA N°454/2012.....	261
FIGURA 170	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	262
FIGURA 171	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CÁDMIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	263
FIGURA 172	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	264
FIGURA 173	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBRE NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	264
FIGURA 174	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CROMO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	265
FIGURA 175	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MERCÚRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	265
FIGURA 176	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	266



FIGURA 177	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	266
FIGURA 178	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TÓRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	267
FIGURA 179	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	268
FIGURA 180	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE ALFA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	269
FIGURA 181	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE BETA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	269
FIGURA 182	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	270
FIGURA 183	GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SEDIMENTOS DE FUNDO, CONFORME A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 454/2012	271
FIGURA 184	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	272
FIGURA 185	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CÁDMIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	272
FIGURA 186	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	273
FIGURA 187	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBRE NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	274
FIGURA 188	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CROMO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	274
FIGURA 189	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MERCÚRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	275
FIGURA 190	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	275
FIGURA 191	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	276
FIGURA 192	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TÓRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	277
FIGURA 193	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	278
FIGURA 194	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE ALFA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	279
FIGURA 195	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RADIOATIVIDADE BETA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	280



FIGURA 196	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE SOLOS	287
FIGURA 197	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	290
FIGURA 198	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ANTIMÔNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	291
FIGURA 199	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ALUMÍNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	292
FIGURA 200	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	292
FIGURA 201	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BÁRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	293
FIGURA 202	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	294
FIGURA 203	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBALTO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	294
FIGURA 204	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FERRO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	295
FIGURA 205	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MANGANÊS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	295
FIGURA 206	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MERCÚRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	296
FIGURA 207	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MOLIBDÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	297
FIGURA 208	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PRATA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	297
FIGURA 209	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO VANÁDIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	298
FIGURA 210	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	298
FIGURA 211	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITRATO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	299
FIGURA 212	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ANTRACENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA	300
FIGURA 213	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BENZO(A)ANTRACENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	300
FIGURA 214	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BENZO(A)PIRENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	300
FIGURA 215	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO INDENO(1,2,3,CD)PIRENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA.....	301
FIGURA 216	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	301



FIGURA 217	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ANTIMÔNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	302
FIGURA 218	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ALUMÍNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	303
FIGURA 219	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	303
FIGURA 220	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BÁRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	304
FIGURA 221	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	304
FIGURA 222	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBALTO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	305
FIGURA 223	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FERRO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	305
FIGURA 224	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MANGANÊS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	306
FIGURA 225	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MERCÚRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	306
FIGURA 226	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MOLIBDÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	307
FIGURA 227	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PRATA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	307
FIGURA 228	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO VANÁDIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	308
FIGURA 229	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	308
FIGURA 230	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITRATO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	309
FIGURA 231	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ANTRACENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	310
FIGURA 232	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BENZO(A)ANTRACENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	310
FIGURA 233	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BENZO(A)PIRENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	310
FIGURA 234	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO INDENO(1,2,3,CD)PIRENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS	311
FIGURA 235	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	311
FIGURA 236	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ANTIMÔNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	312



FIGURA 237	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ALUMÍNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	313
FIGURA 238	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	313
FIGURA 239	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BÁRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	314
FIGURA 240	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	315
FIGURA 241	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COBALTO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	315
FIGURA 242	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO FERRO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	316
FIGURA 243	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MANGANÊS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	316
FIGURA 244	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MERCÚRIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	317
FIGURA 245	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MOLIBDÊNIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	317
FIGURA 246	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PRATA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	318
FIGURA 247	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO VANÁDIO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	318
FIGURA 248	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	319
FIGURA 249	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITRATO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	320
FIGURA 250	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ANTRACENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS	321
FIGURA 251	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BENZO(A)ANTRACENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	321
FIGURA 252	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BENZO(A)PIRENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	322
FIGURA 253	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO INDENO(1,2,3,CD)PIRENO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	322
FIGURA 254	DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO REGIONAL (AER) E DA ÁREA DE ESTUDO LOCAL (AEL).	324
FIGURA 255	LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES INVENTARIADAS PELA CLAM EM 2024 NO PERÍODO DA SECA.	330
FIGURA 256	LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES INVENTARIADAS PELA CLAM EM 2024 NO PERÍODO CHUVOSO.	331



FIGURA 257	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA MEDIDA <i>IN SITU</i> NAS NASCENTES.....	338
FIGURA 258	OXIGÊNIO DISSOLVIDO MEDIDA <i>IN SITU</i> NAS NASCENTES.	338
FIGURA 259	PH MEDIDO <i>IN SITU</i> NAS NASCENTES.....	339
FIGURA 260	POTENCIAL REDOX MEDIDO <i>IN SITU</i> NAS NASCENTES.....	339
FIGURA 261	TURBIDEZ MEDIDA <i>IN SITU</i> NAS NASCENTES.	340
FIGURA 262	VAZÃO DAS NASCENTES.....	340
FIGURA 263	SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS ESQUEMÁTICAS.	343
FORTE: CLAM (2024).		343
FIGURA 264	LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS.	344
FIGURA 265	MAPA DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DAS ÁREAS DE ESTUDO.	348
FIGURA 266	LOCALIZAÇÃO DOS USOS SUBTERRÂNEOS AUTORIZADOS NA AER.....	350
FIGURA 267	AUTORIZAÇÕES CONCEDIDAS PELO IGAM NA AEL	351
FIGURA 268	TIPOS E MODO DE USO CONSUNTIVO IGAM	351
FIGURA 269	FINALIDADES DE USOS CONSUNTIVOS IGAM	352
FIGURA 270	VAZÕES MÁXIMA AUTORIZADA PELA IGAM POR TIPO DE FINALIDADE NA AER	352
FIGURA 271	LOCALIZAÇÃO DOS USOS SUBTERRÂNEOS AUTORIZADOS NA AEL.....	354
FIGURA 272	AUTORIZAÇÕES CONCEDIDAS PELO IGAM NA AEL	355
FIGURA 273	FINALIDADES DE USOS CONSUNTIVOS IGAM	355
FIGURA 274	VAZÕES MÁXIMA AUTORIZADA PELA IGAM POR TIPO DE FINALIDADE NA AEL.....	356
FIGURA 275	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE NASCENTES	361
FIGURA 276	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 366	
FIGURA 277	LOCALIZAÇÃO DAS FONTES MINERAIS E TERMAIS	369
FIGURA 278	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PH.....	371
FIGURA 279	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TURBIDEZ.....	371
FIGURA 280	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TEMPERATURA	372
FIGURA 281	RELAÇÃO ENTRE OXIGÊNIO DISSOLVIDO E TEMPERATURA DA ÁGUA (PERÍODO DE SECA).....	373
FIGURA 282	RELAÇÃO ENTRE OXIGÊNIO DISSOLVIDO E TEMPERATURA DA ÁGUA (PERÍODO DE CHUVA).....	373
FIGURA 283	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO POTENCIAL REDOX	374
FIGURA 284	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS (PERÍODO DE SECA).....	375
FIGURA 285	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS (PERÍODO DE SECA).....	375
FIGURA 286	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITRITO	376
FIGURA 287	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITRATO	376
FIGURA 288	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO SULFATO	377
FIGURA 289	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CLORETO	377
FIGURA 290	RESULTADO PARA O PARÂMETRO MANGANÊS TOTAL.....	378
FIGURA 291	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO TOTAL	379
FIGURA 292	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO TOTAL.....	380
FIGURA 293	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BÁRIO TOTAL	380



FIGURA 294	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CÁDMIO TOTAL.....	380
FIGURA 295	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL TOTAL.....	380
FIGURA 296	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PRATA TOTAL	381
FIGURA 297	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO SÓDIO TOTAL	381
FIGURA 298	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO TOTAL	381
FIGURA 299	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO TOTAL.....	381
FIGURA 300	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES	382
FIGURA 301	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO <i>ESCHERICHIA COLI</i>	383
FIGURA 302	MONITORAMENTO DE VAZÃO.....	385
FIGURA 303	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PH.....	386
FIGURA 304	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO TURBIDEZ.....	387
FIGURA 305	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E TEMPERATURA DA ÁGUA (PERÍODO DE SECA)	388
FIGURA 306	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E TEMPERATURA DA ÁGUA (PERÍODO DE CHUVA)	388
FIGURA 307	RESULTADOS DO PARÂMETRO POTENCIAL REDOX.....	389
FIGURA 308	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS TOTAIS NO PERÍODO DE SECA	390
FIGURA 309	RESULTADOS DE CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS TOTAIS NO PERÍODO DE CHUVA	390
FIGURA 310	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITRITO	391
FIGURA 311	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NITRATO	391
FIGURA 312	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO SULFATO	392
FIGURA 313	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CLORETO	392
FIGURA 314	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO MANGANÊS TOTAL	393
FIGURA 315	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ARSÊNIO TOTAL.....	394
FIGURA 316	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO BÁRIO TOTAL.....	394
FIGURA 317	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CHUMBO TOTAL	394
FIGURA 318	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO CÁDMIO TOTAL.....	394
FIGURA 319	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO NÍQUEL TOTAL.....	395
FIGURA 320	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO PRATA TOTAL	395
FIGURA 321	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO SÓDIO TOTAL	395
FIGURA 322	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO URÂNIO TOTAL	395
FIGURA 323	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO ZINCO TOTAL.....	396
FIGURA 324	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES	397
FIGURA 325	RESULTADOS PARA O PARÂMETRO <i>ESCHERICHIA COLI</i>	397
FIGURA 326	RESULTADOS DO PARÂMETRO PH DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	398
FIGURA 327	RESULTADOS DO PARÂMETRO TEMPERATURA DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	398
FIGURA 328	RESULTADOS DO PARÂMETRO COR VERDADEIRA DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	399



FIGURA 329	RESULTADOS DO PARÂMETRO TURBIDEZ DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	400
FIGURA 330	RESULTADOS DO PARÂMETRO ALCALINIDADE TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	400
FIGURA 331	RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	401
FIGURA 332	RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	402
FIGURA 333	RESULTADOS DO PARÂMETRO POTENCIAL REDOX DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	402
FIGURA 334	RESULTADOS DO PARÂMETRO FLUORETO DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	403
FIGURA 335	RESULTADOS DO PARÂMETRO OXIGÊNIO DISSOLVIDO DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	404
FIGURA 336	RESULTADOS DO PARÂMETRO <i>ESCHERICHIA COLI</i> DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	404
FIGURA 337	RESULTADOS DO PARÂMETRO BÁRIO TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	405
FIGURA 338	RESULTADOS DO PARÂMETRO CÁDMIO TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	405
FIGURA 339	RESULTADOS DO PARÂMETRO FERRO TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	406
FIGURA 340	RESULTADOS DO PARÂMETRO NÍQUEL TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	406
FIGURA 341	RESULTADOS DO PARÂMETRO PRATA TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	407
FIGURA 342	RESULTADOS DO PARÂMETRO TÓRIO TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	407
FIGURA 343	RESULTADOS DO PARÂMETRO URÂNIO TOTAL DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	408
FIGURA 344	RESULTADOS DO PARÂMETRO RADIOATIVIDADE ALFA DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	409
FIGURA 345	RESULTADOS DO PARÂMETRO RADIOATIVIDADE BETA DAS FONTES TERMAIS ANALISADAS	409
FIGURA 346	ÁREAS CONTAMINADAS EM RELAÇÃO À ADA DO PROJETO COLOSSUS	411

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA UTILIZADA NA CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA AER....	24
TABELA 02	DADOS DE NORMAIS CLIMATOLÓGICAS – ESTAÇÃO SÃO SIMÃO (INMET)	27
TABELA 03	DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA UTILIZADA NA CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA AEL	31
TABELA 04	ESTAÇÃO DE CARACTERIZAÇÃO DOS VENTOS.....	35
TABELA 05	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.....	36
TABELA 06	PADRÕES E LIMITES LEGAIS ESTABELECIDOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR.	41
TABELA 07	PADRÃO NACIONAL PARA PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR, RESOLUÇÃO CONAMA 506/24.....	41
TABELA 08	RESULTADOS DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	45
TABELA 09	ÍNDICES DE RISCO DE IMPACTO CLIMÁTICO (SECA), DIMENSÕES DO RISCO E CATEGORIAS	51
TABELA 10	ÍNDICE DE RISCO DE IMPACTO CLIMÁTICO (INUNDAÇÕES, ENXURRADAS E ALAGAMENTOS), DIMENSÕES DO RISCO E CATEGORIAS	54
TABELA 11	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE RUÍDO AMBIENTAL	57
TABELA 12	LIMITES MÁXIMOS DE RUÍDO – NORMA ABNT NBR 10.151/19	62
TABELA 13	LIMITES MÁXIMOS DE RUÍDO – LEI ESTADUAL N° 10.100/1990	62
TABELA 14	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	64
TABELA 15	DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO.....	68



TABELA 16	LIMITES DE VELOCIDADE DE VIBRAÇÃO DE PARTÍCULA POR FAIXA DE FREQUÊNCIA – ABNT NBR 9653.	72
TABELA 17	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO – ESCALA MEDVEDEV.....	72
TABELA 18	- RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DE VIBRAÇÃO DE PARTÍCULA DE PICO (HISTOGRAMA).....	73
TABELA 19	CLASSES DE AVALIAÇÃO E PESO ATRIBUÍDO A DECLIVIDADE.....	92
TABELA 20	CLASSES DE AVALIAÇÃO E PESO ATRIBUÍDO A PEDOLOGIA.....	93
TABELA 21	CLASSES DE AVALIAÇÃO E PESO ATRIBUÍDO A LITOLOGIA.....	93
TABELA 22	CLASSES DE AVALIAÇÃO E PESO ATRIBUÍDO AO USO DO SOLO.....	94
TABELA 23	VARIÁVEIS, SEUS ATRIBUTOS E PESOS PARA CÁLCULO DE POTENCIALIDADE ESPELEOLÓGICA LOCAL PELO IPEMF.....	111
TABELA 24	RESULTADO DA ANÁLISE DE POTENCIALIDADE PELAS CLASSES DE OCORRÊNCIA NAS DIFERENTES ÁREAS DE ANÁLISE.....	112
TABELA 25	MATRIZ DE CAMINHAMENTO. FONTE: CALUX & LOBO (2016).....	118
TABELA 26	SÍNTESE DOS PARÂMETROS EXECUTADOS DURANTE PROSPECÇÃO ESPELEOLÓGICA.....	119
TABELA 27	PONTOS CONTROLE A-PC-055, A-PC-58 E A-PC-062.....	125
TABELA 28	PONTOS CONTROLE A-PC-063, A-PC-066 E B-PC-070.....	126
TABELA 29	PONTOS CONTROLE B-PC-081, B-PC-082 E B-PC-083.....	127
TABELA 30	PONTOS CONTROLE C-PC-084, C-PC-085 E C-PC-090.....	128
TABELA 31	PONTOS CONTROLE C-PC-091, C-PC-092 E C-PC-096.....	129
TABELA 32	PONTOS CONTROLE C-PC-097, C-PC-098 E C-PC-099.....	130
TABELA 33	PONTOS CONTROLE C-PC-100, C-PC-101 E C-PC-102.....	131
TABELA 34	PONTOS CONTROLE C-PC-103, C-PC-104 E C-PC-105.....	132
TABELA 35	PONTOS CONTROLE C-PC-106, C-PC-107 E C-PC-108.....	133
TABELA 36	PONTOS CONTROLE C-PC-109, C-PC-110 E C-PC-111.....	134
TABELA 37	PONTOS CONTROLE C-PC-112, C-PC-113 E C-PC-114.....	135
TABELA 38	PONTOS CONTROLE C-PC-115, C-PC-116 E C-PC-117.....	136
TABELA 39	PONTOS CONTROLE C-PC-118, C-PC-119 E C-PC-120.....	137
TABELA 40	PONTOS CONTROLE C-PC-124, C-PC-143 E C-PC-145.....	138
TABELA 41	PONTOS CONTROLE C-PC-146, C-PC-148 E C-PC-149.....	139
TABELA 42	PONTOS CONTROLE C-PC-150, C-PC-151 E C-PC-152.....	140
TABELA 43	PONTOS CONTROLE C-PC-156, C-PC-157 E C-PC-158.....	141
TABELA 44	PONTOS CONTROLE C-PC-156, C-PC-157 E C-PC-158.....	142
TABELA 45	PONTOS CONTROLE C-PC-159, C-PC-160 E C-PC-161.....	143
TABELA 46	PONTOS CONTROLE C-PC-162, C-PC-163 E C-PC-164.....	144
TABELA 47	PONTOS CONTROLE C-PC-165, C-PC-168 E C-PC-179.....	145
TABELA 48	PONTO CONTROLE C-PC-180, C-PC-181 E C-PC-182.....	146
TABELA 49	PONTOS CONTROLE C-PC-183, C-PC-184 E C-PC-185.....	147
TABELA 50	PONTOS CONTROLE C-PC-187 A C-PC-188.....	148



TABELA 51	SÍNTESE DOS QUANTITATIVOS RELEVANTES DE PROSPECÇÃO NA AAE	149
TABELA 52	CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA DA DENSIDADE DE DRENAGEM.....	156
TABELA 53	DADOS FISIográficos DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO REGIONAL	157
TABELA 54	CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA DA DENSIDADE DE DRENAGEM.....	159
TABELA 55	DADOS FISIográficos DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO LOCAL	160
TABELA 56	VAZÕES AUTORIZADAS POR CADA ÓRGÃO REGULADOR NA AER	166
TABELA 57	VAZÕES AUTORIZADAS PARA CADA ÓRGÃO REGULADOR	171
TABELA 58	ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS	174
TABELA 59	NÍVEIS DE QUALIDADE DO IQA	175
TABELA 60	CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO – RIOS.....	175
TABELA 61	FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE CONTAMINAÇÃO POR TÓXICOS	176
TABELA 62	IQA DO PONTO MONITORADO ENTRE 2012 E 2021	178
TABELA 63	CONTAMINAÇÃO POR TÓXICOS ENTRE 2012 E 2023.....	178
TABELA 64	REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	180
TABELA 65	NÍVEIS DE QUALIDADE DO IQA	188
TABELA 66	CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO – RIOS.....	188
TABELA 67	FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE CONTAMINAÇÃO POR TÓXICOS	189
TABELA 68	IQA DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA 206	
TABELA 69	IET DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA 206	
TABELA 70	CT DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA207	
TABELA 71	IQA DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS 222	
TABELA 72	IET DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA 223	
TABELA 73	CT DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS VARGENS . 223	
TABELA 74	IQA DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA 238	
TABELA 75	IET DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA PONTE ALTA 238	
TABELA 76	ICT DOS PONTOS MONITORADOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS.....	238
TABELA 77	REDE DE MONITORAMENTO DE SEDIMENTOS	239
TABELA 78	CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO, CONFORME ESTABELECIDO NA RESOLUÇÃO CONAMA N°454/2012.....	248
TABELA 79	REDE DE MONITORAMENTO DE SOLOS.....	280
TABELA 80	INFORMAÇÕES DOS POÇOS DE MONITORAMENTO INSTALADOS NA ÁREA DO PROJETO COLOSSUS. 325	
TABELA 81	NASCENTES INVENTARIADAS NA ÁREA DO PROJETO COLOSSUS	327



TABELA 82	RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E VAZÕES MÉDIAS OBTIDAS NO INVENTÁRIO DO PERÍODO SECO.....	332
TABELA 83	RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E VAZÕES MÉDIAS OBTIDAS NO INVENTÁRIO DO PERÍODO CHUVOSO.....	334
TABELA 84	VALORES DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K) OBTIDOS PELOS ENSAIOS DE <i>SLUG TEST</i> REALIZADOS NOS POÇOS.....	346
TABELA 85	PONTOS DE COLETA DE NASCENTES NAS ÁREAS DE ESTUDO DO PROJETO COLOSSUS	359
TABELA 86	REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	362
TABELA 87	REDE DE MONITORAMENTO DE FONTES TERMAIS – AMOSTRAGEM CLAM.....	367



6 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

6.1. MEIO FÍSICO

6.1.1. Clima e Meteorologia

Neste tópico, é descrito o padrão climático predominante na região abrangendo a Área Diretamente Afetada (ADA) e as áreas de estudo do Projeto Colossus, situado no município de Poços de Caldas/MG, com uma análise detalhada que considera o contexto tanto regional quanto local.

6.1.1.1. Caracterização Climática Regional

A caracterização climática regional deste estudo baseia-se nas normais climatológicas, que consistem em valores médios de variáveis meteorológicas calculados ao longo de um período uniforme e prolongado, com duração mínima de três décadas consecutivas, representando as condições climáticas médias de um determinado local (INMET, 2021).

6.1.1.1.1. Metodologia

Para identificar e caracterizar o clima em escala regional da área de estudo do Projeto Colossus, foi adotado o conceito de normais climatológicas e os padrões climatológicos definidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). A análise climática realizada neste estudo abrange elementos climatológicos e fatores climáticos que influenciam diretamente o clima regional, incluindo: sistemas de circulação atmosférica, classificação climática, temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, nebulosidade, insolação, evaporação total e evapotranspiração potencial.

A caracterização das variáveis climáticas foi realizada com base nos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) obtidos na Estação Meteorológica de São Simão/MG (Código: 83669), localizada a aproximadamente 115 km da ADA do Projeto e sendo a estação mais próxima com dados de normais climatológicas disponíveis. A maioria dos dados abrange o período histórico de 30 anos (1991-2020). No entanto, para os elementos de temperatura média e mínima, foi necessário utilizar dados do período de 1981 a 2010, uma vez que as informações correspondentes ao período de 1991 a 2020 para a estação em questão não estavam disponíveis. Visando conferir maior robustez à análise dos dados de temperatura, adotou-se a premissa de utilizar os dados de temperatura máxima para ambos os períodos disponíveis.

A Tabela 01 resume as principais informações da estação meteorológica utilizada para elaboração do diagnóstico regional. Com base no conjunto de dados obtidos, foram realizadas análises dos parâmetros meteorológicos monitorados, resultando na elaboração de climogramas que sintetizam as informações.



Tabela 01 Dados da Estação Meteorológica utilizada na caracterização climática da AER

Estação	Código	Município	Coordenadas (Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S)		Responsável	Período de dados	Distância aproximada da ADA (km)	Elementos que caracterizam o clima
			Latitude	Longitude				
São Simão	83669	São Simão	7624616.02	232686.85	INMET	1981 a 2010 1991 a 2020	115	Temperatura Precipitação Umidade do Ar Nebulosidade Insolação Evaporação total Evapotranspiração Potencial

6.1.1.1.2. Resultados

Sistema de Circulação Atmosférica

De acordo com Reboita *et al.* (2015), o estado de Minas Gerais apresenta uma geografia minuciosa em aspectos topográficos devido à presença de suas serras, como a Mantiqueira, específica desse estudo, onde está localizada a região do Projeto Colossus. Além disso, o estado de Minas Gerais e a ADA do Projeto Colossus se localiza a uma distância considerável do oceano. Tais peculiaridades intervêm diretamente no clima do estado, visto que, quanto mais distante do oceano, maior amplitude térmica do ar durante o período diurno, resultando em temperaturas mais elevadas.

Estes aspectos contribuem para fenômenos de mesoescala, como tempestades isoladas, tornados, formações de nuvens, ilhas de calor e brisas. Esse traço climático se destaca na região, gerando influências na distribuição espacial e temporal das precipitações, produzindo interferências nas características físicas do local.

O estado de Minas Gerais insere-se, em sua maior parte, em clima tropical, o qual é reconhecido por estações definidas entre inverno seco e verão chuvoso. Estas características, favorecem o deslocamento de massas de ar atmosférico. Além disso, o posicionamento da região Sudeste em relação ao globo terrestre facilita a maior incidência de radiação solar, aumentando a incidência de movimentos de convecção (Cavalcanti, *et al.*, 2009; Reboita, *et al.*, 2015).

Os principais sistemas de circulação atmosférica que atuam no estado de Minas Gerais e influenciam o clima são o Anticiclone Polar Móvel (APM), a Frente Fria (FF), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

O Anticiclone Polar Móvel (APM) desempenha um papel relevante na formação de frentes frias, à medida que se desloca em direção às latitudes tropicais, contribuindo para a ocorrência de chuvas e aumento da umidade do ar. Contudo, à medida que avança pelo continente, há uma redução nas temperaturas e umidade do ar (Nimer, 1989).

Durante os meses de inverno, a Frente Fria (FF) provoca quedas significativas nas temperaturas, levando a ocorrência de geadas e friagens em áreas agrícolas das regiões Sul e Sudeste do Brasil (Cavalcanti, *et al.*, 2009).

Por outro lado, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é a principal responsável pela estação chuvosa que ocorre na região Sudeste do Brasil, compreendida entre os meses de outubro a março (Cavalcanti, *et al.*, 2009).



Já o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) ocorre durante o inverno com maior intensidade, estendendo-se para oeste do Brasil, sobre a região Sudeste. Neste período, o ASAS atua com circulação continental, pois quando a Frente Polar Atlântica (FPA) atinge o estado, a massa de ar provoca a queda de temperatura e, tem-se poucas chuvas devido à baixa umidade e atividade convectiva, resultando em um inverno seco com ventos intensos.

A massa de ar oriunda desse anticiclone, que atinge a maior parte das regiões tropicais do Brasil durante o ano inteiro, tem caráter tropical, assim, mesmo com a inversão térmica, o tempo se mantém estável, até que ocorram mudanças bruscas. Essas mudanças se devem às correntes de circulação perturbadas, sendo as principais atuantes na região Sudeste do Brasil o Sistema de Correntes Perturbadas de Sul, de Oeste e de Leste (Nimer, 1989), conforme apresentado na Figura 01.

O Sistema de Circulação Perturbada de Sul (S), também chamado de Frente Polar (FP), é representado pela formação dos anticiclones polares na direção S a SE da região sudeste. No período do inverno esse sistema é marcado por precipitações pluviométricas pouco expressivas, devido à baixa umidade do ar, já no verão, esse sistema é o principal responsável pela abundância de chuva nessa região.

O Sistema de Circulação Perturbada de Oeste (W) é marcado por linhas de instabilidade tropical (IT), que impulsionam a incidência de ventos de norte a noroeste que incidem sobre a região no período de primavera e outono. Esse sistema marca a presença de chuvas e trovoadas na parte da tarde na região sudeste.

O Sistema de Circulação Perturbada de Leste (E) é representado pela formação dos ventos alísios. Também conhecido como ondas de este (EW), é marcado pela presença de ondas que se dirigem ao oeste, gerando chuvas em abundância no período de inverno e em menor frequência no outono.

Classificação Climática

Os sistemas de classificações climáticas (SCC), são utilizados com o objetivo de sintetizar as características climáticas de um dado local. Esses sistemas proporcionam identificar espacialmente as áreas com características climáticas semelhantes, contribuindo para a troca de informações e análises posteriores para diferentes objetivos. Para a classificação climática das Áreas de Estudo (AE), foi utilizado a classificação de *Köppen-Geiger*, a qual apresenta três tipos de clima no Brasil (A, 81,4%; B, 4,9% e C, 13,7%), os quais foram descritos os seguintes subtipos: Af, Am, Aw, As, Bsh, Cfa, Cfb, Cwa, Cwb, Cwc, Csa, Csb. Segundo Alvares, *et al* (2013), o clima tropical e temperado quente predominam no estado de Minas Gerais, ambos com período seco no inverno.

Com base na classificação climática de *Köppen-Geiger*, o município de Poços de Caldas, no qual se inserem as Áreas de Estudo (AE) e a ADA, predomina a categorização Cwb, com inverno frio e seco e verão quente e úmido. O mapa da Figura 01 demonstra a posição da AE e da ADA dentro desse contexto climático.

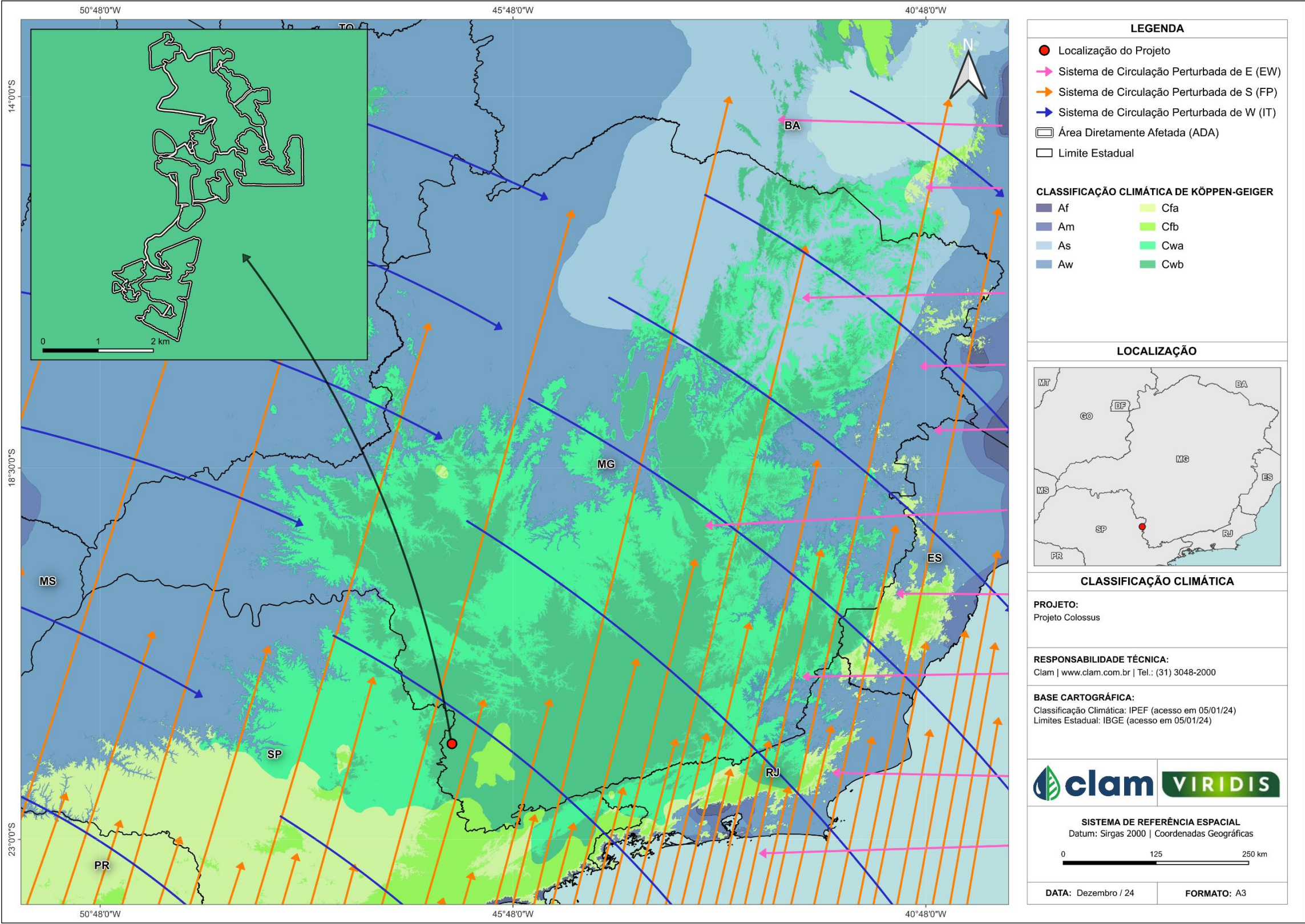


Figura 01 Sistema de Circulação Atmosférica, Classificação Climática de *Köppen-Geiger* e Localização da Estação Meteorológica São Simão.



Normais Climatológicas

O comportamento da atmosfera em um determinado momento pode ser descrito por variáveis que caracterizam as condições físicas do ar, conhecidas como parâmetros meteorológicos (ou elementos que caracterizam o clima). Assim, a seguir, serão discutidos os parâmetros necessários para a caracterização meteorológica da Área de Estudo Regional (AER), incluindo: Temperatura (máx., med. e mín.); Precipitação e Umidade relativa do ar; Insolação e Nebulosidade; Evaporação total e Evapotranspiração Potencial. A seguir são apresentados os dados e análise de cada um dos elementos citados anteriormente.

Tabela 02 Dados de Normais Climatológicas – Estação São Simão (INMET)

Meses	Insolação (horas) (1991-2020)	Umidade Relativa do Ar (%) (1991-2020)	Precipitação (mm) (1991-2020)	Tmín. (°C) (1981- 2010)	Tmáx. (°C) (1991- 2020)	Tmáx. (°C) (1981- 2010)	Tméd. (°C) (1981- 2010)	Evaporação Total (1991- 2020)	Nebulosidade (1991-2020)	Evapotranspiração Potencial (1991- 2020)
Janeiro	163,2	76,8	281,5	20,10	31,0	30,40	24,30	113,2	0,7	160,70
Fevereiro	173,9	75,8	197,4	19,90	31,4	31,00	24,30	108,6	0,6	135,10
Março	208,5	75,0	145,8	19,40	31,0	30,70	24,00	118,7	0,5	137,30
Abril	226,1	71,5	56,4	17,30	30,2	29,70	22,50	128,0	0,4	115,70
Mai	213,3	71,5	55,0	13,90	27,4	27,00	19,40	121,5	0,4	89,10
Junho	207,8	70,2	28,0	12,10	27,1	26,60	18,30	117,7	0,3	74,00
Julho	232,3	63,3	15,3	11,90	27,6	27,00	18,50	156,5	0,3	79,80
Agosto	243,1	55,8	19,5	13,40	29,6	29,10	20,50	208,5	0,2	108,50
Setembro	209,5	57,8	61,0	16,10	31,1	30,00	22,20	212,2	0,4	133,40
Outubro	205,6	63,4	114,6	17,90	31,9	30,90	23,60	193,0	0,5	160,00
Novembro	190,3	70,1	172,0	18,70	30,9	30,50	23,80	149,8	0,6	156,90
Dezembro	177,0	75,0	228,2	19,70	31,1	30,20	24,00	127,2	0,6	155,50

Temperatura

O gráfico apresentado na Figura 02 ilustra a variação da temperatura mínima (Tmín), média (Tméd) e máxima (Tmáx) ao longo dos meses de janeiro a dezembro, considerando dois períodos de análise: 1981 a 2010 e 1991 a 2020. Os dados são provenientes da estação meteorológica de São Simão/SP, operada pelo INMET.

A temperatura mínima (Tmín), representada pela linha verde, mostra a temperatura mínima mensal média no período de 1981 a 2010. Observa-se que a menor temperatura mínima média ocorre em julho, com aproximadamente 11,90 °C. A partir de julho, a Tmín aumenta gradativamente até atingir valores mais altos em dezembro (19,70 °C) e janeiro (20,10 °C).

As linhas vermelha e marrom mostram a temperatura máxima mensal média no período de 1991 a 2020 e 1981 a 2010, respectivamente. As temperaturas máximas variam ao longo dos meses, com um mínimo em julho (cerca de 26,60 °C e 27,10 °C) e um pico em setembro (31,90 °C e 30,90 °C). Isso indica que, em geral, as temperaturas máximas tendem a ser mais altas a partir de setembro e mais baixas a partir



de maio. Nota-se que os valores recentes (linha vermelha) estão ligeiramente mais altos, o que pode indicar um aumento nas temperaturas máximas ao longo do tempo.

É importante destacar que a apresentação de dois períodos de análise (1981-2010 e 1991-2020) foi aplicada apenas para a T_{máx}, pois os dados de 1991-2020 não estão disponíveis para a T_{méd} e T_{mín}. Essa escolha visa oferecer a análise mais atual possível com os dados disponíveis.

Representada pela linha laranja, a temperatura média mensal para o período de 1981 a 2010 também segue uma tendência sazonal. Ela é mais baixa entre maio e julho (19,40; 18,30; 18,50 °C) e tende a aumentar até atingir valores máximos nos meses de verão.

A variação sazonal da temperatura é evidente, com temperaturas mais altas no verão e mais baixas no inverno, o que é esperado em regiões de clima tropical.

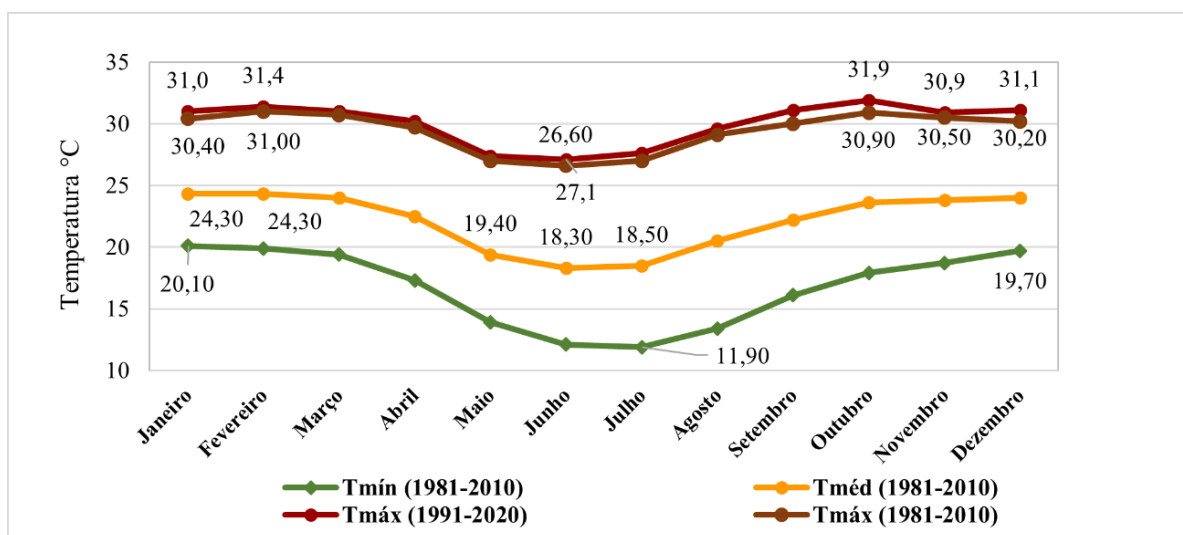


Figura 02 Normais Climatológicas de Temperatura Máxima, Média e Mínima obtidos da Estação São Simão/SP para os anos de 1981-2010 e 1991-2020

Precipitação e Umidade Relativa do Ar

O gráfico da Figura 03 apresenta a precipitação mensal média (em mm) e a umidade relativa do ar (em %) ao longo dos meses de janeiro a dezembro, com dados do período de 1991 a 2020 da estação São Simão/SP operada pelo INMET. A análise dos dados revela padrões sazonais característicos, que podem ser detalhados da seguinte forma:

A precipitação é mais alta nos meses da estação chuvosa, com um pico em janeiro (281,5 mm) e outro em dezembro (228,2 mm), indicando um período chuvoso típico do verão em climas tropicais. De março a agosto, observa-se uma significativa redução na precipitação, atingindo seu mínimo em julho (15,3 mm), caracterizando um período seco. A partir de setembro, a precipitação começa a aumentar gradualmente até atingir o pico novamente, durante a estação chuvosa.

A umidade relativa do ar mantém-se relativamente alta ao longo do ano, com valores mais elevados durante o período chuvoso, variando entre 63,4% e 76,8% nos meses de maior precipitação (outubro a março). Nos meses mais secos, especialmente entre junho e agosto, a umidade relativa do ar diminui, atingindo o valor mais baixo em agosto (cerca de 55,8%), o que é comum em períodos de pouca chuva.

Há uma evidente relação entre a precipitação e a umidade relativa do ar: nos meses com maior precipitação, a umidade relativa tende a ser mais elevada, enquanto nos meses mais secos, a umidade relativa diminui. Essa correlação é típica em regiões de clima tropical, onde os períodos de chuvas intensas são acompanhados por uma atmosfera mais úmida, e os períodos secos são caracterizados por uma menor umidade.

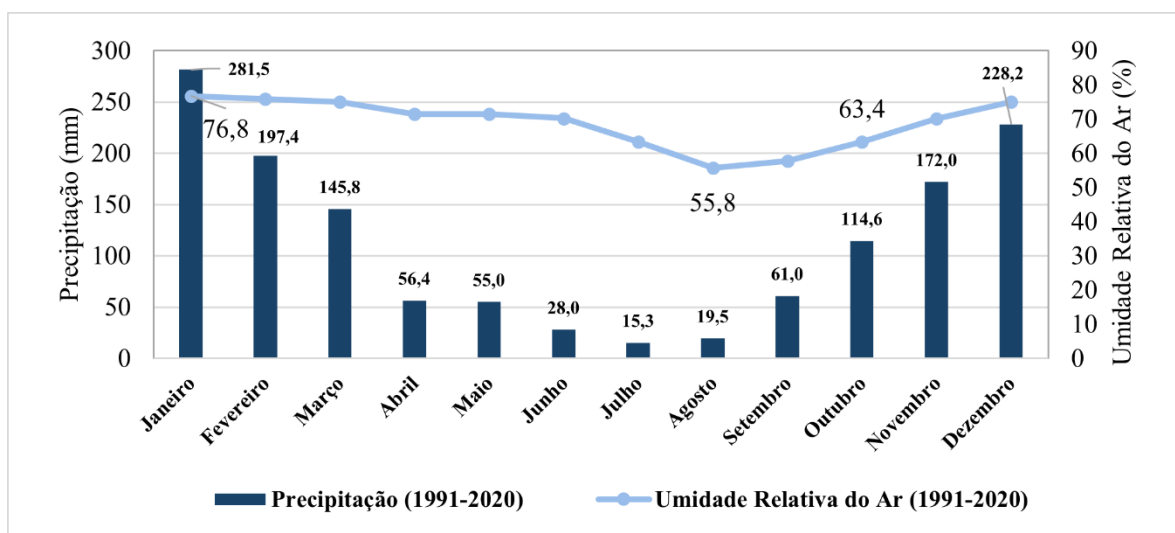


Figura 03 Normais Climatológicas de Precipitação e Umidade Relativa do Ar obtidos da Estação São Simão/SP para o período de 1991 a 2020.

Insolação e Nebulosidade

O gráfico da Figura 04 mostra a nebulosidade média mensal (em décimos) e a insolação mensal (em horas) ao longo do ano, com dados referentes ao período de 1991 a 2020, da estação São Simão/SP operada pelo INMET.

A nebulosidade é mais alta nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro (0,7; 0,6, 0,6 e 0,6 décimos, respectivamente), indicando maior cobertura de nuvens no período chuvoso. De maio a agosto, os valores de nebulosidade caem para seu mínimo, com destaque para agosto, que apresenta o menor valor de nebulosidade (0,2 décimos), sugerindo céu mais limpo no período seco. A nebulosidade começa a aumentar novamente a partir de setembro, acompanhando o retorno gradual das chuvas e da umidade no final do ano.

A insolação mensal é inversamente proporcional à nebulosidade ao longo do ano. O valor mais alto de insolação ocorre em agosto (243,1 horas), quando a nebulosidade é baixa, proporcionando mais horas de luz solar direta. Nos meses de verão, como janeiro e fevereiro, a insolação é reduzida (163,2 horas em janeiro), em decorrência da maior cobertura de nuvens, que limita a exposição direta ao sol. Esse padrão se mantém ao longo do ano, com os meses mais secos (e de menor nebulosidade) apresentando maior quantidade de horas de insolação, enquanto os meses mais nublados apresentam menor insolação.

Observa-se uma evidente correlação entre nebulosidade e insolação: nos meses com maior cobertura de nuvens, as horas de insolação diminuem, e nos meses com menos nuvens, a insolação é maior. Esse comportamento é esperado em regiões tropicais, onde a estação seca é caracterizada por céu claro e

maior incidência solar, enquanto a estação chuvosa apresenta maior cobertura de nuvens, reduzindo a insolação.

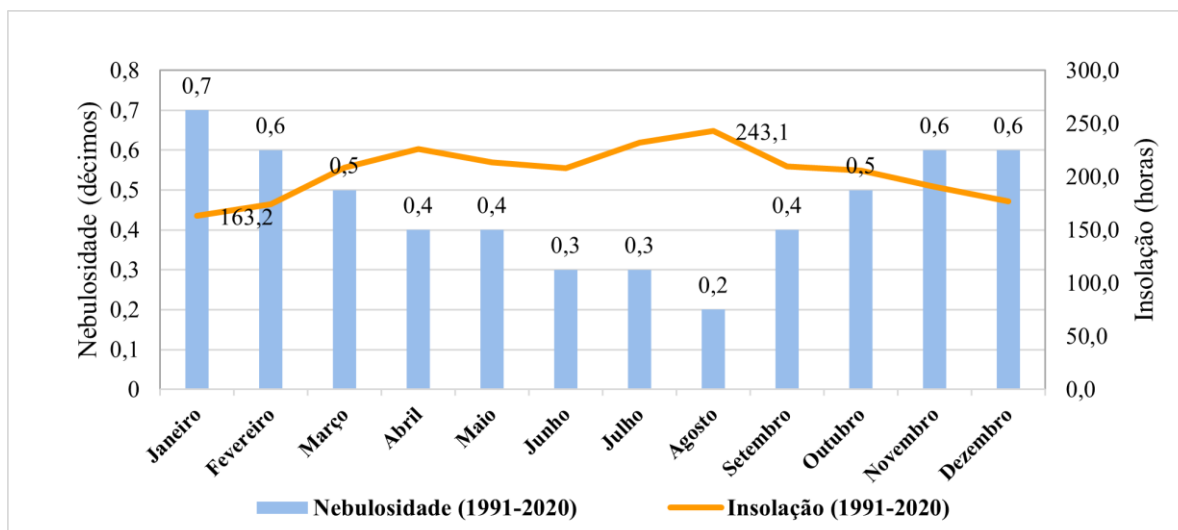


Figura 04 Normais Climatológicas de Nebulosidade e Insolação obtidos da Estação São Simão/SP para o período de 1991 a 2020.

Evaporação Total e Evapotranspiração Potencial

O gráfico da Figura 05 mostra a evaporação total média mensal (mm) e a evapotranspiração potencial mensal (mm) ao longo do ano, com dados referentes ao período de 1991 a 2020, da estação São Simão/SP operada pelo INMET.

A Evaporação Total (barras azuis) apresenta valores mais altos nos meses de agosto (208,5 mm) e setembro (212,2 mm), sugerindo que o período mais seco coincide com uma maior perda de água por evaporação, possivelmente devido ao aumento das temperaturas e à baixa umidade. Os valores mais baixos estão nos meses de janeiro (113,2 mm) e fevereiro (108,6 mm), o que pode indicar maior umidade e menor intensidade da radiação solar.

A evapotranspiração potencial, representada pela linha verde, começa alta em janeiro (160,70 mm), diminuindo gradualmente até atingir o menor valor em junho (74 mm), antes de subir novamente. Essa variação pode estar associada ao ciclo sazonal, refletindo períodos de menor demanda hídrica da vegetação durante os meses mais frios.

De junho a setembro, a evaporação total supera a evapotranspiração potencial, com um picos de superação nos meses de agosto e setembro, o que sugere que, durante esses meses, a perda de água por evaporação é mais intensa do que a quantidade de água necessária para atender à demanda das plantas. Essa análise indica que há períodos críticos de alta evaporação (agosto e setembro) que podem impactar a disponibilidade hídrica, exigindo atenção especial na gestão de recursos hídricos.

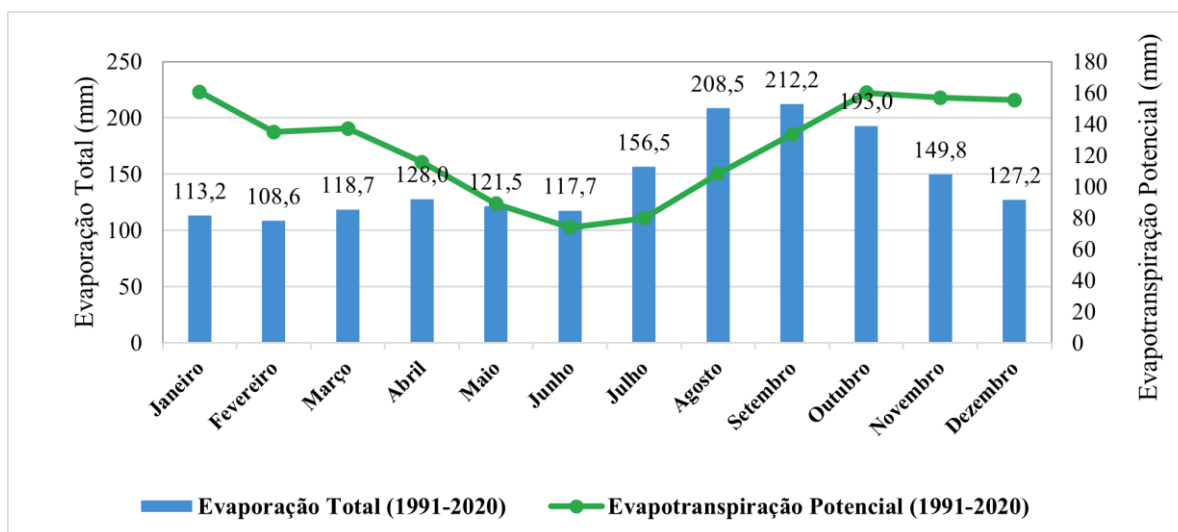


Figura 05 Normais Climatológicas de Evaporação Total e Evapotranspiração Potencial obtidos da Estação São Simão/SP para o período de 1991 a 2020

6.1.1.2. Caracterização Meteorológica Local

A caracterização meteorológica local deste estudo baseia-se em dados de uma estação meteorológica, com registros de variáveis coletados ao longo de um período consistente de, no mínimo, 5 anos, de uma estação localizada o mais próximo possível da Área de Estudo Local (AEL) e/ou ADA.

6.1.1.2.1. Metodologia

Para a caracterização das variáveis meteorológicas em escala local, foram utilizados dados da Estação Meteorológica Poços, operada pela empresa Alcoa Alumínio S/A, localizada a aproximadamente 3,7 km de distância da ADA. Para a escolha dessa estação meteorológica para caracterização local, considerou-se a proximidade com a Área de Estudo Local (AEL) e a ausência de elementos geográficos que pudessem interferir diretamente na caracterização meteorológica, como a presença de morros e serras em um raio de 15 km.

A Tabela 03 apresenta um resumo das informações necessárias da estação meteorológica utilizada para elaboração do diagnóstico local. A partir do conjunto de dados obtidos, foram efetuadas análises dos parâmetros meteorológicos monitorados no período de 2020 a 2024, resultando na elaboração de gráficos que sintetizam as informações.

Tabela 03 Dados da Estação Meteorológica utilizada na caracterização climática da AEL

Nome	Município	Coordenadas (Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S)		Responsável	Período de dados	Distância em relação a ADA (km)	Parâmetros meteorológicos
		Latitude	Longitude				
Estação Meteorológica Poços	Poços de Caldas	7583563.60	335896.67	ALCOA	2020 a 2024	3,7 Km	Precipitação Evaporação Umidade Relativa do Ar Temperatura



6.1.1.2.2. Resultados

A seguir serão abordados os parâmetros meteorológicos necessários para realização da caracterização meteorológica da AEL.

Temperatura

O gráfico da Figura 06 mostra as variações de temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}) e média (T_{méd}) ao longo dos anos de 2020 a 2024, registradas mês a mês, para a Estação Poços.

A linha de Temperatura Máxima (T_{máx}), representada pela cor vermelha, mostra que as temperaturas máximas se mantiveram relativamente estáveis, com picos geralmente ocorrendo de setembro a novembro (10/2020, 34,3 °C; 09/2021, 34,3 °C; 09/2022, 31,6 °C; 09 e 11/2023, 34,9 °C; e 10/2024, 34,4 °C) e pontos de queda nos meses de seca (maio a julho).

A Temperatura Mínima (T_{mín}), representada pela linha verde, apresenta maiores flutuações ao longo dos meses, com quedas acentuadas durante o inverno. A T_{mín} atinge os valores mais baixos de maio a julho de cada ano, com temperaturas próximas a 0 °C ou negativas em alguns períodos. Com exceção do ano de 2024, em que a temperatura negativa de -0,5 °C foi registrada em agosto.

A linha laranja, que representa a Temperatura Média (T_{méd}) mostra que ao longo do período de 2020 a 2024 as temperaturas variaram entre 10,8 °C e 21,6 °C. No entanto, apesar da amplitude térmica analisada nos dados em um contexto geral, observa-se uma tendência estável entre a T_{máx} e a T_{mín}, refletindo um comportamento sazonal típico, com médias mais altas no verão e mais baixas no inverno.

A sazonalidade é evidente, com picos de temperatura no verão e mínimas no inverno, padrão comum em regiões de clima tropical de altitude.

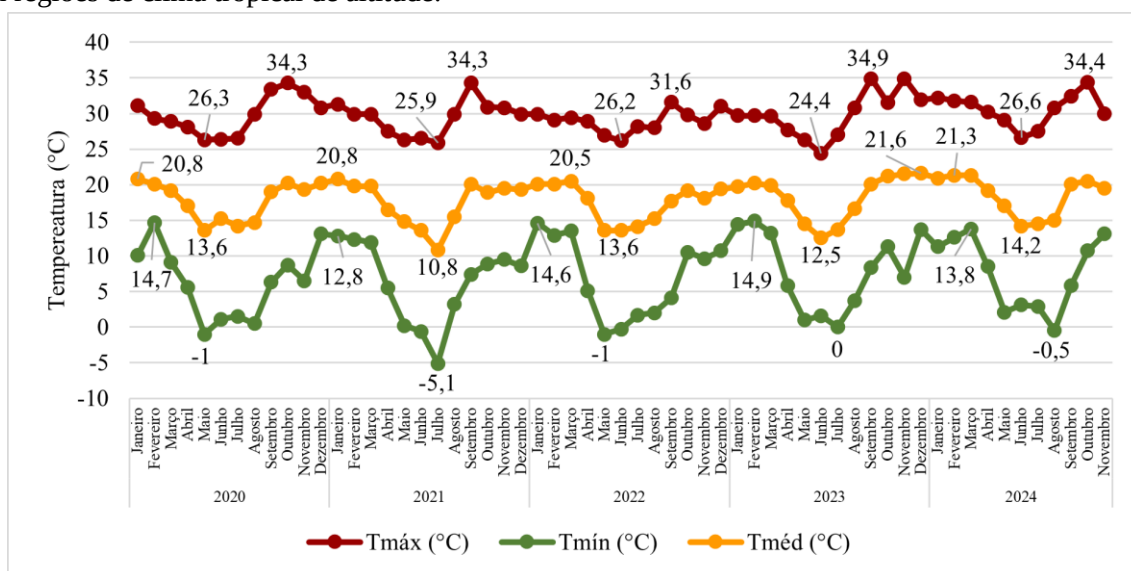


Figura 06 Dados Locais de Temperatura da Estação Poços/MG para o período de 2020 a 2024.

Precipitação e Umidade Relativa do Ar

O gráfico da Figura 07 exibe a precipitação e a umidade relativa do ar no período de 2020 a 2024, para a Estação Poços comparando os valores mensais de precipitação em milímetros (mm) e os níveis de umidade relativa do ar em porcentagem (%).

A precipitação apresenta variações significativas ao longo dos anos. Destacam-se os picos de precipitação, observados no período de outubro a fevereiro, como em fevereiro de 2020 com 438,75 mm, em dezembro de 2020 com 283,75 mm, em dezembro de 2021 com 273,5 mm, em dezembro de 2022 com 553,75 mm, em janeiro de 2024 com 372,75 mm e em outubro de 2024 com 314 mm. Os valores mais baixos de precipitação estão em julho de 2020 (1,5 mm), agosto de 2021 (2 mm), julho de 2022 (0 mm), julho de 2023 (8,75 mm) e junho de 2024 (0,25 mm) indicando uma redução típica de precipitação nos meses de seca.

A umidade relativa do ar varia entre cerca de 60% a 100% ao longo do período. Observa-se uma correlação entre a umidade relativa e a precipitação, onde meses com maior precipitação tendem a ter umidade relativa mais elevada, e vice-versa. A umidade relativa atinge valores mais altos em períodos de maior precipitação, como nos últimos meses de cada ano, e reduz-se nos períodos mais secos.

Há uma tendência de aumento na precipitação e na umidade no período de outubro a fevereiro de cada ano, enquanto os meses de inverno (principalmente de junho a agosto) apresentam valores de precipitação mais baixos e uma leve redução na umidade relativa.

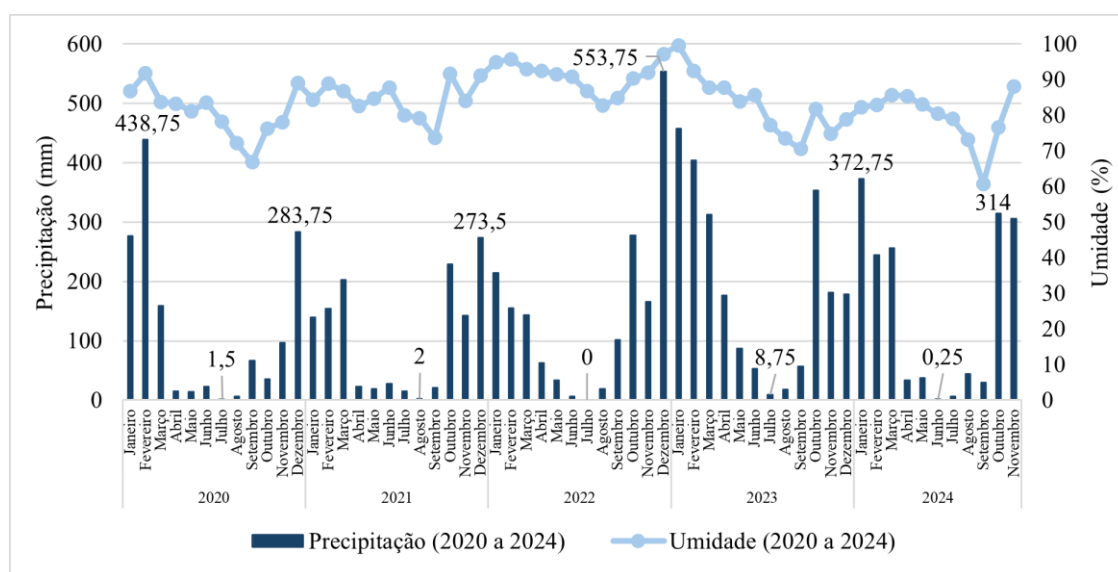


Figura 07 Dados Locais de Precipitação e Umidade Relativa do Ar obtidos da Estação Poços/MG para o período de 2020 a 2024.

Evaporação

O fenômeno da evaporação está relacionado a transferência de água líquida presente no solo, rios, lagos, oceanos etc., para atmosfera em estado de vapor. Essa perda de água é ocasionada pela atuação de diversos fatores, como a radiação solar, a umidade relativa do ar, a temperatura ambiente e a velocidade do vento. O gráfico da Figura 08 mostra a evaporação total média mensal (mm) ao longo do ano, no período de 2020 a 2024, registrada pela Estação Poços/MG, operada pela empresa Alcoa Alumínio S/A. O maior valor identificado para Evaporação Total, igual a 308,26 mm, foi registrado em julho de 2022, que coincide com o período de menor precipitação no período de 2020 a 2024, conforme demonstrado anteriormente pela Figura 07. Esse comportamento indica o aumento da perda de água por evaporação



em cenários de seca. Os valores mais baixos estão nos meses de novembro (16,26 mm) e fevereiro (27,19 mm), associados a maior umidade e menor intensidade da radiação solar.

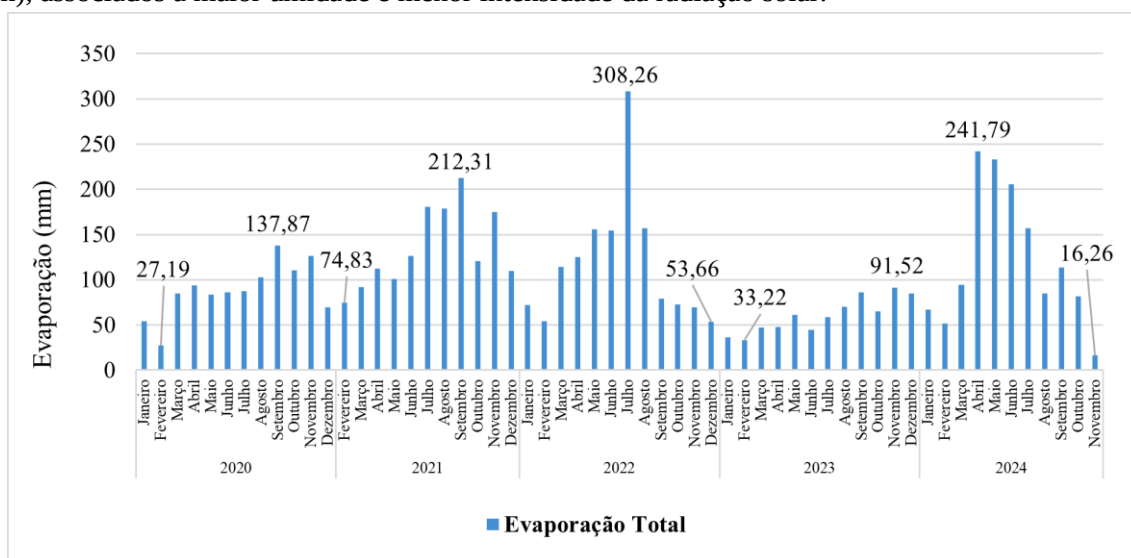


Figura 08 Dados Locais de Evaporação da Estação Poços/MG para o período de 2020 a 2024.

6.1.2. Qualidade do Ar

A Resolução CONAMA nº 506/2024, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, que estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação, classifica os poluentes atmosféricos como:

“Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que torne ou possa tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade”

As emissões de poluentes atmosféricos podem ser provenientes de fontes naturais (queimadas e processos biológicos) ou de atividades antrópicas (atividades industriais, minerárias, queima de combustíveis fósseis, dentre outros). Assim, cabe ao empreendimento gerador de emissão, tomar as medidas necessárias para prevenir e controlar possíveis eventos de poluição (BRASIL, 1975).

Já a qualidade do ar é determinada por um conjunto de fatores, dentre os quais se destaca a magnitude dos impactos causados por emissões de poluentes. Além disso, destacam-se sobre a qualidade do ar a influência da topografia da região, a ocupação do solo e as condições climáticas e meteorológicas. Seu monitoramento é estabelecido com vista na saúde e bem-estar da população, partindo da verificação do grau de exposição da população aos poluentes atmosféricos emitidos através da análise quantitativa das concentrações de poluentes existentes na atmosfera (BRASIL, 2019).

Desse modo, deve-se proceder o monitoramento da qualidade do ar na região do empreendimento, de modo a garantir que as concentrações dos poluentes gerados durante suas operações se encontrem em concordância com os limites estabelecidos pelas resoluções supracitadas, que estabelecem padrões para



emissões atmosféricas ou para qualidade do ar.

6.1.2.1. Metodologia

6.1.2.1.1. Caracterização dos Ventos

A caracterização dos ventos na região do empreendimento é um importante fator que influencia a avaliação da qualidade do ar. A área do projeto se encontra em um ponto cercado por cadeias montanhosas, denominado Planalto Poços de Caldas, o que pode impactar na dispersão de poluentes atmosféricos.

A estação INMET mais próxima da área do projeto foi escolhida, Estação de Caldas, porém se encontra fora do Planalto Poços de Caldas, onde a ADA se insere. Como seus resultados não condizem fielmente ao cenário próximo ao empreendimento, na cadeia montanhosa, foi escolhida outra estação, mais próxima do Projeto Colossus e monitorada pela empresa Alcoa Alumínio S/A. Dessa forma, foram utilizados como referência duas estações meteorológicas de monitoramento automático, sendo elas: a Estação Meteorológica de Caldas/MG, cujos dados são disponibilizados pelo INMET, e a Estação Poços, pertencente à Alcoa Alumínio S/A, localizada em Poços de Caldas/MG.

A Tabela 04 apresenta de forma sintetizada as informações sobre as estações de caracterização dos ventos.

Tabela 04 Estação de caracterização dos ventos

Código da Estação	Município	Coordenadas Datum SIRGAS 2000, 23S		Responsável	Período de dados	Distância em relação a área do projeto (km)	Parâmetros Meteorológicos
		Latitude	Longitude				
A530	Caldas	7686088.96	356491.55	INMET	01/21 a 10/24	18	Direção e Velocidade dos Ventos
-	Poços de Caldas	7584034.28	335680.03	ALCOA	05 a 11/24	4	Direção e Velocidade dos Ventos

6.1.2.1.2. Caracterização da Qualidade do Ar

O monitoramento foi realizado pelo método do amostrador de grandes volumes, sendo utilizado um equipamento de fabricação da empresa brasileira EQUIPO. A verificação do funcionamento do equipamento foi realizada com a utilização do Calibrador Padrão de Vazão (CPV) de número de série 705 (**Anexo 4**). Para a amostragem dos parâmetros em campo, os métodos de referência utilizados estavam em conformidade com as diretrizes a seguir:

- ABNT – NBR 9.547:1997: Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente – Determinação da concentração Total pelo Método do Amostrador de Grande Volume;
- ABNT – NBR 13.412:1995 – Material Particulado em Suspensão na Atmosfera – Determinação da Concentração de Partículas Inaláveis pelo Método Amostrador de Grande Volume Acoplado a um Separador Inercial de Partículas.

Para a definição dos pontos, buscou-se instalações que garantissem a segurança dos equipamentos e a



disponibilidade de energia elétrica. Dessa forma, foram estabelecidos 03 (três) pontos próximos a residências. Foram realizados monitoramentos em um período de 24 horas dos parâmetros Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP₁₀) e Partículas Respiráveis (MP_{2,5}).

A Tabela 05 apresenta os pontos de monitoramento estabelecidos, sua localização e breve descrição. Da Foto 01 a Foto 18 são apresentados os registros fotográficos dos monitoramentos realizados e no **Apêndice 1** podem ser vistas as evidências de campo. O mapa da Figura 09 apresenta a localização dos pontos de monitoramento, em relação à área do Projeto Colossus.

Tabela 05 Localização dos Pontos de Monitoramento da Qualidade do Ar

Ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Descrição do ponto
	Longitude	Latitude	
QAr-01	338887	7584268	Instituto Federal Sul de Minas (IFSULDEMINAS)
QAr-02	338445	7582376	Escola Municipal Maria Ovidia Junqueira
QAr-03	336542	7575035	Residência próximo à Rodovia BR-146



Foto 01 QAr-01 – MP_{2,5} – Período de Seca



Foto 02 QAr-01 – MP₁₀ – Período de Seca



Foto 03 QAr-01 – PTS – Período de Seca



Foto 04 QAr-01 – MP_{2,5} – Período de Chuva



Foto 05 QAr-01 – MP₁₀ – Período de Chuva



Foto 06 QAr-01 – PTS – Período de Chuva



Foto 07 QAr-02 – MP_{2,5} – Período de Seca



Foto 08 QAr-02 – MP₁₀ – Período de Seca



Foto 09 QAr-02 – PTS – Período de Seca



Foto 10 QAr-02 – MP_{2,5} – Período de Chuva



Foto 11 QAr-02 – MP₁₀ – Período de Chuva

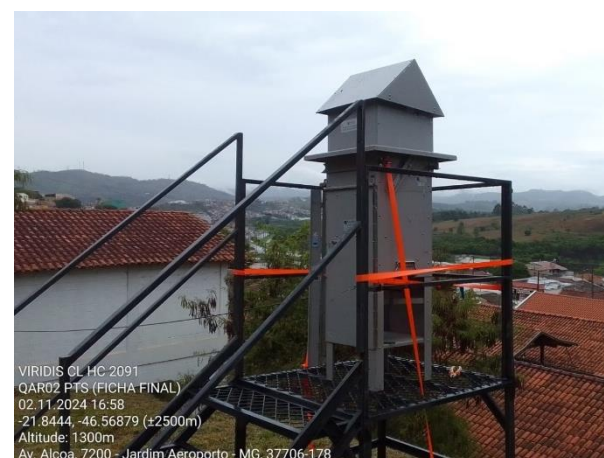


Foto 12 QAr-02 – PTS – Período de Chuva



Foto 13 QAr-03 – MP_{2,5} – Período de Seca



Foto 14 QAr-03 – MP₁₀ – Período de Seca



Foto 15 QAr-03 – PTS – Período de Seca



Foto 16 QAr-03 – MP_{2,5} – Período de Chuva



Foto 17 QAr-03 – MP₁₀ – Período de Chuva



Foto 18 QAr-03 – PTS – Período de Chuva

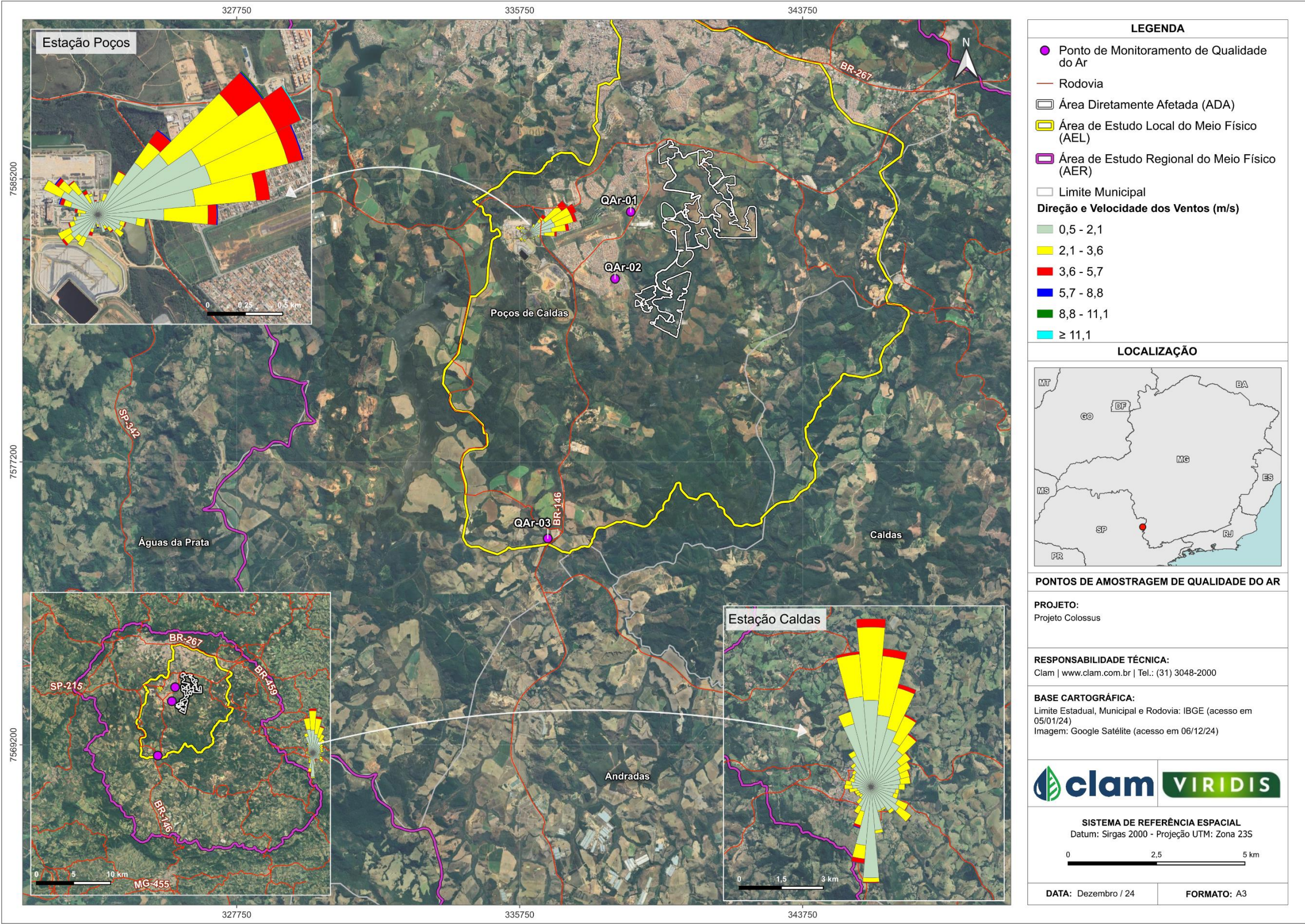


Figura 09 Localização dos Pontos de Monitoramento de Qualidade do Ar



Ao final dos monitoramentos, os dados foram tratados e os resultados foram comparados com os padrões de qualidade do ar estabelecidos tanto pela Resolução CONAMA nº 506/2024, quanto pela Deliberação Normativa COPAM nº 248/2023, apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 Padrões e limites legais estabelecidos para avaliação da qualidade do ar.

Parâmetros	Padrão	Valor
Partículas Totais em Suspensão - PTS	PF – Concentração média geométrica anual	80 µg/m³
	PF – Concentração média de 24 horas	240 µg/m³
Material Particulado – MP ₁₀	PI-1 – Concentração média aritmética anual	40 µg/m³
	PI-1 – Concentração média de 24 horas	120 µg/m³
Material Particulado – MP _{2,5}	PI-1 – Concentração média aritmética anual	20 µg/m³
	PI-1 – Concentração média de 24 horas	60 µg/m³

Fonte: CLAM, adaptado de BRASIL, 2024 & MINAS GERAIS, 2023.

Para as Partículas Totais Suspensas (PTS), as legislações citadas acima determinam que seja adotado como valor de referência o padrão de qualidade do ar final (PF). Já para os parâmetros MP₁₀ e MP_{2,5}, os padrões de qualidade do ar adotados são aqueles considerados intermediários (PI-1). Cabe esclarecer que as legislações citadas anteriormente estabelecem os mesmos limites de padrão intermediário 01 para os parâmetros MP_{2,5} e MP₁₀ e de padrão final para o parâmetro PTS.

Além disso, o IQAr foi calculado a partir da equação abaixo e categorizado conforme as faixas de concentração dos parâmetros de avaliação da qualidade do ar, demonstradas na Tabela 07. Na equação é utilizado o valor superior (Isup) e o inferior (Iinf) do índice, a concentração correspondente do poluente para a faixa, tanto a superior (Csup) como a inferior (Cinf), e a concentração medida do parâmetro (C).

$$IQAr = \frac{Isup - Iinf}{Csup - Cinf} \times (C - Cinf) + Iinf$$

Tabela 07 Padrão Nacional para parâmetros de avaliação da qualidade do ar, Resolução CONAMA 506/24.

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m³ - 24h)	MP _{2,5} (µg/m³ - 24h)
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50
N3 - Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75
N4 - Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125
N5 - Péssima	201 - 400	>250 - 600	>125 - 300

Fonte: CLAM, adaptado de BRASIL, 2024.

6.1.2.2. Resultados

6.1.2.2.1. Caracterização dos Ventos

A caracterização dos ventos na região do empreendimento é de suma importância para a avaliação da Qualidade do Ar, visto que influencia diretamente na dispersão dos poluentes e material particulado.



A representação da rosa dos ventos obtida para a Estação Caldas segue apresentada na Figura 10, enquanto a Figura 11 demonstra a frequência de velocidade dos ventos. Cabe ressaltar que as informações obtidas para essa estação não representam de modo fiel a realidade na região do empreendimento, uma vez que a área do projeto se encontra cercada por uma cadeia montanhosa e a estação está situada fora desse cerco.

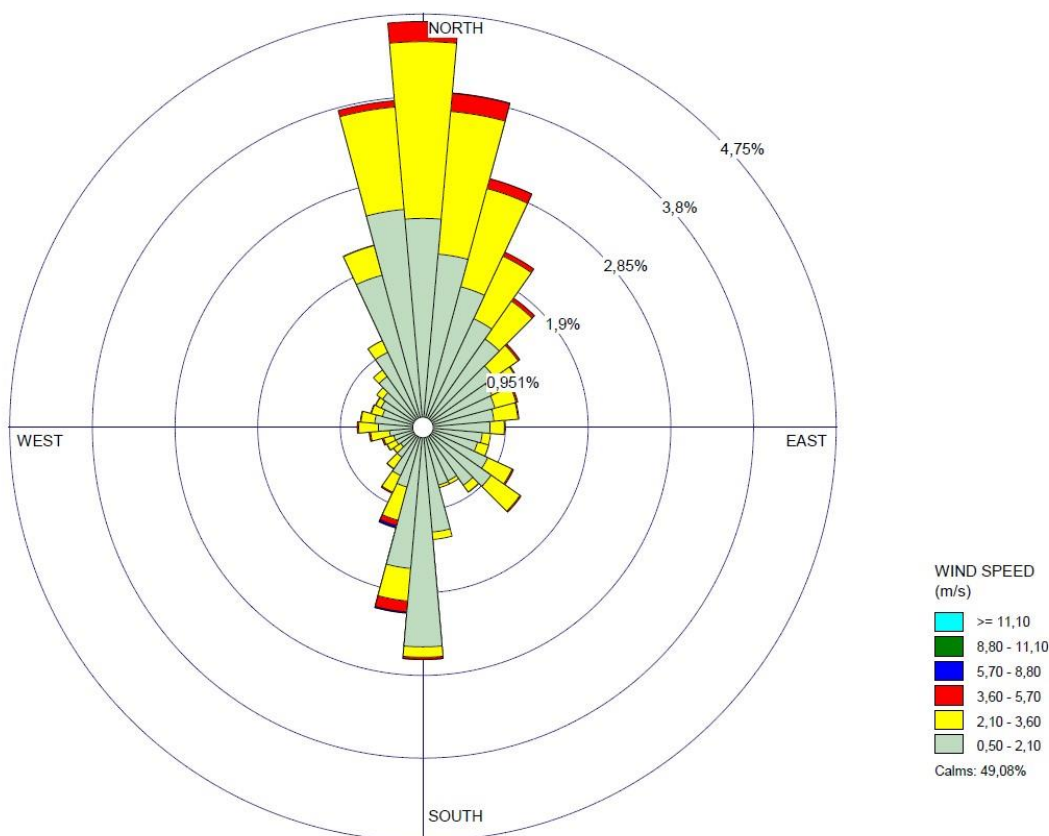


Figura 10 Gráfico da rosa dos ventos da Estação Meteorológica de Caldas

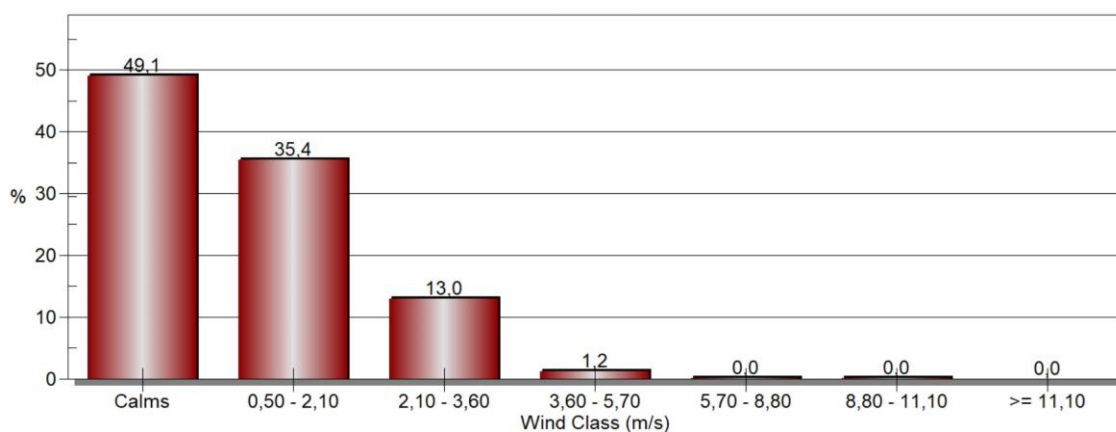


Figura 11 Gráfico da velocidade dos ventos da Estação Meteorológica de Caldas

Na representação da rosa dos ventos da Figura 10, obtido por meio dos dados da Estação Caldas/MG do INMET para os anos de 2021 a 2024, observa-se que os ventos calmos (caracterizados por ventos com



velocidade inferior a 0,5 m/s) foram registrados em 49,08% do tempo, dentro do período analisado. A direção das barras (pétalas), que representa a direção de origem do vento, indica uma predominância dos ventos do norte. Com relação a velocidade dos ventos, o gráfico da Figura 11 demonstra a predominância dos ventos calmos, que representam 49,1% dos dados, conforme observado anteriormente. Para além, 35,4% dos dados apresentaram velocidade entre 0,50 e 2,10 m/s enquanto os ventos com velocidade entre 2,10 e 3,60 m/s foram observados em 13% dos dados.

A Figura 12 apresenta a rosa dos ventos projetada com base nos dados obtidos para a Estação Meteorológica Poços, operada pela empresa Alcoa Alumínio S/A, unidade Poços de Caldas/MG. A Figura 13 informa a frequência de velocidade dos ventos observada nessa estação.

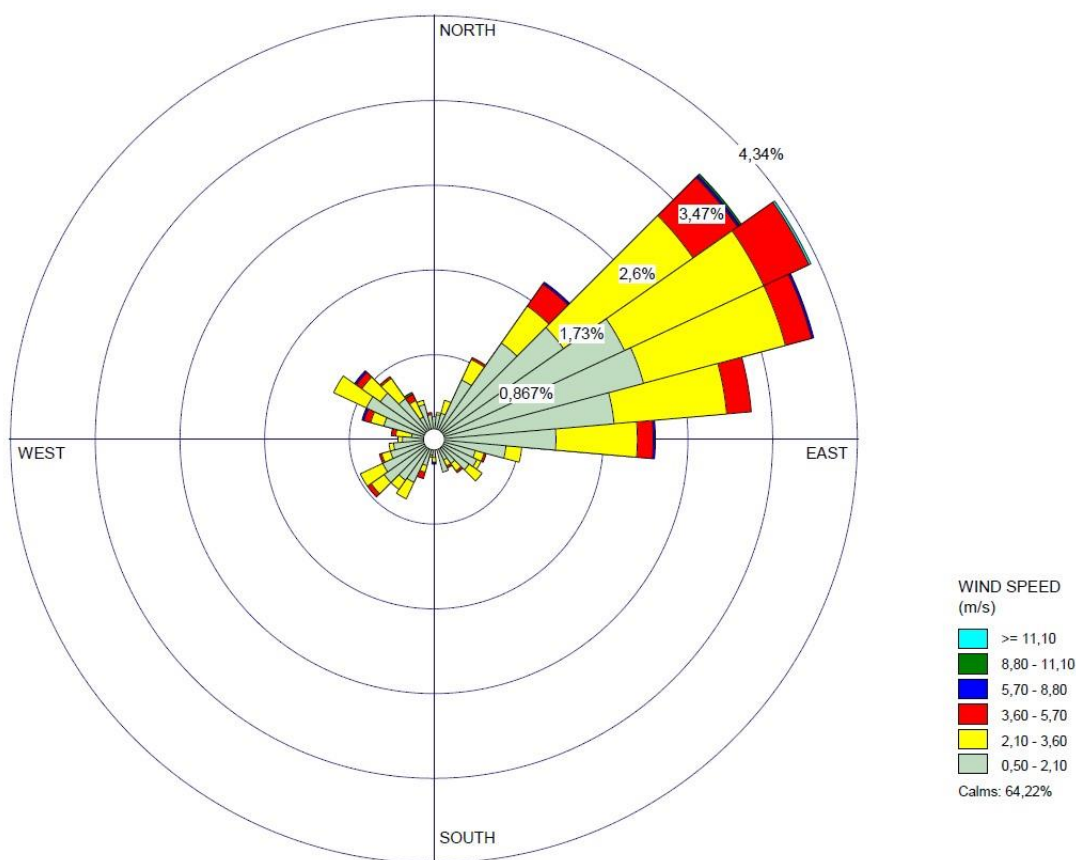


Figura 12 Gráfico da rosa dos ventos da Estação Meteorológica Poços

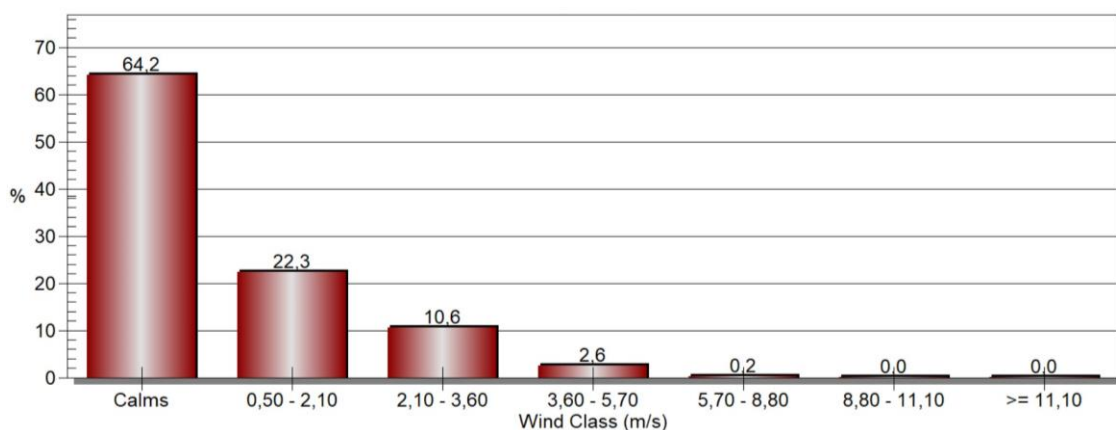


Figura 13 Gráfico da velocidade dos ventos da Estação Meteorológica Poços

O gráfico obtido para a Estação Poços indica que os ventos calmos (caracterizados por ventos com velocidade inferior a 0,5 m/s) foram registrados em 64,22% do tempo, dentro do período analisado. A direção das barras (pétalas) mostra que a direção predominante de origem dos ventos está no Nordeste, dirigindo-se para sudoeste. A frequência de ocorrência dos ventos, indicada pelo gráfico da Figura 13, demonstra que, assim como observado para a Estação Caldas, os ventos calmos são predominantes, representando aproximadamente 64,2% dos dados na Estação Poços. Em seguida têm-se a contribuição dos ventos com velocidade entre 0,50 e 2,10 m/s, que representam 22,3% dos dados.

A predominância de ventos com velocidades até 3,60 m/s, como visto na Estação Caldas, ou até 2,10 m/s, como na Estação Poços, indica um dificultador na dispersão de poluentes, que tendem a se concentrar na região próxima à emissão.

6.1.2.2.2. Caracterização da Qualidade do Ar

Na Tabela 08 observam-se os resultados obtidos durante as duas campanhas de monitoramento, sendo a primeira no período de estiagem, caracterizado pela menor incidência de chuvas, e a segunda no período de chuva. Foram avaliados os parâmetros Partículas Respiráveis (MP_{2,5}), Partículas Inaláveis (MP₁₀) e Partículas Totais em Suspensão (PTS), nos pontos de monitoramento QAr-01 a QAr-03. Em seguida, os resultados obtidos são demonstrados graficamente da Figura 14 a Figura 16. Os laudos analíticos podem ser visualizados na íntegra no **Anexo 5**.



Tabela 08 Resultados do monitoramento da qualidade do ar

Ponto	Parâmetro	*VMP (µg/m³)	1ª Campanha			2ª Campanha		
			Data	Concentração (µg/m³)	IQAr	Data	Concentração (µg/m³)	IQAr
QAr-01	MP _{2,5}	60	02/08/24	58,26	Ruim	04/11/2024	6,52	Boa
	MP ₁₀	120	31/07/24	51,40	Moderada	06/11/2024	9,42	Boa
	PTS	240	01/08/24	105,16	-	05/11/2024	95,24	-
QAr-02	MP _{2,5}	60	23/07/24	79,77	Muito Ruim	02/11/2024	22,25	Boa
	MP ₁₀	120	22/07/24	100,57	Ruim	31/10/2024	25,73	Boa
	PTS	240	25/07/24	98,87	-	01/11/2024	35,11	-
QAr-03	MP _{2,5}	60	29/07/24	49,38	Moderada	29/10/2024	29,81	Moderada
	MP ₁₀	120	30/07/24	29,65	Boa	30/10/2024	25,43	Boa
	PTS	240	26/07/24	87,85	-	24/10/2024	18,66	-

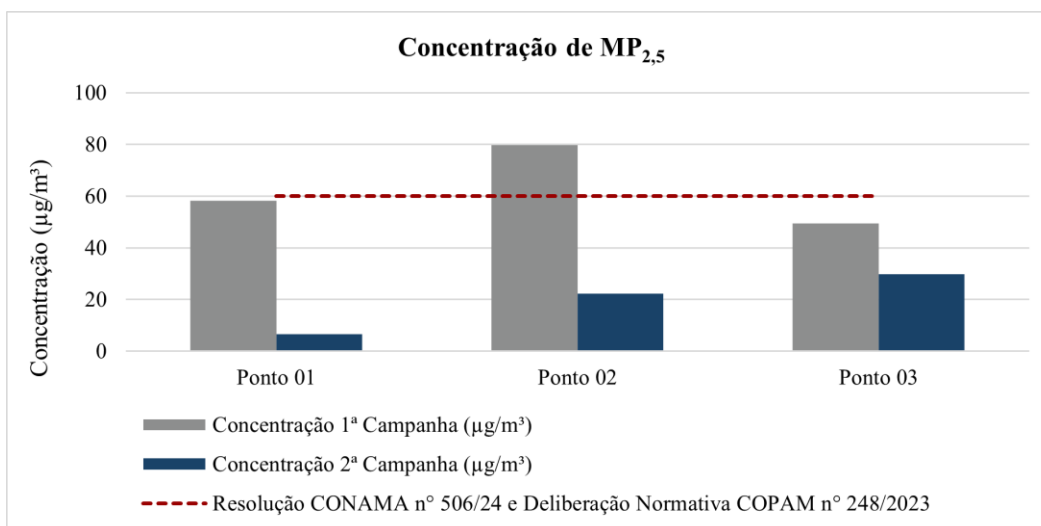


Figura 14 Gráfico de concentração de MP_{2,5}

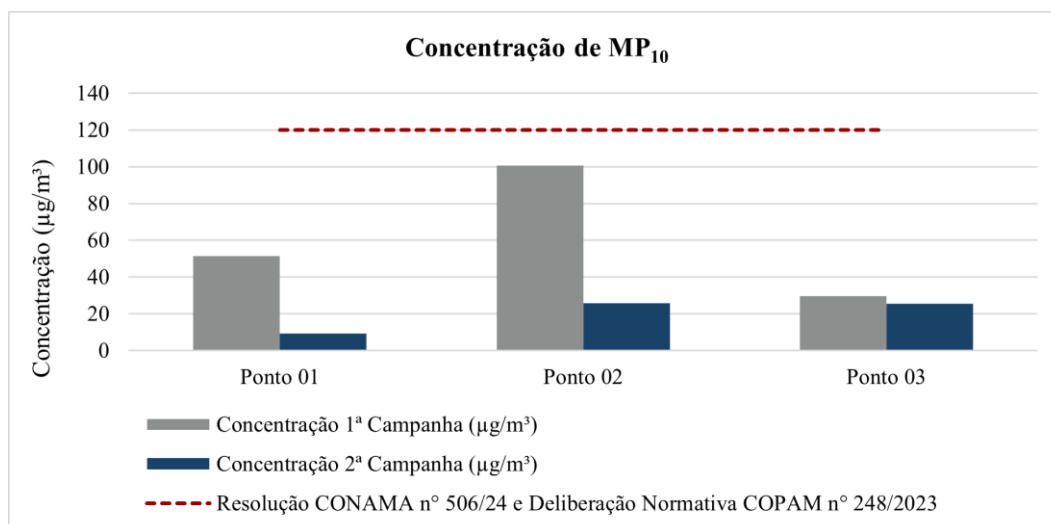
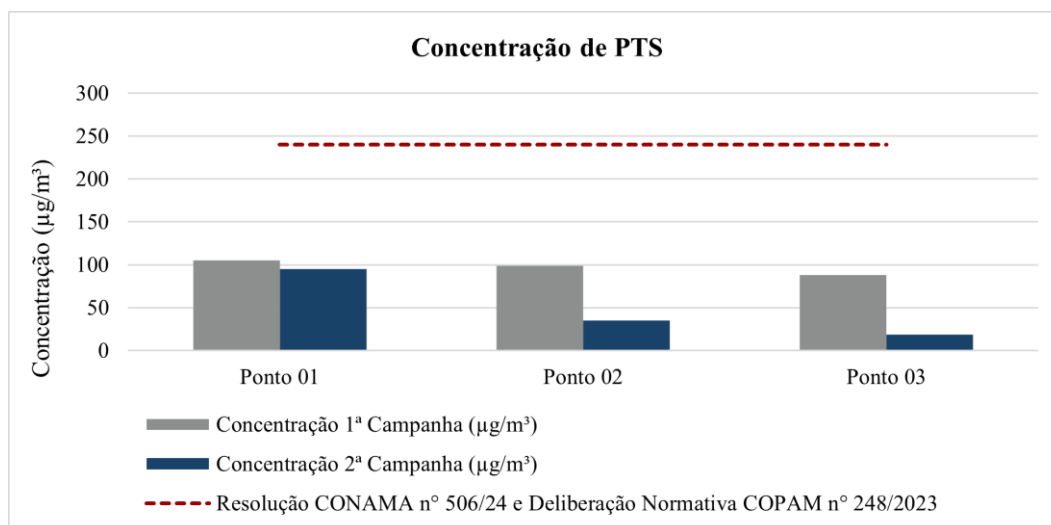


Figura 15 Gráfico de concentração de MP₁₀**Figura 16** Gráfico de concentração de PTS

A Figura 14, que trata do parâmetro MP_{2,5}, demonstra que durante a primeira campanha apenas o ponto QA-02 esteve acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 506/24 e pela Deliberação Normativa COPAM n° 248/23, com concentração igual a 79,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que na segunda campanha todos os resultados estiveram em conformidade. Quanto aos parâmetros MP₁₀ (Figura 15) e PTS (Figura 16), percebe-se que todos os resultados estiveram em conformidade com as legislações supracitadas em ambas as campanhas de monitoramento. Sabendo que as atividades do empreendimento ainda não foram iniciadas, cabe dizer que as concentrações identificadas retratam os impactos gerados por fontes diversas existentes na região.

O ponto QAr-01 foi alocado em uma instituição de ensino superior, situada fora do centro urbano, o que resultou em concentrações abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) pelas legislações para todos os parâmetros avaliados durante as duas campanhas de monitoramento. No entanto, embora as concentrações obtidas para os parâmetros MP_{2,5} e MP₁₀ durante a primeira campanha estejam em conformidade com as legislações, o cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQA_r) demonstra que a qualidade do ar esteve “ruim” no período de monitoramento do parâmetro MP_{2,5}, enquanto as emissões de MP₁₀ resultaram em uma qualidade do ar “moderada”. Durante a segunda campanha foi observada uma qualidade do ar “Boa” no período de monitoramento dos parâmetros MP_{2,5} e MP₁₀.

O ponto QAr-02 está situado no centro urbano, podendo ocorrer a elevação das concentrações de material particulado em decorrência das atividades desenvolvidas na região, tais como o trânsito de veículos. Além disso, durante o monitoramento de período de seca realizado para o poluente MP_{2,5}, foi verificado um foco de queimadas a 2 km de distância, o que pode ter contribuído para a concentração acima do limite obtida para este parâmetro, que resultou em um IQA_r classificado como “muito ruim”. Já a concentração obtida para o parâmetro MP₁₀, que esteve em conformidade com as legislações, resultou em uma qualidade do ar “ruim”. Os gráficos demonstram a redução das concentrações obtidas nesse ponto da primeira para a segunda campanha, sendo que na segunda campanha a qualidade do ar foi classificada como “Boa” durante o monitoramento de MP_{2,5} e MP₁₀.



O ponto QAr-03 se encontra fora do centro urbano e, embora esteja próximo a uma rodovia, o trânsito de veículos não foi suficiente para que as concentrações obtidas fossem elevadas a níveis acima do VMP, visto que os três parâmetros analisados se mantiveram em conformidade com as legislações em ambas as campanhas de monitoramento, sendo observada a redução das concentrações entre campanhas para os parâmetro $MP_{2,5}$ e PTS. Para além, o IQAr estimado para este ponto indicou que a qualidade do ar se manteve “Moderada” durante o monitoramento de $MP_{2,5}$ tanto no período de seca quanto no período de chuva, já nos dias de monitoramento de MP_{10} a qualidade do ar se manteve “Boa”.

Assim, pode-se observar que embora apenas uma amostragem tenha apontado concentração acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 506/24 e pela Deliberação Normativa COPAM nº 248/23, o IQAr obtido para o período de estiagem indica que as atividades existentes atualmente na região apresentam por si poder de alterar a qualidade do ar. Para além, os resultados obtidos para a campanha em período de chuva demonstram a eficácia da mitigação natural promovida pelas precipitações, levando a concentrações mais baixas de material particulado e a melhores índices de qualidade do ar, tendo a classificação “Boa” em 83,3% dos dias em que houve amostragens.

6.1.3. Mudanças Climáticas

O risco associado às mudanças climáticas refere-se às possíveis consequências e incertezas que afetam algo de valor atribuído. Esse risco é geralmente expresso pela probabilidade de ocorrência de ameaças climáticas, ou de suas tendências, combinada com os impactos potenciais caso essas ameaças se concretizem. Ele está intrinsecamente ligado à possibilidade de efeitos adversos sobre vidas humanas, meios de subsistência, saúde, ecossistemas, biodiversidade, ativos econômicos, sociais e culturais, serviços (inclusive ecossistêmicos) e infraestrutura (IPCC, 2014a).

6.1.3.1. Metodologia

A análise dos dados apresentados neste capítulo foi realizada com base na Plataforma AdaptaBrasil MCTI, instituída pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações por meio da Portaria nº 3.896, de 16 de outubro de 2020. A plataforma tem como objetivo consolidar, integrar e disseminar informações que possibilitem o avanço das análises dos impactos das mudanças climáticas, tanto observadas quanto projetadas no território nacional, fornecendo subsídios às autoridades responsáveis pelas ações de adaptação.

O AdaptaBrasil MCTI é desenvolvido por meio de uma cooperação entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Rede Nacional de Pesquisa e Ensino (RNP), com financiamento do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

A metodologia de análise do risco de impacto climático considera a interação de três dimensões principais, conforme definido pelo IPCC (2014a): Ameaça Climática, Exposição e Vulnerabilidade, representadas graficamente pela “flor de risco” apresentada na Figura 17.



Figura 17 Flor de Risco

Fonte: Elaborado por Karine Bezerra, adaptado de IPCC (2014a)

- **Ameaça Climática:** Refere-se à possibilidade de ocorrência de eventos climáticos que podem causar perdas de vidas, danos à saúde, prejuízos materiais, impactos nos meios de subsistência, interrupções na provisão de serviços, além de danos a ecossistemas e recursos naturais (IPCC, 2022). Exemplos desses eventos incluem chuvas intensas, secas prolongadas, ondas de calor e ressacas.
- **Exposição:** Representa o grau, a duração e/ou a extensão do contato de um sistema com a ameaça climática. Trata-se de uma propriedade relacional entre o ambiente de análise e a perturbação ou ameaça. Inclui a presença de pessoas, modos de vida, espécies, ecossistemas, serviços e recursos que podem ser negativamente afetados (GALLOPÍN, 2006; IPCC, 2014).
- **Vulnerabilidade:** Refere-se à susceptibilidade ou à predisposição de um sistema a sofrer danos diante de uma ameaça climática, não sendo necessariamente o resultado desse confronto. A vulnerabilidade está associada à sensibilidade e à capacidade adaptativa do sistema (IPCC, 2014a,b).
 - **Sensibilidade:** Mede o grau em que uma pessoa, objeto ou sistema é afetado negativamente por uma ameaça climática.
 - **Capacidade Adaptativa:** Avalia a habilidade de uma pessoa, objeto ou sistema em ajustar-se para lidar com danos potenciais.

Enquanto os componentes de ameaça, exposição, vulnerabilidade e sensibilidade capturam os riscos e impactos negativos, a capacidade adaptativa representa a "força positiva" que mitiga ou reduz esses impactos.

Por meio da plataforma AdaptaBrasil MCTI, versão Brasil 1.1, é possível analisar 8 Setores Estratégicos (SE) prioritários. Desde 2018, os SE do AdaptaBrasil MCTI têm sido identificados com foco inicial nos temas de Água, Alimentos e Energia. Atualmente, a plataforma prioriza setores contemplados na Política Nacional de Adaptação, sendo eles:



- Segurança Alimentar;
- Recursos Hídricos;
- Segurança Energética;
- Infraestrutura Portuária;
- Saúde;
- Desastres Geo-Hidrológicos;
- Infraestrutura Ferroviária;
- Infraestrutura Rodoviária.

Esses setores representam objetos concretos de impacto negativo atual e potencial relacionados às mudanças climáticas e são de interesse estratégico para o Estado. Cada setor possui elementos específicos de impacto, tornando fundamental sua delimitação conceitual para a construção de indicadores e análises de risco.

No contexto do Projeto Colossus, que será implantado e operado no município de Poços de Caldas, foram analisados dois setores estratégicos relevantes, considerando as atividades de intervenção previstas neste processo de licenciamento ambiental:

- Recursos Hídricos (com foco em seca);
- Desastres Geo-Hidrogeológicos (incluindo inundações, enxurradas e alagamentos).

Os intervalos de risco de impacto apresentados na Figura 18 e Figura 19, indicam as magnitudes de possíveis impactos nos sistemas analisados. Em um município com risco alto, há maior probabilidade de ocorrência de impactos climáticos de maior magnitude. Em contrapartida, um município com risco baixo apresenta maior probabilidade de impactos de menor magnitude.

O índice de capacidade adaptativa é inversamente relacionado a outros índices, como os de exposição, ameaça ou vulnerabilidade. Essa relação reflete a lógica estrutural dos índices, que avaliam os fatores de risco e resiliência frente às mudanças climáticas. Os intervalos de risco variam de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam maior risco de impacto. No entanto, no caso do índice de capacidade adaptativa, valores mais próximos de 0 indicam maior risco de impacto, dado que ele mede a habilidade de resposta frente às mudanças climáticas.



Figura 18 Intervalo dos Índices de Risco de Impacto Climático, Vulnerabilidade, Exposição, Ameaça e Sensibilidade da Plataforma AdaptaBrasil MCTI



Figura 19 Intervalo do Índice de Capacidade Adaptativa da Plataforma AdaptaBrasil MCTI



6.1.3.2. Resultados

6.1.3.2.1. Recursos Hídricos (Seca)

A Tabela 09 apresenta os Índices de Risco de Impacto Climático (Seca) para Recursos Hídricos no município de Poços de Caldas, considerando três cenários: Atual, Projeção 2030 e Projeção 2050. Os índices são estruturados a partir de três dimensões principais: Vulnerabilidade, Exposição e Ameaça Climática, que incluem componentes específicos, como a Sensibilidade e a Capacidade Adaptativa.

No cenário atual, o Índice Final de Risco de Impacto Climático (Seca) foi classificado como alto, com valor de 0,7 em uma escala de 0 a 1, conforme dados da plataforma AdaptaBrasil MCTI. Nas dimensões do risco, a Vulnerabilidade apresentou índice de 0,51, sendo composta por uma Sensibilidade de 0,44 e uma Capacidade Adaptativa de 0,43. A Exposição alcançou um índice de 0,62, enquanto a Ameaça Climática foi relativamente baixa, com valor de 0,26. Esses resultados evidenciam que, embora haja alguma capacidade adaptativa, ela não é suficiente para mitigar significativamente o risco de impactos associados à seca no município de Poços de Caldas. A empresa Viridis Mineração tem fortalecido sua parceria com a Prefeitura de Poços de Caldas, visando apoiar o município na busca por alternativas diversificadas para o abastecimento de água. Além disso, o beneficiamento do Projeto Colossus prevê a recirculação de 75% da água utilizada em seus processos, com o objetivo de promover uma mineração mais sustentável, alinhada às estratégias de adaptação e mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a viabilidade hídrica do projeto prevê a captação de água superficial em barramentos já existentes na ADA ou em suas proximidades. Futuras regularizações e medidas de desassoreamento de reservatórios existentes poderão contribuir significativamente para uma segurança hídrica do empreendimento e das atuais fontes de abastecimento público.

Para a projeção de 2030, o Índice Final de Risco de Impacto Climático (Seca) foi classificado como muito alto, com um valor de 0,83, indicando uma intensificação do risco. Nesse cenário, o índice de Ameaça Climática aumentou para 0,51. Os dados sobre Vulnerabilidade e Exposição não estão disponíveis na plataforma.

Já na projeção de 2050, o índice permanece na classificação de muito alto, com valor de 0,81. Nesse cenário, a Ameaça Climática apresenta uma ligeira redução, atingindo 0,45, enquanto os dados sobre Vulnerabilidade e Exposição também não estão disponíveis.

Entre os principais fatores que influenciaram o alto impacto no Índice de Risco de Impacto Climático (Seca), destacam-se:

- O nível de implementação e articulação do plano municipal de saneamento básico;
- Programas ou ações de prevenção contra impactos da seca;
- A densidade populacional;
- A demanda hídrica para múltiplos usos da água;
- A disponibilidade de alternativas para o abastecimento de água.

O risco atual para seca em Poços de Caldas é significativo (0,7), e as projeções para 2030 e 2050 indicam uma intensificação do risco (0,83 e 0,81, respectivamente), permanecendo em níveis muito altos. Esses



dados evidenciam a necessidade de ações voltadas para o fortalecimento da capacidade adaptativa do município, bem como de medidas de mitigação para reduzir a exposição e os impactos da ameaça climática.

Tabela 09 Índices de Risco de Impacto Climático (Seca), Dimensões do Risco e Categorias

Setor Estratégico	Cenários	Índice Final (Risco de Impacto Climático – Seca)	Dimensão do risco	Categorias
Impacto para Recursos Hídricos	Atual	0,7	0,51 (Vulnerabilidade)	0,44 (Sensibilidade)
			0,62 (Exposição)	0,43 (Capacidade Adaptativa)
			0,26 (Ameaça)	-
	Projeção 2030	0,83	Dado Indisponível	Dado Indisponível
			Dado Indisponível	Dado Indisponível
			0,51 (Ameaça)	Dado Indisponível
	Projeção 2050	0,81	Dado Indisponível	Dado Indisponível
			Dado Indisponível	Dado Indisponível
			0,45 (Ameaça)	Dado Indisponível

No mapa da Figura 20 é possível visualizar a representação do Índice de Risco de Impacto Climático para Seca.

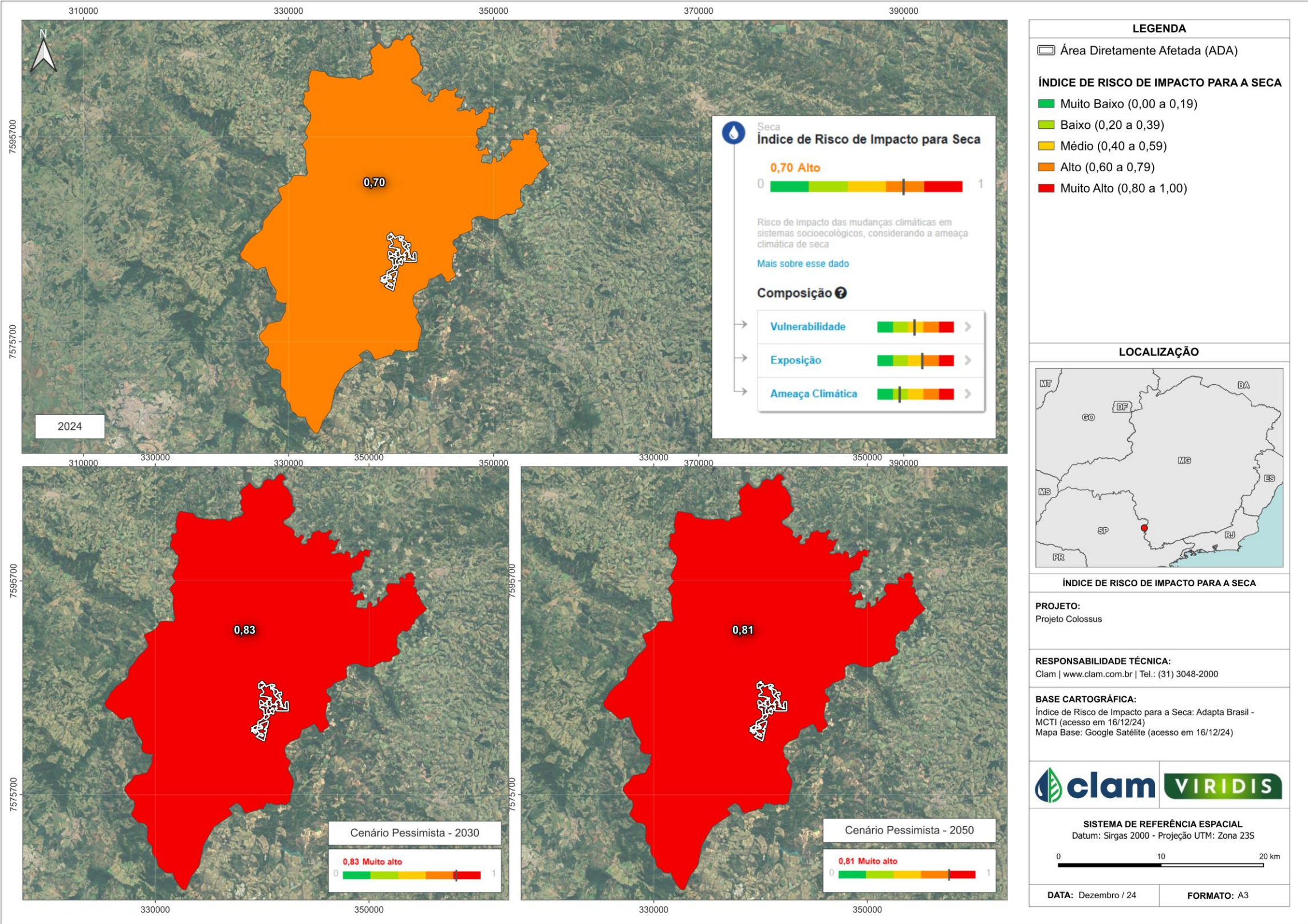


Figura 20 Índice de Risco de Impacto Climático para Seca



6.1.3.2.2. Desastres Geo-Hidrológicos (Inundações, Enxurradas e Alagamentos)

A Tabela 10 apresenta os Índices de Risco de Impacto Climático relacionados ao SE Desastres Geo-Hidrológicos (inundações, enxurradas e alagamentos) no município de Poços de Caldas, considerando três cenários: Atual, Projeção 2030 e Projeção 2050. Esses índices são estruturados com base em três dimensões principais: Vulnerabilidade, Exposição e Ameaça Climática, cada uma composta por componentes específicos, como Sensibilidade e Capacidade Adaptativa.

No cenário atual, o Índice Final de Risco de Impacto Climático para inundações, enxurradas e alagamentos foi classificado como baixo, com valor de 0,26 em uma escala de 0 a 1, conforme dados da plataforma AdaptaBrasil MCTI. Dentro das dimensões do risco, a Vulnerabilidade obteve índice de 0,04, composta por uma Sensibilidade de 0,18 e uma Capacidade Adaptativa de 0,95. A Exposição apresentou índice de 0,65, enquanto a Ameaça Climática foi muito alta, com valor de 0,82. Esses resultados indicam que, embora o município enfrente ameaça e exposição ao risco, a capacidade adaptativa é suficientemente alta para mitigar os impactos associados a inundações, enxurradas e alagamentos.

Para os cenários de 2030 e 2050, o Índice Final de Risco de Impacto Climático (para inundações, enxurradas e alagamentos) permaneceu baixo, com o valor de 0,26, sugerindo uma tendência de estabilidade. Nesse cenário, o índice de Ameaça Climática aumentou em 0,01, alcançando o valor de 0,83. Vale ressaltar que os dados sobre Vulnerabilidade e Exposição não estão disponíveis na plataforma para essas projeções.

Entre os principais fatores que influenciam o baixo impacto no Índice de Risco de Impacto Climático para Secas, destacam-se:

- Densidade da população em áreas urbanizadas, com 42,9% de contribuição;
- População com demandas especiais em situação de desastres, com 9,2% de contribuição;
- Renda municipal apropriada pelos 20% mais pobres, com 8% de contribuição;
- Jovens sem ensino médio concluído até os 19 anos de idade, com 5,1% de contribuição.

O risco atual para inundações, enxurradas e alagamentos em Poços de Caldas é muito baixo (0,26), e as projeções para 2030 e 2050 indicam que esse risco permanecerá em níveis baixos. Esses dados destacam que as ações de adaptação às mudanças climáticas contribuem para fortalecer a capacidade adaptativa do município, enquanto as medidas de mitigação são essenciais para reduzir a exposição e os impactos da ameaça climática, apesar de seus índices elevados.

Tendo em vista que o Risco de Impacto Climático (para inundações, enxurradas e alagamentos) é muito baixo e as variáveis de adaptação e mitigação climáticas já são suficientes, o Projeto Colossus não possui potencial para agravar as variáveis climáticas no município de Poços de Caldas/MG.



Tabela 10 Índice de Risco de Impacto Climático (Inundações, Enxurradas e Alagamentos), Dimensões do Risco e Categorias

Setor Estratégico	Cenários	Índice Final (Risco de Impacto Climático – Seca)	Dimensão do Risco	Categorias
Impacto para Desastres Geo-Hidrológicos	Atual	0,26	0,04 (Vulnerabilidade)	0,18 (Sensibilidade)
			0,65 (Exposição)	0,95 (Capacidade Adaptativa)
			0,82 (Ameaça)	-
	Projeção 2030	0,26	Dado Indisponível	Dado Indisponível
			Dado Indisponível	Dado Indisponível
			0,83 (Ameaça)	Dado Indisponível
	Projeção 2050	0,26	Dado Indisponível	Dado Indisponível
			Dado Indisponível	Dado Indisponível
			0,83 (Ameaça)	Dado Indisponível

No mapa da Figura 21 é possível visualizar a representação do Índice de Risco de Impacto Climático para inundações, enxurradas e alagamentos.

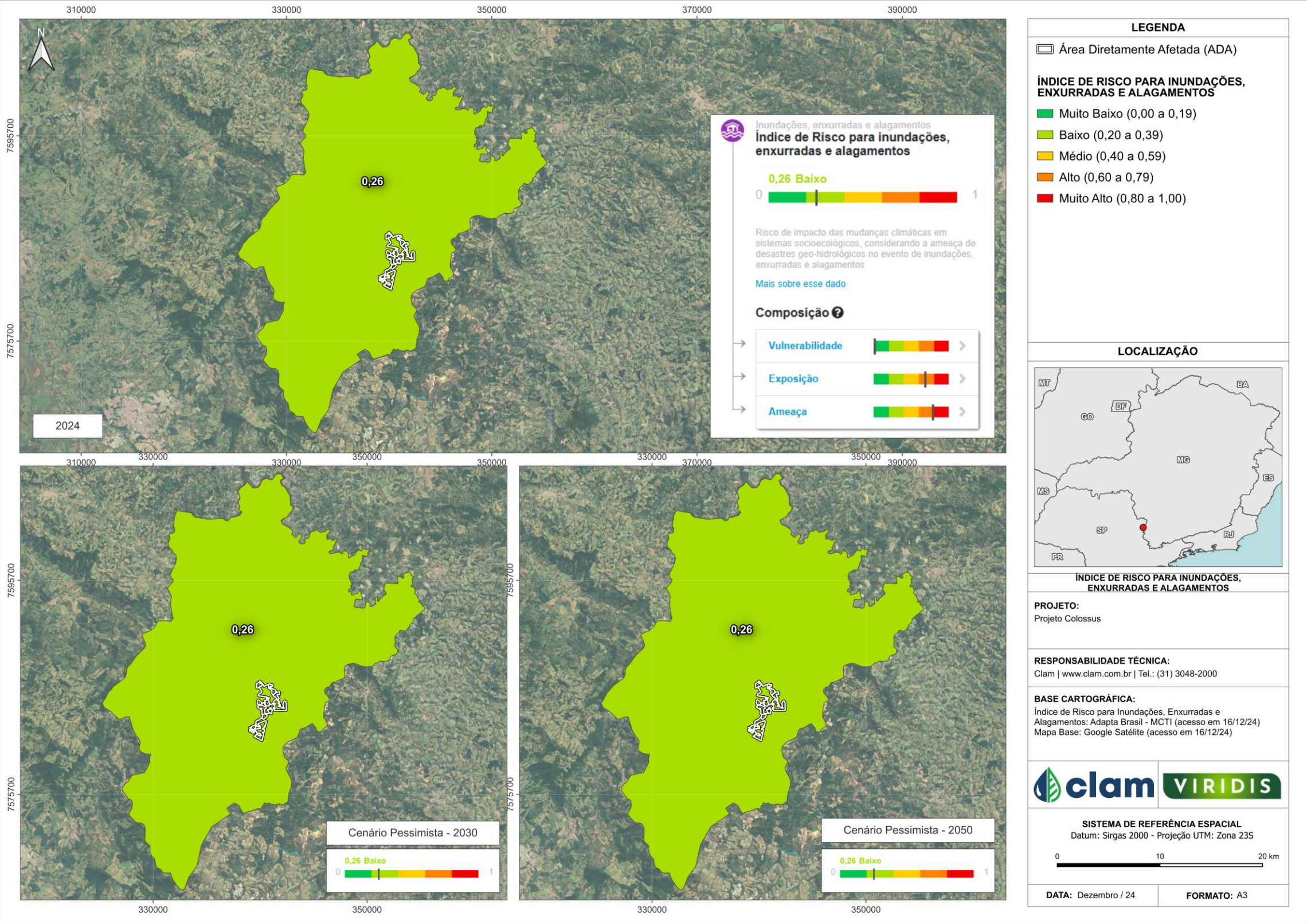


Figura 21 Índice de Risco de Impacto Climático para inundações, enxurradas e alagamentos



6.1.4. Ruído Ambiental e Vibração

A emissão de ruído é inerente aos processos de lavra e beneficiamento de minério em função do constante trânsito de veículos e equipamentos dentro do *site*, além do funcionamento de maquinários envolvidos, por exemplo, em etapas de lavra ou britagem. Uma vez que a emissão de ruído, acima dos limites permitidos pela legislação ambiental e ocupacional, pode levar a impactos à saúde dos moradores da região, é necessário que haja seu monitoramento. No mais, a vibração causada pelas atividades de lavra com desmonte mecânico do ROM e o trânsito de máquinas e veículos pesados, também pode gerar danos às estruturas existentes na região. Por esse motivo, é importante que esse impacto seja monitorado.

6.1.4.1. Ruído Ambiental

6.1.4.1.1. Metodologia

Todos os procedimentos e os equipamentos utilizados no monitoramento de ruído ambiental estão de acordo com as diretrizes e orientações dispostas na legislação e norma a seguir:

- Deliberação Normativa do COPAM nº 216 de 27 de outubro de 2017, que dispõe sobre as exigências para laboratórios que emitem relatórios de ensaios ou certificados de calibração referentes a medições ambientais;
- Resolução CONAMA nº 1, de 08 de março de 1990, que dispõe sobre os critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas;
- Norma ABNT NBR 10.151:2019 Errata 1:2020 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral;
- Lei Estadual nº 10.100, de 17 de janeiro de 1990, que dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais.

Os pontos de monitoramento foram estrategicamente determinados pela equipe CLAM em localidades onde receptores encontram-se próximos à área do Projeto Colossus, da Viridis Mineração Ltda, no município de Poços de Caldas/MG. Para obter a caracterização dos pontos, foram realizados ensaios com duração de 10 minutos, nos períodos diurno e noturno, no período de 27 e 28 de junho de 2024.

A Tabela 11 apresenta os pontos estabelecidos seguido de sua localização e seu zoneamento. Da Foto 19 a Foto 25 são apresentados os registros fotográficos dos monitoramentos realizados durante o dia; e os registros dos ensaios noturnos podem ser vistos da Foto 26 a Foto 32. As evidências de campo podem ser vistas no **Apêndice 2**. A Figura 78 apresenta a localização dos doze pontos de monitoramento, em relação à área do Projeto Colossus.



Tabela 11 Localização dos Pontos de Monitoramento de Ruído Ambiental

Ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Zoneamento	Período	Data da amostragem	Horário de início da Amostragem	Horário de fim da Amostragem
	X	Y					
RD-01	339397	7584971	Área Mista Predominantemente Residencial	Diurno	27/06/2024	10:23	10:33
				Noturno	27/06/2024	23:27	23:37
RD-02	341632	7582805	Área Mista Predominantemente Residencial	Diurno	27/06/2024	11:20	11:30
				Noturno	27/06/2024	23:57	00:07
RD-03	342040	7584996	Área Mista Predominantemente Residencial	Diurno	28/06/2024	15:33	15:43
				Noturno	28/06/2024	22:59	23:09
RD-04	338835	7582097	Área Mista Predominantemente Residencial	Diurno	27/06/2024	09:49	09:59
				Noturno	27/06/2024	22:26	22:36
RD-05	338592	7581130	Área de Residências Rurais	Diurno	27/06/2024	09:16	09:26
				Noturno	27/06/2024	22:02	22:12
RD-10	344089	7585820	Área Mista Predominantemente Residencial	Diurno	28/06/2024	14:22	14:32
				Noturno	28/06/2024	23:29	23:39
RD-11	344806	7586694	Área Mista Predominantemente Residencial	Diurno	28/06/2024	15:00	15:10
				Noturno	28/06/2024	23:56	00:06
RD-12	344270	7584823	Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	Diurno	27/06/2024	11:51	12:01
				Noturno	28/06/2024	00:25	00:35



Foto 19 RD-01 – Monitoramento Diurno



Foto 20 RD-02 – Monitoramento Diurno



Foto 21 RD-03 – Monitoramento Diurno



Foto 22 RD-04 – Monitoramento Diurno



Foto 23 RD-05 – Monitoramento Diurno



Figura 22 RD-10 – Monitoramento Diurno



Foto 24 RD-11 – Monitoramento Diurno



Foto 25 RD-12 – Monitoramento Diurno



Foto 26 RD-01 – Monitoramento Noturno



Foto 27 RD-02 – Monitoramento Noturno



Foto 28 RD-03 – Monitoramento Noturno



Foto 29 RD-04 – Monitoramento Noturno



Foto 30 RD-05 – Monitoramento Noturno



Figura 23 RD-10 – Monitoramento Noturno



Foto 31 RD-11 – Monitoramento Noturno



Foto 32 RD-12 – Monitoramento Noturno

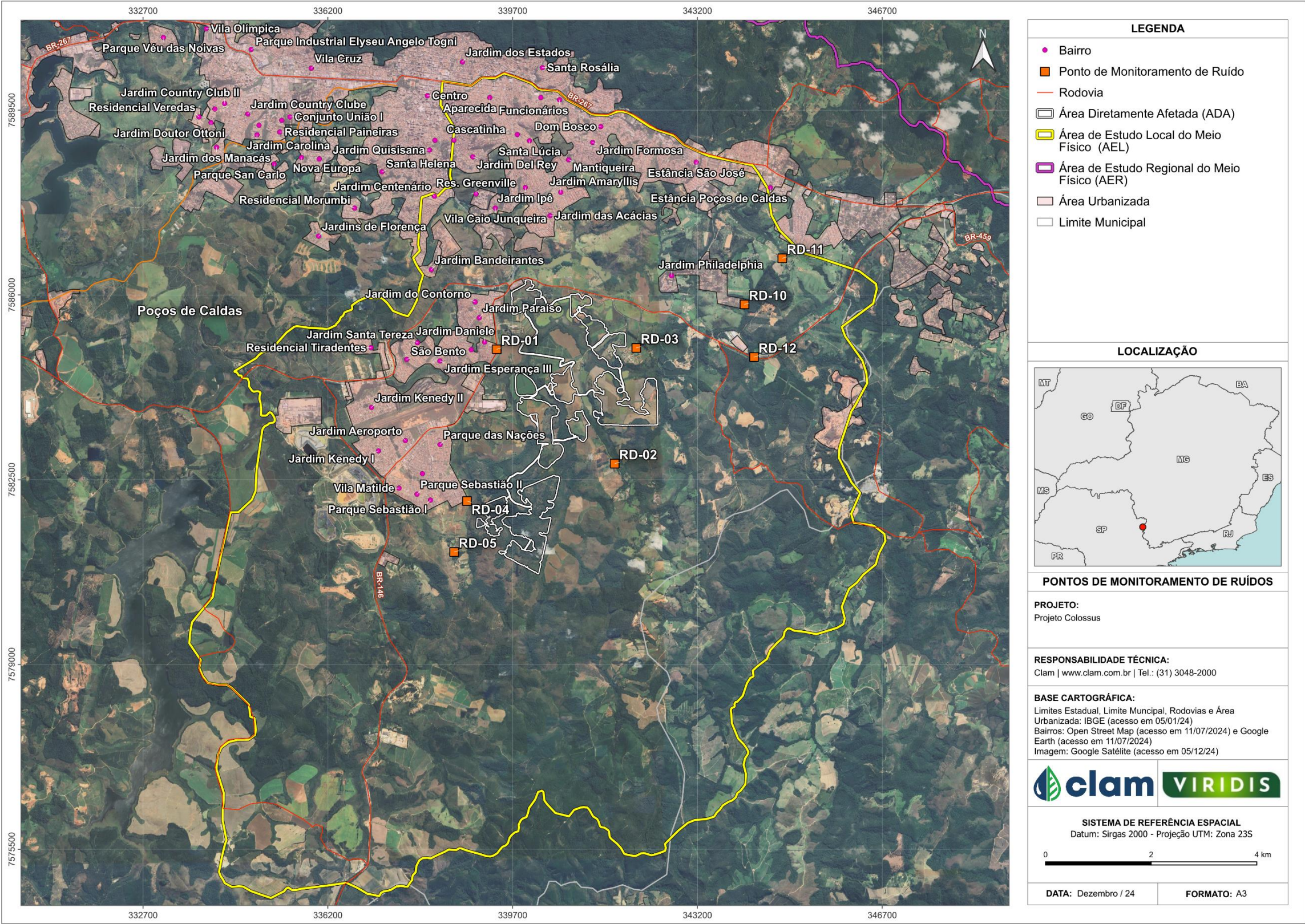


Figura 24 Localização dos Pontos de Monitoramento de Ruído Ambiental



A metodologia de monitoramento foi desenvolvida em concordância com o descrito na ABNT NBR 10.151:2019, assim como o tratamento dos dados. Ressalta-se também, que os dados coletados foram tratados com o software desenvolvido pela 01dB, denominado dBTrait, para o qual a CLAM obtém a licença de uso. A norma ABNT NBR 10.151:2019 considera recomendável, para o conforto acústico, os níveis máximos de ruído apresentados na Tabela 12, considerando a avaliação sonora ambiental, em ambientes externos às edificações em áreas habitadas, em função dos tipos de áreas e do período do dia.

Tabela 12 Limites Máximos de Ruído – Norma ABNT NBR 10.151/19

Tipos de área	Diurno dB(A)	Noturno dB(A)
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com predominância de atividade comercial e administrativa	60	55
Área mista, com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Nota: entende-se por área mista, aquelas ocupadas por dois ou mais tipos de uso do solo.

Fonte: ABNT, 2019

A Lei Estadual nº 10.100/1990 “Dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais” e apresenta os limites de nível de pressão sonora equivalente ponderado em A ($L_{Aeq,T}$) considerados prejudiciais à saúde, à segurança ou ao sossego públicos, determinando diferentes faixas que levam em consideração o período de medição, sendo eles diurno e noturno, conforme Tabela 13.

Tabela 13 Limites Máximos de Ruído – Lei Estadual nº 10.100/1990

Período	Horário de abrangência	Limite de emissão (dB)
Diurno	06:01 h – 22:00 h	70
Noturno	22:01 h – 06:00 h	60

Fonte: MINAS GERAIS, 1990.

Assim, após a campanha de monitoramento, os resultados obtidos foram tratados e comparados com os limites estabelecidos, tanto pela ABNT NBR 10.151:2019, quanto pela Lei Estadual nº 10.100/1990.

Equipamentos Utilizados

O equipamento utilizado para realizar as medições de ruído foi o medidor Fusion de fabricação da empresa 01dB, número de série 12912 e atende aos critérios da IEC 60651; IEC 60804; IEC 61672 (parte 1 e 2) e IEC 61260 (todas as partes).

A calibração do medidor Fusion foi realizada conforme a norma da IEC 60942-3:2020 e IEC 61672-3:2018, *Electroacoustics – Sound level meters – Periodic Test*. Esse método define os testes acústicos e elétricos que integram as verificações periódicas de medidores de nível sonoro fabricados em conformidade com a norma NBR 10.151.



Os certificados de calibração são apresentados no **Anexo 6**, sendo o número do certificado de calibração do sonômetro, da pressão do calibrador acústico e da distorção do calibrador acústico, respectivamente igual a RBC3-12400-697, RBC2-12407-400 e DIST2-12407-400.

6.1.4.1.2. Resultados

A Tabela 14 apresenta os resultados das medições realizadas nos períodos diurno e noturno, nos pontos de RD-01 a RD-12. Juntamente são informados o período de monitoramento, bem como os principais interferentes identificados. Nos gráficos da Figura 25 a Figura 30 são apresentados os resultados de LR obtidos para o período diurno e para o período noturno, para fins de comparação com o limite de NPS referido na ABNT NBR 10.151 e na Lei Estadual nº 10.100/1990.

Para a análise comparativa com a ABNT NBR 10.151, os pontos foram separados por tipo de área classificada, de acordo com a legislação: Área de Residências Rurais, Área Mista Predominantemente Residencial e Área mista com Predominância de Atividades Culturais, Lazer e Turismo.



Tabela 14 Resultados das Medições de Nível de Pressão Sonora

Ponto	Período	Tempo Total de Amostragem	Tempo de Integração	L _{Aeq(Total)}	LR	Principais Interferências
RD-01	Diurno	10 min	10 min	63,14	68,14	Fluxo de veículos durante todo o monitoramento.
	Noturno	10 min	9 min	57,56	62,56	Durante todo o monitoramento: Fluxo de veículos, latidos de cachorro. 23:31 Homem gritando. 23:32: Sirene. 23:33 Moto em alto giro. 23:36 Moto em alto giro.
RD-02	Diurno	10 min	10 min	41,77	46,77	Durante todo o monitoramento: Cerâmica sendo quebrada e canto de pássaros. 11:29: Bode.
	Noturno	10 min	9 min	26,63	36,63	00:03: Moto.
RD-03	Diurno	10 min	10 min	52,78	52,78	Fluxo de veículos e equipamentos durante todo o monitoramento.
	Noturno	10 min	9 min	37,62	37,62	Durante todo o monitoramento: Fluxo de veículos, música. 23:05: Ônibus. 23:07: Carro.
RD-04	Diurno	10 min	9 min	40,75	45,75	Ruído de madeira durante todo o monitoramento. 09:50: Avião.
	Noturno	10 min	9 min	37,13	42,13	Durante todo o monitoramento: Fluxo de veículos, latidos de cachorro.
RD-05	Diurno	10 min	8 min	31,26	36,26	Durante todo o monitoramento: Ruído de motosserra e de animais diversos distante. 09:18: Buzina. 09:20: Carro. 09:23: Caminhão e buzina.
	Noturno	10 min	10 min	62,97	67,97	Cachorros latindo durante todo o monitoramento.
RD-10	Diurno	10 min	9 min	43,87	48,87	Durante todo o monitoramento: Ruído de animais diversos e folhagem de árvores. 14:23: Avião. 14:25: Buzina.
	Noturno	10 min	8 min	38,75	43,75	Durante todo o monitoramento: Cachorros latindo e ruído de caminhões.
RD-11	Diurno	10 min	10 min	47,77	47,77	Durante todo o monitoramento: Fábrica em operação, música tocando e folhagem de árvores.
	Noturno	10 min	10 min	33,31	33,31	Durante todo o monitoramento: Fluxo de veículos distante do ponto, cachorros latindo e sirene.
RD-12	Diurno	10 min	10 min	74,76	79,76	Fluxo de caminhões durante todo o monitoramento.
	Noturno	10 min	10 min	65,41	70,41	Durante todo o monitoramento: Fluxo de veículos e cachorros latindo.

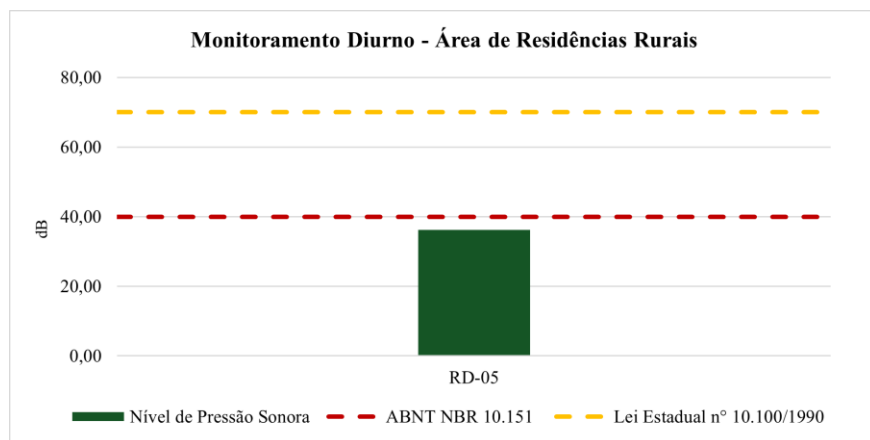


Figura 25 Resultado Diurno – Área de Residências Rurais

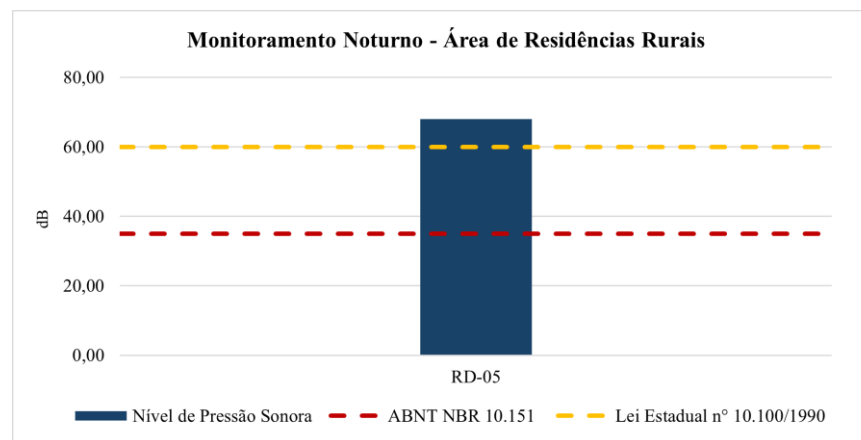


Figura 26 Resultado Noturno – Área de Residências Rurais

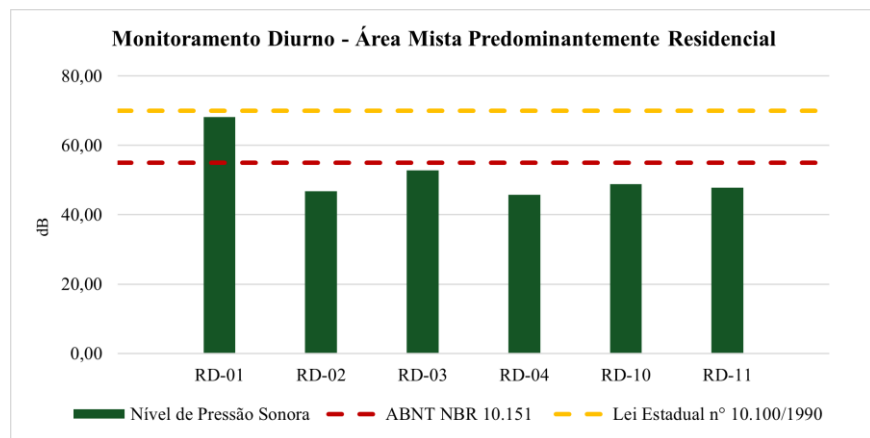


Figura 27 Resultado Diurno – Área Mista Predominantemente Residencial

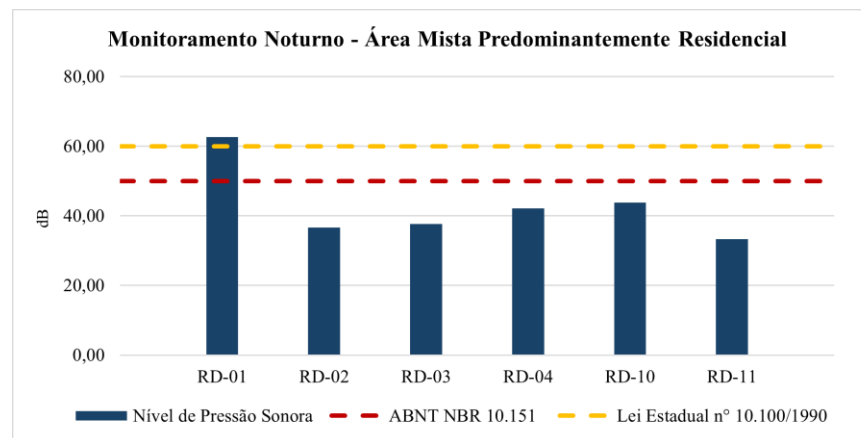


Figura 28 Resultado Noturno – Área Mista Predominantemente Residencial

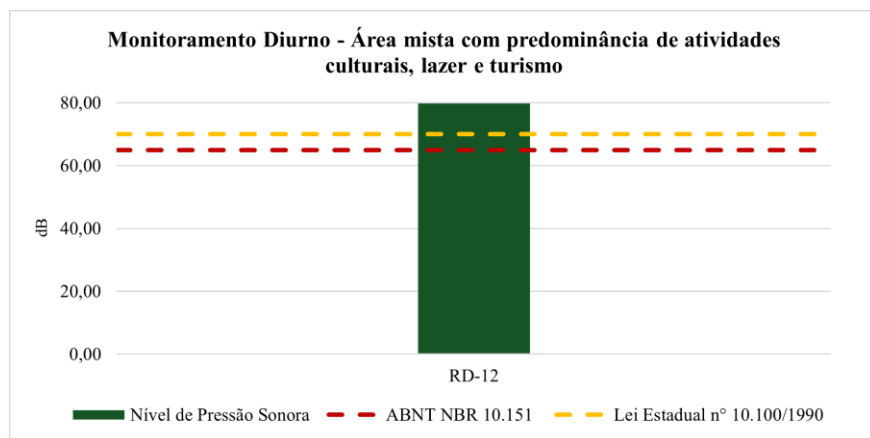


Figura 29 Resultado Diurno – Área Mista com predominância de atividades de cultura, lazer e turismo

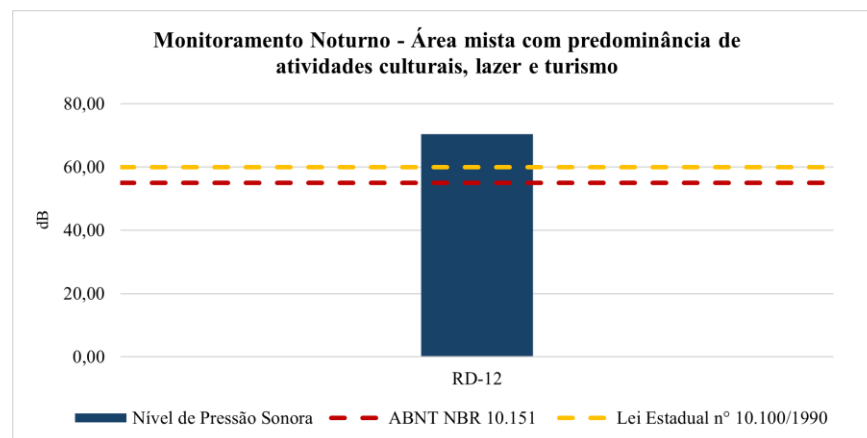


Figura 30 Resultado Noturno – Área Mista com predominância de atividades de cultura, lazer e turismo



Sabendo que as atividades do empreendimento não tiveram início, é importante se atentar ao fato de que todas as medições se devem unicamente aos sons ambientes de cada local, tendo diferenças significativas entre as fontes de ruído a depender do ponto monitorado. Durante o tratamento de dados foram excluídos aqueles classificados como intrusivos, ou seja, aqueles que não pertencem ao objeto de análise, que neste caso se trata das atividades locais.

Considerando o ponto RDO-05, situado em uma Área de Residências Rurais, é possível verificar pela Tabela 11 e pela Figura 25 que, para o período diurno, o resultado se manteve em conformidade com o limite de 70 dB, estabelecido pela Lei Estadual nº 10.100/1990 e com o limite de 40 dB, estabelecido pela ABNT NBR 10.151/2019. Quanto ao período noturno (Figura 26), o ponto RD-05 apresentou NPS superior aos limites determinados pela ABNT NBR 10.151/2019 e pela Lei Estadual nº 10.100/1990. Deve-se pontuar que foram verificadas evidências de ruído impulsivo, possivelmente porque, neste ponto, têm-se uma vizinhança com baixa movimentação, sendo predominante o ruído proveniente de animais diversos, tais como cachorros, galinhas e bovinos, que resultaram em níveis de pressão sonora capazes de exceder os limites dispostos na norma apresentada acima.

Quanto aos pontos localizados em uma Área Mista Predominantemente Residencial, foi observado que apenas o ponto RD-01 esteve acima do limite preconizado pela ABNT NBR 10.151/2019, em ambos os períodos de monitoramento. Quanto à Lei Estadual nº 10.100/1990, esse ponto apresentou resultado conforme para o período diurno, no entanto, esteve acima do VMP para o período noturno. Percebe-se que este ponto está situado às margens da rodovia BR-146, sendo predominante a contribuição ruidosa por parte do fluxo de veículos. Desse modo, pode-se concluir que a rodovia por si só apresenta potencial de elevar o ruído ambiental da região a níveis superiores ao proposto tanto pela ABNT NBR 10.151:2019 quanto pela Lei Estadual nº 10.100/1990.

Já os pontos RD-02, RD-03, RD-04, RD-10 e RD-11 apresentaram resultados em conformidade com ambas as referências supracitadas, considerando os períodos diurno e noturno. Estes apresentam em comum a localização próxima de residências, tendo como principal fonte de ruído atividades comerciais, além da presença de animais diversos. Nenhum desses pontos possuem características de ruído tonal e, apenas nos pontos RD-02, RD-04 e RD-10 foram identificados ruídos impulsivos. Desse modo, pode-se perceber que essas localidades apresentam um ambiente de baixo impacto ruidoso.

O ponto RD-12 se encontra em uma Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo, pois está situado em frente a um resort. No entanto, cabe dizer que este resort está localizado próximo à rodovia e que possui uma indústria ao seu lado. Sabendo disso, pode-se perceber pela Tabela 11 e pela Figura 29, para o período diurno, e Figura 30, para o período noturno, que ambos os resultados estiveram acima do VMP estabelecido por ambas as referências consideradas. Além disso, eles apresentaram características de ruído impulsivo. Foi observado que a principal fonte de ruído neste ponto são os veículos que transitam de maneira intensa pela rodovia próxima, assim, pode-se concluir que este ponto por si só já apresenta um perfil ruidoso com tendência a sobrepor os limites da legislação.



6.1.4.2. Vibração

6.1.4.2.1. Metodologia

Devido à inexistência de legislações pertinentes à vibração ambiental em um escopo não direcionado apenas à desmonte de rocha, neste relatório, foi utilizado como referência, os requisitos normativos da ABNT NBR 9653:2018 - “*Guia Para Avaliação dos Efeitos Provocados Pelo Uso de Explosivos nas Minerações em Áreas Urbanas*”. Essa norma descreve a metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com uso de explosivos em indústria de mineração e construção em geral. Além disso, foi utilizado como parâmetro complementar de avaliação/análise, a Escala Medvedev, S.V, que avalia os efeitos do sismo sobre as construções.

Todos os procedimentos e os equipamentos utilizados no monitoramento de vibração ambiental estão de acordo com as diretrizes e orientações dispostas na Deliberação Normativa do COPAM nº 216 de 27 de outubro de 2017, que dispõe sobre as exigências para laboratórios que emitem relatórios de ensaios ou certificados de calibração referentes a medições ambientais. O monitoramento foi conduzido utilizando-se um sismógrafo de engenharia instalado no ponto de interesse de medição. A metodologia utilizada nesta campanha foi a denominada Histograma, que é usada para monitorar períodos mais longos de tempo. Ela produz uma gravação com picos máximos de velocidade das partículas e dados de frequência associados para um intervalo de tempo determinado. O sismógrafo foi programado para gravar a velocidade máxima das partículas para intervalos de 60 segundos. O certificado de calibração, emitido no dia 10/10/2023, é apresentado no **Anexo 7** e possui calibração nº A182.

Os pontos de monitoramento foram nomeados e estrategicamente determinados pela equipe CLAM em localidades onde receptores encontram-se próximos à área do Projeto Colossus, conforme é possível visualizar no mapa da Figura 31. A Tabela 15 apresenta as coordenadas dos pontos e sua descrição e da Foto 33 a Foto 44 são apresentados os registros fotográficos dos monitoramentos realizados. As evidências de campo podem ser vistas no **Apêndice 3**.

Tabela 15 Descrição dos Pontos de Monitoramento Sismográfico.

Ponto de monitoramento em superfície	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Descrição dos pontos de monitoramento
	Latitude	Longitude	
VB-01	7584969.01	339387.97	Rodovia BR-146 próximo ao Minassal
VB-03	7584997.69	342033.17	Hotel Fazenda Poços de Caldas
VB-04	7582114.49	338837.96	Conjunto Habitacional Pedro Afonso Junqueira
VB-10	7585810.66	344082.44	Próximo a Mineração Poços de Caldas

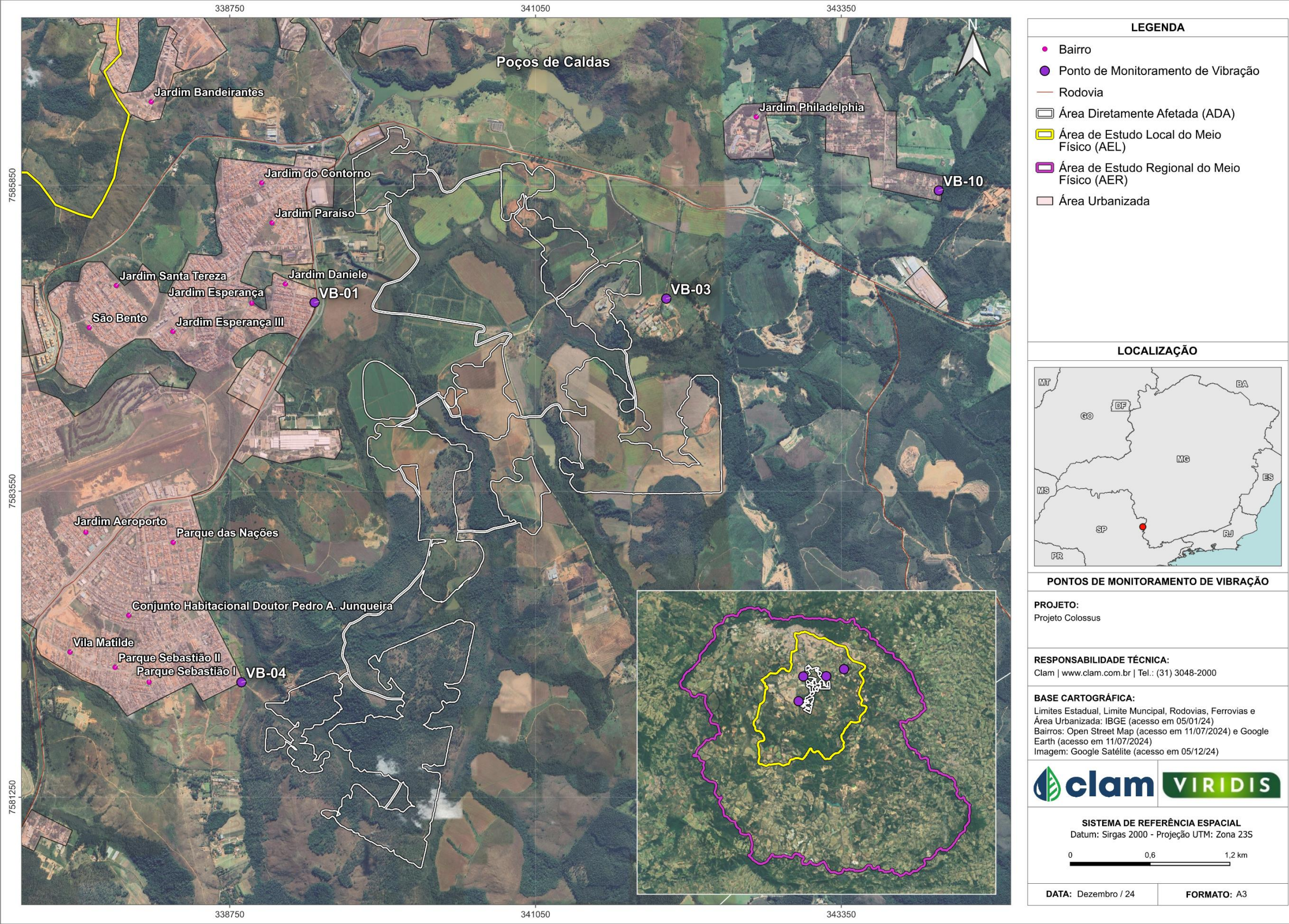


Figura 31 Localização dos Pontos de Monitoramento de Vibração



Foto 33 Registro da Instalação do Equipamento – VB-01



Foto 34 Registro do entorno do ponto – VB-01



Foto 35 Registro do Equipamento GeoSonics 3000 – VB-01



Foto 36 Registro da Instalação do Equipamento – VB-03



Foto 37 Registro do entorno do ponto – VB-03



Foto 38 Registro do Equipamento GeoSonics 3000 – VB-03



Foto 39 Registro da Instalação do Equipamento – VB-04



Foto 40 Registro do entorno do ponto – VB-04



Foto 41 Registro do Equipamento GeoSonics 3000 – VB-04



Foto 42 Registro da Instalação do Equipamento – VB-10



Foto 43 Registro do entorno do ponto – VB-10



Foto 44 Registro do Equipamento GeoSonics 3000 – VB-10



Os dados coletados em campo foram tratados com o *software* denominado *AnalysisNet*. As medições de vibração são procedidas com análises de deslocamento da partícula longitudinal (mm/s), transversal (mm/s) e vertical (mm/s), comparando com os limites de vibração da norma ABNT NBR 9653:2018 e com as velocidades de vibração de partículas da Escala Medvedev. Os dados comparativos seguem apresentados na Tabela 16 e Tabela 17.

Tabela 16 Limites de velocidade de vibração de partícula por faixa de frequência – ABNT NBR 9653.

Faixa de Frequência	Limite de velocidade de vibração
4 Hz a 15 Hz	Inicia em 15mm/s, aumenta linearmente até 20mm/s
15 Hz a 40 Hz	Inicia em 20mm/s, aumenta linearmente até 50mm/s
Acima de 40 Hz	50mm/s
Para valores de frequência abaixo de 4Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6mm.	

Fonte: ABNT NBR 9653:2018.

Tabela 17 Parâmetros de Avaliação – Escala Medvedev.

Velocidade de Vibração da Partícula (mm/s)	Características Observadas
2,0	Oscilações só notadas com uso de instrumento de medição.
2,0 a 4,0	Oscilações quase imperceptíveis.
4,0 a 8,0	Oscilações sentidas por algumas pessoas ou por pessoas que sabiam da detonação.
8,0 a 15,0	Oscilações notadas por muitas pessoas; barulho nas vidraças.
15,0 a 30,0	Queda de reboco; pequenos danos.
30,0 a 60,0	Fendas em reboco; danos a edifícios já deformados.
60,0 a 120,0	Danos a edifícios em estados satisfatórios; fendas e quedas de rebocos, fendas nas paredes.
120,0 a 240,0	Consideráveis danos a edifícios; fendas em pilares e paredes; grandes fendas em partições.
240,0 a 480,0	Destruição de edifícios; quedas de paredes.
480	Grande destruição e colapso de edifícios.

Fonte: Critério de MEDVEDEV, S.V. – 1968.

6.1.4.2.2. Resultados

Para a avaliação dos resultados, a norma ABNT NBR 9653:2018 estabelece a utilização da velocidade de vibração da partícula de pico nos eixos longitudinal, vertical e transversal. Os resultados das medições de vibração realizadas estão apresentados na Tabela 18. Para as medições foi o método contínuo “histograma”, registrando momentos de vibração a cada 60 segundos, gerando no máximo 180 valores de velocidade de partícula para cada monitoramento, considerando os três eixos por ponto. Os dados completos do monitoramento, com os valores de cada aferição e a representação gráfica das vibrações, são apresentados no **Apêndice 4**.

Como observado nos gráficos apresentados da Figura 32 a Figura 34, durante o monitoramento não foram registradas medições com valores acima dos limites preconizados pela ABNT NBR 9653:2018,



considerando as três ortogonais (longitudinal, transversal e vertical).

O ponto VB-01 apresentou vetor resultante da velocidade de partícula a 20,06 (mm/s). Esse resultado, segundo a Escala Medvedev, indica a possibilidade de queda de reboco e pequenos danos nas edificações. Este ponto de monitoramento está localizado nas imediações da BR-146, onde há grande circulação de veículos, justificando a geração de ondas de vibração.

Nos pontos VB-03 e VB-04, os valores variam entre 8 e 15 mm/s. De acordo com a Escala Medvedev, às oscilações podem ser sentidas por muitas pessoas. Além disso, nas proximidades dos pontos de monitoramento foram observadas atividades industriais e grande movimentação de veículos.

O resultado obtido no ponto VB-10 foi o que apresentou o menor valor de vetor resultante da velocidade da partícula, com 7,57 mm/s. Comparado com a Escala Medvedev, isso indica que poucas pessoas podem sentir as oscilações. No entanto, neste ponto foram identificadas atividades de beneficiamento e movimentação de veículos da Mineração Poços de Caldas nas proximidades.

Tabela 18 - Resultados das medições de velocidade de vibração de partícula de pico (Histograma).

Ponto	Longitudinal		Transversal		Vertical		Vetor resultante da velocidade de partícula (mm/s)	Nível de Pressão Acústica (dB)
	PPV (mm/s)	Fre. (Hz)	PPV (mm/s)	Fre. (Hz)	PPV (mm/s)	Fre. (Hz)		
VB-01	9,68	19,20	11,93	15,60	12,90	18,50	20,06	103,00
VB-03	6,45	125,00	4,84	83,30	8,07	62,50	11,41	93,00
VB-04	4,84	9,10	4,84	12,20	4,84	25,00	8,38	101,00
VB-10	4,84	0,40	4,84	0,30	3,23	50,00	7,57	90,00

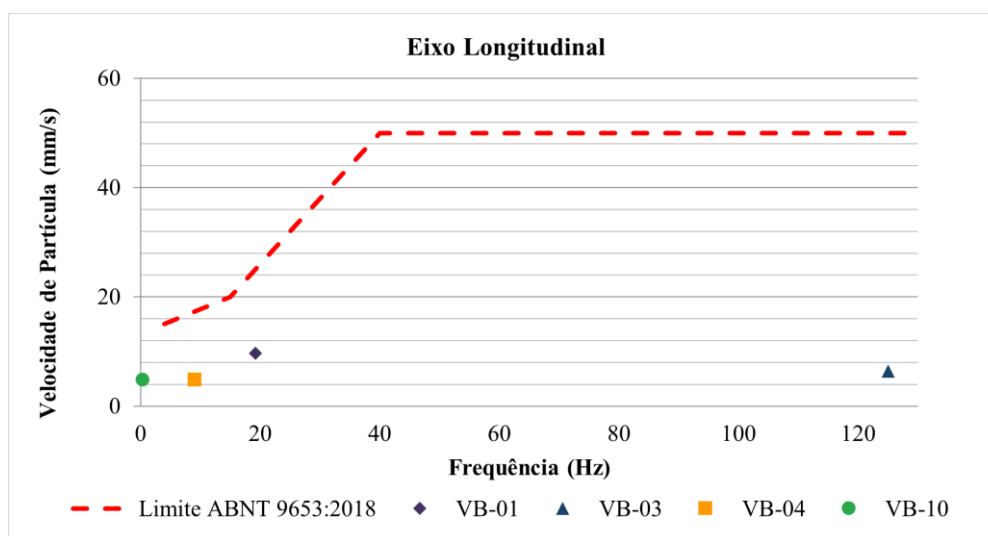


Figura 32 Resultados do monitoramento de vibração para o Eixo Longitudinal.

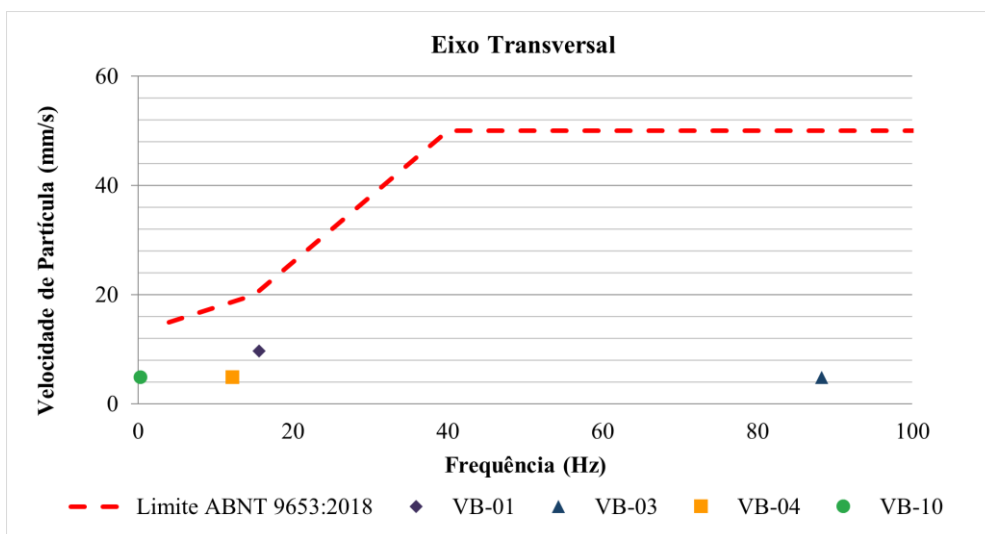


Figura 33 Resultados do monitoramento de vibração para o Eixo Transversal.

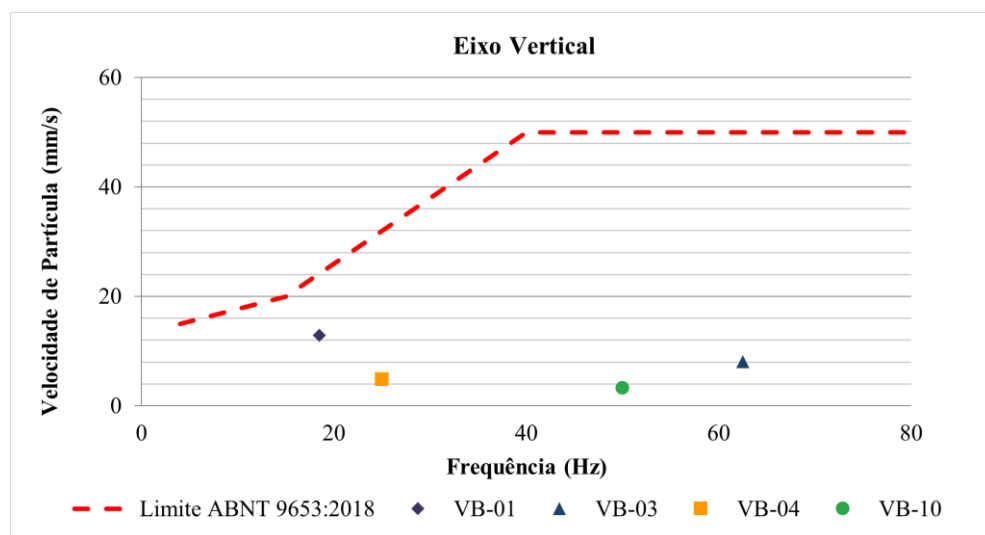


Figura 34 Resultados do monitoramento de vibração para o Eixo Vertical.

6.1.5. Geologia

6.1.5.1. Área de Estudo Regional

6.1.5.1.1. Metodologia

O contexto geológico regional foi descrito a partir de dados secundários, subsidiados por trabalhos de mapeamento geológico já realizados na região. A geologia da área de estudo foi mapeada pela CPRM, durante a elaboração do Mapa Geológico do estado de Minas Gerais. Além disso, as descrições da geologia regional foram elaboradas, em grande parte, tendo como base também os estudos realizados por Marconato *et al.*, (2006), Zogheib (2016) e Tedeschi, Vieira & Novo (2015).

6.1.5.1.2. Resultados

No contexto geológico regional, as áreas de estudo estão inseridas na Faixa Brasília. Esta faixa é delimitada a leste pelo Cráton do São Francisco, a sul em interferência com a Faixa Ribeira; a sudoeste, é coberta pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná; e a oeste, pelo Maciço de Goiás (Zogheib, 2016). A Faixa Brasília é subdividida em duas seções: a Faixa Brasília Setentrional, com orientação NE, e a Faixa Brasília Meridional, com orientação NW (Tedeschi, Vieira & Novo, 2015) (Figura 35).

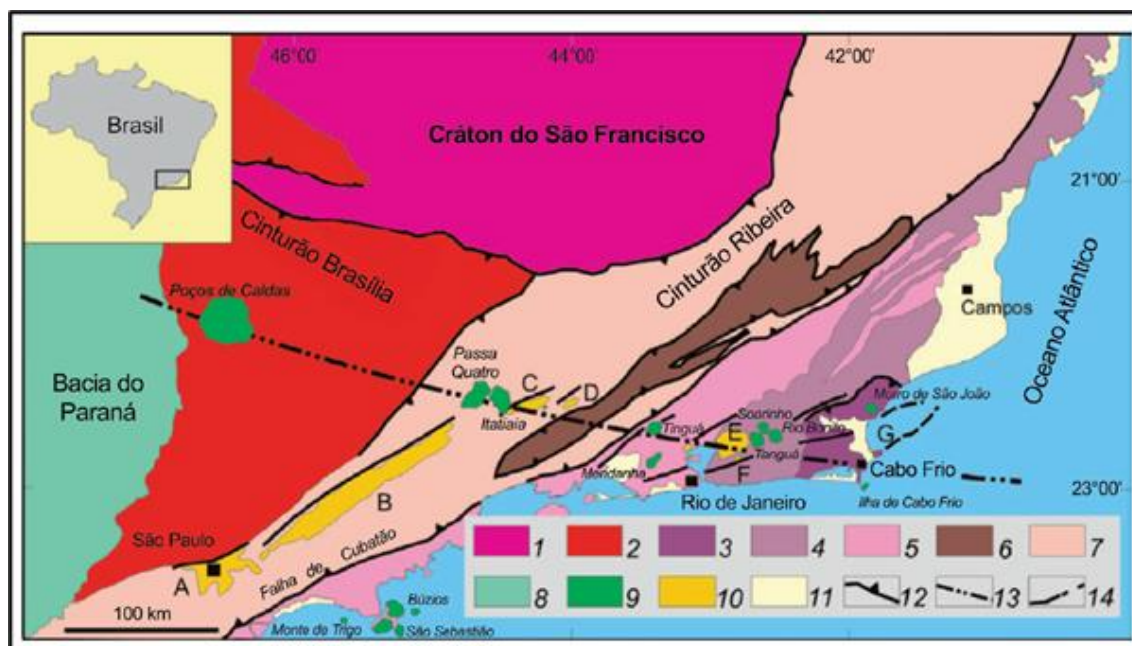


Figura 35 Mapa tectônico da região sudeste do Brasil: (1) Cráton do São Francisco; (2) Cinturão Brasília; (3) Terreno Cabo Frio; (4) Terreno Oriental — Domínio Costeiro; (5) Terreno Oriental — Arco Magmático Rio Negro; (6) *Klippe* Paraíba do Sul; (7) Terreno Ocidental; (8) Bacia do Paraná; (9) Corpos Alcalinos do Cretáceo Superior ao Eoceno; (10) Bacias do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB): A — São Paulo; B — Taubaté; C — Resende; D — Volta Redonda; E — Macacu; F — Itaboraí; G — Barra de São João; (11) Sedimentos cenozoicos indiferenciados; (12) Falhas reversas, *nappes*; (13) Alinhamento Magmático de Cabo Frio; (14) Limites de grábens do RCSB.

Fonte: Modificado de Almeida & Carneiro (2012).

A área de estudo está localizada na Faixa Brasília Meridional, que é caracterizada por um sistema de *nappes* de cavalgamento sub-horizontais vergentes para leste, separadas por zonas de cisalhamento de alto ângulo (Tedeschi, Vieira & Novo, 2015). No extremo sul do sistema de *nappes* da Faixa Brasília, encontra-se a *Nappe* Socorro-Guaxupé, uma espessa lasca da crosta inferior e média neoproterozoica (Campos-Neto *et al.*, 2011). Esta unidade é marcada por magmatismo e metamorfismo de alta temperatura, atingindo fácies granulito na sua porção basal (Campos Neto *et al.*, 2004).

A *Nappe* Socorro-Guaxupé é composta, em sua base, por granulitos enderbíticos com cerca de 3 km de espessura e mergulho horizontal a levemente inclinado para SW. Esses granulitos gradam em direção ao topo para biotita-hornblenda diatexitos, com 6 km de espessura, intercalados, nas porções superiores, com migmatitos pelíticos, quartzitos, rochas calciossilicáticas, mármore e metaintrusivas máficas, além de granitoides peraluminosos (Campos Neto & Caby, 1999).

A Intrusão Alcalina de Poços de Caldas faz parte do alinhamento de corpos intrusivos alcalinos



relacionados ao lineamento Poços de Caldas-Cabo Frio (Almeida, Carneiro & Misuzaki, 1996), compreende uma sequência de eventos vulcânicos, representados por rochas alcalinas que formam *stocks*, plugs, possíveis chaminés, diques e derrames e rochas piroclásticas. Segundo Thomaz Filho & Rodrigues (1999), esse alinhamento está relacionado a passagem da placa Sul-Americana sobre um *hot spot* mantélico, possivelmente situado na astenosfera.

Na Área de Estudo Regional (AER), podem ser observadas rochas, da base para o topo, do Complexo Varginha-Guaxupé, Suíte São José do Rio Pardo, Sienito Pedra Branca e Complexo Alcalino de Poços de Caldas (Figura 36).

Complexo Varginha-Guaxupé

O Complexo Varginha-Guaxupé, na área de estudo, é caracterizado por uma unidade migmatítica intermediária composta por biotita-hornblenda nebulito com composições variando entre granodiorítica, granítica, sienítica e monzonítica. O biotita-hornblenda nebulito apresenta contatos transicionais com corpos batolíticos de granito gnáissico anatótico, que é metaluminoso e comumente porfirítico, resultante da fusão parcial *in situ* de estratos infracrustais. Dentro dessa unidade, são encontrados migmatito estromático a mesossoma gnáissico de composição diorito-tonalítica, leucossomas trondhjemíticos e melanossomas ferromagnesianos. O granito gnáissico presente nessa unidade também contém enclaves de gnaiss diorito-monzodiorítico, xenólitos de gnaiss calcissilicático e lentes de sillimanita-cordierita metapelito. Além disso, ocorrem, subordinadamente, corpos de granitóides peraluminosos (Marconato *et al.*, 2006).

Suíte São José do Rio Pardo

As rochas mais frequentemente descritas nesta unidade incluem mangeritos verdes, de granulação média a grossa, e quartzo mangeritos com cerca de 10% de minerais máficos. Localmente, os mangeritos parecem gradar para hornblenda granitos rosados e, em algumas áreas, granitos hololeucocráticos também são comuns. Rochas sieníticas, charnockitos e enclaves de piroxênio dioritos ocorrem de forma esporádica. Estas rochas exibem intensa deformação, com foliação e lineação mineral claramente definidas pelos agregados de minerais máficos (Campos Neto & Figueiredo 1995; Janasi 1999).

Sienito Pedra Branca

O Sienito Pedra Branca é constituído de álcali-feldspato sienitos, que variam de saturado a localmente insaturado em sílica. Adicionalmente, apresenta álcali-feldspato sienitos supersaturados, com quartzo modal inferior a 5%. Estes sienitos exibem uma foliação de fluxo magmática bem definida, enquanto os álcali-feldspato sienitos supersaturados podem apresentar foliação de fluxo magmático moderadamente pronunciada, contendo quartzo e plagioclásio (Tedeschi, Vieira & Novo, 2015).

Complexo Alcalino de Poços de Caldas

O Complexo Alcalino de Poços de Caldas se caracteriza como um maciço subcircular com área superior a 800 km². Os principais tipos litológicos presentes nesse complexo incluem fonólitos, especificamente egrina fonólitos, fonólitos porfiríticos e pseudoleucita fonólitos; e nefelina sienitos, principalmente lujauritos, chibinitos, nefelina sienitos com eudialita e pseudoleucita-nefelina sienitos. Além disso, ocorrem rochas piroclásticas na forma de tufitos, tufitos de lápili, brechas e aglomerados. Todos esses litotipos estão alterados em diferentes graus devido à ação hidrotermal, e são localmente cortados por



diques de biotita lamprófiros (Ulbrich 1983, Garda 1990 *apud* Marconato *et al.*, 2006).

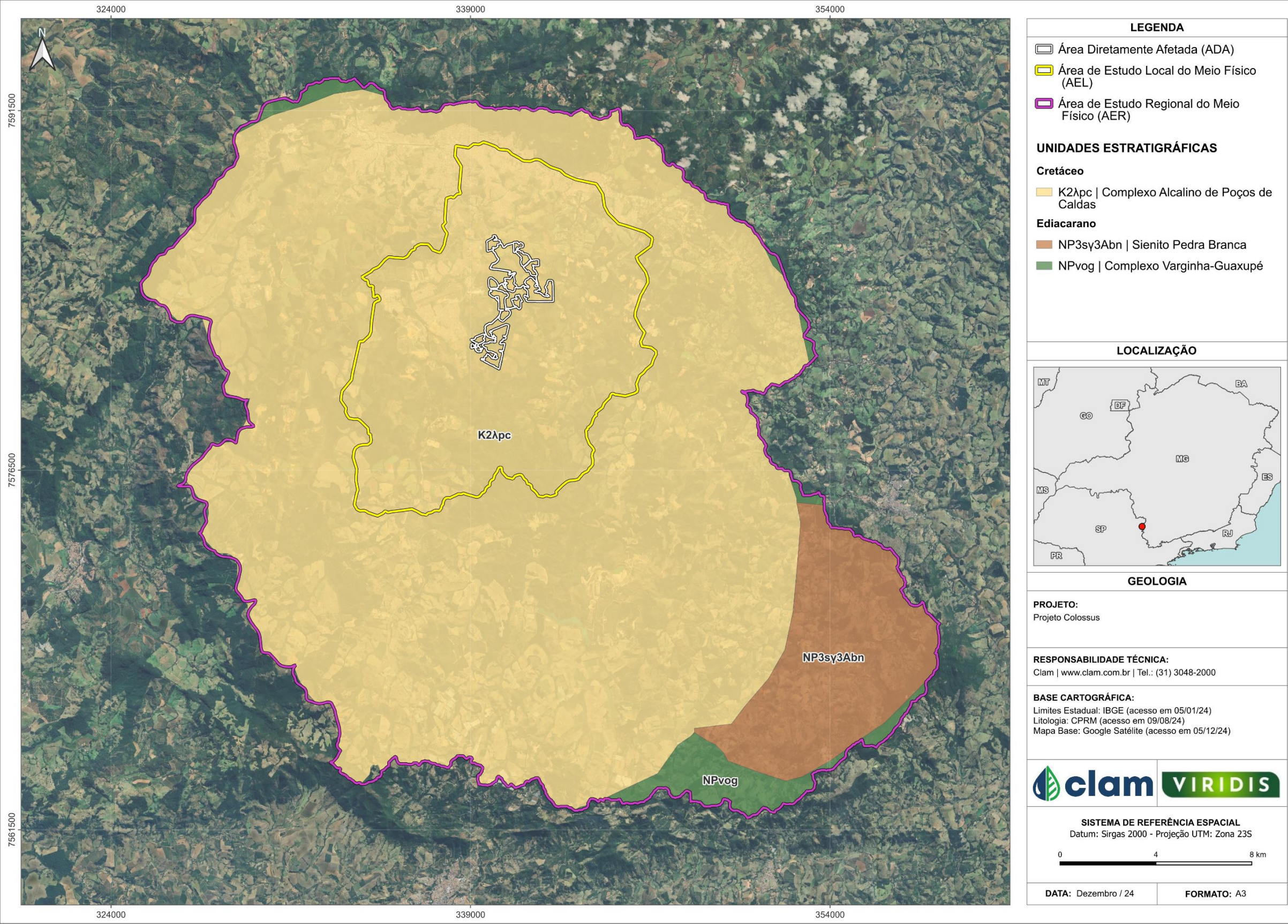


Figura 36 Mapa geológico da área de estudo local e regional.

6.1.5.2. Área de Estudo Local

6.1.5.2.1. Metodologia

O contexto geológico da área de estudo local foi descrito a partir do mapa geológico elaborado por Ellert (1959), Ulbrich *et al.* (2002) e pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB, 2011), conforme citado no trabalho de Bacha *et al.* (2020).

6.1.5.2.2. Resultados

A Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas é caracterizada como um complexo alcalino com estrutura ligeiramente elíptica, apresentando um eixo maior de aproximadamente 35 km na direção NW-SE e um eixo menor de aproximadamente 30 km na direção NE-SW, abrangendo uma área aproximada de 800 km² (Chapman *et al.*, 1991).

Ellert (1959) propôs um modelo para explicar os processos de intrusão alcalina que deram origem à Caldeira Vulcânica. Esse modelo sugere uma atividade vulcânica inicial ankaratrítica, com a formação de tufos, brechas e aglomerados vulcânicos, seguida pela construção de um edifício vulcânico composto por magmatismo nefelínico-sienítico e intercalações de tufos e lapilli tufo. Posteriormente, ocorreu o colapso da caldeira e a formação de diques anelares, seguido por um hiato erosivo e novas atividades vulcânicas que produziram brechas de conduto e fluxos piroclásticos. A sequência é finalizada com uma atividade magmática diferenciada, gerando eudiatila-nefelina sienitos. A Figura 37 apresenta um perfil geológico esquemático do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

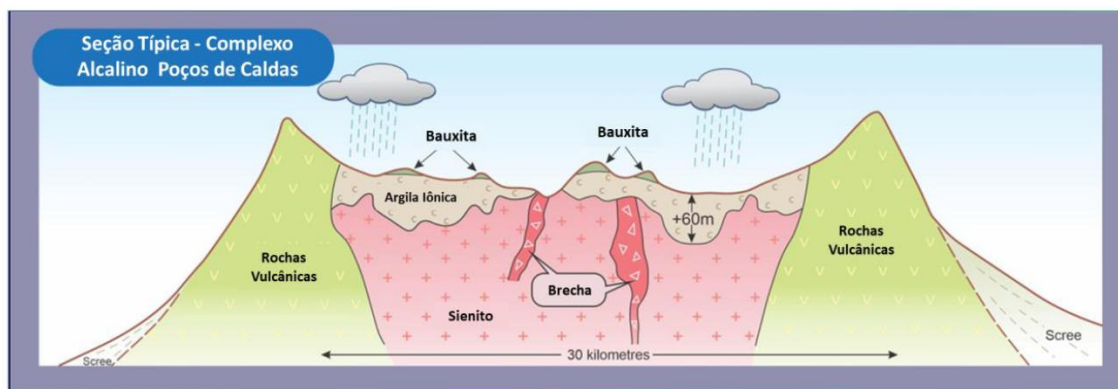


Figura 37 Seção Geológica esquemática do Complexo Alcalino Poços de Caldas (sem escala).

Fonte: MDGEO (2024).

A seguir serão descritos os principais tipos litológicos que afloram na Caldeira de Poços de Caldas (Figura 38). A Foto 45 e a Foto 49 ilustram alguns afloramentos encontrados durante o inventário de nascentes da CLAM, em 2024.

- Tinguaitos: Considerado uma variedade hipoabissal (formado em profundidades rasas sem atingir a superfície) de fonólito, contendo feldspato alcalino, nefelina com ou sem feldspatóides, biotita e egrina, o que lhe confere a textura tinguaitica;

- Foiaítos: Rochas plutônicas com textura granular grosseira, às vezes ligeiramente traquitóide;
- Nefelina sienitos: Apresentam textura variando de equigranular a inequigranular, com granulação média a grossa e coloração rosa-acinzentada. São constituídas por nefelina e feldspatos, com piroxênio e magnetita subordinados;
- Fonólitos: Rochas microcristalinas, efusivas;
- Lujauritos: São sienitos agpaíticos contendo nefelina. Rochas agpaíticas são aquelas que contêm excesso de Na sobre K e de álcalis sobre alumina. O mineral Eudialita é abundante;
- Chibinitos: São também sienitos agpaíticos contendo nefelina, podendo apresentar textura hipidiomórfica-granular (os cristais apresentam formas geométricas regulares) ou textura foiaítica (textura onde os feldspatos alcalinos de hábito tabular formam uma densa malha, em cujos interstícios alojam-se outros minerais). A eudialita também é abundante;
- Rocha Potássica: Rochas de vários tipos que sofreram alteração hidrotermal. As rochas alteradas apresentam tonalidade bege esbranquiçado a creme claro;
- Tufos e Rochas Piroclásticas: Rochas piroclásticas são formadas por fragmentos de tamanho variado projetados por uma explosão vulcânica. Tufos são cinzas vulcânicas consolidadas. As cinzas vulcânicas são partículas que apresentam diâmetro menor que 2 mm;
- Arenitos: Rochas clásticas de origem sedimentar, cujas partículas apresentam tamanho de areia muito fina a areia muito grossa, possuindo menos de 25% de feldspatos e menos de 20% de minerais de argila em sua composição.



Foto 45 Afloramento localizado na nascente N-11
Autor: CLAM (2024).



Foto 46 Afloramento localizado na nascente N-38.
Autor: CLAM (2024)



Foto 47 Afloramento localizado na nascente N-42
Autor: CLAM (2024).



Foto 48 Afloramento localizado na nascente N-60
Autor: CLAM (2024).



Foto 49 Afloramento localizado na nascente N-77.
Autor: CLAM (2024).

O Planalto de Poços de Caldas apresenta dois grandes sistemas de falhas com direções predominantes N40E e N60W, sendo que o primeiro está relacionado ao processo formador da caldeira e o segundo à tectônica regional (Fraenkel *et al.*, 1985), além da existência de falhas de direção transversal à estrutura anelar, que afetaram todo o maciço alcalino. A formação do sistema de falhas presente na região é resultado do fenômeno de reativação tectono-magmática da plataforma Sul-Americana durante o Mesozoico (Almeida, 1986).

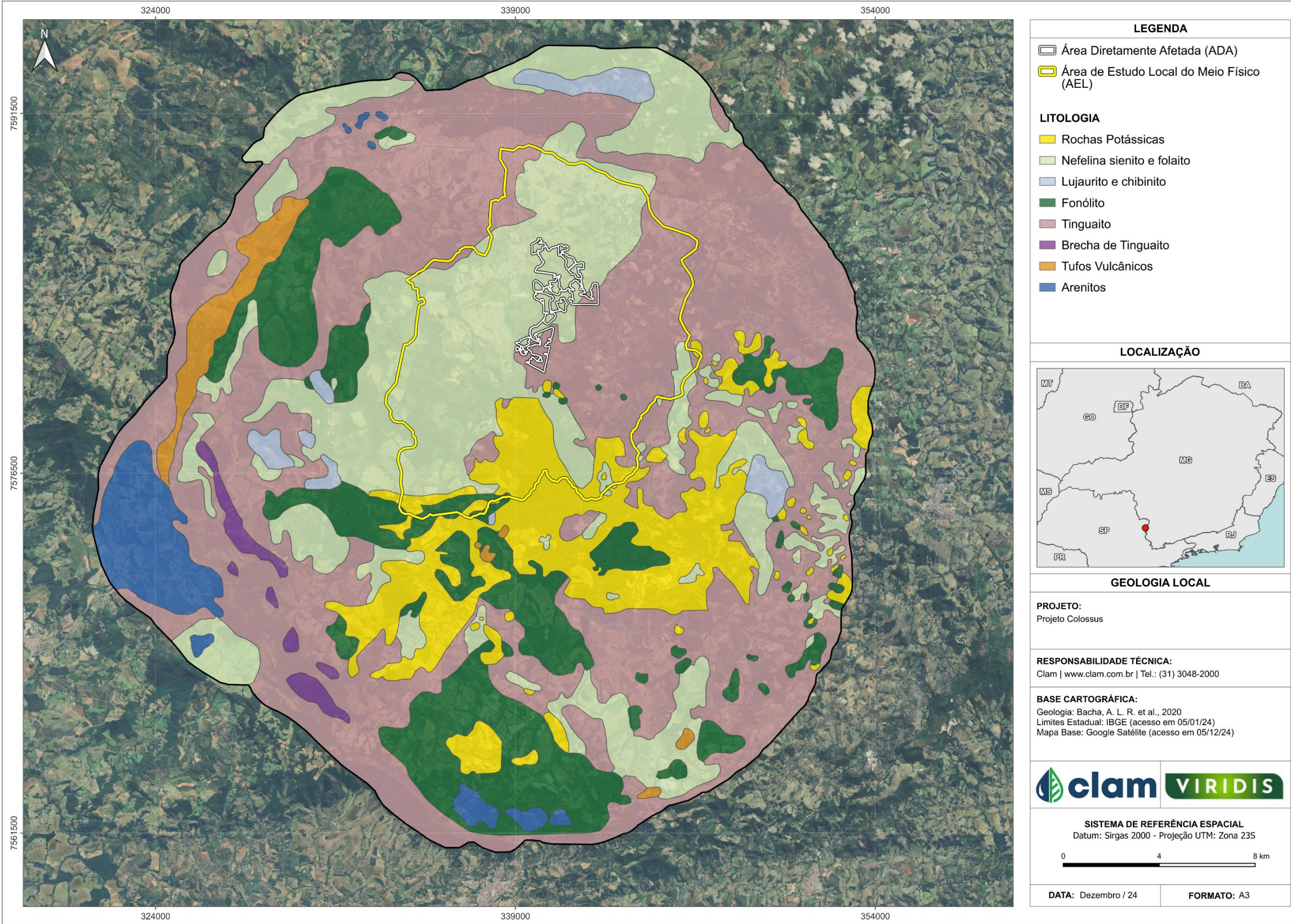


Figura 38 Mapa de litologias no Complexo Alcalino Poços de Caldas, com destaque para a Área de Estudo Local.

Mineralização

Os depósitos de elementos de terras raras podem ter origem primária ou secundária. Os depósitos de origem primária (magmáticos ou magmático-hidrotérmicos) estão relacionados com depósitos alcalinos e alcalino-carbonatíticos, fosforitos e depósitos IOCG (Biondi, 2015; Li *et al.*, 2017). Por outro lado, depósitos de terras raras de origem secundária estão associados a depósitos de *placer* ou supergênicos, como depósitos de bauxita laterítica e depósitos de argila de adsorção de íons de elementos de terras raras (ETR) (Li *et al.*, 2017).

Os complexos alcalinos e alcalino-carbonatíticos são de grande importância econômica, pois formam depósitos mineralizados de nióbio, titânio, fosfatos e elementos terras raras, entre outros (Ribeiro *et al.*, 2014). Os depósitos de ETR relacionados aos complexos alcalinos estão associados a sienitos nefelínicos, granitos peralcalinos (incluindo pegmatitos) e, menos comumente, a rochas vulcânicas félsicas peralcalinas (Dostal, 2017), como é o caso do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

O Complexo Alcalino de Poços de Caldas serviu de local para a formação de importantes jazidas, como jazidas de urânio, zircônio e terras raras e jazidas lateríticas de bauxita. Segundo Biondi (2015), os depósitos de U, Zr e ETR do tipo Poços de Caldas estão associados a ambiente intracontinental, juntamente com grandes falhas profundas. São ambientes de *rifts* intercontinentais ou zonas de falhas transformante, formadas durante a abertura dos oceanos.

Os depósitos lateríticos de bauxita (Figura 39), associados às rochas alcalinas do complexo, formaram-se em decorrência do intenso intemperismo químico dessas rochas, em clima tropical úmido, onde houve lixiviação de elementos como o silício, concentração e enriquecimento de alumínio (Valeton *et al.*, 1997).

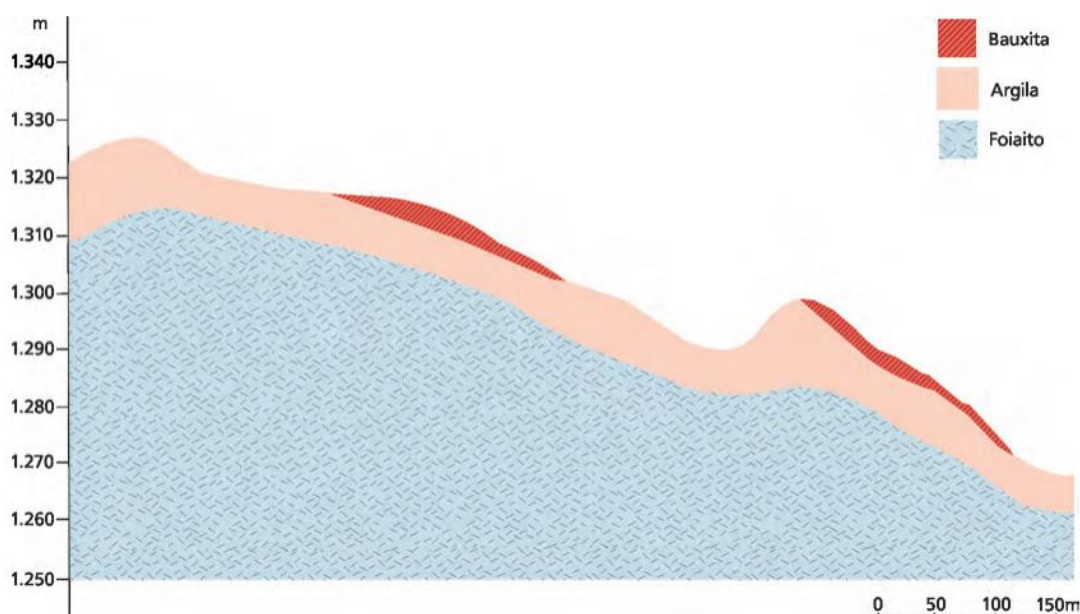


Figura 39 Perfil típico de alteração das rochas alcalinas de Poços de Caldas (MG), sobre as quais formam-se os depósitos de bauxita.

Fonte: Modificado de Biondi (2015).



Em zonas de bauxita laterítica (Monsels & Van Bergen, 2017) e solos (Liu *et al.*, 2016), a caulinita é o argilomineral predominante que, por sua vez, contém quantidades significativas de ETR em sua estrutura cristalina, desempenhando assim um papel importante no enriquecimento de ETR em sistemas supergênicos (Yang *et al.*, 2019).

Depósitos de elementos de terras raras em argilas iônicas são chamados de depósitos ETR de adsorção de íons (Bondi, 2105; Li *et al.*, 2017). A maioria desses depósitos é formada através da mobilização, circulação e acumulação de elementos de terras raras em regolitos derivados do intemperismo químico de granito e rocha vulcânica, com altas concentrações de ETR, sob condições tropicais úmidas a subtropicais úmidas (Biondi, 2015). Em geral, esses tipos de depósitos podem formar perfis de intemperismo com profundidades que variam de metros a dezenas de metros e são constituídos, da base ao topo, por rocha hospedeira, denominada rocha semi-alterada (saprólito), uma camada completamente alterada (regolito) e solo (Li *et al.*, 2017).

Estudos conduzidos por Li *et al.*, (2019) mostram que os níveis de conteúdo de ETR aumentam à medida que a profundidade do perfil de intemperismo aumenta e as maiores concentrações são encontradas entre o regolito inferior e o saprólito superior. Segundo Bao & Zhao (2008), a distribuição dos ETR no perfil de alteração concentra-se no regolito e saprólito.

A Área do Projeto considera os prospectos das Concessões do Norte, situados na porção norte do complexo e abrangendo os processos ANM n° 830113/2006, ANM n° 830927/2016, ANM n° 9031/1966 e ANM n° 7737/1959. A área referente a esses quatro processos engloba principalmente nefelina sienitos, foiaítos e fonólitos.

6.1.6. Geomorfologia

6.1.6.1. Área de Estudo Regional

6.1.6.1.1. Metodologia

Para a caracterização das unidades geomorfológicas, foram utilizadas como referências os trabalhos de Cavalcante *et al.* (1979), Ellert (1959), Penha (2015) e Fontes (2010), que contribuíram para a compreensão da evolução da paisagem regional da área de estudo. Após a consulta ao Mapa Geomorfológico do Estado de Minas Gerais, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi possível descrever o comportamento e a forma da paisagem nas tipologias geomorfológicas associadas.

6.1.6.1.2. Resultados

A Área de Estudo Regional (AER) está inserida em dois domínios morfoestruturais, a saber: Depósitos Sedimentares Quaternários, construídos pelas áreas de acumulação representadas pelas planícies e terraços de baixa declividade, e os Cinturões Móveis Neoproterozoicos, representados pela Faixa Brasília. As unidades geomorfológicas são caracterizadas pelo Planalto de Poços de Caldas, pelo Patamar de Mococa e por Terraços Fluviais (Figura 40).

O Planalto de Poços de Caldas possui cerca de 800 km² e recobre a maior parte da AER. Encontra-se



estabelecido numa chaminé de rochas eruptivas alcalinas (Almeida, 1964), representada principalmente por foiaítos e tinguaítos (Cavalcante *et al.*, 1979). Possui estrutura anelar circundando uma zona rebaixada, onde se desenvolve uma topografia de morros e vertentes suaves (Cavalcante *et al.*, 1979). Com importância destacada no relevo regional, sua história inicia-se com a intrusão de rochas félsicas, em aproximadamente 89 Ma, acarretando um domeamento da região, e estende-se até cerca de 54 Ma (Sonoki & Garda, 1988; Ulbrich *et al.*, 2002), através de episódios de vulcanismo, abatimento do conduto vulcânico e estruturação da caldeira (Ellert, 1959).

No interior do planalto, a altitude média é em torno de 1300 m e o relevo é marcado por estruturas circulares menores formando colinas, morros e morrotes. As manifestações vulcânicas podem assumir diferentes feições geomorfológicas, variando sua forma inclusive durante o período de atividade, tratando-se de estruturas altamente suscetíveis aos processos exógenos, cuja presença na paisagem indica magmatismos relativamente recentes no tempo geológico (Penha, 2015).

Na porção sudoeste da AER encontra-se a unidade geomorfológica denominada Patamar de Mococa, caracterizada por uma dissecação homogênea que resulta em topos aguçados, conformando um relevo de morros paralelos e serras de extensão restrita (CBH do Rio Pardo, 2017).

Já a unidade geomorfológica dos Terraços Fluviais, situada na porção norte da AER, pode ser definida como sendo antigas planícies de inundação abandonadas. Internamente, em direção ao canal fluvial, limita-se por uma escarpa, e do lado externo por uma topografia mais elevada, representada por escarpas de terraços mais altos ou pela vertente do vale (Fontes, 2010).

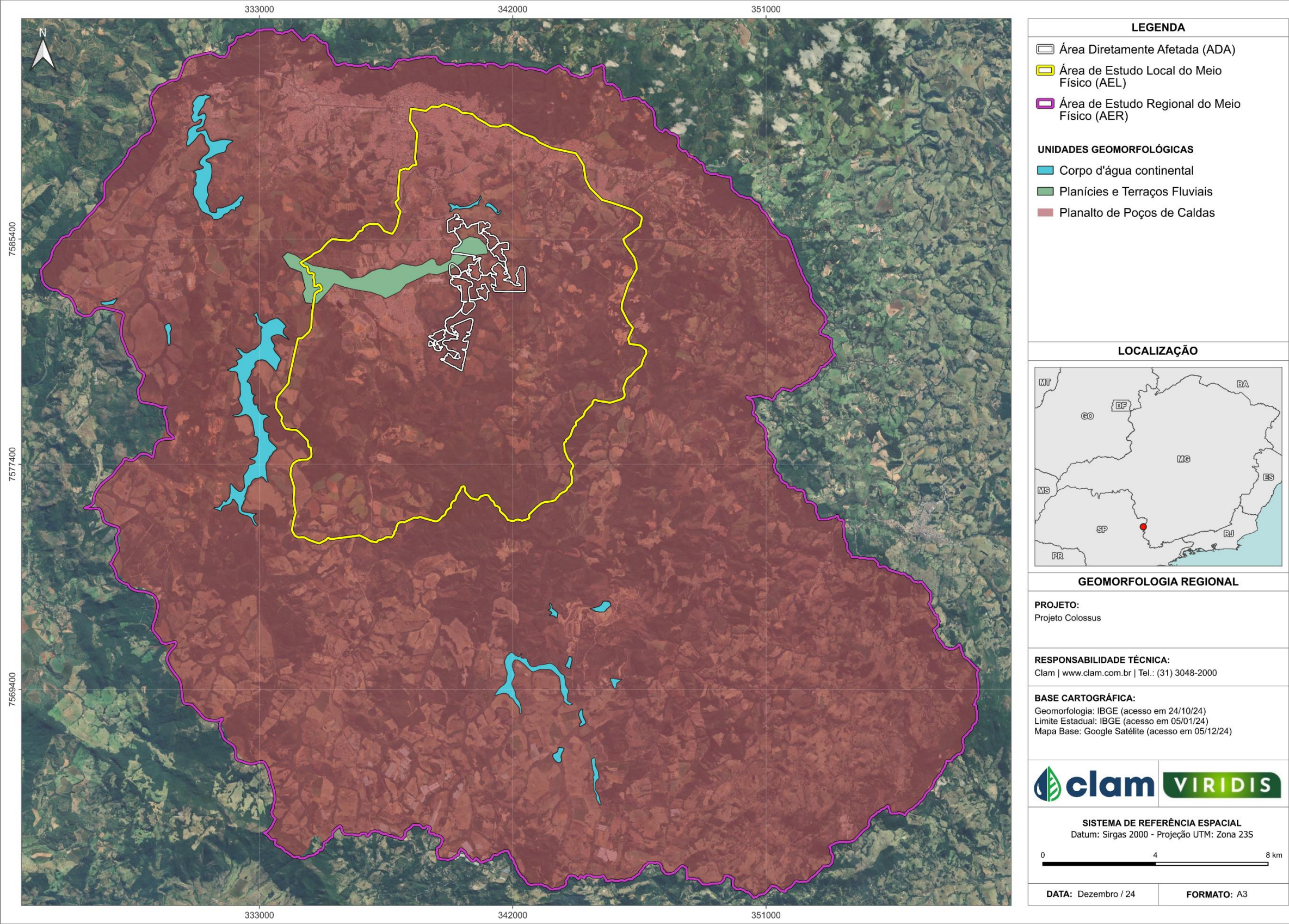


Figura 40 Mapa de unidades geomorfológicas das áreas de estudo.



6.1.6.2. Área de Estudo Local

6.1.6.2.1. Metodologia

Para a caracterização das categorias geomorfológicas, o Manual Técnico de Geomorfologia, elaborado pelo IBGE em 2009, foi utilizado para a caracterização da paisagem local da Área de Estudo Local. Após a verificação das categorias geomorfológicas do Estado de Minas Gerais, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi possível descrever o comportamento e a forma da paisagem nas tipologias geomorfológicas associadas.

6.1.6.2.2. Resultados

A Área de Estudo Local (AEL) insere-se na classificação dos relevos de categorias geomorfológicas diferenciadas em Homogênea Convexa e Planície e Terraço Fluviais. O mapa da Figura 41 apresenta as categorias geomorfológicas definidas no contexto AEL.

Na AEL, as categorias identificadas apresentam uma correlação direta com as diferentes unidades geomorfológicas. A categoria Homogênea Convexa está associada à unidade geomorfológica Planalto de Poços de Caldas.

A categoria geomorfológica homogênea é caracterizada pela dissecação fluvial em diferentes litologias, sem um controle estrutural predominante. A paisagem é composta principalmente por colinas, morros e interflúvios tabulares. O padrão de drenagem varia, mas os mais comuns são os padrões dendrítico, subparalelo, sub-retangular e compostos, com canais que não seguem uma orientação preferencial. Na AEL, essa categoria se subdivide em formas de topo convexa (IBGE, 2009).

As formas de topos convexos são geralmente esculpidas em rochas ígneas e metamórficas, ocasionalmente em sedimentos, podendo apresentar algum controle estrutural. Essas feições são caracterizadas por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem (IBGE, 2009).

A categoria geomorfológica Planície e Terraços Fluviais é caracterizada por elementos como canais abandonados, depósitos aluvionares, lagoas marginais, depósitos de turfeiras e solos orgânicos (Moraes & Jiménez-Rueda, 2008).

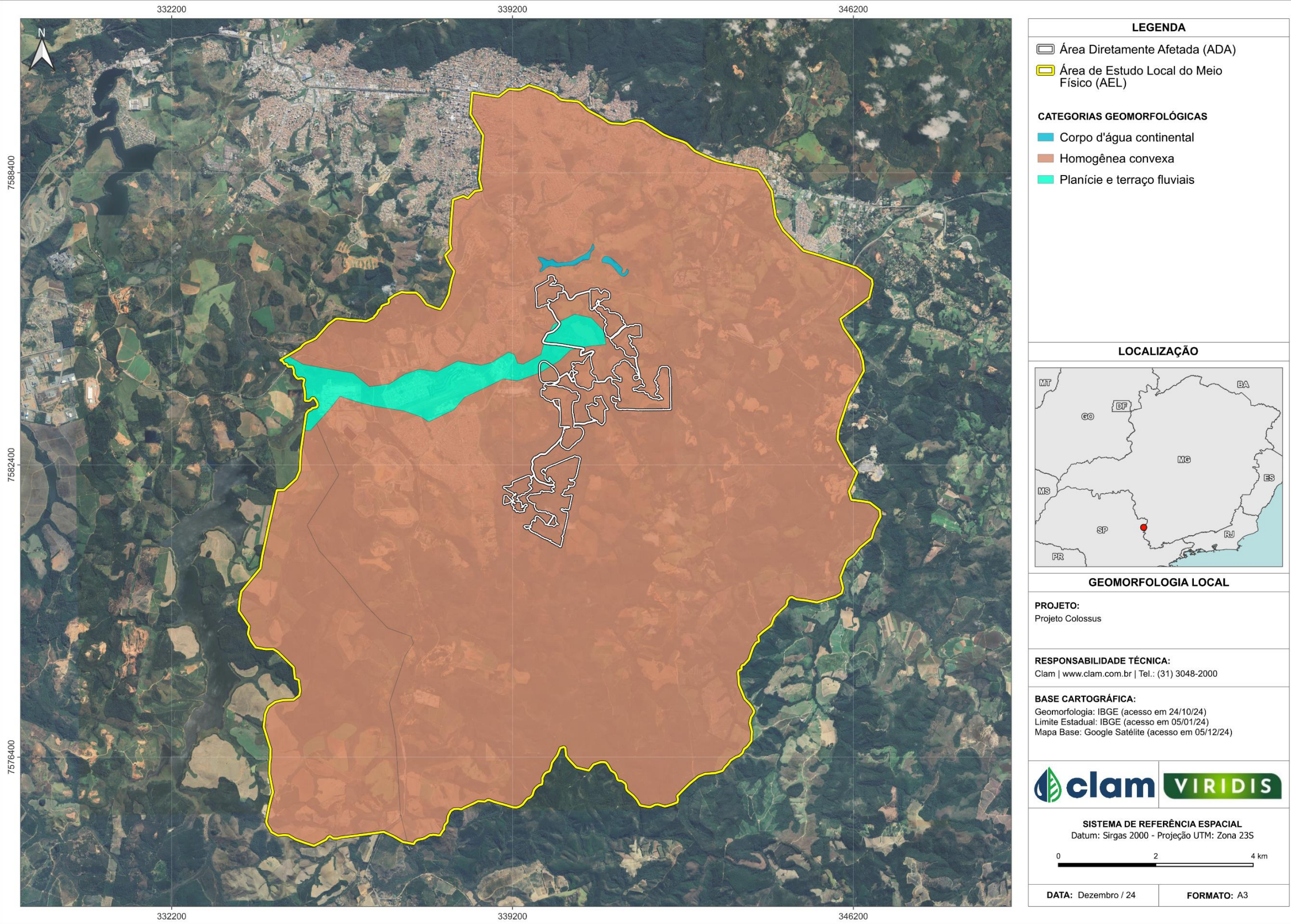


Figura 41 Categorias geomorfológicas da AEL.



A base topográfica da área, com intervalos de 50 metros entre as curvas de nível, apresenta altitudes que variam de 911 a mais de 1600 metros (Figura 42). O relevo foi modelado pela grande intrusão alcalina que, há aproximadamente 80 milhões de anos, elevou a paisagem local a altitudes superiores a 1500 metros.

As declividades variam de terrenos planos (0-3%) a montanhosos (45-75%) e estão associadas à unidade geomorfológica Planaltos de Poços de Caldas, categorizada como Homogênea Convexa, com padrões de relevo que vão de plano a ondulado (Figura 43). Embora a área de estudo se situe em altitudes elevadas, a declividade é geralmente suave, com predominância de superfícies de planalto consideradas mais ou menos planas. De acordo com Moraes & Jiménez-Rueda (2008), os planaltos de Poços de Caldas encontram-se em diferentes altitudes, podendo apresentar coberturas/estratos horizontalizados formados por sedimentos e/ou materiais vulcânicos.

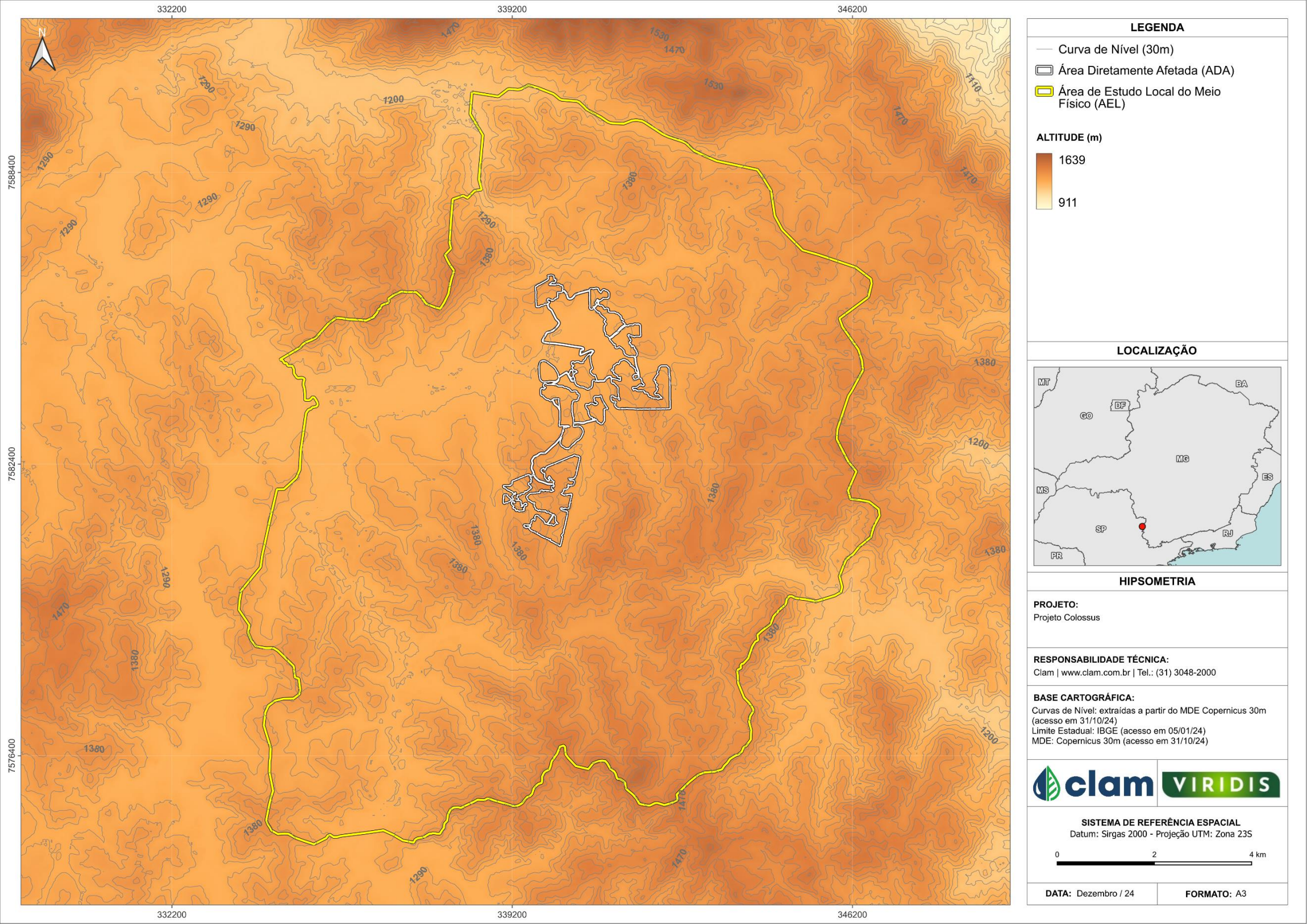


Figura 42 Mapa hipsométrico da AEL.

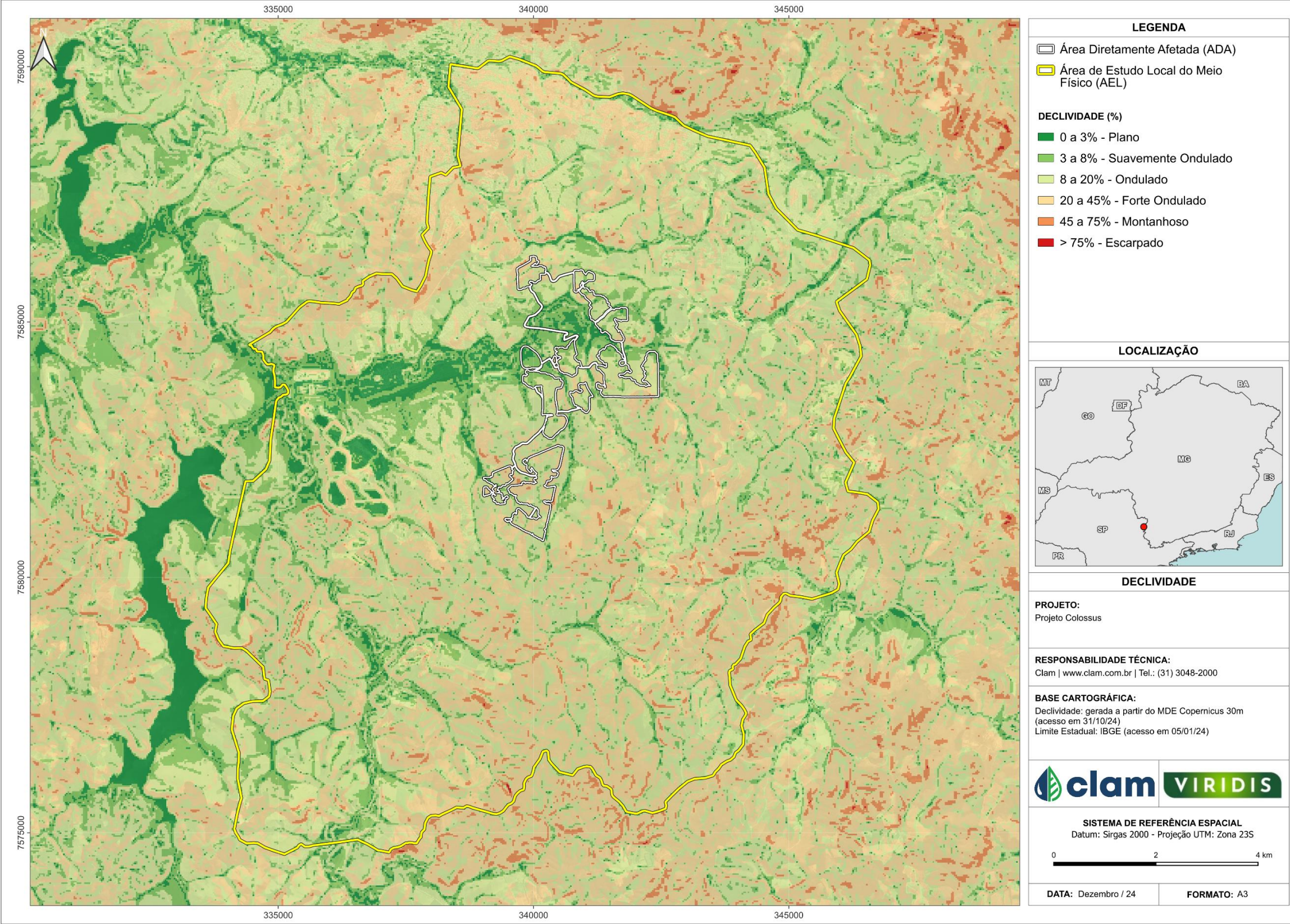


Figura 43 Mapa de declividade da AEL.



6.1.7. Suscetibilidade a Processos Erosivos

Para elaboração do mapa de suscetibilidade a processos erosivos foram utilizados os seguintes critérios: declividade, pedologia, litologia e usos do solo. Foram feitos os cruzamentos dos *layers* destes mapas temáticos em ambiente QGis, por meio do método de análise de multicritério (*weighted overlay*), que compreende uma técnica de sobreposição de imagens com escala comum de valores para temas diversos e distintos, de forma a estabelecer uma avaliação integrada.

A declividade é considerada um dos fatores responsáveis pela suscetibilidade dos solos à erosão, juntamente com as características físicas dos solos e o uso do solo e cobertura vegetal, aspecto em que é verificada a exposição do solo à incidência direta de chuvas, considerando a presença ou não de cobertura vegetal, que neste caso funciona como proteção natural.

A declividade foi obtida a partir de um modelo digital de elevação do relevo e foi classificada, conforme Lemos & Santos (1996), em relevo plano (0 a 3%); relevo suave-ondulado (3 a 8%); relevo ondulado (8 a 20%); relevo forte-ondulado (20 a 45%); relevo montanhoso (45 a 75%); e relevo escarpado (>75%), sendo que declividades mais elevadas, em geral, são preponderantes na suscetibilidade erosiva. A Tabela 19 apresenta os pesos atribuídos a cada classe de avaliação da declividade.

Tabela 19 Classes de avaliação e peso atribuído a declividade.

Variável	Classes de avaliação	Peso atribuído
Declividade	0 - 3% (plano)	1
	3 a 8% (suave ondulado)	2
	8 a 20% (ondulado)	3
	20 a 45% (forte ondulado)	4
	45 a 75% (montanhoso)	5
	>75% (fortemente montanhoso)	6

As características físicas dos solos (textura, estrutura, permeabilidade, tipo de argila, coesão etc.) de cada classe pedológica também são determinantes para o fator de erodibilidade, sendo mais sensíveis os solos menos desenvolvidos e menos estruturados. Sendo assim: Latossolos que são solos profundos, antigos e com baixa fertilidade natural, apresentam baixa suscetibilidade erosiva; Cambissolos que são solos mais rasos, jovens, com fertilidade natural variável, apresentam suscetibilidade erosiva alta; e Argissolos que são solos moderadamente profundos, maduros, com fertilidade natural têm, em geral, suscetibilidade erosiva média. A Tabela 20 apresenta os pesos atribuídos a cada classe de avaliação da pedologia.



Tabela 20 Classes de avaliação e peso atribuído a pedologia.

Variável	Classes de avaliação	Peso atribuído
Pedologia	Organossolo	1
	Nitossolo	2
	Latossoso	3
	Cambissolo	4
	Neossolo	5
	Argissolo	6

As características litológicas desempenham um papel fundamental na susceptibilidade erosiva, uma vez que a natureza das rochas influencia diretamente os processos de intemperismo, a formação dos solos e a sua resistência à erosão. Essa influência está relacionada a diversos aspectos, como: a composição mineralógica, textura e estrutura da rocha, alterações químicas e físicas e origem e contexto geológico. A Tabela 21 apresenta os pesos atribuídos a cada classe de avaliação da declividade.

Tabela 21 Classes de avaliação e peso atribuído a litologia.

Variável	Classes de avaliação	Peso atribuído
Litologia	Aglomerado, Brecha sedimentar, Fonolito, Lamprófiro, etc.	4
	Albita anatexito, Biotita gnaiss, Granito gnaiss, etc.	3
	Albita anatexito, Granito gnaiss, Kinzigito, etc.	3
	Andesito basáltico, Arenito, etc.	2
	Anfibolito, Granito, Ortognaiss	3
	Areia, Argila arcossiana, Cascalho, etc.	6
	Areia, Argila, Cascalho, Laterita	5
	Arenito, Carvão, Conglomerado, etc.	4
	Arenito, Diamictito, Folhelho, Siltito	5
	Biotita gnaiss, Granito gnaiss, etc.	3
	Biotita gnaiss, Granodiorito, Hornblenda gnaiss, etc.	3
	Biotita gnaiss, Metacórise, Muscovita quartzito, etc.	3
	Charnockito, Granito, Jotunito, etc.	3
	Granito, Mangerito	3
	Granito, Monzodiorito, Tonalito	3
	Metagrauvaca, Mica xisto, Migmatito, etc.	4
	Monzogranito, Sienogranito	3
	Sienito	2

A classificação do uso do solo e cobertura vegetal relaciona-se à densidade da cobertura vegetal sobre os solos. Áreas com cobertura vegetal mais densa são mais protegidas ao desenvolvimento de processos erosivos e áreas de solo exposto, ao contrário, tendem a apresentar maior tendência ao desenvolvimento de erosões. As demais classes de usos são distribuídas nas classes intermediárias de suscetibilidade erosiva, dependendo da maior ou menor exposição dos solos às intempéries. A Tabela 22 apresenta os pesos atribuídos a cada classe de avaliação do uso do solo.



Tabela 22 Classes de avaliação e peso atribuído ao uso do solo.

Variável	Classes de avaliação	Peso atribuído
Uso do solo	Formação Florestal	1
	Silvicultura	2
	Pastagem	4
	Cana	5
	Mosaico de Usos	3
	Área Urbanizada	6
	Outras Áreas não Vegetadas	6
	Mineração	6
	Rio, Lago e Oceano	1
	Soja	5
	Outras Lavouras Temporárias	5
	Café	4
	Outras Lavouras Perenes	3

Cada critério considerado na avaliação da suscetibilidade erosiva foi classificado de acordo com a atribuição de valores, distribuídos em diferentes níveis, variáveis em relação ao grau de suscetibilidade à erosão. A mapa de suscetibilidade erosiva da AEL é apresentado na Figura 44.

A declividade da região varia principalmente entre plana e ondulada, um fator determinante na intensidade do escoamento superficial e no transporte de sedimentos. Em áreas de menor declividade, o risco de erosão é geralmente mais baixo devido à menor energia do fluxo de água. Já em terrenos ondulados, há maior probabilidade de formação de sulcos e ravinas, especialmente em solos que possuem menor resistência à ação erosiva.

Os latossolos e neossolos predominam na AEL apresentam características específicas que influenciam a susceptibilidade à erosão. Os latossolos são solos profundos, bem drenados e de textura argilosa a muito argilosa. Embora tenham boas estruturação, sua exposição prolongada, sem cobertura vegetal, os torna suscetíveis ao desagregamento e ao transporte de partículas. Já os neossolos são caracterizados como solos mais jovens, pouco desenvolvidos e com menor coesão estrutural. Estes são mais propensos à erosão, especialmente em áreas com declividade acentuada.

A geologia local é dominada pelo Complexo Alcalino de Poços de Caldas, caracterizado por rochas ígneas alcalinas e produtos do intemperismo, como lateritas e argilas residuais. As litologias associadas ao complexo, como os nefelina sienitos, foiaítos e Tinguaitos são rochas ricas em minerais feldspatoides, como a nefelina, que são menos resistentes ao intemperismo químico em ambientes tropicais úmidos. A presença de minerais alcalinos, como feldspatos potássicos e minerais acessórios como piroxênios, contribui para o desenvolvimento de solos com alta concentração de argilas e óxidos, o que pode acelerar processos erosivos.

A distribuição das classes de uso do solo contribui significativamente para a suscetibilidade erosiva. Na AEL são predominantes as áreas urbanas, formação florestal, mineração, mosaico de uso, pastagem e silvicultura de acordo com mapa uso do solo do MapBiomass.



A combinação entre declividade, tipos de solo, contexto geológico e uso do solo confere à região uma heterogeneidade significativa em termos de suscetibilidade à erosão, com predominância de áreas classificadas como de média a baixa suscetibilidade. As áreas caracterizadas por maior declividade, associadas à predominância de neossolos, apresentam vulnerabilidade elevada, sendo frequentemente classificadas como de média suscetibilidade à erosão. Em contraste, regiões com predominância de latossolos e declividades suaves apresentam menor risco erosivo, com classificações que variam entre baixa e muito baixa suscetibilidade. Áreas de alta suscetibilidade à erosão são raras e geralmente localizadas de forma pontual na porção norte da AEL.

Especificamente na Área Diretamente Afetada pelo Projeto Colossus, a suscetibilidade à erosão é predominantemente baixa e média, de forma que a alteração na qualidade dos solos será controlada por meio de medidas de adequação da drenagem e controle dos processos erosivos.

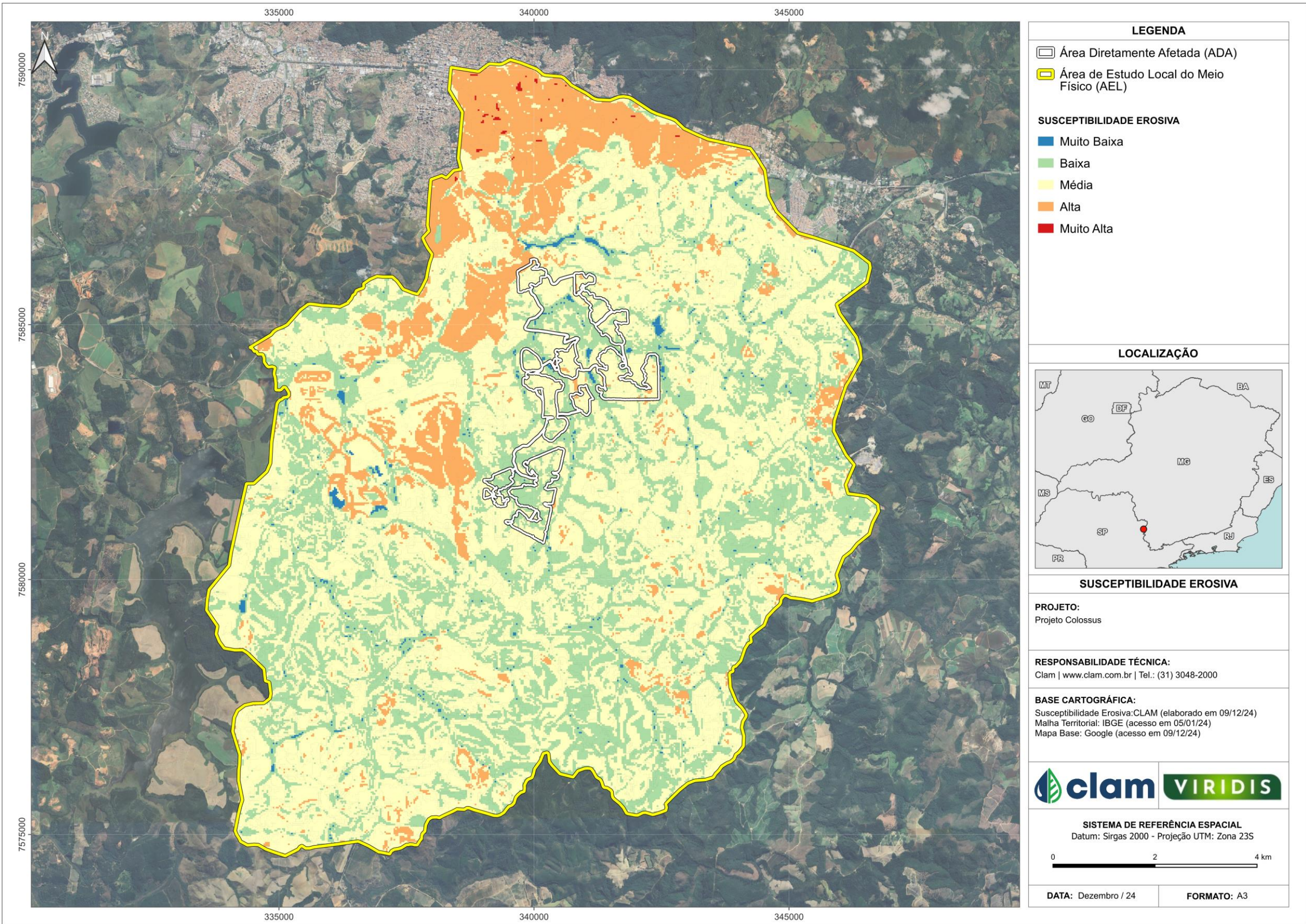


Figura 44 Susceptibilidade erosiva na AEL.



6.1.8. Pedologia e Aptidão Agrícola

6.1.8.1. Área de Estudo Regional

6.1.8.1.1. Metodologia

Pedologia

A caracterização dos solos da região da Área de Estudo Regional teve como principal base o levantamento de solos de Minas Gerais, produzido pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em 2010, na escala de 1:650.000. Além disso, também foi realizada consulta a referências de trabalhos científicos, previamente realizados na região, os quais complementaram a descrição dos solos e enriqueceram o diagnóstico. Importante destacar que todas as classes de solo caracterizadas no presente estudo foram atualizadas e descritas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, apresentado por Santos *et al.* (2018).

Aptidão Agrícola

A avaliação da aptidão agrícola dos solos na Área de Estudo Regional foi fundamentada no documento 'Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais', publicado pela Embrapa (Amaral *et al.*, 2004), sendo que os critérios de classificação e as características específicas de cada categoria de aptidão agrícola foram analisados com base nos parâmetros estabelecidos por Ramalho Filho *et al.* (1995), também referenciados no mesmo documento técnico da Embrapa.

6.1.8.1.2. Resultados

Pedologia

Na Área de Estudo Regional (AER) foram identificadas três classes de solos: Neossolos, Cambissolos e Latossolos. Os Latossolos predominam na área, enquanto os Neossolos ocorrem em menor escala na borda nordeste da AER. Os Cambissolos estão presentes apenas nas bordas da AER, a nordeste e norte. A caracterização dos solos presentes na área foi realizada conforme a classificação proposta por Santos *et al.* (2018) e é detalhada a seguir (Figura 45).

Cambissolos

Os Cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam aos requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. São solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho-escura, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila. O horizonte B incipiente (Bi) tem textura franco arenosa ou mais argilosa e o *solum* geralmente apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do A para o Bi.

Latossolos

Os Latossolos são caracterizados como solos minerais não hidromórficos, com horizonte B latossólico



imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte A. Esses solos são notáveis por seu alto grau de intemperização, resultando de enérgicas transformações no material original. São normalmente muito profundos, geralmente com mais de dois metros, destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e com baixa capacidade de troca de cátions da fração argila. Variam de fortemente a bem drenados, embora haja casos em que apresentam cores pálidas, indicando drenagem moderada ou até mesmo imperfeita. A sequência de horizontes A, B e C nesses solos geralmente exibe pouca diferenciação de sub-horizontes e as transições são frequentemente difusas ou graduais.

Os teores da argila tendem a aumentar gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil, com um acréscimo relativamente insignificante ou até mesmo ausente na transição do horizonte A para o B. Esses solos são típicos das regiões equatoriais e tropicais, embora também possam ocorrer em zonas subtropicais, distribuídos por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos.

Neossolos

Os Neossolos são constituídos por material de origem mineral e orgânica, além de serem classificados como pouco espessos, com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B. Em razão de serem um solo com baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, devido ao material de origem ou à influência dos fatores de formação (clima, relevo ou tempo), não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário (Santos *et al.*, 2018). A subordem de Neossolo na área é o litólico, encontrado em relevos mais movimentados, onde a erosão hídrica é mais ativa, podendo também estar presente em topografias planas, como no semi-árido brasileiro. O horizonte predominante nesta subordem é o A, podendo ser encontrado sobre rochas (contato litólico ou fragmentado) ou sobre um horizonte C, tendo como característica evidente a constituição por, no mínimo, 90% de fragmento de rochas (Braz, 2020).

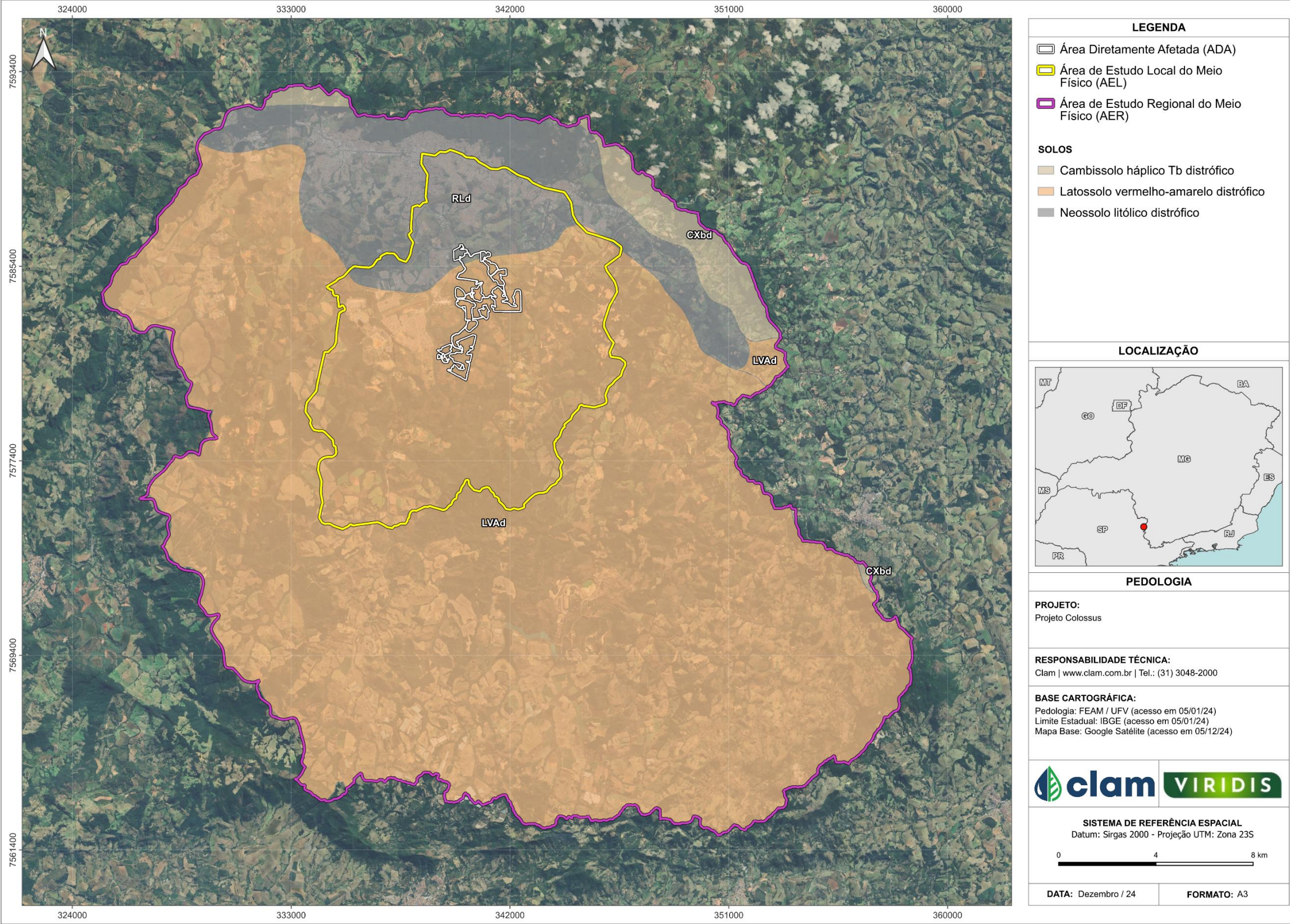


Figura 45 Mapa de pedologia na AER.



Aptidão Agrícola

A análise da aptidão agrícola divide as terras em grupos de acordo com sistemas de manejo A (baixo nível tecnológico), B (médio nível tecnológico) e C (alto nível tecnológico), que consideram as características físico-químicas de cada solo e a viabilidade de melhoramento de cinco fatores limitantes, sendo eles, a fertilidade natural, o excesso e deficiência de água, a susceptibilidade de erosão e impedimentos ao uso de implementos agrícolas.

Na AER do Projeto Colossus estão presentes as classes 2''(a)b(c); 5(s); 4(p); e 3(ab), detalhadas a seguir e apresentado no mapa da Figura 46.

Terras pertencentes à classe de aptidão regular para lavouras no nível de manejo B e restritas nos níveis A e C- 2''(a)b(c)

O grupo 2''(a)b(c) são terras classificadas com aptidão agrícola regular para lavouras e apresentam ligeira deficiência de fertilidade natural, moderada deficiência hídrica, ligeiro excesso de água em determinados períodos, suscetibilidade à erosão (variando de moderada a nula) e alto grau de vulnerabilidade a processos erosivos. Estas terras são estritamente indicadas para o cultivo de lavouras em ciclo semestral, desde que sejam adotadas práticas adequadas de melhoramento e conservação do solo. Apesar da necessidade de investimento, esse grupo reflete um nível tecnológico médio, devido a um modesto investimento financeiro em pesquisas e aplicação de manejo, de modo que as práticas agrícolas estão condicionadas principalmente à tração animal.

Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para silvicultura-5(s)

As terras classificadas com aptidão agrícola restrita, pertencentes ao grupo 5(s), caracterizam-se por apresentar deficiência muito forte de fertilidade natural, deficiência hídrica de forte a moderada e elevada suscetibilidade à erosão. Devido aos fortes impedimentos à mecanização e à alta vulnerabilidade aos processos erosivos, estas áreas são especialmente indicadas para uso em silvicultura, condicionadas principalmente ao uso de tração animal, o que reflete um nível tecnológico médio, caracterizado pelo modesto investimento de capital financeiro em pesquisas e aplicação de manejo.

Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para pastagem plantada-4(p)

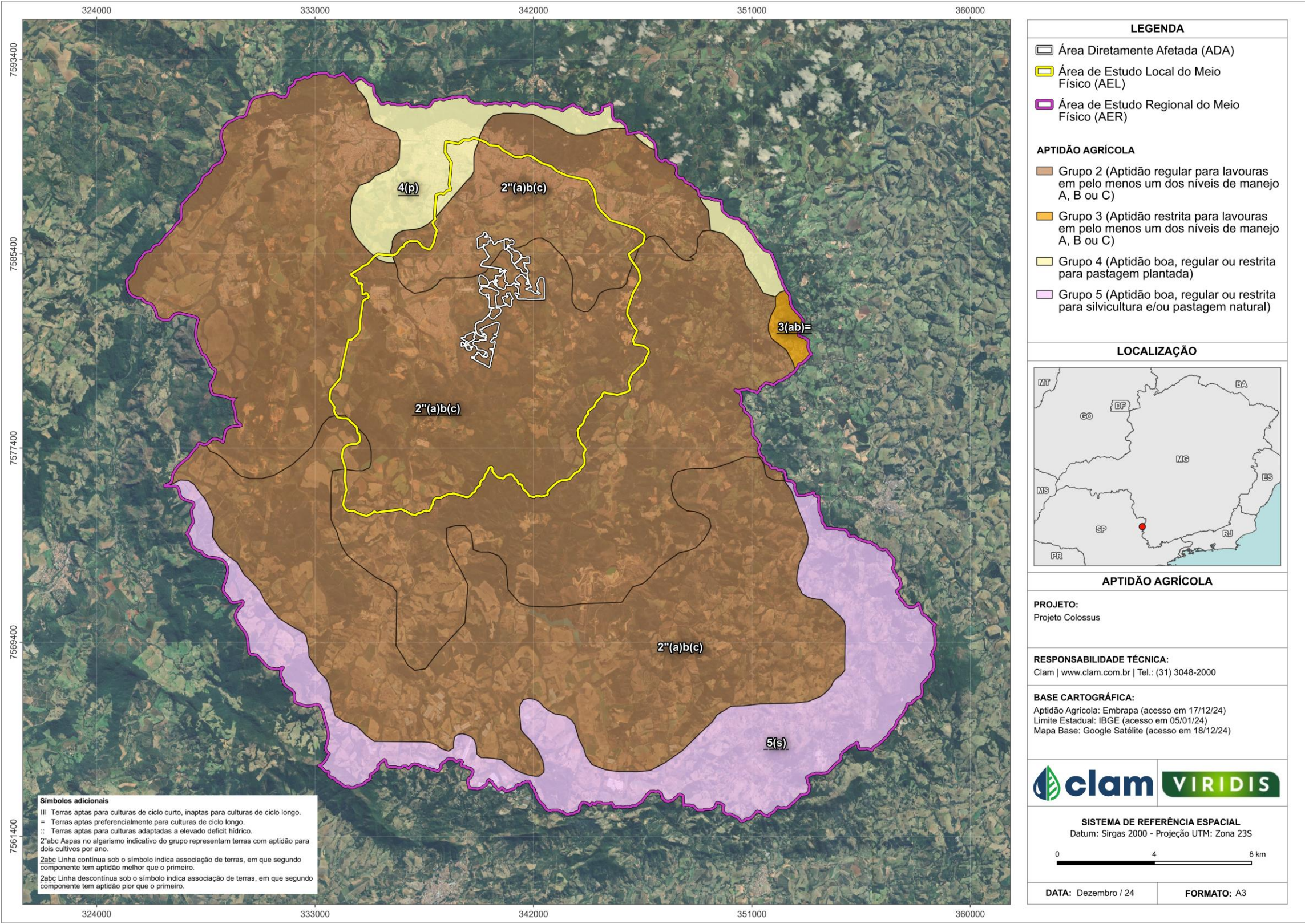
O grupo 4(p) são terras classificadas com aptidão restrita para pastagem plantada, estas áreas possuem forte deficiência de fertilidade natural do solo, forte deficiência hídrica e moderado excesso de água em épocas específicas. Além disso, possuem relevos mais declivosos, que refletem no impedimento a mecanização, condicionando às práticas agrícolas principalmente à tração animal. São especialmente indicadas para o estabelecimento de pastagens plantadas, exigindo práticas intensivas de conservação do solo, correção de fertilidade e manejo cuidadoso para evitar a degradação ambiental e manter a produtividade ao longo do tempo. Apesar da necessidade, o modesto investimento de capital em pesquisas de manejo reflete um nível de tecnológico médio.

Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavouras nos níveis de manejo A e B- 3(ab)

As terras classificadas com aptidão agrícola restrita para lavouras, pertencentes ao grupo 3(ab), caracterizam-se por apresentar ligeira a moderada deficiência de fertilidade e moderada a forte deficiência hídrica. Ademais, o grupo se caracteriza por uma modesta a praticamente nula aplicação de capital para manejo, refletindo um médio a baixo nível tecnológico. Estas áreas possuem forte a



moderada suscetibilidade à erosão e apresentam forte a moderado impedimento à mecanização, condicionando as práticas agrícolas principalmente à tração animal no nível B e ao trabalho braçal, podendo ser utilizada alguma tração animal com implementos agrícolas simples, no nível A. Além disso, são indicadas culturas de ciclo longo para o nível B.





6.1.8.2. Área de Estudo Local

6.1.8.2.1. Metodologia

Pedologia

A caracterização dos solos da região da área de estudo teve como principal base o levantamento de solos de Minas Gerais, produzido pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em 2010, na escala de 1:650.000. Além disso, também foi realizada consulta a referências de trabalhos científicos, previamente realizados na região, os quais complementaram a descrição dos solos e enriqueceram o diagnóstico. Importante destacar que todas as classes de solo caracterizadas no presente estudo foram atualizadas e descritas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, apresentado por Santos *et al.* (2018).

Aptidão Agrícola

A avaliação da aptidão agrícola dos solos na Área de Estudo Local foi fundamentada no documento 'Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais', publicado pela Embrapa (Amaral *et al.*, 2004), sendo que os critérios de classificação e as características específicas de cada categoria de aptidão agrícola foram analisados com base nos parâmetros estabelecidos por Ramalho Filho *et al.* (1995), também referenciados no mesmo documento técnico da Embrapa.

6.1.8.2.2. Resultados

Pedologia

A Área de Estudo Local (AEL) e a Área Diretamente Afetada (ADA) apresentam duas classes de solo, Latossolo vermelho-amarelo distrófico e Neossolo litólico distrófico (Figura 47). Os Latossolos são encontrados na porção sul da AEL, caracterizados por solos de coloração vermelho-amareladas com saturação por base $\geq 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (Santos *et al.*, 2018).

Os Neossolos litólicos distróficos estão situados na porção norte na AEL, caracterizados como solos com contato lítico ou lítico fragmentário, dentro de 50 cm a partir da superfície, e apresentam saturação por bases $< 50\%$ na maior parte dos horizontes (Santos *et al.*, 2018).

As imagens apresentadas nas Foto 50 a Foto 52 ilustram os perfis de solo observados na Área de Estudo Local, permitindo uma análise visual das características da região.



Foto 50 Perfil de solo na AEL.

Autor: CLAM (2024).



Foto 51 Perfil de solo na AEL.

Autor: CLAM (2024).



Foto 52 Perfil de solo na AEL.

Autor: CLAM (2024).

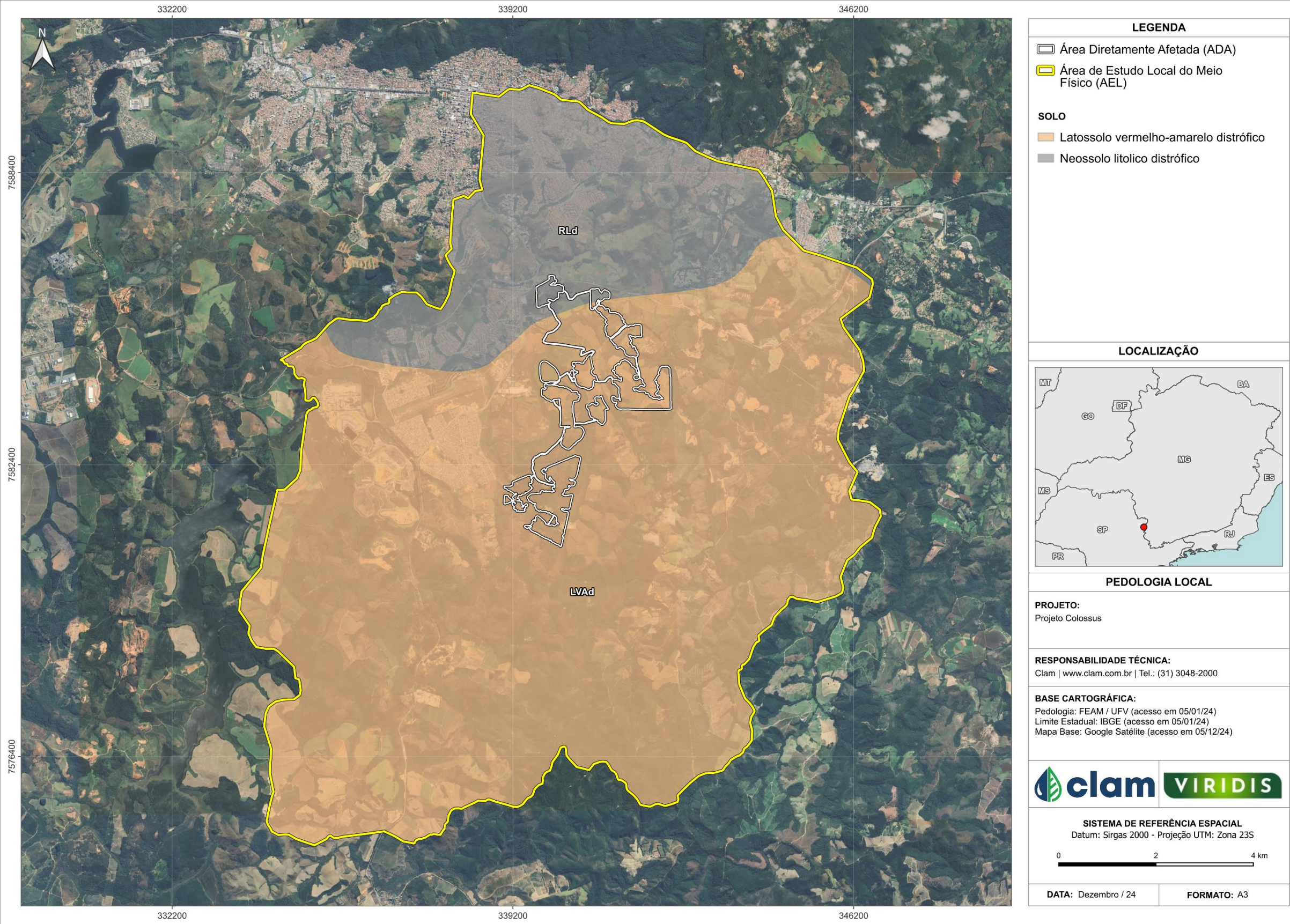


Figura 47 Mapa de pedologia da AEL.



Aptidão Agrícola

A análise da aptidão agrícola divide as terras em grupos de acordo com sistemas de manejo A (baixo nível tecnológico), B (médio nível tecnológico) e C (alto nível tecnológico), que consideram as características físico-químicas de cada solo e a viabilidade de melhoramento de cinco fatores limitantes, sendo eles, a fertilidade natural, o excesso e deficiência de água, a susceptibilidade de erosão e impedimentos ao uso de implementos agrícolas.

Na AEL do Projeto Colossus está presente a classe de aptidão regular para lavouras no nível de manejo B e restritas nos níveis A e C- 2''(a)b(c), como pode ser visto no mapa da Figura 48, além de uma pequena porção de terras pertencentes à classe de aptidão restrita para pastagem plantada-4(p), na parte norte da área.

O grupo 2''(a)b(c) são terras classificadas com aptidão agrícola regular para lavouras e apresentam ligeira deficiência de fertilidade natural, moderada deficiência hídrica, ligeiro excesso de água em determinados períodos, suscetibilidade à erosão (variando de moderada a nula) e alto grau de vulnerabilidade a processos erosivos. Estas terras são estritamente indicadas para o cultivo de lavouras em ciclo semestral, como cenoura, milho e feijão, desde que sejam adotadas práticas adequadas de melhoramento e conservação do solo. Apesar da necessidade de investimento, esse grupo reflete um nível tecnológico médio, devido a um modesto investimento financeiro em pesquisas e aplicação de manejo, de modo que as práticas agrícolas estão condicionadas principalmente à tração animal. Destaca-se na região o plantio de batata, que possui ciclo semestral de colheita, mas pode apresentar até três safras em um ano.

O grupo 4(p) são terras classificadas com aptidão restrita para pastagem plantada, estas áreas possuem forte deficiência de fertilidade natural do solo, forte deficiência hídrica e moderado excesso de água em épocas específicas. Além disso, possuem relevos mais declivosos, que refletem no impedimento a mecanização, condicionando às práticas agrícolas principalmente à tração animal. São especialmente indicadas para o estabelecimento de pastagens plantadas, exigindo práticas intensivas de conservação do solo, correção de fertilidade e manejo cuidadoso para evitar a degradação ambiental e manter a produtividade ao longo do tempo. Apesar da necessidade, o modesto investimento de capital em pesquisas de manejo reflete um nível de tecnológico médio.

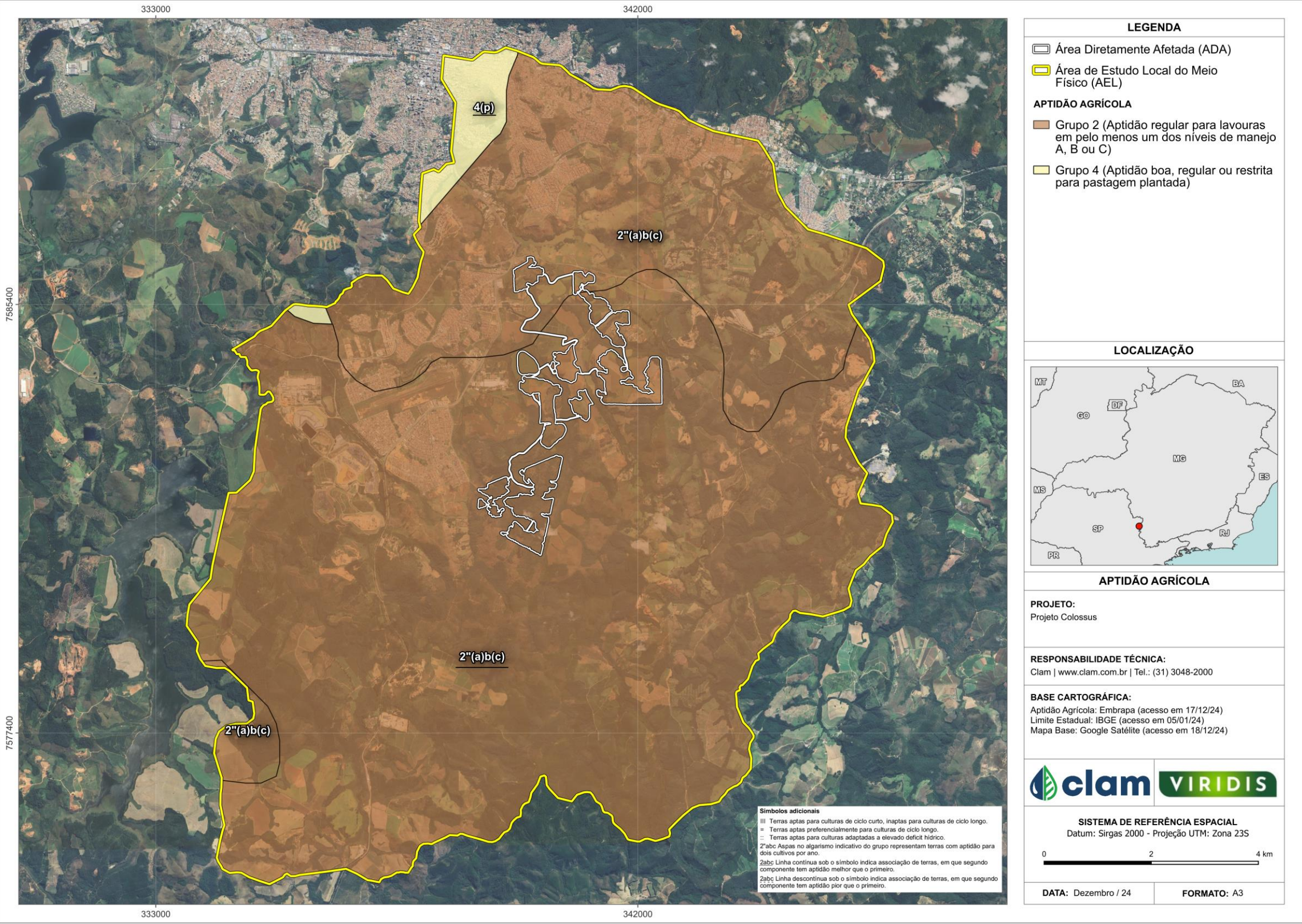


Figura 48 Aptidão agrícola na AEL do Projeto Colossus



6.1.9. Espeleologia

Cavidades naturais subterrâneas, comumente conhecidas como cavernas, lapas, furnas, grutas, abrigos e abismos, são consideradas patrimônio brasileiro e bens da União, conforme a Constituição Federal de 1988, Art. 20, Inciso X, além do Art. 1º do Decreto Federal nº 99.556/1990, modificado pelo Decreto Federal nº 6.640/2008 e mantido pelo Decreto Federal 10.935/2022, os quais dispõem sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no Território Nacional.

Em análise preliminar, o Projeto Colossus localiza-se no município de Poços de Caldas, inserido na unidade geomorfológica denominada “Planalto de Poços de Caldas” composto por relevo de morrarias convexas e vales colmatados sobre complexo alcalino, conforme RADAMBRASIL/IBGE/IDE-SISEMA-MG. Ela não é reconhecida como região ou província espeleológica brasileira, mas sim como de baixa potencialidade, conforme “Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil”, delimitado exclusivamente pelo atributo litológico na escala 1:2.500.000 (Jansen *et. al.*, 2012, referência para o ICMBio/CECAV-Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas).

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM Nº 217, de 06 de dezembro de 2017, estabelece os critérios locacionais para o enquadramento de empreendimentos e/ou atividades passíveis de licenciamento ambiental. Pela DN COPAM Nº 217/2017: “*Aqueles empreendimentos inseridos em área de grau de potencialidade Médio, Baixo e com Ocorrência Improvável deverão seguir os procedimentos previstos na Instrução de Serviço da SEMAD Nº 08/2017 – Revisão 1.*”

Consequentemente, pretende-se subsidiar atendimento à etapa de prospecção, identificação e caracterização preliminares, prevista no “termo de referência para critério locacional” (SEMAD/GRUPE - Grupo Interdisciplinar de Espeleologia), seguindo os procedimentos previstos na Instrução de Serviço da SEMAD nº 08/2017 – Revisão 1.

6.1.9.1. Definição da Área de Avaliação Espeleológica (AAE) e Potencialidade Espeleológica Segundo Fonte Oficial

O parágrafo 3º do art. 4º da Resolução CONAMA nº 347/2004 (BRASIL, 2004) e o parágrafo único do art. 6º da Portaria IBAMA 887/1990 (BRASIL, 1990) definem a área que deve ser considerada inicialmente para a manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola. Até que sejam realizados estudos específicos para sua delimitação, a área deve ser a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno 250 m, em forma de poligonal convexa.

Assim, cabe à análise em questão verificar a sobreposição entre a área de intervenção com eventuais cavidades e sua área de influência preliminar. Essa exigência é cumprida acrescentando uma faixa de 250 m em forma de poligonal convexa no entorno da área de intervenção, a qual será tratada neste relatório como Área de Avaliação Espeleológica (AAE).

A Área Diretamente Afetada abrange uma área de 376,07 ha ou 3,76 km². Já a área calculada da AAE foi de 1.170,11 ha ou 11,70 km² (dezembro/2024). A delimitação da AAE e sua espacialização são apresentadas na Figura 49.

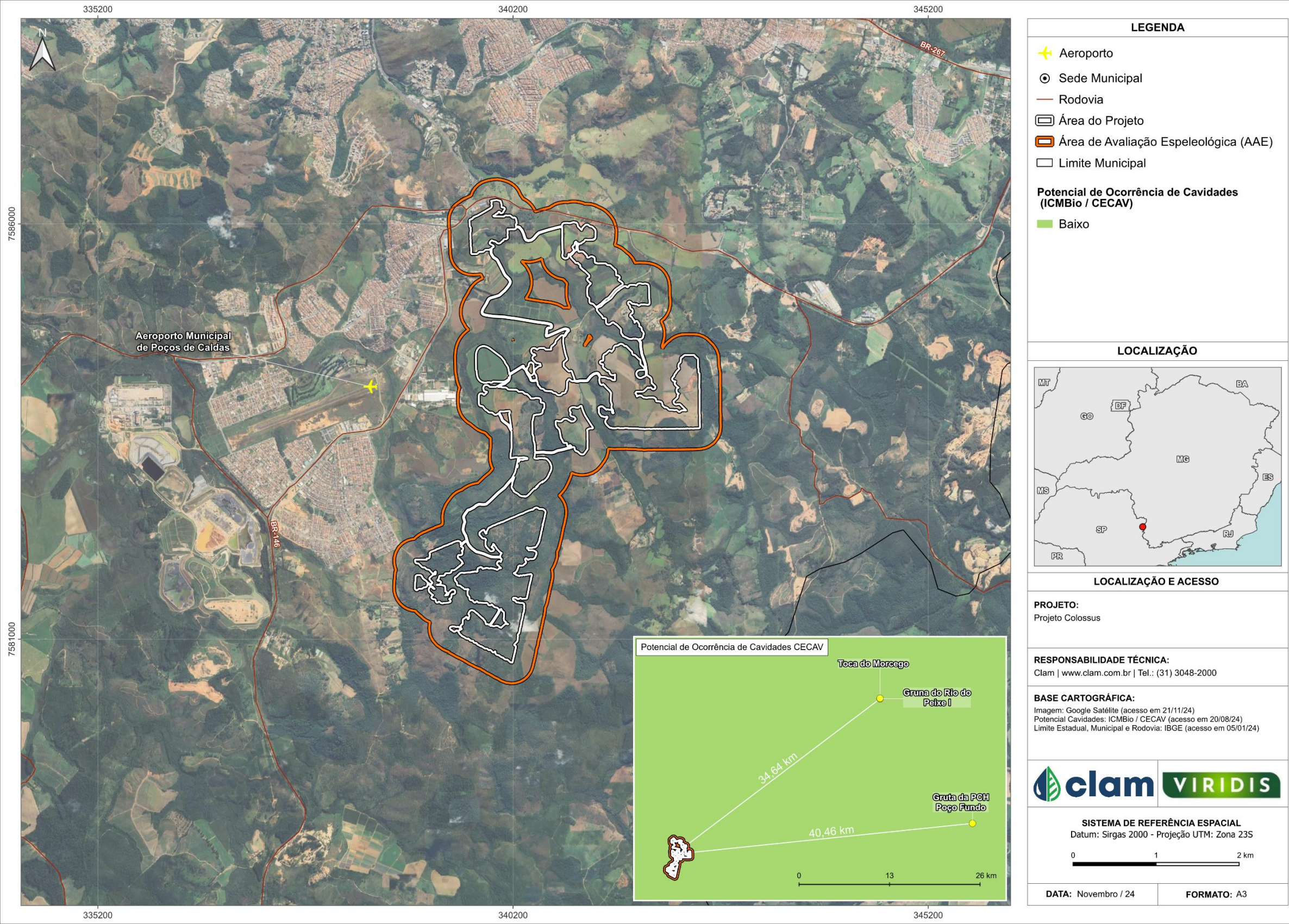
Em relação à potencialidade espeleológica, o projeto está posicionado sobre o Complexo Alcalino de



Poços e Caldas, composto por rochas vulcânicas e derivadas. Conforme mapeamento de Tedeschi *et al.* (2015), o complexo alcalino é composto por fonólito isotrópico, afanítico a fanerítico de granulação fina. Ocorre ora esverdeado com aegerina, ora bege rosado com pseudoleucita, ou ainda porfirítico com coloração acinzentada. Fácies subordinadas: (s) nefelina sienitos, compostos de feldspato potássico, nefelina e piroxênio, podem conter eudialita ou biotita, comumente exibem estrutura isotrópica e, localmente, apresentam orientação por fluxo ígneo.

Nos vales maduros, como no do Ribeirão das Antas e seus principais afluentes, há depósitos aluvionares inconsolidados a semiconsolidados, compostos essencialmente por areia média a grossa, com seixos em menor quantidade, além de depósitos fanerozoicos, como sedimentos elúvio-coluviais, ocorrem nas encostas de morros e planícies.

A partir daí, em nível nacional, o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) compila as informações referentes à espeleologia através do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE). As feições espeleológicas mais próximas da AAE encontram-se distantes minimamente 34,64 km, já no município de Campestre (Figura 49). Na tratativa pela espeleologia, as rochas similares são agrupadas e os respectivos padrões de cavidades naturais subterrâneas (ex: litotipo carbonático, litotipo ferrífero etc). No caso em análise, os tipos de rochas existentes são considerados como: Litotipo Vulcânico, além de Sedimentar. Tal contexto é considerado, respectivamente, de Baixa e de Ocorrência Improvável como Potencial Espeleológico pelas classes do CECAV/IDE-SISEMA-MG.





6.1.9.2. Potencial Espeleológico Segundo Análise Multicritério

De maneira a subsidiar a dedicação dos caminhamentos prospectivos em campo, a partir de base de curvas de nível equidistantes em 30 m, executou-se a análise denominada “Índice de Potencial Espeleológico por Multicritérios Fisiográficos - IPEMF”. O conceito parte da ideia de cruzar atributos geomorfométricos (declividade; curvatura do terreno; Valeriano et al. 2009; 2011) em fórmula algorítmica e interpretativos (porções com cicatrizes ou evidências de intervenções antrópicas históricas ou atuais; consenso técnico-científico das condições espeleogenéticas sob os litotipos identificados na AAE) para se obter em escala de detalhe local a potencialidade espeleológica, orientando e justificando as rotas de prospecção em campo.

Aplica-se a análise multicritério para avaliação de potencial, utilizando o *software* QGIS 3.16.4, a partir do cruzamento de planos de informação de (*rasters*) reclassificados em função do peso das classes integrantes de: litologia, declividade, e formas de terreno e cobertura vegetal natural (acessada pela plataforma MapBiomias; Souza *et. al.*, 2020).

Os resultados apresentam aproximação satisfatória, corroborada pelas experiências de aplicação em diversos outros estudos executados ao longo dos últimos 10 anos (ROSSI, 2014; 2019a,b; 2020a,b; 2022a,b,c; ROSSI & VITAL, 2024a,b). A Tabela 23 apresenta os detalhes para a análise.

Tabela 23 Variáveis, seus atributos e pesos para cálculo de potencialidade espeleológica local pelo IPEMF.

Variável	Descrição	Classe	Peso Classe
Litotipo (Mapas Geológicos: Folha Caldas - SF.23-V-D-IV; Folha Poços de Caldas - SF.23-V-C-VI; Escala 1:100.000, CODEMIG – 2015)	Coberturas aluviais e elúvio-colúviais	Ocorrência improvável	0,5
	Litotipo Sedimentar		
	Complexo Alcalino Poços de Caldas= Sienitos; Lujauritos; Fonólitos; entre outros	Baixo	1,0
	Litotipo Vulcânico		
Declividade (graus) - IDE-SISEMA-MG	Valores originais de declividade conforme a base	Valor pixel	1
Forma do terreno (pesos conforme ID IDE-SISEMA-MG)	Convergente Côncavo	Extremo	1
	Convergente Retilíneo	Muito Alto	2
	Convergente Convexo	Alto	3
	Planar Côncavo	Provável	4
	Planar Retilíneo	Intermediário	5
	Planar Convexo	Médio	6
	Divergente Côncavo	Baixo	7
	Divergente Retilíneo	Improvável	8
	Divergente Convexo	Desconsiderável	9
Uso e Cobertura Vegetal (MapBiomias = mapeamento Natural X Antrópico)	Natural	Médio	1,5
	Antrópico	Ocorrência improvável - Baixo	1,0
	Não Definido	Ocorrência improvável	0,5

Em ambiente de SIG (Sistema de Informações Geográficas), com as superfícies de cada variável gerada (*rasters*), elas foram inseridas na equação conforme a seguir:

$$IPEMF = (DECLIVIDADE / FORMAS DE RELEVO) \times GEOLOGIA \times COBERTURA VEGETAL NATURAL$$



O resultado sob forma de índice contínuo foi classificado, de modo a permitir o cálculo de suas áreas, em cinco classes, tendo como base as denominações consideradas pelo ICMBio/CECAV, quando do mapeamento nacional de potencialidade espeleológica, avaliada apenas em litologias. Nesta análise, integrando os atributos geomorfométricos e interpretações de destaque localmente, descreve-se a seguir a definição de cada classe de potencial espeleológico local:

- **Improvável:** classe na qual os atributos topográficos do relevo e de uso do solo não permitem considerar potencialidade espeleológica, como: baixas declividades; ausência de rupturas no terreno; formas de vertentes planas ou retilíneas, poucos efeitos por cicatrizes de erosão; além da interpretação pela cobertura homogênea por solos ou depósitos sedimentares, além de usos por ocupação, industrial, agrossilvopastoris, além de extrações de bauxita. Importante ressaltar que esta classe não corresponde à ausência de potencial ou ausência de feições espeleológicas, mas à condição mínima para suas ocorrências por padrões conhecidos. Não exclui a possibilidade de exceções, ou seja, ocorrências espeleológicas.
- **Baixo:** classe na qual os atributos topográficos do relevo permitem considerar potencialidade espeleológica incipiente, como: declividades visíveis topograficamente; formas de vertentes com alguma curvatura, seja convexa ou côncava, podem ocorrer cicatrizes de erosão, principalmente sulcos; além da interpretação pela cobertura por solos ou depósitos sedimentares.
- **Médio:** classe na qual os atributos topográficos do relevo permitem considerar potencialidade espeleológica juvenil, como: declividades aparentes; formas de vertentes com curvatura já de dimensões areais, seja convexa ou côncava, podem ocorrer cicatrizes de erosão, principalmente ravinamentos; além da interpretação por exposições pontuais de afloramentos rochosos em zonas de cabeceiras de drenagens.
- **Alto:** classe na qual os atributos topográficos do relevo permitem considerar potencialidade espeleológica madura, como: rupturas de declive notórias; formas de vertentes com curvaturas claras, sejam côncava-convexa ou escarpada; relação direta com maciços rochosos ou trechos de incisões erosivas geológicas ou fluviais em canais controlados lito-estruturalmente; além da interpretação por exposições contínuas de afloramentos rochosos.
- **Muito Alto:** classe na qual os atributos litotopográficos do relevo são fundamentais para a potencialidade espeleológica senil, como: rupturas de declive de destaque; vertentes com curvaturas e rupturas claras, sejam em anfiteatros, côncavas ou escarpadas; relação direta com maciços rochosos ou trechos de incisões erosivas geológicas ou fluviais em canais controlados lito-estruturalmente; além da visibilidade por exposições contínuas de escarpamentos rochosos.

Quantitativamente, o resultado da potencialidade espeleológica por multicritérios na Área de Avaliação Espeleológica (AAE) chegou às porcentagens da Tabela 24.

Tabela 24 Resultado da análise de potencialidade pelas classes de ocorrência nas diferentes áreas de análise.

Área de Avaliação Espeleológica (ADA+Entorno 250M)		
Classe	Área (Hectares)	Porcentagem (%)
Improvável	1104,00	94,35



Área de Avaliação Espeleológica (ADA+Entorno 250M)		
Baixo	2,48	0,21
Médio	63,63	5,44
Total	1170,11	100,00
Área Diretamente Afetada do Projeto Colossus		
Classe	Área (Hectares)	Porcentagem (%)
Improvável	355,41	94,51
Baixo	1,39	0,37
Médio	19,27	5,12
Total	376,07	100,00

A seguir, apresentam-se os mapas das variáveis utilizadas e avaliação do índice de potencial espeleológico local.

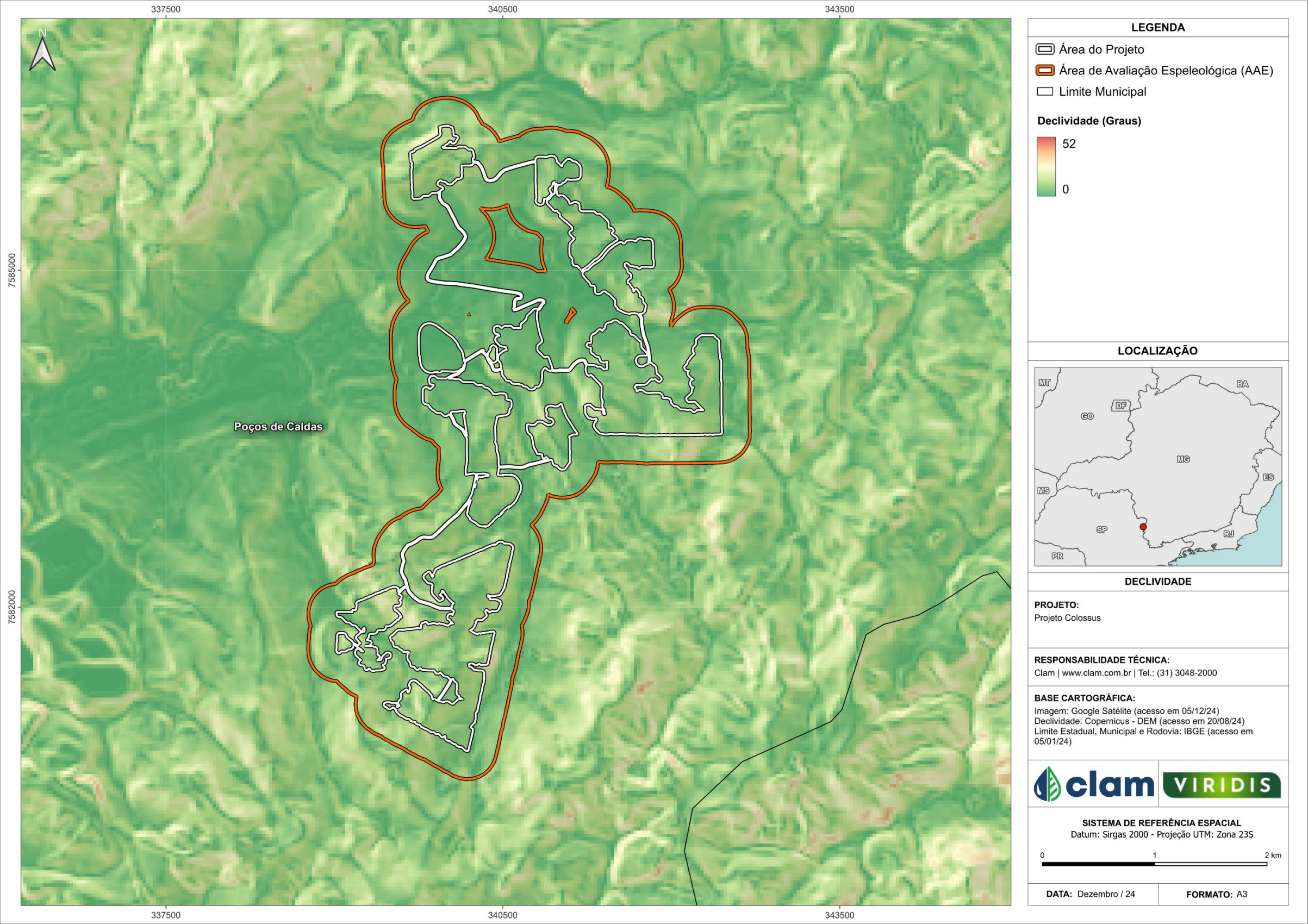


Figura 50 Distribuição espacial da variável de declividade.

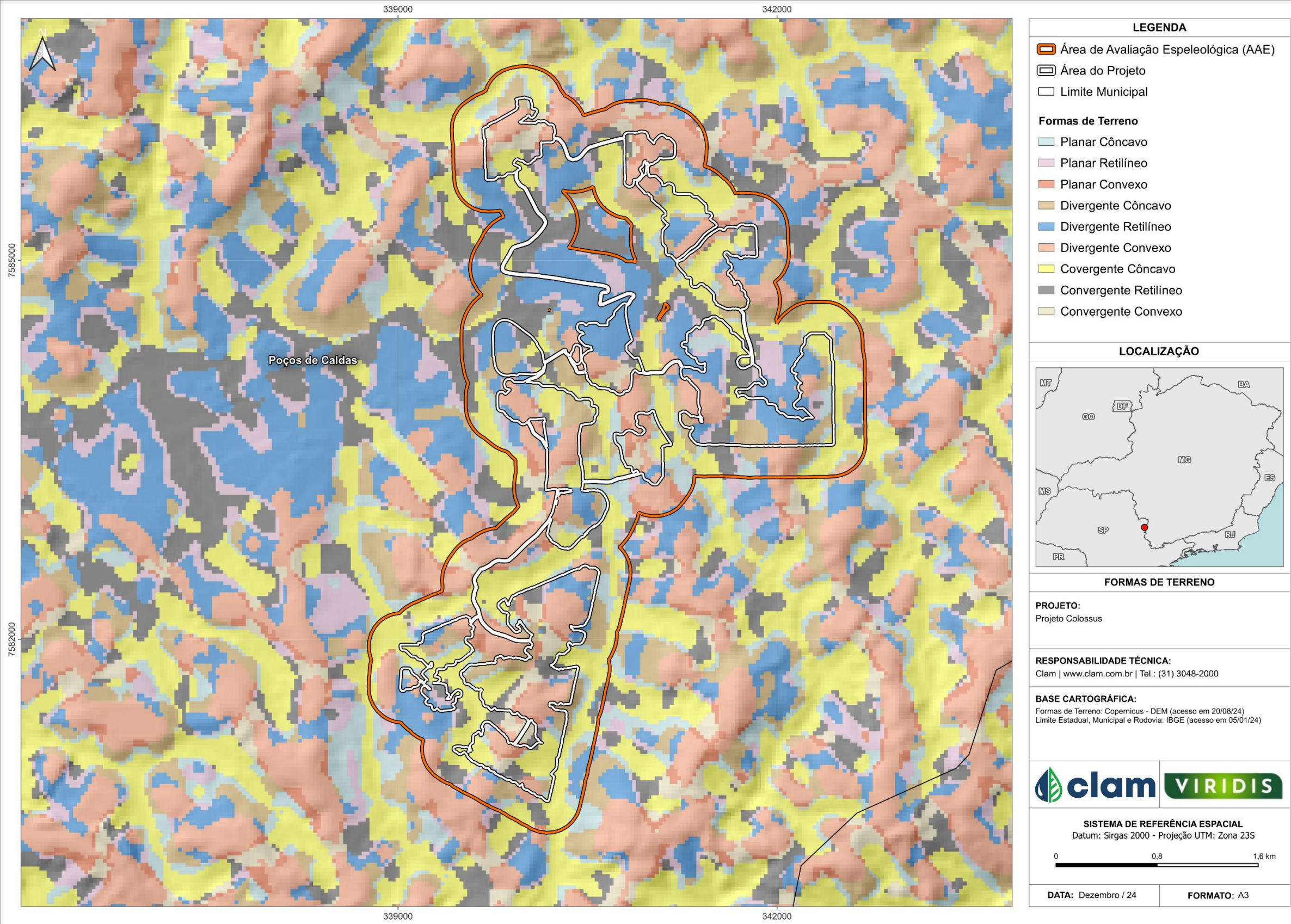


Figura 51 Distribuição espacial da variável de formas do terreno.

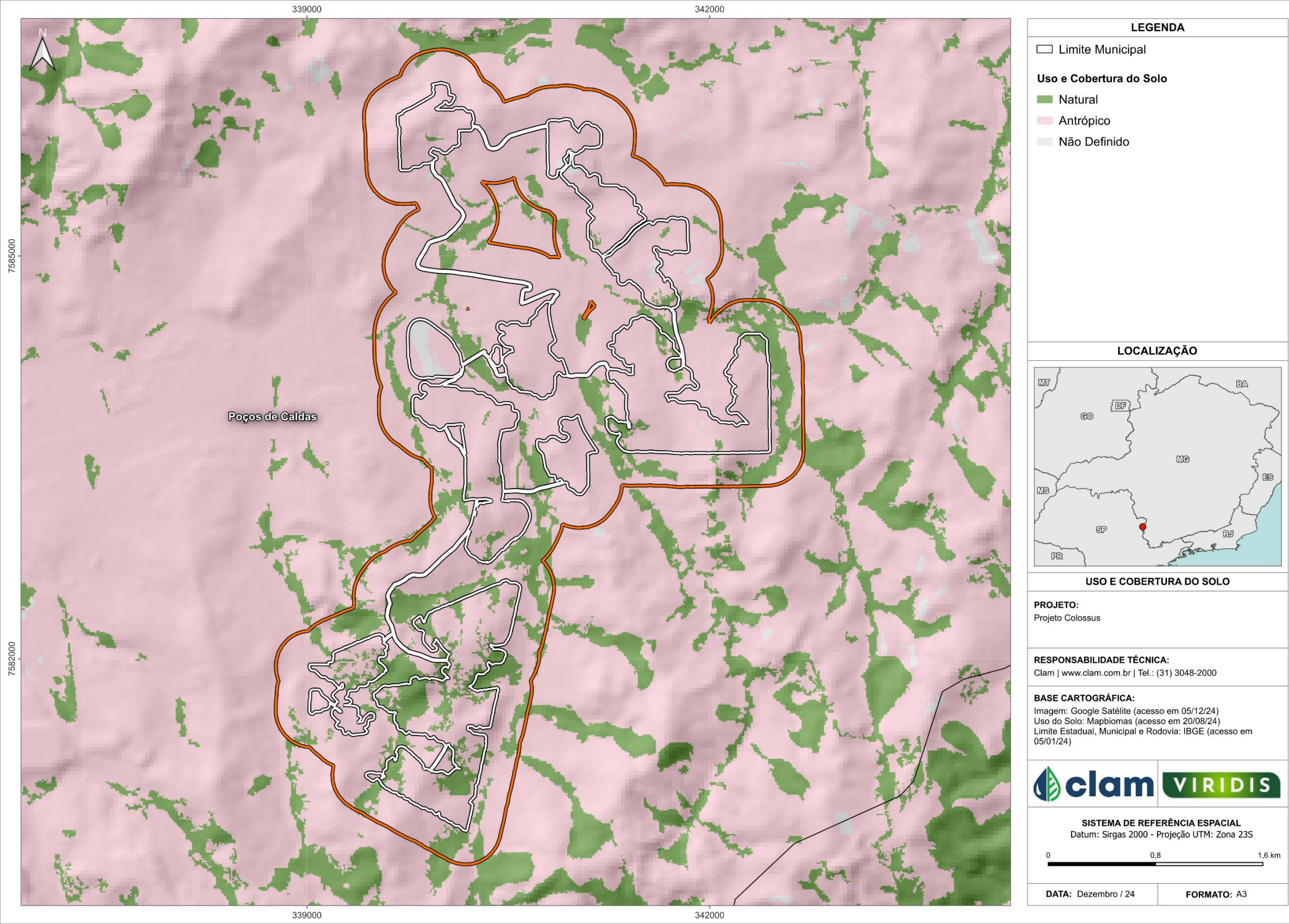


Figura 52 Distribuição da variável de uso e cobertura natural do solo.

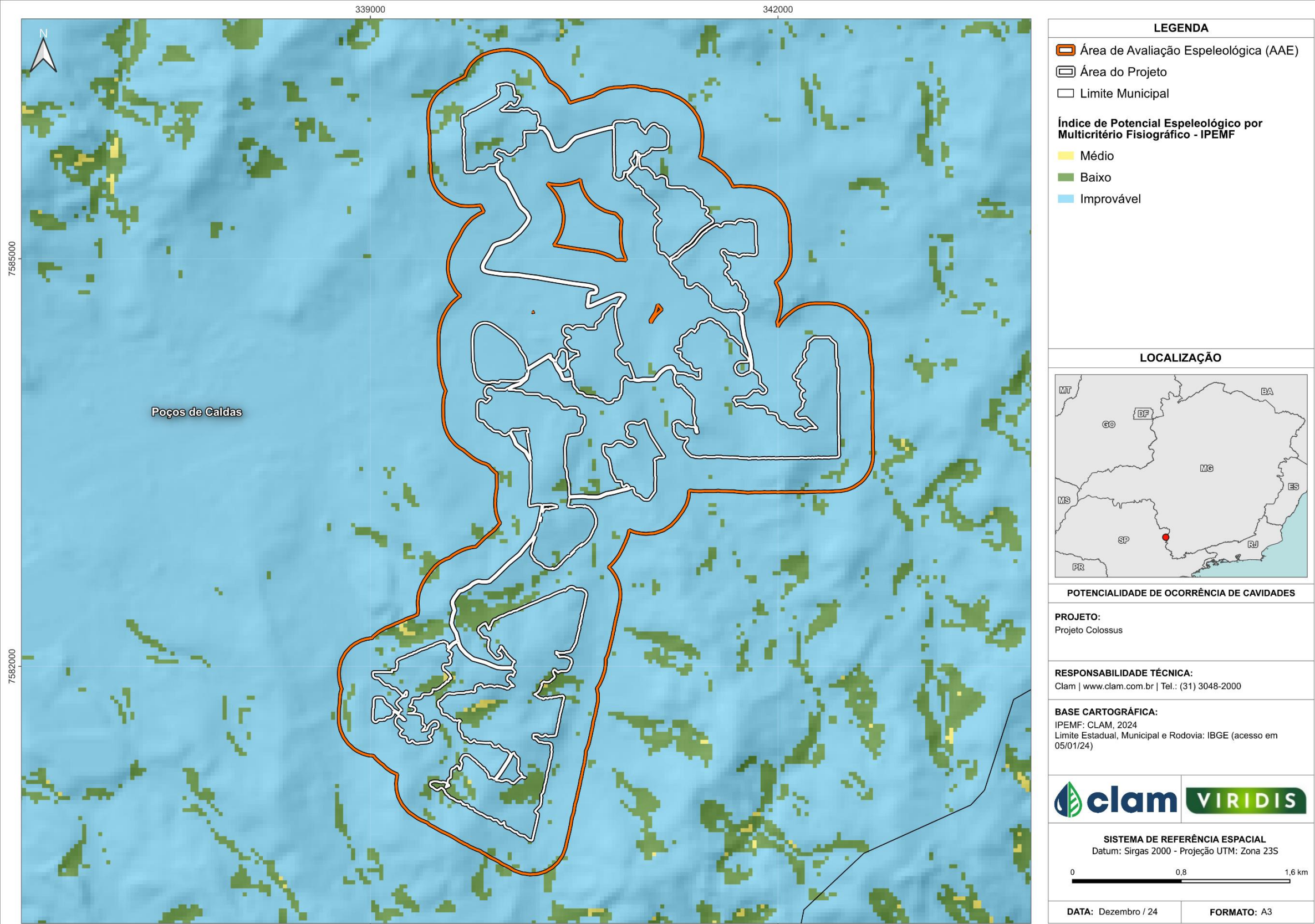


Figura 53 Resultado espacial das classes do “Índice de Potencial Espeleológico por Multicritérios Fisiográficos – IPEMF”.



6.1.9.3. Definição da Meta de Densidade de Caminhamento Compatível Com a Potencialidade Analisada

Calux & Lobo (2016) sugerem o emprego da matriz de caminhada para analisar o caminhada realizado pelas equipes em campo em relação à área alvo do projeto. No caso em questão, a partir da matriz de caminhada (Tabela 25) procura-se estabelecer o esforço necessário para que o resultado na prospecção seja considerado satisfatório, levando em consideração o tipo de estrutura.

Tabela 25 Matriz de caminhada. Fonte: Calux & Lobo (2016).

Topologia	Estrutura	Potencial Espeleológico com Densidade de Caminhamento compatível (Km/Km ²)			
		Muito Alto	Alto	Médio	Baixo / Improvável
Poligonal de pequeno e médio porte (Ex: empreendimentos minerários)	Cavas, PDE's	20	10	5	3
	Demais Estruturas	20	10	5	3
	Entorno	10	2 a 5	1 a 2	1

Desta forma, essa metodologia foi utilizada para balizar o resultado de caminhada obtido em campo, de modo a se obter a densidade prevista para o potencial espeleológico conservador de “Médio”. Considerou-se que esta classe de potencial representa 100 % da AAE. Portanto a meta mínima de densidade de caminhada considerada foi de 5 km/km² para os limites da área do projeto e 1 km/km² para toda a AAE, referenciadas pela literatura. Reforça-se que boa parte dos caminhamentos foram expandidos para além das áreas de estudo, visando preventivamente a segurança técnica e ambiental dos levantamentos.

6.1.9.4. Resultados Quantitativos

Ao longo de quatro semanas, entre 26/06 e 10/08/2024, na Área Diretamente Afetada-ADA foram realizadas 32,58 km de rotas prospectivas, ao passo que na Área de Avaliação Espeleológica-AAE (ADA acrescida com o raio de 250 m) percorreram-se 168,95 km.

Em termos de registros, em solo foram marcados 69 Pontos Controle-PC's para evidenciar de modo amostral o potencial encontrado ao longo das áreas. O total de pontos controle, ao ser dividido pela área de cobertura visual da AAE, obtém-se densidade de 5,98 PC's/km². Estes serão apresentados por fichas e registros fotográficos adiante (Tópico 6.1.9.5).

Analisando os esforços de prospecção, os percursos terrestres atingiram na ADA, uma densidade de caminhada de 8,66 km/km², ao passo que na AAE atingiram a densidade geral de 14,44 km/km². Ressalta-se que, detalhando as densidades de caminhada para as classes de potencial na AAE, nos locais de Médio potencial local chegou-se a 24,05 km/km² e nos de Baixo potencial chegou-se a 26,56 km/km². Ou seja, atingiram-se as metas indicadas pela literatura técnica especializada de maneira conservadora, para empreendimentos minerários em áreas de Médio potencial espeleológico, conforme Calux & Lobo (2016).

Todos esses quantitativos estão resumidos na Tabela 26. Consideram-se satisfatórios os esforços prospectivos realizados para amostrar e demonstrar a inexistência de patrimônio espeleológico relevante no contexto avaliado. Isso é reforçado pela condição histórica de ocupação regional, na qual caso existisse patrimônio relevante, o mesmo já seria reconhecido publicamente.



Tabela 26 Síntese dos parâmetros executados durante prospecção espeleológica.

Quantitativos Principais de Espeleologia	
Atributo	Valor
Área Diretamente Afetada-ADA (km ²)	3,76
Área de Avaliação Espeleológico-AAE (km ²)	11,70
Dias específicos de levantamento em campo	11
Quilometragem de caminhamentos prospectivos na AAE CLAM – 2024 (km)	168,95
Quilometragem de caminhamentos prospectivos na ADA CLAM – 2024 (km)	32,58
Densidade de caminhamentos prospectivos na AAE (km / km ²) / Meta de densidade necessária com base na literatura (km / km ²)	14,44 / 5,00
Densidade de caminhamentos prospectivos em MÉDIO POTENCIAL na AAE (km / km ²) / Meta de densidade necessária com base na literatura (km / km ²)	24,05 / 5,00
Densidade de caminhamentos prospectivos em BAIXO POTENCIAL na AAE (km / km ²) / Meta de densidade necessária com base na literatura (km / km ²)	26,56 / 3,00
Densidade de caminhamentos prospectivos na ADA (km / km ²)	8,66 / 5,00
Pontos controle de caminhada registrados e caracterizados na AAE	70
Feições Espeleológicas Identificadas na Etapa De Prospecção	
Cavidades naturais subterrâneas (DL<5m)	0
Cavidades naturais subterrâneas (DL>5m)	0
Abrigos	0
Abismos	0
Reentrâncias	0
Total Feições Identificadas	0

Na sequência, a Figura 54 apresenta o mapa do panorama do esforço prospectivo. No tópico subsequente, apresentam-se os mapas detalhados dos caminhamentos e pontos controle sobre imagem.

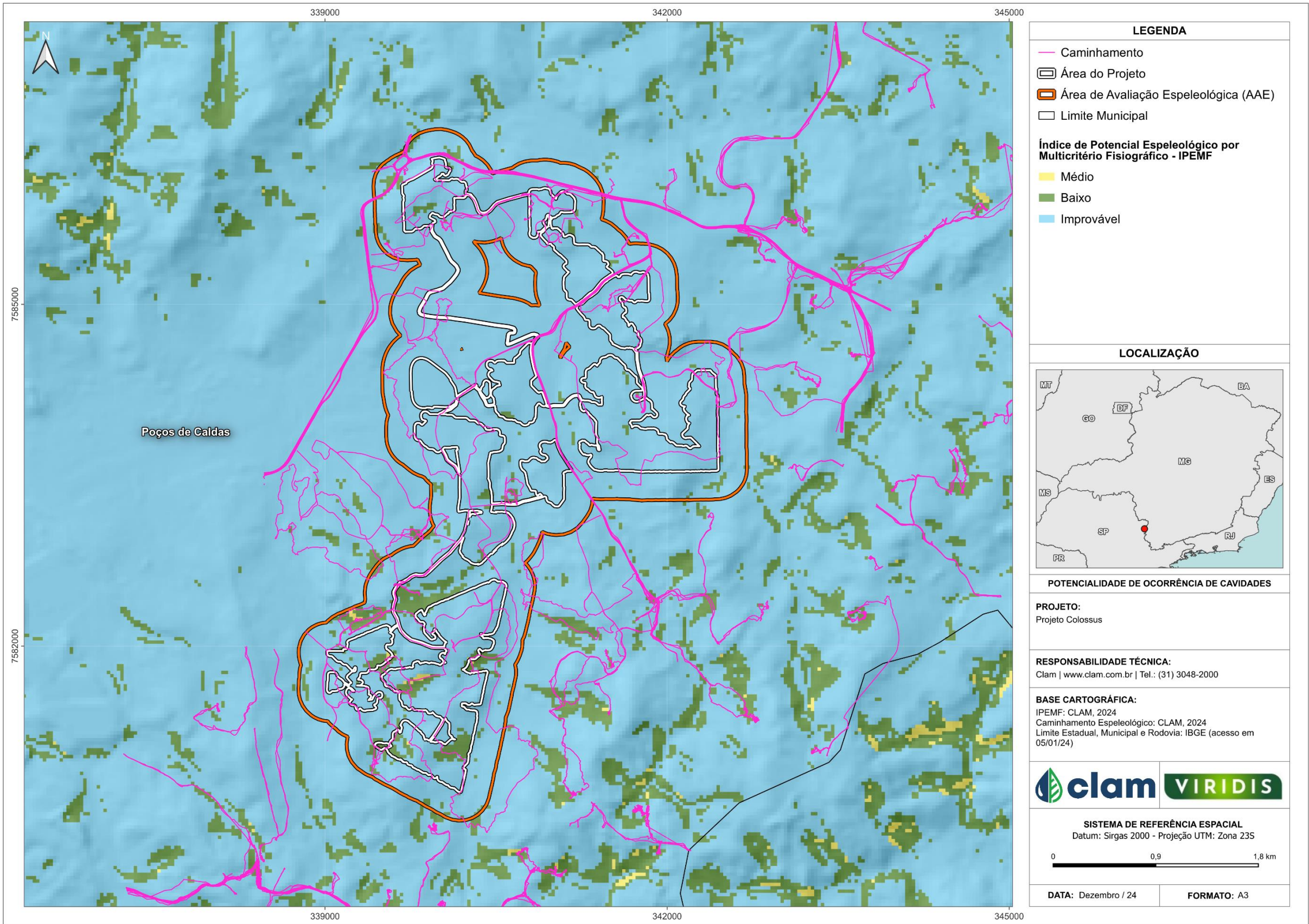


Figura 54 Panorama dos caminhamentos prospectivos realizados, em relação à distribuição local do potencial espeleológico.



6.1.9.5. Pontos Controle de Caminhamento Convencional

Os resultados de potencial espeleológico pela análise por multicritérios via geoprocessamento e os pontos controle caracterizados em campo são apresentados na Figura 55. Quando comparados, as classes avaliadas se mantiveram, com maior variação entre as classes de potencial espeleológico improvável e baixo (2,58 pontos percentuais), além da exclusão da classe média. Assim, reconhece-se uma aproximação satisfatória, ambas representativas da condição para a espeleogênese potencial, apontada como limitada, sob condição de influência do empreendimento.

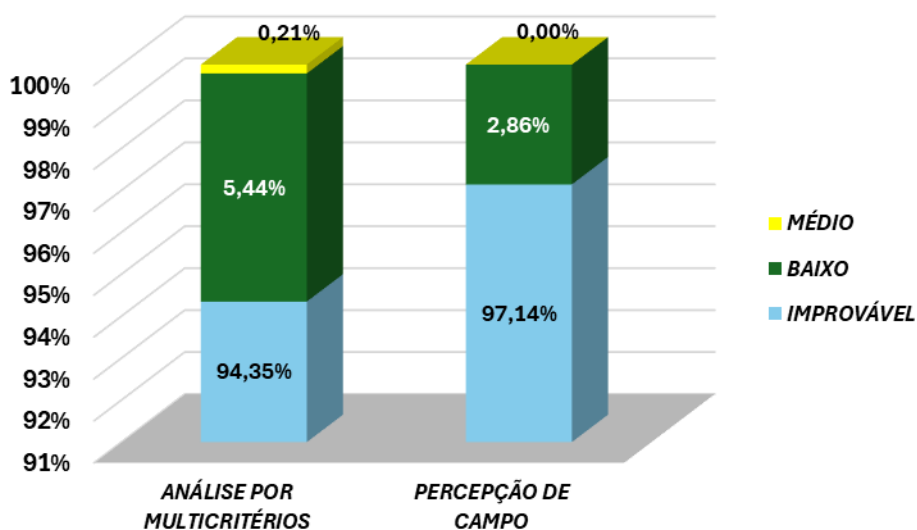


Figura 55 Comparação gráfica entre percentuais das classes de potencial espeleológicos obtidas em análise por multicritérios em escritórios, com o total de pontos controle caracterizados em campo.

Inicialmente apresentam-se mapas de detalhe da prospecção, articulados, seguidos das respectivas fichas de caracterização de cada PC.

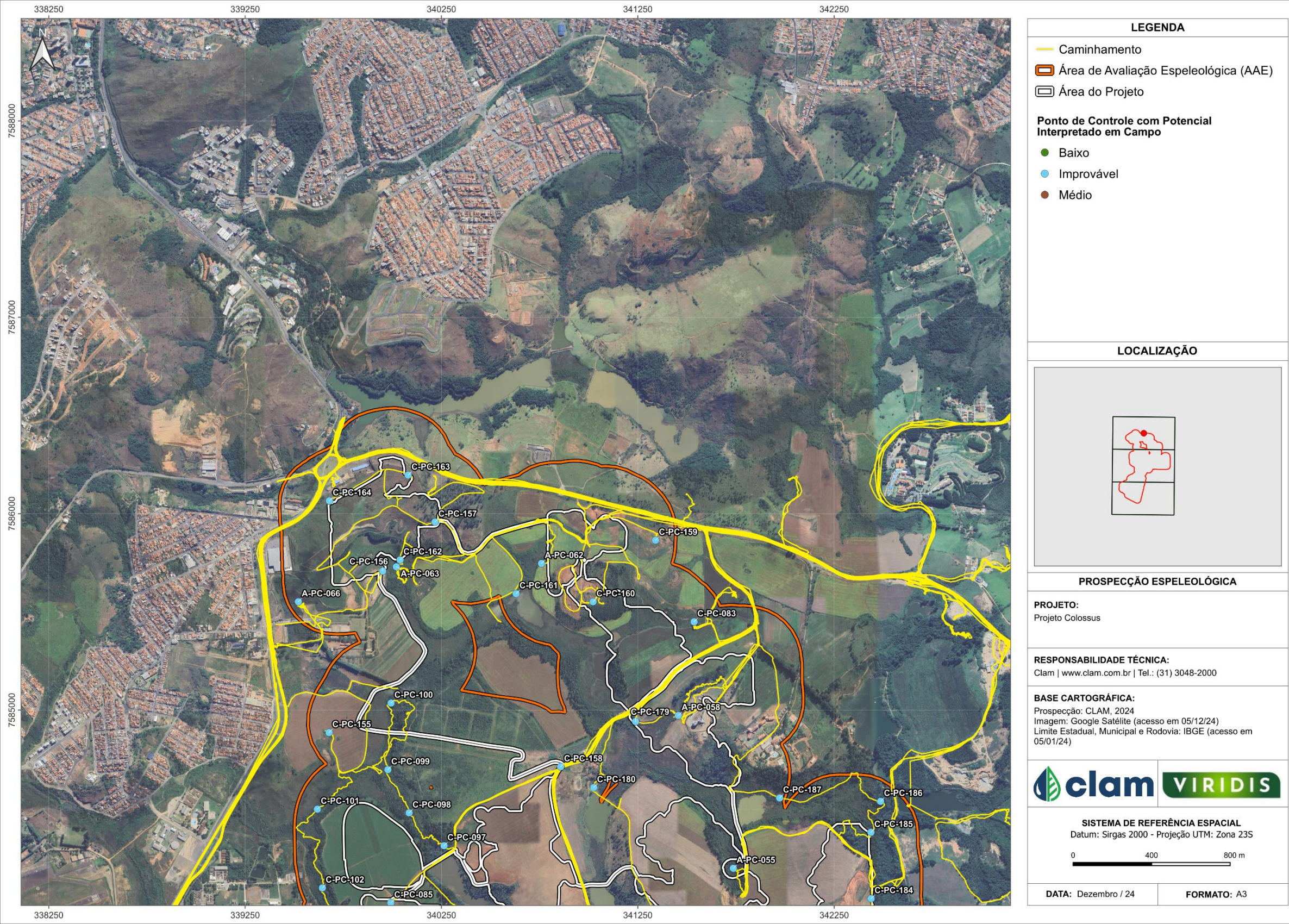


Figura 56 Esforço prospectivo na Área de Avaliação Espeleológica – FOLHA 1.

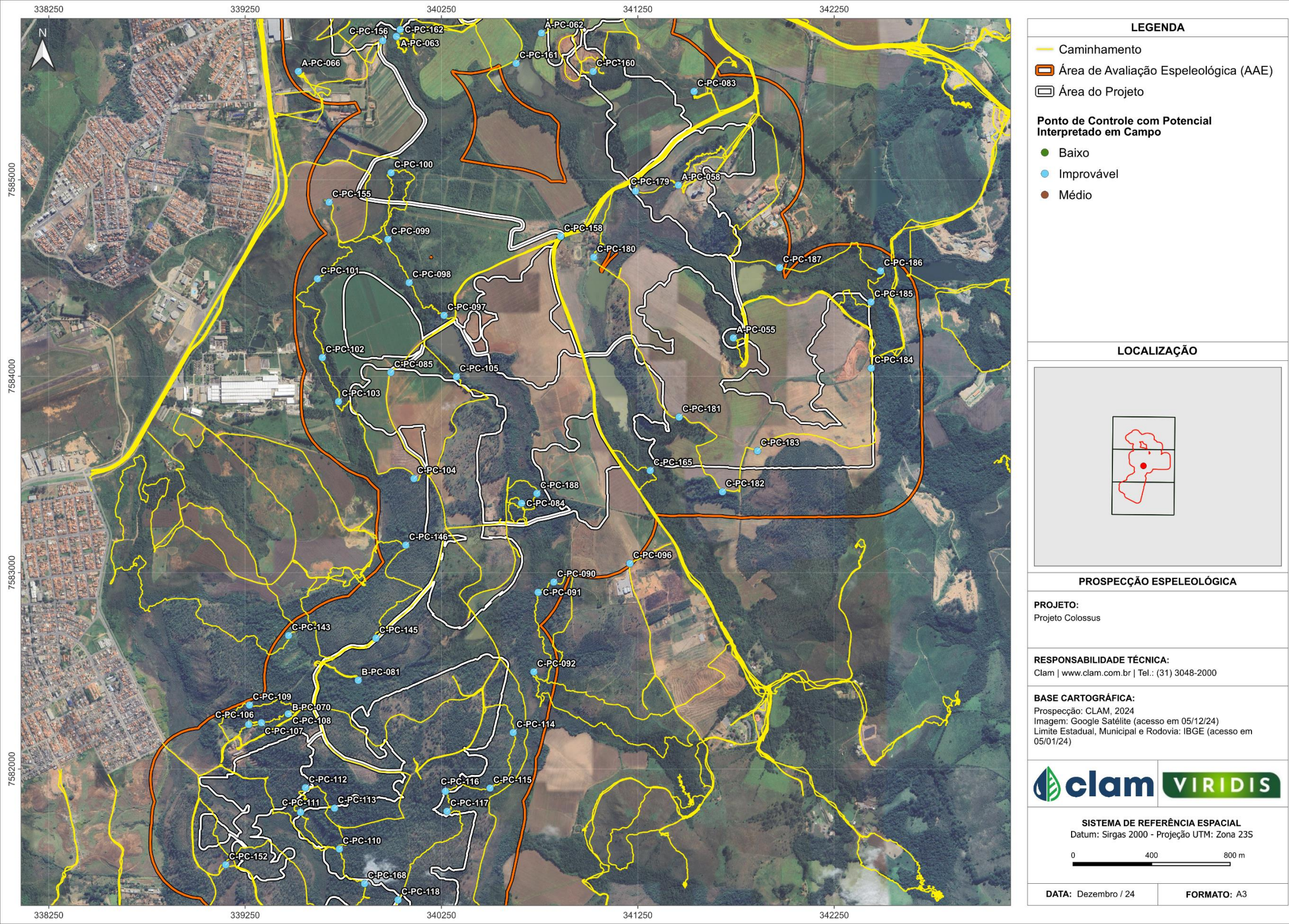


Figura 57 Esforço prospectivo na Área de Avaliação Espeleológica – FOLHA 2.

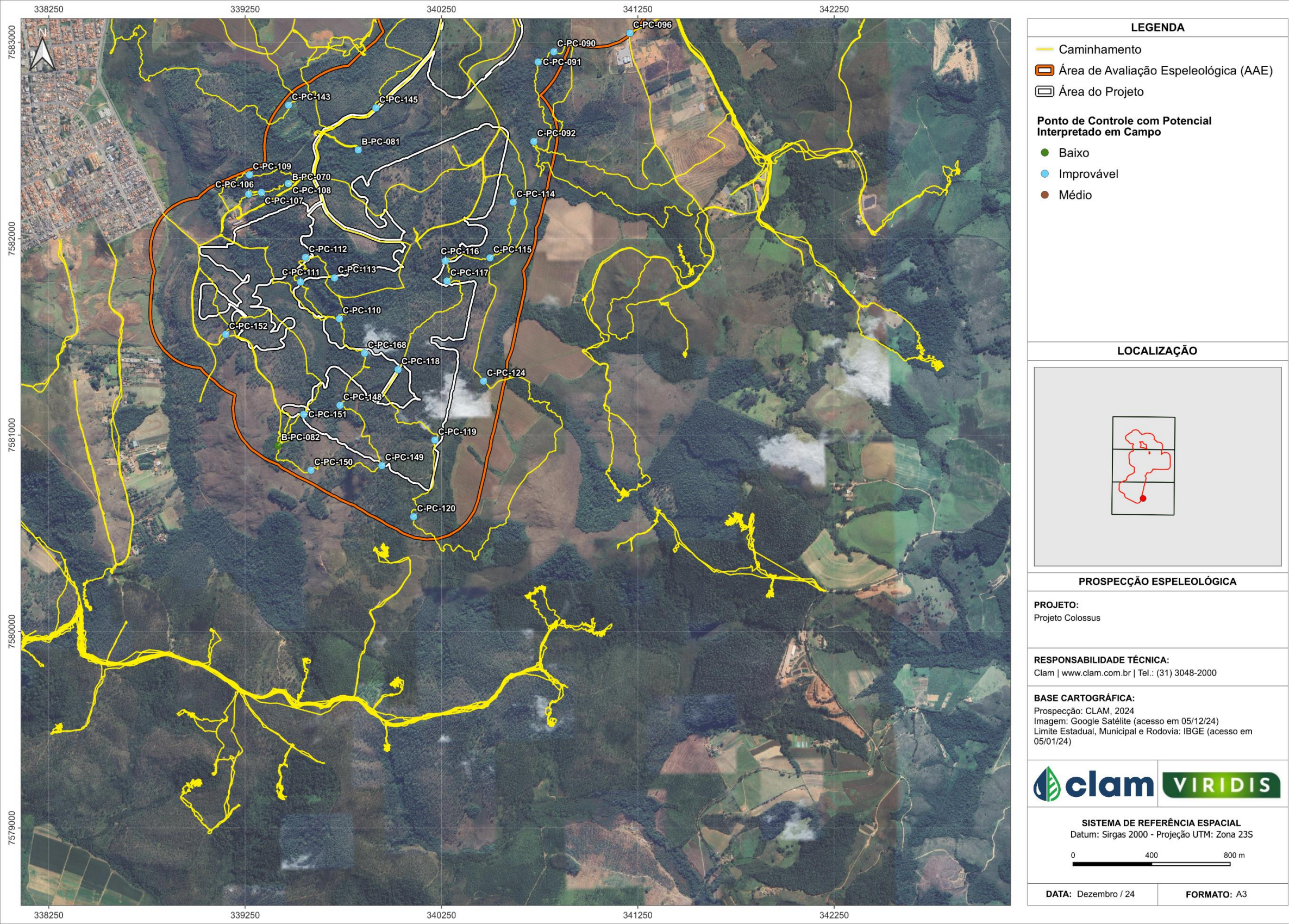


Figura 58 Esforço prospectivo na Área de Avaliação Espeleológica – FOLHA 3.



Tabela 27 Pontos controle A-PC-055, A-PC-58 e A-PC-062.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
1	A-PC-055	341736	7584195	11/07/2024	1287	X		X		X							IMPROVÁVEL
2	A-PC-058	341456	7584973	12/07/2024	1313	X				X							IMPROVÁVEL
3	A-PC-062	340759	7585747	16/07/2024	1271		X	X		X							IMPROVÁVEL



Foto 53 A-PC-055 Ponto de controle localizado em nascente. Vegetação arbórea e arbustiva no local, cercado por área de plantio e mineração. Não ocorrem afloramentos nem indícios de feição espeleológica. Foi observada a presença de solo argiloso marrom.

Autor: CLAM,2024



Foto 54 A-PC-058 Ponto de controle localizado em nascente. Vegetação caracterizada por gramíneas de brejo, cercado por galpões. Não ocorrem afloramentos nem indícios de feição espeleológica. Foi observada a presença de solo argiloso marrom com alagamento e piso brejoso a montante.

Autor: CLAM,2024



Foto 55 A-PC-062 Ponto de controle localizado em nascente. Vegetação arbustiva densa apenas nas proximidades da nascente cercada por área antropizada. Não ocorrem afloramentos nem indícios de feição espeleológica. Presença de solo argiloso marrom com alagamento e piso brejoso a jusante e a montante.

Autor: CLAM,2024



Tabela 28 Pontos controle A-PC-063, A-PC-066 e B-PC-070.

		DATUM UTM 23K				Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		SIRGAS2000															
ID	Nome	UTM E	UTM N	Data Registro	Altitude (M)	Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
4	A-PC-063	340020	7585730	16/07/2024	1284			X		X							IMPROVÁVEL
5	A-PC-066	339521	7585552	17/07/2024	1284			X	X	X							IMPROVÁVEL
6	B-PC-070	339467	7582280	24/07/2024	1347	X			X								BAIXO



Foto 56 A-PC-063 Ponto de controle localizado em nascente. Vegetação arbustiva densa apenas nas proximidades da nascente cercada por área antropizada. Não ocorrem afloramentos nem indícios de feição espeleológica. Presença de solo argiloso marrom com alagamento e piso brejoso a jusante e a montante.

Autor: CLAM,2024



Foto 57 A-PC-066 Ponto de controle localizado em nascente. Vegetação de gramíneas. Não ocorrem indícios de feição espeleológica. Depósito de sedimentos finos, além de cascalho. Foi observada a presença de solo argiloso arenoso marrom.

Autor: CLAM,2024



Foto 58 B-PC-070 Ponto de controle localizado em nascente. Vegetação arbórea e arbustiva. Não são observados afloramentos rochosos. Neste ponto há captação de água e uma caixa d'água de proporções métricas é encontrada em meio a mata

Autor: CLAM,2024



Tabela 29 Pontos controle B-PC-081, B-PC-082 e B-PC-083.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
7	B-PC-081	339826	7582452	08/08/2024	1338					X							IMPROVÁVEL
8	B-PC-082	339417	7580947	08/08/2024	1362					X		X					BAIXO
9	C-PC-083	341536	7585450	27/07/2024	1281		X					X					IMPROVÁVEL



Foto 59 B-PC-081 Ponto de controle localizado em nascente. Não ocorrem afloramentos no local e não foram observadas feições espeleológicas. Depósito de sedimentos finos ao longo da nascente.
Autor: CLAM,2024



Foto 60 B-PC-082 Ponto de controle localizado em nascente. Plantação de eucaliptos no entorno. Não foram observados afloramentos nem feições espeleológicas no local.
Autor: CLAM,2024



Foto 61 C-PC-83 Ponto controle localizado próximo a lavoura, apresenta vegetação baixa, densa e afloramentos rochosos pontuais.
Autor: CLAM,2024



Tabela 30 Pontos controle C-PC-084, C-PC-085 e C-PC-090.

		DATUM UTM 23K				Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica												Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		SIRGAS2000																
ID	Nome	UTM E	UTM N	Data Registro	Altitude (M)	Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica		
10	C-PC-084	340657	7783353	29/07/2024	1280			X	X								IMPROVÁVEL	
11	C-PC-085	339992	7584019	29/07/2024	1284		X	X									IMPROVÁVEL	
12	C-PC-090	340822	7582952	30/07/2024	1290			X	X								IMPROVÁVEL	



Foto 62 C-PC-084 Ponto controle localizado em meio a silvicultura , solo homogêneo e sem presença de afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 63 C-PC-085 Ponto controle localizado próximo a lavoura alterações antrópicas são visíveis no solo e não há presença de afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 64 C-PC-090 Ponto controle em meio a mata de porte arbóreo e sem presença de afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Tabela 31 Pontos controle C-PC-091, C-PC-092 e C-PC-096.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
13	C-PC-091	340742	7582900	30/07/2024	1280					X							IMPROVÁVEL
14	C-PC-092	340720	7582495	30/07/2024	1284					X							IMPROVÁVEL
15	C-PC-096	341209	7583047	30/07/2024	1325					X							IMPROVÁVEL



Foto 65 C-PC-091 Ponto controle com drenagem ativa, mata nativa e sem presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 66 C-PC-092 Ponto controle com drenagem ativa, mata nativa, bambus e sem presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 67 C-PC-096 Ponto controle com vegetação e solo homogêneo antropizados. Não há presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 32 Pontos controle C-PC-097, C-PC-098 e C-PC-099.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
16	C-PC-097	340263	7584310	31/07/2024	1261		X	X	X								IMPROVÁVEL
17	C-PC-098	340085	7584477	31/07/2024	1260		X	X		X							IMPROVÁVEL
18	C-PC-099	339977	7584697	31/07/2024	1259					X							IMPROVÁVEL



Foto 68 C-PC-097 Ponto controle com drenagem ativa a jusante da barragem apresentando grande quantidade de sedimentos, presença de mata nativa antropizada e não há afloramentos rochosos. Foi observada a presença de solo argiloso arenoso marrom.

Autor: CLAM,2024



Foto 69 C-PC-098 Ponto controle com manilha embaixo de ponte antiga apresentando uma drenagem ativa, vegetação antropizada e sem registros de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 70 C-PC-099 Ponto controle com drenagem ativa em forma de canal, apresenta mata nativa arbustiva e não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 33 Pontos controle C-PC-100, C-PC-101 e C-PC-102.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
19	C-PC-100	339993	7585036	31/07/2024	1263					X							IMPROVÁVEL
20	C-PC-101	339618	7584496	31/07/2024	1263					X							IMPROVÁVEL
21	C-PC-102	339643	7584095	31/07/2024	1268					X							IMPROVÁVEL



Foto 71 C-PC-100 Ponto controle com meandros de drenagem ativa e sem presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 72 C-PC-101 Ponto controle com drenagem ativa, vegetação nativa e densa. Não há presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 73 C-PC-102 Ponto controle com canal apresentando drenagem ativa, com mata nativa densa e não há presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 34 Pontos controle C-PC-103, C-PC-104 e C-PC-105.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
22	C-PC-103	339725	7583871	31/07/2024	1272		X					X					IMPROVÁVEL
23	C-PC-104	340110	7583479	31/07/2024	1314		X	X	X								IMPROVÁVEL
24	C-PC-105	340326	7583998	31/07/2024	1266				X						X		IMPROVÁVEL



Foto 74 C-PC-103 Ponto controle com presença de matacão, vegetação arbórea e arbustiva antropizada e presença de vestígios de demolição.

Autor: CLAM,2024



Foto 75 C-PC-104 Ponto controle com vegetação e solo homogêneo, presença de lavoura e não há registros de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 76 C-PC-105 Ponto controle com desnível, vegetação densa e homogênea. Serrapilheira. Não há presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 35 Pontos controle C-PC-106, C-PC-107 e C-PC-108.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
25	C-PC-106	339268	7582227	01/08/2024	1303				X	X							IMPROVÁVEL
26	C-PC-107	339333	7582236	01/08/2024	1316					X		X					IMPROVÁVEL
27	C-PC-108	339469	7582281	01/08/2024	1350				X	X		X					IMPROVÁVEL



Foto 77 C-PC-106 Ponto controle em nascente, vegetação densa e homogênea. Não há presença de afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 78 C-PC-107 Ponto controle com presença de lagoa, mata densa e nativa ao redor. Observou-se afloramentos rochosos pontuais.
Autor: CLAM,2024



Foto 79 C-PC-108 Ponto controle com quebra de relevo em cachoeira seca e mata densa nativa. Presença de afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Tabela 36 Pontos controle C-PC-109, C-PC-110 e C-PC-111.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hidrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
28	C-PC-109	339272	7582326	01/08/2024	1350				X			X					IMPROVÁVEL
29	C-PC-110	339730	7581593	01/08/2024	1309			X	X								IMPROVÁVEL
30	C-PC-111	339532	7581780	01/08/2024	1302			X	X								IMPROVÁVEL



Foto 80 C-PC-109 Ponto controle com blocos em piso inclinado e mata densa nativa.

Autor: CLAM,2024



Foto 81 C-PC-110 Ponto controle com mata densa, solo orgânico e sem presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 82 C-PC-111 Ponto controle com solo em desnível, vegetação e solo homogêneos. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 37 Pontos controle C-PC-112, C-PC-113 e C-PC-114.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hidrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
31	C-PC-112	339557	7581905	01/08/2024	1328			X	X								IMPROVÁVEL
32	C-PC-113	339705	7581801	01/08/2024	1336			X	X								IMPROVÁVEL
33	C-PC-114	340615	7582186	02/08/2024	1301			X	X								IMPROVÁVEL



Foto 83 C-PC-112 Ponto controle com solo em desnível, vegetação e solo homogêneos. Não apresenta afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 84 C-PC-113 Ponto controle com vegetação e solo homogêneos. Não apresenta afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 85 C-PC-114 Ponto controle com vegetação e solo homogêneos. Não apresenta afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Tabela 38 Pontos controle C-PC-115, C-PC-116 e C-PC-117.

		DATUM UTM 23K				Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica												Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		SIRGAS2000																
ID	Nome	UTM E	UTM N	Data Registro	Altitude (M)	Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica		
34	C-PC-115	340497	7581903	02/08/2024	1308			X	X								IMPROVÁVEL	
35	C-PC-116	340270	7581887	02/08/2024	1342			X	X								IMPROVÁVEL	
36	C-PC-117	340278	7581785	02/08/2024	1322			X	X	X							IMPROVÁVEL	



Foto 86 C-PC-115 Ponto controle com vegetação e solo homogêneos. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 87 C-PC-116 Ponto controle com vegetação homogênea e solo orgânico. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 88 C-PC-117 Ponto controle com presença de nascente. A vegetação é nativa densa e homogênea e o solo orgânico. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 39 Pontos controle C-PC-118, C-PC-119 e C-PC-120.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
37	C-PC-118	340029	7581334	02/08/2024	1360		X	X	X								IMPROVÁVEL
38	C-PC-119	340216	7580975	02/08/2024	1310		X	X	X								IMPROVÁVEL
39	C-PC-120	340108	7580585	02/08/2024	1323			X		X							IMPROVÁVEL



Foto 89 C-PC-118 Ponto controle em estrada, vegetação e solo homogêneos e não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 90 C-PC-119 Ponto controle apresenta lago, presença de alterações antrópicas com a construção de estrada e ponte. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 91 C-PC-120 Ponto controle localiza-se em vegetação densa nativa. Não há afloramentos rochosos. Foi observada a presença de solo argilo-arenoso marrom.

Autor: CLAM,2024



Tabela 40 Pontos controle C-PC-124, C-PC-143 e C-PC-145.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
40	C-PC-124	340464	7581275	02/08/2024	1302			X		X							IMPROVÁVEL
41	C-PC-143	339471	7582680	05/08/2024	1352		X										IMPROVÁVEL
42	C-PC-145	339916	7582666	05/08/2024	1358		X										IMPROVÁVEL



Foto 92 C-PC-124 Ponto controle com presença de lagoa, vegetação densa e nativa. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 93 C-PC-143 Ponto controle com vegetação antropizada. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 94 C-PC-145 Ponto controle em um pasto com vestígio de queimadas e presença de cerca elétrica. Não observou-se a presença de afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 41 Pontos controle C-PC-146, C-PC-148 e C-PC-149.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
43	C-PC-146	340068	7583140	05/08/2024	1304		X			X							IMPROVÁVEL
44	C-PC-148	339733	7581152	06/08/2024	1346		X	X	X			X					IMPROVÁVEL
45	C-PC-149	339946	7580845	06/08/2024	1351		X	X	X								IMPROVÁVEL



Foto 95 C-PC-146 Ponto controle localizado em borda de mata com drenagem ativa. Há presença de caixa de água e captadores na drenagem. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 96 C-PC-148 Ponto controle com presença de alguns blocos dispersos pelo piso. Presença de silvicultura e solo são homogêneo.

Autor: CLAM,2024



Foto 97 C-PC-149 Ponto controle com vegetação antropizada e solo homogêneo. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 42 Pontos controle C-PC-150, C-PC-151 e C-PC-152.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
46	C-PC-150	339585	7580821	06/08/2024	1389		X	X				X					IMPROVÁVEL
47	C-PC-151	339548	7581106	06/08/2024	1335			X	X	X							IMPROVÁVEL
48	C-PC-152	339151	7581513	06/08/2024	1340	X		X				X					IMPROVÁVEL



Foto 98 C-PC-150 Ponto controle com presença de alguns blocos dispersos pelo piso. A vegetação antropizada e solo homogêneo.

Autor: CLAM,2024



Foto 99 C-PC-151 Ponto controle com vegetação densa e solo homogêneo. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 100 C-PC-152 Ponto controle com blocos dispersos pelo piso, vestígios de fogueira e serrapilheira.

Autor: CLAM,2024



Tabela 43 Pontos controle C-PC-156, C-PC-157 e C-PC-158.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
49	C-PC-155	339951	7585708	06/08/2024	1296		X										IMPROVÁVEL
50	C-PC-156	339951	7585708	06/08/2024	1296		X										IMPROVÁVEL



Foto 101 C-PC-155 Ponto controle em lavoura. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 102 C-PC-156 Ponto controle localizado na borda da mata nativa, apresenta solo homogêneo em razão do processo de terraplanagem. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 44 Pontos controle C-PC-156, C-PC-157 e C-PC-158.

		DATUM UTM 23K				Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		SIRGAS2000															
ID	Nome	UTM E	UTM N	Data Registro	Altitude (M)	Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
51	C-PC-157	340217	7585958	06/08/2024	1336		X	X									IMPROVÁVEL
52	C-PC-158	340857	7584712	07/08/2024	1281		X	X									IMPROVÁVEL



Foto 103 C-PC-157 Ponto controle em desnível de relevo, apresenta linhas de transmissão. Pasto e solo homogêneo. Não observou-se afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 104 C-PC-158 Ponto controle em um pasto. Não observou -se afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Tabela 45 Pontos controle C-PC-159, C-PC-160 e C-PC-161.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
53	C-PC-159	341340	7585865	07/08/2024	1322		X	X									IMPROVÁVEL
54	C-PC-160	341022	7785552	07/08/2024	1299		X	X				X					IMPROVÁVEL
55	C-PC-161	340630	7585593	07/08/2024	1267		X	X	X	X							IMPROVÁVEL



Foto 105 C-PC-159 Ponto controle em área de lavoura. Não ocorre afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 106 C-PC-160 Ponto controle em área de extração de bauxita com presença de blocos expostos. O solo é homogêneo, com presença de afloramentos rochosos pontuais.

Autor: CLAM,2024



Foto 107 C-PC-161 Ponto controle localizado próxima a lavoura, com presença de uma lagoa. Não observou-se afloramento rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 46 Pontos controle C-PC-162, C-PC-163 e C-PC-164.

		DATUM UTM 23K				Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica												Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		SIRGAS2000																
ID	Nome	UTM E	UTM N	Data Registro	Altitude (M)	Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica		
56	C-PC-162	340039	7585765	07/08/2024	1289		X										IMPROVÁVEL	
57	C-PC-163	340080	7586197	07/08/2024	1310			X	X			X					IMPROVÁVEL	
58	C-PC-164	339679	7586066	07/08/2024	1303		X					X			X		IMPROVÁVEL	



Foto 108 C-PC-162 Ponto controle localizado em praça de sondagem na borda da mata nativa. Não apresenta afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 109 C-PC-163 Ponto controle próxima a estrada. Apresenta seixos no piso e desnível no relevo. Não observou-se afloramentos rochosos.
Autor: CLAM,2024



Foto 110 C-PC-164 Ponto controle próxima a estrada, apresenta desnível no relevo e afloramento rochoso pontual.
Autor: CLAM,2024



Tabela 47 Pontos controle C-PC-165, C-PC-168 e C-PC-179.

		DATUM UTM 23K				Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica												Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		SIRGAS2000																
ID	Nome	UTM E	UTM N	Data Registro	Altitude (M)	Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica		
59	C-PC-165	341313	7583520	07/08/2024	1289			X	X								IMPROVÁVEL	
60	C-PC-168	339858	7581417	06/08/2024	1329			X	X								IMPROVÁVEL	
61	C-PC-179	341238	7584942	09/08/2024	1278			x	x								IMPROVÁVEL	



Foto 111 C-PC-165 Ponto controle com mata nativa. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 112 C-PC-168 Ponto controle em mata nativa. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 113 C-PC-179 Ponto controle em mata densa arbustiva, apresenta desnível no relevo. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 48 Ponto controle C-PC-180, C-PC-181 e C-PC-182.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
62	C-PC-180	341025	7584606	09/08/2024	1279		X	X	X								IMPROVÁVEL
63	C-PC-181	341460	7583792	09/08/2024	1344		X	X				X					IMPROVÁVEL
64	C-PC-182	341681	7583412	09/08/2024	1315		X	X									IMPROVÁVEL



Foto 114 C-PC-180 Ponto controle em residência. Não observou-se afloramentos rochoso.

Autor: CLAM,2024

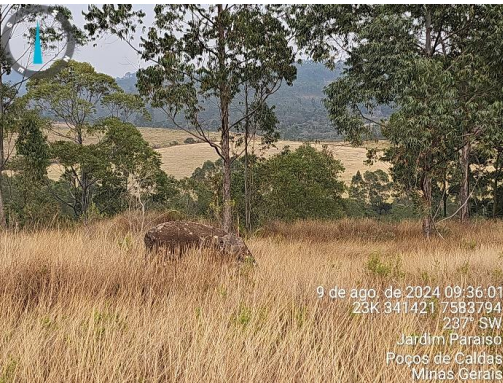


Foto 115 C-PC-181 Ponto controle localizado em lavoura, apresenta solo homogêneo. Observou-se afloramentos rochosos pontuais.

Autor: CLAM,2024



Foto 116 C-PC-182 Ponto controle em lavoura, presença de solo homogêneo. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 49 Pontos controle C-PC-183, C-PC-184 e C-PC-185.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
65	C-PC-183	341859	7583620	09/08/2024	1341		X	X									IMPROVÁVEL
66	C-PC-184	342438	7584041	09/08/2024	1300		X										IMPROVÁVEL
67	C-PC-185	342437	7584378	09/08/2024	1287			X	X	X							IMPROVÁVEL



Foto 117 C-PC-183 Ponto controle em pasto, presença de solo homogêneo. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 118 C-PC-184 Ponto controle em pasto, área de extração de bauxita, e desnível no relevo. Não observou-se afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024

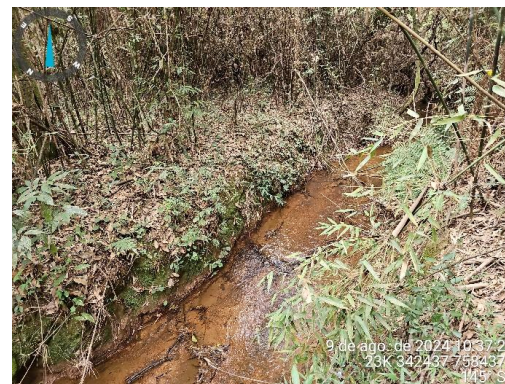


Foto 119 C-PC-185 Ponto controle com drenagem ativa e mata nativa. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Tabela 50 Pontos controle C-PC-187 a C-PC-188.

ID	Nome	DATUM UTM 23K		Data Registro	Altitude (M)	Atributos Interpretativos de Potencialidade Espeleológica											Resultante de Potencial Espeleológico pelos Atributos com a Percepção em Campo
		UTM E	UTM N			Indícios de antropismo	Alteração por antropismo	Solos homogêneos	Vegetação homogênea	Feição hídrica	Superfície rochosa homogênea	Afloramento rochosos pontual	Afloramento rochoso contínuo	Calha de drenagem rochosa	Ruptura de declive rochosa	Proximidade com feição espeleológica	
68	C-PC-186	342486	7584536	09/08/2024	1294	X		X	X	X							IMPROVÁVEL
69	C-PC-187	341972	7584553	09/08/2024	1296		X			X		X					IMPROVÁVEL
70	C-PC-188	340736	7583403	09/08/2024	1280			X	X	X							IMPROVÁVEL



Foto 120 C-PC-186 Ponto controle com drenagem ativa em um canal e presença de mata nativa. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



Foto 121 C-PC-187 Ponto controle localizado próximo a lagoa, apresenta calhaus no piso.

Autor: CLAM,2024



Foto 122 C-PC-188 Ponto controle com drenagem ativa e próximo a mata de araucária. Não apresenta afloramentos rochosos.

Autor: CLAM,2024



6.1.9.6. Conclusão e Considerações

O presente item se propôs à apresentação dos resultados da etapa de prospecção espeleológica com identificação e caracterização preliminar das feições em função da potencialidade espeleológica de incidência na Área Diretamente Afetada do Projeto Colossus e seu entorno de imediato.

Foram percorridos 168,95 km ao longo das áreas previstas para o empreendimento, de 3,76 km², e ela acrescida de um raio de entorno de 250 m, com o total de 11,70 km² (AAE=Área de Avaliação Espeleológica), sendo a versão de novembro/2024. Desta forma, foi obtida densidade de caminhamento de 14,44 km/km² na AAE, ou 2,88 vezes a meta indicada pela referência técnica ao tema, para um potencial conservador normalizado como médio.

Tabela 51 Síntese dos quantitativos relevantes de prospecção na AAE.

Quantitativos Principais	
Atributo	Valor
Área Diretamente Afetada-ADA (km ²)	3,76
Área de Avaliação Espeleológico-AAE = ADA + Entorno de 250 m (km ²)	11,70
Quilometragem de caminhamentos prospectivos na AAE CLAM – 2024 (km)	168,95
Quilometragem de caminhamentos prospectivos na ADA CLAM – 2024 (km)	32,58
Densidade de caminhamentos prospectivos na ADA (km / km ²) / Meta de densidade necessária com base na literatura (km / km ²)	8,66 / 5,00
Densidade de caminhamentos prospectivos na AAE (km / km ²) / Meta de densidade necessária com base na literatura (km / km ²)	14,44 / 5,00
Resultado do Caminhamento de Prospecção	Satisfatório / Compatível
Feições Espeleológicas Identificadas	
Total Feições Identificadas na AAE	0
Total Feições Identificadas na ADA	0

Nesse sentido, os levantamentos confirmaram o previsto para potencialidade espeleológica analisada para escala local, predominando as classes improvável e baixo, relacionada tanto a fatores ambientais fisiográficos quanto ao histórico de ocupação e uso dos terrenos. Os maiores potenciais relativos, considerados médios, concentraram-se realmente nas zonas de cabeceiras e nascentes fluviais, cujos atributos fisiográficos hipoteticamente apresentam maior energia para a espeleogênese e evolução de feições cavernícolas. Entretanto, em tais zonas não se identificaram ocorrências espeleológicas.

Concluindo, seguindo a Instrução de Serviço nº 08/2017 de SISEMA-MG, não se reconhece impacto do Projeto Colossus ao patrimônio espeleológico. Ao mesmo tempo, não se prevê necessidade de recomendação de ações ambientais (programas) específicas para o patrimônio espeleológico.



6.1.10. Recursos Hídricos Superficiais

6.1.10.1. Hidrografia

6.1.10.1.1. Área de Estudo Regional

A Área de Estudo Regional (AER) se insere na bacia do rio Grande, especificamente na Circunscrição Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (GD6), englobando a sub-bacia do ribeirão das Antas, onde se localiza a ADA do Projeto Colossus, e a sub-bacia do rio Verde à direita como mostra o mapa da Figura 59.

6.1.10.1.1.1. Bacia do Rio Grande

A Bacia Hidrográfica do Rio Grande está localizada na Região Sudeste do Brasil, dentro da Região Hidrográfica Paraná. Juntamente com as Regiões Hidrográficas Paraguai e Uruguai, ela integra a Bacia do Prata. Esta bacia abrange uma área de drenagem de aproximadamente 143.437,79 km², dos quais 39,80% estão situados no Estado de São Paulo e 60,20% no Estado de Minas Gerais. A bacia compreende 393 municípios, sendo 214 na vertente mineira e 179 na vertente paulista (IGAM, 2012).

Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (GD6)

A Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo corresponde à circunscrição hidrográfica GD6 da porção mineira da Bacia do Rio Grande. Localizada na região sudoeste do Estado de Minas Gerais, sua rede de drenagem totaliza cerca de 5.964 km², abrangendo 27 municípios e 21 sedes dentro da área da bacia.

O rio Mogi-Guaçu tem origem no município de Bom Repouso, na Serra da Mantiqueira, com um comprimento total de 473 km e uma área de drenagem de 17.450 km². Já o rio Pardo nasce no município de Ipuiúna, na região centro-sul de Minas Gerais. Com um curso total de 573 km, percorre 99,34 km em Minas Gerais, e sua área de drenagem é de aproximadamente 18.292 km², sendo 3.426 km² pertencentes a Minas Gerais (IGAM, 2010).

É composta pelas sub-bacias do ribeirão das Antas, rio Verde, córrego das Areias, ribeirão do Onça, rio Canoas, rio Bom Jesus, rio Guaxupé, rio Pirapatinga, rio Capivari, rio Pardo, rio Jaguari, rio Mogi-Guaçu, rio Eleutéria, rio das Antas e sub-bacia do rio Peixe. Conforme o Plano de Recursos Hídricos da Bacia (2010), a maior parte das outorgas está concentrada nas sub-bacias do ribeirão das Antas e no rio Lambari. Os três principais usos da água superficial na bacia são abastecimento público, consumo industrial e irrigação.

A sub-bacia do rio Verde se insere no município de Caldas e possui como principais afluentes o rio Taquari e ribeirão das Campinas pela margem esquerda; e o ribeirão dos Bugres, pela margem direita. O rio Verde desagua no rio Pardo próximo ao limite entre os municípios de Caldas e Campestre/MG.

A sub-bacia do ribeirão das Antas faz parte da circunscrição hidrográfica GD6, Bacia dos Afluentes Mineiros do rio Mogi-Guaçu e Pardo. Esta sub-bacia possui uma área de drenagem de 458 km², dos quais cerca de 70% estão localizados no Planalto de Poços de Caldas (DMAE, 2008). O ribeirão das Antas, principal curso da sub-bacia, tem como afluente principal o ribeirão Cipó na margem esquerda,



e os Ribeirões das Vargens e de Poços na margem direita, que juntos formam o exutório da bacia. Após a confluência do ribeirão das Antas com o ribeirão dos Poços, ao norte da área urbana de Poços de Caldas, é formado o rio Lambari, que deságua no rio Pardo, próximo à divisa com o Estado de Minas Gerais.

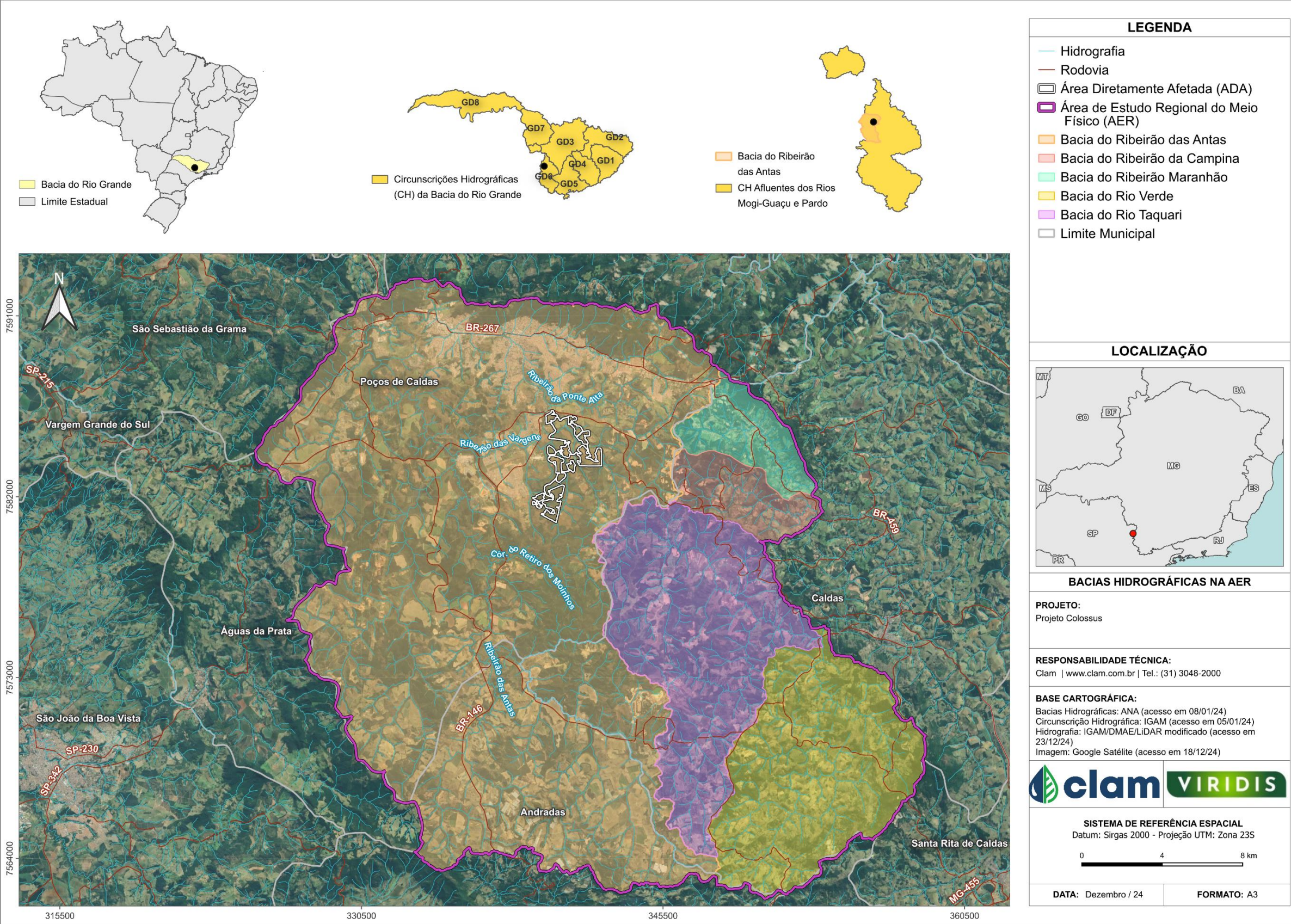


Figura 59 Área de Estudo Regional em relação às bacias hidrográficas



6.1.10.1.2. Área de Estudo Local

A Área de Estudo Local (AEL) engloba a sub-bacia do ribeirão das Vargens, onde a Área Diretamente Afetada (ADA) do Projeto Colossus se insere, além da sub-bacia do córrego do Retiro dos Moinhos, a sul da ADA, e parte da sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta, a norte da ADA, sendo que as três sub-bacias são afluentes da margem direita do ribeirão das Antas. A porção sudeste da AEL engloba ainda parte da sub-bacia do rio Taquari, afluente do rio Verde, como mostra o mapa da Figura 59.

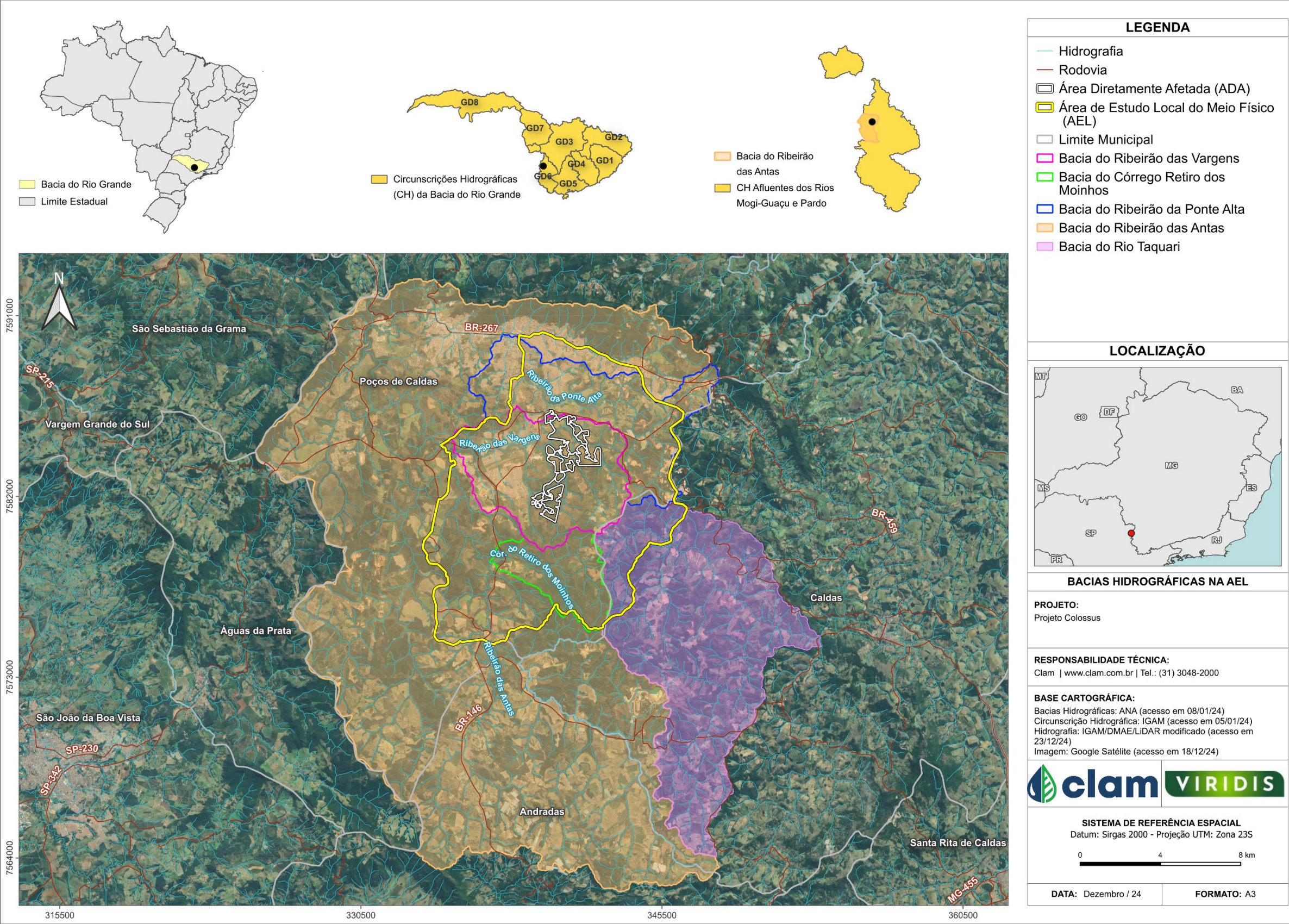
Enquadramento dos Cursos d'Água

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, conceitua o enquadramento das águas superficiais como sendo a classe de qualidade da água a ser mantida ou alcançada em um trecho (segmento) de um corpo de água (rio ou lago) ao longo do tempo.

Quanto as normativas que tratam do assunto existem a nível federal, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005; e a nível estadual, Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08, de 21 de novembro de 2022. Ambas dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

Por meio do acesso às informações disponibilizadas pelo IGAM no Plano Diretor de Recursos Hídricos dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (IGAM, 2010), até o momento da elaboração deste estudo, não havia sido aprovada legislação que versasse sobre o enquadramento oficial dos cursos d'água pertencentes à bacia, onde o Projeto Colossus se insere. Logo, neste estudo serão considerados os limites vigentes para a classe 2, estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08, de 21 de novembro de 2022, seguindo orientações do art. 47 da Resolução CONAMA nº 357/2005.

Art. 47 – Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.





6.1.10.2. Hidrologia

6.1.10.2.1. Área de Estudo Regional

6.1.10.2.1.1. Metodologia

Para a AER, a caracterização fisiográfica foi realizada com base na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas, onde a ADA do Projeto Colossus se insere. O processo de caracterização fisiográfica, se deu a partir da caracterização geométrica, da caracterização da rede de drenagem da bacia e do relevo da bacia.

A geometria da bacia, foi obtida por meio da aplicação de equações geométricas específicas para cada parâmetro físico. As características da rede de drenagem foram calculadas a partir da aplicação de técnicas de geoprocessamento, realizados na calculadora de campo, utilizando como base os dados vetoriais de hidrografia e bacias hidrográficas da base de dados do IBGE e ANA.

A obtenção das características de relevo, foi realizada por meio de ferramentas integradas ao Qgis 3.18.3-Zurich, mais especificamente ao fluxo integrado contidos no pacote GDAL "Geospatial Data Abstraction Library". Dessa forma, com o intuito de conhecer a dinâmica hídrica da bacia, foram avaliados os seguintes parâmetros: o índice ou coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f), densidade de drenagem (D_d) e tempo de concentração (T_c). A seguir são apresentadas as fórmulas utilizadas para o cálculo de cada um dos parâmetros.

Índice ou Coeficiente de Compacidade (K_c)

O Índice de Compacidade é definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de área igual à da bacia. O desenvolvimento matemático dessa relação resulta na seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \times \left(\frac{P}{A^{0,5}} \right)$$

Em que,

K_c : Índice de compacidade;

P : Perímetro da bacia hidrográfica;

A : Área da bacia hidrográfica.

O Coeficiente de Compacidade é a mensuração do grau de irregularidade da bacia, sendo assim para uma bacia circular ideal é igual a 1. Desde que outros fatores não interfiram, quanto mais próximo da unidade for o índice de compacidade maior será a propensão à observação de picos acentuados de vazões nos hidrogramas, ou seja, maior a tendência de que ocorram enchentes.

Fator de Forma (K_f)

O Fator de Forma (K_f) é a relação entre a área de drenagem da bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso d'água principal, desde a foz até a cabeceira (nascente) mais distante, próxima do divisor de águas (topográfico) da bacia. Podendo ser calculado como:



$$K_f = \left(\frac{A}{L^2} \right)$$

Em que,

K_f : Fator de forma;

L : Comprimento do curso d'água principal (km);

A : Área da bacia hidrográfica.

O K_f relaciona a forma da bacia com um retângulo. Numa bacia estreita e longa, a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo, ao mesmo tempo, toda sua extensão, é menor que em bacias largas e curtas. Desta forma, para bacias com semelhantes dimensões de área, será menos sujeita às enchentes aquela que possuir menor fator de forma.

Densidade de Drenagem (D_d)

A densidade de drenagem (D_d) é a relação entre o somatório dos comprimentos dos cursos d'água de uma bacia (L_t) e sua área total (A). Este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem, ou seja, da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge o rio, incrementando o efeito de enchentes a jusante da bacia. É obtida pela seguinte equação:

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Em que,

L_t : Somatório dos comprimentos dos cursos de água na bacia hidrográfica (km);

A : Área da bacia hidrográfica (km²).

O resultado da D_d permite realizar uma classificação qualitativa em relação à drenagem da bacia, conforme as métricas apresentadas na Tabela 52.

Tabela 52 Classificação qualitativa da densidade de drenagem

Intervalo D_d (km/km ²)	Classificação
$\leq 0,5$	Bacia com drenagem pobre.
$[0,5 - 1,5[$	Bacia com drenagem regular.
$[1,5 - 2,5[$	Bacia com drenagem boa.
$[2,5 - 3,5[$	Bacia com drenagem muito boa.
$\geq 3,5$	Bacia com drenagem excepcionalmente bem drenada

Fonte: PRIME, 2021

Tempo de Concentração (T_c)

O Tempo de Concentração (t_c) é a métrica para quantificar o período necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial numa seção considerada, ou ainda, é o tempo em que a gota que



se precipita no ponto mais distante da seção considerada leva para atingir essa seção. Pela fórmula de Kirpich, o tempo de concentração de uma bacia, em minutos, é dado pela seguinte equação:

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

Em que,

t_c : Tempo de concentração (min);

L : Comprimento do curso d'água principal (km);

ΔH : Diferença de nível entre o ponto mais a montante da bacia e seu exutório na foz (m).

6.1.10.2.1.2. Resultados

O valor do coeficiente de compacidade (K_c) obtido foi de 1,69, para a sub-bacia hidrográfica ribeirão da Antas. Uma vez que os valores para a bacia foram acima de 1,5, sugere-se que a bacia não é propensa a grandes enchentes (Horton, 1932).

Entretanto, fazendo a avaliação em conjunto com o K_c , têm-se que o fator de forma (K_f) foi de 0,19 para a sub-bacia do ribeirão da Antas. Numa escala onde $K_c=1$ representa uma bacia sujeita a enchente e menor que 0,5 indica uma bacia não sujeita a enchentes, quanto menor for o K_f , mais comprida é a bacia e, portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o Tempo de Concentração (T_c) é maior. Portanto, o K_f corrobora o índice anterior, indicando que a sub-bacia não é sujeita a enchentes. O T_c da sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Antas é de 7,44 horas.

A densidade de drenagem (D_d) foi de 1,67 Km/Km² para a sub-bacia do ribeirão das Antas. O valor de Densidade de drenagem encontrado indica que a bacia possui boa drenagem. Segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem pode variar de 0,5 km/km² em bacias de drenagem pobre a 3,5 km/km² em bacias de drenagem rica.

Na Tabela 53 são apresentados os dados fisiográficos da sub-bacia do ribeirão das Antas.

Tabela 53 Dados fisiográficos da bacia de contribuição da Área de Estudo Regional

Parâmetro	Sub-bacia do ribeirão das Antas	
	Resultados	Classificação
Área (km ²)	455,92	-
Perímetro (km)	128,86	-
Índice ou Coeficiente de Compacidade (K_c)	1,69	Não sujeita a grandes enchentes (formato mais ovalado)
Fator de Forma (K_f)	0,19	Não sujeito a enchentes
Densidade de Drenagem (D_d) (km/km ²)	1,67	Bacias com drenagem boa
Tempo de Concentração (T_c) (horas)	7,44	-



6.1.10.2.2. Área de Estudo Local

6.1.10.2.2.1. Metodologia

A caracterização fisiográfica em relação à AEL foi realizada com base nas sub-bacias mais próximas à ADA: sub-bacia do córrego do Retiro dos Moinhos, ribeirão das Vargens e ribeirão da Ponte Alta. O processo de caracterização fisiográfica, se deu a partir da caracterização geométrica, da caracterização da rede de drenagem da bacia e do relevo da bacia.

A geometria da bacia, foi obtida por meio da aplicação de equações geométricas específicas para cada parâmetro físico. As características da rede de drenagem foram calculadas a partir da aplicação de técnicas de geoprocessamento, realizados na calculadora de campo, utilizando como base os dados vetoriais de hidrografia e bacias hidrográficas da base de dados do IBGE e ANA.

A obtenção das características de relevo, foi realizada por meio de ferramentas integradas ao Qgis 3.18.3-Zurich, mais especificamente ao fluxo integrado contidos no pacote GDAL "Geospatial Data Abstraction Library". Dessa forma, com o intuito de conhecer a dinâmica hídrica da bacia, foram avaliados os seguintes parâmetros: o índice ou coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f), densidade de drenagem (D_d) e tempo de concentração (T_c). A seguir são apresentadas as fórmulas utilizadas para o cálculo de cada um dos parâmetros.

Índice ou Coeficiente de Compacidade (K_c)

O Índice de Compacidade é definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de área igual à da bacia. O desenvolvimento matemático dessa relação resulta na seguinte equação:

$$K_c = 0,29 \times \left(\frac{P}{A^{0,5}} \right)$$

Em que,

K_c : Índice de compacidade;

P : Perímetro da bacia hidrográfica;

A : Área da bacia hidrográfica.

O Coeficiente de Compacidade é a mensuração do grau de irregularidade da bacia, sendo assim para uma bacia circular ideal é igual a 1. Desde que outros fatores não interfiram, quanto mais próximo da unidade for o índice de compacidade maior será a propensão à observação de picos acentuados de vazões nos hidrogramas, ou seja, maior a tendência de que ocorram enchentes.

Fator de Forma (K_f)

O Fator de Forma (K_f) é a relação entre a área de drenagem da bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso d'água principal, desde a foz até a cabeceira (nascente) mais distante, próxima do divisor de águas (topográfico) da bacia. Podendo ser calculado como:

$$K_f = \left(\frac{A}{L^2} \right)$$



Em que,

K_f : Fator de forma;

L : Comprimento do curso d'água principal (km);

A : Área da bacia hidrográfica.

O K_f relaciona a forma da bacia com um retângulo. Numa bacia estreita e longa, a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo, ao mesmo tempo, toda sua extensão, é menor que em bacias largas e curtas. Desta forma, para bacias com semelhantes dimensões de área, será menos sujeita às enchentes aquela que possuir menor fator de forma.

Densidade de Drenagem (D_d)

A densidade de drenagem (D_d) é a relação entre o somatório dos comprimentos dos cursos d'água de uma bacia (L_t) e sua área total (A). Este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem, ou seja, da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge o rio, incrementando o efeito de enchentes a jusante da bacia. É obtida pela seguinte equação:

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Em que,

L_t : Somatório dos comprimentos dos cursos de água na bacia hidrográfica (km);

A : Área da bacia hidrográfica (km²).

O resultado da D_d permite realizar uma classificação qualitativa em relação à drenagem da bacia, conforme as métricas apresentadas na Tabela 54.

Tabela 54 Classificação qualitativa da densidade de drenagem

Intervalo D_d (km/km ²)	Classificação
$\leq 0,5$	Bacia com drenagem pobre.
$[0,5 - 1,5[$	Bacia com drenagem regular.
$[1,5 - 2,5[$	Bacia com drenagem boa.
$[2,5 - 3,5[$	Bacia com drenagem muito boa.
$\geq 3,5$	Bacia com drenagem excepcionalmente bem drenada

Fonte: PRIME, 2021

Tempo de Concentração (T_c)

O Tempo de Concentração (t_c) é a métrica para quantificar o período necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial numa seção considerada, ou ainda, é o tempo em que a gota que se precipita no ponto mais distante da seção considerada leva para atingir essa seção. Pela fórmula de Kirpich, o tempo de concentração de uma bacia, em minutos, é dado pela seguinte equação:



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

Em que,

t_c : Tempo de concentração (min);

L : Comprimento do curso d'água principal (km);

ΔH : Diferença de nível entre o ponto mais a montante da bacia e seu exutório na foz (m).

6.1.10.2.2.2. Resultados

O valor do coeficiente de compacidade (K_c) obtido foi de 2,13 para a sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta (confluência com córrego da Serra), 1,36 sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens e 1,53 para a sub-bacia hidrográfica do córrego Retiro dos Moinhos. Uma vez que os valores para as bacias do ribeirão da Ponte Alta e do córrego Retiro dos Moinhos foram acima de 1,5, sugere-se que não são propensas a grandes enchentes, por possuírem um formato mais ovalado, alongado (Horton, 1932). A sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens apresentou o valor K_c de 1,36, classificando-se na faixa entre 1,25 e 1,50, representando, segundo Horton, uma tendência mediana a grandes enchentes

Entretanto, fazendo a avaliação em conjunto com o K_c , têm-se o fator de forma (K_f), que foi de 0,13 para a sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta (confluência com córrego da Serra), 0,25 para a sub-bacia do ribeirão das Vargens e 0,18 para a sub-bacia do córrego Retiro dos Moinhos. Quanto menor for o K_f , mais comprida é a bacia e, portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o Tempo de Concentração (T_c) é maior. Portanto, o K_f corrobora o índice anterior, indicando que as sub-bacias não são sujeitas ou possuem tendência mediana a enchentes. O T_c do ribeirão da Ponte Alta (confluência com o córrego da Serra) é de 2,93 horas, do ribeirão das Vargens é de 2,26 horas e do córrego Retiro dos Moinhos é de 1,55 horas.

A densidade de drenagem (D_d) foi de 1,69 Km/Km² para a sub-bacia do córrego Retiro dos Moinhos, de 1,58 Km/Km² para a sub-bacia do ribeirão das Vargens e 1,73 Km/Km² para a sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta (confluência com córrego da Serra). Os valores de Densidade de drenagem encontrados indicam que as bacias possuem boa drenagem. Segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem pode variar de 0,5 km/km² em bacias de drenagem pobre a 3,5 km/km² em bacias de drenagem rica.

Na Tabela 55 são apresentados os dados fisiográficos das sub-bacias contidas na AEL, pertencentes à sub-bacia do ribeirão das Antas.

Tabela 55 Dados fisiográficos das bacias de contribuição da Área de Estudo Local

Parâmetro	Sub-bacia do córrego do Retiro dos Moinhos	Sub-bacia do ribeirão das Vargens	Sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta	Classificação
Área (km ²)	16,23	42,08	39,74	-



Parâmetro	Sub-bacia do córrego do Retiro dos Moinhos	Sub-bacia do ribeirão das Vargens	Sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta	Classificação
Perímetro (km)	22,02	31,43	48,03	-
Índice ou Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,53 ¹	1,36 ²	2,13 ¹	¹ Bacia alongada e não sujeita a grandes enchentes ² Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
Fator de Forma (Kf)	0,18	0,25	0,13	Não sujeito a enchentes
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km²)	1,69	1,58	1,73	Bacias com drenagem boa
Tempo de Concentração (Tc) (horas)	1,55	2,26	2,93	-

A análise dos parâmetros morfométricos da sub-bacia regional evidencia índices mais favoráveis à não ocorrência de grandes enchentes, característica esta atribuída principalmente à sua maior extensão territorial e configuração morfométrica. Entretanto, faz-se necessário considerar que as características do uso e ocupação do solo, bem como o progressivo processo de impermeabilização, constituem variáveis determinantes na dinâmica hidrológica local.

As sub-bacias inseridas na Área de Estudo Local (AEL) localizam-se próximas a zonas predominantemente residenciais que apresentam expressiva expansão urbana. Este processo de urbanização intensifica a impermeabilização do solo, resultando em aumento do escoamento superficial durante eventos de precipitação intensa.

Ressalta-se que a sub-bacia do ribeirão das Vargens, situada na região próxima à foz da bacia regional, especificamente no bairro Jardim Kennedy, caracteriza-se pela presença de núcleos habitacionais de interesse social e atividade minerária. Esta configuração espacial contribui para a elevação dos índices de impermeabilização do solo na área em questão.

A análise dos parâmetros morfométricos indica que a bacia apresenta características favoráveis quanto à sua capacidade de drenagem. No entanto, embora os indicadores sugiram baixa suscetibilidade a inundações, Brum *et al.* (2020) evidenciam que as condições de declividade, em conjunto com os padrões de uso e ocupação do solo, podem constituir fatores determinantes para a ocorrência de eventos de inundação, os quais afetam predominantemente as áreas de ocupação adjacentes aos cursos d'água.

Sendo assim, avaliando a situação descrita no Plano Diretor da cidade de Poços de Caldas, de 2008, é evidente que a área compreendida pelo bairro Kennedy é o principal ponto crítico de inundação do município, visto que a ocorrência de cheias é alta. Nos trechos superiores da bacia do ribeirão das Vargens predominam áreas de agricultura com manchas de cobertura vegetal, enquanto no trecho inferior, a jusante da avenida Alcoa até a foz da bacia, no ribeirão das Antas, predomina a ocupação urbana. Segundo o DMAE (2008), o bairro Jardim Kennedy possui alta taxa de ocupação, e é caracterizado por baixa declividade e largas planícies laterais, além da constante expansão do bairro com a construção de residências em áreas inundáveis, o que favorece a ocorrência de inundação. Tais fatores somados à obstruções no canal do ribeirão das Vargens resultam numa frequência maior de



cheias na parte baixa da bacia, devido à elevada taxa de impermeabilização do solo causada pela ocupação urbana.

6.1.10.3. Usos das Águas Superficiais

6.1.10.3.1. Área de Estudo Regional

6.1.10.3.1.1. Metodologia

A quantificação dos usos outorgados na Área de Estudo Regional (AER) foi realizada utilizando as informações sobre as concessões de outorga disponibilizadas no banco de dados na Plataforma IDE-Sisema, que engloba todo o Estado de Minas Gerais, por meio das camadas “Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos”, “Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos (IGAM)” e “Outorgas Federais de Direito de Uso de Recursos Hídricos (ANA)”. O *download* dos arquivos foi realizado no dia 16/08/2024, em formato *shapefile*, o que possibilitou a manipulação de dados via Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Para a análise de dados as informações foram filtradas pelo tipo de outorga (superficial ou subterrânea), sendo desconsiderados os usos subterrâneos no presente tópico. Foram identificados os tipos de consumo, tipos de uso da água, finalidades e vazões autorizadas para a AER.

Destaca-se que não foram levadas em consideração as datas de validade das autorizações, sendo utilizados todos os registros disponíveis na Plataforma IDE-Sisema. Na Figura 61 estão demonstradas as localizações dos pontos dos usos outorgados.

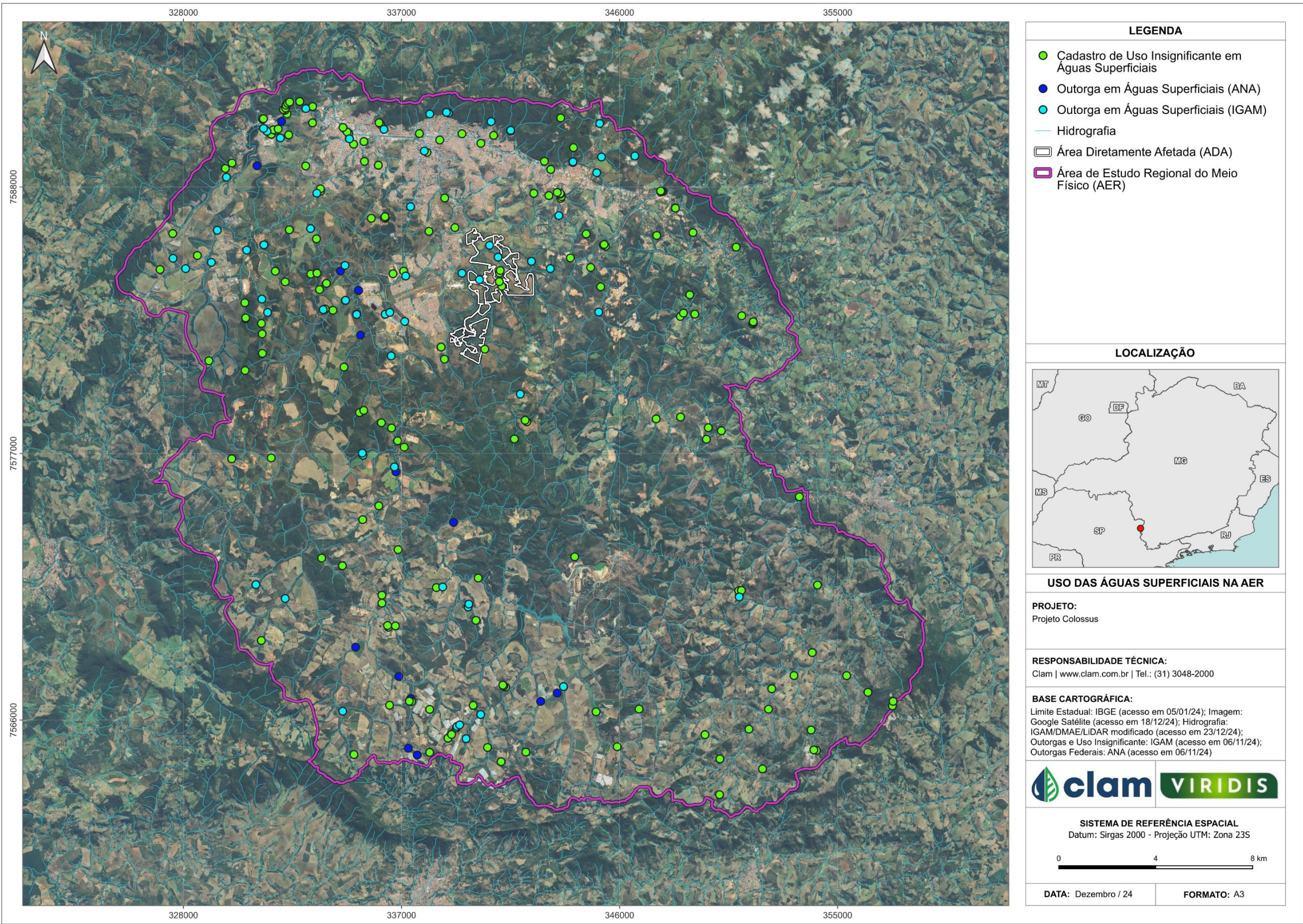


Figura 61 Localização dos usos superficiais autorizados na AER

6.1.10.3.1.2. Resultados

Os usos outorgados no âmbito federal, contidas na AER, são no total 18 autorizações liberadas pela ANA, sendo 15 para captação e 3 para lançamento, como pode ser observado na Figura 62.

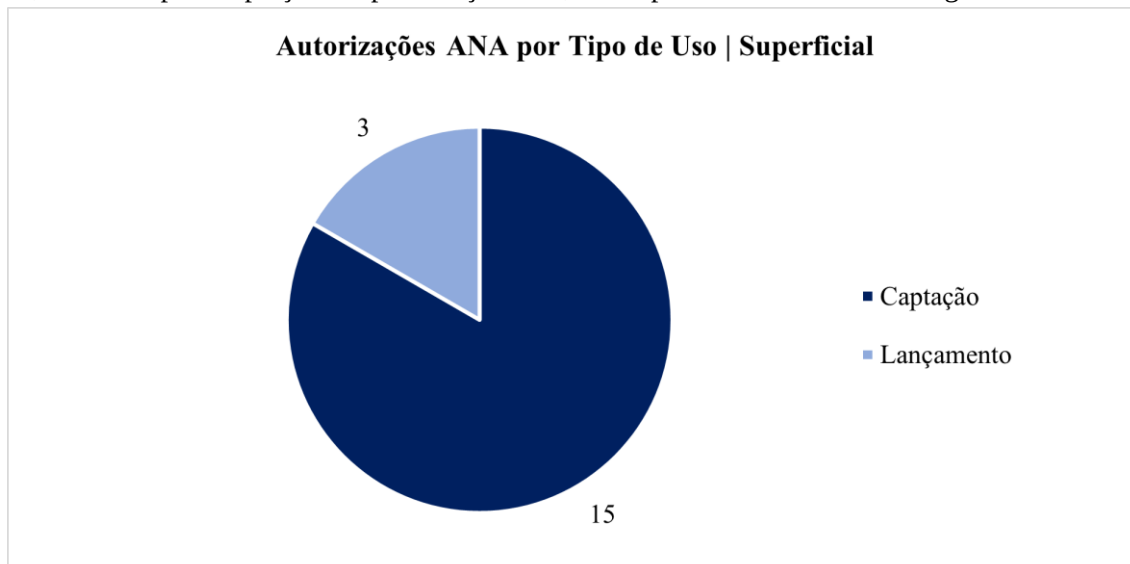


Figura 62 Autorizações de domínio ANA na AER

As autorizações do IGAM, em âmbito estadual, somam 250 no total, com 66 outorgas e 184 usos insignificantes (Figura 63). As autorizações de usos consuntivos, que envolvem o consumo direto da água são de Tipo/Modo de uso para “Captação ou derivação em um corpo de água” totalizando 165 certificados, no somatório para ambos os tipos, sendo 46 outorgas e 119 usos insignificantes.

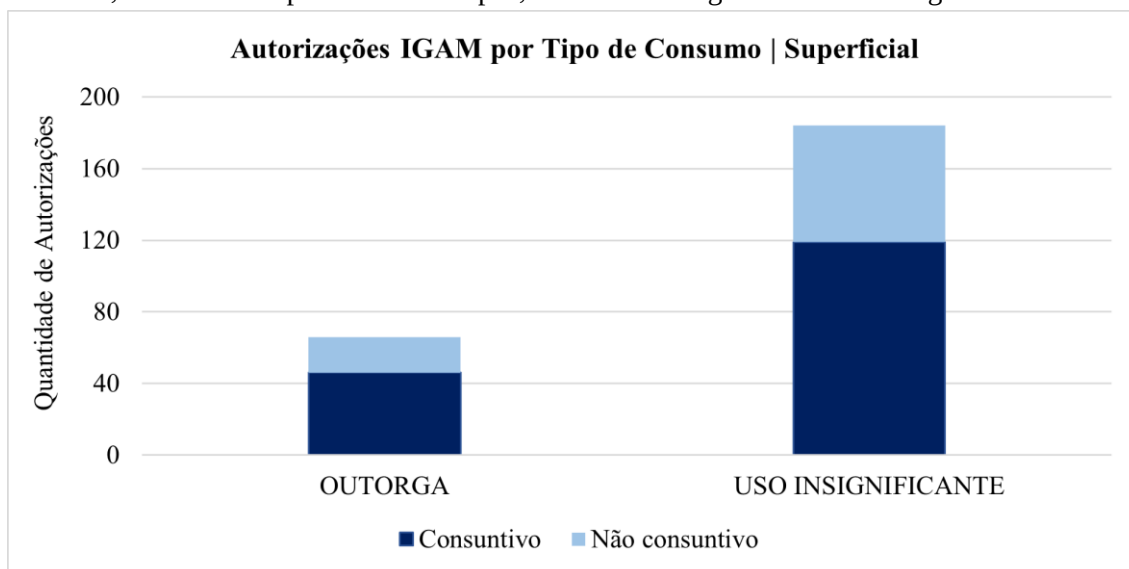


Figura 63 Autorizações concedidas pelo IGAM na AER

Já os usos não consuntivos do IGAM são 85 autorizações no total, sendo 20 de outorgas e 65 de uso insignificante. Os Tipos/Modo de uso são para “Construção de barramento ou açude”, sendo o Tipo/modo de uso predominante com 65 autorizações para uso insignificantes e 8 outorgas;

“Retificação, canalização ou obras de drenagem” com 5 autorizações de outorga; “Construção de dique ou desvio em corpo de água” com 3; “Aproveitamento de potencial hidroelétrico” e “Outras intervenções que alterem regime, quantidade ou qualidade dos corpos de água” com 2 autorizações, podendo ser observados no gráfico da Figura 64.

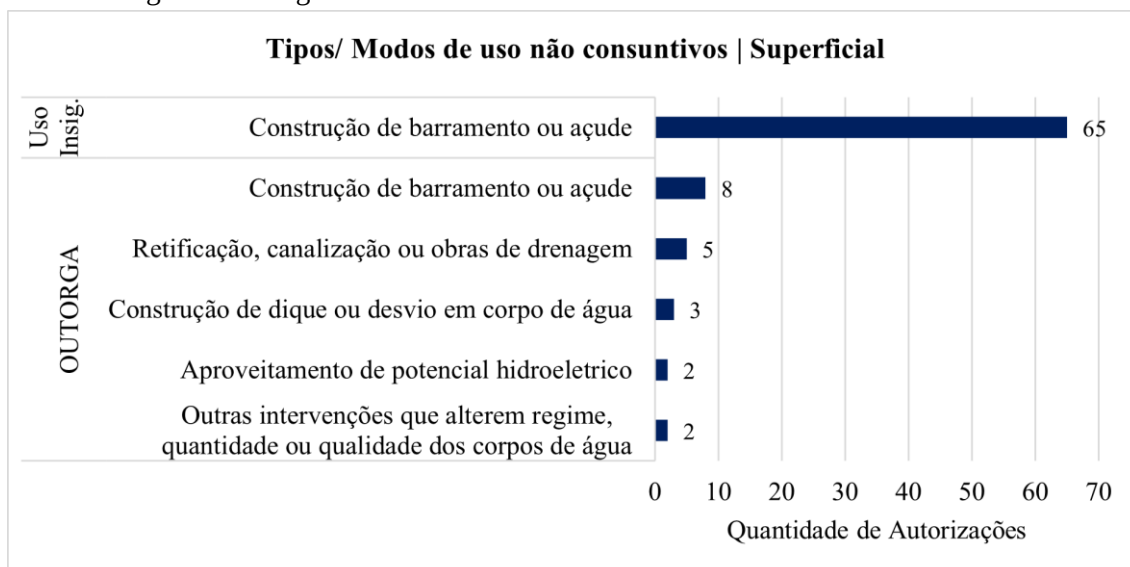


Figura 64 Usos não consuntivos IGAM quanto ao tipo/modo de uso

Analisando as finalidades de uso para captação, a “irrigação” é o uso com maior número de autorizações (11) de domínio federal (ANA) para captação, estando presente também “indústria” (2), “esgotamento sanitário” (2) e a categoria “outros” (3). Das 3 permissões para lançamento citadas anteriormente, 2 são para “esgotamento sanitário” e 1 para “indústria” (Figura 65).

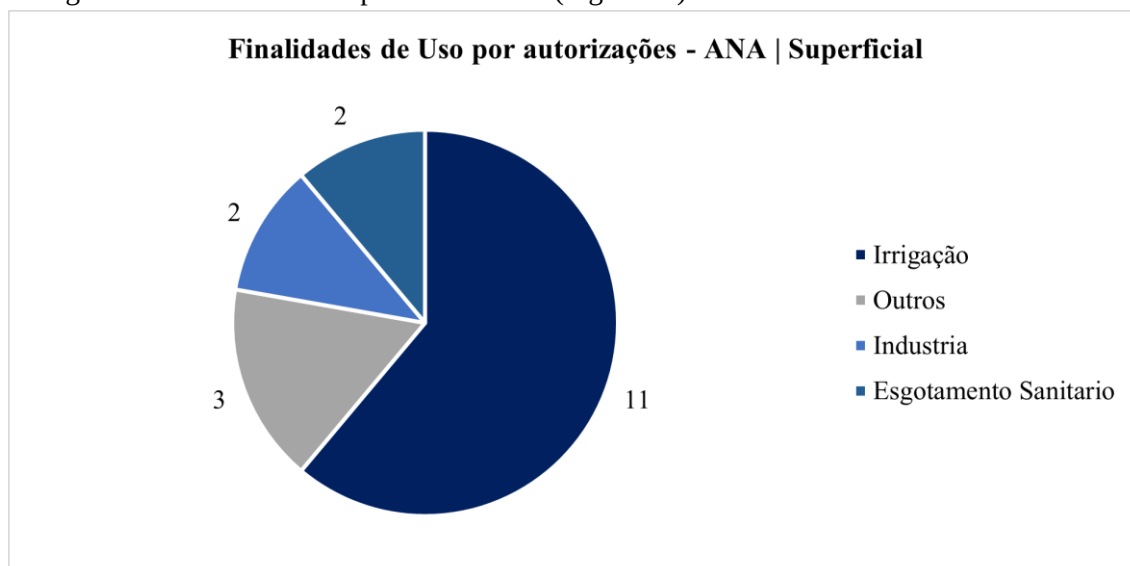


Figura 65 Finalidades das autorizações concedidas pela ANA

Já para as finalidades autorizadas pelo IGAM, além da categoria “outros”, a “irrigação” foi predominante, sendo citada em 72 dos 165 documentos para usos consuntivos; estando em sequência a “dessedentação animal”, com 40 citações; e “consumo humano” e “indústria” com citação em 23



autorizações cada uma. Uma vez que um certificado pode conter mais de uma finalidade, o gráfico da Figura 66 demonstra a quantidade de citações de cada tipologia, na totalidade de autorizações consuntivas.

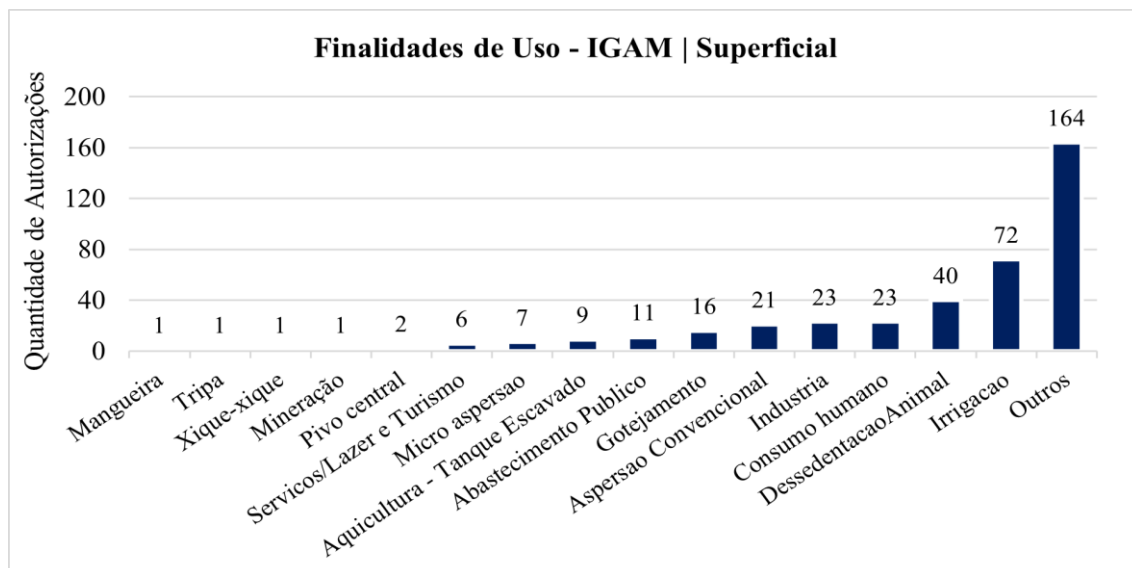


Figura 66 Finalidades de usos consuntivos IGAM

Com relação à demanda hídrica, a Tabela 56 retrata o somatório das vazões máximas mensais autorizadas para cada órgão regulador na AER. Portanto, para as autorizações da ANA, o somatório das vazões máximas mensais totaliza 0,86 m³/s e, para o IGAM, 1,11 m³/s, sendo no total 1,97 m³/s em toda a AER para ambos os órgãos.

Tabela 56 Vazões autorizadas por cada órgão regulador na AER

Órgão	Quantidade de Autorizações (uso consuntivo)	Vazões (m³/s)
ANA	18	0,86
IGAM	250	1,11
Total	268	1,97

Do total de 0,86 m³/s autorizadas pela ANA, a Irrigação é a finalidade com maior porção, sendo de 0,50 m³/s, que representa 58% do volume total, como pode ser visto na Figura 67. Importante destacar que a autorização de captação para a finalidade de Irrigação cedida pela ANA com o maior volume outorgado é captada do curso d'água denominado de ribeirão das Antas, com a vazão máxima mensal de 0,12 m³/s e localizada há 5,5 km a sudoeste da ADA.

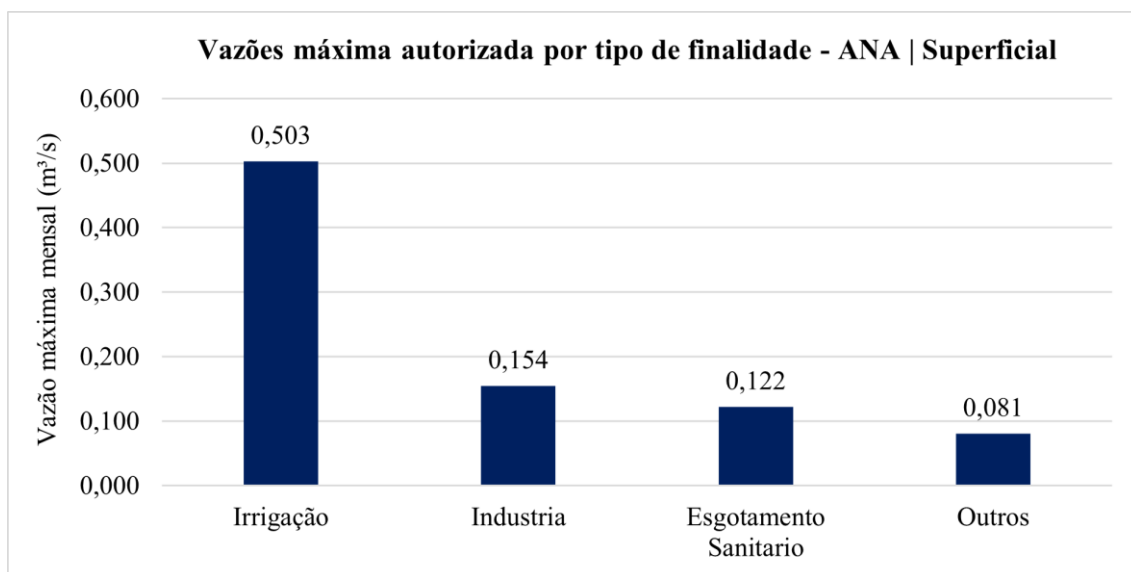


Figura 67 Vazões máxima autorizada pela ANA por tipo de finalidade na AER

Em relação as vazões autorizadas pelo IGAM (1,11 m³/s), destaca-se a finalidade de "abastecimento público", com a vazão máxima mensal de 0,54 m³/s (Figura 68), sendo o ponto de captação com maior vazão individual (0,43 m³/s) no ribeirão Cipó, localizado a cerca de 5 km a oeste da ADA. Dessa forma, apesar da finalidade de Irrigação ser a mais citada nas autorizações, é a segunda maior vazão autorizada (0,32 m³/s) e o ponto com a maior vazão individual (0,1 m³/s) faz a captação em recurso hídrico sem nome, localizado a mais de 15 km ao sul da ADA.

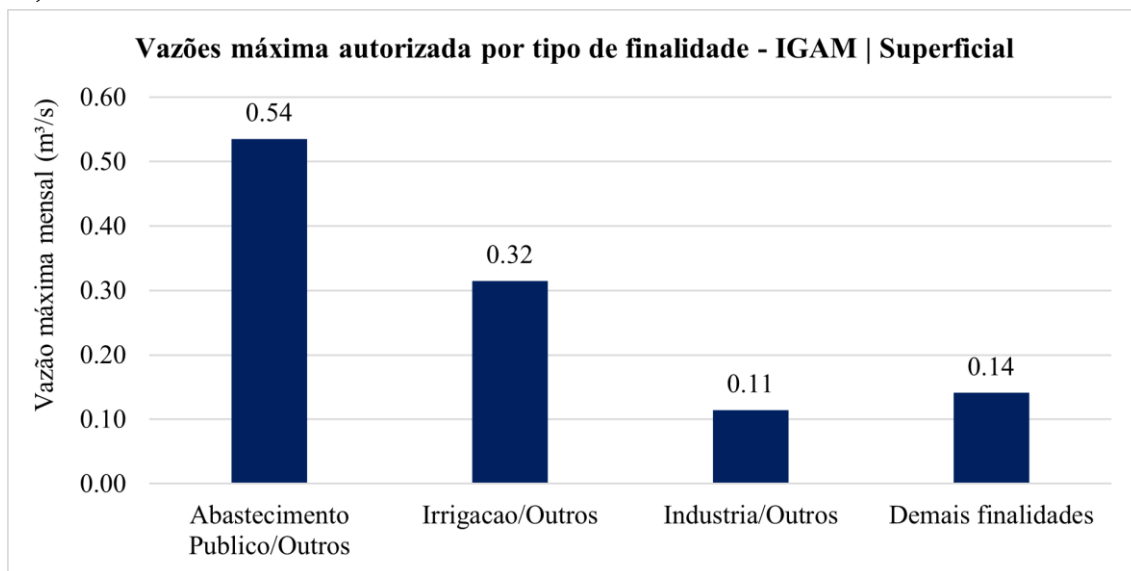


Figura 68 Vazões máxima autorizada pela IGAM por tipo de finalidade na AER

Os dados dos usos outorgados superficiais identificados junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e à Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) na AER, são apresentados no **Apêndice 5**.



6.1.10.3.2. Área de Estudo Local

6.1.10.3.2.1. Metodologia

Para quantificação dos usos outorgados na Área de Estudo Local (AEL), foram obtidas as informações sobre as concessões de outorga disponibilizadas no banco de dados da Plataforma IDE-Sisema, que engloba todo o Estado de Minas Gerais, por meio das camadas “Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos”, “Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos (IGAM)” e “Outorgas Federais de Direito de Uso de Recursos Hídricos (ANA)”. O *download* dos arquivos foi realizado no dia 16/08/2024, em formato *shapefile*, o que possibilitou a manipulação de dados via Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Para a análise de dados as informações foram filtradas pelo tipo de outorga (superficial ou subterrânea), sendo desconsiderados os usos subterrâneos no presente tópico. Foram identificados os tipos de consumo, tipos de uso da água, finalidades e vazões autorizadas para a AEL.

Destaca-se que não foram levadas em consideração as datas de validade das autorizações, sendo utilizados todos os registros disponíveis na Plataforma IDE-Sisema. Na Figura 69 estão demonstradas as localizações dos pontos dos usos outorgados.

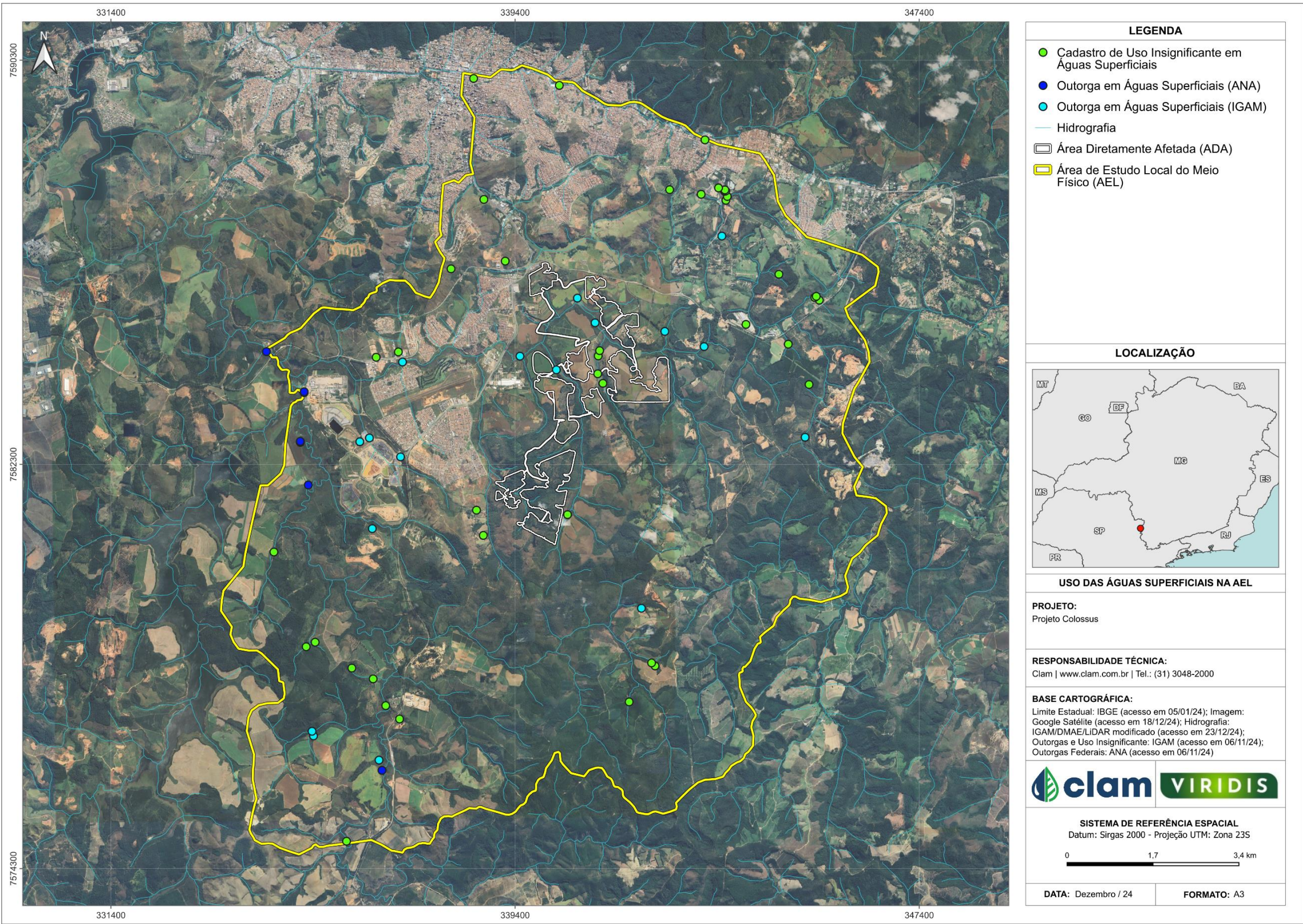


Figura 69 Localização dos usos superficiais autorizados na AEL

6.1.10.3.2.2. Resultados

Para os usos outorgados no âmbito federal, autorizados pela ANA, foram identificadas 6 autorizações, sendo 4 para captação e 2 para lançamento, como demonstrado na Figura 70

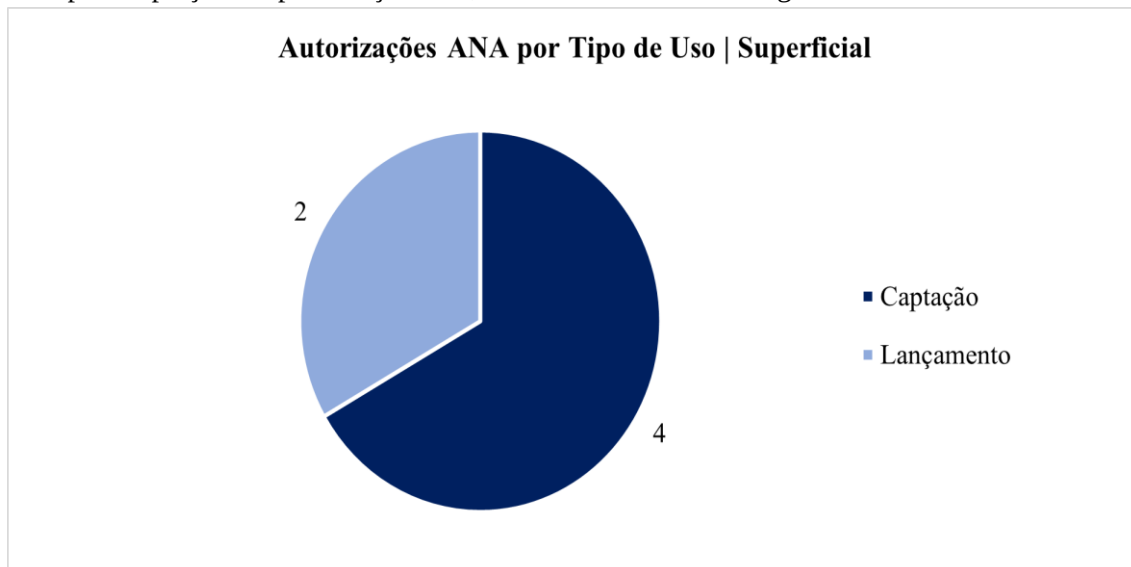


Figura 70 Autorizações de domínio ANA na AEL

Já as autorizações do IGAM, em âmbito estadual, são 60 no total, com 19 outorgas e 41 usos insignificantes (Figura 71). As autorizações de usos consuntivos, que envolvem o consumo direto da água são de Tipo/Modo de uso para “Captação ou derivação em um corpo de água” totalizando 37 certificados, no somatório para ambos os tipos, sendo 12 outorgas e 25 usos insignificantes.

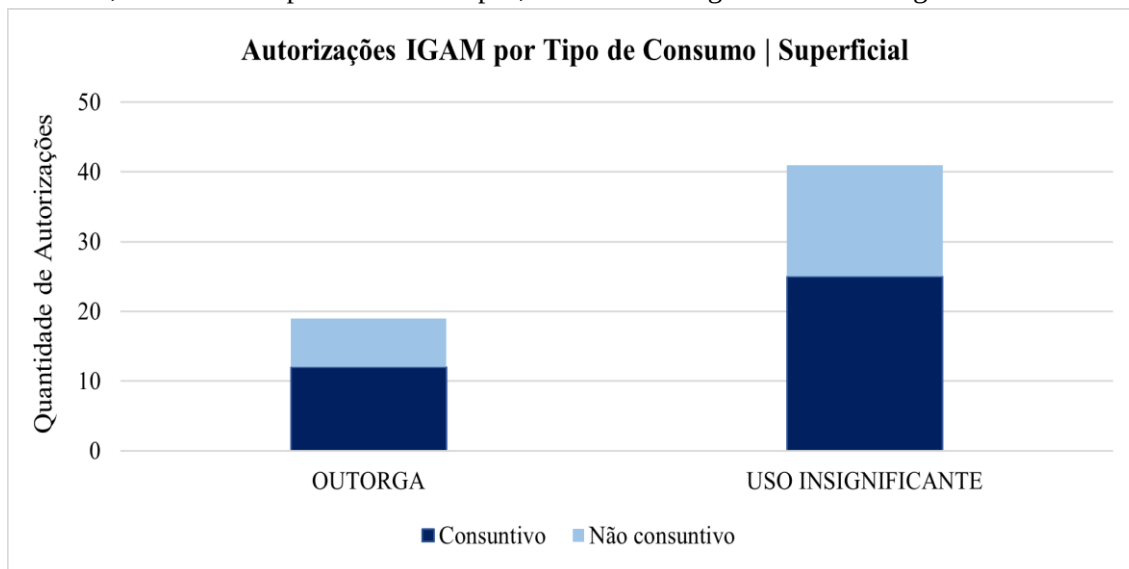


Figura 71 Autorizações concedidas pelo IGAM na AEL

Já os usos não consuntivos do IGAM são 23 autorizações no total, sendo 7 de outorgas e 16 de uso insignificante. Os tipos/mo de uso são, em predominância, para “Construção de barramento ou açude” com 16 certificados de uso insignificante e 3 de outorgas, “Construção de dique ou desvio em corpo de



água” com 3 autorizações de outorga e para “Retificação, canalização ou obras de drenagem” com 1 autorização, podendo ser observado na Figura 72.

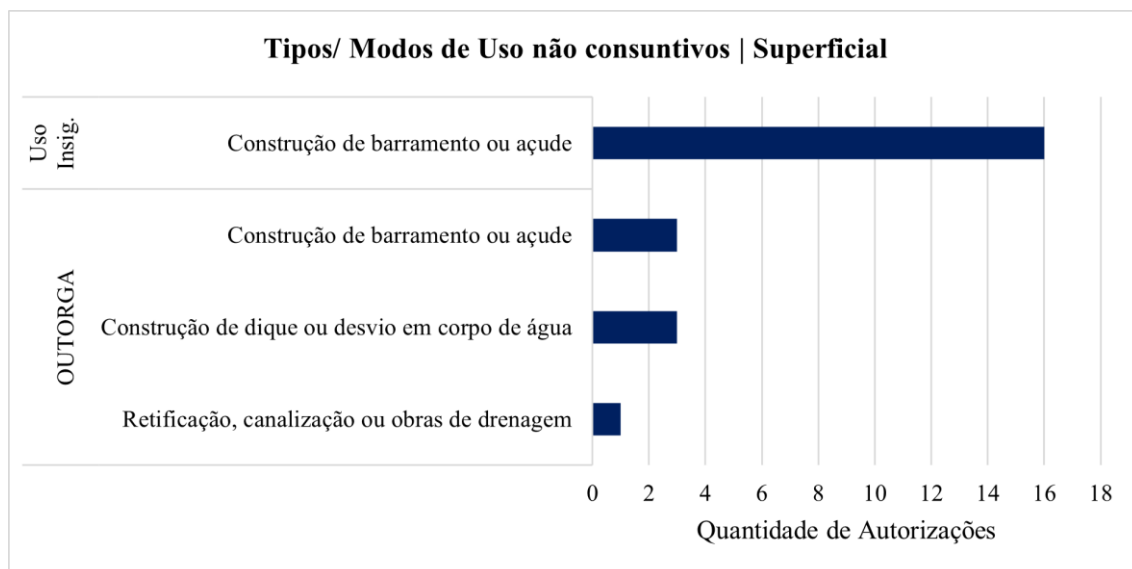


Figura 72 Usos não consuntivos IGAM quanto ao tipo/modo de uso

Com relação à demanda hídrica, a Tabela 57 retrata o somatório das vazões máximas mensais autorizadas para cada órgão regulador na AEL. Portanto, para as autorizações da ANA, o somatório das vazões máximas mensais totaliza 0,42 m³/s e, para o IGAM, 0,17 m³/s, sendo no total 0,59 m³/s em toda a AEL para ambos os órgãos.

Tabela 57 Vazões autorizadas para cada órgão regulador

Órgão	AEL	
	Quantidade de Autorizações (uso consuntivo)	Vazões (m³/s)
ANA	6	0,42
IGAM	60	0,17
Total	66	0,59

Analisando as finalidades de uso para captação, assim como para a AER, a “irrigação” na AEL é o uso com maior número de autorizações (3) de domínio federal (ANA), estando presente também a “indústria” (2) e “esgotamento sanitário” (1). Das 2 permissões para lançamento citadas anteriormente, 1 é para “esgotamento sanitário” e 1 para “indústria” (Figura 73).

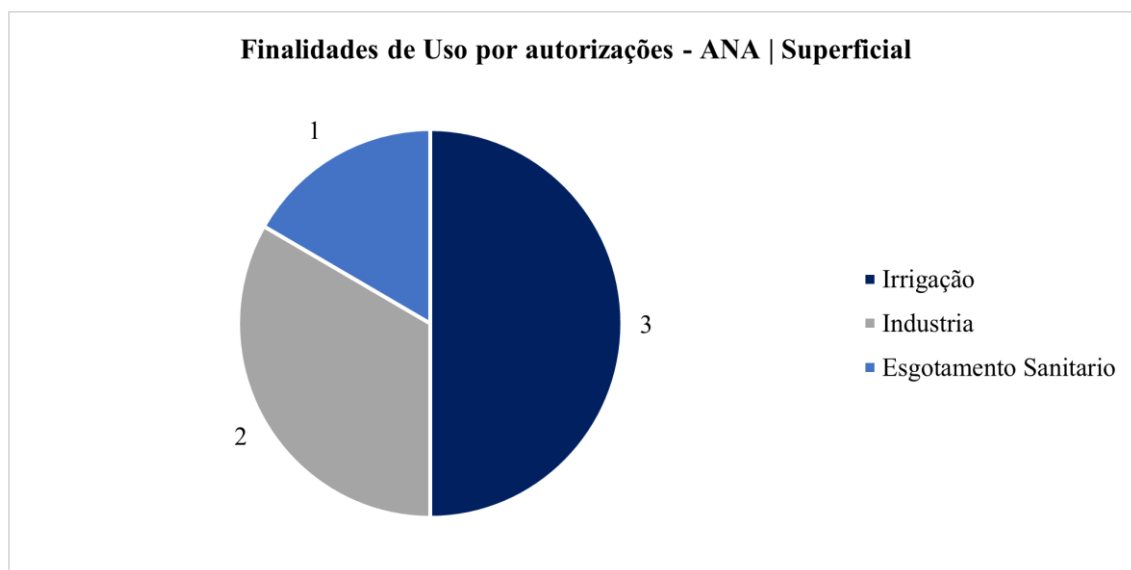


Figura 73 Finalidades das autorizações concedidas pela ANA

Com relações as vazões máximas autorizadas pela ANA, assim como o número de autorizações por finalidade a “irrigação” é a mais citada, essa finalidade tem o maior volume de uso da água outorgado, sendo de 0,17 m³/s (Figura 74). A autorização cedida pela ANA de captação para a finalidade de Irrigação com o maior volume outorgado é captada do curso d’água denominado de ribeirão das Antas, com a vazão máxima mensal de 0,12 m³/s e localizada há 5,5 km a sudoeste da ADA. A Indústria é a segunda finalidade com maior uso outorgado e o ponto de captação com maior vazão (0,1 m³/s) está localizado dentro de uma planta industrial de um empreendimento, há mais de 4,5 km da ADA do projeto. Como os usos outorgados da AEL estão contidos na AER, as outorgas citadas acima são as mesmas que apresentaram maior vazão na AER.

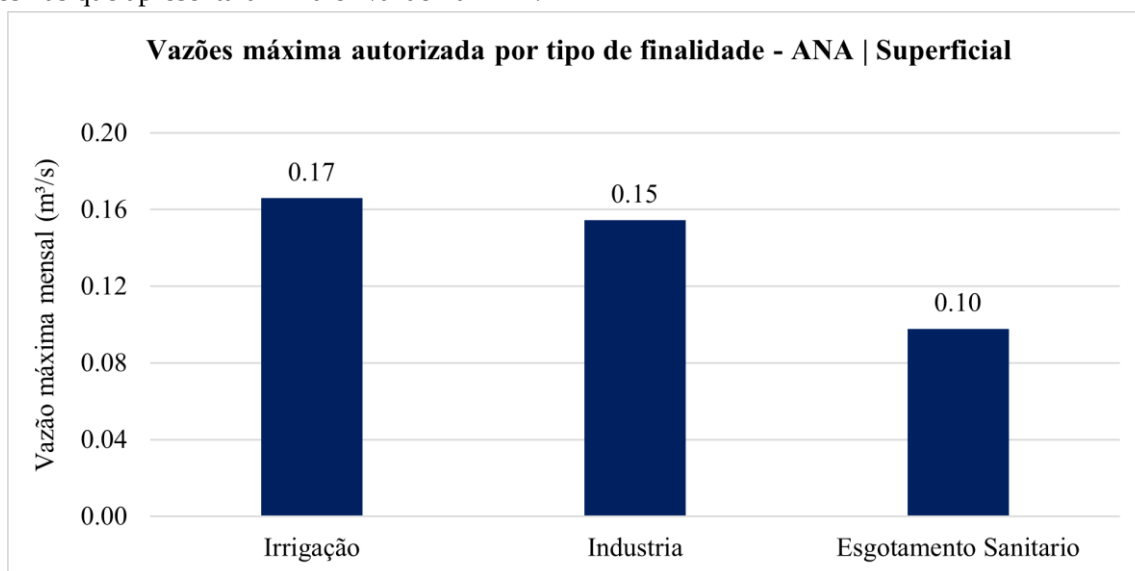


Figura 74 Vazões máxima autorizada pela ANA por tipo de finalidade na AER



Já para as finalidades autorizadas pelo IGAM, a “irrigação”, após a categoria “outros”, foi predominante citada em 19 dos 37 documentos para usos consuntivos, estando em sequência a “dessedentação animal” com 8 citações e a “indústria” e “aspersão convencional” com 7. Uma vez que um certificado pode conter mais de uma finalidade, o gráfico da Figura 75 demonstra a quantidade de citações de cada tipologia, na totalidade de autorizações consuntivas.

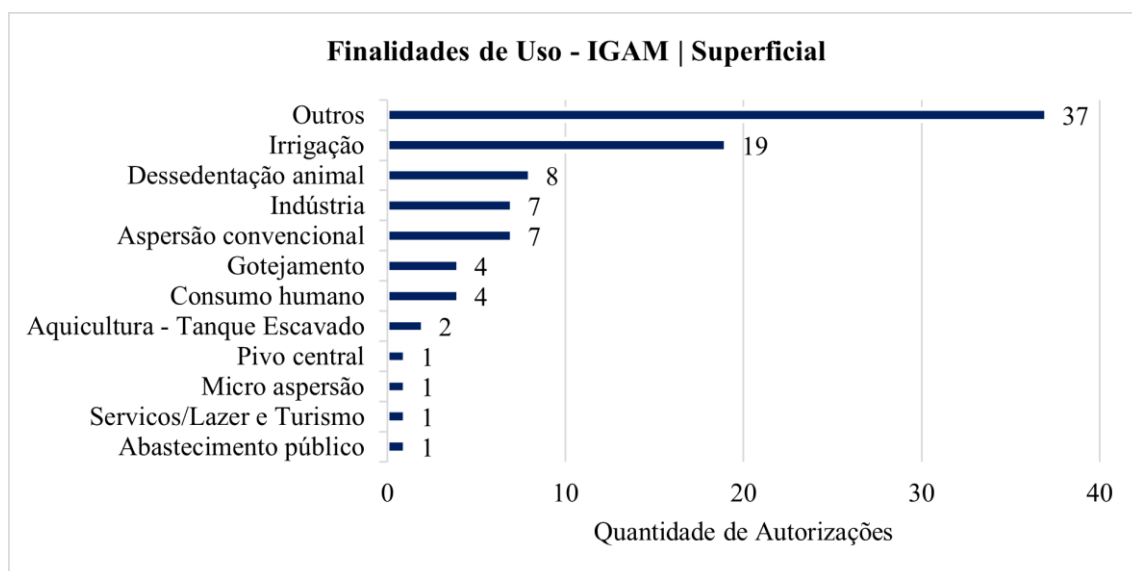


Figura 75 Finalidades de usos consuntivos IGAM

Em relação as vazões autorizadas pelo IGAM, destaca-se, assim como nas finalidades de uso, a de Irrigação/Outros com a vazão máxima mensal de 0,07 m³/s (Figura 76), sendo o ponto de captação com maior vazão individual (0,03 m³/s) no Ribeirão das Antas, localizado a aproximadamente 5 km a oeste da ADA.

Já o “abastecimento público”, que em relação a finalidade é citado apenas uma única vez, é a segunda maior vazão outorgada na AEL, com o valor de 0,06 m³/s, requerida pelo Departamento Municipal de tratamento de água, que está localizado a 2,5 km a oeste da ADA e capta a água do ribeirão Várzea de Caldas.

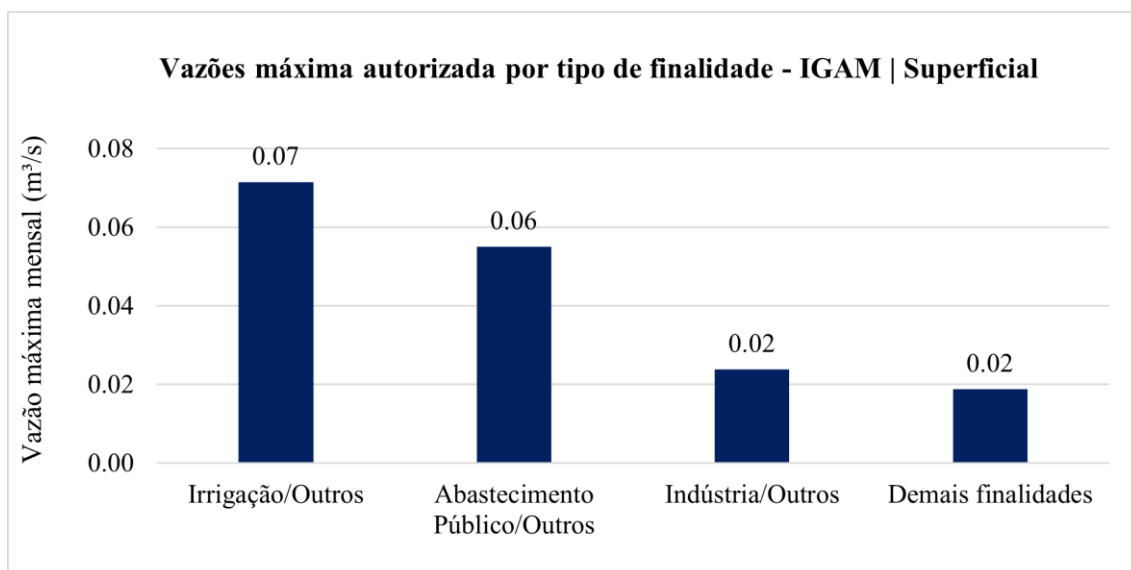


Figura 76 Vazões máxima autorizada pela IGAM por tipo de finalidade na AEL

Os dados dos usos outorgados superficiais identificados junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e à Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) na AEL, são apresentados no **Apêndice 6**.

6.1.11. Qualidade das Águas Superficiais

6.1.11.1. Caracterização da Qualidade das Águas Superficiais

6.1.11.1.1. Área de Estudo Regional

6.1.11.1.1.1. Metodologia

A qualidade das águas superficiais na Área de Estudo Regional (AER) foi analisada utilizando os dados disponibilizados pelo Programa Águas de Minas do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) que é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de Minas Gerais.

A partir da avaliação das estações de amostragem de qualidade das águas do IGAM, foi identificado uma estação inserida dentro da AER, portanto, na Tabela 58 estão os dados com o código da estação, as coordenadas e distância da ADA, e ainda, no mapa da Figura 77, pode ser visto a localização do ponto.

Tabela 58 Estação de monitoramento de águas superficiais

Código da estação	Coordenadas Geográficas Datum SIRGAS 2000, Fuso 23S		Distância aproximada à ADA
	Latitude	Longitude	
BG096	-21.929426	-46.585698	7,5 km ao nordeste da ADA

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é utilizado para avaliação da qualidade das águas nas estações, refletindo a contaminação das águas em decorrência da matéria orgânica e fecal, sólidos e nutrientes, e sumariza os resultados de nove parâmetros avaliados (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes,



pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, variação da temperatura da água, turbidez e sólidos totais). O IQA varia de 0 a 100, e, quanto menor seu valor, pior a qualidade da água, relacionada à degradação por despejos orgânicos e microbiológicos, sólidos e nutrientes. As faixas de referência deste índice, adotadas pelo IGAM, constam na Tabela 59.

Tabela 59 Níveis de Qualidade do IQA

NÍVEL DE QUALIDADE	FAIXA
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito Ruim	$0 < IQA \leq 25$

Fonte: IGAM (2021).

O Índice de Estado Trófico (IET) é uma ferramenta utilizada para classificar corpos d'água em diferentes níveis de trofia, avaliando sua qualidade com base no aumento de nutrientes. Esse enriquecimento pode levar ao crescimento excessivo de fitoplâncton (IGAM, 2024). O cálculo do IET utiliza equações cujas variáveis são as concentrações de fósforo total e clorofila-a, entretanto, é possível calcular o IET utilizando apenas uma das variáveis citadas e classificar o corpo d'água analisado conforme a variável empregada. A classificação do IET o IGAM utiliza a metodologia reportada pela CETESB (2008) baseada nos seguintes estados de trofia: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, sendo os limites para rios demonstrados na Tabela 60.

Tabela 60 Classificação do Estado Trófico – rios

Categoria Estado Trófico	P-total ($\mu\text{g/L}$)
Ultraoligotrófico	$P \leq 13$
Oligotrófico	$13 < P \leq 35$
Mesotrófico,	$35 < P \leq 137$
Eutrófico	$137 < P \leq 296$
Supereutrófico	$296 < P \leq 640$
Hipereutrófico	$P > 640$

Fonte: CETESB (2008).

Considerando os parâmetros tóxicos: arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre e cianeto total, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e zinco total, o IGAM (2024) caracteriza a Contaminação por Tóxicos (CT) como Baixa, Média ou Alta, como demonstrado na Tabela 61. Com base na Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 08/2022 os valores são comparados com os limites definidos nas classes de enquadramento dos corpos d'água. A classificação Baixa considera concentrações das substâncias tóxicas que excedam até 20% do limite da classe de enquadramento; a Média refere-se à faixa de concentração em que os limites estejam entre 20% e 100%; e a Alta são as concentrações que superam

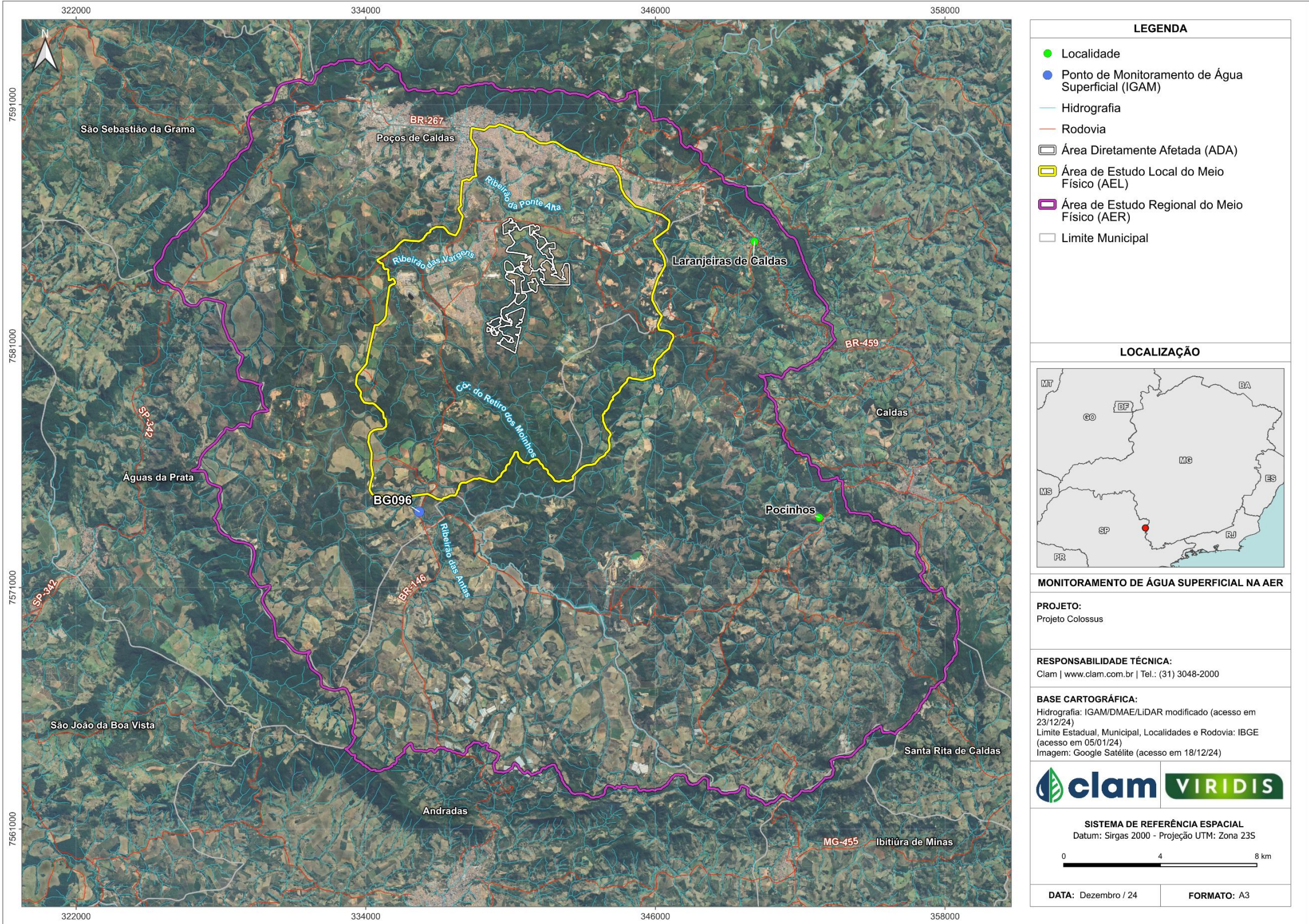


os 100% (IGAM, 2024).

Tabela 61 Faixas de classificação do Índice de Contaminação por Tóxicos

Concentração	Classificação
$\leq 1,2 \cdot P$	Baixa
$1,2 \cdot P < \text{concentração} \leq 2 \cdot P$	Média
Concentração $> 2 \cdot P$	Alta

Fonte: IGAM, 2024





6.1.11.1.2. Resultados

Com base nos dados de IQA a partir do monitoramento de águas superficiais disponibilizados pelo IGAM, tornou-se possível realizar a avaliação das condições gerais da qualidade das águas em um ponto, dentro da AER, próximo à área em que se instalará o empreendimento. A Tabela 62 apresenta os IQAs para o ponto monitorado entre 2012 e 2021.

Tabela 62 IQA do ponto monitorado entre 2012 e 2021

IQA	Estação BG096
2012	Médio
2013	Bom
2014	Bom
2015	Bom
2016	Médio
2017	Bom
2018	Médio
2019	Bom
2020	Bom
2021	Médio

Analisando os dados presentes na Tabela 62, compreende-se que o ponto monitorado apresentou desempenho “Bom” e “Médio” frente aos parâmetros que compõem o IQA. Nos anos de 2013 a 2015, de forma consecutiva, os resultados foram classificados como “Bom” e, ainda, nos anos de 2017, 2019 e 2020. E apenas nos anos 2012, 2016, 2018 e 2021 apresentou IQA “Médio”.

Na Tabela 63 estão reportados os resultados da classificação geral de Contaminação por Tóxicos (CT) dos parâmetros analisados pelo IGAM na estação BG096. Em todos os anos, os resultados dos parâmetros analisados foram classificados como Baixa, com exceção do ano 2019, em que a classificação foi Alta, dessa forma, toda a sub-bacia do ribeirão das Antas deve ser classificada da mesma forma, no respectivo ano.

Tabela 63 Contaminação por Tóxicos entre 2012 e 2023

Contaminação por tóxicos	Estação BG096
2012	Baixa
2013	Baixa
2014	Baixa
2015	Baixa
2016	Baixa
2017	Baixa



Contaminação por tóxicos	Estação BG096
2018	Baixa
2019	Alta
2020	Baixa
2021	Baixa
2022	Baixa
2023	Baixa

O IET reportado para a bacia do Rio Grande, segundo o relatório de Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em Minas Gerais de 2023 (ano base 2022) e considerando os valores de fósforo e clorofila-a, indicou que 80% dos resultados foram classificados como Mesotrófico em 2022. Os corpos d'água classificados como Mesotróficos são considerados de produtividade intermediária e podem sofrer possíveis implicações na qualidade da água, entretanto, em níveis aceitáveis (IGAM, 2024). Ressalta-se que o IET foi reportado apenas para a bacia de forma geral, sem especificar as estações.

6.1.11.1.2. Área de Estudo Local

6.1.11.1.2.1. Metodologia

6.1.11.1.2.1.1. Rede de Monitoramento

Os pontos de monitoramento foram nomeados e estrategicamente determinados pela equipe CLAM em cursos hídricos superficiais que se encontram na área de estudo, próximos à área do Projeto Colossus, da Viridis Mineração Ltda, no município de Poços de Caldas, no Estado de Minas Gerais. As amostragens para o período de seca ocorreram no período de 16 a 31 de julho de 2024, e para o período de chuva, de 14 a 21 de outubro de 2024.

A Tabela 64 apresenta a rede de monitoramento estabelecida, bem como as coordenadas, descrição e parâmetros. Da Foto 123 a Foto 148 são apresentados os registros fotográficos dos monitoramentos realizados e a Figura 78 apresenta a localização dos pontos de monitoramento, em relação à área de estudo do Projeto Colossus.



Tabela 64 Rede de Monitoramento de Águas Superficiais

Ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23K)		Descrição	Parâmetros
	X	Y		
SUP-02	336569,65	7575341,43	Ribeirão das Antas, próximo ao limite dos municípios Poços de Caldas e Andradas	Alcalinidade Total Alumínio Solúvel Arsênio Total Bário Total Cádmio Total Chumbo Total Cloreto Total Cobre Solúvel Coliformes Termotolerantes Condutividade Elétrica Cor Real DBO <i>Escherichia coli</i> Ferro Dissolvido Fósforo Total Manganês Total Níquel Total Nitrogênio Amoniacal Total Nitrogênio Total Óleos e Graxas Totais Óleos e Graxas Visuais Oxigênio Dissolvido pH Prata Total Radioatividade Alfa Global Radioatividade Beta Global Sódio Total Sólidos Totais Sulfato Sulfeto Surfactantes Aniônicos Temperatura Tório Total Turbidez Urânio Total Zinco Total
SUP-03	338308,26	7584400,02	Calha principal do ribeirão das Vargens, próximo ao bairro Jardim Esperança III, na área urbana	
SUP-04	342025,40	7582448,76	Ribeirão das Vargens, próximo à nascente e próximo ao Santuário Mariano de Schoenstatt	
SUP-05	342498,78	7584120,95	Afluente da margem direita do ribeirão das Vargens	
SUP-06	340257,91	7578541,34	Afluente da margem esquerda do córrego do Retiro dos Moinhos	
SUP-07	340696,56	7582201,87	Afluente da margem esquerda do ribeirão das Vargens	
SUP-08	334585,40	7584420,45	Ribeirão das Antas, a jusante da confluência com o ribeirão das Vargens	
SUP-09	339619,05	7586865,83	Ribeirão da Ponte Alta, a jusante do barramento da Represa Saturnino de Brito	
SUP-10	346035,63	7586315,73	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	
SUP-11	343526,00	7586772,00	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	
SUP-12	344173,90	7584810,63	Afluente da margem esquerda do ribeirão da Ponte Alta	
SUP-13	344939,00	7585131,00	Afluente da margem esquerda do ribeirão da Ponte Alta	
SUP-14	344023,01	7585333,98	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	



Foto 123 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-02 - Período de Seca



Foto 124 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-02 - Período de Chuva



Foto 125 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-03 - Período de Seca



Foto 126 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-03 - Período de Chuva



Foto 127 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-04 - Período de Seca



Foto 128 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-04 - Período de Chuva



24/07/2024 11:26 -21,83982 / -46,52397

**Foto 129 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP-05 - Período de Seca**



14/10/2024 13:58 Sem sinal GPS

**Foto 130 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP-05 - Período de Chuva**



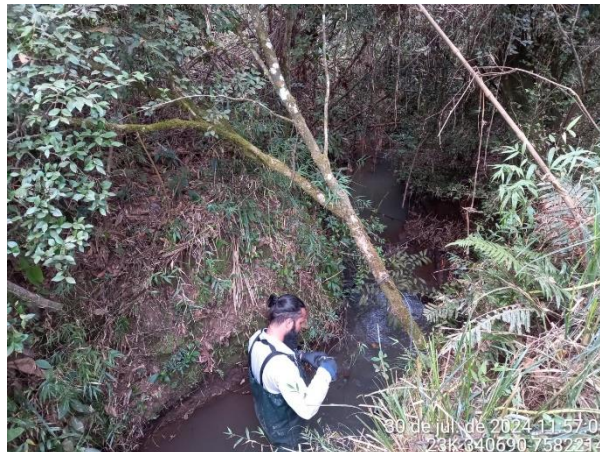
30/07/2024 09:25 -21,88998 / -46,5465

**Foto 131 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP-06 - Período de Seca**



14/10/2024 09:29 -21,89005 / -46,54633

**Foto 132 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP-06 - Período de Chuva**



30 de jul de 2024 11:57:04
236.040690 -7582244

**Foto 133 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP-07 - Período de Seca**



21/10/2024 14:13 Sem sinal GPS

**Foto 134 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP-07 - Período de Chuva**



Foto 135 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP- 08 - Período de Seca



Foto 136 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-08 - Período de Chuva



Foto 137 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-09 - Período de Seca



Foto 138 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-09 - Período de Chuva

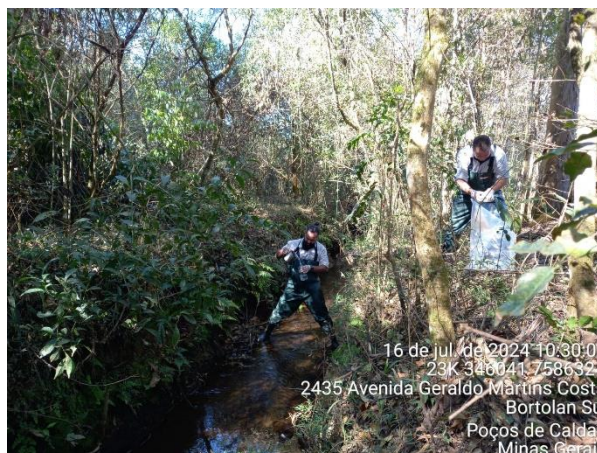


Foto 139 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-10 - Período de Seca



Foto 140 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto SUP-10- Período de Chuva



17 de jul. de 2024 12:05:54
23K 343506 7586774
101 Estrada Cachoeirinha
Estância São José
Poços de Caldas
Minas Gerais

**Foto 141 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP-11 - Período de Seca**



18/10/2024 08:39

-21,81594 / -46,51402

**Foto 142 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP- 11 - Período de Chuva**



18/07/2024 09:03

-21,83376 / -46,50776

**Foto 143 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP- 12 - Período de Seca**



17/10/2024 15:15

-21,8337 / -46,50777

**Foto 144 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP- 12 - Período de Chuva**



18/07/2024 10:58

-21,83116 / -46,50035

**Foto 145 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP- 13 - Período de Seca**



17/10/2024 11:17

-21,83112 / -46,50034

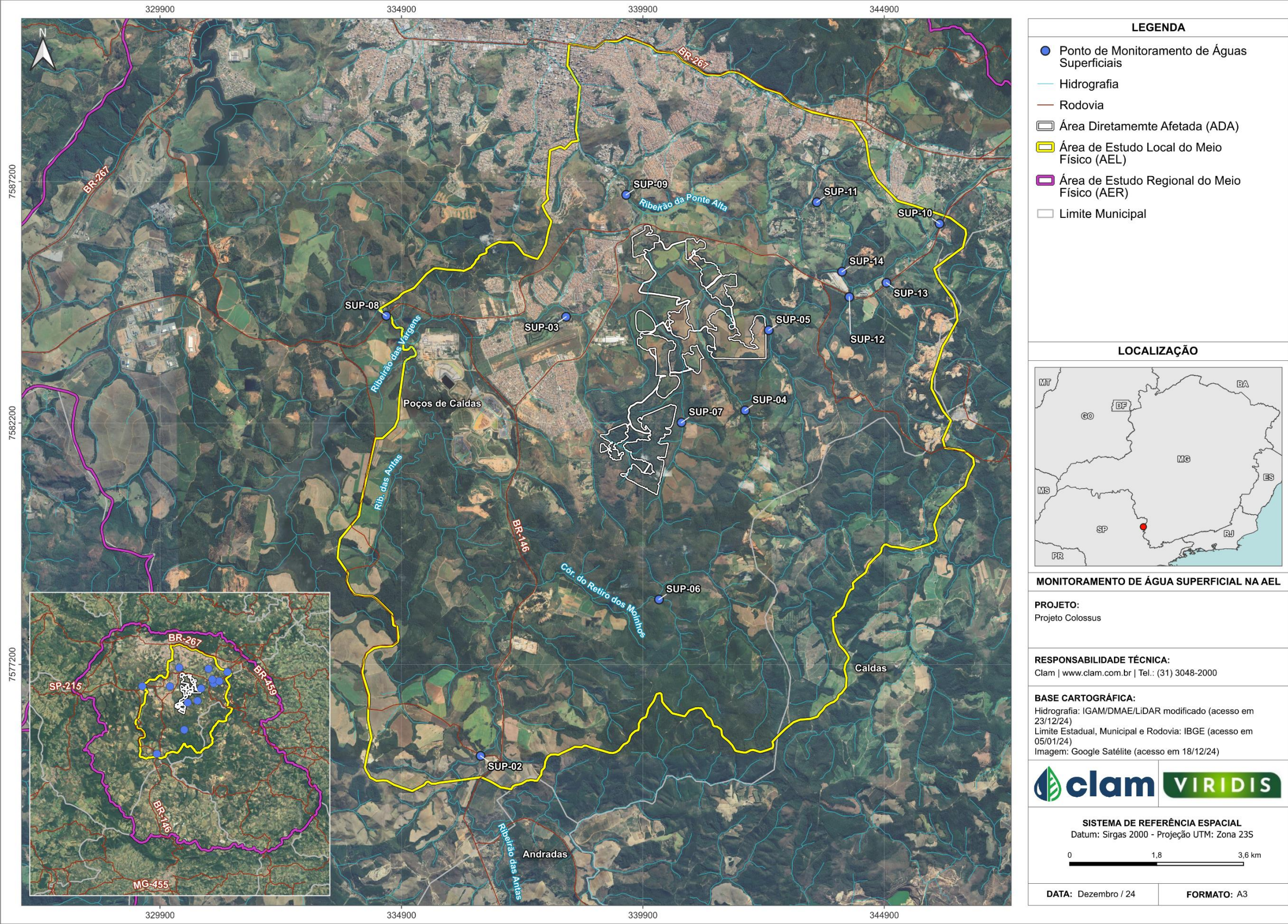
**Foto 146 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP- 13 - Período de Chuva**



**Foto 147 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP- 14 - Período de Seca**



**Foto 148 Amostragem de Águas Superficiais no Ponto
SUP- 14 - Período de Chuva**





6.1.11.1.2.1.2. Procedimentos Gerais

Para a avaliação da qualidade das águas superficiais no contexto da área de estudo local (AEL), os dados foram coletados pela equipe da CLAM. As amostragens para avaliação da qualidade de águas superficiais foram realizadas por técnicos devidamente treinados, sendo que as análises *in situ* foram realizadas pelo laboratório CLAM, que possui Reconhecimento de Competências PRC nº 602.01; e as análises de bancada foram realizadas pelo laboratório SGS Geosol, acreditado pela norma ABNT NBR ISO/IEC 17.025/2017, conforme CRL nº 0386.

Os ensaios seguiram as seguintes recomendações para coleta, preservação, métodos analíticos das amostras, normas e recomendações:

- Referências Analíticas: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); e *Environmental Protection Agency*;
- Referência de Amostragem: *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras (Águas, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos), ANA (2011); IT.02 - Amostragem Hídrica.

Durante os dias de amostragem dos recursos hídricos a equipe de campo da CLAM, executou uma série de procedimentos adicionais à coleta de amostras, que compreende:

- Abertura de acesso aos pontos de medição definidos;
- Registro fotográfico das condições ambientais do local amostrado;
- Registro fotográfico do procedimento de medição em todos os pontos;
- Documentação de eventuais obstáculos que poderiam comprometer a segurança e integridade das equipes, equipamentos e veículos.

Para aumentar a eficiência do processo, a equipe CLAM utilizou um sistema eletrônico de anotação de dados de campo (*Smartquestion®*), com o uso de *smartphones*, onde foram inseridas todas as informações e dados relevantes durante os serviços realizados.

E ainda, com os resultados dos ensaios e para complementar a interpretação das análises foi utilizado o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que é uma metodologia de avaliação da qualidade das águas que reflete a contaminação das águas em decorrência da matéria orgânica e fecal, sólidos e nutrientes, e sumariza os resultados de nove parâmetros avaliados (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, variação da temperatura da água, turbidez e sólidos totais). O cálculo do IQA foi feito através do auxílio do software Microsoft Excel para cada ponto analisado, baseando-se na metodologia postada no Portal da Qualidade das Águas da ANA (2024). O IQA varia de 0 a 100, e, quanto menor seu valor, pior a qualidade da água, relacionada à degradação por despejos orgânicos e microbiológicos, sólidos e nutrientes. As faixas de referência deste índice, adotadas pelo IGAM, constam na Tabela 59.



Tabela 65 Níveis de Qualidade do IQA

NÍVEL DE QUALIDADE	FAIXA
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito Ruim	$0 < IQA \leq 25$

Fonte: IGAM (2021).

Além do IQA, foi implementado no presente estudo o Índice de Estado Trófico (IET) que é uma ferramenta utilizada para classificar corpos d'água em diferentes níveis de trofia, avaliando sua qualidade com base no aumento de nutrientes. Esse enriquecimento pode levar ao crescimento excessivo de fitoplâncton (IGAM, 2024).

O IET foi calculado para cada ponto analisado, baseando-se na metodologia do Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo (CETESB, 2007). O cálculo do IET utiliza equações cujas variáveis são as concentrações de fósforo total e clorofila-a, entretanto, é possível calcular o IET utilizando apenas uma das variáveis citadas e classificar o corpo d'água analisado conforme a variável empregada. A classificação dos resultados é baseada nos seguintes estados de trofia: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, sendo os limites para rios demonstrados na Tabela 66.

Tabela 66 Classificação do Estado Trófico – rios

Categoria Estado Trófico	P-total ($\mu\text{g/L}$)
Ultraoligotrófico	$P \leq 13$
Oligotrófico	$13 < P \leq 35$
Mesotrófico,	$35 < P \leq 137$
Eutrófico	$137 < P \leq 296$
Supereutrófico	$296 < P \leq 640$
Hipereutrófico	$P > 640$

Fonte: CETESB (2008).

Por fim, foi adicionado o índice de Contaminação por Tóxicos (CT), seguindo a metodologia proposta pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2024) utilizando os seguintes parâmetros: Amônia, Arsênio Total, Bário Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cianeto Livre, Cobre Total, Cobre Dissolvido, Cromo Hexavalente, Cromo Total, Fenóis Totais, Mercúrio Total, Nitritos, Nitrato e Zinco Total. A classificação está descrita na Tabela 67, onde “P” é o Limite definido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8/2022.



Tabela 67 Faixas de classificação do Índice de Contaminação por Tóxicos

Concentração	Classificação
$\leq 1,2 \cdot P$	Baixa
$1,2 \cdot P < \text{concentração} \leq 2 \cdot P$	Média
Concentração $> 2 \cdot P$	Alta

Fonte: IGAM, 2024.

Na classe baixa as substâncias tóxicas apresentam concentrações iguais ou inferiores a 20% dos limites; na classe média ocorrem concentrações entre 20% e 100% dos limites e na classe alta às concentrações são superiores a 100% dos limites (IGAM, 2024). Assim, a pior situação do conjunto de resultados define a faixa de contaminação.

6.1.11.1.2.1.3. Análise dos Dados Hidroquímicos

Premissas

Para computar os gráficos de evolução e estatísticas, foi realizado um tratamento nos resultados que apresentaram a simbologia “<”, que indica, nesses casos, valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) segundo o método analítico utilizado. Como premissa, os resultados que apresentaram a simbologia indicada foram considerados de acordo com seus valores idênticos aos LQs.

Dado que o enquadramento dos cursos d’água pertencentes à Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (GD6) ainda não foi realizado, os resultados obtidos para os pontos de monitoramento de água superficial serão comparados aos limites estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de Classe 2. A legislação estadual está em consonância com a Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo igual ou mais restritiva em relação às concentrações limite.

Análise por Trechos

A fim de que sejam comparados e discutidos os parâmetros analisados para os pontos da rede de monitoramento, foram propostas, no escopo deste estudo, divisões por trecho para análise hidroquímica de caracterização dos recursos hídricos.

Para tal, foram fragmentados trechos dos cursos d’água de interesse, onde considerou-se a proximidade dos pontos amostrados e as sub-bacias nas quais estão inseridas as seções de monitoramento.

Portanto, foram definidos três (03) trechos de análise na AEL:

- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta;
- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens;
- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas.

Análise por Parâmetros

Baseando-se na análise proposta por Von Sperling (2007) e considerando os parâmetros mais sensíveis para a caracterização das águas superficiais, tendo em vista os usos do solo na região e a presença de elementos abundantes nos litotipos locais, optou-se por uma interpretação e análise mais aprofundada



para determinados parâmetros. Considerando as avaliações realizadas preliminarmente, definiu-se os seguintes tipos de caracterizações e seus respectivos parâmetros para avaliação e interpretação dos resultados em cada trecho definido:

- Caracterização genérica da água: pH, temperatura, cor e turbidez;
- Caracterização do grau de mineralização da água: condutividade elétrica e sólidos totais;
- Caracterização do grau de oxigenação, de nutrientes e da poluição orgânica: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes termotolerantes;
- Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes na água: alumínio dissolvido, arsênio total, chumbo total, cobre dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, níquel total, tório total e urânio total.

Ademais, foram incluídos os seguintes itens:

- Caracterização de radioatividade alfa e beta;
- Índice de Qualidade da Água (IQA).

6.1.11.1.2.2. Resultados

Conforme delineado anteriormente, foi definida a separação dos pontos de amostragem por trechos para discussão e interpretação dos resultados, considerando os grupos de parâmetros representativos para caracterização das referidas análises.

Dessa forma, são apresentados, a seguir, os parâmetros analisados por trechos e os resultados em que foram identificados valores acima daqueles permitidos pela legislação pertinentes à referida matriz amostral. No **Apêndice 7** podem ser vistas as evidências de campo. No **Apêndice 8**, podem ser encontrados todos os parâmetros analisados para esta campanha de monitoramento, compilados de forma tabular. Os Certificados de Ensaio contendo os resultados de todos os parâmetros analisados para as amostras de água superficial estão apresentados no **Anexo 8**.

6.1.11.1.2.2.1. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta foram amostrados seis (06) pontos de monitoramento em águas superficiais: SUP-09, SUP-10, SUP-11, SUP-12, SUP-13 e SUP-14. A localização e o enquadramento dos cursos hídricos, correspondente a cada ponto de monitoramento, podem ser observados no diagrama unifilar da Figura 79.

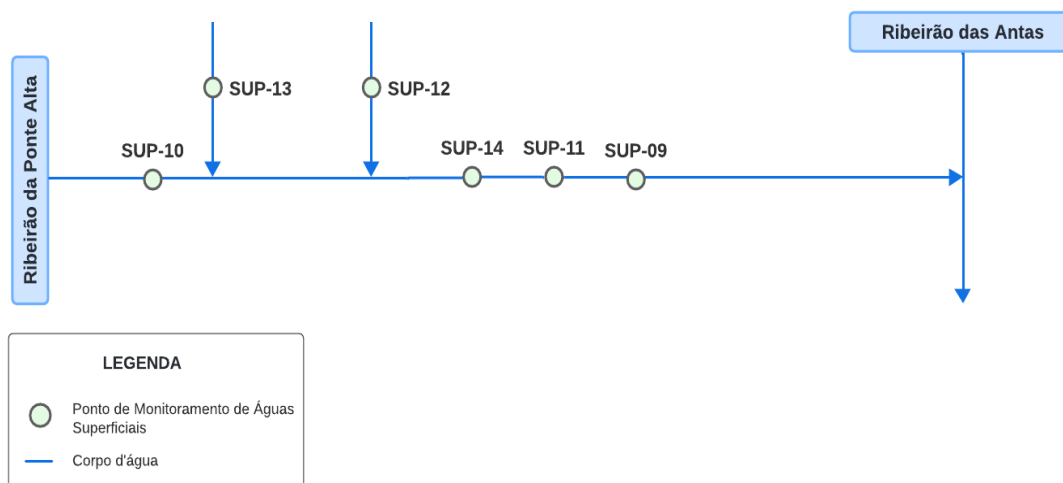


Figura 79 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para os parâmetros de maior relevância para caracterização das águas superficiais, sendo comparados aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de Classe 2.

Caracterização genérica da água: pH, temperatura, cor e turbidez

No gráfico da Figura 80 é possível verificar que todos os resultados de pH obtidos na campanha de seca estiveram dentro da faixa estabelecida pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, de 6 a 9 para águas doces de classe 2, indicando característica de neutralidade. Já na campanha de chuva, 3 pontos apresentaram não conformidades com a legislação, sendo SUP-09 (5,83), SUP-11 (5,54) e SUP-14 (5,72). O pH pode sofrer influência de diferentes fatores, como da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e ação fotossintética (Von Sperling, 1996). Portanto, ao se observar o comportamento da variação nos resultados obtidos na campanha de chuva, os pontos em que os valores estão abaixo do limite de 6, pode ser justificado pelo carreamento de sedimentos e matéria orgânica para os cursos d'água, gerando alteração nos valores.

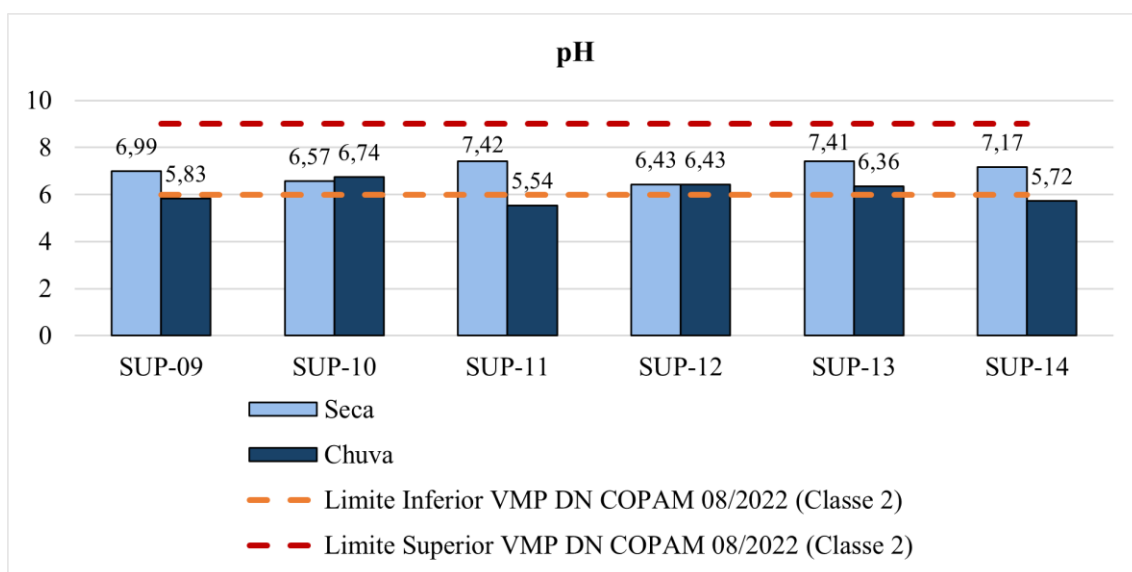


Figura 80 Resultados para o parâmetro pH na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Em relação ao parâmetro Temperatura, na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, não são estabelecidos limites máximos para águas doces de classe 2. No gráfico da Figura 81 estão apresentados os resultados obtidos, sendo que no período de seca, variaram de 10,95 a 15,56 °C, e no período de chuva, de 17,59 a 20,35°C. A elevação nos valores do período de chuva pode ser justificada devido as características sazonais na região.

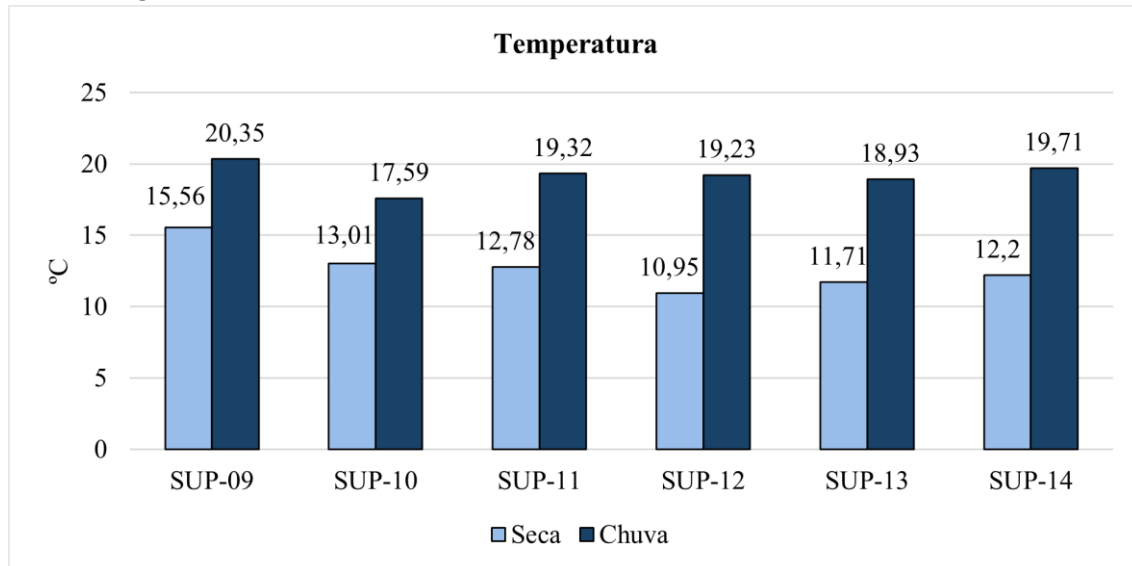


Figura 81 Resultados para o parâmetro Temperatura na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Nos pontos avaliados, para a amostragem no período de seca e chuva, todos os resultados de Cor Verdadeira estiveram abaixo do limite de 75 mg/L, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2) (Figura 82). Além disso, com exceção dos pontos SUP-10 (chuva), SUP-11 (seca) e SUP-14 (chuva), os valores foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 10 mg/L.

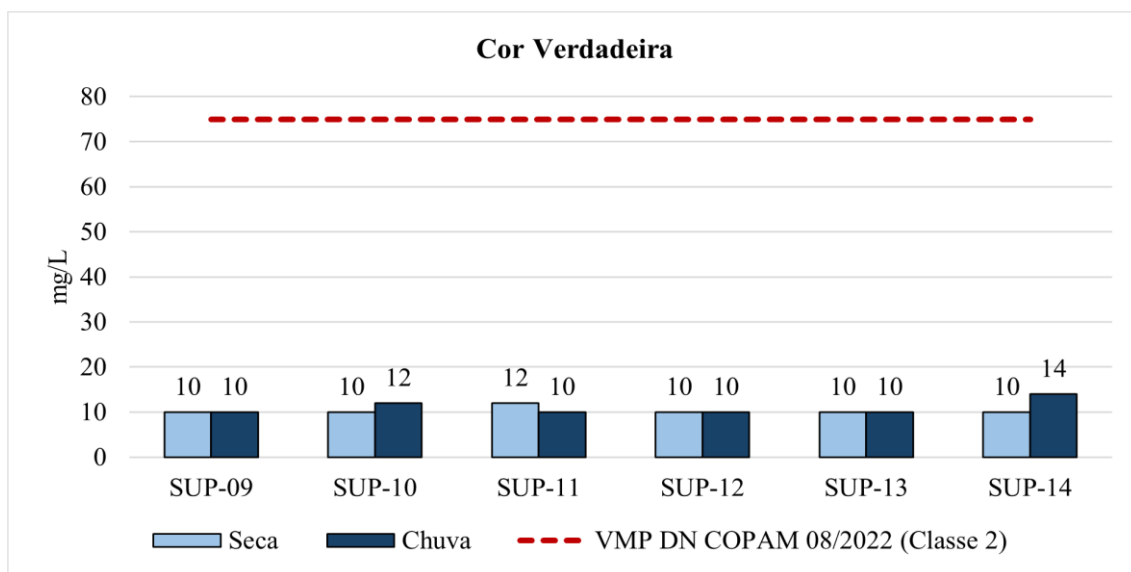


Figura 82 Resultados para o parâmetro Cor Verdadeira na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para a campanha de seca, os resultados de Turbidez variaram entre 1,08 e 2,38 NTU, e para o período de chuva entre 1,67 e 6,6 NTU, estando todos abaixo do limite de 100 NTU (DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, águas doces, Classe 2), conforme gráfico da Figura 83. Essa variação nos resultados com valores mais elevados, quando se compara os períodos, pode ser justificada pelas ações das chuvas que provocam o carreamento de partículas de sólidos para o leito do curso d'água, elevando a turbidez.

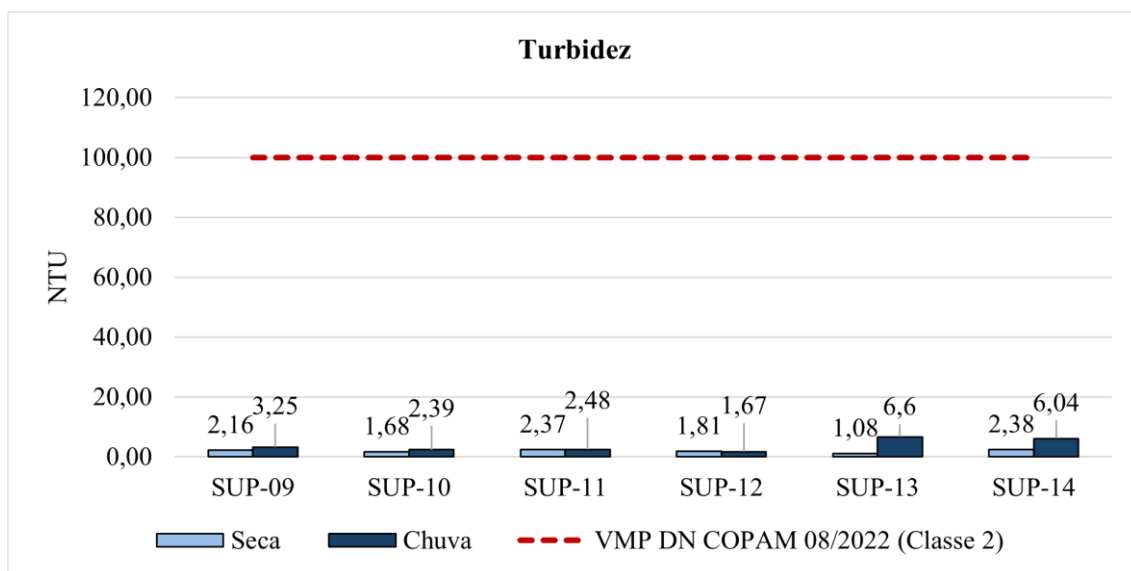


Figura 83 Resultados para o parâmetro Turbidez na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Caracterização do grau de mineralização da água: condutividade elétrica e sólidos totais



Quanto a caracterização de minerais presentes na água, foram analisados os parâmetros Condutividade Elétrica e Sólidos Totais. Os resultados obtidos para ambos os parâmetros são apresentados no gráfico da Figura 84, para a campanha de seca, e no gráfico da Figura 85, para a campanha de chuva.

Na legislação vigente, não são estabelecidos limites máximos para os parâmetros avaliados em nenhuma classe de enquadramento das águas doces superficiais. Os maiores valores de Condutividade Elétrica no período de seca foram observados nos pontos SUP-11 (95 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e SUP-14 (101 $\mu\text{S}/\text{cm}$), localizados na calha principal do ribeirão da Ponte Alta, a montante da represa Saturnino de Brito. De forma similar, as concentrações mais elevadas de Sólidos Totais foram identificadas nos mesmos pontos: SUP-11 (65 mg/L) e SUP-14 (73 mg/L). Para o período de chuva tanto o parâmetro Condutividade Elétrica quanto o parâmetro Sólidos Totais apresentaram comportamentos similares, com os maiores valores sendo identificados nos pontos SUP-11 e SUP-14. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados, pois conforme aumenta a concentração de sólidos, a condutividade da água também tende a aumentar (WEIGHT, 2008; CETESB, 2017).

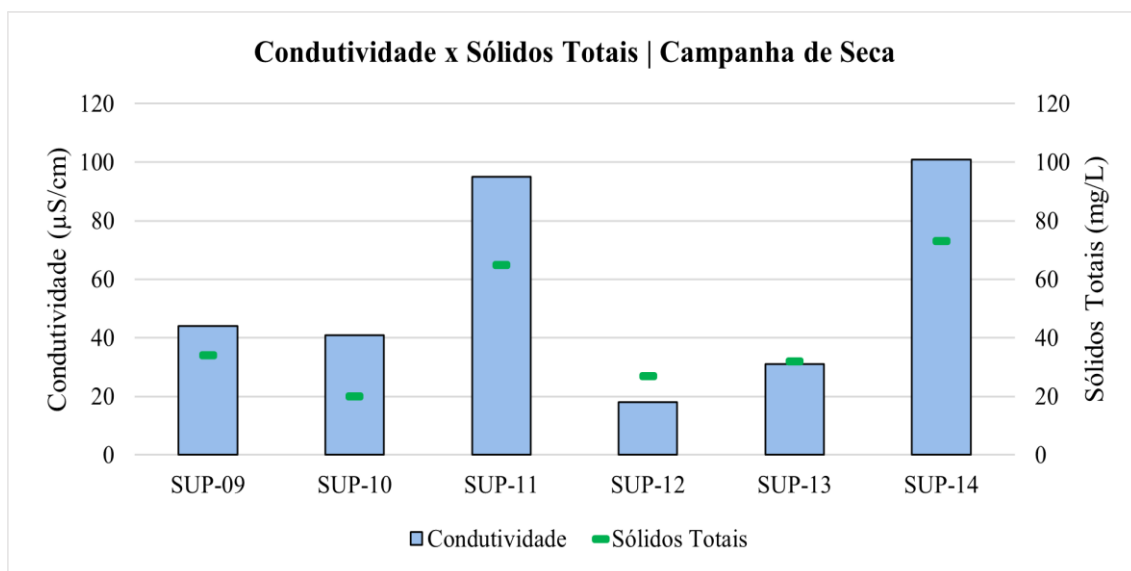


Figura 84 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta – Período de Seca

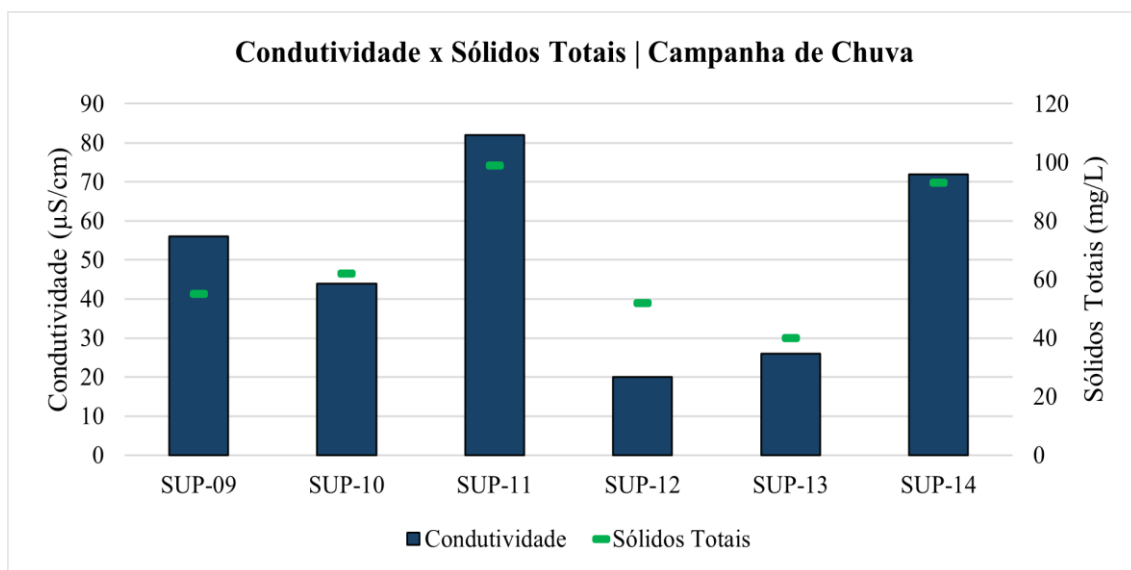


Figura 85 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta – Período de Chuva

Caracterização do grau de oxigenação, de nutrientes e da poluição orgânica: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total, coliformes termotolerantes e E. coli

Nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta, todos os resultados de Oxigênio Dissolvido (OD) se apresentaram em conformidade, estando acima do limite inferior de 5 mg/L, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2, com a exceção da amostragem do ponto SUP-09, no período de chuva, o qual apresentou concentração de 4,21 mg/L (Figura 86). Dessa forma, os níveis encontrados nas amostragens realizadas indicaram boa capacidade do curso d'água em manter a vida aquática, nos pontos avaliados. O ponto que apresentou inconformidade com a legislação, pode estar relacionado com a elevação da temperatura, além do aumento de matéria orgânica que pode ter sido carregada com a chuva. Vale ressaltar que a concentração de OD na faixa de 4-5 mg/L pode ser um alerta e ameaça para a vida aquática (Von Sperling, 1996).

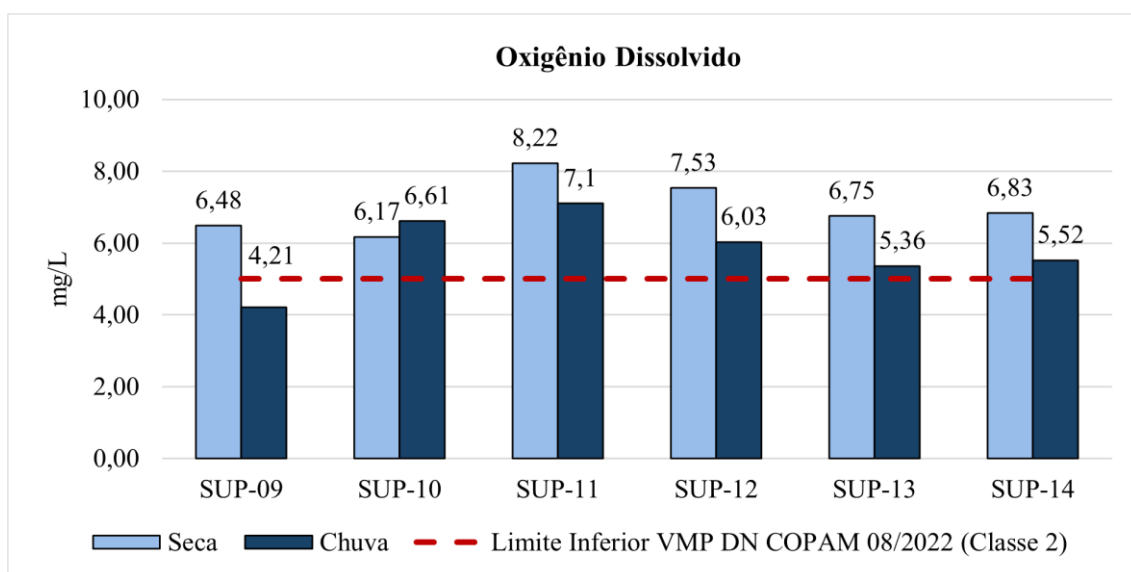


Figura 86 Resultados para o parâmetro Oxigênio Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

As concentrações de DBO foram inferiores ao Limite de Quantificação, sendo 3 mg/L em todos os pontos, estando ainda abaixo do limite máximo permitido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2), como pode ser visto no gráfico da Figura 87. Os valores indicam que há baixa concentração de matéria orgânica disponível, e o baixo consumo de oxigênio necessário para degradar a matéria presente, corrobora os altos resultados de OD identificados.

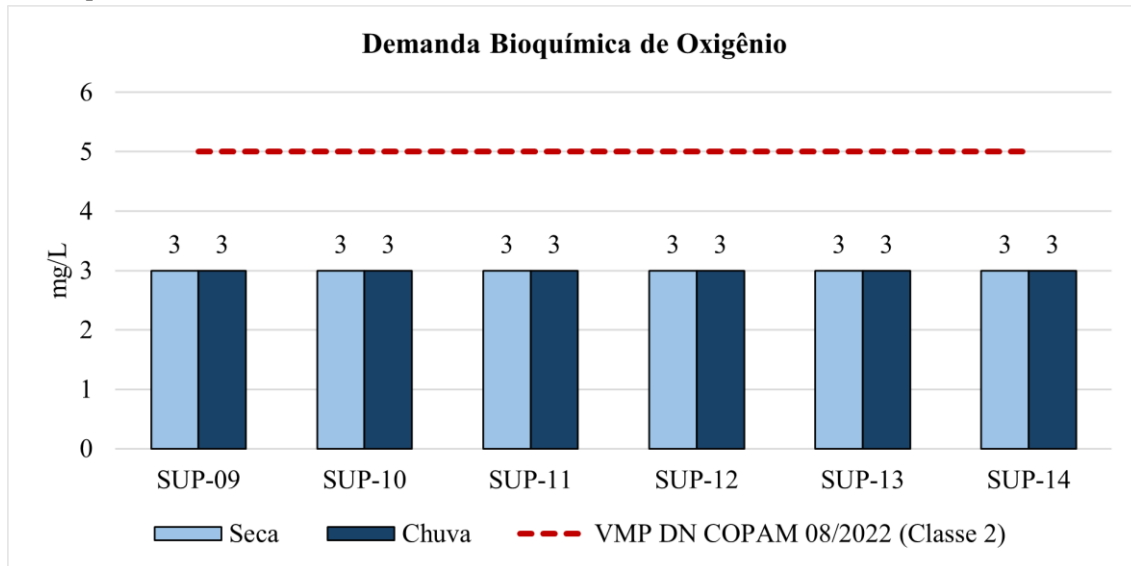


Figura 87 Resultados para o parâmetro DBO na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Os limites máximos estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2) para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal são determinados em função dos valores de pH. Nas amostras obtidas na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta, o pH esteve abaixo de 7,5, de forma que foi utilizado o valor de 3,7 mg/L para o limite. A partir disso, as concentrações de Nitrogênio Amoniacal variaram entre 0,09 e 0,33 mg/L, no período de seca, e de 0,09 e 0,40 mg/L, no período chuvoso, estando todas em conformidade com o limite máximo permitido pela legislação vigente (Figura 88).

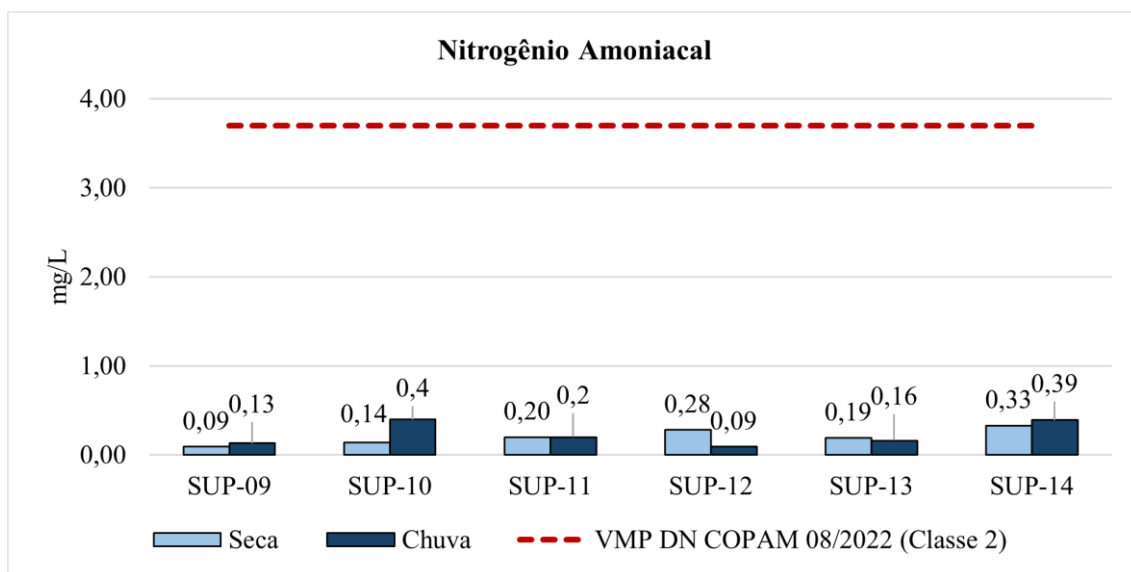


Figura 88 Resultados para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

A DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2, estabelece o limite máximo de 0,1 mg/L para Fósforo Total em ambientes lóticos. Conforme apresentado na Figura 89, todos os resultados estiveram abaixo do VMP (Valor Máximo Permitido).

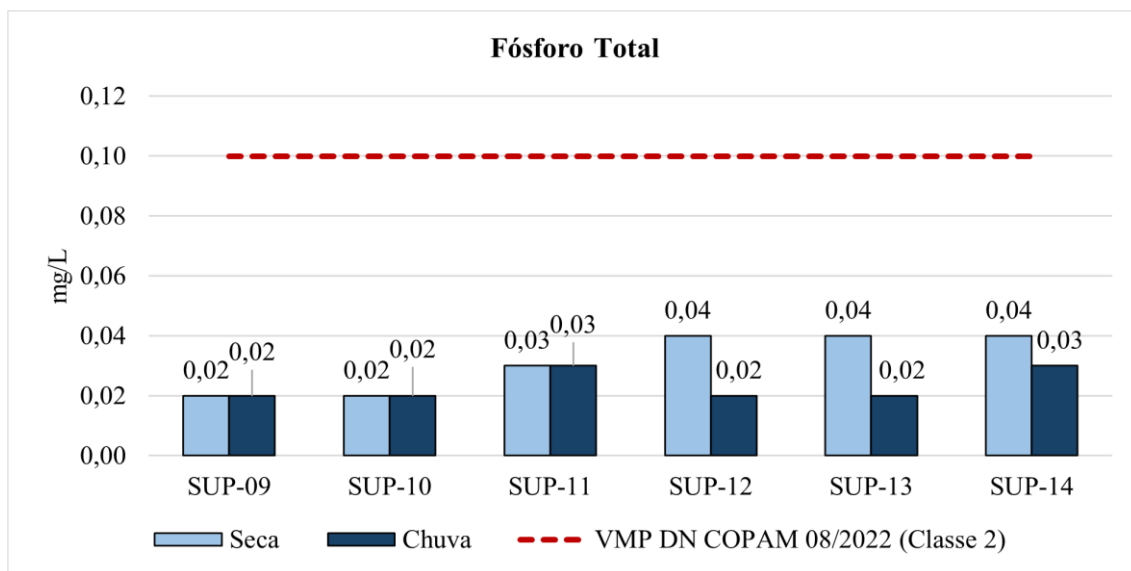


Figura 89 Resultados para o parâmetro Fósforo Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Os resultados do parâmetro Coliformes Termotolerantes superaram o limite de 1000 UFC/100 mL, determinado pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2, nos pontos SUP-11 e SUP-14, no período de seca, e nos pontos SUP-09 e SUP-10, no período chuvoso (Figura 90). No entanto, apenas nos pontos SUP-11 (seca) e SUP-09 (chuva), a concentração de *Escherichia coli* (*E. coli*) esteve acima do limite, como mostra a Figura 91, o que indica contaminação de origem



exclusivamente fecal. No SUP-09, analisando a localização com a presença de empreendimentos e áreas residenciais próximas, possivelmente, os valores acima dos limites podem estar relacionados a uma fonte de contaminação pontual. No SUP-11, os valores se justificam em função do uso do solo no entorno do local de amostragem, com a presença de atividades de pastagem e menor volume de mata ciliar, com potencial contato direto de animais.

Os Coliformes Termotolerantes são definidos como micro-organismos capazes de fermentar a lactose a uma temperatura de 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli*. A *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação (CETESB, 2017).

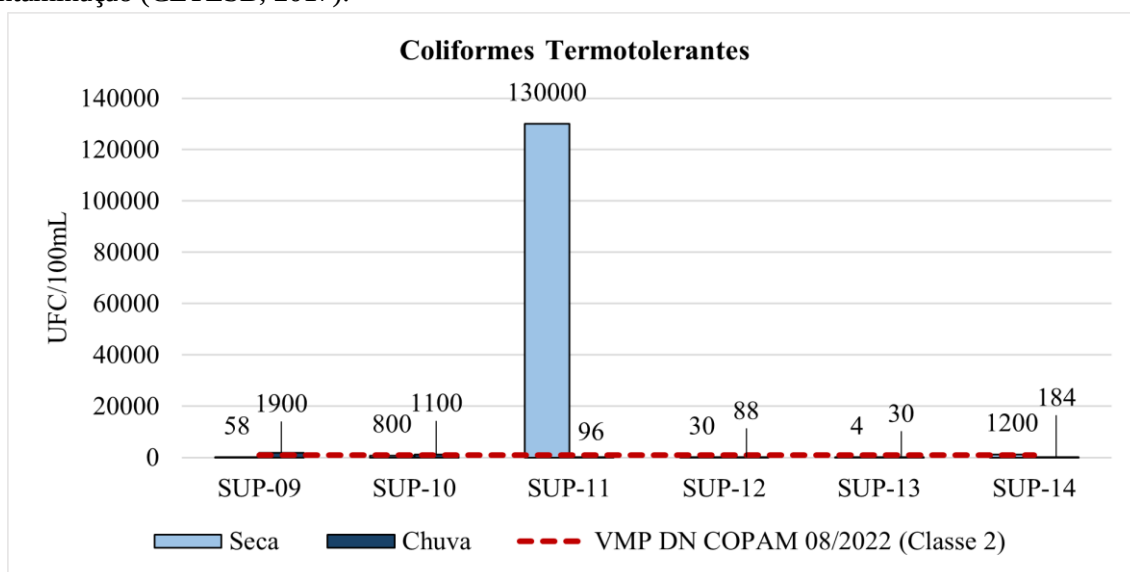


Figura 90 Resultados para o parâmetro Coliformes Termotolerantes na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

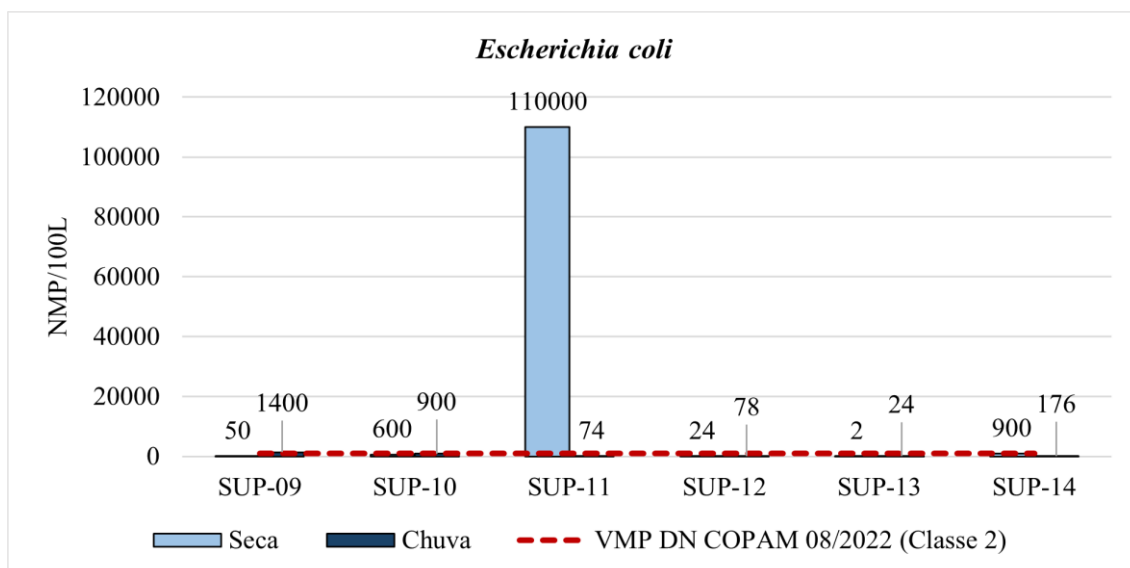


Figura 91 Resultados para o parâmetro *E. coli* na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes na água: alumínio dissolvido, arsênio total, chumbo total, cobre dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, níquel total, zinco total, tório total e urânio total

Os resultados de Alumínio Dissolvido se encontram na Figura 92 e estiveram acima do limite de 0,1 mg/L, estabelecido para águas doces, Classe 2, pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, apenas no ponto SUP-12 (0,17 mg/L) no período de seca. Apesar de não superarem os limites, os valores obtidos nas demais amostragens se aproximaram do valor máximo. Já no período de chuva, nos pontos SUP-09 (0,26 mg/L), SUP-11 (0,18 mg/L), SUP-12 (0,15 mg/L) e SUP-14 (0,15 mg/L) os valores obtidos superaram a concentração estabelecida pela legislação.

A região de Poços de Caldas apresenta uma geologia rica em bauxita, matéria-prima para fabricação de alumínio. Dessa forma, as concentrações elevadas de alumínio em águas superficiais podem ser justificadas por esse fator, além da contribuição do período chuvoso, que promove o carreamento desse elemento no solo, aumentando as concentrações em todos os pontos, com exceção do ponto SUP-12.

Ademais, considerando que os pontos localizados mais a montante na sub-bacia (SUP-10 e SUP-13) não apresentaram concentrações superiores ao limite de 0,1 mg/L, pode-se inferir que as concentrações de Alumínio Dissolvido nos pontos mais a jusante (SUP-14, SUP-11 e SUP-09) são provenientes do afluente onde se insere o ponto SUP-12 ou de demais interferências próximas ao ponto SUP-14, e vão aumentando para jusante do curso d'água, no período de chuva, com concentração máxima de 0,26 mg/L no SUP-09. Importante destacar que, apesar do ponto SUP-13 se localizar a jusante de uma mineração de bauxita, as concentrações de Alumínio Dissolvido foram as menores observadas na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta.

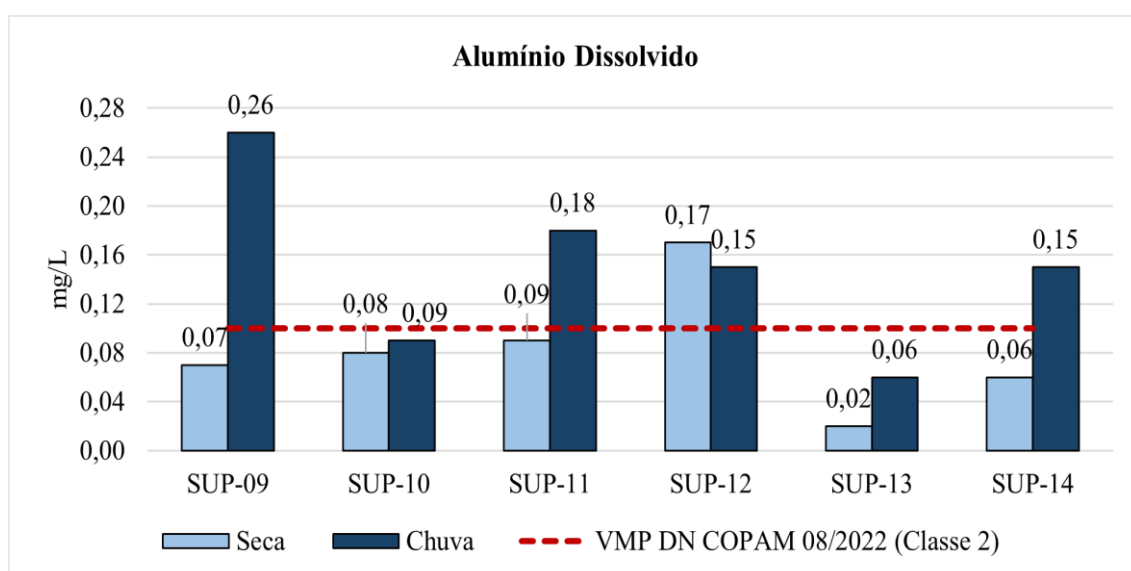


Figura 92 Resultados para o parâmetro Alumínio Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Com relação aos dados de Ferro Dissolvido mostrados no gráfico da Figura 93, os valores superaram o limite de 0,3 mg/L, estabelecido para águas doces de Classe 2 pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022,



nos pontos SUP-10, SUP-13 e SUP-14, tanto para o período de seca quanto para o período chuvoso. Os resultados acima desse limite podem estar relacionados a fontes naturais, como a geologia do solo, e tende a se intensificar nas estações chuvosas devido ao carreamento de sedimentos e processos erosivos (CETESB, 2017).

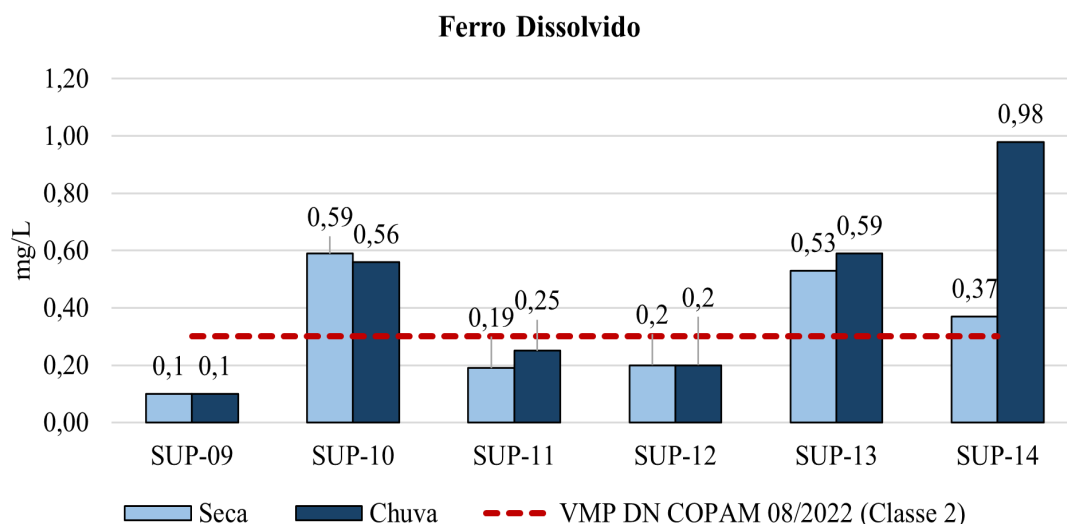


Figura 93 Resultados para o parâmetro Ferro Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

A DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 estabelece um limite de 0,1 mg/L para Manganês Total em águas doces de classe 2. De acordo com os resultados do gráfico da Figura 94, os valores desse parâmetro excederam o VMP em todos os pontos de monitoramento durante as campanhas de seca e de chuva, exceto no ponto SUP-12, que esteve conforme nas duas amostragens. Tais não conformidades variaram de 0,14 mg/L (SUP-09) a 0,79 mg/L (SUP-13), no período de seca, e de 0,23 mg/L (SUP-13) a 1,16 mg/L (SUP-09), no período de chuva.

Embora o manganês ocorra naturalmente em águas superficiais, sua presença em concentrações elevadas é frequentemente atribuída a atividades antropogênicas (CETESB, 2017). De forma geral, as concentrações foram maiores no período de chuva, em comparação ao período de seca, com exceção do ponto SUP-13, o que pode ter ocorrido em função do arraste de sedimentos das margens pela precipitação, com destaque para a maior concentração no ponto SUP-09, localizado mais a jusante da sub-bacia.

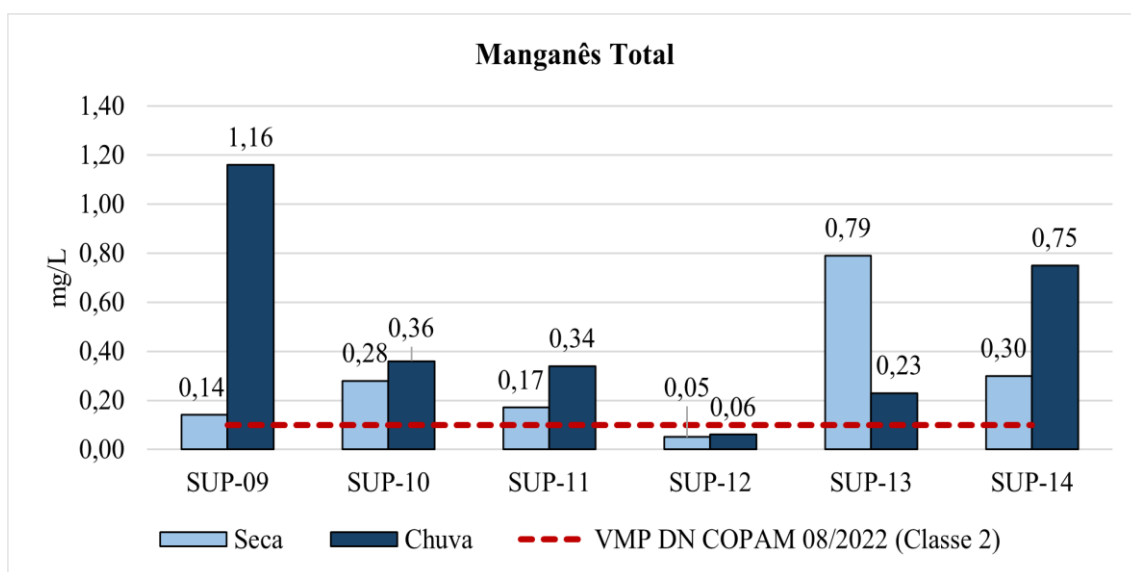


Figura 94 Resultados para o parâmetro Manganês Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Os resultados avaliados no gráfico da Figura 95 indicam concentrações de Zinco Total acima do limite de 0,18 mg/L, determinado pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, classe 2), nos pontos SUP-11 (0,23 mg/L) e SUP-14 (0,19 mg/L) apenas no período de seca. Ambos os pontos estão localizados na calha principal do ribeirão da Ponte Alta, assim como o SUP-10 (montante) e o SUP-09 (jusante). A concentração no ponto mais a jusante (SUP-09) pode ter sido atenuada pelo barramento existente. É importante destacar que a presença de zinco é comum nas águas superficiais naturais, em concentrações geralmente abaixo de 0,010 mg/L (CETESB, 2017).

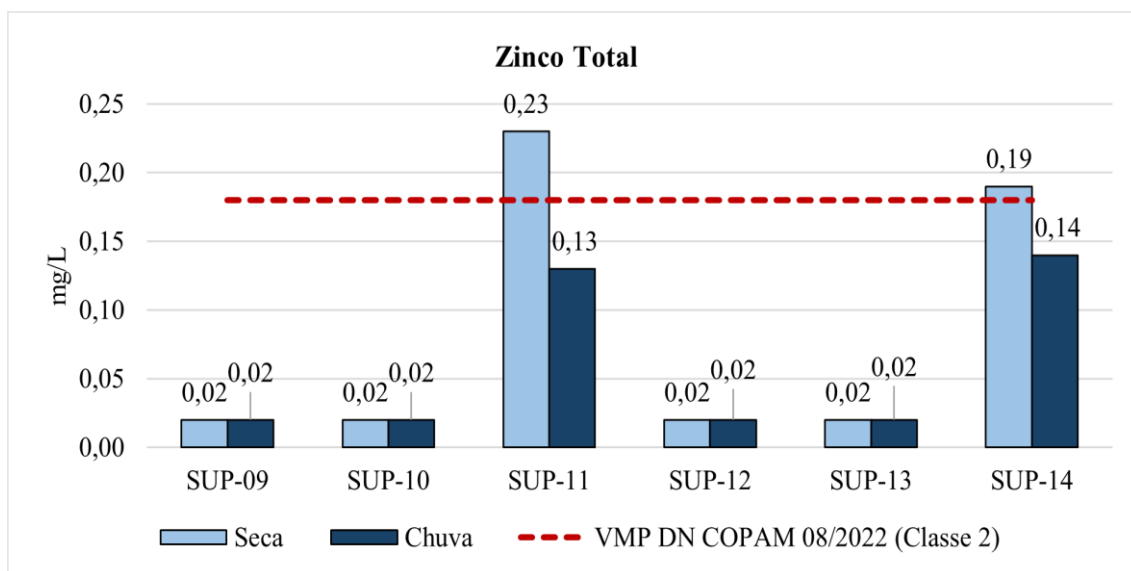


Figura 95 Resultados para o parâmetro Zinco Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Os resultados identificados para os parâmetros Arsênio Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, Níquel Total, Tório Total e Urânio Total são apresentados nos gráficos das Figura 96 a Figura 101. Não foi verificado nenhum desvio em relação aos valores máximos preconizados pela DN COPAM/CERH-MG



nº 08/2022 (águas doces, Classe 2), para o período de seca e chuva nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta. Além disso, os dados de Arsênio Total, Cobre Dissolvido, Níquel Total, Tório Total e Urânio Total foram inferiores aos Limites de Quantificação do método em todas as amostragens.

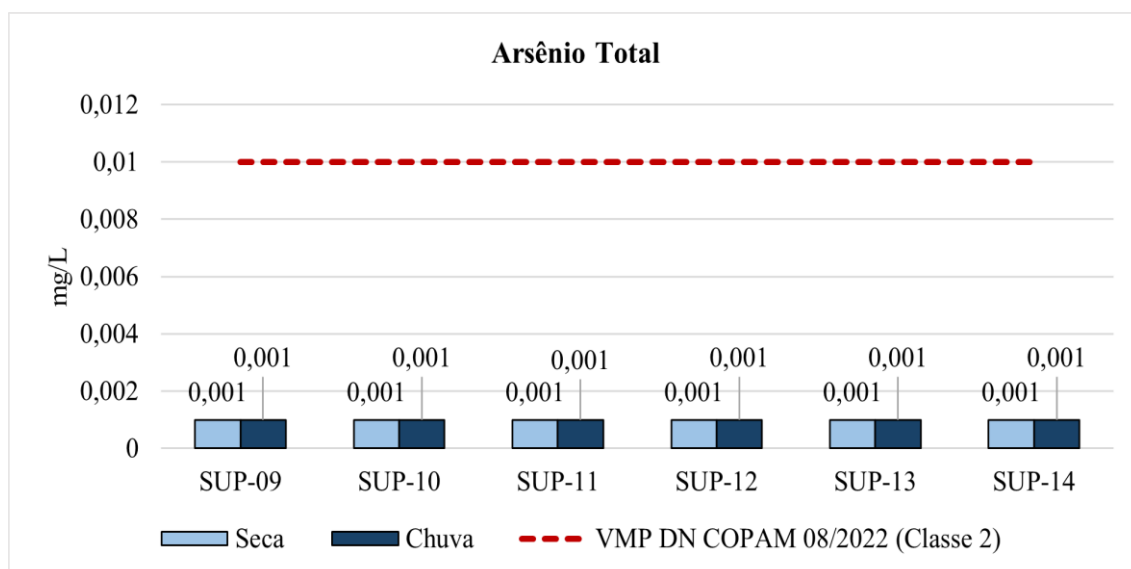


Figura 96 Resultados para o parâmetro Arsênio Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

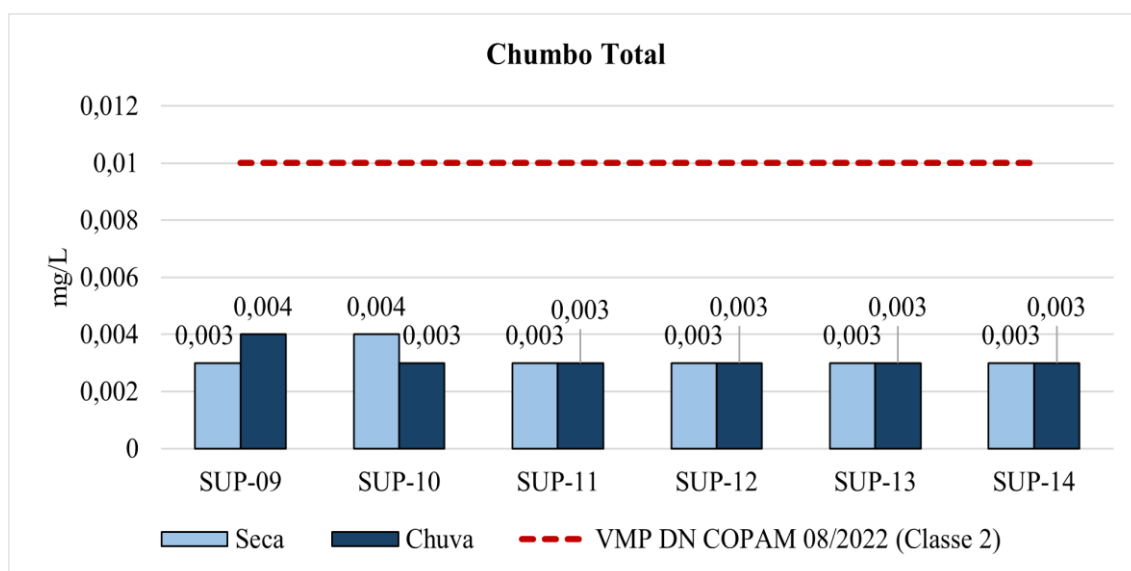


Figura 97 Resultados para o parâmetro Chumbo Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

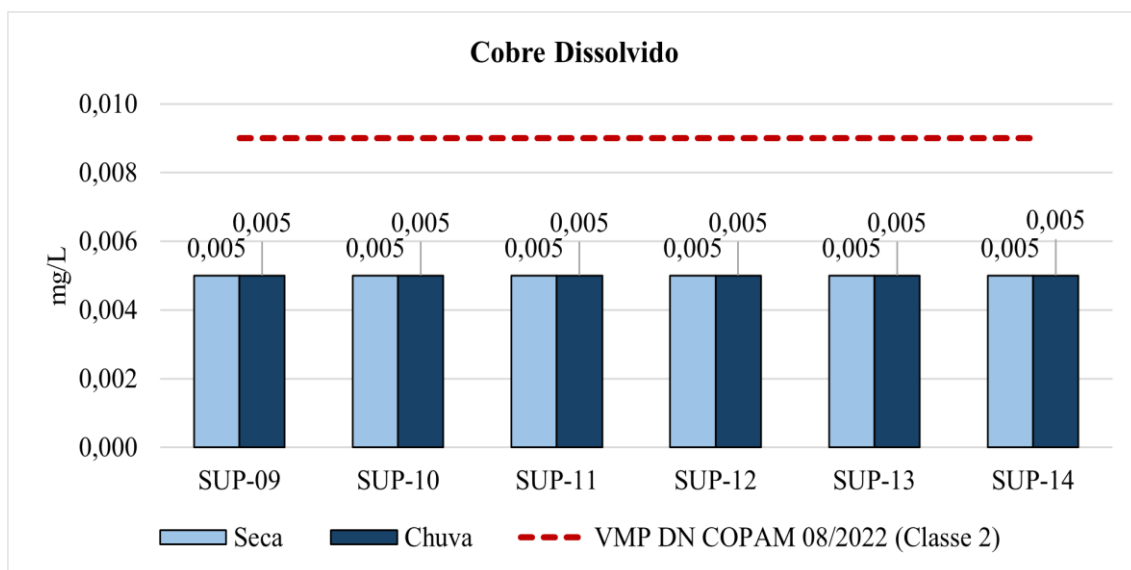


Figura 98 Resultados para o parâmetro Cobre Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

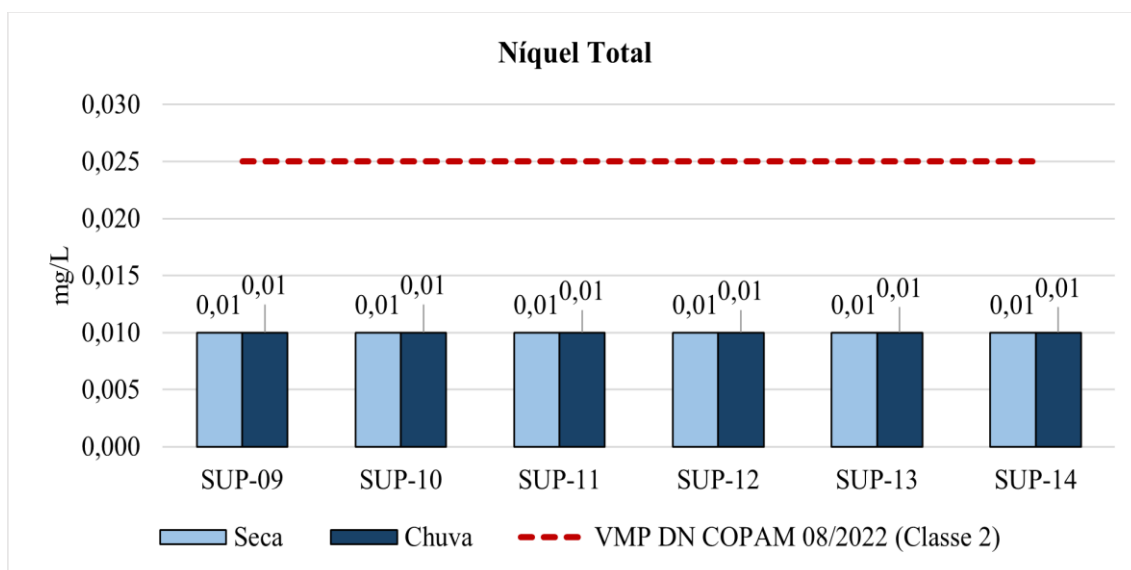


Figura 99 Resultados para o parâmetro Níquel Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

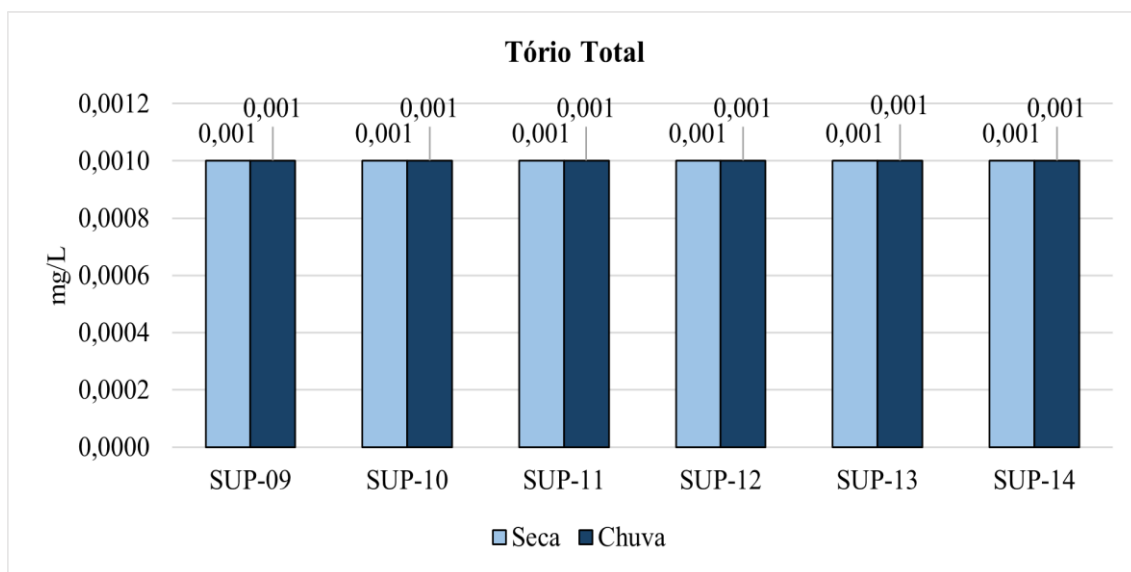


Figura 100 Resultados para o parâmetro Tório Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

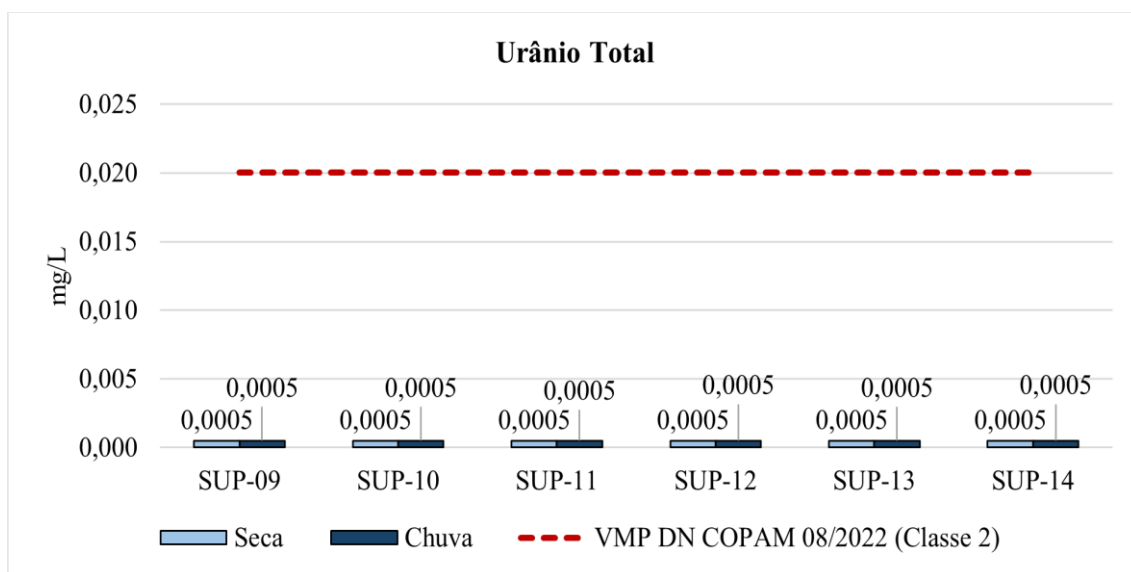


Figura 101 Resultados para o parâmetro Urânio Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Caracterização de radioatividade alfa e beta

Os resultados para radioatividade alfa e radioatividade beta obtidos nas campanhas de seca e chuva na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta podem ser vistos nos gráficos da Figura 102 e Figura 103. As concentrações para todos os pontos foram inferiores aos respectivos Limites de Quantificação (LQ) do laboratório, de <0,33 Bq/L para a Radioatividade Alfa e <0,37 Bq/L para Radioatividade Beta.

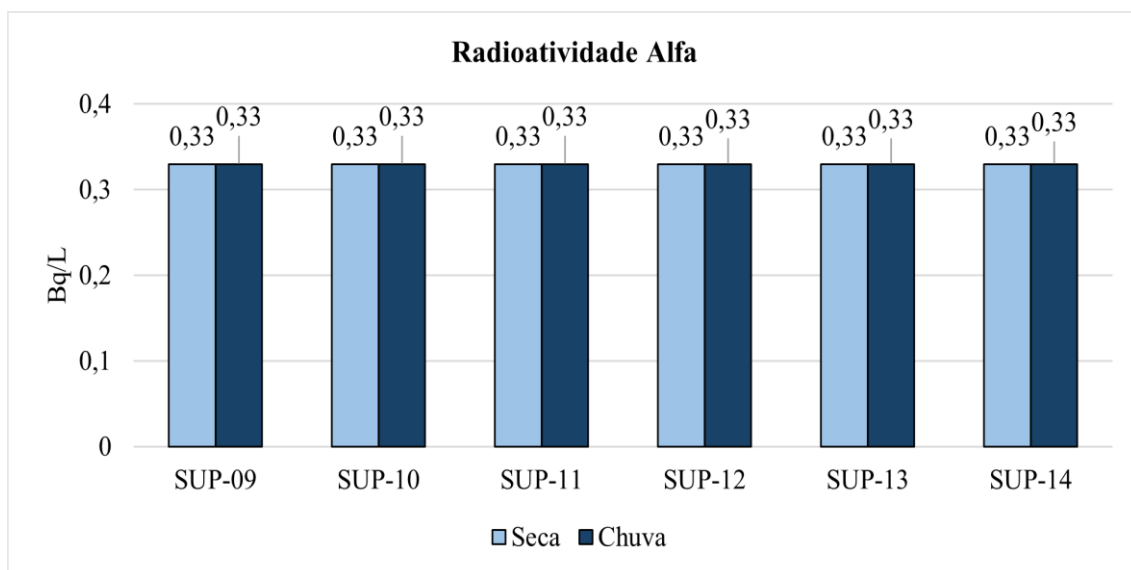


Figura 102 Resultados para o parâmetro Radioatividade Alfa na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

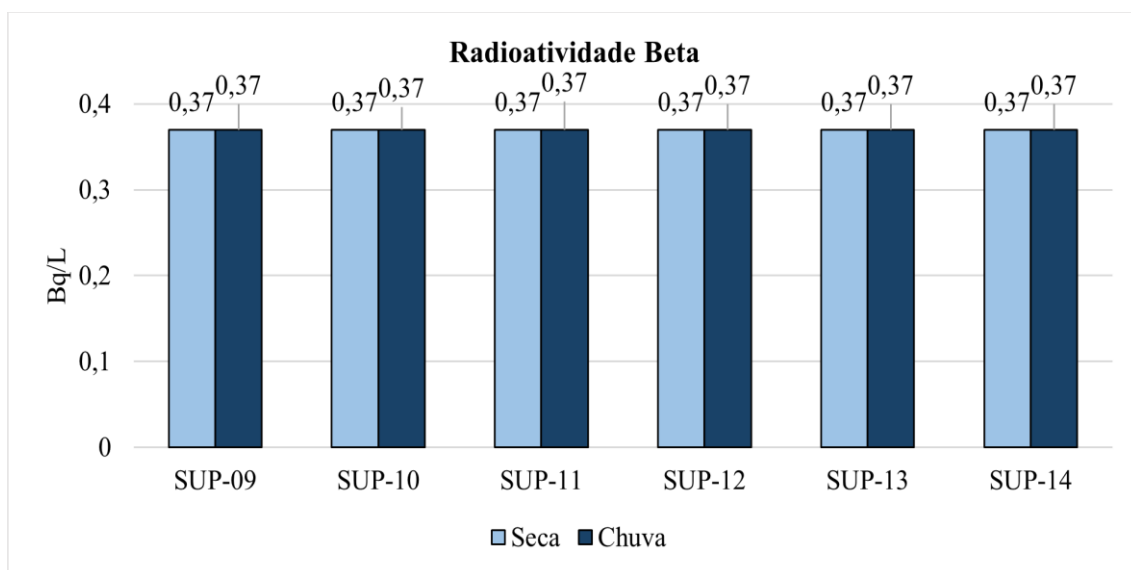


Figura 103 Resultados para o parâmetro Radioatividade Beta na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Indicadores de Análise de Qualidade das Águas

A partir dos parâmetros analisados, foi possível realizar o cálculo do IQA e, dessa forma, realizar uma avaliação das condições gerais da qualidade das águas nos pontos pertencentes a sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta. Na Tabela 68 estão apresentados os IQAs das campanhas de seca e chuva do ano de 2024.



Tabela 68 IQA dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Ponto	Período de Monitoramento	
	Seca	Chuva
SUP-09	Bom	Médio
SUP-10	Médio	Médio
SUP-11	Médio	Bom
SUP-12	Bom	Bom
SUP-13	Bom	Bom
SUP-14	Médio	Bom

Analisando os dados de IQA, observa-se, de forma geral, melhor qualidade no período chuvoso. Nos pontos SUP-12 e SUP-13 o desempenho foi “Bom” no período de seca e chuva. Os pontos SUP-11 e SUP-14 foram classificados como “Médio” no período de seca e como “Bom” no período de chuva; e o ponto SUP-09 foi classificado como “Bom” na seca e “Médio” no período chuvoso. Já no ponto SUP-10 o IQA foi enquadrado como “Médio” em ambos os períodos.

Os dados calculados para o IET são apresentados na Tabela 69. Em todos os pontos, em ambas as amostragens (seca e chuva), a classificação do IET foi como Mesotrófico, o que indica que os corpos d’água podem ser considerados com produtividade intermediária no processo de eutrofização, podendo apresentar possíveis implicações sobre a qualidade da água, entretanto, em condições ainda aceitáveis (IGAM, 2024). Destaca-se que os resultados, apesar de serem restritos ao parâmetro fósforo, corroboram com os reportados pelo IGAM na avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Grande (IGAM, 2023) em que, como citado no tópico de Caracterização das Águas Superficiais da AER, a classificação foi como Mesotrófico.

Vale ressaltar que, para os pontos SUP-09 e SUP-10, que obtiveram concentrações inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório para o parâmetro fósforo, os resultados de IET calculados refletem o LQ e não as classes reais dos cursos d’água.

Tabela 69 IET dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Ponto	Classificação	
	Seca	Chuva
SUP-09	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-10	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-11	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-12	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-13	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-14	Mesotrófico	Mesotrófico

A partir da metodologia disponibilizada pelo IGAM e dos parâmetros Arsênio Total, Bário Total,



Cádmio Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, e Zinco Total, amostrados nas campanhas de seca e chuva, os resultados de CT para a pontos pertencentes a sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta são apresentados na Tabela 70.

É possível observar que na campanha de seca o parâmetro Zinco Total apresentou faixa de CT classificada como “**média**” no ponto SUP-11, logo, toda a sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta deve ser classificada da mesma forma. Destaca-se que o SUP-11 está localizado na calha principal do ribeirão da Ponte Alta, de forma que materiais e tóxicos podem ser carregados para a jusante do curso d’água.

Tabela 70 CT dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Ponto	Período	Arsênio Total	Bário Total	Cádmio Total	Chumbo Total	Cobre Dissolvido	Zinco Total
SUP-09	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-10	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-11	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-12	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-13	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-14	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

6.1.11.1.2.2. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens foram avaliados quatro (04) pontos de monitoramento em águas superficiais: SUP-03, SUP-04, SUP-05 e SUP-07. A localização e o enquadramento dos cursos hídricos, correspondente a cada ponto de monitoramento, podem ser observados no diagrama unifilar da Figura 104.

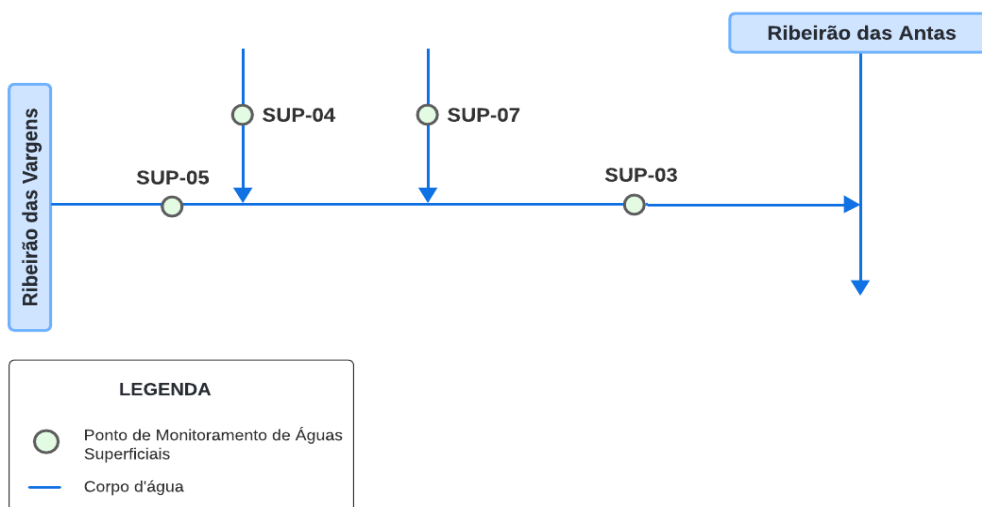


Figura 104 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para os parâmetros de maior relevância para caracterização das águas superficiais, sendo comparados aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de Classe 2.

Caracterização genérica da água: pH, temperatura, cor e turbidez

É possível verificar que todos os resultados obtidos para a campanha de seca estiveram dentro da faixa de pH, estabelecida pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, de 6 a 9 para águas doces de classe 2. Em relação aos resultados do período de seca, não houve variações significativas entre os resultados das amostras analisadas, portanto os resultados indicam característica de pH entre neutro e básico. Já para a campanha de chuva, apenas o ponto SUP-03 apresentou resultado em conformidade (6,24) e os demais pontos ficaram abaixo do limite de 6 estabelecido (Figura 105), demonstrando características mais ácidas, comparadas ao período anterior.

O pH pode sofrer influência de diferentes fatores, como da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e ação fotossintética (Von Sperling, 1996). Portanto, considerando as variações nos valores de seca para os da campanha de chuva, os pontos em que os valores estão abaixo do limite de 6, pode ser justificado pelo carreamento de sedimentos e matéria orgânica para os cursos d'água, gerando alteração nos valores do pH.

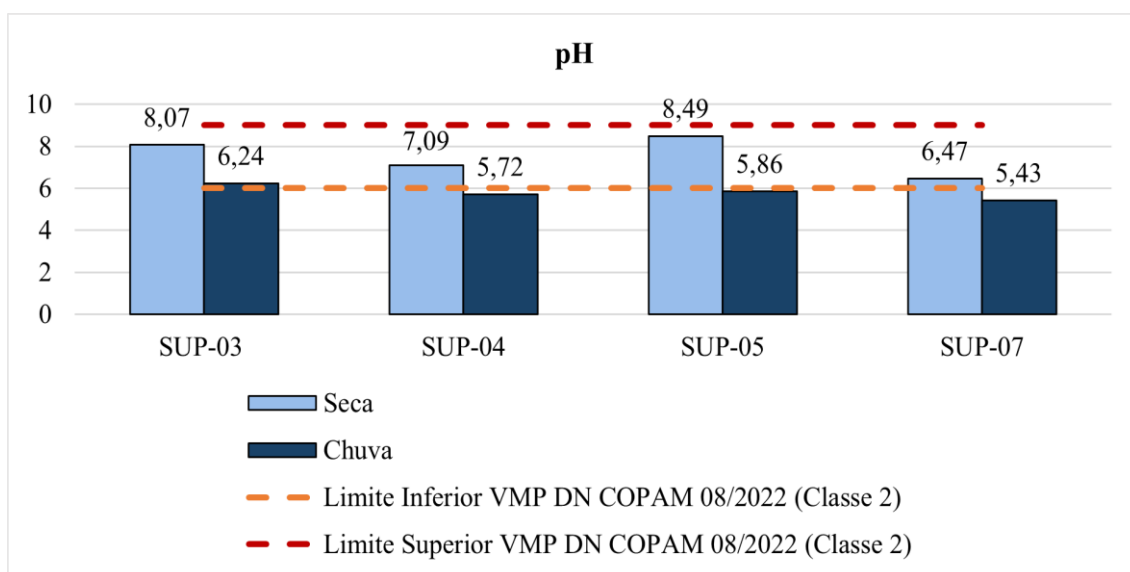


Figura 105 Resultados para o parâmetro pH na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Em relação ao parâmetro Temperatura, não é estabelecido limite máximo na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2. No gráfico Figura 106 estão apresentados os resultados obtidos, sendo que no período de seca, variaram de 11,81 a 14,63 °C, e no período de chuva, de 18,61 a 21,1 °C. A elevação nos valores do período de chuva pode ser justificada devido as características sazonais na região.

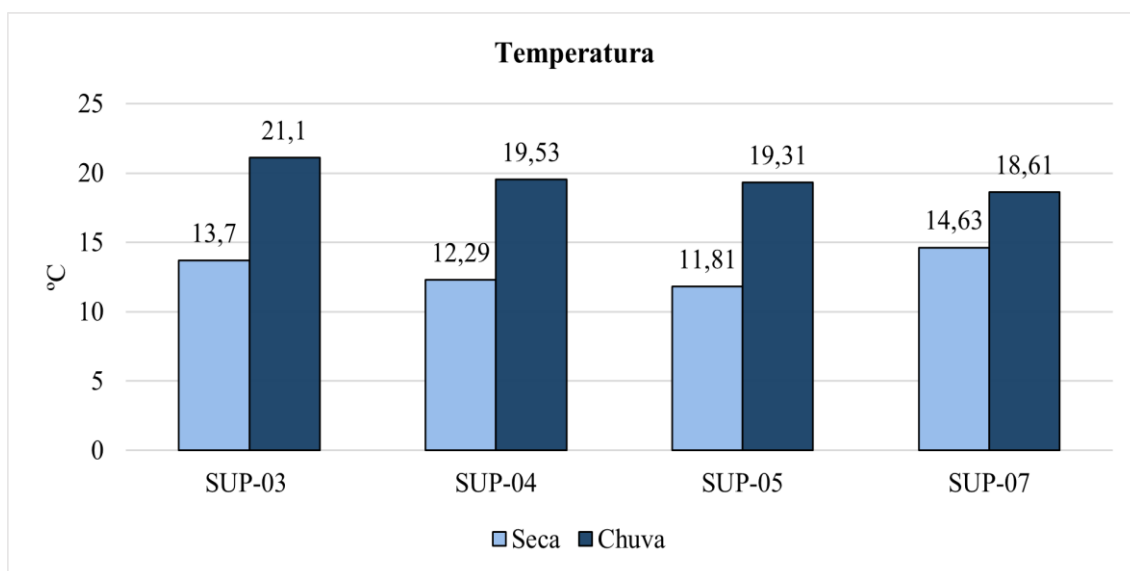


Figura 106 Resultados para o parâmetro Temperatura na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Nos pontos avaliados, para o período de seca e de chuva, todos os resultados estiveram abaixo do limite de 75 mg/L, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2), para o parâmetro Cor Verdadeira (Figura 107). Além disso, os resultados dos pontos SUP-03 (chuva), SUP-04 (seca) e SUP-05 (seca), foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 10 mg/L.

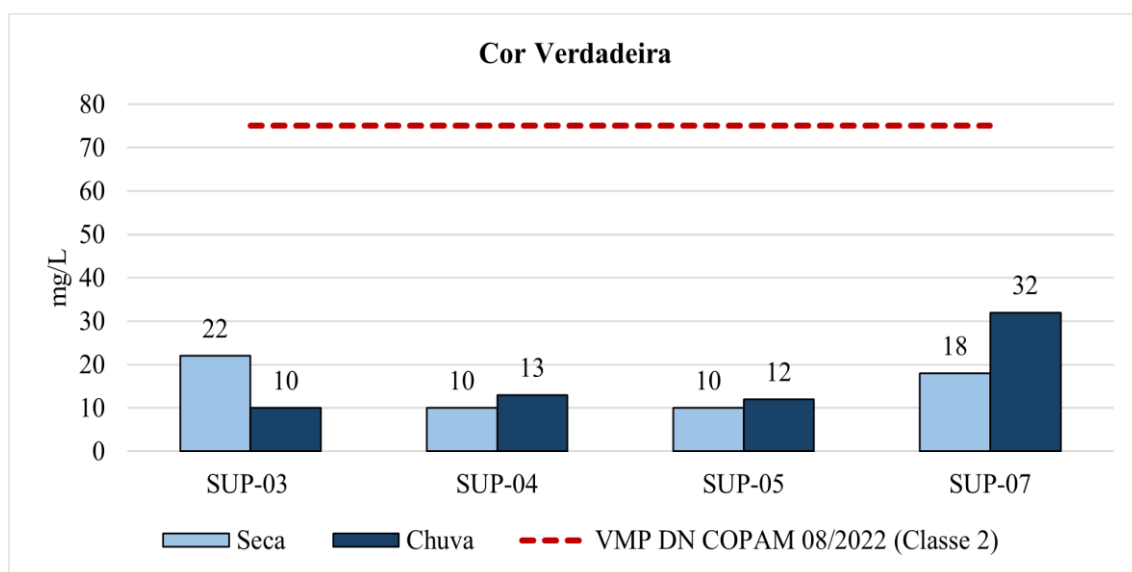


Figura 107 Resultados para o parâmetro Cor Verdadeira na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para as campanhas de seca e de chuva, os resultados de Turbidez variaram entre 1,16 e 6,99 NTU (seca) e de 2,02 a 26,5 NTU (chuva), estando todos abaixo do limite de 100 NTU (DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, águas doces, Classe 2), conforme gráfico da Figura 108. O valor mais alto no período de seca, de 6,99 NTU, foi observado no SUP-03; e para o período de chuva, a concentração de 26,5 NTU foi identificada no SUP-07.

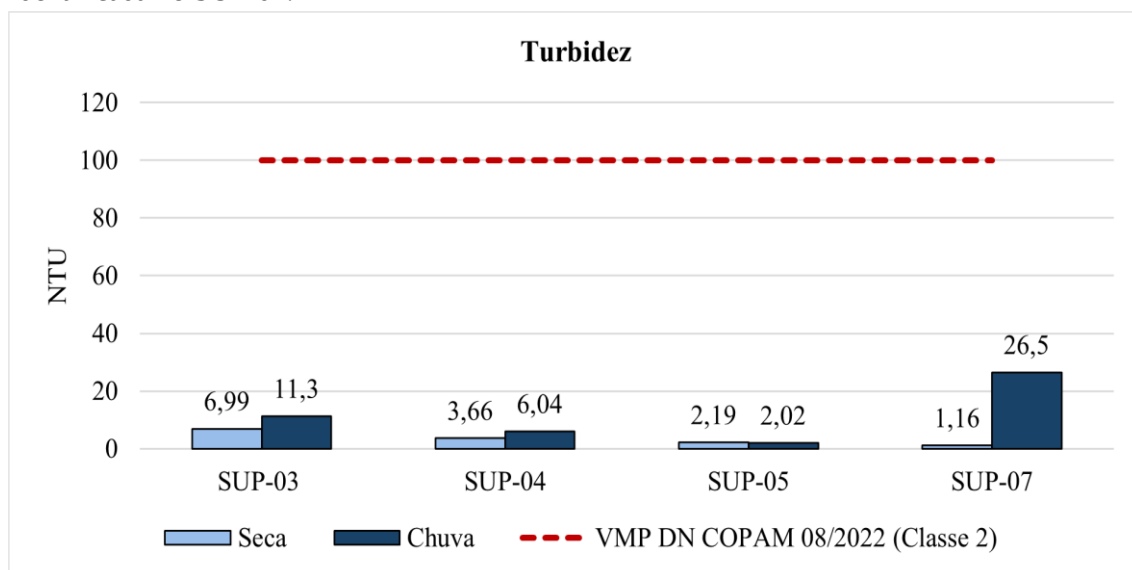


Figura 108 Resultados para o parâmetro Turbidez na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Caracterização do grau de mineralização da água: condutividade elétrica e sólidos totais

Quanto à quantidade de minerais presentes na água, foram analisados os parâmetros Condutividade Elétrica e Sólidos Totais. Os resultados obtidos para ambos os parâmetros são apresentados no gráfico da Figura 109, para o período de seca, e no gráfico da Figura 110, para o período de chuva.

Na legislação vigente não são estabelecidos limites máximos para os parâmetros Condutividade Elétrica



e Sólidos Totais, para nenhuma classe de enquadramento das águas doces superficiais. Os valores de Condutividade Elétrica no período de seca apresentaram baixa variação entre si, e o resultado mais alto, de 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$, foi no ponto SUP-03, localizado mais a jusante na sub-bacia do ribeirão das Vargens. Em geral, concentrações inferiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes não impactados. Para o período chuvoso, a Condutividade Elétrica no ponto SUP-03 se destacou dos demais, com valor de 56 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

À medida que a concentração de sólidos aumenta, a condutividade da água também tende a aumentar (WEIGHT, 2008; CETESB, 2017). Apesar da relação entre as variáveis, a concentração mais elevada de Sólidos Totais foi identificada no ponto SUP-07 tanto para o período de seca (65 mg/L) quanto para o período de chuva (65 mg/L), que apresentou a menor concentração para o parâmetro Condutividade Elétrica, durante ambas as amostragens.

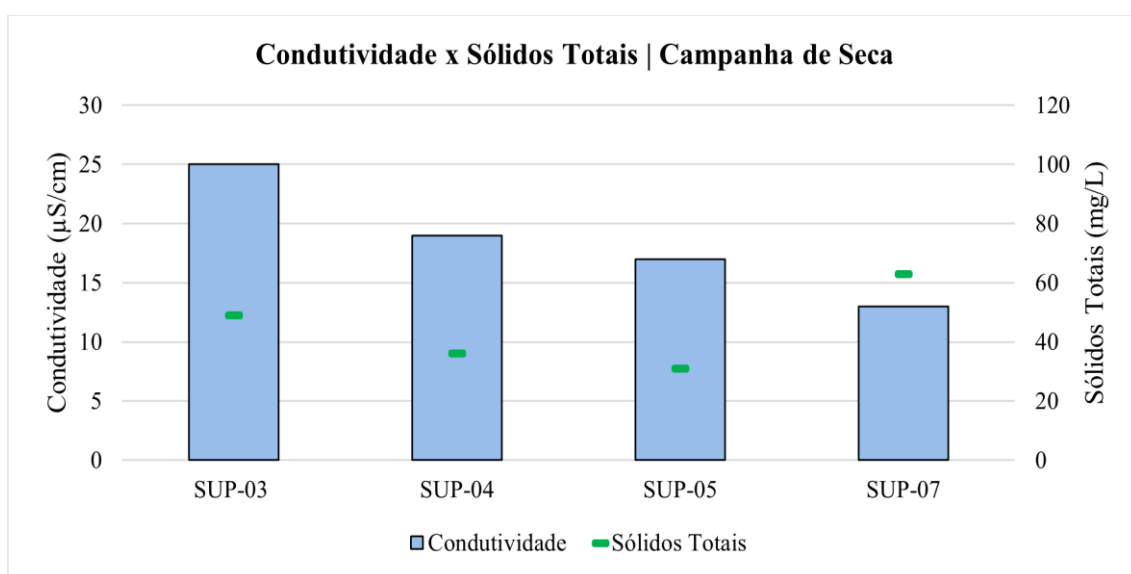


Figura 109 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

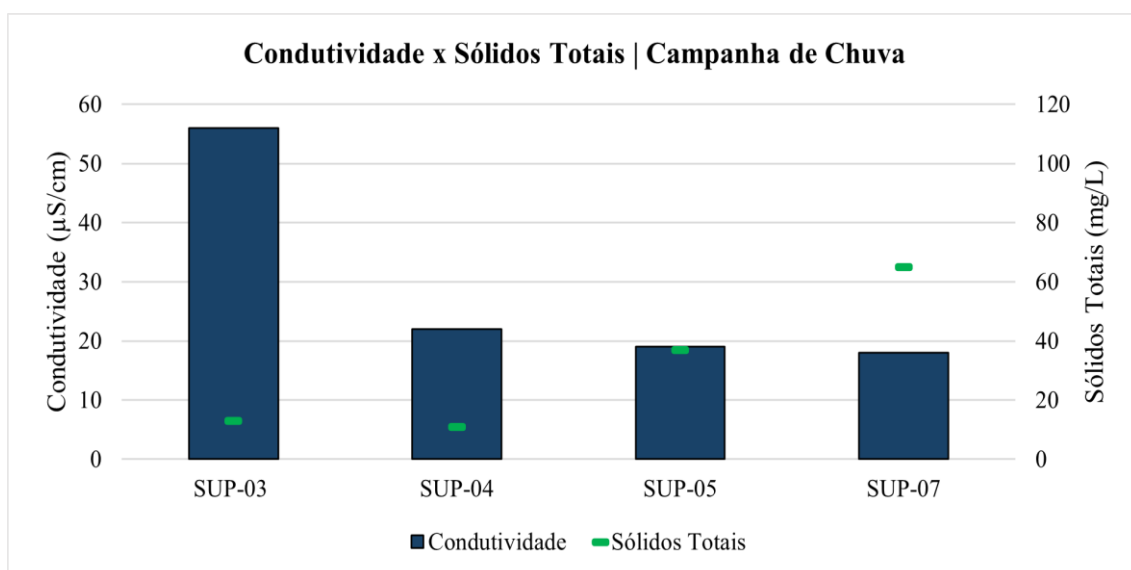


Figura 110 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Caracterização do grau de oxigenação, de nutrientes e da poluição orgânica: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total, coliformes termotolerantes e E. coli

As principais fontes de Oxigênio Dissolvido (OD) nas águas superficiais são a difusão a partir da atmosfera e a produção vegetal (fotossíntese). No entanto, as perdas são decorrentes da respiração dos organismos aquáticos e oxidação química, principalmente por íons metálicos, como ferro e manganês, e no ciclo de moléculas orgânicas, como do nitrogênio e do enxofre (ESTEVES, 2011).

Dos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão das Vargens, apenas os resultados do SUP-03 foram inferiores ao limite mínimo de 5 mg/L, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2 (Figura 111). Como o ponto se insere mais a jusante na sub-bacia, recebe contribuição e influência de maior área da bacia em relação aos demais pontos de amostragem, podendo haver aporte de substâncias que causam o consumo de oxigênio, principalmente no período chuvoso, onde a concentração de 0,3 mg/L foi muito inferior em comparação às demais. De forma geral, os cursos d'água a montante demonstraram boa capacidade do curso d'água em manter a vida aquática, nos locais de coleta (SUP-04, SUP-05 e SUP-07).

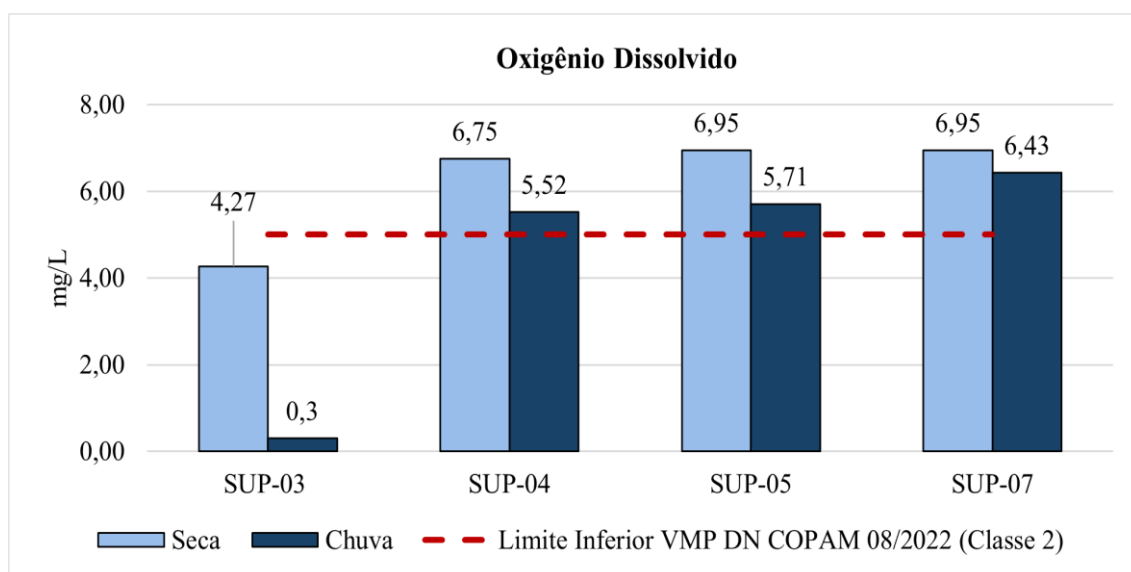


Figura 111 Resultados para o parâmetro Oxigênio Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

O parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a medida indireta da matéria orgânica na água através do cálculo do consumo de oxigênio por microrganismos em um dado período; quanto maior a concentração de matéria orgânica presente no corpo de água, mais elevado o consumo de oxigênio pelos microrganismos que a degradam.

As concentrações de DBO foram inferiores ao Limite de Quantificação, de 3 mg/L, em todos os pontos e amostragens, estando ainda abaixo do limite máximo permitido pela DN COPAM/CERH-MG nº



08/2022 (águas doces, Classe 2), como pode ser visto no gráfico da Figura 112.

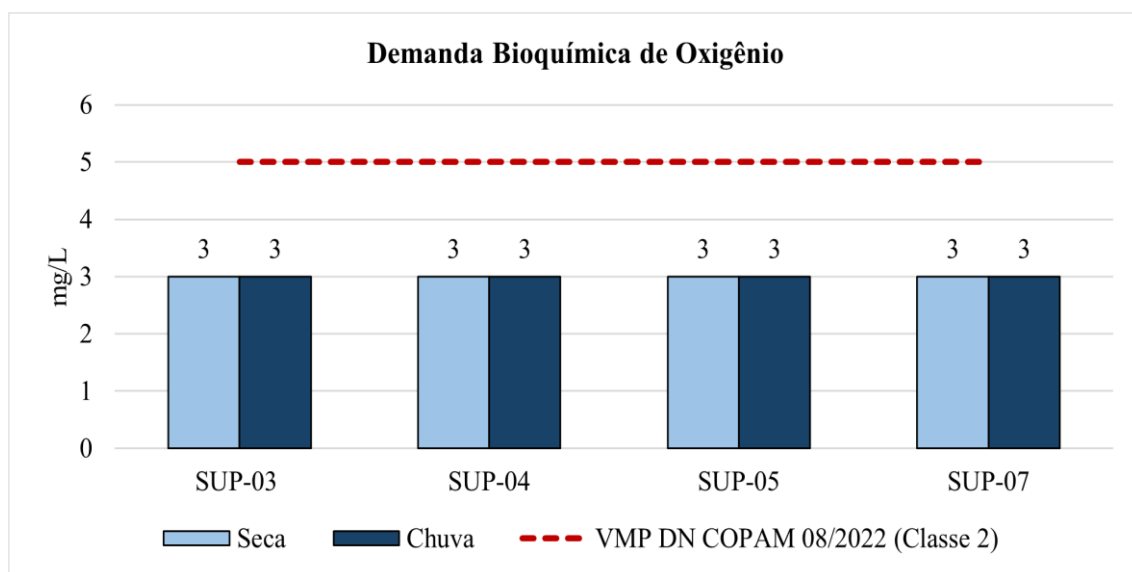


Figura 112 Resultados para o parâmetro DBO na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

As etapas de degradação da poluição orgânica podem ser associadas às formas de nitrogênio presentes em águas superficiais. O Nitrogênio Amoniacal é uma forma reduzida, encontrada em ambientes e locais próximos aos focos de poluição (CETESB, 2017).

Os limites máximos estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2) para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal são determinados em função dos valores de pH. Nas amostras obtidas na sub-bacia do ribeirão das Vargens, o pH esteve abaixo de 7,5 em todos os pontos no período de chuva e no período de seca nos pontos SUP-04 e SUP-07, de forma que foi utilizado o valor de 3,7 mg/L para o limite. Já para os pontos SUP-03 e SUP-05, na seca, onde o pH esteve entre 8,0 e 8,5, o limite aplicado foi de 1,0 mg/L para Nitrogênio Amoniacal, como pode ser visto nos gráficos da Figura 113 e Figura 114.

A partir disso, as concentrações de Nitrogênio Amoniacal variaram entre 0,06 e 0,22 mg/L (seca) e de 0,14 mg/L e 0,74 mg/L (chuva), estando todas em conformidade com os Valores Máximos Permitidos (VMP) pela legislação vigente.

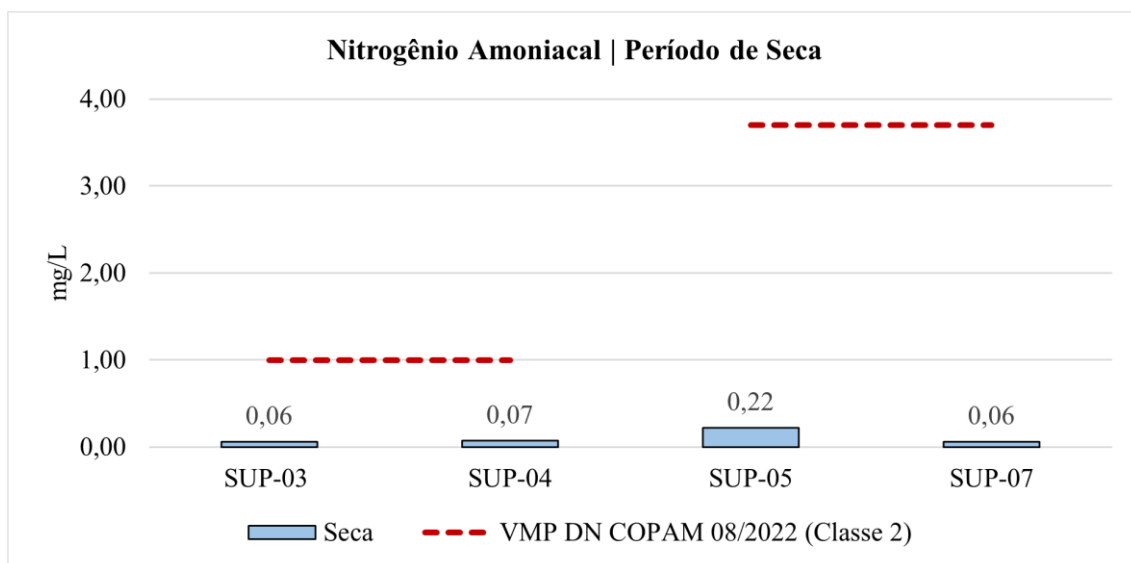


Figura 113 Resultados para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens – Período de Seca

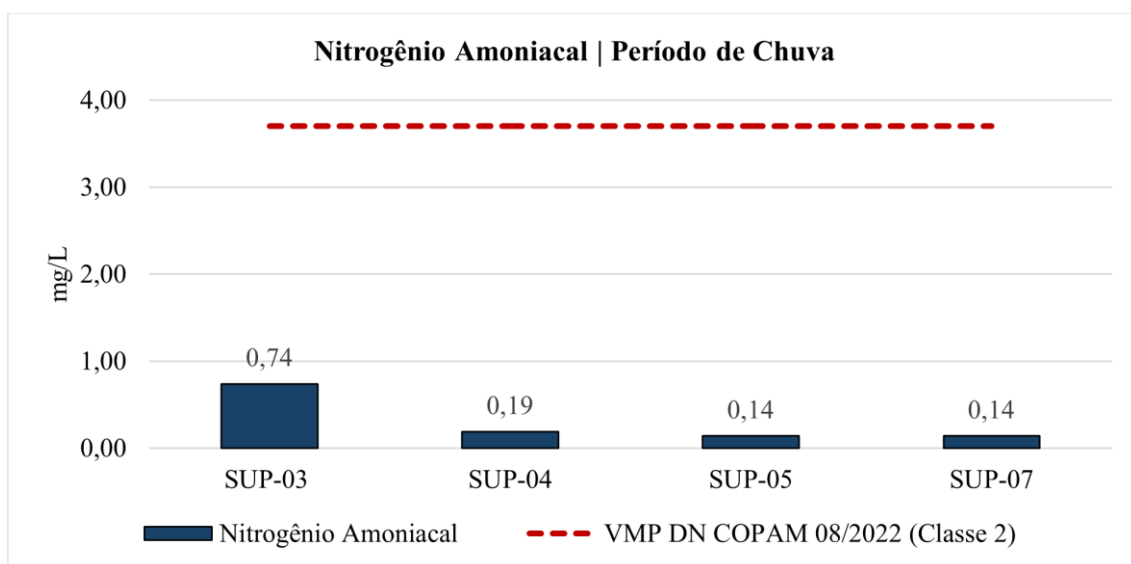


Figura 114 Resultados para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens – Período de Chuva

O fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macronutrientes. Em termos de qualidade das águas, este se apresenta principalmente nas formas de ortofosfato e fosfatos orgânicos. A origem antrópica desse macronutriente é a partir de lançamentos de despejos domésticos, industriais, excrementos de animais, fertilizantes e detergentes (CETESB, 2017).

A DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2, estabelece o limite máximo de 0,1 mg/L para Fósforo Total em ambientes lóticos. Conforme apresentado na Figura 115, todos os resultados estiveram abaixo do VMP (Valor Máximo Permitido), tanto para campanha de seca quanto para a campanha de chuva.

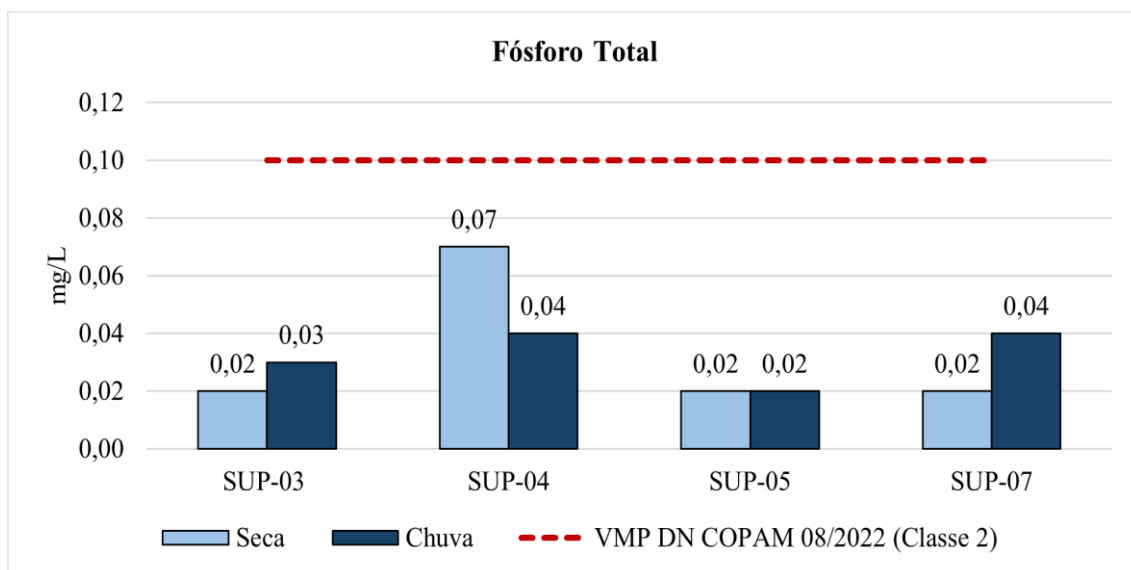


Figura 115 Resultados para o parâmetro Fósforo Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Os Coliformes Termotolerantes são definidos como micro-organismos capazes de fermentar a lactose a uma temperatura de 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli*. A *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação (CETESB, 2017).

Os resultados do parâmetro Coliformes Termotolerantes estiveram em conformidade com a legislação na maioria dos pontos. No ponto SUP-03 a concentração superou o limite de 1000 UFC/100 mL, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2 (Figura 116), tanto para o período de seca quanto para o período de chuva. As concentrações foram superiores no período chuvoso, possivelmente em função do carreamento de sedimentos das margens, onde há atividade antrópica de pastagem e demais atividades.

De forma similar, o resultado obtido no ponto SUP-03 para o parâmetro *E. coli* esteve acima do limite, como mostra a Figura 117. Isso se justifica, possivelmente, em função da localização do ponto mais a jusante da bacia e pelo uso do solo com ocorrência de pastagem e potencial contato direto de animais.

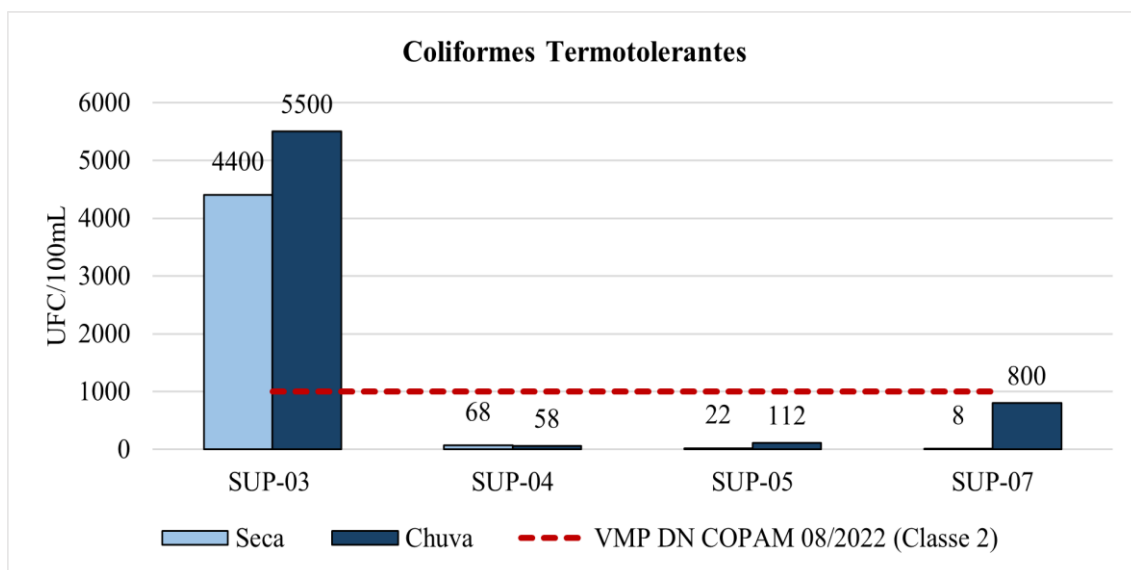


Figura 116 Resultados para o parâmetro Coliformes Termotolerantes na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

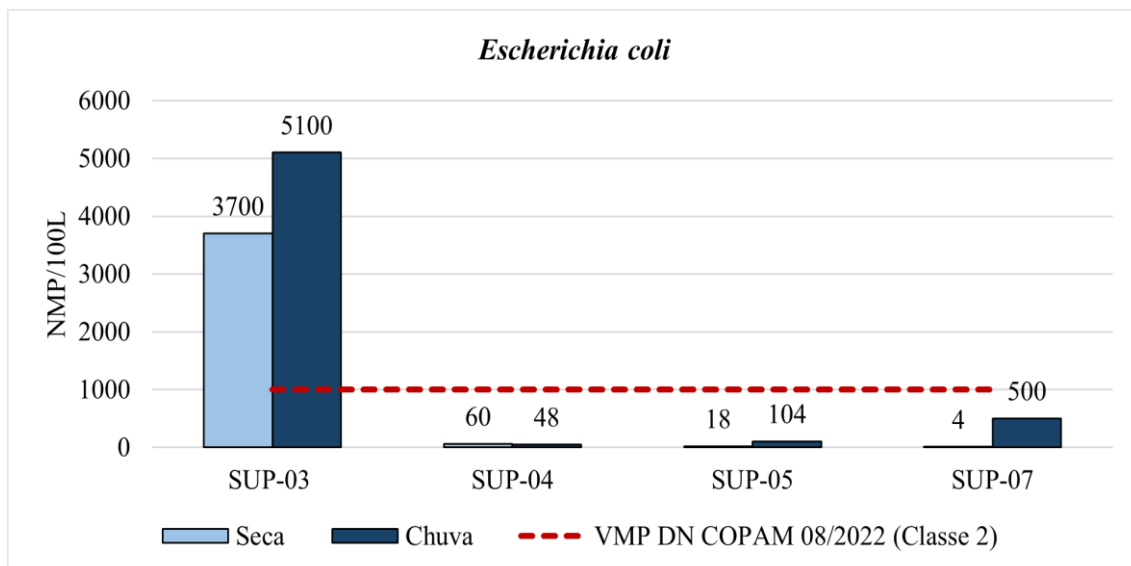


Figura 117 Resultados para o parâmetro *E. coli* na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes na água: alumínio dissolvido, arsênio total, chumbo total, cobre dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, níquel total, tório total e urânio total

Os resultados de Alumínio Dissolvido se encontram no gráfico da Figura 118 e estiveram acima do limite de 0,1 mg/L, estabelecido para águas doces, Classe 2, pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 em todos os pontos de monitoramento para ambos os períodos amostrados (seca e chuva). As concentrações de alumínio em águas superficiais, na região de Poços de Caldas, se justificam pela geologia rica em bauxita, matéria-prima para fabricação de alumínio. Apesar do ponto SUP-03 se localizar mais a jusante na sub-bacia, apresentou a menor concentração de Alumínio Dissolvido no período de chuva (0,11 mg/L).

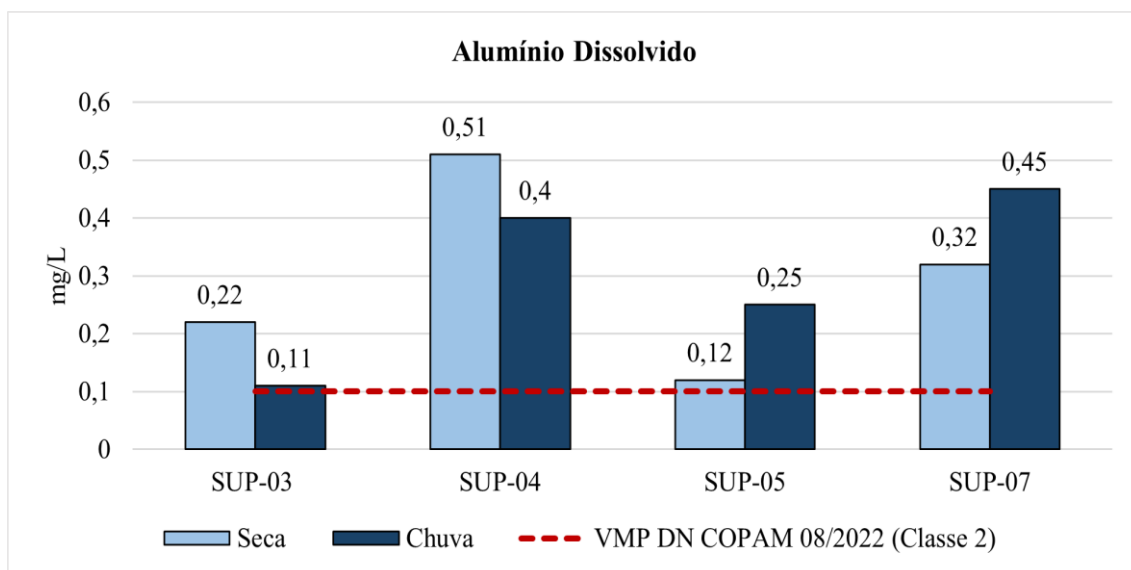


Figura 118 Resultados para o parâmetro Alumínio Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

No que tange aos dados de Ferro Dissolvido, mostrados no gráfico da Figura 119, os valores foram inferiores ao limite de 0,3 mg/L, permitido para águas doces de Classe 2 (DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022), na maioria dos pontos no período de seca, sendo a única não conformidade identificada no SUP-03, com concentração de 0,75 mg/L. Já para o período chuvoso, apenas o ponto SUP-05 (0,23 mg/L) apresentou concentração inferior ao VMP, e no ponto SUP-03, assim como no período seca, foi identificada a maior concentração (0,83 mg/L). O parâmetro pode ser proveniente de fontes naturais, associados à geologia do solo e tende a aumentar nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e processos erosivos (CETESB, 2017).

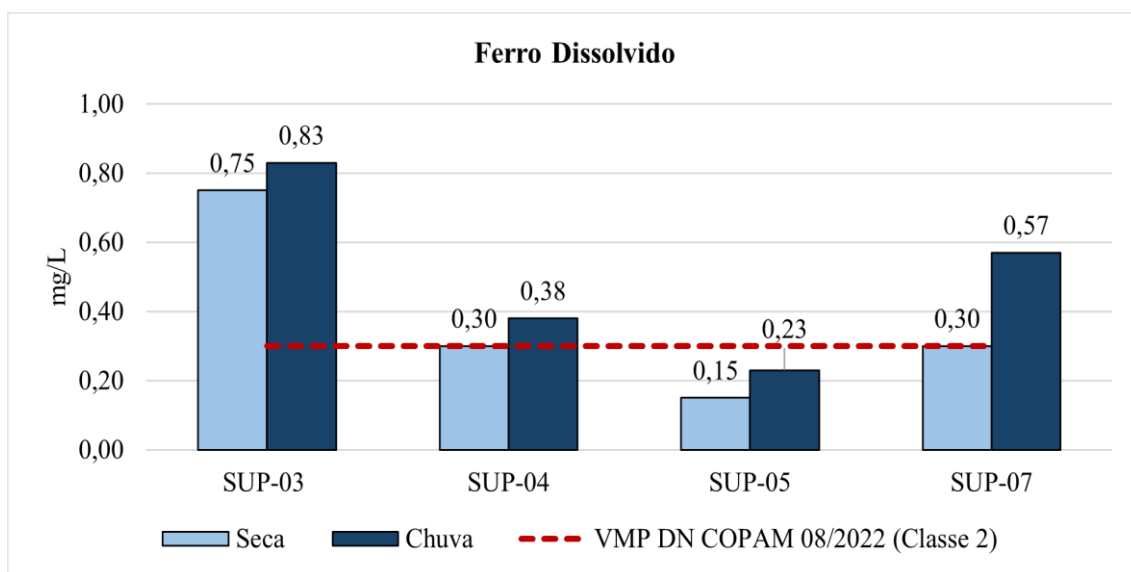


Figura 119 Resultados para o parâmetro Ferro Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

A DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 fixa um limite de 0,1 mg/L em águas doces de classe 2. De

acordo com os resultados da Figura 120, os valores de Manganês Total nos pontos SUP-04 e SUP-05 estiveram abaixo do VMP em todas as amostragens. Já no ponto SUP-03 os valores foram de 0,35 mg/L (seca) e 0,93 mg/L (chuva), e no SUP-07, de 0,12 mg/L (seca) e 0,18 mg/L (chuva), superando o limite estabelecido. O manganês ocorre naturalmente nas águas superficiais, mas sua presença, principalmente em altas concentrações, é decorrente, geralmente, de atividades antropogênicas (CETESB, 2017). Em todos os pontos os resultados foram superiores no período de chuva, possivelmente em decorrência da ação da precipitação, que contribui no carreamento de sedimentos para os cursos d'água. As concentrações do SUP-03 se destacaram em relação às demais amostragens, o que se justifica pela maior contribuição de vazão recebida, em função da localização do ponto, mais a jusante na sub-bacia.

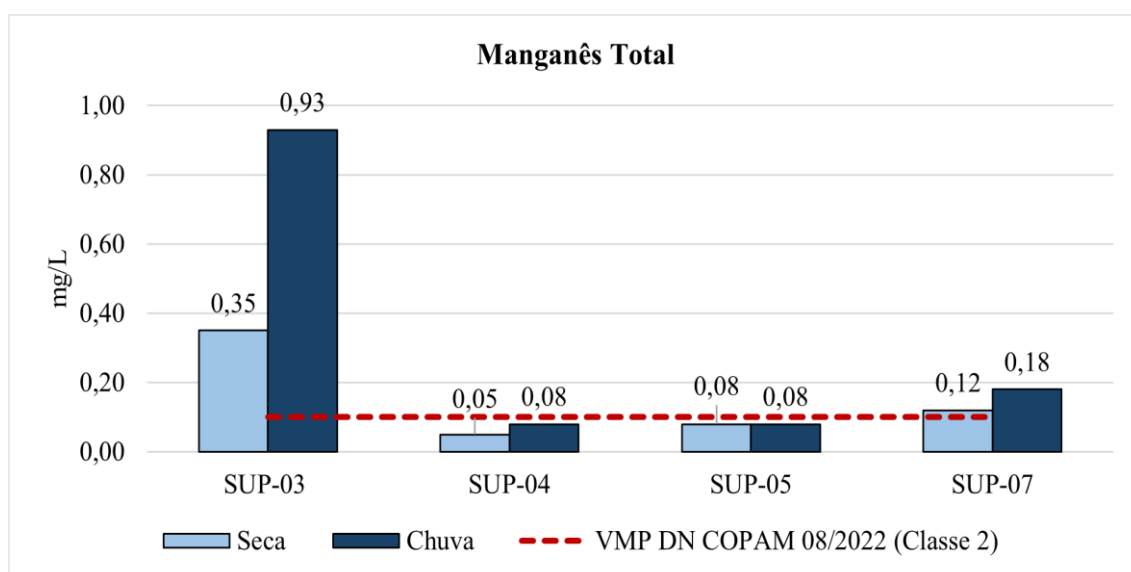


Figura 120 Resultados para o parâmetro Manganês Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Os resultados identificados para os parâmetros Arsênio Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, Níquel Total, Tório Total e Urânio Total são apresentados nos gráficos da Figura 121 a Figura 126. Não foi verificado nenhum desvio em relação aos valores máximos preconizados pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2), tanto para o período de seca quanto para o período de chuva nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão das Vargens. Além disso, os dados de todos os parâmetros supracitados foram inferiores aos Limites de Quantificação do método em todas as amostragens.

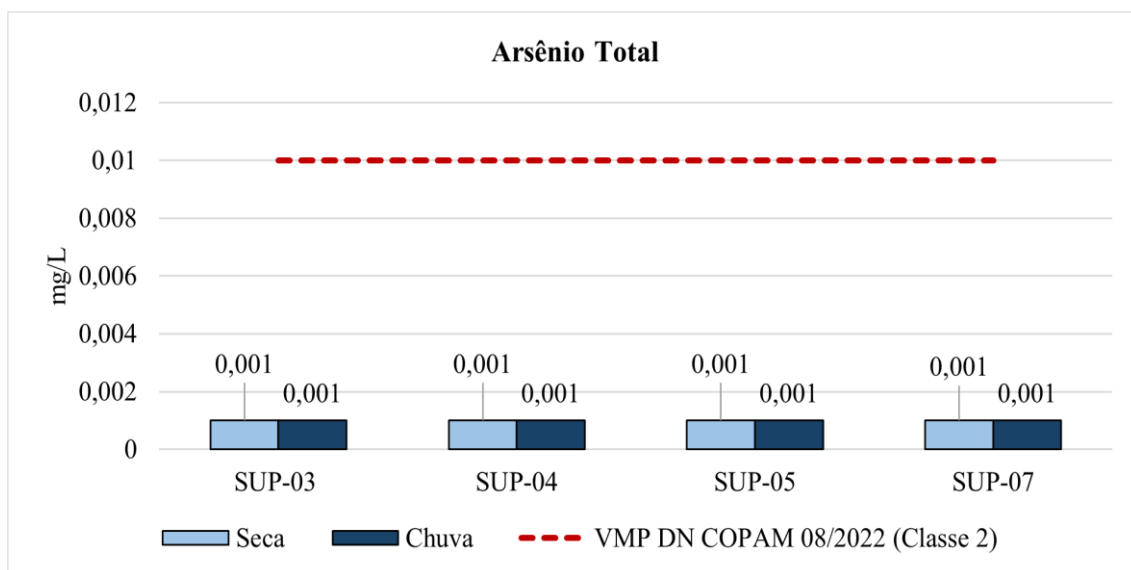


Figura 121 Resultados para o parâmetro Arsênio Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

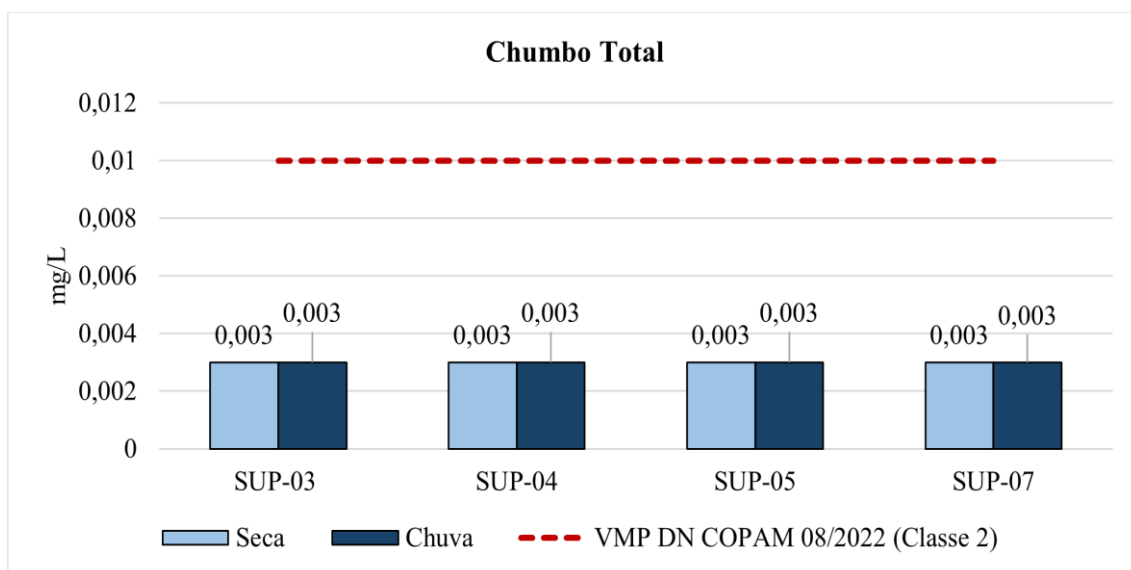


Figura 122 Resultados para o parâmetro Chumbo Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

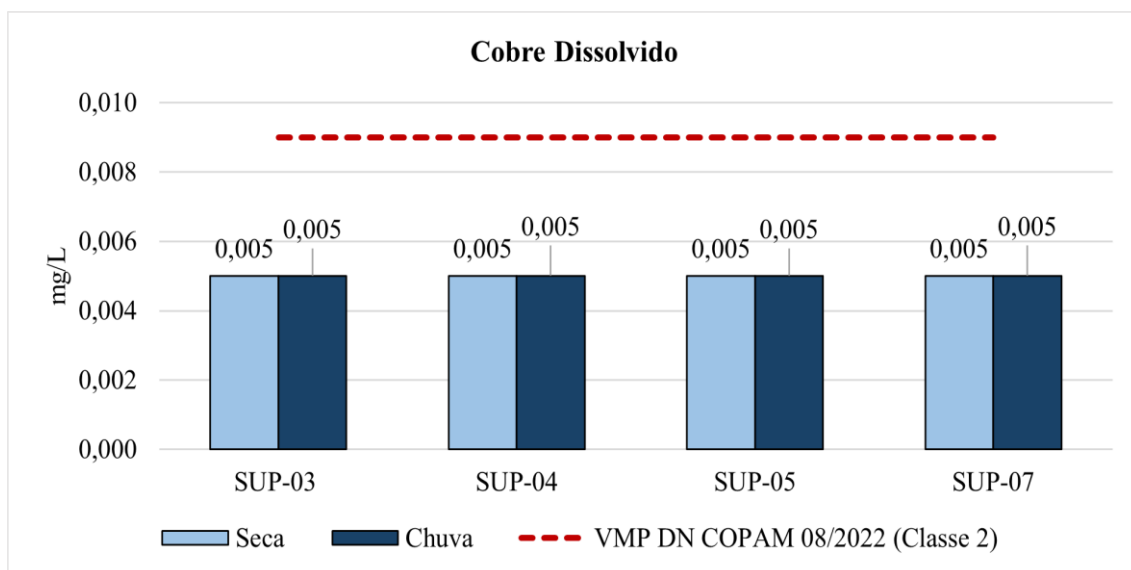


Figura 123 Resultados para o parâmetro Cobre Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

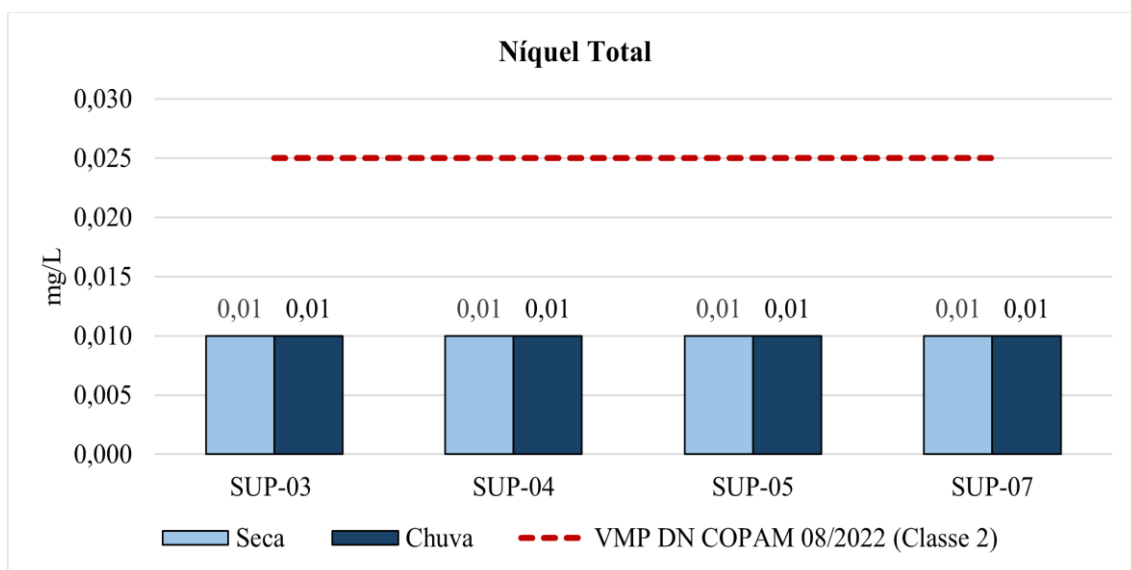


Figura 124 Resultados para o parâmetro Níquel Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

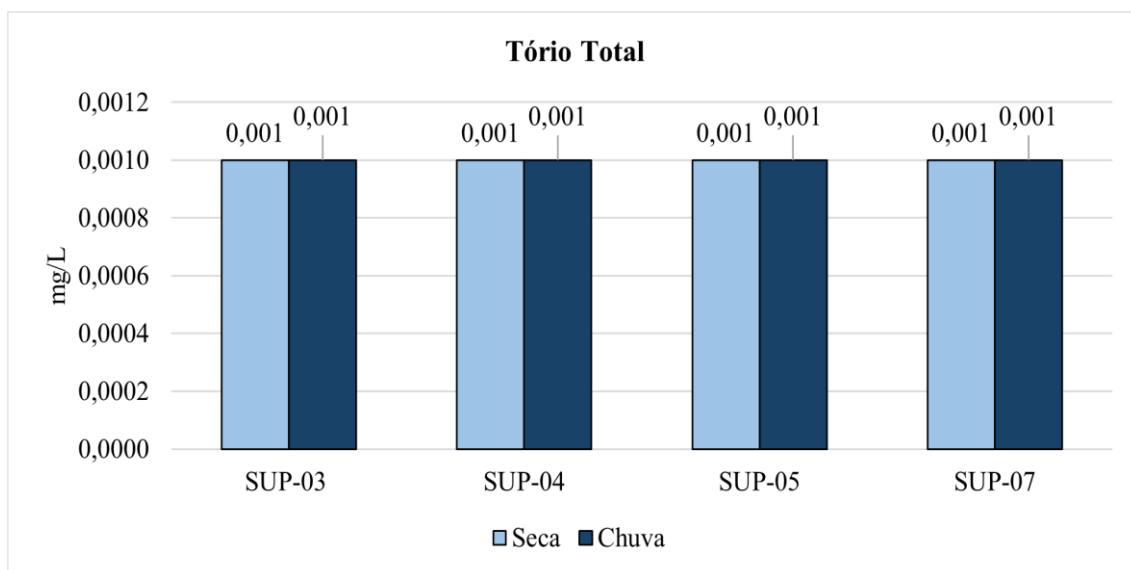


Figura 125 Resultados para o parâmetro Tório Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

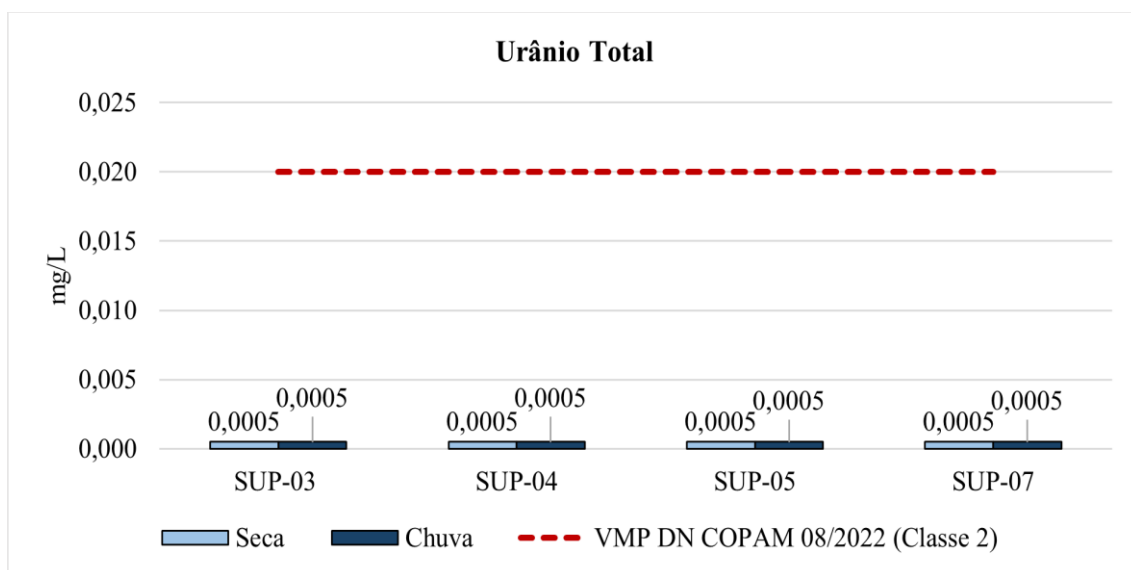


Figura 126 Resultados para o parâmetro Urânio Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Caracterização de radioatividade alfa e beta

Os resultados para radioatividade alfa e radioatividade beta obtidos nas campanhas de seca e chuva na sub-bacia do ribeirão das Vargens e podem ser vistos nos gráficos da Figura 127 e Figura 128. As concentrações para todos os pontos foram inferiores aos respectivos Limites de Quantificação (LQ) do laboratório, de <0,33 Bq/L para a Radioatividade Alfa e <0,37 Bq/L para Radioatividade Beta.

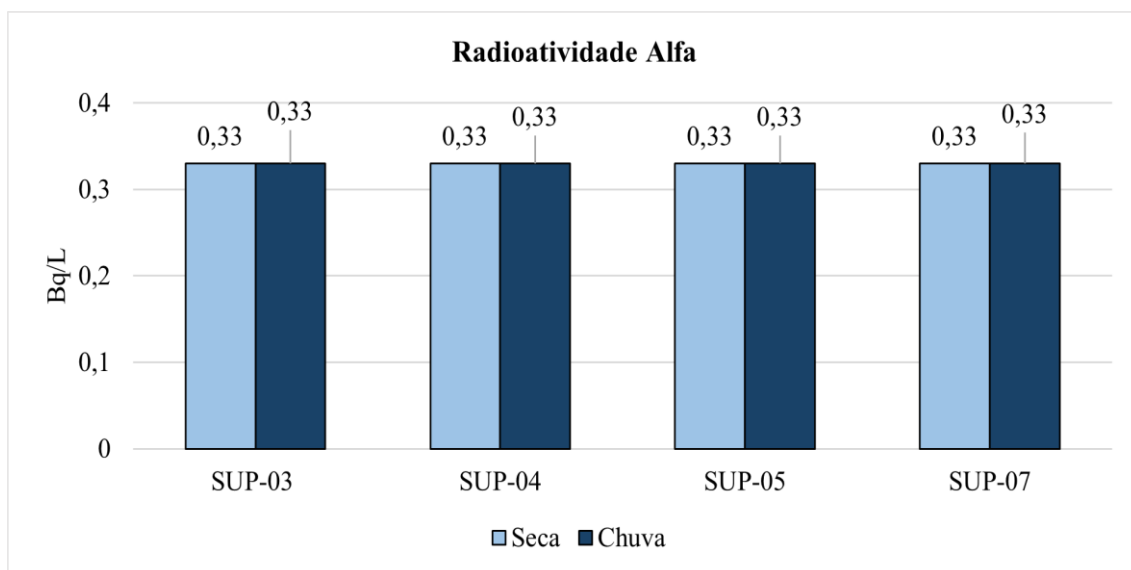


Figura 127 Resultados para o parâmetro Radioatividade Alfa na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

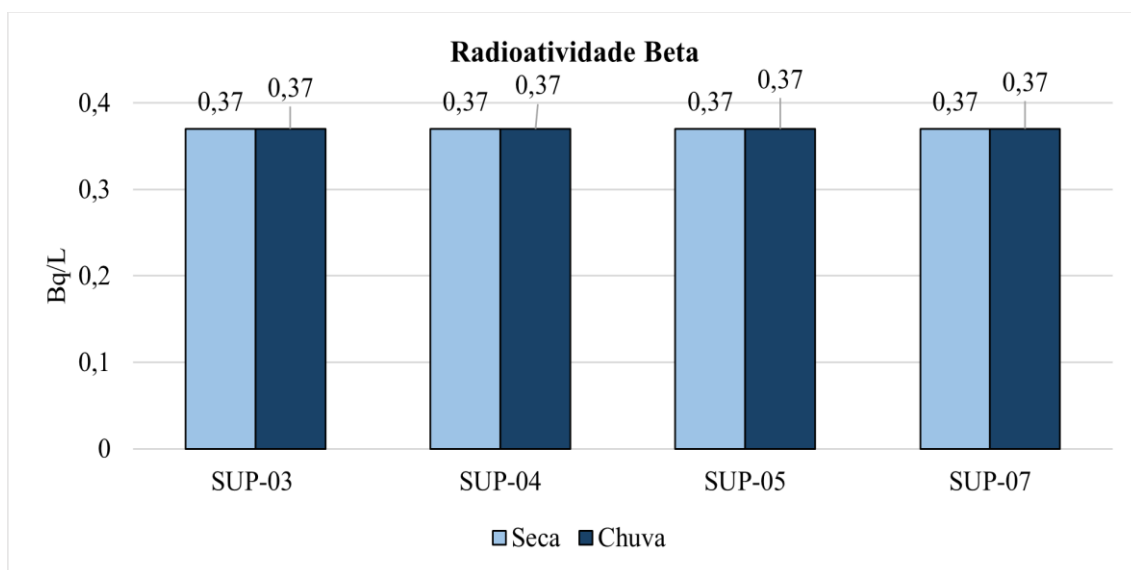


Figura 128 Resultados para o parâmetro Radioatividade Beta na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Indicadores de Análise de Qualidade das Águas

Na Tabela 71 estão demonstrados os IQAs calculados para os pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens nas campanhas de seca e chuva do ano de 2024. Com o cálculo do IQA, a partir dos resultados dos parâmetros analisados, é possível realizar uma avaliação das condições gerais da qualidade das águas superficiais.

Tabela 71 IQA dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Ponto	Período de monitoramento	
	Seca	Chuva



SUP-03	Médio	Médio
SUP-04	Bom	Bom
SUP-05	Bom	Bom
SUP-07	Bom	Médio

Com os dados expostos na Tabela 71, observa-se, de forma geral, melhor qualidade no período de seca. Nos pontos SUP-04 e SUP-05 o desempenho foi “Bom” no período de seca e chuva, enquanto no ponto SUP-07 o IQA foi classificado como “Bom” no período de seca e como “Médio” no período de chuva. Já o ponto SUP-03 teve o seu resultado sendo enquadrado como “Médio” em ambos os períodos.

Os dados calculados para o IET são apresentados na Tabela 72. Em todos os pontos, em ambas as amostragens (seca e chuva), os resultados de IET apresentaram valores na faixa de Mesotrófico, sendo, portanto, o presente ribeirão podendo ser considerado como um corpo d’água em condições ainda aceitáveis de nível de eutrofização (IGAM, 2024). Destaca-se que, os resultados corroboram com os reportados pelo IGAM na avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Grande (IGAM, 2023) em que, como citado no tópico de Caracterização das Águas Superficiais da AER, a classificação foi como Mesotrófico.

Vale ressaltar que, para os pontos SUP-03 (seca), SUP-05 (seca e chuva) e SUP-07 (seca), que obtiveram concentrações inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório para o parâmetro Fósforo Total, os resultados de IET calculados refletem o LQ e não as classes reais dos cursos d’água.

Tabela 72 IET dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Ponto	Classificação	
	Seca	Chuva
SUP-03	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-04	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-05	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-07	Mesotrófico	Mesotrófico

A partir da metodologia disponibilizada pelo IGAM e dos parâmetros Arsênio Total, Bário Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, e Zinco Total, amostrados nas campanhas de seca e chuva, os resultados de CT para a pontos pertencentes a sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens são apresentados na Tabela 73. O índice foi classificado como “baixa”, portanto, não há valores significativos de contaminação de tóxicos nessa sub-bacia.

Tabela 73 CT dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Ponto	Período	Arsênio Total	Bário Total	Cádmio Total	Chumbo Total	Cobre Dissolvido	Zinco Total
SUP-03	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa



	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-04	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-05	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-07	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

6.1.11.1.2.2.3. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas, especificamente na calha principal e afluente próximo, foram definidos três (03) pontos de análise das águas superficiais: SUP-02, SUP-06 e SUP-08. A localização e o enquadramento dos cursos hídricos, correspondente a cada ponto de monitoramento, podem ser observados no diagrama unifilar da Figura 129.

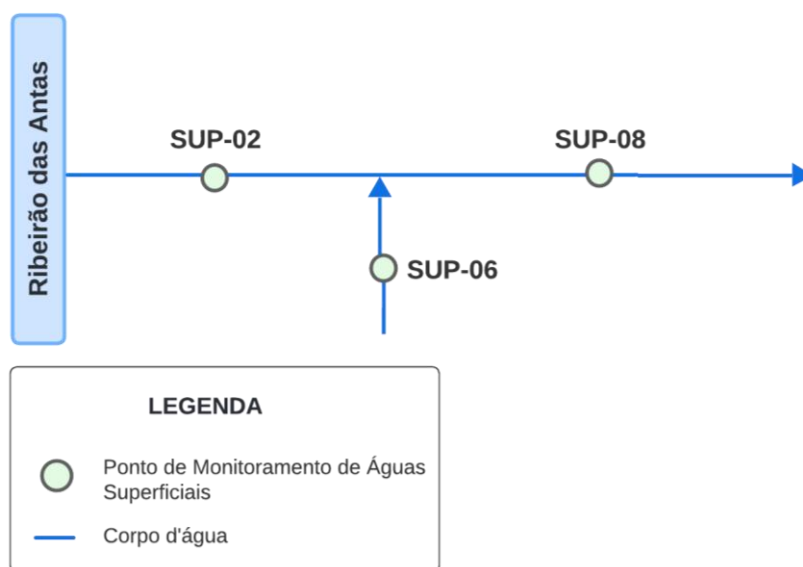


Figura 129 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para os parâmetros de maior relevância para caracterização das águas superficiais, sendo comparados aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, para águas doces de Classe 2.

Caracterização genérica da água: pH, temperatura, cor e turbidez

É possível verificar que todos os resultados de pH, obtidos durante a campanha de seca, estiveram dentro da faixa limite estabelecidas pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, de 6 a 9 para águas doces de classe 2. Na campanha de chuva, apenas o ponto SUP-06 apresentou valor abaixo de 6, estando não conforme com o limite estabelecido (Figura 130). O pH pode sofrer influência de diferentes fatores, como da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e ação

foto-sintética (Von Sperling, 1996). Portanto, a variação nos valores obtidos na campanha de seca para o da campanha de chuva no ponto SUP-06, pode ser justificada pelo carregamento de sedimentos e matéria orgânica para os cursos d'água, gerando alteração nos valores do pH.

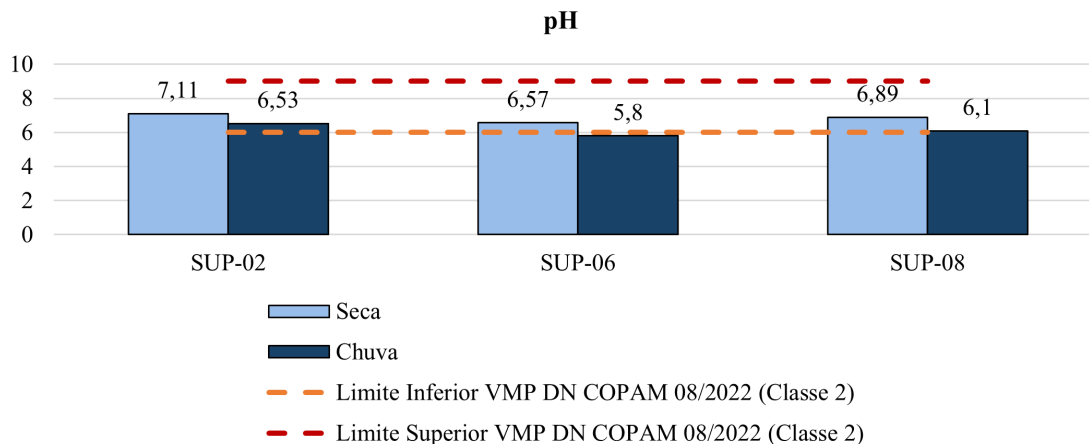


Figura 130 Resultados para o parâmetro pH na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Em relação ao parâmetro Temperatura, não é estabelecido limite máximo na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces de classe 2. No gráfico Figura 131 estão apresentados os resultados obtidos, sendo que no período de seca, variaram de 12,39 a 13,59 °C, e no período de chuva, de 17,26 a 22,61 °C. A elevação nos valores do período de chuva pode ser justificada devido as características sazonais na região.

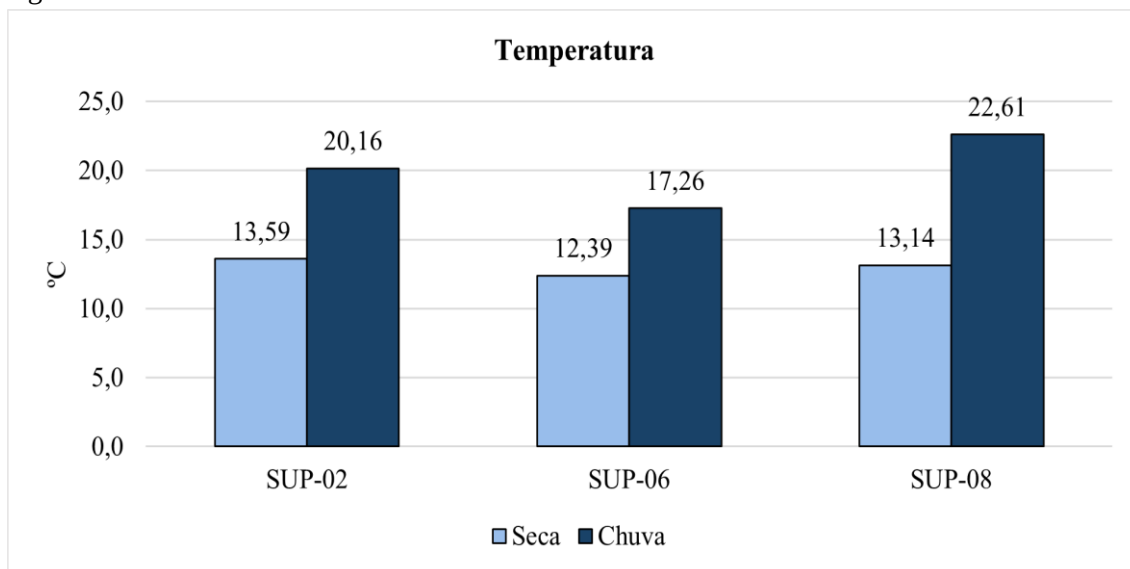


Figura 131 Resultados para o parâmetro Temperatura na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Nos pontos avaliados, todos os resultados de Cor Verdadeira, para ambos os períodos, estiveram abaixo do limite de 75 mg/L, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2) (Figura 132). Vale ressaltar que, com exceção do SUP-02 (chuva), em todas as outras amostragens os resultados foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 10 mg/L.

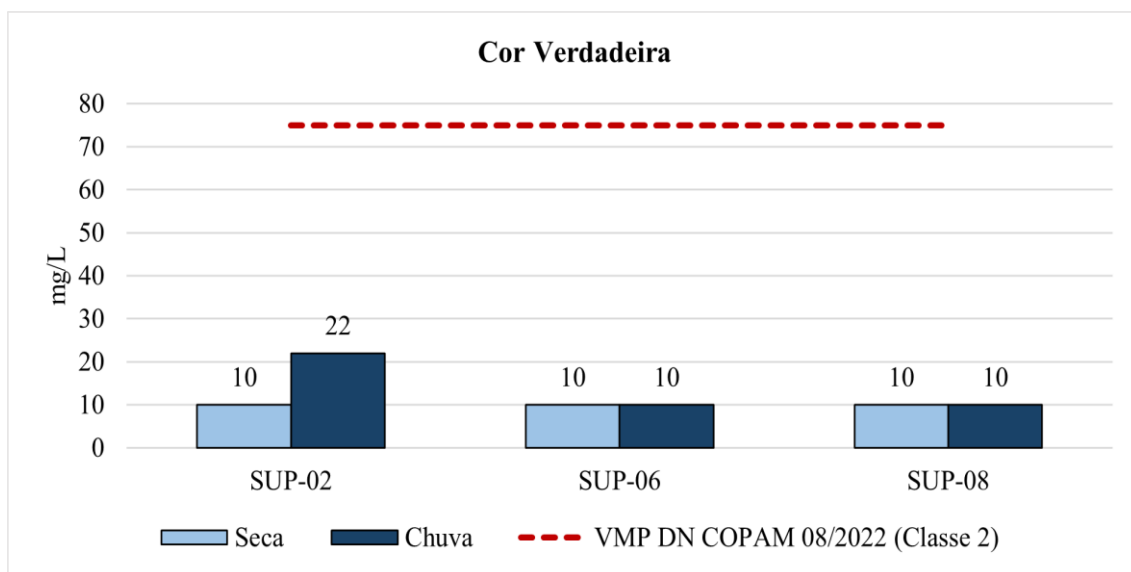


Figura 132 Resultados para o parâmetro Cor Verdadeira na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para as campanhas de seca e chuva, todos os resultados de Turbidez estiveram abaixo do limite de 100 NTU (DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, águas doces, Classe 2), conforme gráfico da Figura 133. Os dados foram inferiores ainda, ao limite para águas doces de Classe 1 (40 NTU), e se aproximaram a concentrações de Turbidez definidas para os padrões de potabilidade.

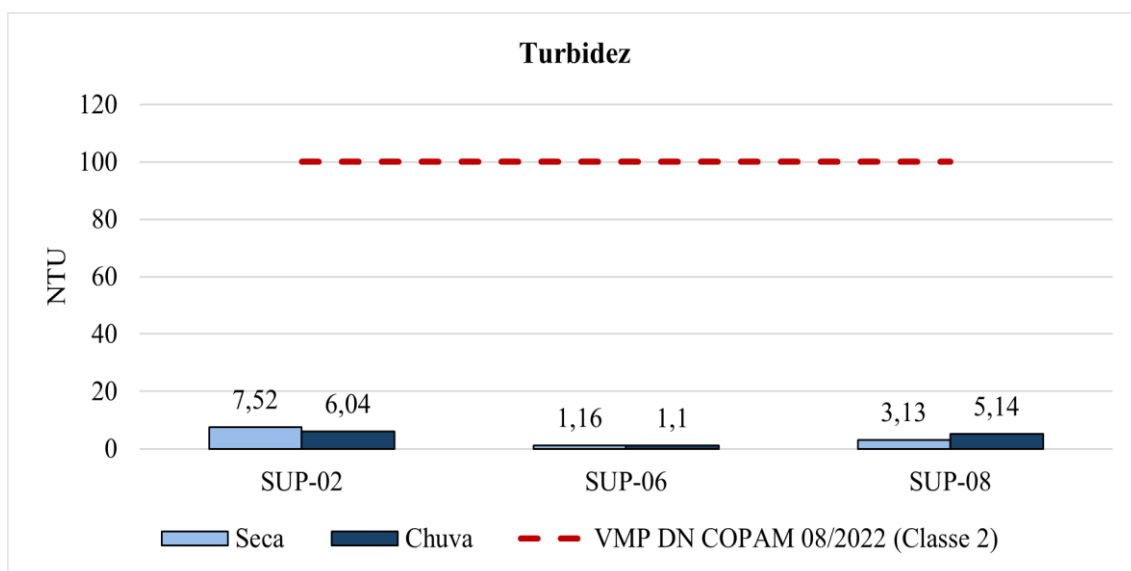


Figura 133 Resultados para o parâmetro Turbidez na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

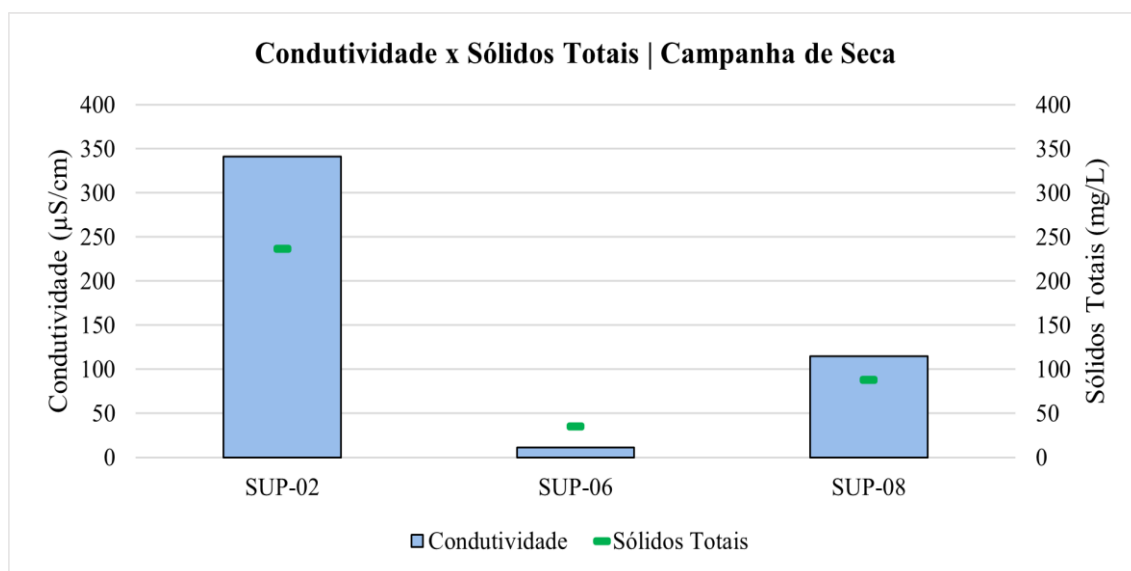
Caracterização do grau de mineralização da água: condutividade elétrica e sólidos totais

Quanto à quantidade de minerais presentes na água, foram analisados os parâmetros Condutividade Elétrica e Sólidos Totais. Os resultados obtidos para ambos os parâmetros são apresentados no gráfico da Figura 134, para o período de seca, e no gráfico da Figura 135 para o período de chuva.



Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados, ou seja, à medida que a concentração de sólidos aumenta, a condutividade da água também tende a aumentar (WEIGHT, 2008; CETESB, 2017). Os resultados de Condutividade Elétrica estiveram acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período de seca, nos pontos SUP-02 e SUP-08, com destaque para o SUP-02, que superou 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores mais altos para o parâmetro Sólidos Totais também foram identificados no ponto SUP-02, corroborando a relação entre as variáveis.

Já para o campo de chuva, todos os resultados obtidos para a Condutividade Elétrica foram abaixo 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e em relação aos Sólidos Totais, o maior valor foi de 83 mg/L, no ponto SUP-02, onde o resultado de Condutividade Elétrica também foi mais elevado. Na legislação vigente não são estabelecidos limites máximos para Condutividade Elétrica e Sólidos totais, para nenhuma classe de enquadramento das águas doces superficiais.



gura 134 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

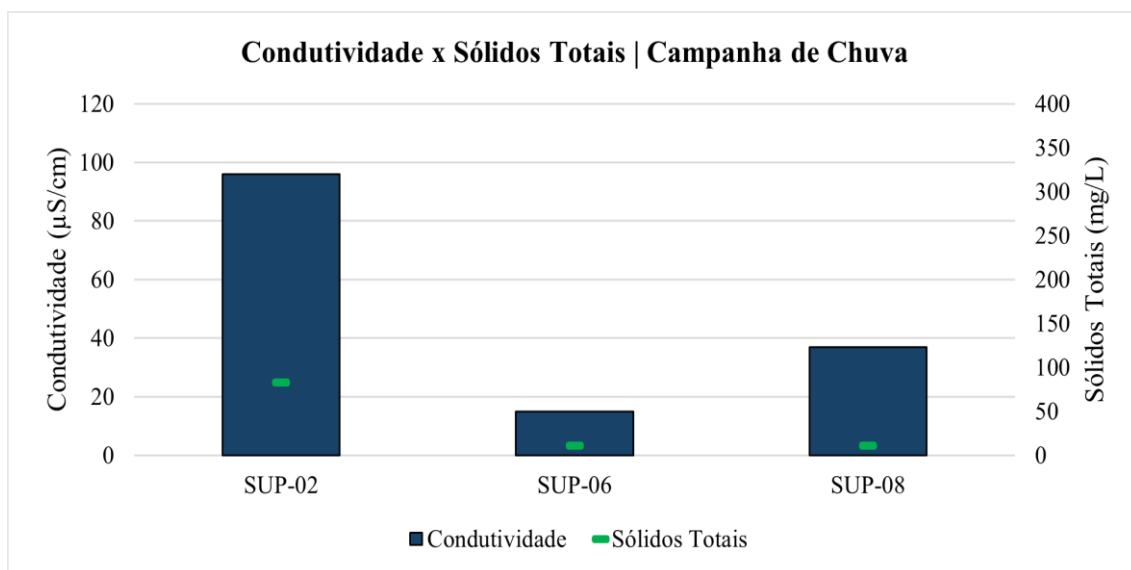


Figura 135 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Caracterização do grau de oxigenação, de nutrientes e da poluição orgânica: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total, coliformes termotolerantes e E. coli

As principais fontes de Oxigênio Dissolvido (OD) nas águas superficiais são a difusão a partir da atmosfera e a produção vegetal (fotossíntese). No entanto, as perdas são decorrentes da respiração dos organismos aquáticos e oxidação química, principalmente por íons metálicos, como ferro e manganês, e no ciclo de moléculas orgânicas, como do nitrogênio e do enxofre (ESTEVES, 2011).

Nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão das Antas, todos os resultados do período de seca se apresentaram em conformidade, estando acima do limite inferior de 5 mg/L, estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2 (Figura 136). Entretanto, no período de chuva o ponto SUP-08 apresentou resultado abaixo do limite inferior, com concentração de 4,66 mg/L.

A redução nas concentrações de OD para a campanha de chuva podem ter influência do maior aporte de matéria orgânica das margens pela ação da precipitação, além dos trechos lânticos e com menor vazão ao longo do curso d'água favorecerem o acúmulo de material e consumo de OD. Vale ressaltar que a concentração de OD na faixa no entorno de 4-5 mg/L pode ser um alerta e ameaça para a vida aquática (Von Sperling, 1996). No entanto, a maioria das amostragens demonstraram nível de oxigenação em conformidade, indicando boa capacidade dos cursos d'água em manter a vida aquática dentre os pontos avaliados.

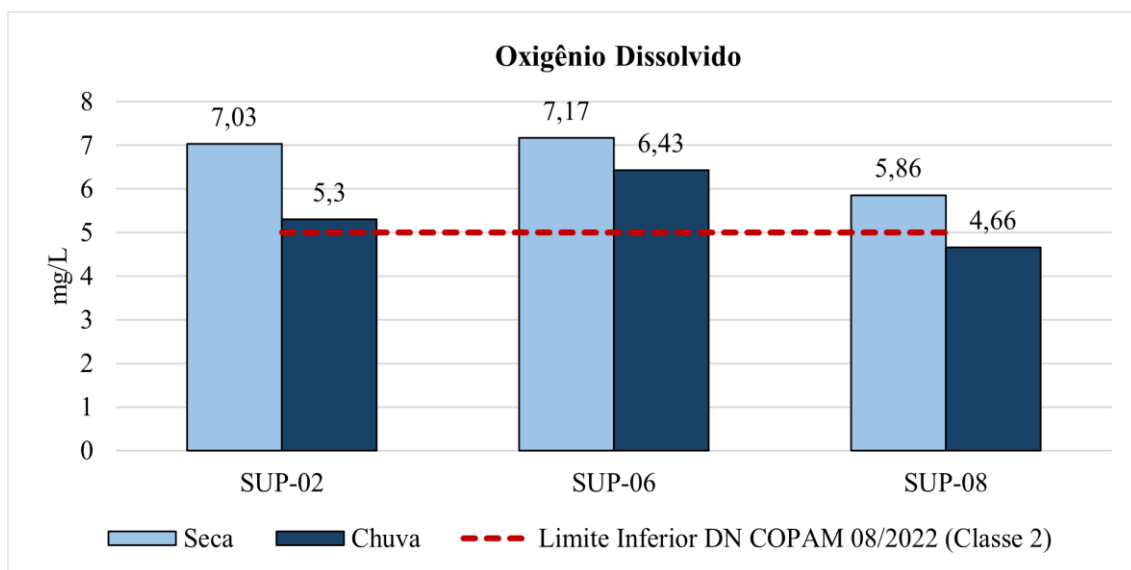


Figura 136 Resultados para o parâmetro Oxigênio Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

As concentrações de DBO foram inferiores ao Limite de Quantificação, de 3 mg/L, em todos os pontos e em todas as amostragens, estando ainda abaixo do limite máximo permitido pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2), como pode ser visto no gráfico da Figura 137. Os valores indicam que há baixa concentração de matéria orgânica disponível, e o baixo consumo de oxigênio necessário para degradar a matéria presente, corrobora os altos resultados de OD identificados na maioria das amostragens.

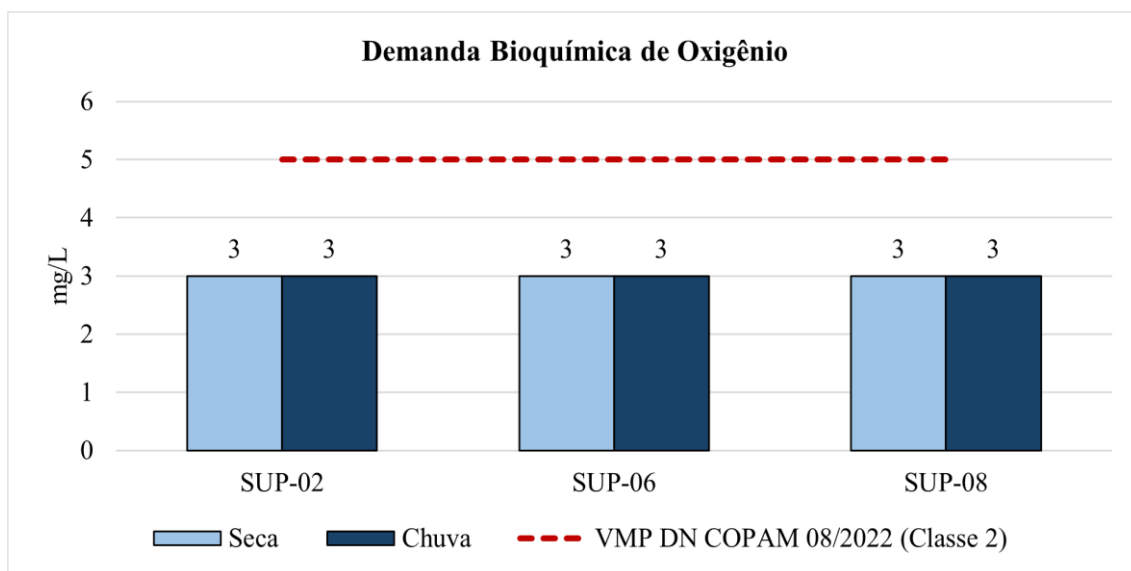


Figura 137 Resultados para o parâmetro DBO na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Os limites máximos estabelecidos na DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 (águas doces, Classe 2) para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal são determinados em função dos valores de pH. Nas amostras obtidas na sub-bacia do ribeirão das Antas, o pH esteve abaixo de 7,5 tanto no período de seca quanto no período de chuva, de forma que foi utilizado o valor de 3,7 mg/L para o limite. A partir disso, as

concentrações para o parâmetro supracitado variaram entre 0,06 e 0,46 mg/L, no período de seca, e de 0,13 mg/L e 0,21 mg/L, no período de chuva, estando todas em conformidade com o limite máximo permitido pela legislação vigente (Figura 138).

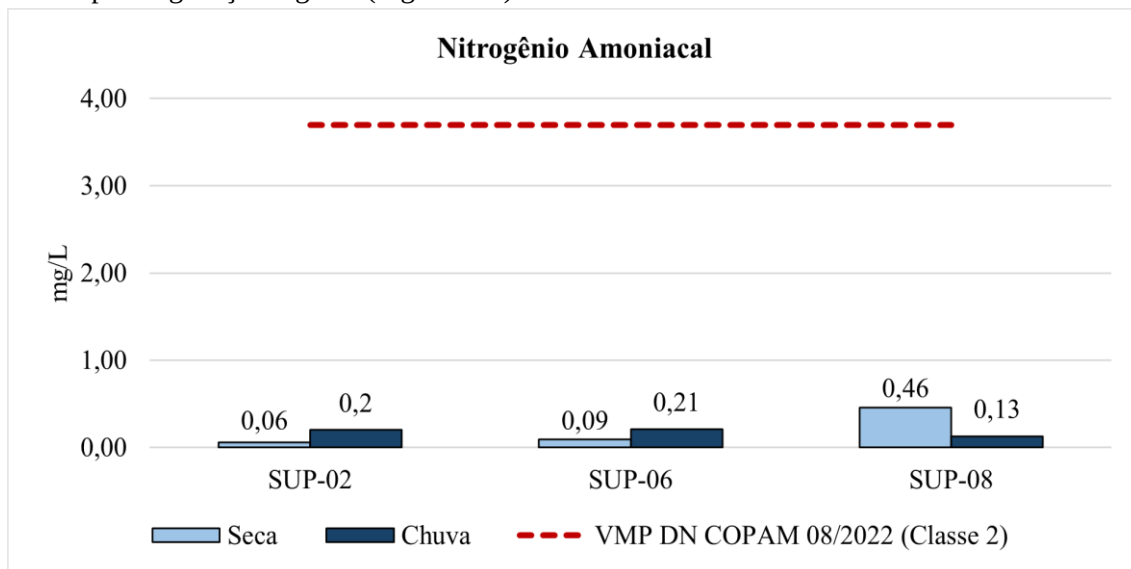


Figura 138 Resultados para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

A DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2, estabelece o limite máximo de 0,1 mg/L para Fósforo Total em ambientes lóticos. Conforme apresentado na Figura 139, todos os resultados de Fósforo Total estiveram abaixo do VMP (Valor Máximo Permitido), em ambas as campanhas.

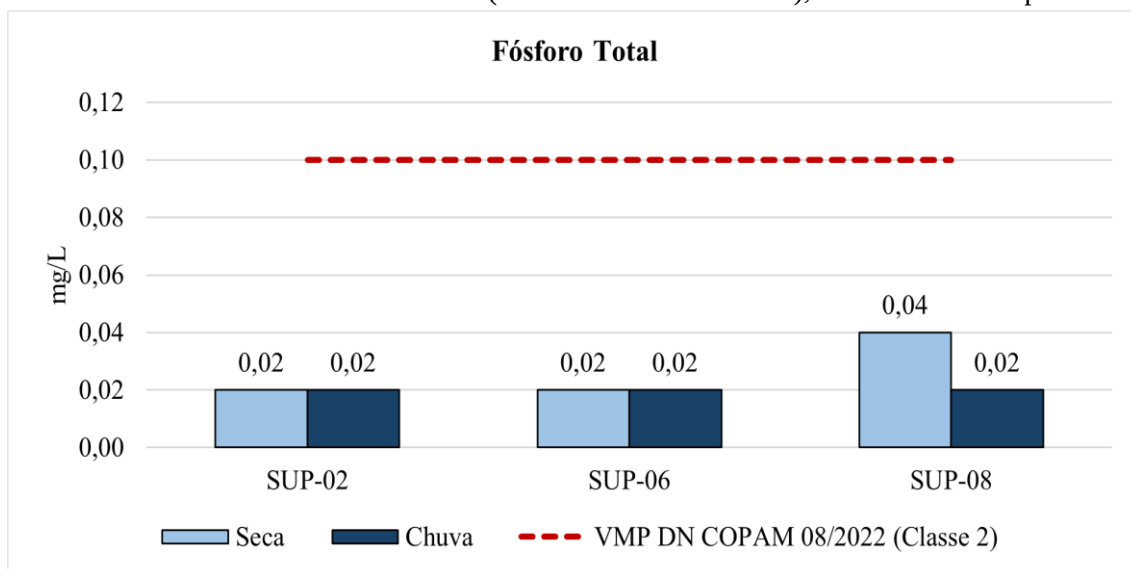


Figura 139 Resultados para o parâmetro Fósforo Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Os Coliformes Termotolerantes e a *Escherichia coli* apresentaram concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 para águas doces, Classe 2, no período de seca e de chuva em todos os pontos, com exceção do ponto SUP-08. Neste ponto, somente no período de chuva, os resultados excederam os limites, como mostram os gráficos das Figura 140 e Figura 141. Analisando a localização do ponto SUP-08, a jusante de uma região com a presença de empreendimentos



e áreas residenciais próximas, possivelmente, o valor elevado pode estar relacionado a fontes de contaminação antrópicas, intensificado pela ação das chuvas a montante do ponto.

Os Coliformes Termotolerantes são definidos como micro-organismos capazes de fermentar a lactose a uma temperatura de 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli*. A *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação (CETESB, 2017).

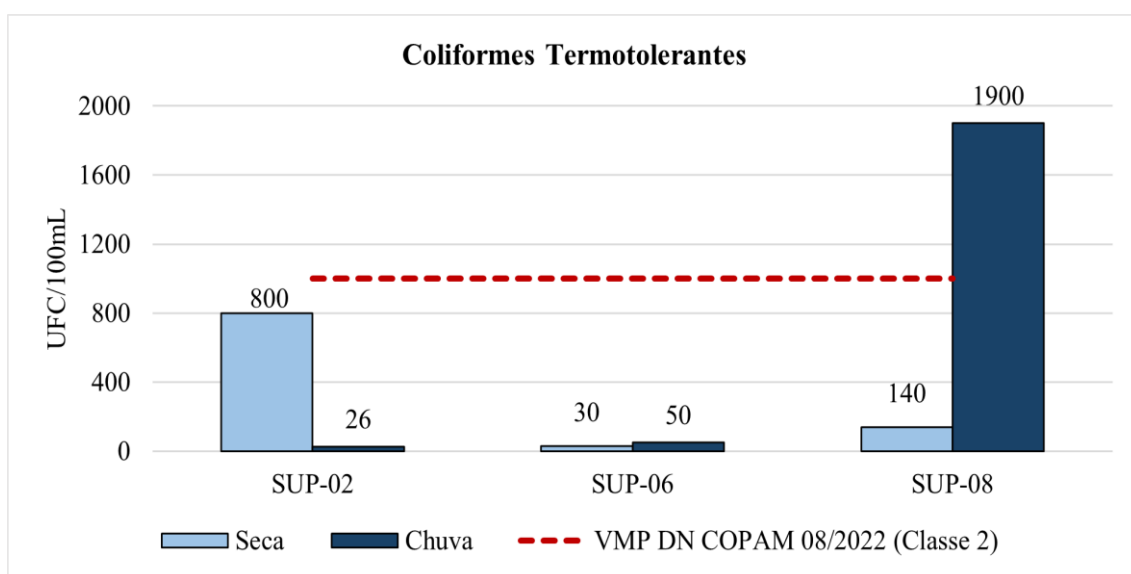


Figura 140 Resultados para o parâmetro Coliformes Termotolerantes na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

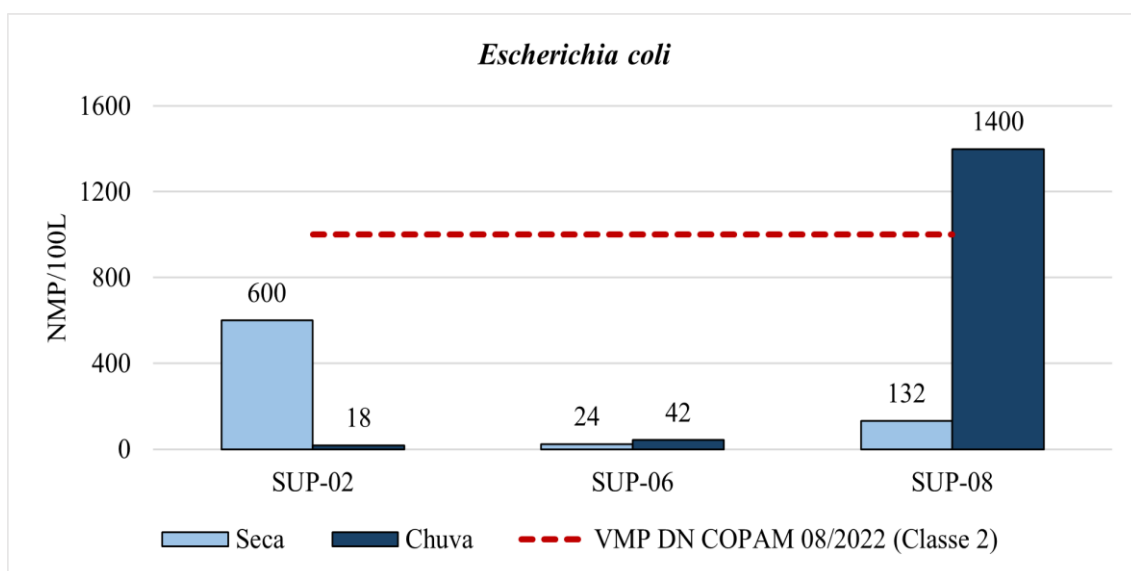


Figura 141 Resultados para o parâmetro *E. coli* na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas



Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes na água: alumínio dissolvido, arsênio total, chumbo total, cobre dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, níquel total, tório total e urânio total

Os resultados de Alumínio Dissolvido se encontram no gráfico da Figura 142 e estiveram acima do limite de 0,1 mg/L, estabelecido para águas doces, Classe 2, pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022, em todos os pontos, com exceção do SUP-06 (0,06 mg/L) e SUP-01 (0,08 mg/L), apenas no período de seca. Os valores que ultrapassaram o limite estabelecido variaram entre 0,13 mg/L e 0,26 mg/L, sendo essas concentrações mais altas no período chuvoso. O alumínio pode ocorrer em diferentes formas na água, sendo influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes (CETESB, 2017). Na região de Poços de Caldas as concentrações de alumínio em águas superficiais se justificam pela geologia rica em bauxita, matéria-prima para fabricação de alumínio. Ressalta-se que, de forma geral, as concentrações foram superiores no período de chuva em relação ao período de seca, sendo a exceção o ponto SUP-02, que apresentou resultado inferior na segunda amostragem.

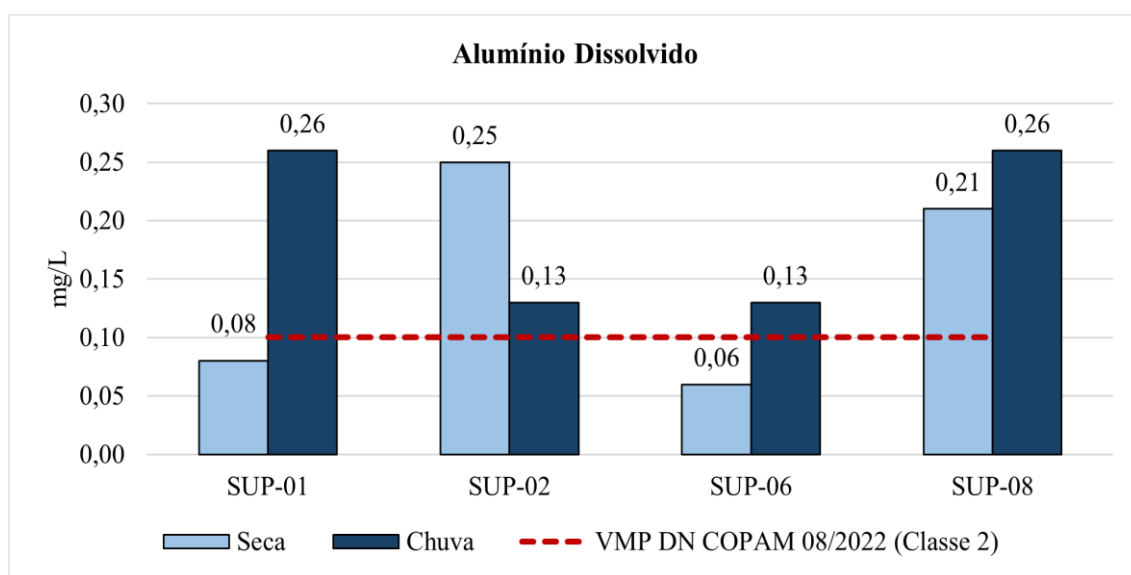


Figura 142 Resultados para o parâmetro Alumínio Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

No que tange aos resultados de Ferro Dissolvido, mostrados na Figura 143, apenas o ponto SUP-08, no período de seca, apresentou valor acima do limite de 0,3 mg/L, permitido para águas doces de Classe 2 (DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022). Na campanha de chuva, as concentrações ultrapassaram o limite estabelecido nos pontos SUP-02 e SUP-06, com os valores de 0,33 mg/L, nos pontos mais a montante da sub-bacia. O parâmetro pode ser proveniente de fontes naturais, associados à geologia do solo e as concentrações foram reduzindo mais para jusante, nas amostragens do período chuvoso, atingindo o menor valor, de 0,10 mg/L no ponto SUP-08, que recebe maior contribuição de vazão em relação aos demais.

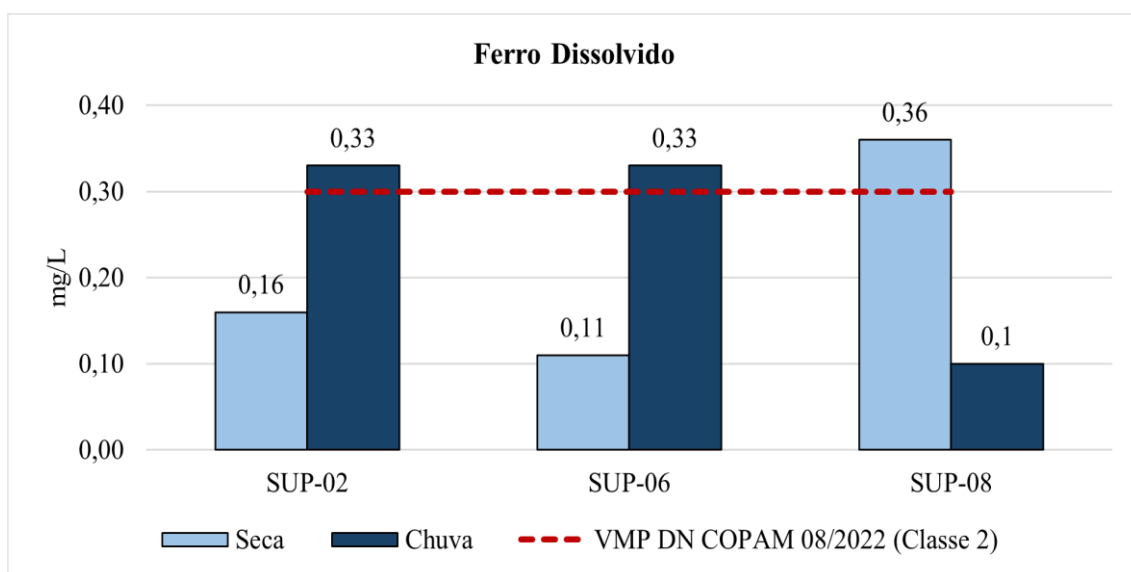


Figura 143 Resultados para o parâmetro Ferro Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

A DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022 fixa um limite de 0,1 mg/L em águas doces de classe 2. De acordo com os resultados da Figura 144, os valores não conformes de Manganês Total foram detectados em todos os pontos de monitoramento. Tais inconformidades variaram de 0,11 mg/L (SUP-06, seca e chuva) a 1,16 mg/L (SUP-08, chuva). O manganês ocorre naturalmente nas águas superficiais, mas sua presença, principalmente em altas concentrações, é decorrente, geralmente, de atividades antropogênicas (CETESB, 2017). A concentração do SUP-08 no período de chuva se destacou em relação às demais amostragens, o que se justifica pelo carreamento de sedimentos das margens, em relação à maior contribuição de vazão recebida pela localização do ponto, mais a jusante na sub-bacia.

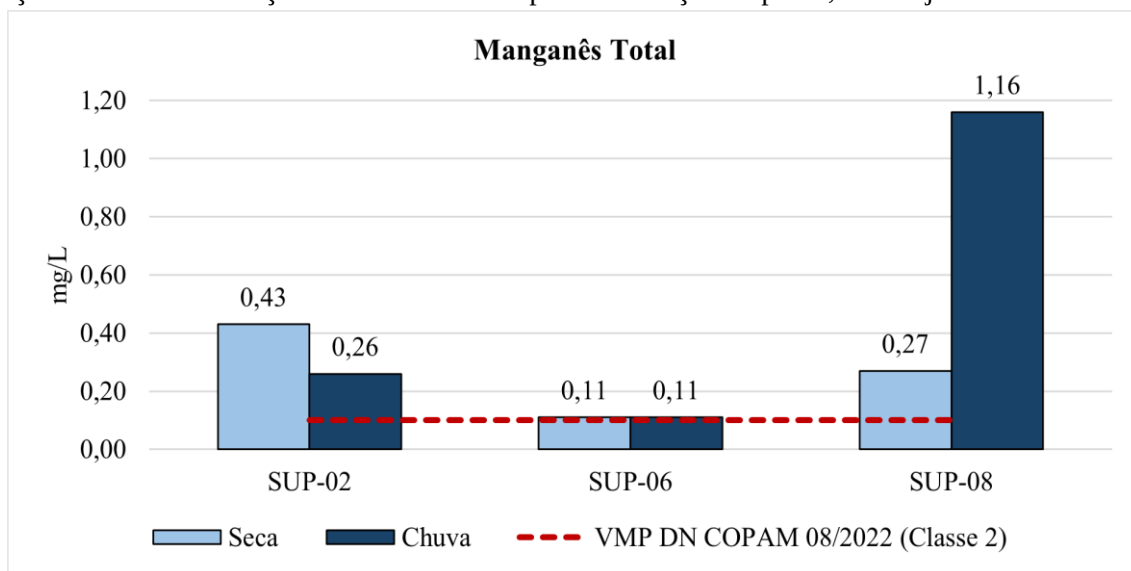


Figura 144 Resultados para o parâmetro Manganês Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Os resultados identificados para os parâmetros Arsênio Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, Níquel Total, Tório Total e Urânio Total são apresentados nos gráficos da Figura 145 a Figura 150. Não foi verificado nenhum desvio em relação aos valores máximos preconizados pela DN COPAM/CERH-MG



nº 08/2022 (águas doces, Classe 2), para o período de seca e chuva, nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão das Antas. Além disso, os dados de todos os parâmetros supracitados foram inferiores aos Limites de Quantificação do método em todas as amostragens, com exceção do Chumbo total no ponto SUP-08 (chuva) em que o resultado foi de 0,004 mg/L.

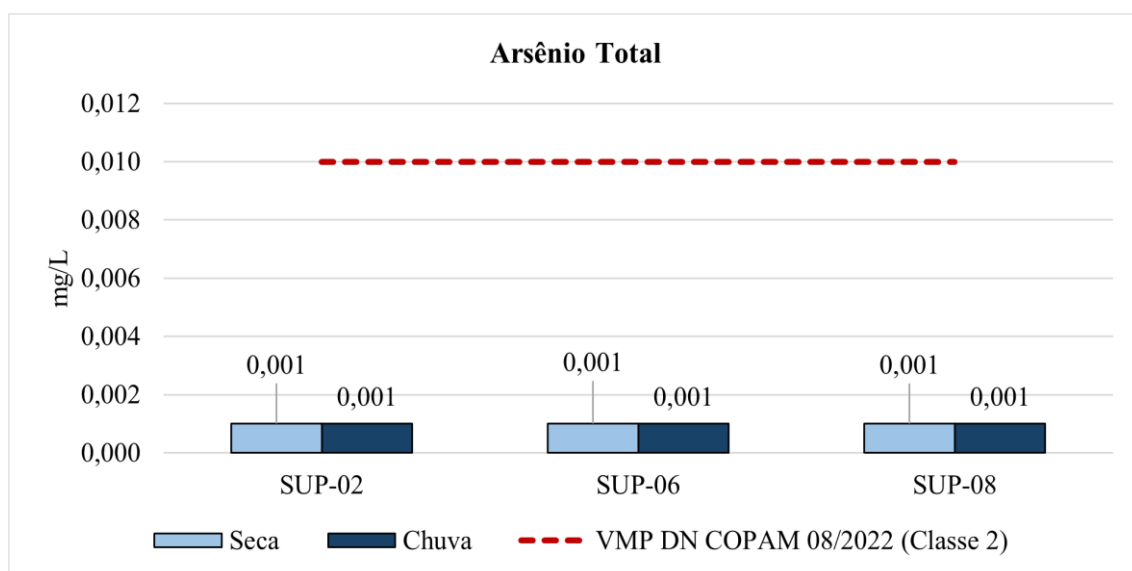


Figura 145 Resultados para o parâmetro Arsênio Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

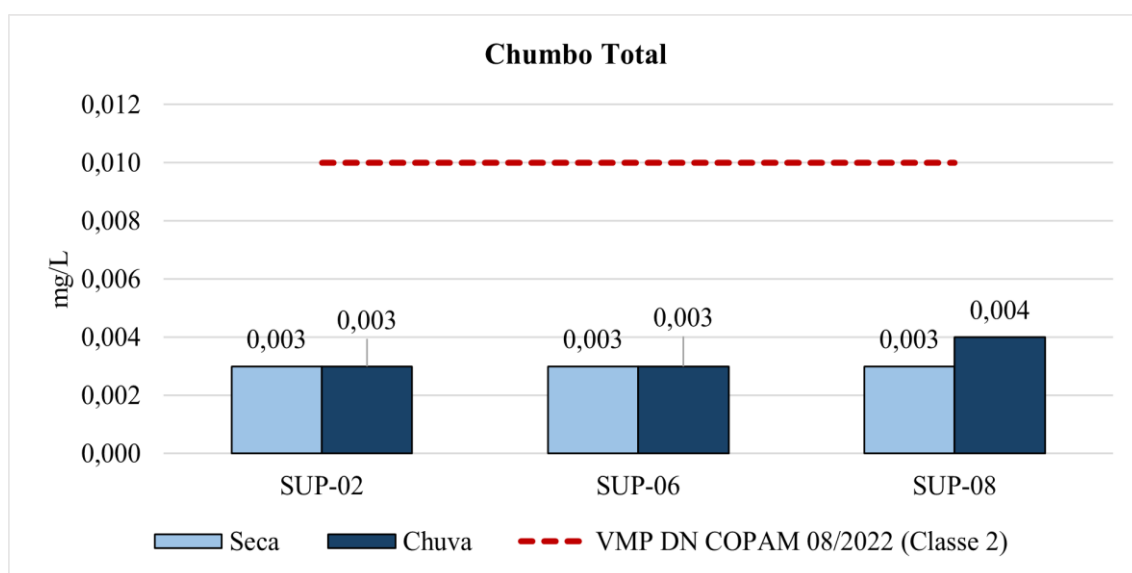


Figura 146 Resultados para o parâmetro Chumbo Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

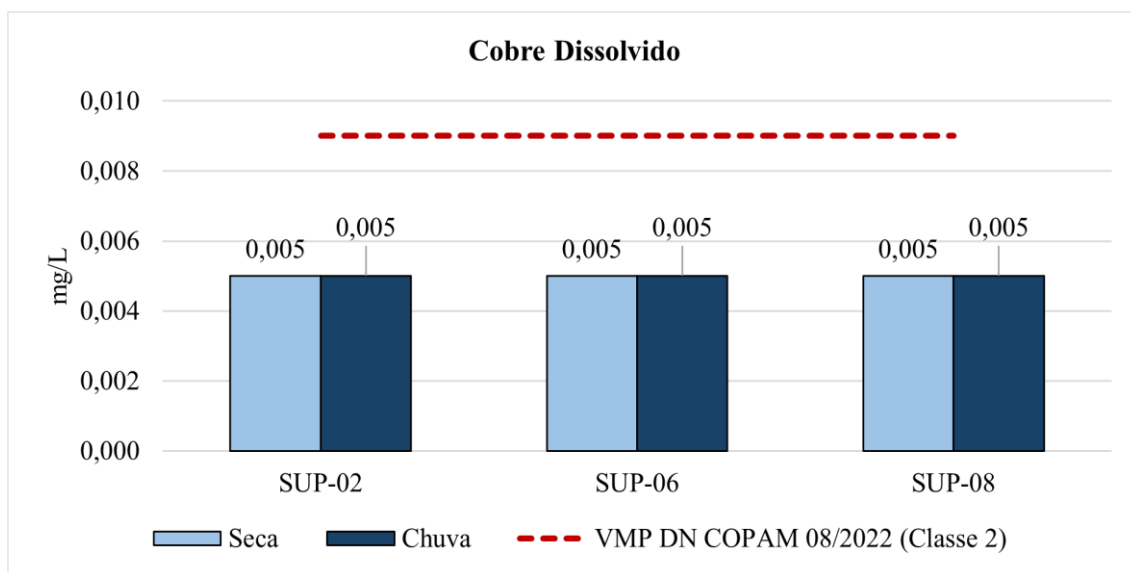


Figura 147 Resultados para o parâmetro Cobre Dissolvido na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

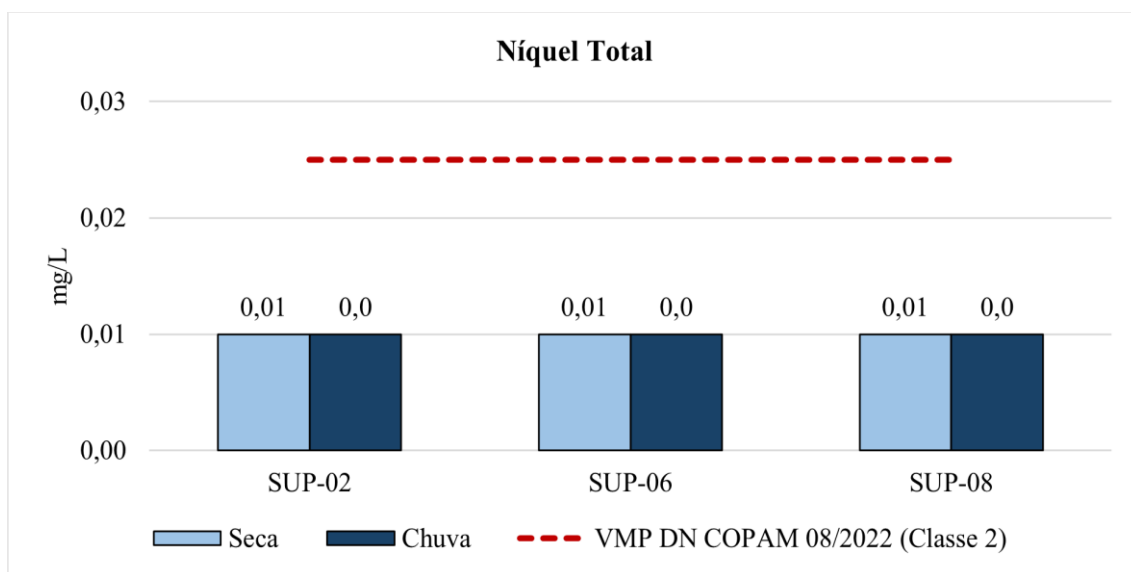


Figura 148 Resultados para o parâmetro Níquel Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

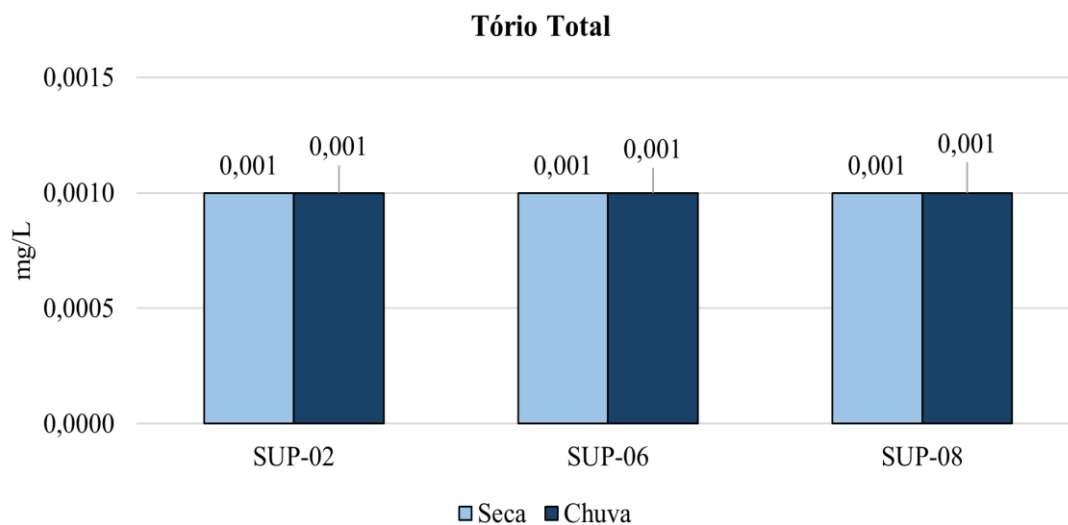


Figura 149 Resultados para o parâmetro Tório Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

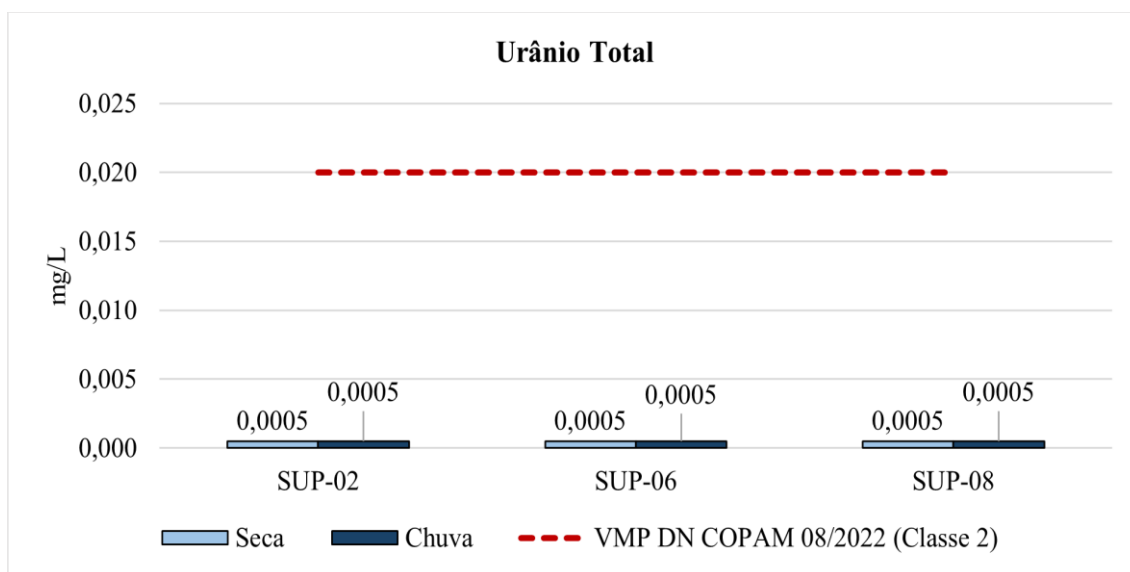


Figura 150 Resultados para o parâmetro Urânio Total na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Caracterização de radioatividade alfa e beta

Os resultados obtidos para radioatividade alfa e radioatividade beta para a sub-bacia do ribeirão das Antas podem ser vistos nos gráficos da Figura 151 e Figura 152, respectivamente. As concentrações para todos os pontos foram inferiores aos respectivos Limites de Quantificação (LQ) do laboratório, de <0,33 Bq/L para a Radioatividade Alfa e <0,37 Bq/L para Radioatividade Beta.

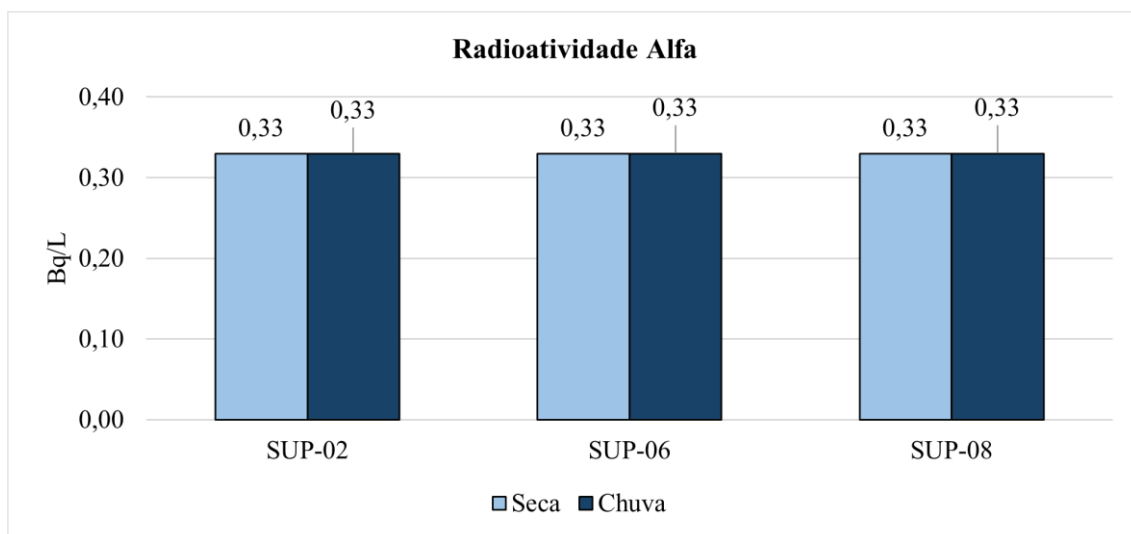


Figura 151 Resultados para o parâmetro Radioatividade Alfa na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

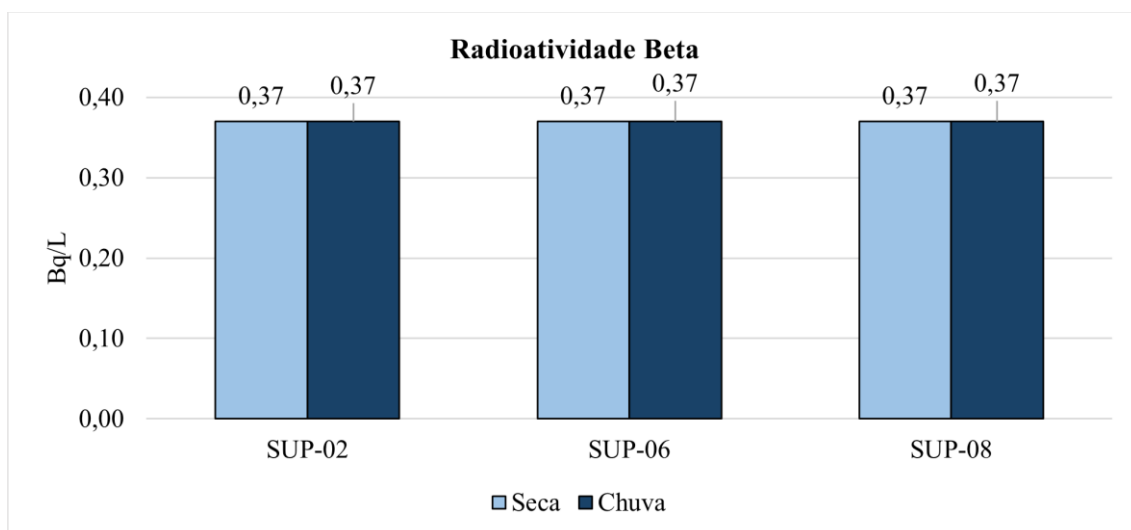


Figura 152 Resultados para o parâmetro Radioatividade Beta na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Indicadores de Análise de Qualidade das Águas

Na Tabela 74 estão demonstrados os IQAs calculados para os pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas nas campanhas do período de seca e chuva do ano de 2024. Com o cálculo do IQA, a partir dos resultados dos parâmetros analisados, é possível realizar uma avaliação das condições gerais da qualidade das águas.

Analisando os dados de IQA, observa-se que no ponto SUP-06 o IQA foi classificado como “Bom” em ambos os períodos de amostragem e o ponto SUP-08 o IQA foi classificado como “Bom” no período de seca e como “Médio” no período de chuva. Já o ponto SUP-02 foi classificado como “Médio” no período de seca e como “Bom” no período de chuva.



Tabela 74 IQA dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Ponto	Período de monitoramento	
	Seca	Chuva
SUP-02	Médio	Bom
SUP-06	Bom	Bom
SUP-08	Bom	Médio

Na Tabela 75 estão as faixas obtidas de classificação do IET dos pontos analisados, sendo em totalidade classificados como Mesotróficos. Como já discutido, os corpos d'água enquadrados nessa faixa de IET são considerados em condições aceitáveis para os níveis de eutrofização (IGAM, 2024). Destaca-se que, os resultados corroboram com os reportados pelo IGAM na avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Grande (IGAM, 2023) em que, como citado no tópico de Caracterização das Águas Superficiais da AER, a classificação foi como Mesotrófico.

Vale ressaltar que, todas as amostragens, com exceção do SUP-08 (seca), que obtiveram concentrações inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório para o parâmetro Fósforo Total, os resultados de IET calculados refletem o LQ e não as classes reais dos cursos d'água.

Tabela 75 IET dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Ponto	Classificação	
	Seca	Chuva
SUP-02	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-06	Mesotrófico	Mesotrófico
SUP-08	Mesotrófico	Mesotrófico

A partir da metodologia disponibilizada pelo IGAM e dos parâmetros Arsênio Total, Bário Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, e Zinco Total, amostrados nas campanhas de seca e chuva, os resultados de CT para a pontos pertencentes a sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas são apresentados na Tabela 76. O CT foi classificado como Baixa em todos os pontos, consequentemente, o índice dos cursos d'água da sub-bacia também pode ser classificado da mesma forma.

Tabela 76 ICT dos pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Ponto	Período	Arsênio Total	Bário Total	Cádmio Total	Chumbo Total	Cobre Dissolvido	Zinco Total
SUP-02	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-06	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
SUP-08	Seca	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
	Chuva	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa



6.1.11.2. Caracterização da Qualidade dos Sedimentos

6.1.11.2.1. Metodologia

6.1.11.2.1.1. Rede de monitoramento

Os pontos de monitoramento foram nomeados e estrategicamente determinados pela equipe CLAM especialista em recursos hídricos superficiais e encontram-se inseridos na área de estudo do Projeto Colossus, da Viridis Mineração Ltda, no município de Poços de Caldas, no Estado de Minas Gerais. As amostragens ocorreram no período de seca, entre 16 e 31 de julho de 2024 e no período de chuva, de 14 de outubro a 21 de outubro de 2024.

A Tabela 77 apresenta a rede de monitoramento estabelecida, bem como as coordenadas, descrição e parâmetros. Da Foto 149 a Foto 174 apresentados os registros fotográficos dos monitoramentos realizados e a Figura 153 apresenta a localização dos pontos, em relação à área de estudo do Projeto Colossus.

Tabela 77 Rede de Monitoramento de Sedimentos

Ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23K)		Descrição	Parâmetros
	X	Y		
SED-02	336569,65	7575341,43	Ribeirão das Antas, próximo ao limite dos municípios Poços de Caldas e Andradadas	2-Metilnaftaleno Acenafteno Acenaftileno Antraceno Areia Fina (0,25 a 0,125 mm) Areia Grossa (1 a 0,5 mm) Areia Média (0,5 a 0,25 mm) Areia Muito Fina (0,125 a 0,062 mm) Areia Muito Grossa (2 a 1 mm) Argila (0,00394 a 0,0002 mm) Arsênio Benzo(a)antraceno Benzo(a)pireno Cádmio Carbono Orgânico Total Chumbo Cobre Criseno Cromo Dibenzo(a,h)antraceno Dieldrin Endrin Fenantreno Fluoranteno Fluoreno Fósforo Lindano (g-HCH) Mercúrio Naftaleno Níquel Nitrogênio Kjeldahl Total
SED-03	338308,26	7584400,02	Calha principal do ribeirão das Vargens, próximo ao bairro Jardim Esperança III, na área urbana	
SED-04	342025,40	7582448,76	Ribeirão das Vargens, próximo à nascente e próximo ao Santuário Mariano de Schoenstatt	
SED-05	342498,78	7584120,95	Afluente da margem direita do ribeirão das Vargens	
SED-06	340257,91	7578541,34	Afluente da margem esquerda do córrego do Retiro dos Moinhos	
SED-07	340696,56	7582201,87	Afluente da margem esquerda do ribeirão das Vargens	
SED-08	334585,40	7584420,45	Ribeirão das Antas, a jusante da confluência com o ribeirão das Vargens	
SED-09	339619,05	7586865,83	Ribeirão da Ponte Alta, a jusante do barramento da Represa Saturnino de Brito	
SED-10	346035,63	7586315,73	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	



Ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23K)		Descrição	Parâmetros
	X	Y		
SED-11	343526,00	7586772,00	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	p,p'-DDD p,p'-DDE p,p'-DDT PCB's-Bifenilas Policloradas Pireno Porcentagem de sólidos Porcentagem de Sólidos Silte (0,062 a 0,00394 mm) Umidade Zinco Tório Total Urânio Total Radioatividade Alfa Global Radioatividade Beta Global
SED-12	344173,90	7584810,63	Afluente da margem esquerda do ribeirão da Ponte Alta	
SED-13	344939,00	7585131,00	Afluente da margem esquerda do ribeirão da Ponte Alta	
SED-14	344023,01	7585333,98	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	



Foto 149 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-02 - Período de Seca



Foto 150 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-02 - Período de Chuva



Foto 151 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-03 - Período de Seca



Foto 152 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-03 - Período de Chuva



Foto 153 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-04 - Período de Seca



Foto 154 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-04 - Período de Chuva



**Foto 155 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-05 -
Período de Seca**



**Foto 156 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-05 -
Período de Chuva**



**Foto 157 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-06 -
Período de Seca**



**Foto 158 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-06 -
Período de Chuva**



**Foto 159 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-07 -
Período de Seca**



**Foto 160 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-07 -
Período de Chuva**



Foto 161 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-08 -
Período de Seca



Foto 162 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-08 -
Período de Chuva



Foto 163 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-09 -
Período de Seca



Foto 164 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-09 -
Período de Chuva



Foto 165 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-10 -
Período de Seca



Foto 166 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-10 -
Período de Chuva



Foto 167 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-11 -
Período de Seca



Foto 168 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-11 -
Período de Chuva



Foto 169 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-12 -
Período de Seca



Foto 170 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-12 -
Período de Chuva



Foto 171 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-13 -
Período de Seca



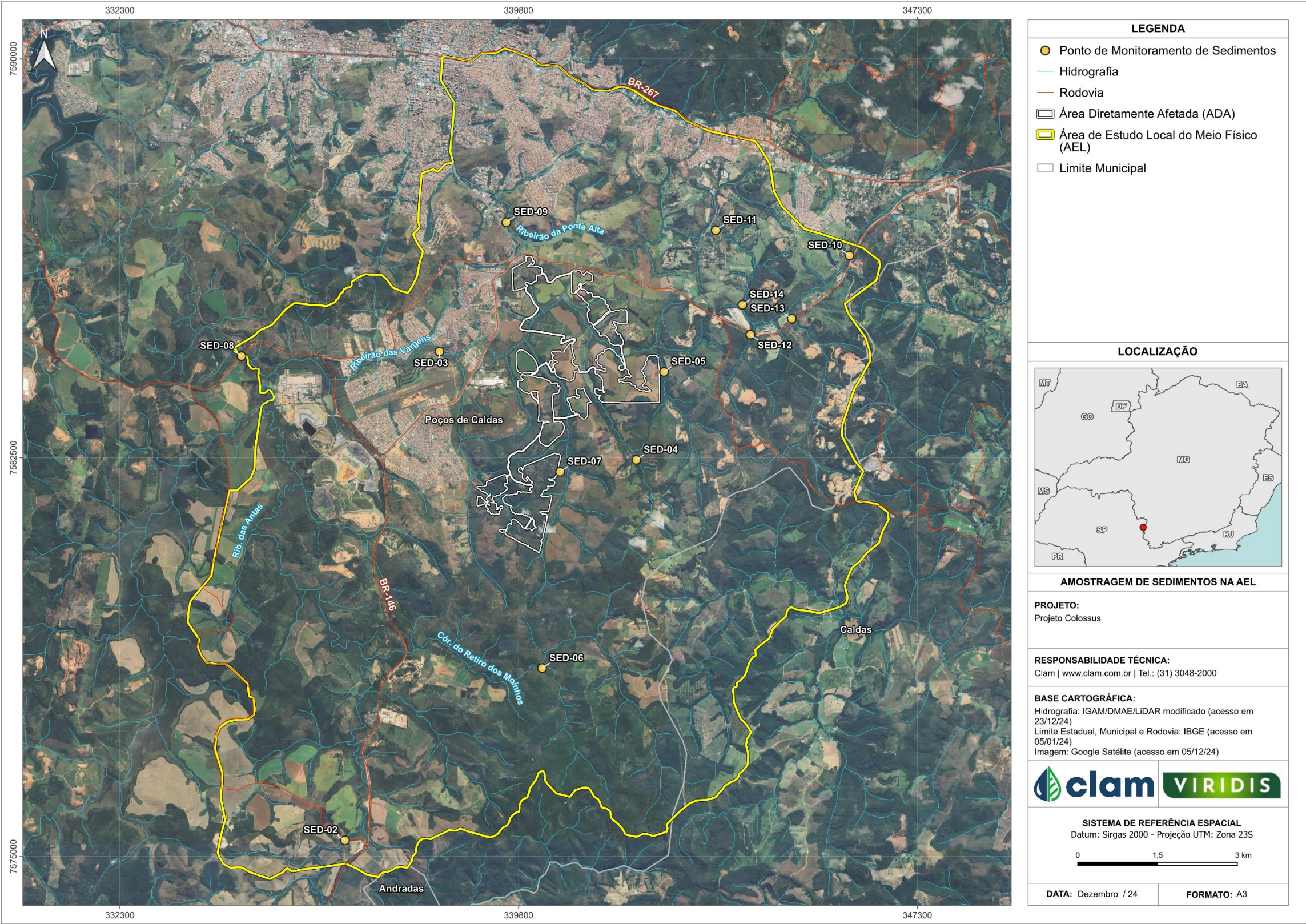
Foto 172 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-13 -
Período de Chuva



**Foto 173 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-14 -
Período de Seca**



**Foto 174 Amostragem de Sedimentos no Ponto SED-14 -
Período de Chuva**





6.1.11.2.1.2. Procedimentos Gerais

Para a avaliação da qualidade dos sedimentos de fundo no contexto da área de estudo local (AEL), os dados foram coletados pela equipe da CLAM. As amostragens para avaliação da qualidade de sedimentos foram realizadas por técnicos devidamente treinados e as análises de bancada foram realizadas pelo laboratório SGS Geosol. O laboratório é acreditado pela norma ABNT NBR ISO/IEC 17.025/2017, conforme CRL nº 0386 (Laboratório SGS GEOSOL).

Os ensaios seguiram as seguintes recomendações para coleta, preservação, métodos analíticos das amostras, normas e recomendações:

- Referências Analíticas: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); e *Environmental Protection Agency*;
- Referência de Amostragem: *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras (Águas, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos), ANA (2011); IT.02.AMB.069 – técnicas de amostragem de solos, sedimentos e resíduos.

Durante os dias de amostragem dos sedimentos de fundo a equipe de campo da CLAM executou uma série de procedimentos adicionais à coleta, que compreendem:

- Abertura de acesso aos pontos de medição definidos;
- Registro fotográfico das condições ambientais do local amostrado;
- Registro fotográfico do procedimento de medição em todos os pontos;
- Documentação de eventuais obstáculos que poderiam comprometer a segurança e a integridade das equipes, equipamentos e veículos.

Para aumentar a eficiência do processo, a equipe CLAM utilizou um sistema eletrônico de anotação de dados de campo (*Smartquestion®*), com o uso de *smartphones*, onde foram inseridas todas as informações e dados relevantes durante os serviços realizados.

Quanto aos valores estabelecidos para comparação de sedimentos de fundo, foram considerados os limites estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio de sua Resolução nº 454/2012, que define limites de contaminantes em sedimentos para fins de dragagem de leitos de cursos sob jurisdição nacional e disposição do material em solos ou águas.

Os limites dessa legislação foram utilizados apenas como referência nas amostragens realizadas, uma vez que não existe ainda no Brasil legislação publicada específica para a padrões de qualidade de sedimentos de fundo no ambiente; e a atividade objeto do presente estudo não é a dragagem de cursos d'água federais, bem como a disposição de sedimentos em solo e/ou água.

Portanto, para caracterização física dos sedimentos de fundo, foram adotados como referência os critérios de classificação granulométrica descritos na Tabela II da Resolução CONAMA nº 454/2012, conforme apresentado na Tabela 78.



Tabela 78 Classificação granulométrica dos sedimentos de fundo, conforme estabelecido na Resolução CONAMA n°454/2012.

Classificação	(mm)
Areia muito grossa	2 a 1
Areia grossa	1 a 0,5
Areia média	0,5 a 0,25
Areia fina	0,25 a 0,125
Areia muito fina	0,125 a 0,062
Silte	0,062 a 0,00394
Argila	0,00394 a 0,0002

Para a caracterização química, o inciso II do Art. 10 da Resolução CONAMA n°454/2012 estabelece dois níveis de valores orientadores para a caracterização química de sedimentos a serem dispostos em águas sob jurisdição nacional, como demonstrado a seguir:

Art. 10. Após a caracterização química do material a ser dragado, proceder-se-á sua classificação química, para fins de avaliar as condições de sua disposição, observando os seguintes critérios:

[...] II - para avaliação das alternativas de disposição em águas sob jurisdição nacional, os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores previstos na Tabela III do Anexo desta Resolução e classificados em dois níveis:

- a) Nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota;
- b) Nível 2 - limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

6.1.11.2.1.3. Análise dos Dados Hidroquímicos

Premissas

Para computar os gráficos de evolução e estatísticas, foi realizado um tratamento nos resultados que apresentaram a simbologia “<”, que indica, nesses casos, valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) segundo o método analítico utilizado. Como premissa, os resultados que apresentaram a simbologia indicada foram considerados de acordo com seus valores idênticos aos LQs.

Análise por Trechos

A fim de que sejam comparados e discutidos os parâmetros analisados para os pontos da rede de monitoramento, foram propostas, no escopo deste estudo, divisões por trecho para análise hidroquímica de caracterização dos sedimentos de fundo.

Para tal, foram fragmentados trechos dos cursos d’água de interesse, onde considerou-se a proximidade dos pontos amostrados e as sub-bacias nas quais os pontos estão inseridos.



Portanto, foram definidos três (03) trechos de análise na AEL:

- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta;
- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens;
- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas.

Análise por parâmetros

Tendo em vista os usos do solo na região e a presença de elementos abundantes nos litotipos locais, optou-se por uma interpretação e análise mais aprofundada para determinados parâmetros.

Considerando as avaliações realizadas preliminarmente, definiu-se a caracterização pela presença de elementos-traço e eventuais contaminantes e seus respectivos parâmetros para avaliação e interpretação dos resultados: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, zinco, tório e urânio.

Ademais, foi incluído um item para tratar especificamente da radioatividade:

- Caracterização de radioatividade alfa e beta.

6.1.11.2.2. Resultados

Conforme delineado anteriormente, foi definida a separação dos pontos de amostragem por trechos para discussão e interpretação dos resultados, considerando os grupos de parâmetros representativos para caracterização das referidas análises.

Dessa forma, são apresentados, a seguir, os parâmetros analisados por trechos e os resultados são divididos em duas etapas distintas: a primeira aborda a classificação granulométrica dos sedimentos, enquanto a segunda trata da caracterização dos elementos-traço e possíveis contaminantes presentes nos sedimentos.

No **Apêndice 9** podem ser vistas as evidências de campo. No **Apêndice 10**, podem ser encontrados todos os parâmetros analisados para esta campanha de monitoramento, compilados de forma tabular. Os Certificados de Ensaio contendo os resultados de todos os parâmetros analisados para as amostras de sedimentos estão apresentados no **Anexo 9**.

6.1.11.2.2.1. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta foram definidos seis (06) pontos de análise dos sedimentos de fundo: SED-09, SED-10, SED-11, SED-12, SED-13 e SED-14. A localização dos pontos na extensão dos cursos hídricos pode ser observada no diagrama unifilar da Figura 154.

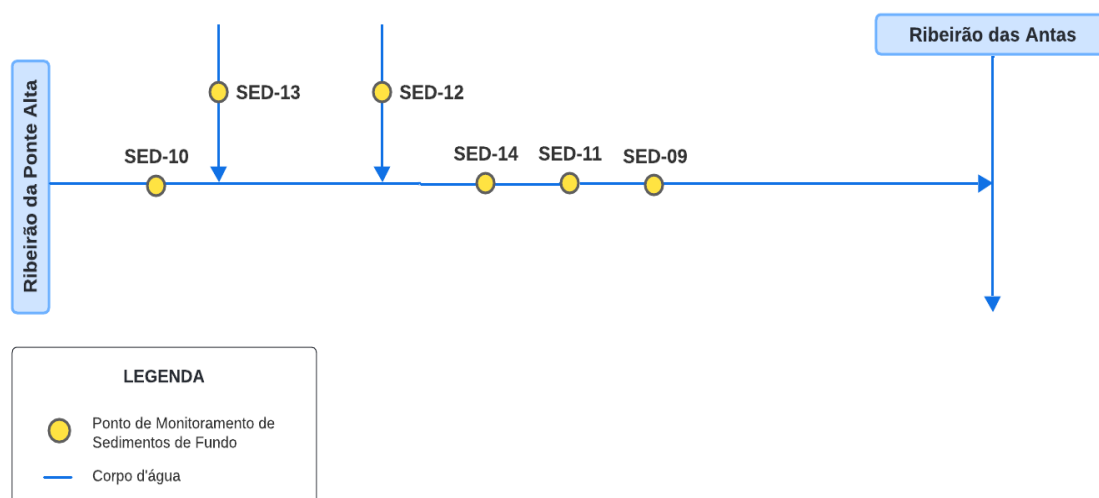


Figura 154 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para caracterização dos sedimentos de fundo, sendo comparados aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 454/2012, para águas doces.

Classificação granulométrica

A análise granulométrica do sedimento de fundo nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta revelou comportamento similar, no período de seca e chuva, entre os pontos SED-09, SED-10, SED-13 e SED-14, com a presença de apenas três classes granulométricas. Os materiais amostrados possuem predominância de silte, com proporções entre 68,7% (SED-13), e 73,0% (SED-10), na seca, e entre 71,9 % (SED-09) e 78,7% (SED-14), no chuvoso. Além disso, a menor proporção de argila nos materiais foi de 22,0%, na seca, e de 15,4%, na chuva, no ponto SED-10, e as maiores no SED-13 sendo de 30,1% (seca) e 27,9% (chuva); e as proporções de areia muito fina foram as menos representativas, variando de 1,3% (SED-13) a 5,5% (SED-14), na seca, e de 0,1% (SED-13) a 11,5% (SED-10), na chuva.

No ponto de monitoramento SED-12, no período de seca, a análise granulométrica evidenciou características distintas, porém ainda com predominância de grânulos de silte em todo o material analisado, correspondendo a 49,5%. O segundo tipo de grânulo com maior representação foi o de areia grossa, compreendendo 27,8% da amostra. Em seguida, a proporção de areia média foi de 12,1%, enquanto a de argila foi de 9,1% e a de areia muito fina corresponde a apenas 1,5% do material. Já no período chuvoso, o ponto SED-12 apresentou as características semelhantes aos pontos citados acima, com a presença de três classes granulométricas, sendo as seguintes proporções: 69,3% de silte, 22,9% de argila e 7,8% de areia muito fina.

Diferentemente dos demais pontos de monitoramento, que apresentaram uma predominância de silte e argila, a avaliação do SED-11, no período de seca, revelou que a classe principal de grânulos é composta por areia grossa, com 86,1%. Com menores proporções, o material possui características de areia média (11,9%), silte (1,3%) e argila (0,7%). Entretanto, no período chuvoso, as quatro classes granulométricas permaneceram, porém, o material que apresentou maior proporção foi o silte (69,5%), como nos demais

pontos. Os resultados para as demais classes de grânulos foram de 12,3% de areia muito fina, 10,9% de argila, 5,4% areia fina e apenas 1,9% de areia média.

Na Figura 155 é possível visualizar de forma gráfica as proporções discutidas anteriormente para as classificações granulométricas, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 454/2012.

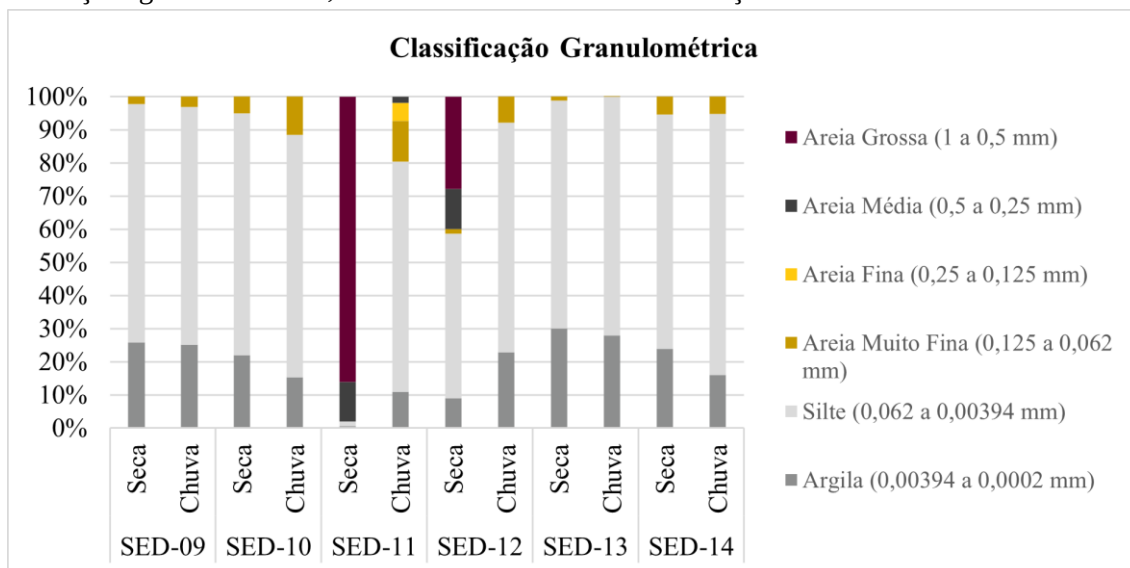


Figura 155 Gráfico de classificação granulométrica de sedimentos de fundo, conforme a Resolução CONAMA nº 454/2012

Ressalta-se que, os sedimentos nos cursos d'água vão variar conforme a descarga dos mesmos no leito e o transporte influencia na distribuição longitudinal, tendo a predominância de materiais de maior granulometria nas cabeceiras dos cursos d'água e, mais a jusante, de materiais mais finos, depositando-se nas margens, chegando na foz com maior fração de argila e silte (OLIVEIRA, 2016).

A partir dessa análise fica evidente que, com exceção do ponto SED-11, as amostras avaliadas por possuírem, de forma geral, predominância de silte, apresentam grande capacidade de retenção de poluentes devido à sua menor granulometria e, consequentemente, à grande área superficial em relação ao volume. No ponto SED-11, na amostragem de seca em que a maior parte do material foi composta por areia grossa, caso existam poluentes, há uma tendência de favorecer sua liberação na coluna d'água (BURTON JR, 2002).

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes nos sedimentos: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, zinco, urânio e tório

Conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 454/2012, as concentrações de arsênio devem permanecer abaixo de 5,9 mg/kg no nível 1 e 17,0 mg/kg no nível 2. Na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta, todos os pontos, exceto o SUP-10 (seca), superaram o limite do nível 1, que apresenta menor probabilidade de efeitos adversos à biota. No entanto, em todos os pontos os resultados foram abaixo do nível 2, quando há maior probabilidade de efeitos adversos à biota, com exceção do SED-14, no período de chuva, em que a concentração ultrapassou o limite do nível, como pode ser visto no gráfico da Figura 156.

O arsênio é comumente encontrado nos sedimentos, tendo sua dessorção controlada pelo pH, ferro total

e carbonato de cálcio (CETESB, 2017). Pode ser proveniente de fontes naturais, como minerais, rochas, solos e sedimentos que o contêm em sua composição; e antrópicas, como agricultura, rejeitos de determinadas atividades minerárias, refino de metais não ferrosos e queima de carvão mineral (SOUZA *et al.*, 2022).

Os pontos analisados tiveram uma menor variação dos resultados entre as sazonalidades, com exceção do ponto SED-14, visto que no período de seca a concentração foi de 9,40 mg/Kg e no chuvoso de 17,20 mg/Kg. A maior concentração no SED-14 pode estar atrelada à contribuição de todos os pontos a montante, além da contribuição de atividades antrópicas locais, que com a influência das chuvas pode ter levado a um maior carregamento do elemento, elevando sua concentração.

O ponto de monitoramento SED-11, no período de seca, apresentou predominância de frações arenosas e, portanto, teria uma menor capacidade de retenção de poluentes. Entretanto, a concentração de arsênio foi ainda maior do que nos pontos SED-10 (ponto mais a montante) e SED-09 (ponto mais a jusante) e, dessa forma, os valores podem estar relacionados à contribuição dos pontos a montante, que apresentaram resultados mais elevados.

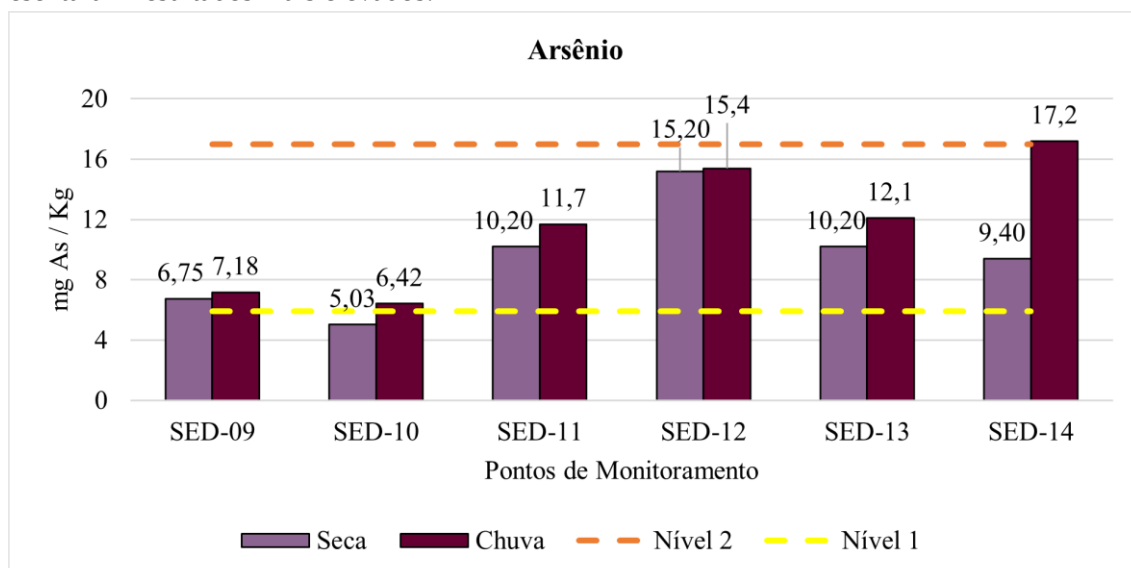


Figura 156 Resultados para o parâmetro Arsênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

No que tange aos dados de Cádmio, mostrados na Figura 93, todos os valores foram inferiores ao limite de 0,6 mg/Kg para o nível 1, que apresenta menor probabilidade de efeitos adversos à biota, e, consequentemente, ao nível 2 (3,5 mg/Kg). Os resultados obtidos nos pontos SED-10, SED-11, SED-12, SED-13 e SED-14 foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 0,1 mg/Kg, em ambos os períodos (seca e chuva), e apenas o ponto SED-09 teve uma variação nas concentrações. Tais resultados podem indicar que não há fontes naturais ou antrópicas de contaminação deste elemento, a montante dos pontos avaliados.

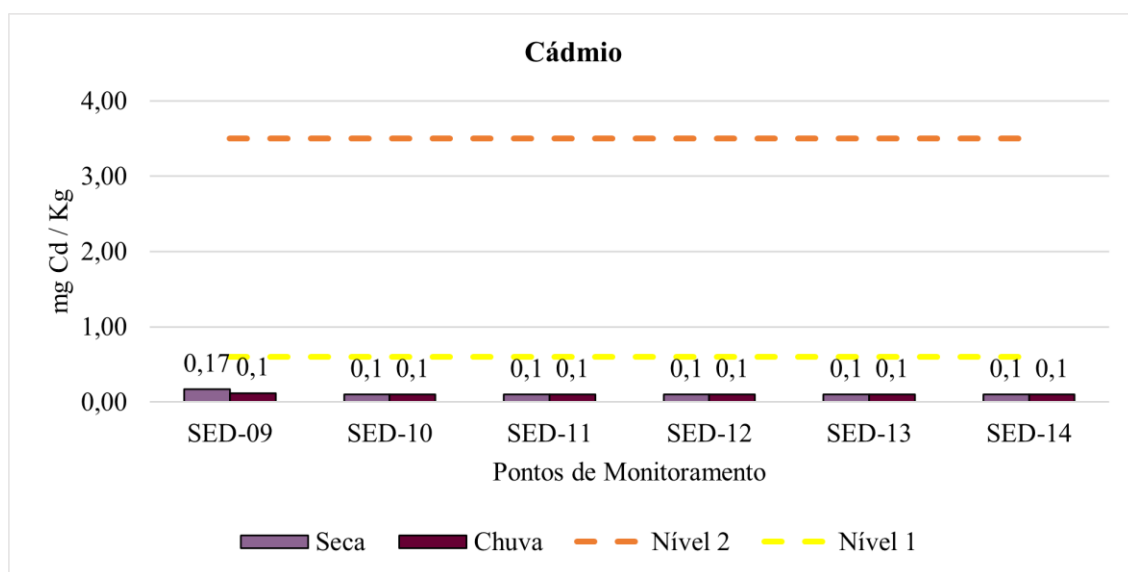


Figura 157 Resultados para o parâmetro Cádmio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

A presença do chumbo nos sedimentos de fundo ocorre por deposição atmosférica, proveniente de processos industriais, como metalurgia, produção de fertilizantes e combustão do carvão, assim como pela lixiviação e erosão do solo. Esse metal é amplamente distribuído na crosta terrestre e os teores naturais mais elevados são essencialmente apresentados por alguns tipos de rocha, como os argilitos e os xistos (15 a 20 mg/Kg), além dos granitos e os granitoides (20 mg/Kg) (Rodrigues, 2008).

Nas amostragens realizadas, os resultados de chumbo nos pontos SED-09 (seca e chuva), SED-11 (seca e chuva), SED-12 (seca e chuva), SED-13 (seca e chuva) e SED-14 (chuva) superaram o limite de 35 mg/Kg, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. No entanto, os valores obtidos permaneceram abaixo do limite de 91,3 mg/Kg, correspondente ao nível 2. No ponto SED-10, na campanha de seca e de chuva, e no ponto SED-14, na seca, os valores foram inferiores a ambos os limites, como mostra o gráfico da Figura 158.

Observa-se que para este parâmetro, as concentrações dos pontos, quando comparadas entre os períodos amostrados (seca e chuva), foram relativamente próximas. Destaca-se que concentrações acima de 500 mg/Kg foram encontradas para a bacia do rio Taquari, que tangencia a bacia do ribeirão das Antas (DUTRA *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2013)). A sub-bacia do rio Taquari, na sua calha principal, drena no sentido nordeste, em relação à mina de urânio Osamu Utsumi (INB). As instalações da mina estão próximas ao divisor de águas desta sub-bacia e da sub-bacia do ribeirão das Antas, que drena no sentido noroeste (calha principal) (SOUZA *et al.*, 2013; OLIVEIRA, 2016).

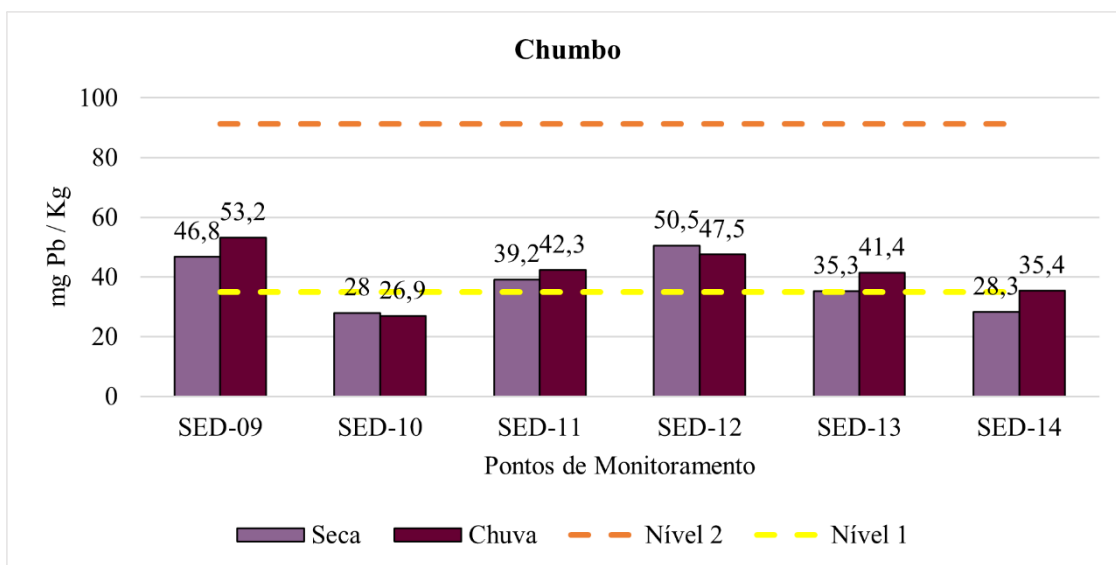


Figura 158 Resultados para o parâmetro Chumbo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Similar ao cádmio, os resultados obtidos para cobre nas amostragens de sedimentos durante a campanha de seca e de chuva na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta estiveram abaixo do Limite de Quantificação (LQ), de 0,70 mg/Kg, sendo, portanto, inferiores aos valores do nível 1 (35,7 mg/Kg) e do nível 2 (197 mg/Kg) nos pontos SED-09 (seca), SED-11 (seca e chuva), SED-12 (seca e chuva), SED-13 (seca) e SED-14 (seca e chuva). No entanto, nos pontos SED-09 (chuva), SED-10 (seca e chuva) e SED-13 (chuva), as concentrações variaram entre 0,95 mg/Kg e 3,33 mg/Kg, estando ainda abaixo do nível 1 e 2, conforme observado na Figura 159.

O elemento ocorre naturalmente em todas as plantas e animais, mas teores mais elevados têm origem em minas de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, entre outros (CETESB, 2017).

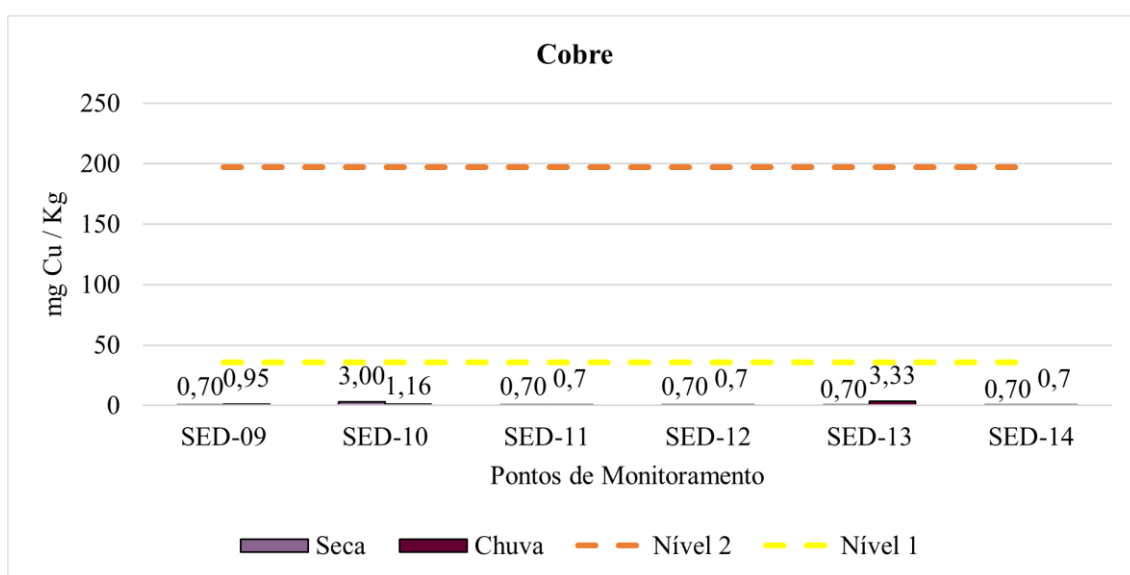


Figura 159 Resultados para o parâmetro Cobre na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta



Quanto ao parâmetro cromo, sua principal ocorrência mineral é a cromita (FeCr_2O_4), comum em rochas ultramáficas (TRINDADE *et al.*, 2012). Conforme gráfico da Figura 160, as amostras analisadas das campanhas de seca e chuva não excederam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 454/2012 para os níveis 1 e 2, de 37,3 mg/kg e 90,0 mg/kg, respectivamente.

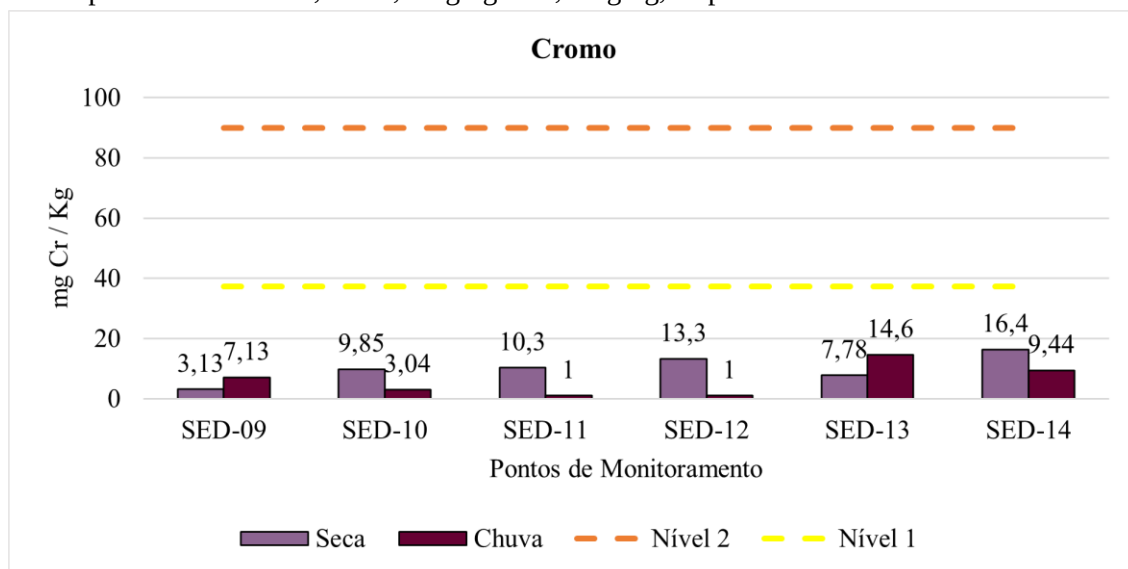


Figura 160 Resultados para o parâmetro Cromo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Todos os resultados para mercúrio nos sedimentos encontram-se abaixo dos valores definidos para o nível 1, de 0,17 mg/kg, e para o nível 2, de 0,486 mg/kg, definidos pela Resolução CONAMA n° 454/2012 (Figura 161). O elemento, em fontes aquáticas, pode ser proveniente de processos de mineração e fundição, efluentes de estações de tratamento de esgotos, indústrias de tintas, entre outros (CETESB, 2017).

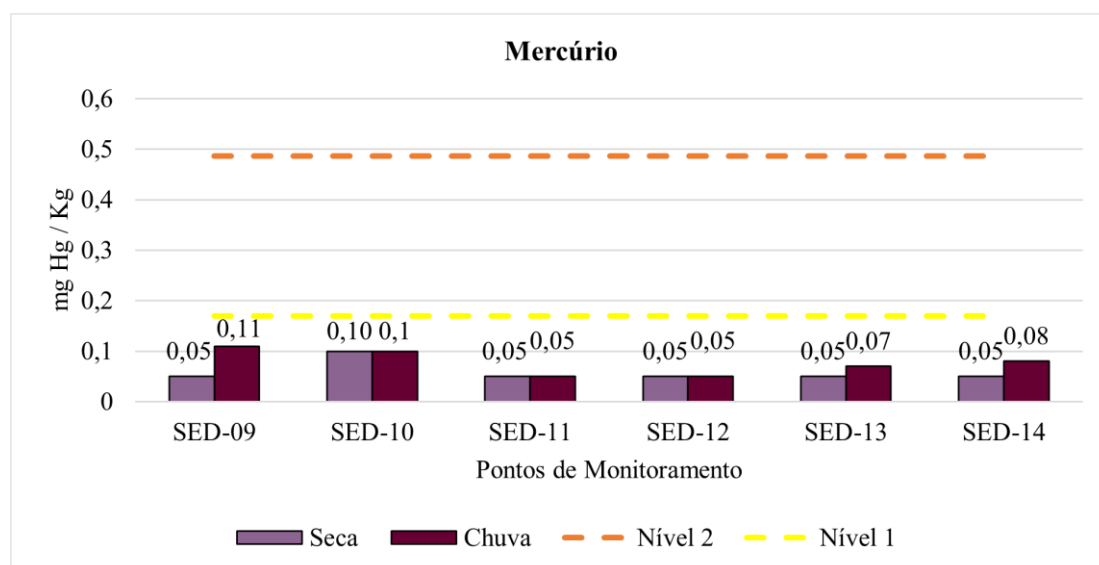


Figura 161 Resultados para o parâmetro Mercúrio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

As concentrações de níquel para as amostragens realizadas foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 10 mg/Kg. Consequentemente, todos os valores foram inferiores aos limites determinados pela Resolução CONAMA n° 454/2012, de 18 mg/kg e 35,9 mg/kg, respectivamente, para o nível 1 e 2, em todos os pontos (Figura 162). As principais fontes antrópicas de níquel para o meio ambiente são a queima de combustíveis, mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, entre outros (CETESB, 2017).

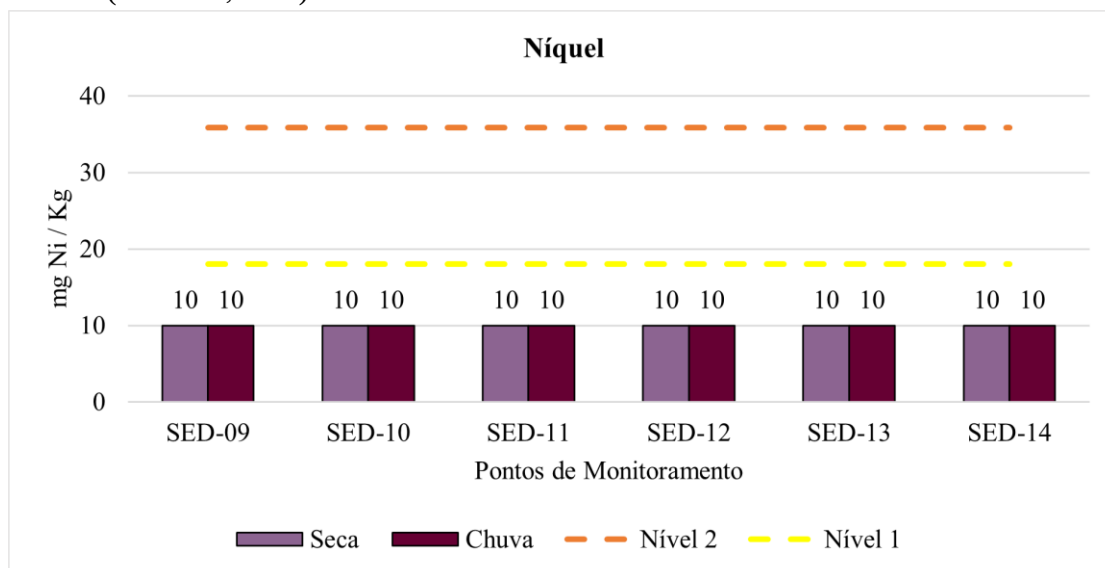


Figura 162 Resultados para o parâmetro Níquel na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para o parâmetro zinco, as concentrações obtidas nos pontos SED-09 e SED-14, que se inserem na calha principal do ribeirão da Ponte Alta, foram superiores ao nível 1 e inferiores ao nível 2; no ponto SED-11, superior ao nível 1, no período de seca, e ao nível 2, no período de chuva. De acordo com a Resolução CONAMA n° 454/2012, o limite para o nível 1 é de 123 mg/kg e para o nível 2 de 315 mg/kg. No entanto, para os pontos mais a montante (SED-10), no ribeirão supracitado e nos afluentes (SED-12 e SED-13), os resultados estiveram abaixo de ambos os limites (Figura 163).

A principal emissão natural de zinco é por erosão dos solos derivados de rochas que contêm este elemento, podendo ser encontrado nos sedimentos em concentrações que chegam a cerca de 500 mg/Kg, na bacia do rio Taquari, próxima ao ribeirão das Antas (DUTRA *et al.*, 2019). Portanto, as elevadas concentrações nos pontos citados podem estar associadas a aspectos naturais e antrópicos, com uma maior exposição do solo.

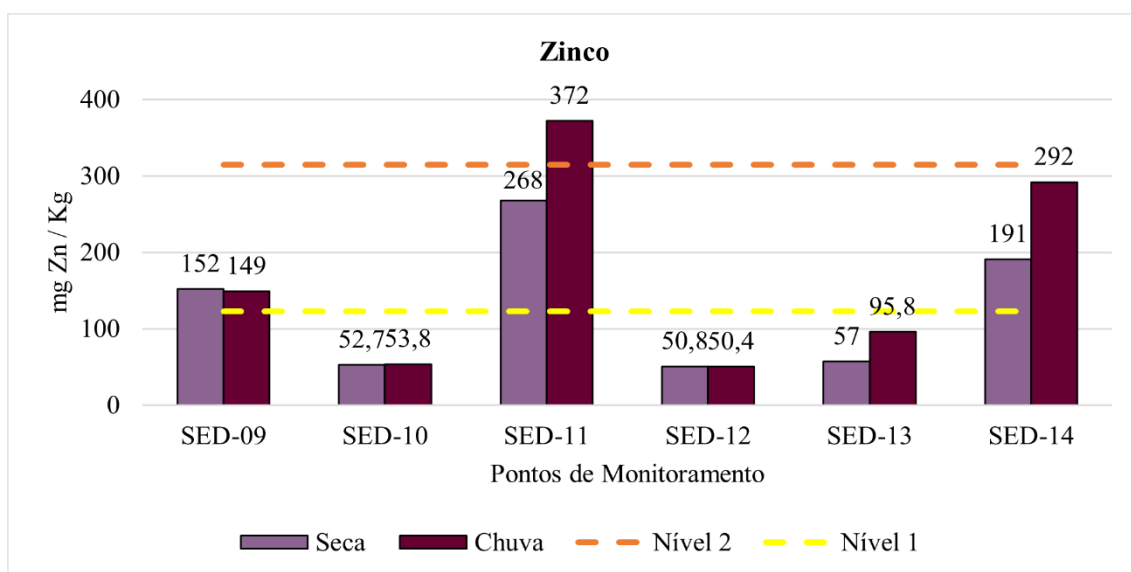


Figura 163 Resultados para o parâmetro Zinco na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Nas amostragens realizadas, foram encontrados valores entre 6,02 e 31,80 mg/Kg de tório, no período de seca, e entre 18,1 mg/Kg e 37,7 mg/Kg, no período de chuva, para a sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta, como pode ser visto no gráfico da Figura 164. O parâmetro tório não possui limites na Resolução CONAMA nº 454/2012 e é um elemento encontrado em quantidades baixas na maioria das rochas e solos, ocorrendo em diversos minerais, tais como tório-fosfato e monazita, que contém até 12% de óxido de tório (OLIVEIRA, 2016). Além disso, os resultados obtidos nas amostragens são inferiores aos encontrados na bacia do rio Taquari, próxima ao ribeirão das Antas e localizada em Poços de Caldas, onde as concentrações de tório vão de 50 a 118 mg/Kg (DUTRA *et al.*, 2019).

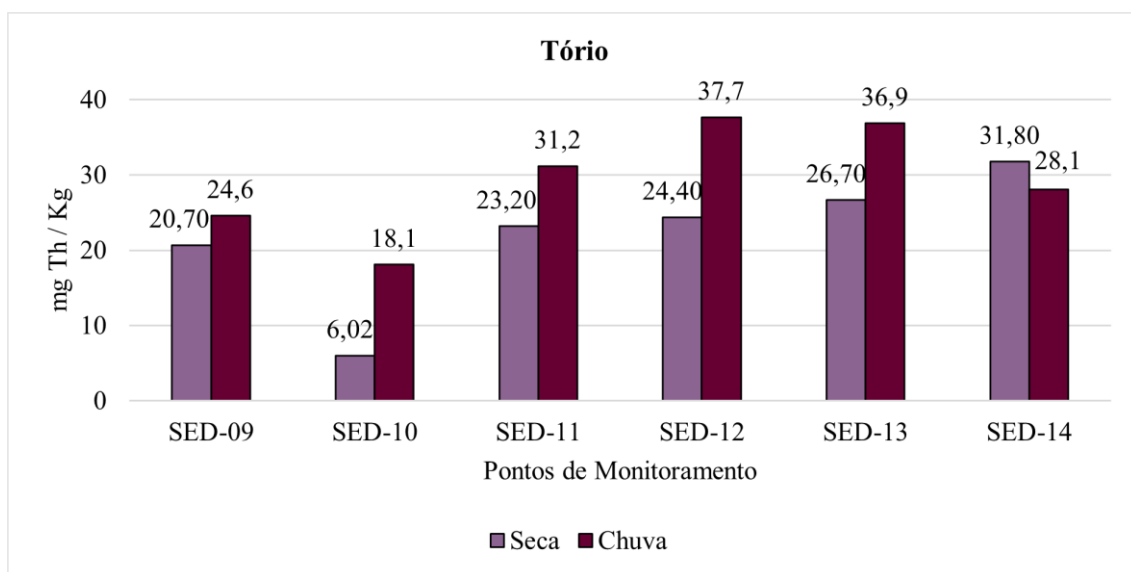


Figura 164 Resultados para o parâmetro Tório na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Quanto ao urânio, a maior concentração foi observada no ponto SED-09, com 14,30 mg/Kg, no período de seca, e de 9,67 mg/Kg, no ponto SED-11, no período de chuva. Os demais pontos apresentaram concentrações entre 2,20 e 5,73 mg/Kg, na seca, e entre 2,65 mg/Kg e 7,59 mg/Kg, na chuva (Figura 165). Porém, a Resolução CONAMA nº 454/2012 não possui valores limite para o parâmetro urânio. Os resultados estão condizentes com os obtidos na bacia adjacente ao ribeirão das Antas (Rio Taquari), onde foi encontrada concentração média de 26 mg/Kg (DUTRA *et al.*, 2019). Importante destacar que no divisor de águas entre as sub-bacias do rio Taquari e do Ribeirão das Antas estão as instalações da mina de urânio Osamu Utsumi (Indústrias Nucleares Brasileiras), que opera desde o ano de 1982. (Oliveira, 2016).

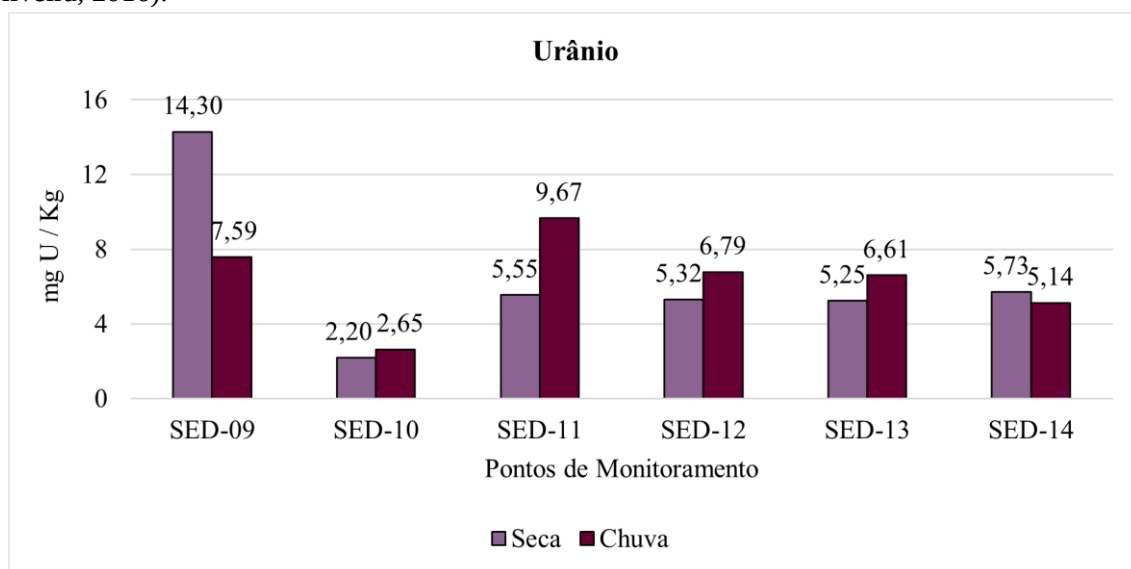


Figura 165 Resultados para o parâmetro Urânio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Caracterização de radioatividade alfa e beta

Os radionuclídeos são átomos instáveis que emitem radiação para alcançar a estabilidade durante o decaimento radioativo e são divididos em três classes: i. primordiais, presentes na superfície da Terra; ii. secundários, derivados do decaimento dos primordiais; e iii. cosmogênicos, que são formados na atmosfera devido ao impacto de raios cósmicos em núclídeos estáveis (Oliveira, 2016; Carneiro, 2016). Na natureza, os radionuclídeos estão distribuídos em três séries (ou famílias), sendo elas ^{238}U , ^{238}Th e actínídeo ^{235}U , que com as transformações radioativas geram aproximadamente 40 outros radionuclídeos, provocando as emissões como alfa, beta e gama. Elementos radioativos como o urânio, tório e potássio podem ser encontrados de forma natural no meio ambiente, estando presentes no ar, na água, no solo, sedimentos, rochas, vegetais e alimentos (Carneiro, 2016).

Os resultados obtidos para radioatividade alfa e radioatividade beta para a sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta podem ser vistos nos gráficos da Figura 166 e Figura 167. As concentrações de radioatividade alfa no período de seca apresentaram valores abaixo do limite de quantificação (LQ), de 0,025 Bq/g, nos pontos SED-09, SED-12 e SED-14. No período chuvoso, observou-se aumentos significativos em todos os pontos, com valores variando de 0,329 Bq/g no ponto SED-11 a 1,729 Bq/g no ponto SED-13, evidenciando uma elevação em comparação com o período de seca.

Para o parâmetro de radioatividade beta, no período de seca, os pontos SED-09, SED-11, SED-12 e SED-14 obtiveram valores inferiores ao limite quantificável do método, que é de 0,030 Bq/g. No período de chuva, assim como para radioatividade alfa, as concentrações foram mais elevadas e o ponto que obteve a maior concentração foi o SED-13 (0,477 Bq/g), o mesmo ponto em que foi encontrado o maior resultado no período de seca. É importante ressaltar que ambos os parâmetros discutidos não possuem limites definidos na Resolução CONAMA n° 454/2012.

O aumento de vazão dos cursos d'água no período chuvoso intensifica o carreamento dos sedimentos, seja em suspensão ou pelo arraste de fundo. Portanto, como os sedimentos servem como veículo transportador de metais pesados e de elementos radioativos, devido aos processos de adsorção e coprecipitação, o carreamento desses elementos se intensificou no período de chuva (Moreira, 2017), justificando o aumento nas concentrações radioativas.

O estudo de Moreira (2017) no ribeirão das Antas avaliou as interações entre escoamento superficial, transporte de hidrossedimentos em suspensão e de fundo e radionuclídeos, obtendo resultados específicos de radioatividade para Th e U, entre outros elementos. Em vista disso, com intuito comparativo, como os valores analisados no presente estudo são de radioatividade alfa e beta total, que podem abranger emissões a partir do decaimento de Th e U, as faixas demonstradas por Moreira (2017) no período de seca, para tório, variaram entre 0,0421 Bq/g e 0,573 Bq/g, e entre 0,00003 Bq/g e 0,204 Bq/g, no período chuvoso. Para urânio, as concentrações foram de 0,0483 Bq/g a 0,945 Bq/g, na seca, e de 0,00009 a 1,406 Bq/g, no período de chuva.

De forma geral, pode-se afirmar que os valores de radioatividade alfa e beta e relacionada a tório e urânio, indicados acima, estão dentro de uma mesma faixa de variação.

Salienta-se que a região de Poços de Caldas possui formações geológicas que apresentam anomalias associadas a radionuclídeos, além de uma mina de urânio (INB). Portanto as concentrações mais elevadas podem estar associadas a ocorrências naturais (Moreira, 2017).

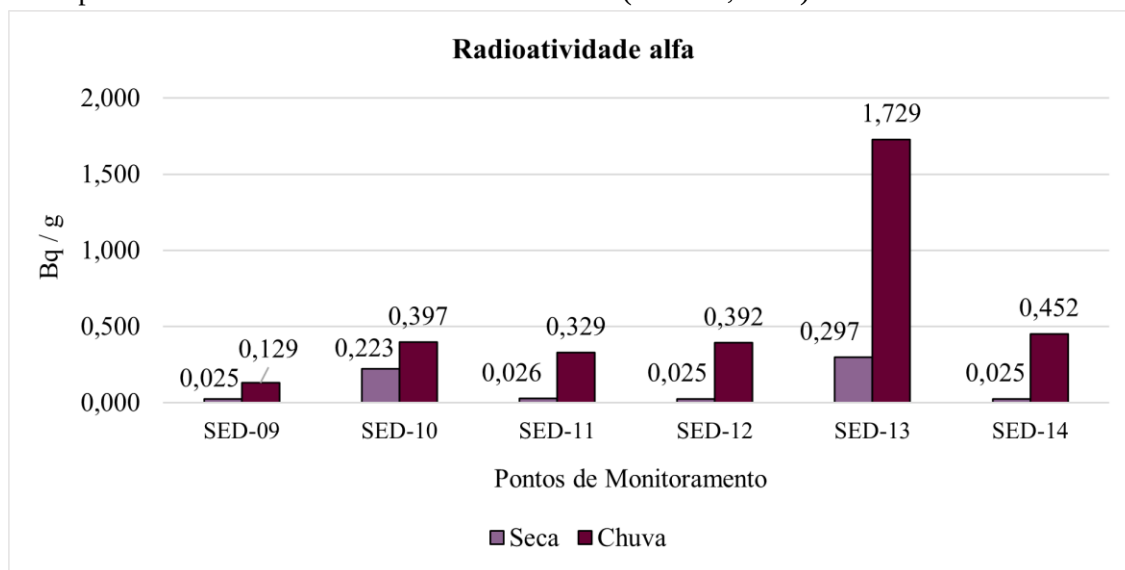


Figura 166 Resultados para o parâmetro Radioatividade Alfa na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

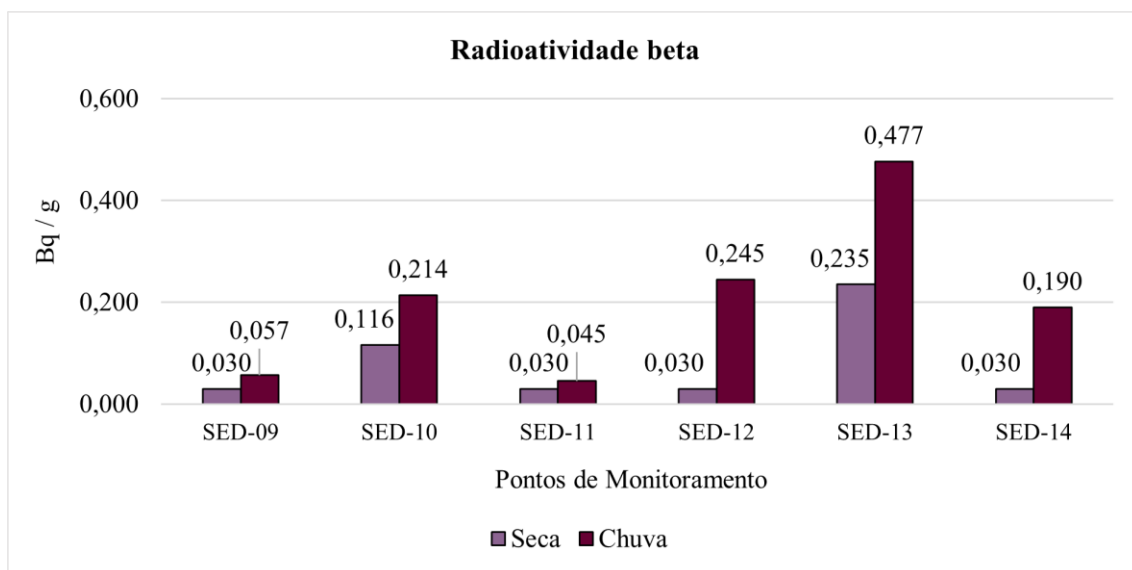


Figura 167 Resultados para o parâmetro Radioatividade Beta na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

6.1.11.2.2.2. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens foram definidos quatro (04) pontos de análise dos sedimentos de fundo: SED-03, SED-04, SED-05 e SED-07. A localização dos pontos na extensão dos cursos hídricos pode ser observada no diagrama unifilar da Figura 168.

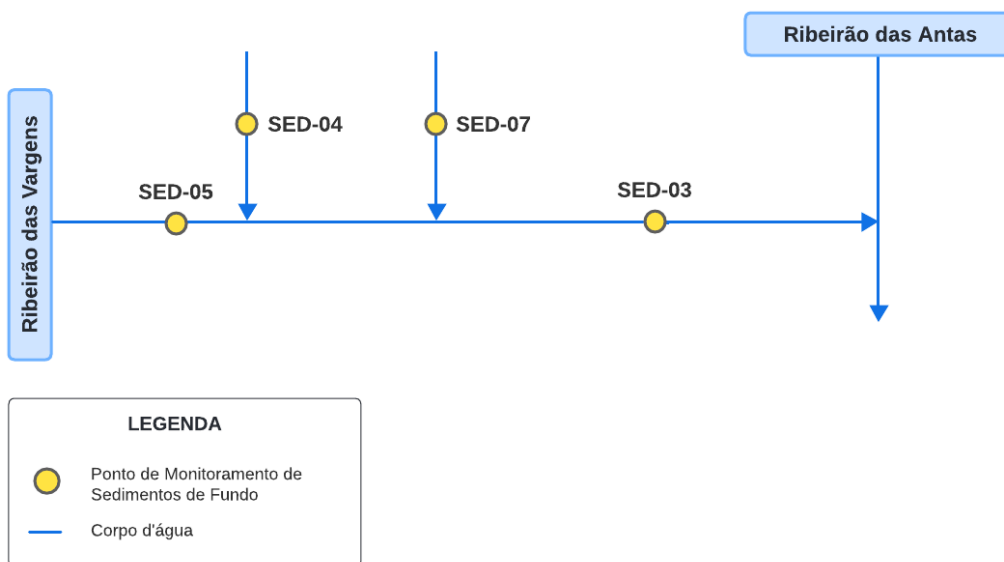


Figura 168 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para caracterização dos sedimentos de fundo, sendo comparados aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 454/2012, para águas doces.



Classificação granulométrica

A análise granulométrica do sedimento de fundo nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão das Vargens revelou comportamento similar entre os pontos SED-05 e SED-07, no período de seca e de chuva, com a presença de três classes granulométricas. Os materiais amostrados possuem predominância de silte, com proporções no ponto SED-05 variando entre 72,2% (seca) e 70,0% (chuva), e no SED-07 entre 68,9% (seca) e 77,4% (chuva). As proporções de argila foram de 25,2% (seca) e 23,3% (chuva), no SED-05, e de 26,7% (seca) e 20,2% (chuva) no SED-07; e de areia muito fina foi de 2,6% (seca) e 46,7% (chuva); e 4,4%(seca) e 2,4% (chuva), nos pontos SED-05 e SED-07, respectivamente.

Os pontos SED-03 e SED-4 foram os que apresentaram características um pouco distintas entre as amostragens nos diferentes períodos de amostragem. No período de seca, no ponto SED-03, foi observado as características das 6 classes granulométricas com a predominância de grânulos de silte (62,8%) e argila (20,2%) em todo o material analisado. Em seguida, a proporção de areia muito fina foi de 7,6%; enquanto as porcentagens de areia média e de areia fina foram próximas, com 4,8% e 4,3%, respectivamente; e a de areia grossa correspondeu a apenas 0,2% do material. No período de chuva, o mesmo ponto apresentou apenas 3 classes granulométricas, com 83,4% de silte, 15,6% de argila e, em menor parcela, 1,0% areia muito fina. O SED-04, na seca, as proporções foram de 34,2% de silte, 33,8% de argila e 2,0% de areia muito fina. Na amostragem de chuva, no SED-04, houve 4 classes granulométricas, diferentemente do período de seca, com grânulos de silte (74,2%) e argila (17,4%), areia muito fina (8,3%) e foi verificada uma pequena parcela de areia fina (0,1%).

Na Figura 169 é possível visualizar, de forma gráfica, as proporções discutidas anteriormente para as classificações granulométricas, conforme estabelecido na Resolução CONAMA n° 454/2012.

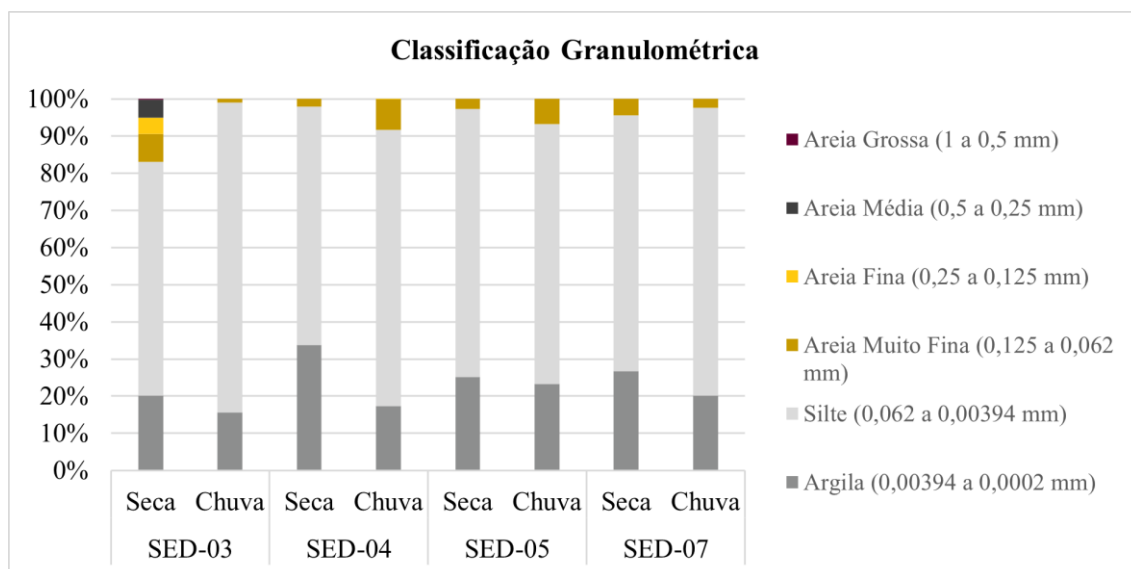


Figura 169 Gráfico de classificação granulométrica de sedimentos de fundo, conforme a Resolução CONAMA n°454/2012

As características dos sedimentos nos cursos d'água podem variar conforme a descarga dos mesmos no leito e o transporte influencia na distribuição longitudinal, tendo a predominância de materiais de maior granulometria nas cabeceiras dos cursos d'água e, mais a jusante, de materiais mais finos, depositando-

se nas margens, chegando na foz com maior fração de argila e silte (OLIVEIRA, 2016).

Considerando a análise realizada acima, fica evidente em que as amostras avaliadas em todos os pontos da sub-bacia do ribeirão das Vargens, a granulometria de silte prevaleceu, portanto, apresenta grande capacidade de retenção de poluentes, devido à sua menor granulometria e, consequentemente, à grande área superficial em relação ao volume (BURTON JR, 2002).

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes nos sedimentos: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, zinco, urânio e tório

Na sub-bacia do ribeirão das Vargens, os resultados de arsênio do ponto SED-07, de acordo com a Resolução CONAMA nº 454/2012, superaram o limite de 5,9 mg/kg, do nível 1, na amostragem do período de seca e de chuva, e o limite de 17,0 mg/kg, do nível 2, na de seca; o ponto SED-05 superou apenas o valor do nível 1, em ambas as amostragens (seca e chuva); os pontos SED-03 e SED-04 obtiveram concentrações inferiores ao nível 1 na campanha de seca e chuva, respectivamente, e superaram na de chuva (SED-03) na de seca (SED-04) (Figura 170).

Esse elemento pode ser proveniente de fontes naturais, como minerais, rochas, solos e sedimentos, que contêm arsênio em sua composição; e antrópicas, como agricultura, rejeitos de determinadas atividades minerárias, refino de metais não ferrosos e queima de carvão mineral (SOUZA *et al.*, 2022).

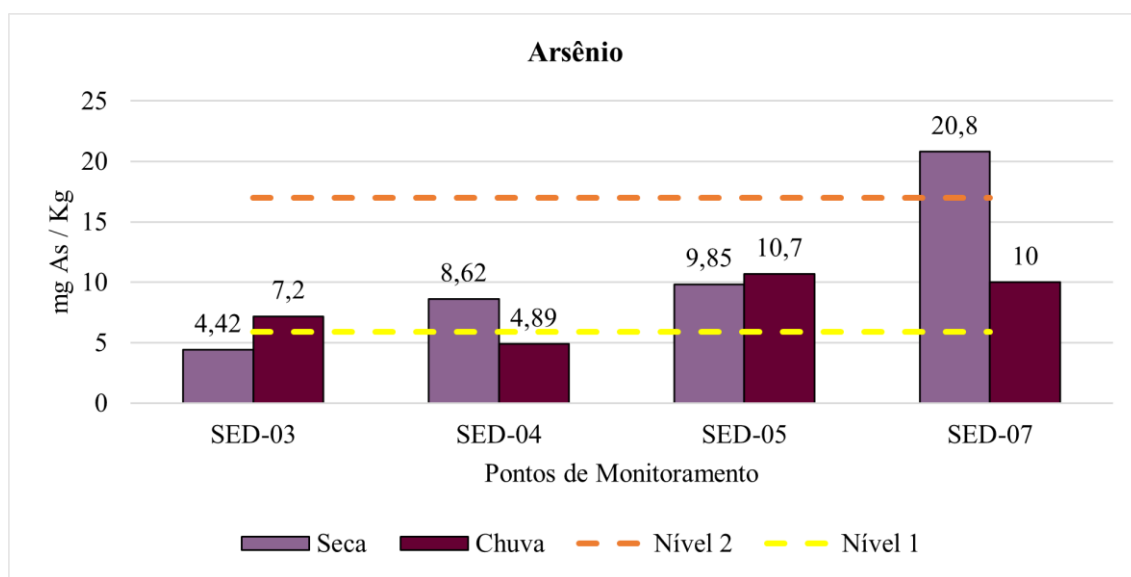


Figura 170 Resultados para o parâmetro Arsênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Todos os valores obtidos para cádmio foram inferiores ao limite de 0,6 mg/Kg para o nível 1, que apresenta menor probabilidade de efeitos adversos à biota e, consequentemente, ao nível 2 (3,5 mg/Kg), como mostra o gráfico da Figura 171. Nos pontos SED-03 (seca), SED-04 (seca) e SED-05 (seca e chuva) as concentrações estiveram abaixo do LQ, de 0,1 mg/Kg. Portanto, tais resultados podem indicar que não há fontes antrópicas de contaminação deste elemento, a montante dos pontos avaliados. No período chuvoso, nos pontos SED-03, SED-04 e SED-07, as concentrações foram de 0,13 mg/Kg.

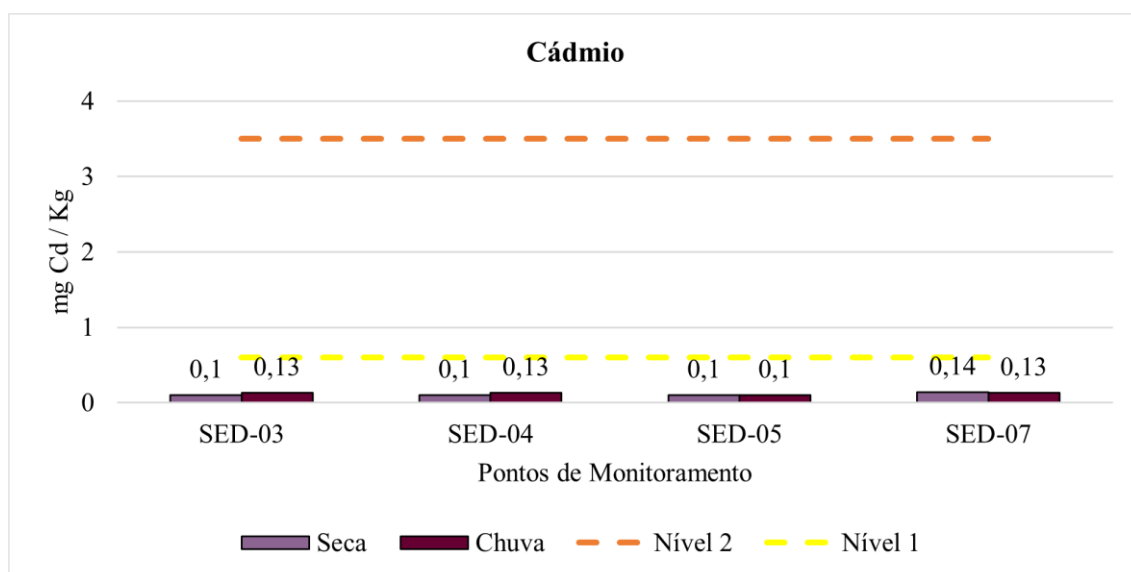


Figura 171 Resultados para o parâmetro Cádmio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Nas amostragens realizadas, similar ao parâmetro arsênio, os resultados de chumbo superaram os limites nível 1 (35 mg/Kg) e nível 2 (91,3 mg/Kg), no ponto SED-07, em ambas as amostragens. As concentrações no ponto SED-05 superaram o limite de nível 1, porém foram inferiores ao limite do nível 2, conforme preconizado pela Resolução CONAMA n° 454/2012. Já nas amostragens dos pontos SED-03 e SED-04, foram identificados dados inferiores a ambos os níveis (Figura 172). É importante observar que os valores de chumbo, na campanha de chuva, em todos os pontos, foram menores que na campanha de seca, com destaque para o ponto SED-07, com uma diferença de 120,4 mg/Kg entre as coletas sazonais. Apesar do ponto SED-07 (seca) apresentar a maior concentração, o valor ainda permaneceu abaixo das concentrações de chumbo encontradas na bacia do rio Taquari, que tangencia a bacia do ribeirão das Antas, onde as concentrações máximas chegaram a 500 mg/Kg (Dutra *et al.*, 2019). A sub-bacia do rio Taquari, na sua calha principal, drena no sentido nordeste, em relação à mina de urânio Osamu Utsumi (INB). As instalações da mina estão próximas ao divisor de águas desta sub-bacia e da sub-bacia do ribeirão das Antas, que drena no sentido noroeste (calha principal) (Souza *et al.*, 2013; Oliveira, 2016).

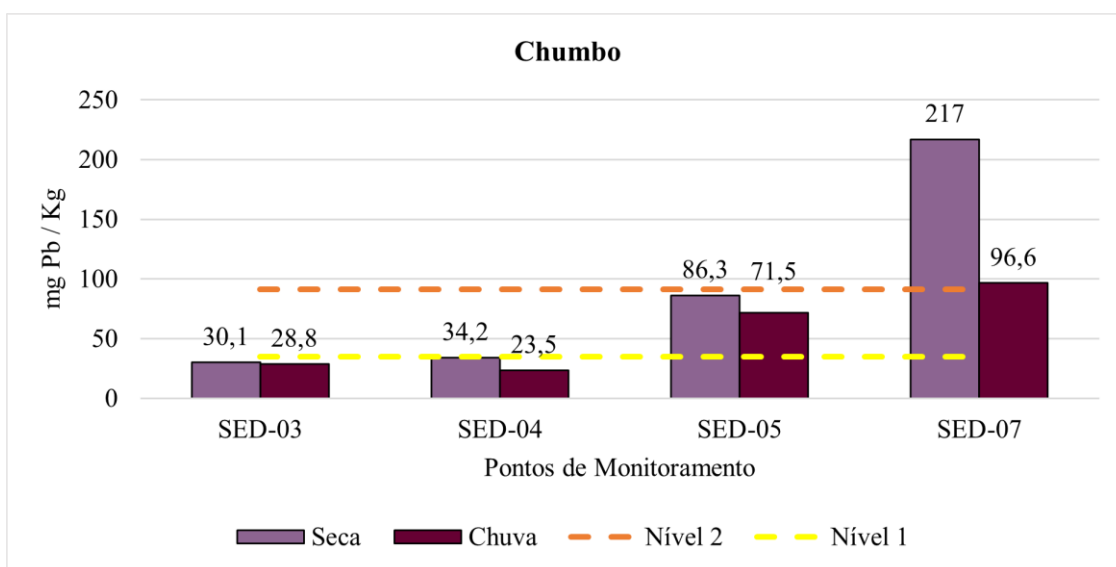


Figura 172 Resultados para o parâmetro Chumbo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Os resultados obtidos para o cobre nas amostragens de sedimentos da sub-bacia do ribeirão das Vargens estiveram abaixo do nível 1 (35,7 mg/Kg) e do nível 2 (197 mg/Kg) em todos os pontos de monitoramento, em ambas as campanhas de amostragem, como pode ser visto no gráfico da Figura 173. As maiores concentrações foram de 6,73 mg/Kg (seca) e de 9,98 mg/Kg (chuva), no ponto SED-03, não sendo concentrações elevadas.

O cobre é um elemento que ocorre naturalmente em todas as plantas e animais, mas teores mais elevados têm origem em minas de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, entre outros (CETESB, 2017).

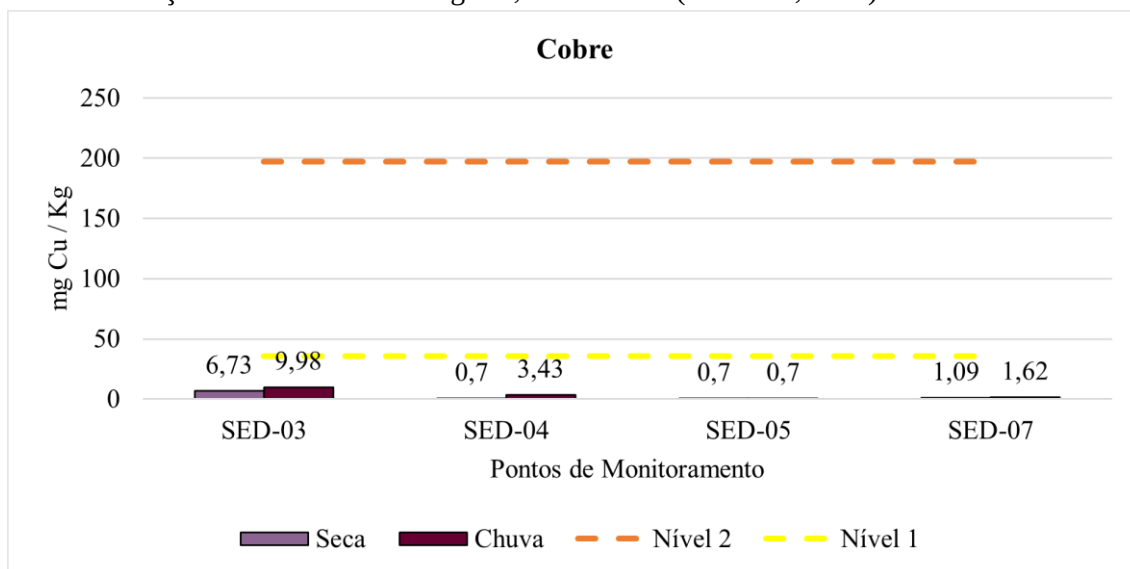


Figura 173 Resultados para o parâmetro Cobre na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Conforme gráfico da Figura 174, as amostras analisadas permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 454/2012, para os níveis 1 e 2, correspondentes a 37,3 mg/kg e 90,0 mg/kg, para o parâmetro cromo, respectivamente. Nos pontos SED-03, SED-04, SED-05 e SED-07 as concentrações das amostragens de chuva foram menores que as de seca, com exceção do SED-07.

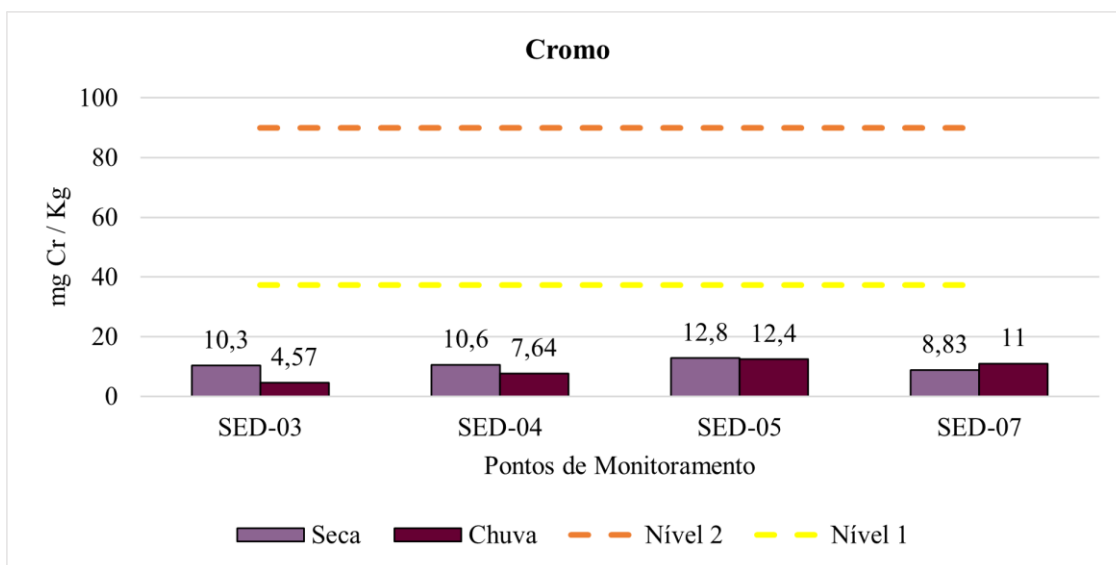


Figura 174 Resultados para o parâmetro Cromo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para o parâmetro mercúrio, todos os valores, tanto de seca quanto de chuva, foram inferiores aos limites definidos para o nível 1, de 0,17 mg/kg, e para o nível 2, de 0,486 mg/kg, definidos pela Resolução CONAMA n° 454/2012 (Figura 175). Ademais, em todos os pontos, nas amostragens de seca, e no ponto SED-05, na de chuva, as concentrações estiveram abaixo do LQ de 0,05 mg/Kg. Portanto, é possível observar que em três pontos houve variações devido à sazonalidade, pouco expressivas. O mercúrio em fontes aquáticas pode ser proveniente de processos de mineração e fundição, efluentes de estações de tratamento de esgotos, indústrias de tintas, entre outros (CETESB, 2017).

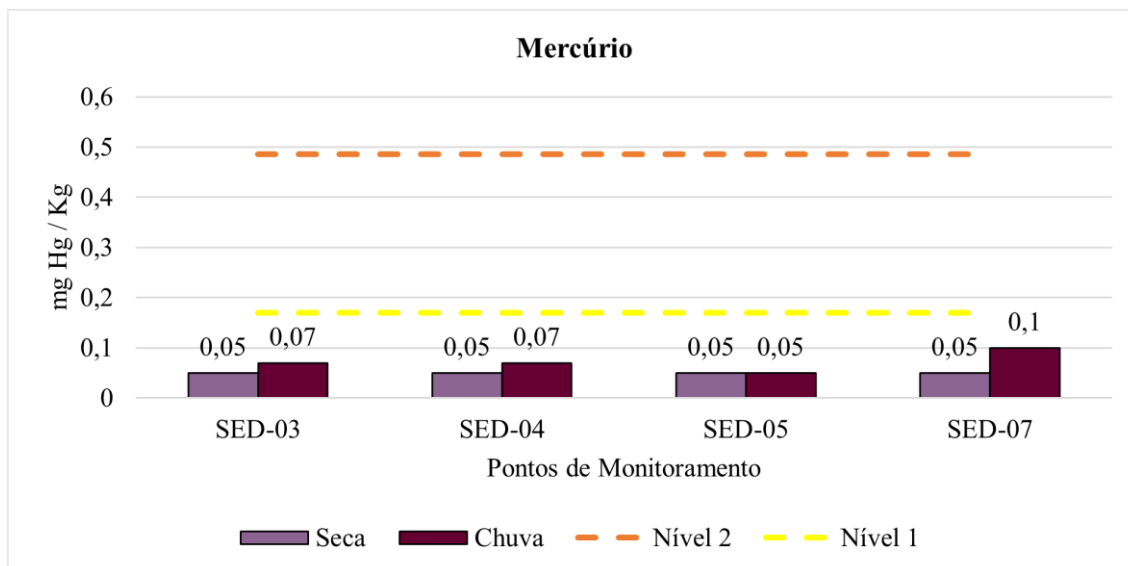


Figura 175 Resultados para o parâmetro Mercúrio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

As concentrações de níquel para as amostragens realizadas foram inferiores aos limites determinados pela Resolução CONAMA n° 454/2012, com valores de 18 mg/kg e 35,9 mg/kg, respectivamente, para o nível 1 e 2, em todos os pontos, conforme gráfico da Figura 176. Além disso, todos os resultados foram



inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 10 mg/Kg. As principais fontes antrópicas de níquel para o meio ambiente são a queima de combustíveis, mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, entre outros (CETESB, 2017).

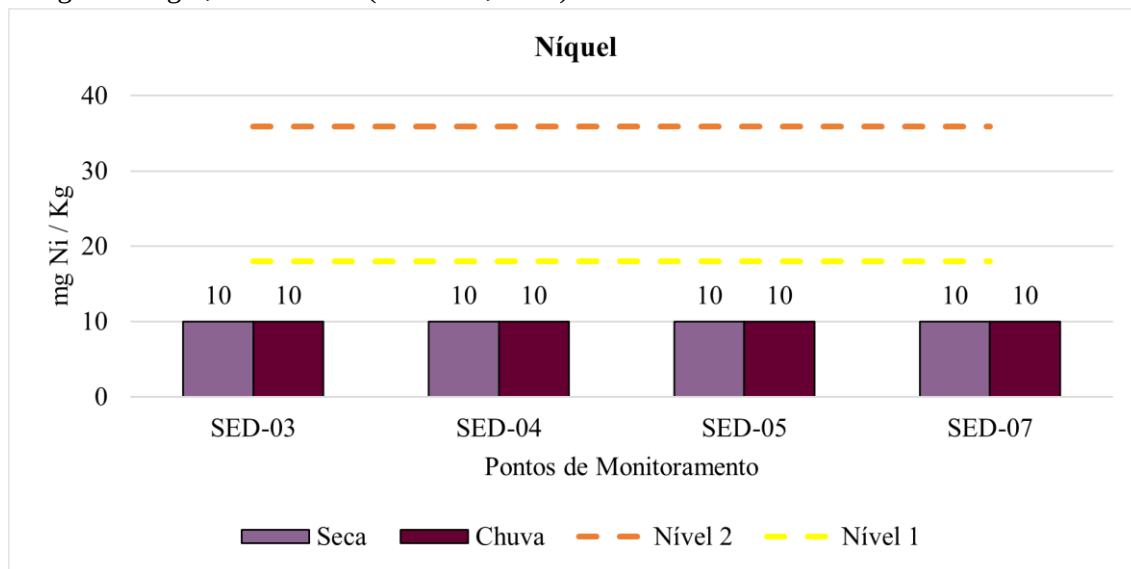


Figura 176 Resultados para o parâmetro Níquel na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para o parâmetro zinco, a concentração obtida na coleta de seca do ponto SED-07 foi a única que superou o limite de 123 mg/kg, referente ao nível 1, embora o limite do nível 2 (315 mg/kg), estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012, não tenha sido ultrapassado. Os demais valores encontrados (seca e chuva) foram inferiores a ambos os níveis, com maiores concentrações no período chuvoso, com exceção do SED-07, em que o resultado foi menor (Figura 177). De acordo com a bibliografia, é possível encontrar concentrações de zinco de até 500 mg/Kg na bacia do rio Taquari, próximo ao ribeirão das Antas, devido a emissão natural por exposição do solo à erosão (DUTRA *et al.*, 2019).

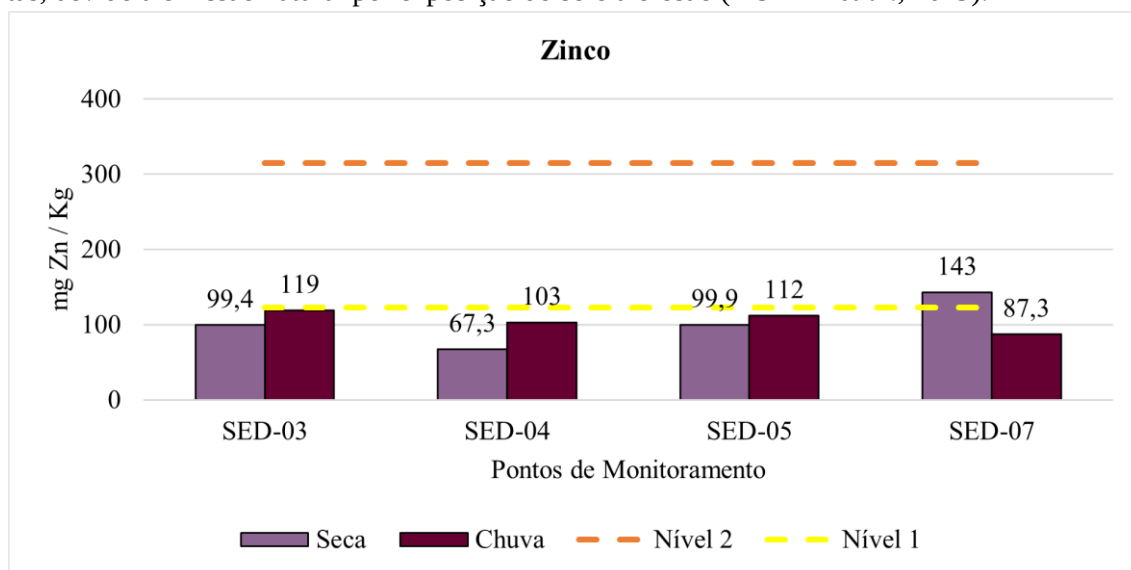


Figura 177 Resultados para o parâmetro Zinco na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Os resultados de tório variaram entre 13,50 e 28,20 mg/Kg, no período de seca, e entre 16 mg/Kg e 31,5

mg/Kg, período de chuva, na sub-bacia do ribeirão das Vargens, sendo que as maiores concentrações foram encontradas nos afluentes do curso hídrico principal (SED-05 e SED-07). Ademais, observa-se que na campanha de chuva as análises mostraram pequenas variações, com concentrações maiores quando comparadas às de seca, como mostra o gráfico da Figura 178. Entretanto, os resultados são inferiores aos encontrados na bacia do rio Taquari, próxima ao ribeirão das Antas, onde as concentrações de tório vão de 50 a 118 mg/Kg (Dutra *et al.*, 2019).

Importante ressaltar que a Resolução CONAMA n° 454/2012 não possui limites para o parâmetro tório e este é um elemento encontrado em quantidades baixas na maioria das rochas e solos, ocorrendo em diversos minerais, tais como tório-fosfato e monazita, que contém até 12% de óxido de tório (Oliveira, 2016).

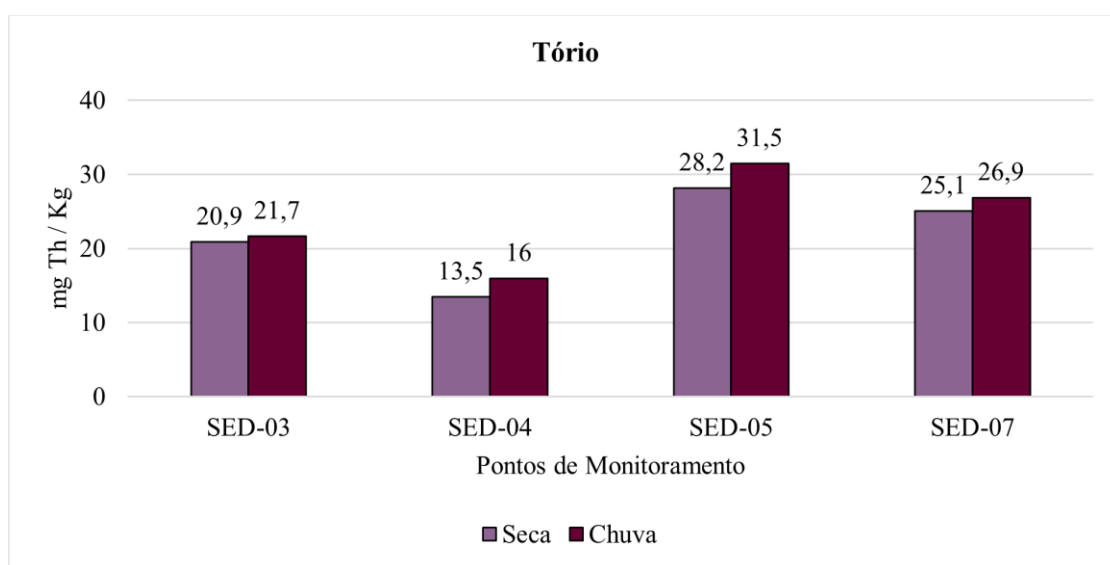


Figura 178 Resultados para o parâmetro Tório na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Quanto ao urânio, as concentrações foram de 6,32 a 11,40 mg/Kg (seca) e de 4,8 mg/Kg a 8,83 mg/Kg (chuva), nos pontos avaliados (Figura 179). Ressalta-se que, no período chuvoso, as análises tiveram resultados abaixo do que os relatados na seca, em todos os pontos, sendo inferiores aos obtidos na bacia adjacente ao ribeirão das Antas (rio Taquari), onde foi encontrada concentração média de 26 mg/Kg (Dutra *et al.*, 2019). Importante destacar que no divisor de águas entre as sub-bacias do rio Taquari e do ribeirão das Antas estão as instalações da mina de urânio Osamu Utsumi (Indústrias Nucleares Brasileiras), que opera desde o ano de 1982 (Oliveira, 2016), e que a Resolução CONAMA n° 454/2012 não possui valores limite para o parâmetro urânio.

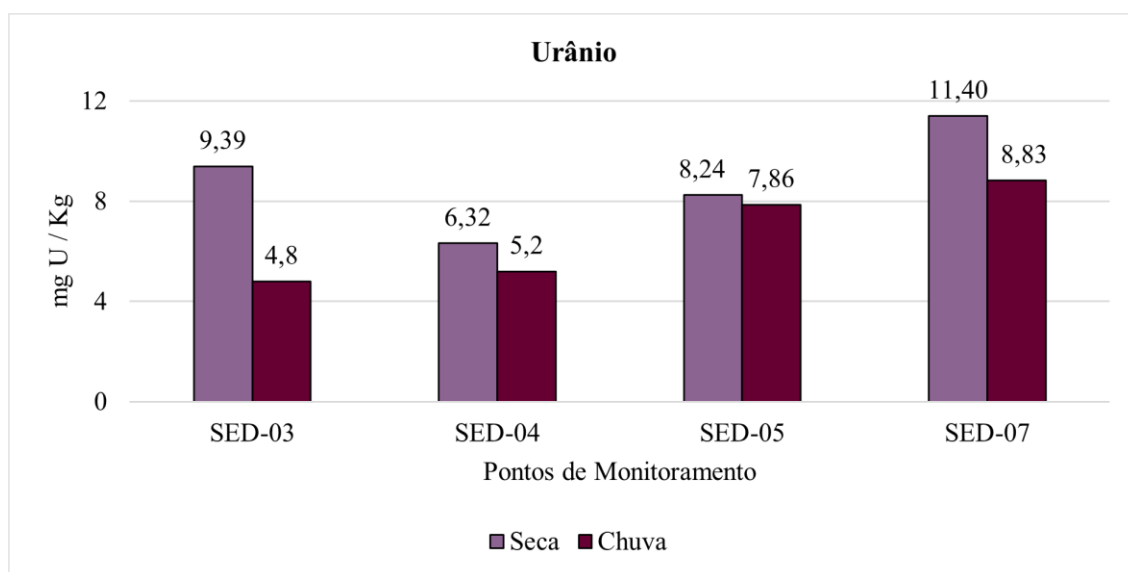


Figura 179 Resultados para o parâmetro Urânio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Caracterização de radioatividade alfa e beta

Os radionuclídeos são átomos instáveis que emitem radiação para alcançar a estabilidade durante o decaimento radioativo e são divididos em três classes: i. primordiais, presentes na superfície da Terra; ii. secundários, derivados do decaimento dos primordiais; e iii. cosmogênicos, que são formados na atmosfera devido ao impacto de raios cósmicos em núclídeos estáveis (Oliveira, 2016; Carneiro, 2016). Na natureza, os radionuclídeos estão distribuídos em três séries (ou famílias), sendo elas ^{238}U , ^{238}Th e actínídeo ^{235}U , que com as transformações radioativas geram aproximadamente 40 outros radionuclídeos, provocando as emissões como alfa, beta e gama. Elementos radioativos como o urânio, tório e potássio podem ser encontrados de forma natural no meio ambiente, estando presentes no ar, na água, no solo, sedimentos, rochas, vegetais e alimentos (Carneiro, 2016).

Os resultados de radioatividade alfa e radioatividade beta para a sub-bacia do ribeirão das Vargens podem ser vistos nos gráficos da Figura 180 e Figura 181. As concentrações para radioatividade alfa foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 0,025 Bq/g, nos pontos SED-03 (seca), SED-04 (seca e chuva) e SED-07 (seca e chuva), enquanto a concentração obtida no ponto SED-03 foi de 0,359 Bq/g (chuva) e no ponto SED-05 de 0,329 Bq/g (seca) e de 0,657 Bq/g (chuva).

Já para o parâmetro de radioatividade beta, nos pontos SED-03 (seca), SED-04 (seca e chuva) e SED-07 (chuva) as concentrações foram abaixo do LQ do laboratório (0,030 Bq/g), mas nos pontos SED-03 (chuva) e SED-05 (seca e chuva) os valores ultrapassaram a concentração de 0,132 Bq/g. Vale destacar que ambos os parâmetros discutidos não possuem limites definidos na Resolução CONAMA nº 454/2012.

Assim como ocorreu na sub-bacia do ribeirão Ponte Alta, o aumento das concentrações radioativas observadas nos pontos, no período chuvoso, podem estar associados ao aumento de vazão nos cursos d'água, o que intensifica o carreamento dos sedimentos e, consequentemente, dos elementos radioativos (Moreira, 2017), fenômeno associado às condições naturais da região.

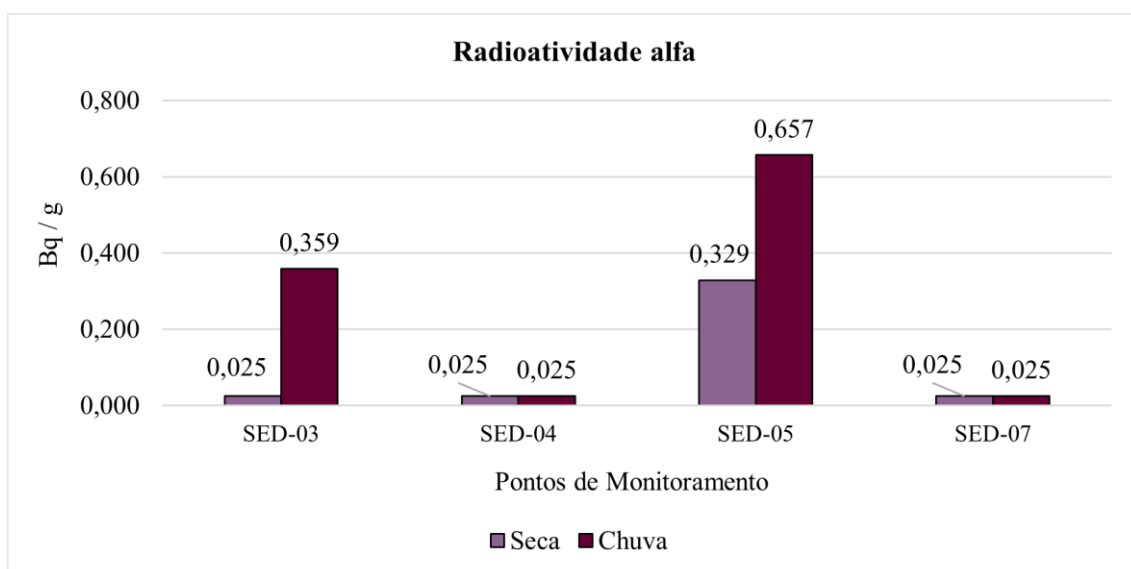


Figura 180 Resultados para o parâmetro Radioatividade Alfa na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

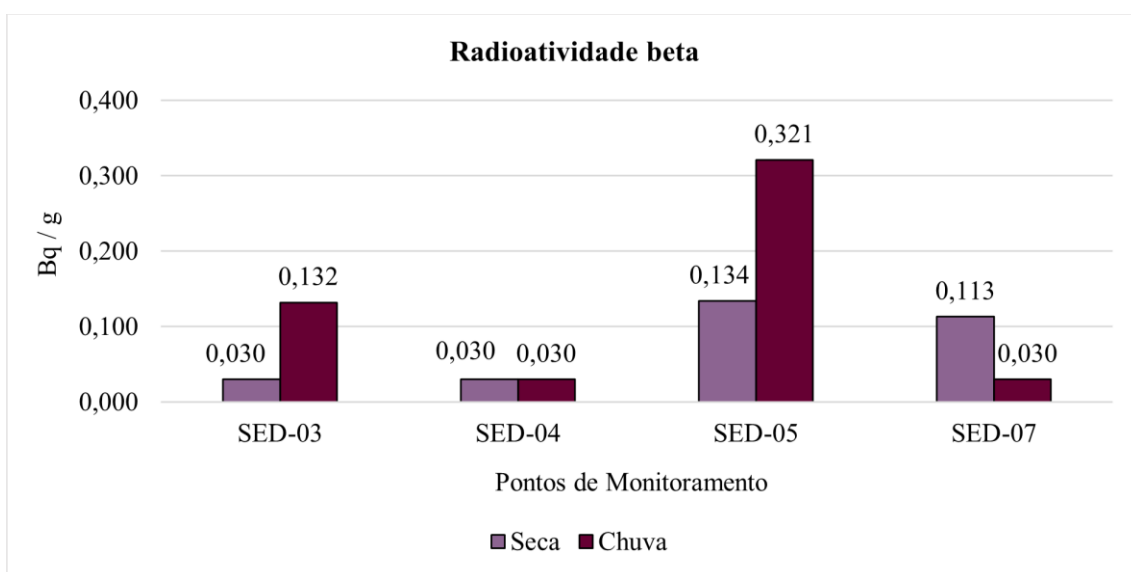


Figura 181 Resultados para o parâmetro Radioatividade Beta na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

6.1.11.2.2.3. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas, especificamente na calha principal e afluente próximo, foram definidos três (03) pontos de análise dos sedimentos de fundo: SED-02, SED-06 e SED-08. A localização dos pontos na extensão dos cursos hídricos pode ser observada no diagrama unifilar da Figura 182.

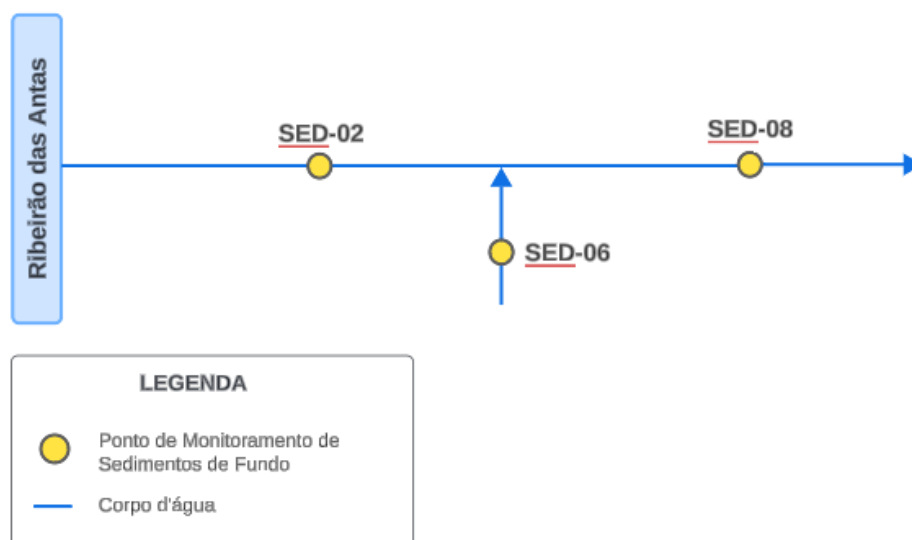


Figura 182 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para caracterização dos sedimentos de fundo, sendo comparados aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 454/2012, para águas doces.

Classificação granulométrica

A análise granulométrica do sedimento de fundo nos pontos localizados na sub-bacia do ribeirão das Antas revelou comportamento similar entre os pontos SED-06 e SED-08, em ambos os períodos de amostragem, com a presença de apenas três classes granulométricas, tendo pouca variabilidade entre as sazonalidades. Os materiais amostrados possuem predominância de silte, com proporções de 67,1 % (seca) e 76,7% (chuva) no SED-06 e de 77,2% (seca) e 78,8 % (chuva) no ponto SED-08. O segundo grupo com maior porcentagem foi argila, que variou de 19,9% (SED-08 – chuva) a 31,2% (SED-06 - seca). As proporções de areia muito fina foram as menos representativas, com 1,7% no SED-06 e apenas 0,2%, no SED-08, na seca, e de 1,0% (SED-06) e 1,3% (SED-08), na chuva.

No ponto SED-02, na calha principal, a análise granulométrica revelou quatro classes, no período de seca e de cinco classes no período de chuva. Assim como nos outros pontos, há a predominância de silte (60,6% - seca; 67,6% - chuva) e argila (22,6% - seca; 26,5% - chuva), e em menores proporções de areia muito fina (12,8 % - seca; 5,8% - chuva), areia fina (3,8 %- seca; 0,1% - chuva).

Na Figura 183 é possível visualizar, de forma gráfica, as proporções discutidas anteriormente para as classificações granulométricas, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 454/2012.

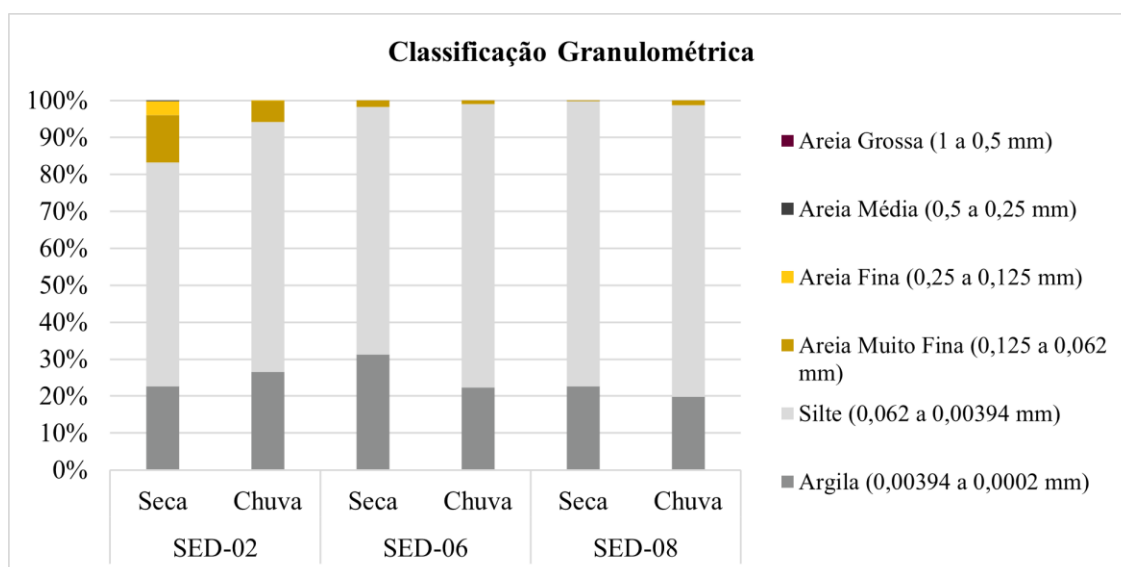


Figura 183 Gráfico de classificação granulométrica de sedimentos de fundo, conforme a Resolução CONAMA nº454/2012

Assim como nas demais sub-bacias, em todos os pontos, há a predominância de silte, e, portanto, os sedimentos presentes nesses corpos d'água têm grande capacidade de retenção de poluentes devido à sua menor granulometria e, conseqüentemente, à grande área superficial em relação ao volume (Burton Jr, 2002).

Vale ressaltar que, os sedimentos nos cursos d'água vão variar conforme a descarga dos mesmos no leito e o transporte influencia na distribuição longitudinal, tendo a predominância de materiais de maior granulometria nas cabeceiras dos cursos d'água e, mais a jusante, de materiais mais finos, depositando-se nas margens, chegando na foz com maior fração de argila e silte (OLIVEIRA, 2016).

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes nos sedimentos: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, zinco, urânio e tório

Conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 454/2012, as concentrações de arsênio devem permanecer abaixo de 5,9 mg/kg, no nível 1, e de 17,0 mg/kg, no nível 2. Na sub-bacia do ribeirão das Antas todos os pontos (campanha de seca e chuva) superaram o limite do nível 1, que apresenta menor probabilidade de efeitos adversos à biota. No entanto, demonstraram concentrações abaixo do nível 2, como pode ser visto no gráfico da Figura 184 para os pontos SED-2 (seca) e SED-08 (seca e chuva). Os pontos SED-02 (chuva) e SED-06 (seca e chuva) obtiveram concentrações acima do nível 2, onde há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

O arsênio pode ser proveniente de fontes naturais, tais como minerais, rochas, solos e sedimentos, que contêm o arsênio em sua composição; e antrópicas, como agricultura, rejeitos de determinadas atividades minerárias, refino de metais não ferrosos, e queima de carvão mineral (SOUZA *et al.*, 2022). Dessa forma, as elevadas concentrações encontradas nos pontos citados podem estar relacionadas às atividades antrópicas e às ocorrências naturais, devido à capacidade de absorção das partículas, considerando as características granulométricas apresentadas.

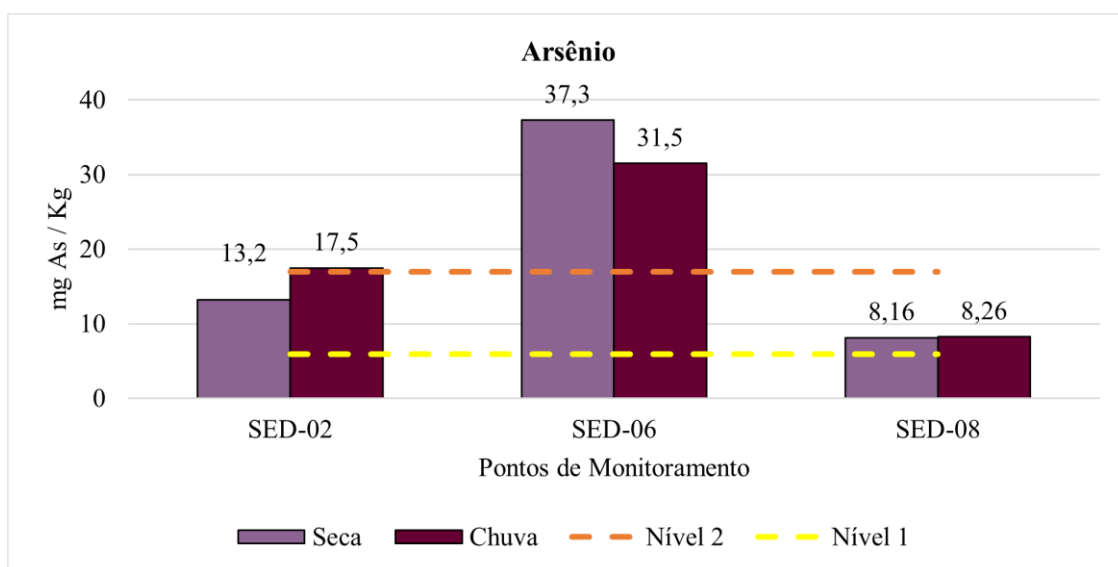


Figura 184 Resultados para o parâmetro Arsênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

No que tange aos dados de Cádmio, mostrados na Figura 185, todos os valores foram inferiores ao limite de 0,6 mg/Kg, para o nível 1, que apresenta menor probabilidade de efeitos adversos à biota e, consequentemente, ao nível 2 (3,5 mg/Kg). Considerando as amostragens de seca e chuva, os dados apresentaram pouca variação, com ressalva do ponto SED-02, em que a concentração foi menor no período de chuva, quando comparado ao de seca. No entanto, tais resultados podem indicar que não há fontes antrópicas de contaminação deste elemento, a montante dos pontos avaliados.

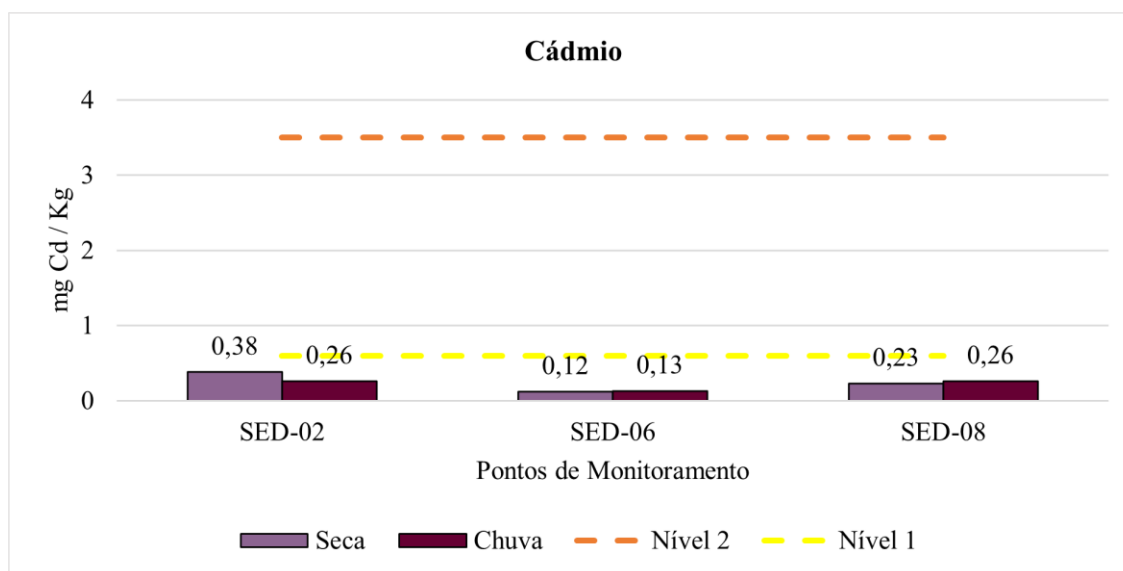


Figura 185 Resultados para o parâmetro Cádmio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Nas amostragens realizadas, o resultado de chumbo superou os limites de nível 1 (35 mg/Kg) e nível 2 (91,3 mg/Kg) apenas no ponto SED-06 (seca). As concentrações nos pontos SED-02 e SED-08 superaram o limite de nível 1, porém foram inferiores ao limite do nível 2, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012, como mostra a Figura 186. Destaca-se que mesmo o valor mais alto, obtido no

ponto SED-06, foi inferior aos dados de chumbo encontrados para a bacia do rio Taquari, que tangencia a bacia do ribeirão das Antas, onde as concentrações máximas chegaram a 500 mg/Kg (DUTRA *et al.*, 2019). A sub-bacia do rio Taquari, na sua calha principal, drena no sentido nordeste, em relação à mina de urânio Osamu Utsumi (INB). As instalações da mina estão próximas ao divisor de águas desta sub-bacia e da sub-bacia do ribeirão das Antas, que drena no sentido noroeste (calha principal) (Souza *et al.*, 2013; Oliveira, 2016). Teores naturais de chumbo são encontrados em alguns tipos de rochas, como argilitos e xistos, variando de 15 a 20 mg/Kg, e nos granitoides, até 20 mg/Kg (Rodrigues, 2008). Algumas atividades antrópicas podem contribuir com o aumento dessas concentrações, devido à deposição atmosférica derivada de processos industriais, como metalurgia, produção de fertilizantes, combustão de carvão e lixiviação do solo. Alguns desses fatores podem estar associados aos valores elevados de chumbo nos pontos analisados.

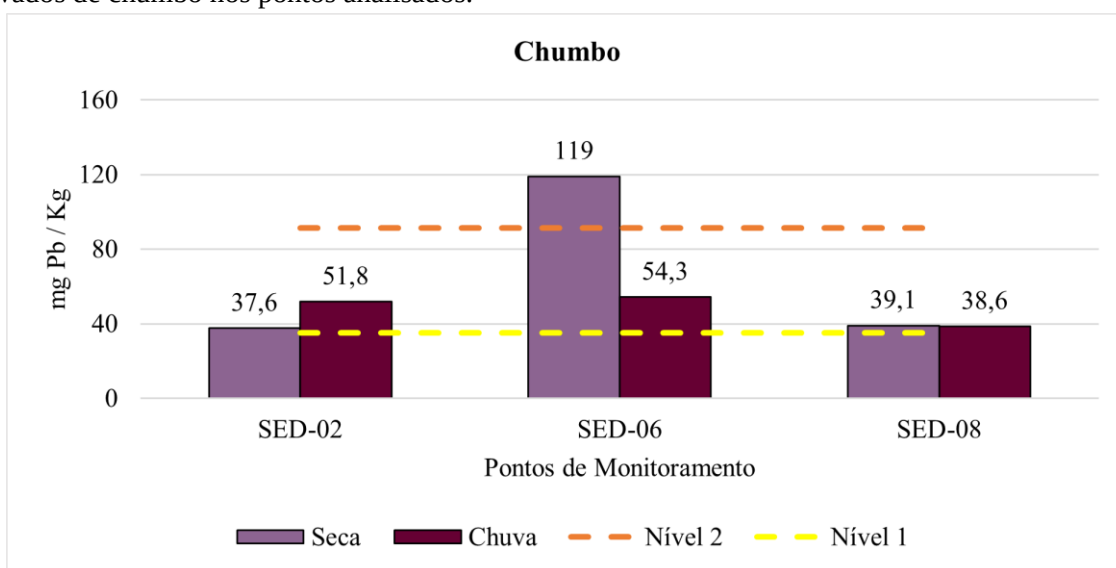


Figura 186 Resultados para o parâmetro Chumbo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Da mesma forma que o cádmio, os resultados obtidos para o cobre nas amostragens de seca e chuva, de sedimentos da sub-bacia do ribeirão das Antas, estiveram abaixo do nível 1 (35,7 mg/Kg) e do nível 2 (197 mg/Kg) (Figura 187). O elemento ocorre naturalmente em todas as plantas e animais, porém teores mais elevados têm origem em minas de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, entre outros (CETESB, 2017).

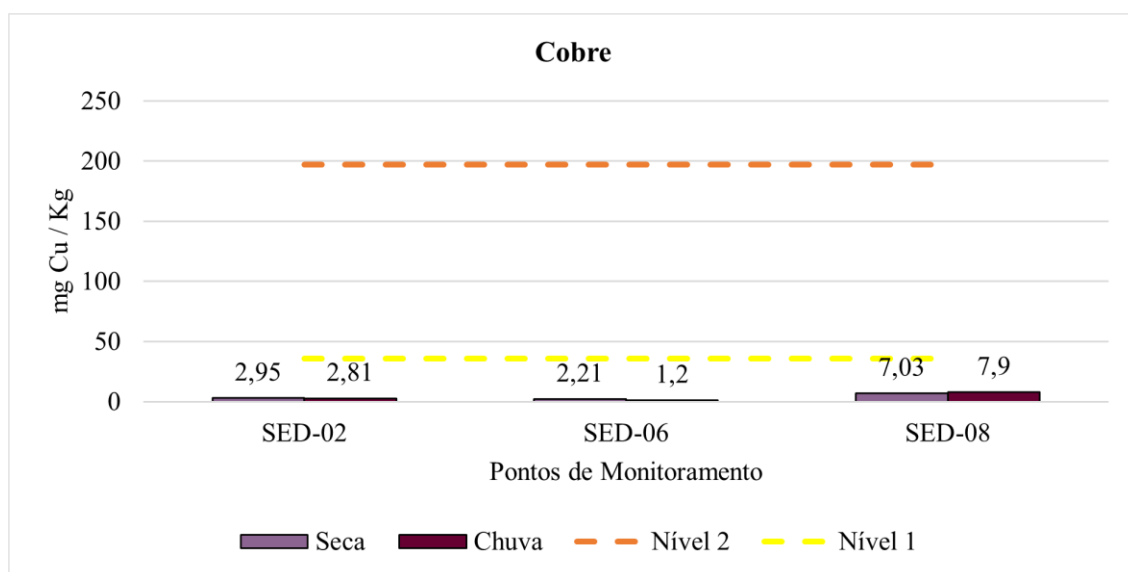


Figura 187 Resultados para o parâmetro Cobre na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Quanto ao parâmetro cromo, conforme gráfico da Figura 188, as amostras analisadas não excederam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 454/2012 para os níveis 1 e 2, de 37,3 mg/kg e de 90,0 mg/kg, respectivamente. Importante destacar que os resultados demonstraram concentrações menores no período de chuva que no período de seca, e nos pontos SED-02 (chuva) e SED-08 (chuva) estiveram abaixo do limite de quantificação.

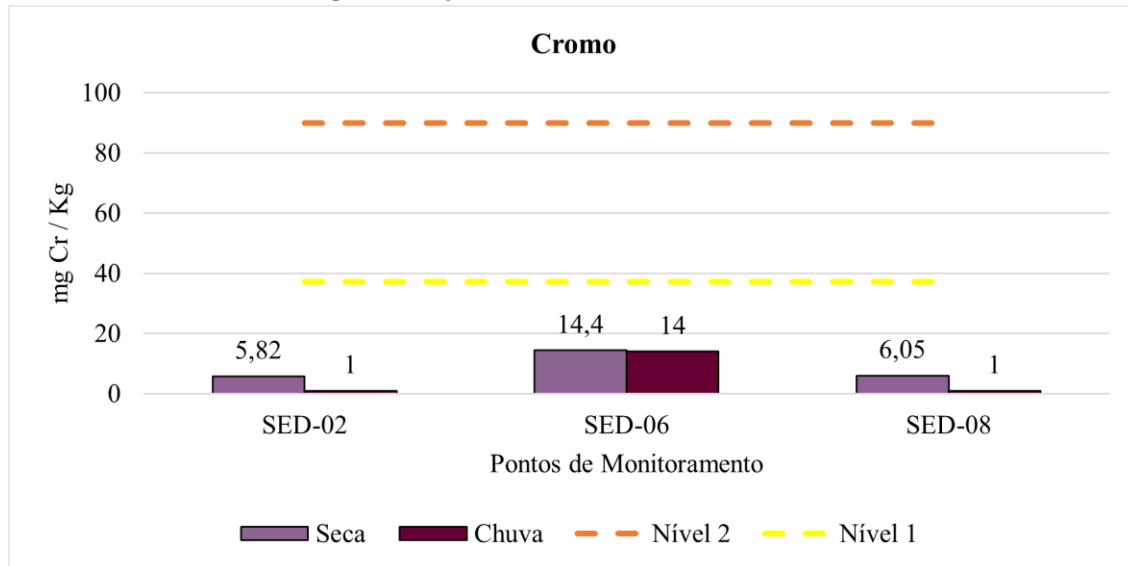


Figura 188 Resultados para o parâmetro Cromo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Todos os resultados para mercúrio nos sedimentos da sub-bacia do ribeirão das Antas encontram-se abaixo dos valores definidos para o nível 1, de 0,17 mg/kg, e para o nível 2, de 0,486 mg/kg, definidos pela Resolução CONAMA n° 454/2012 (Figura 189). Ademais, nos pontos SED-02 e SED-08, para o período de seca, as concentrações foram inferiores ao LQ, de 0,05 mg/Kg. Com os resultados expostos, em todos os pontos, é possível observar que no período de chuva as concentrações tiveram uma pequena elevação.

O mercúrio, em fontes aquáticas, pode ser proveniente de processos de mineração e fundição, efluentes de estações de tratamento de esgotos, indústrias de tintas, entre outros (CETESB, 2017).

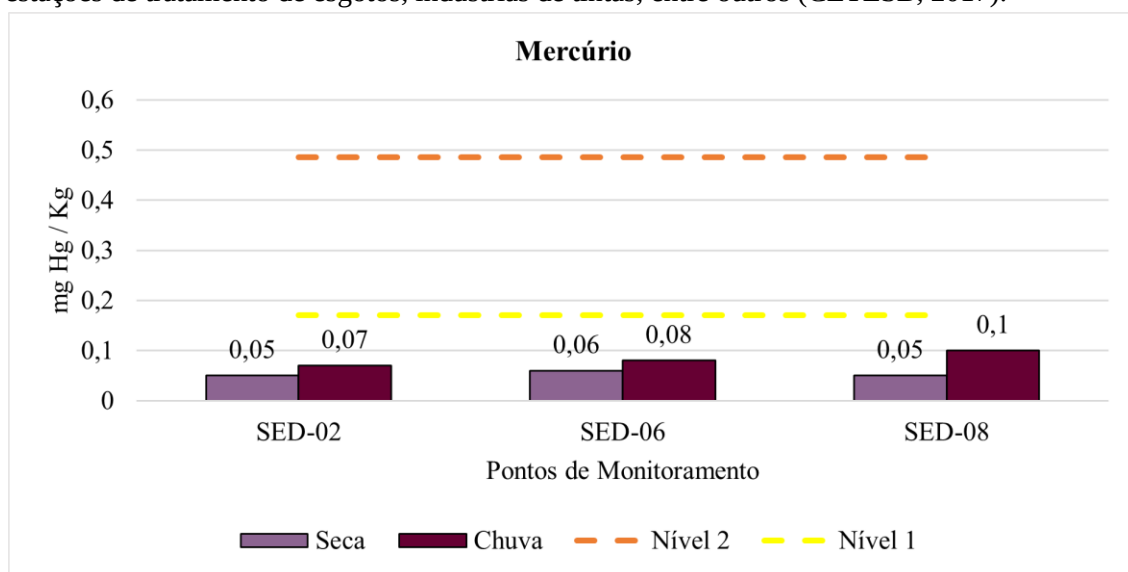


Figura 189 Resultados para o parâmetro Mercúrio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

As concentrações de níquel para as amostragens realizadas foram inferiores aos limites determinados pela Resolução CONAMA n° 454/2012, com valores de 18 mg/kg e 35,9 mg/kg, respectivamente, para o nível 1 e 2, em todos os pontos (Figura 190). Além disso, todos os resultados foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 10 mg/Kg. As principais fontes antrópicas de níquel para o meio ambiente são a queima de combustíveis, mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, entre outros (CETESB, 2017).

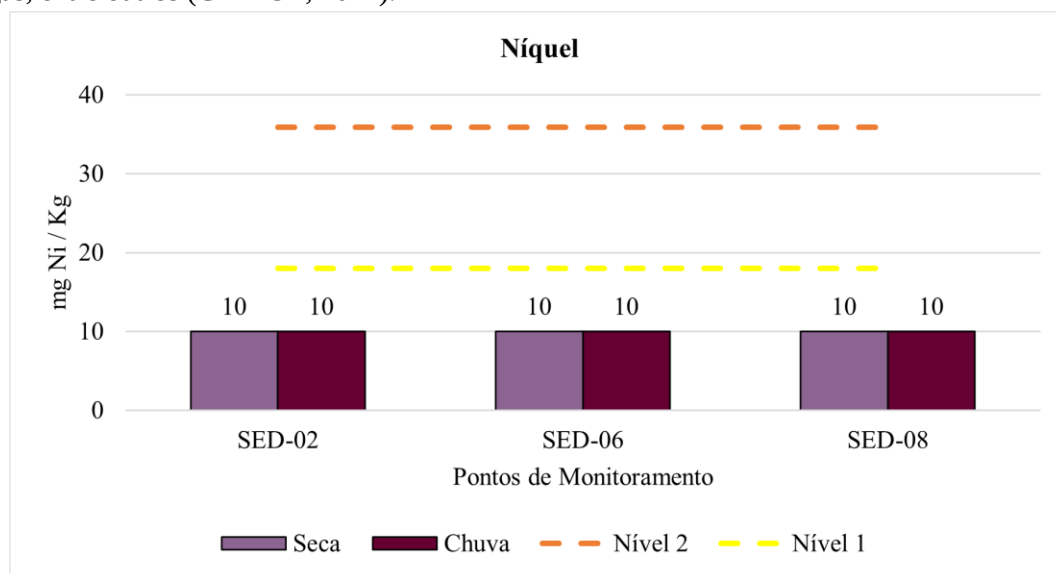


Figura 190 Resultados para o parâmetro Níquel na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para o parâmetro zinco, as concentrações obtidas em todas as amostragens (seca e chuva) foram superiores ao nível 1 (123 mg/kg) e inferiores ao nível 2 (315 mg/kg), definidos pela Resolução CONAMA n° 454/2012 (Figura 191). O ponto que obteve maior valor, SED-06, se insere em uma sub-

bacia afluyente da calha principal do ribeirão das Antas, onde o uso predominante é a agricultura, que pode favorecer a erosão do solo. Uma vez que a principal fonte natural de zinco é a erosão dos solos derivados de rochas que contêm este elemento, e que na região do Complexo Alcalino de Poços de Caldas há ocorrência de mineralizações de zinco-urânio e de zinco (Oliveira, 2016), pode-se justificar a ocorrência destas maiores concentrações no ponto SED-06.

Comparando-se com a bibliografia, o zinco pode ser encontrado nos sedimentos com concentrações que chegam a cerca de 500 mg/Kg na bacia do rio Taquari, próxima ao ribeirão das Antas (Dutra *et al.*, 2019). A sub-bacia do rio Taquari, na sua calha principal, drena no sentido nordeste, em relação à mina de urânio Osamu Utsumi (INB). As instalações da mina estão próximas ao divisor de águas desta sub-bacia e da sub-bacia do Ribeirão das Antas, que drena no sentido noroeste (calha principal) (Souza *et al.*, 2013; Oliveira, 2016).

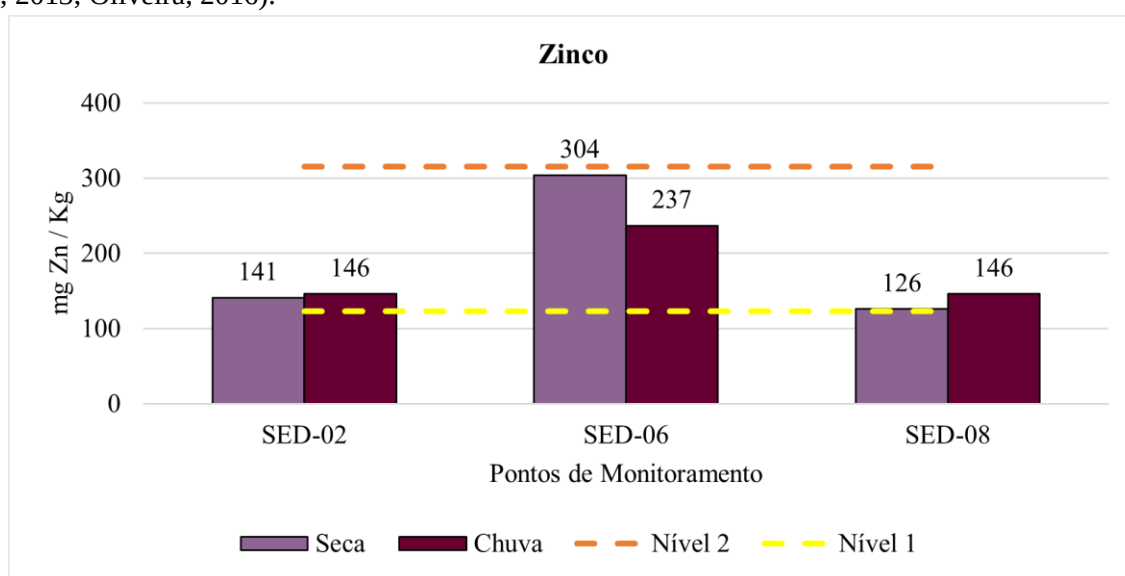


Figura 191 Resultados para o parâmetro Zinco na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para o parâmetro tório, nas amostragens realizadas, foram encontrados valores entre 26,90 e 60,60 mg/Kg, no período de seca, e entre 27,6 e 37,1 mg/Kg, no período chuvoso, para a sub-bacia do ribeirão das Antas, como pode ser visto no gráfico da Figura 192. Os resultados, com exceção do SED-06 (seca), estão abaixo dos encontrados na bacia do rio Taquari, próxima ao ribeirão das Antas, onde as concentrações de tório vão de 50 a 118 mg/Kg (Dutra *et al.*, 2019). Importante ressaltar que a Resolução CONAMA n° 454/2012 não possui limites para o parâmetro tório e este é um elemento encontrado em quantidades baixas na maioria das rochas e solos, ocorrendo em diversos minerais, tais como tório-fosfato e monazita, que contém até 12% de óxido de tório (Oliveira, 2016).

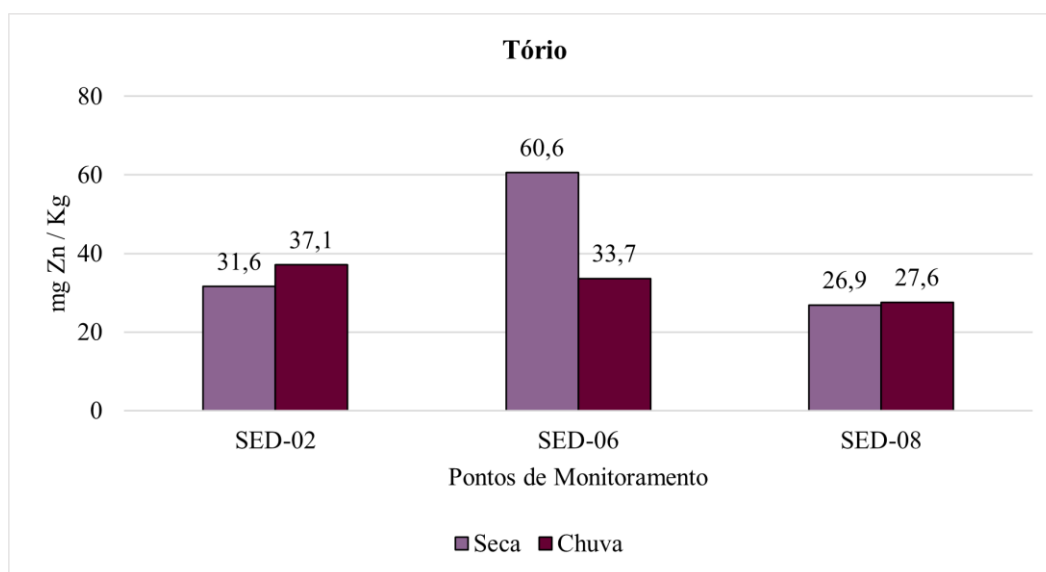


Figura 192 Resultados para o parâmetro Tório na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Quanto ao urânio, as maiores concentrações foram observadas no ponto SED-02 (62,60 mg/Kg – seca; 39,3 mg/Kg - chuva), inserido na calha principal do ribeirão das Antas (Figura 193). Ressalta-se que, no período de chuva, com exceção do SED-06, os valores obtidos foram menores que os da amostragem de seca.

Importante destacar que no divisor de águas entre as sub-bacias do Rio Taquari e do Ribeirão das Antas estão as instalações da mina de urânio Osamu Utsumi (Indústrias Nucleares Brasileiras), que opera desde o ano de 1982 (OLIVEIRA, 2016), e que a Resolução CONAMA nº 454/2012 não possui valores limite para o parâmetro urânio.

Comparando-se com os resultados da região, os dados de campo foram superiores no ponto SED-02, e inferiores nos pontos SED-06 e SED-08, à concentração média de 26 mg/Kg (DUTRA *et al.*, 2019). Porém, as concentrações máximas de 68 e 200 mg/Kg, obtidas na bacia adjacente à bacia do ribeirão das Antas (DUTRA *et al.*, 2019), condizem com o valor máximo obtido, que foi de 62,60 mg/Kg.

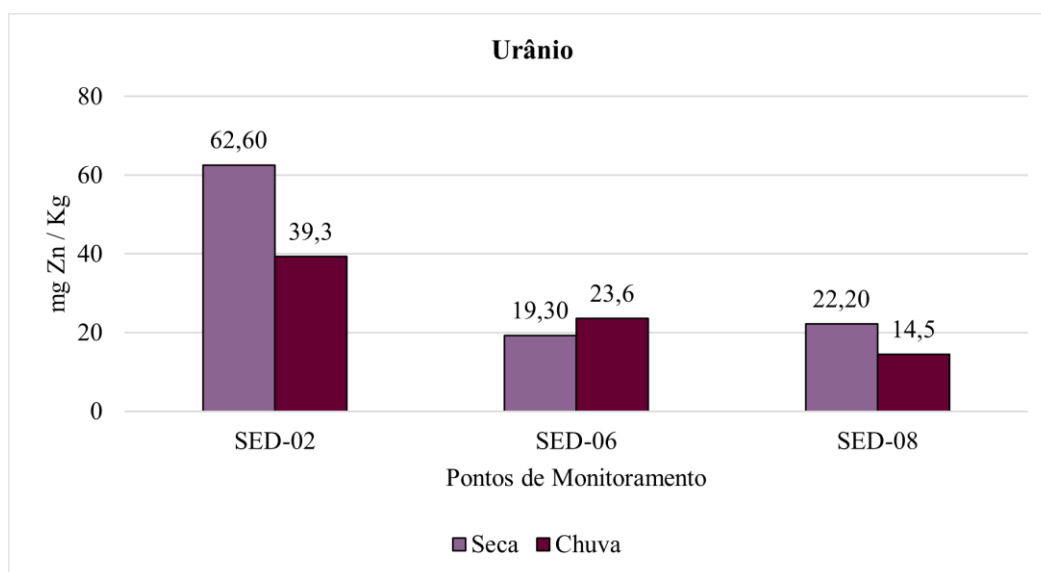


Figura 193 Resultados para o parâmetro Urânio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Caracterização de radioatividade alfa e beta

Os radionuclídeos são átomos instáveis que emitem radiação para alcançar a estabilidade durante o decaimento radioativo e são divididos em três classes: i. primordiais, presentes na superfície da Terra; ii. secundários, derivados do decaimento dos primordiais; e iii. cosmogênicos, que são formados na atmosfera devido ao impacto de raios cósmicos em núclídeos estáveis (Oliveira, 2016; Carneiro, 2016). Na natureza, os radionuclídeos estão distribuídos em três séries (ou famílias), sendo elas ^{238}U , ^{238}Th e actínídeo ^{235}U , que com as transformações radioativas geram aproximadamente 40 outros radionuclídeos, provocando as emissões como alfa, beta e gama. Elementos radioativos como o urânio, tório e potássio podem ser encontrados de forma natural no meio ambiente, estando presentes no ar, na água, no solo, sedimentos, rochas, vegetais e alimentos (Carneiro, 2016).

Nos gráficos das Figura 194 e Figura 195 estão apresentados os resultados obtidos para radioatividade alfa e radioatividade beta, para a sub-bacia do ribeirão das Antas. As concentrações de radioatividade alfa variaram de 0,025 Bq/g a 1,100 Bq/g (período de seca), e de 0,121 a 0,362 Bq/g (período de chuva), sendo que o único ponto com valor inferior ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 0,025 Bq/g foi o ponto SED-02 (seca). O ponto SED-06, que se insere em uma sub-bacia afluente da calha principal do ribeirão das Antas, foi o que teve maior resultado no período de seca (1,100 Bq/g), porém, no período de chuva, foi o que obteve menor concentração (0,121 Bq/g).

Similar ao parâmetro anterior, as concentrações de radioatividade beta apresentaram maior valor no ponto SED-06, de 0,923 Bq/g (seca), e os pontos SED-02 (seca) e SED-06 (chuva) obtiveram valores inferiores ao LQ do laboratório, de 0,030 Bq/g.

Os resultados do ponto SED-06, para radioatividade alfa e beta, apresentaram a maior variação entre as coletas sazonais e divergiram dos resultados dos demais pontos, visto que os valores obtidos na época de seca foram bem mais elevados do que aqueles obtidos na coleta da época de chuva. Neste caso específico, sugere-se que os sedimentos com maior concentração de elementos radioativos, por alguma condição local do fluxo hidrodinâmico, não foram carregados para este ponto, tendo sido, ao contrário,



dispersados.

O estudo de Moreira (2017), no ribeirão das Antas, avaliou as interações entre escoamento superficial, transporte de hidrossedimentos em suspensão e de fundo e radionuclídeos, obtendo resultados específicos de radioatividade para Th e U, entre outros elementos. Em visto disso, com intuito comparativo, como os valores analisados no presente estudo são de radioatividade alfa e beta total, que podem abranger emissões a partir do decaimento de Th e U, as faixas demonstradas por Moreira (2017) no período de seca, para tório, variaram entre 0,0421 Bq/g e 0,573 Bq/g, e entre 0,00003 Bq/g e 0,204 Bq/g, no período chuvoso. Para urânio, as concentrações foram de 0,0483 Bq/g a 0,945 Bq/g, na seca, e de 0,00009 a 1,406 Bq/g, no período de chuva.

De forma geral, pode-se afirmar que os valores de radioatividade alfa e beta e relacionada a tório e urânio, acima indicados, estão dentro de uma mesma faixa de variação.

Salienta-se que a região de Poços de Caldas possui formações geológicas que apresentam anomalias associadas a radionuclídeos, além de uma mina de urânio (INB). Portanto as concentrações mais elevadas podem estar associadas a ocorrências naturais (Moreira, 2017).

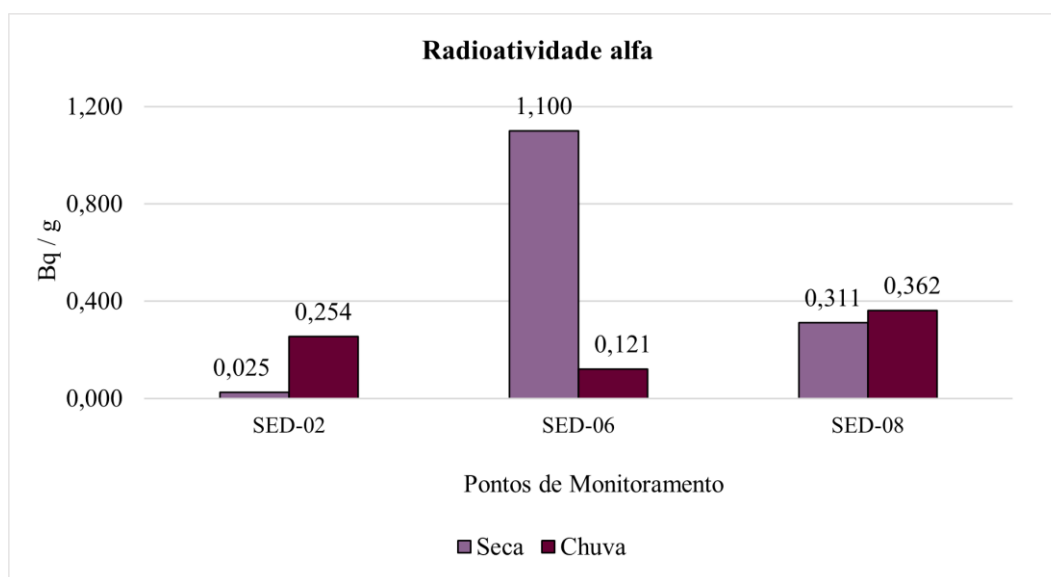


Figura 194 Resultados para o parâmetro Radioatividade Alfa na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

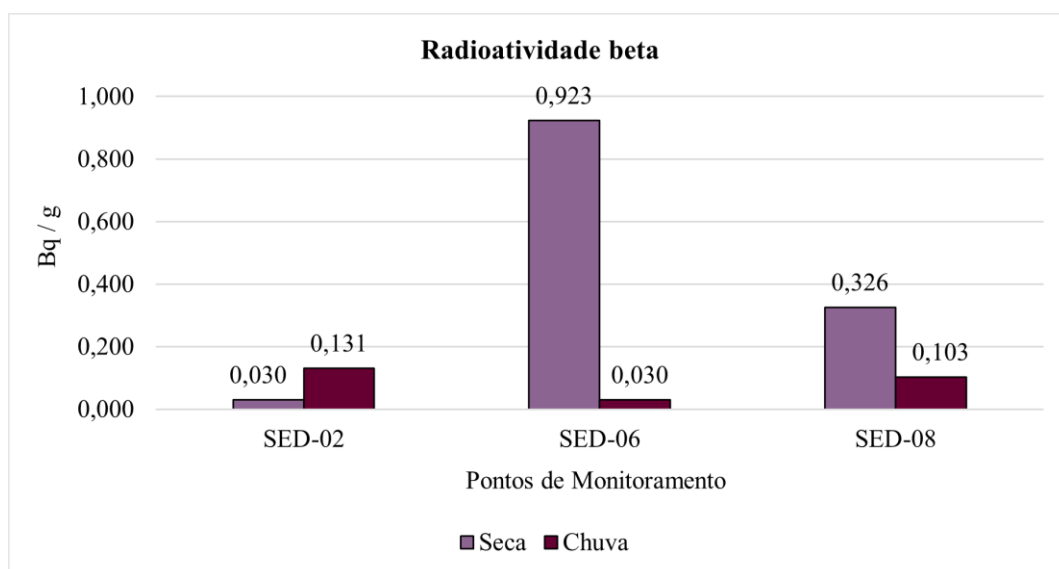


Figura 195 Resultados para o parâmetro Radioatividade Beta na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

6.1.11.3. Caracterização da Qualidade dos Solos

6.1.11.3.1. Metodologia

6.1.11.3.1.1. Rede de Monitoramento

Os pontos de monitoramento foram nomeados e estrategicamente determinados pela equipe CLAM próximos aos pontos de captação de águas superficiais que se encontram na área de estudo, no entorno da área do Projeto Colossus. As amostragens ocorreram no período de seca, entre 16 e 31 de julho de 2024, e no período de chuva, entre 15 e 18 de outubro de 2024.

A Tabela 79 apresenta a rede de monitoramento estabelecida, bem como as coordenadas, descrição e parâmetros. Da Foto 175 a Foto 200 são apresentados os registros fotográficos dos monitoramentos realizados e a Figura 196 apresenta a localização dos pontos, em relação à AEL do Projeto Colossus.

Tabela 79 Rede de Monitoramento de Solos

Ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Sub-bacia	Parâmetros
	X	Y		
SOL-02	336526,58	7575309,98	Ribeirão das Antas, próximo ao limite dos municípios Poços de Caldas e Andradas	1,1,1-Tricloroetano / 1,1-Dicloroetano / 1,1-Dicloroetano / 1,2,3,4-Tetraclorobenzeno / 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno / 1,2,3-Triclorobenzeno / 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno / 1,2,4-Triclorobenzeno / 1,2-Diclorobenzeno / 1,2-Dicloroetano / 1,3,5-Triclorobenzeno / 1,3-Diclorobenzeno / 1,4-Diclorobenzeno / 2,3,4,5-Tetraclorofenol / 2,3,4,6-Tetraclorofenol / 2,4,5-Triclorofenol / 2,4,6-Triclorofenol / 2,4-Diclorofenol / 2-Clorofenol / 3,4-Diclorofenol / Aldrin / Alumínio / Antimônio / Antraceno / Arsenio / Bário / Benzeno / Benzo(a)antraceno / Benzo(a)pireno / Benzo(g,h,i)perileno / Benzo(k)fluoranteno / Boro / Cadmio / Chumbo / Cis-1,2-Dicloroetano / Cloreto
SOL-03	329008,15	7584405,80	Calha principal do ribeirão das Vargens, próximo ao bairro Jardim Esperança III, na área urbana	
SOL-04	342009,72	7582466,32	Ribeirão das Vargens, próximo à nascente e próximo ao Santuário Mariano de Schoenstatt	
SOL-05	342510,45	7584091,17	Afluente da margem direita do ribeirão das Vargens	
SOL-06	340528,64	7578542,95	Afluente da margem esquerda do córrego do Retiro dos Moinhos	
SOL-07	340695,52	7582202,97	Afluente da margem esquerda do ribeirão das Vargens	



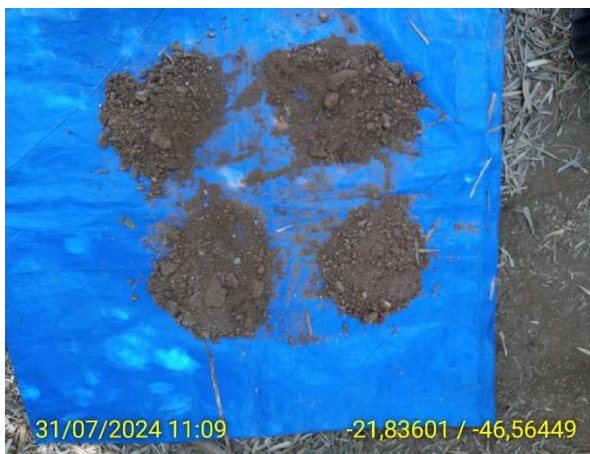
Ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Sub-bacia	Parâmetros
	X	Y		
SOL-08	334597,67	7584432,76	Ribeirão das Antas, a jusante da confluência com o ribeirão das Vargens	de Metileno (Diclorometano) / Cloreto de Vinila / Clorobenzeno / Clorofórmio / Cobalto / Cobre / Criseno / Cromo / Di(2-etilhexil)ftalato / Dibenzo(a,h)antraceno / Dibutilftalato / Dieldrin / Dimetilftalato / Endrin / Estireno / Etilbenzeno / Fenantreno / Fenol / Ferro / HCH Beta / Hexaclorobenzeno / Indeno(1,2,3,cd)pireno / Lindano (g-HCH) / m,p-Xilenos / Manganês / Mercúrio / Molibdênio / Naftaleno / Níquel / Nitrato (N) / o-Xileno / p,p'-DDD / p,p'-DDE / p,p'-DDT / PCB's-Bifenilas Policloradas / Pentaclorofenol / Porcentagem de sólidos / Prata / Selênio / Tetracloroeto de Carbono / Tolueno / Trans-1,2-Dicloroeteno / Umidade / Vanádio / Zinco
SOL-09	339579,18	7586924,12	Ribeirão da Ponte Alta, a jusante do barramento da Represa Saturnino de Brito	
SOL-10	346033,64	7586307,96	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	
SOL-11	343496,59	7586723,91	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	
SOL-12	344167,68	7584812,78	Afluente da margem esquerda do ribeirão da Ponte Alta	
SOL-13	344937,14	7585096,00	Afluente da margem esquerda do ribeirão da Ponte Alta	
SOL-14	344030,06	7585353,98	Ribeirão da Ponte Alta, a montante do barramento da Represa Saturnino de Brito	



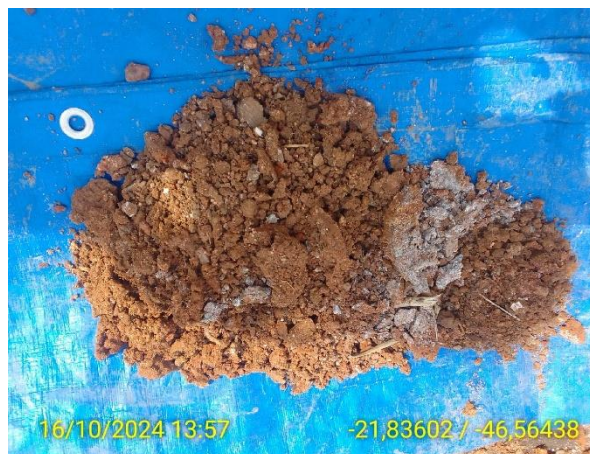
**Foto 175 Amostragem de Solos no Ponto SOL-02 -
Período de Seca**



**Foto 176 Amostragem de Solos no Ponto SOL-02 -
Período de Chuva**



**Foto 177 Amostragem de Solos no Ponto SOL-03 -
Período de Seca**



**Foto 178 Amostragem de Solos no Ponto SOL-03 -
Período de Chuva**



**Foto 179 Amostragem de Solos no Ponto SOL-04 -
Período de Seca**



**Foto 180 Amostragem de Solos no Ponto SOL-04 -
Período de Chuva**



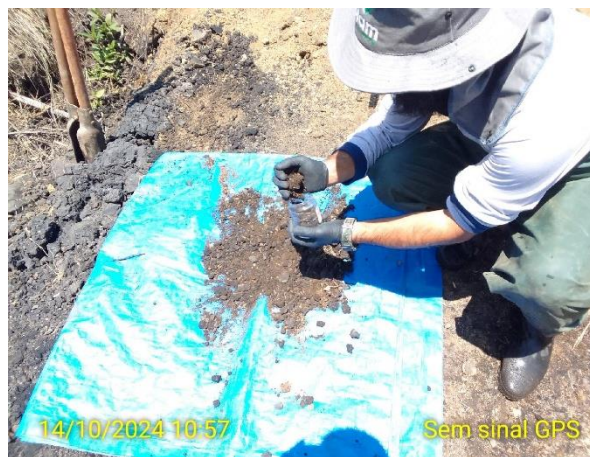
**Foto 181 Amostragem de Solos no Ponto SOL-05 -
Período de Seca**



**Foto 182 Amostragem de Solos no Ponto SOL-05 -
Período de Chuva**



**Foto 183 Amostragem de Solos no Ponto SOL-06 -
Período de Seca**



**Foto 184 Amostragem de Solos no Ponto SOL-06 -
Período de Chuva**



**Foto 185 Amostragem de Solos no Ponto SOL-07 -
Período de Seca**



**Foto 186 Amostragem de Solos no Ponto SOL-07 -
Período de Chuva**



Foto 187 Amostragem de Solos no Ponto SOL-08 -
Período de Seca



Foto 188 Amostragem de Solos no Ponto SOL-08 -
Período de Chuva



Foto 189 Amostragem de Solos no Ponto SOL-09 -
Período de Seca



Foto 190 Amostragem de Solos no Ponto SOL-09 -
Período de Chuva



Foto 191 Amostragem de Solos no Ponto SOL-10 -
Período de Seca

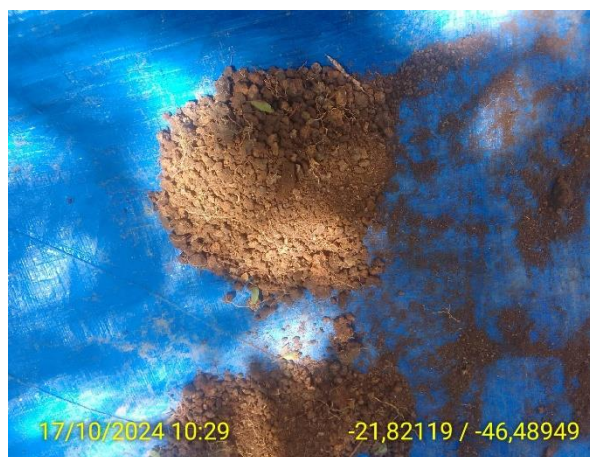


Foto 192 Amostragem de Solos no Ponto SOL-10 -
Período de Chuva



**Foto 193 Amostragem de Solos no Ponto SOL-11 -
Período de Seca**



**Foto 194 Amostragem de Solos no Ponto SOL-11 -
Período de Chuva**



**Foto 195 Amostragem de Solos no Ponto SOL-12 -
Período de Seca**



**Foto 196 Amostragem de Solos no Ponto SOL-12 -
Período de Chuva**



**Foto 197 Amostragem de Solos no Ponto SOL-13 -
Período de Seca**



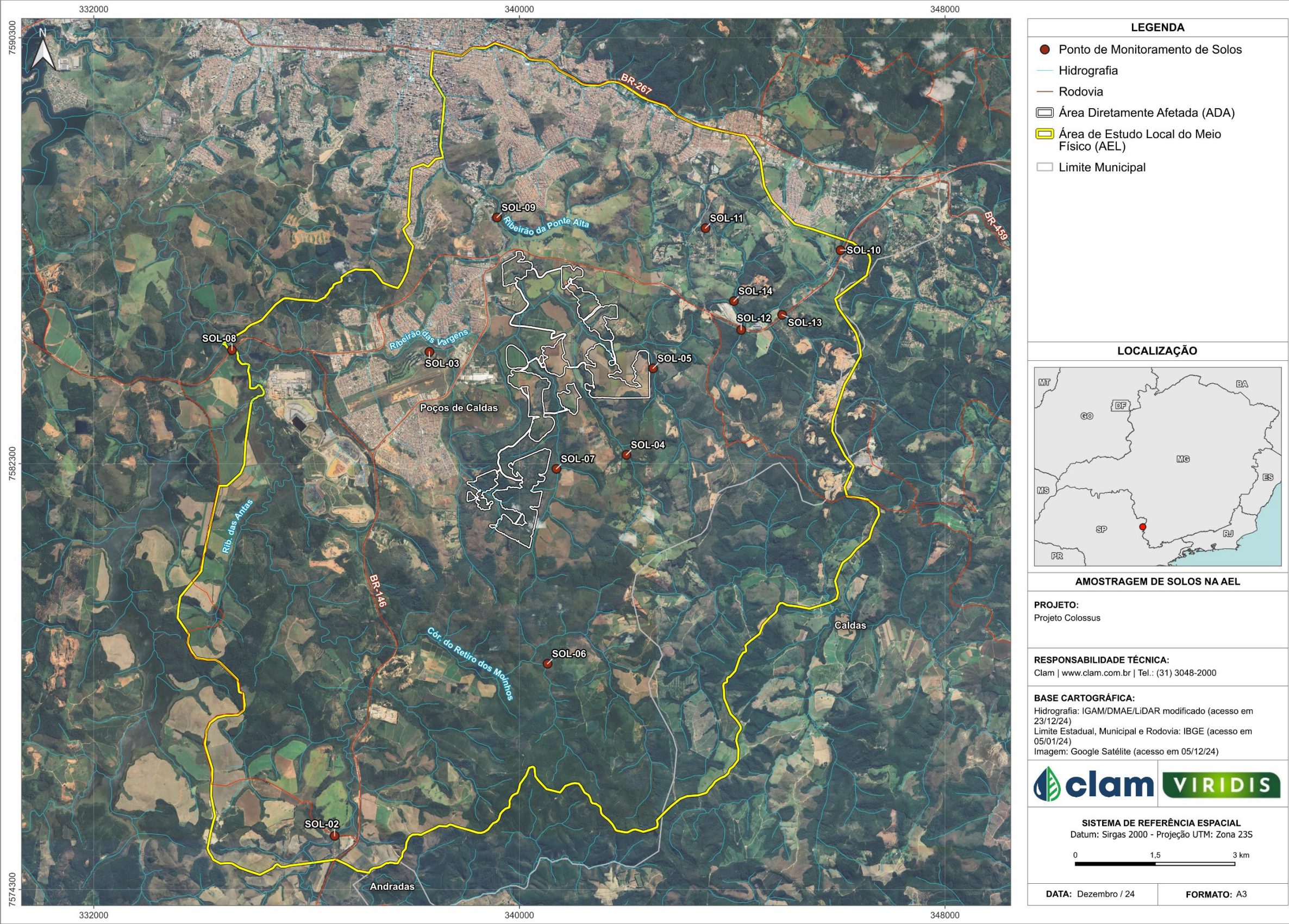
**Foto 198 Amostragem de Solos no Ponto SOL-13 -
Período de Chuva**



**Foto 199 Amostragem de Solos no Ponto SOL-14 -
Período de Seca**



**Foto 200 Amostragem de Solos no Ponto SOL-14 -
Período de Chuva**





6.1.11.3.1.2. Procedimentos Gerais

Para a avaliação das características físico-químicas dos solos no contexto da área de estudo local (AEL), os dados foram coletados pela equipe da CLAM. As amostragens para avaliação de solos foram realizadas por técnicos devidamente treinados pela equipe do laboratório CLAM, que possui Reconhecimento de Competências PRC nº 602.01; e as análises de bancada foram realizadas pelo laboratório SGS Geosol. O laboratório é acreditado pela norma ABNT NBR ISO/IEC 17.025/2017, conforme CRL nº 0386 (Laboratório SGS GEOSOL).

Os ensaios seguiram as seguintes recomendações para coleta, preservação, métodos analíticos das amostras, normas e recomendações:

- Referências Analíticas: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); e *Environmental Protection Agency*;
- Referência de Amostragem: *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras (Águas, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos), ANA (2011); IT.02.AMB.069 – técnicas de amostragem de solos, sedimentos e resíduos.

Durante os dias de amostragem dos solos a equipe de campo da CLAM, executou uma série de procedimentos adicionais à coleta de amostras, que compreende:

- Abertura de acesso aos pontos de medição definidos;
- Registro fotográfico das condições ambientais do local amostrado;
- Registro fotográfico do procedimento de medição em todos os pontos;
- Documentação de eventuais obstáculos que poderiam comprometer a segurança e integridade das equipes, equipamentos e veículos.

Para aumentar a eficiência do processo, a equipe CLAM utilizou um sistema eletrônico de anotação de dados de campo (*Smartquestion®*), com o uso de smartphones, onde foram inseridas todas as informações e dados relevantes durante os serviços realizados.

Para a avaliação da qualidade dos solos nos pontos amostrados foram utilizados os limites estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, alterada pela Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011, para Valores de Referência de Qualidade (VRQ) e Valores de Prevenção (VP). A legislação que dispõe sobre os 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 no Estado de Minas Gerais.

XXI - Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos.



XXII - Valor de Prevenção (VP): é a concentração de determinada substância no solo, acima da qual podem ocorrer alterações da qualidade do solo quanto às suas funções principais.

6.1.11.3.1.3. Análise dos Dados Físico-Químicos

Premissas

Para computar os gráficos de evolução e estatísticas, foi realizado um tratamento nos resultados que apresentaram a simbologia “<”, que indica, nesses casos, valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) segundo o método analítico utilizado. Como premissa, os resultados que apresentaram a simbologia indicada foram considerados de acordo com seus valores idênticos aos LQs.

Análise por Trechos

A fim de que sejam comparados e discutidos os parâmetros analisados para os pontos da rede de monitoramento, foram propostas, no escopo deste estudo, divisões por trecho para análise físico-química de caracterização dos solos.

Para tal, foram fragmentados trechos de interesse, onde considerou-se a proximidade dos pontos amostrados e as sub-bacias nas quais os pontos estão inseridos.

Portanto, foram definidos três (03) trechos de análise na AEL:

- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta;
- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens;
- Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas.

Análise por Parâmetros

Considerando os parâmetros mais sensíveis para a caracterização dos solos, tendo em vista os usos do solo na região e a presença de elementos abundantes nos litotipos locais, optou-se por uma interpretação e análise mais aprofundada para determinados parâmetros.

Considerando as avaliações realizadas preliminarmente, definiu-se:

- Caracterização pela presença de elementos-traço e eventuais contaminantes e seus respectivos parâmetros para avaliação e interpretação dos resultados: antimônio, alumínio, arsênio, bário, chumbo, cobalto, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, prata, vanádio, zinco;
- Caracterização do grau de nutrientes: nitrato;
- Caracterização de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos: antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno e indeno(1,2,3,cd)pireno.

6.1.11.3.2. Resultados e Discussões

Conforme delineado anteriormente, foi definida a separação dos pontos de amostragem por trechos para discussão e interpretação dos resultados, considerando os parâmetros representativos para caracterização das referidas análises.

No **Apêndice 11** podem ser vistas as evidências de campo; no **Apêndice 12**, podem ser encontrados todos os parâmetros analisados para as campanhas de monitoramento, compilados de forma tabular. Os Certificados de Ensaio contendo os resultados de todos os parâmetros analisados para as amostras de solos estão apresentados no **Anexo 10**.

6.1.11.3.2.1. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta foram definidos seis (06) pontos de análise dos solos: SOL-09, SOL-10, SOL-11, SOL-12, SOL-13 e SOL-14. A localização dos pontos na extensão dos cursos hídricos pode ser observada no diagrama unifilar da Figura 79.

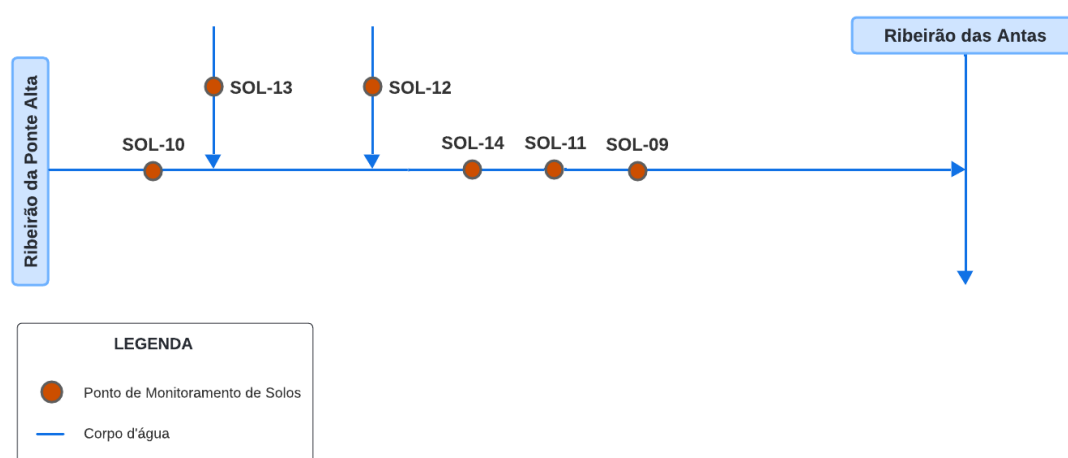


Figura 197 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para caracterização dos solos, sendo comparados aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH nº 02/2010, para solos, seguindo a referência de Prevenção e o Valor de Referência de Qualidade (VRQ).

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes nos solos: antimônio, alumínio, arsênio, bário, chumbo, cobalto, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, prata, vanádio, zinco

As concentrações de antimônio obtidas para o período de seca nos pontos SOL-09, SOL-10 e SOL-14 foram inferiores a ambos os limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ), enquanto para o período de chuva, os pontos SOL-09 e SOL-14 ultrapassaram o limite estabelecido para o VRQ (Valor de Referência de Qualidade do Solo). Nos pontos SOL-11, SOL-12 e SOL-13, os resultados referentes aos períodos de seca e chuva superaram o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), de 0,5 mg/Kg, porém foram inferiores ao limite de Prevenção, de 2,0 mg/Kg (Figura 198). O antimônio ocorre naturalmente em baixas concentrações no ambiente. Contudo, devido a atividades humanas, ele passa a se associar a pequenas partículas no ar, onde pode permanecer por longos períodos. A maior parte desse elemento acaba se acumulando no solo, onde se liga fortemente a partículas de ferro, manganês ou alumínio. A principal fonte de antimônio na poeira urbana fina provém

da abrasão de freios, pneus, superfícies de ruas e emissões de veículos. Esse metal também é transportado por rios e córregos, tanto por intemperismo natural do solo quanto por fontes antropogênicas (CETESB, 2020).

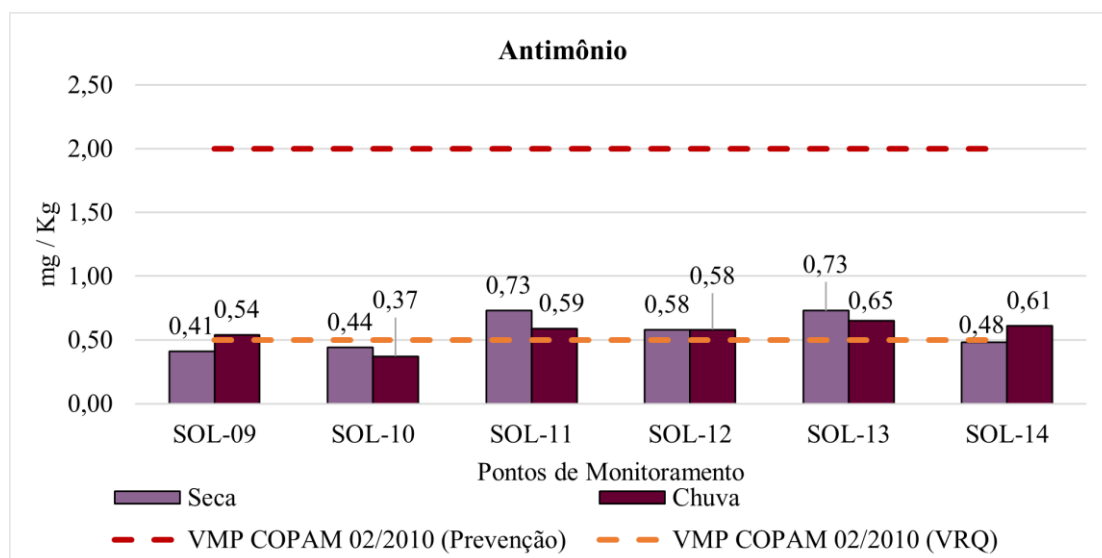


Figura 198 Resultados para o parâmetro Antimônio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para o período de seca, os resultados de alumínio na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta variaram entre 79660 mg/Kg, no ponto SOL-09, a 159975 mg/Kg, no ponto SOL-13, enquanto para o período chuvoso, os resultados variaram entre 70527 mg/Kg, no ponto SOL-09, e 158995 mg/Kg, no ponto SOL-13, como mostra o gráfico da Figura 199. A DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite para o alumínio, porém as concentrações obtidas condizem com os valores obtidos para o mesmo tipo de solo, qual seja latossolo vermelho amarelo, em município de São Paulo, onde foram encontrados resultados entre 82600 e 114250 mg/Kg (CETESB, 2001). Importante destacar ainda que as maiores concentrações foram obtidas no ponto SOL-13, que se insere próximo a área onde ocorre mineração de bauxita.

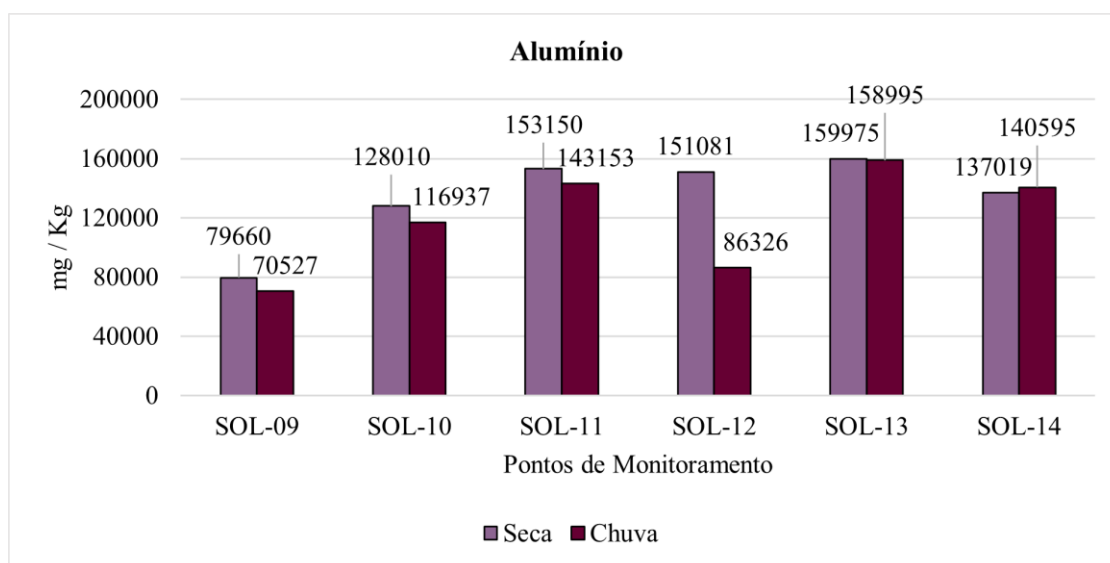


Figura 199 Resultados para o parâmetro Alumínio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta, os resultados de arsênio, tanto para o período de seca quanto para o período chuvoso, em todos os pontos estiveram abaixo do limite de 15 mg/Kg, estabelecido para Prevenção pela DN COPAM/CERH nº 02/2010. Com relação ao limite de 8 mg/Kg, estabelecido para VRQ, o ponto SOL-12 superou-o apenas no período chuvoso, já os pontos SOL-11 e SOL-13 foram superiores tanto no período de seca quanto no chuvoso, como pode ser visto no gráfico da Figura 200. Todas as amostragens foram realizadas em latossolo vermelho amarelo, com exceção dos pontos SOL-09 e SOL-11, que estão em área de neossolo. Os resultados foram condizentes com as concentrações encontradas para o mesmo tipo de solo em São Carlos (SP), uma vez que estas variaram entre 8,12 e 17,6 mg/Kg (CETESB, 2001).

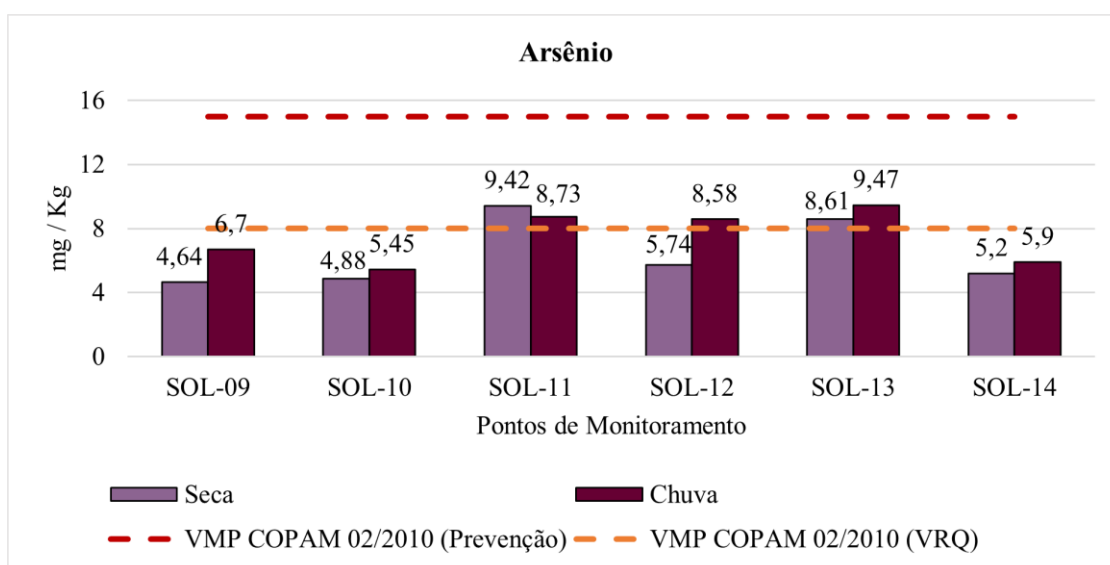


Figura 200 Resultados para o parâmetro Arsênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

As concentrações de bário obtidas nas amostragens de solos foram inferiores aos limites de 93 mg/Kg (VRQ) e 150 mg/Kg (Prevenção) na maioria dos pontos. A exceção foi o ponto SOL-09, onde os valores

encontrados para os períodos de seca e chuva, foram de 191 mg/Kg e 312 mg/Kg, respectivamente, e superaram ambos os limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ), como mostra o gráfico da Figura 201. O bário pode ocorrer naturalmente nos solos, porém pode estar presente em concentrações elevadas devido à presença de atividades humanas, como mineração e processamento de minerais sem controle adequados (Rosini *et al.*, 2024).

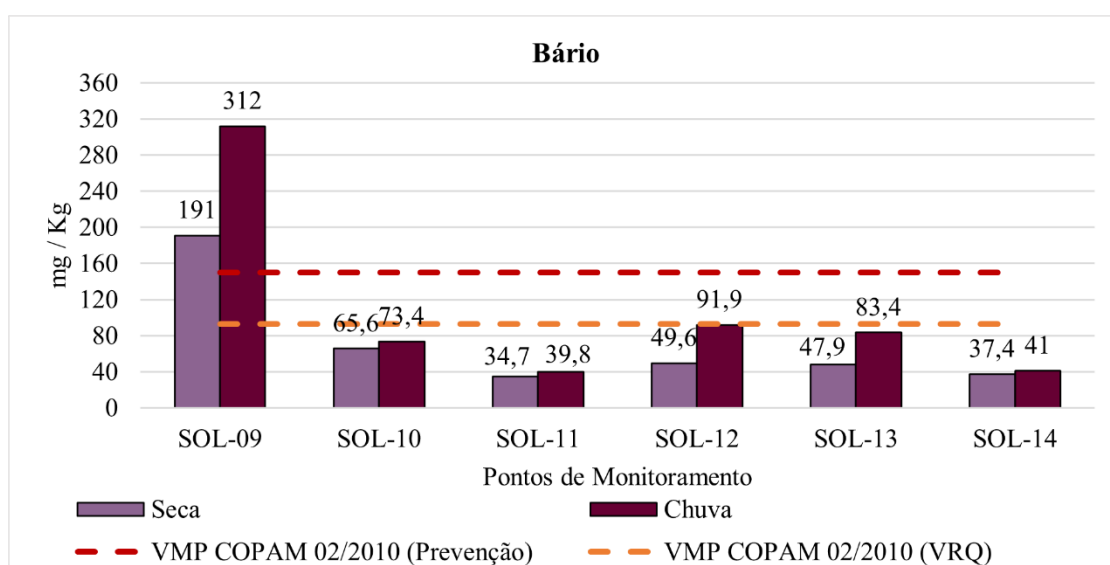


Figura 201 Resultados para o parâmetro Bário na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Nas amostragens realizadas, todos os resultados de chumbo excederam o VRQ, limite de 20 mg/Kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para o período de seca e de chuva, no entanto foram inferiores ao limite de 72 mg/Kg, para Prevenção, com exceção do ponto SOL-09, que no período chuvoso alcançou o valor de 92 mg/Kg, como mostra o gráfico da Figura 202. Os dados de chumbo obtidos para latossolo vermelho amarelo na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta foram superiores aos valores encontrados para o mesmo tipo de solo em São Carlos (SP), onde a concentração máxima foi de 12,5 mg/Kg (CETESB, 2001). A concentração natural de chumbo no solo varia entre 10 e 40 mg/Kg. Altos teores de chumbo são provenientes de contaminação antrópica, uma vez que algumas atividades antrópicas podem depositar grandes quantidades de chumbo no ambiente, como indústrias extrativas, de tintas e corantes, mas principalmente baterias, chumbeiras, sucatas automobilísticas, siderúrgicas e fertilizantes (Souza *et al.*, 2015). A região estudada possui muitas atividades agrícolas que podem ter uso de fertilizantes, o que pode contribuir com o aumento das concentrações de chumbo no solo.

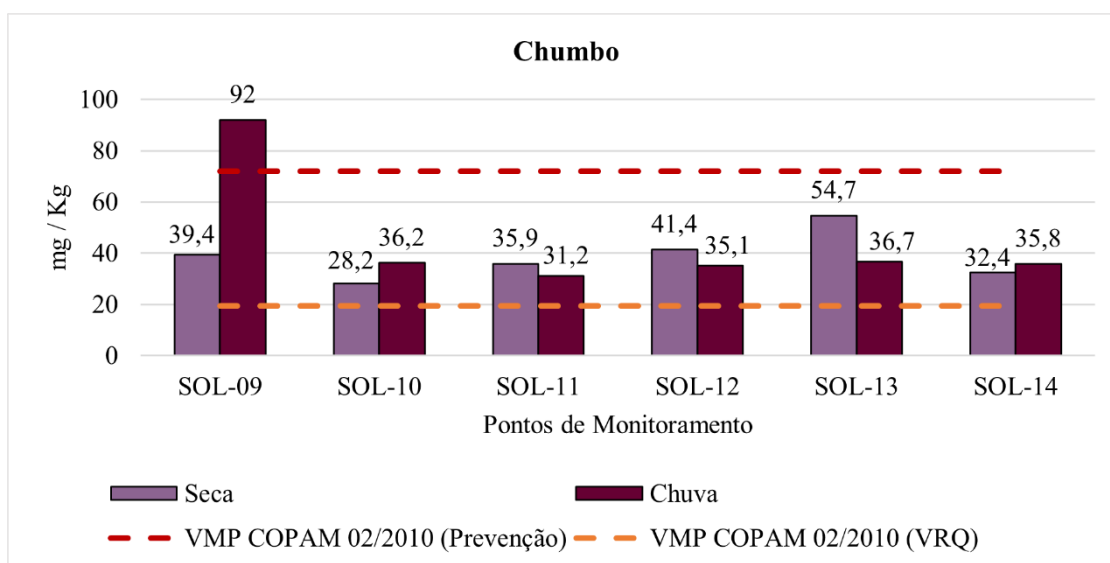


Figura 202 Resultados para o parâmetro Chumbo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para o parâmetro cobalto, durante o período de seca, as amostragens na sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta excederam a concentração de referência (VRQ), de 6 mg/Kg, apenas no ponto SOL-12. Entretanto, no período chuvoso as amostragens realizadas em todos os pontos retornaram valores menores que ambos os limites (VRQ e Prevenção), estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Figura 203).

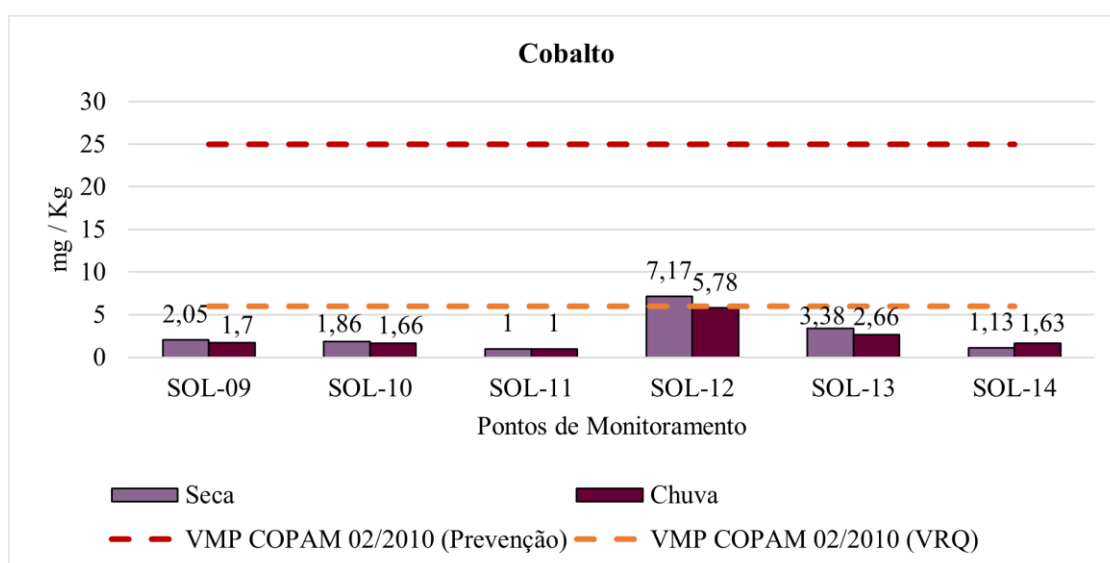


Figura 203 Resultados para o parâmetro Cobalto na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

As maiores concentrações de ferro foram encontradas no ponto SOL-11, com 93972 mg/Kg para o período de seca e 76834 mg/Kg para o período de chuva. Nos demais pontos os valores de ferro da sub-bacia do ribeirão da Ponte Alta variaram de 33519 (SOL-09) a 45623 mg/Kg (SOL-13), para o período de seca, e entre 35617 mg/Kg (SOL-09) a 55101 mg/Kg (SOL-13), para o período chuvoso (Figura 204). A DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite para ferro em solos, no entanto os valores dos pontos (SOL-10, SOL-12, SOL-13 e SOL-14) foram condizentes aos dados obtidos para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP), uma vez que os dados do estudo estiveram

entre 51000 e 110500 mg/Kg (CETESB, 2001). Os pontos SOL-09 e SOL-11 são compostos por Neossolo.

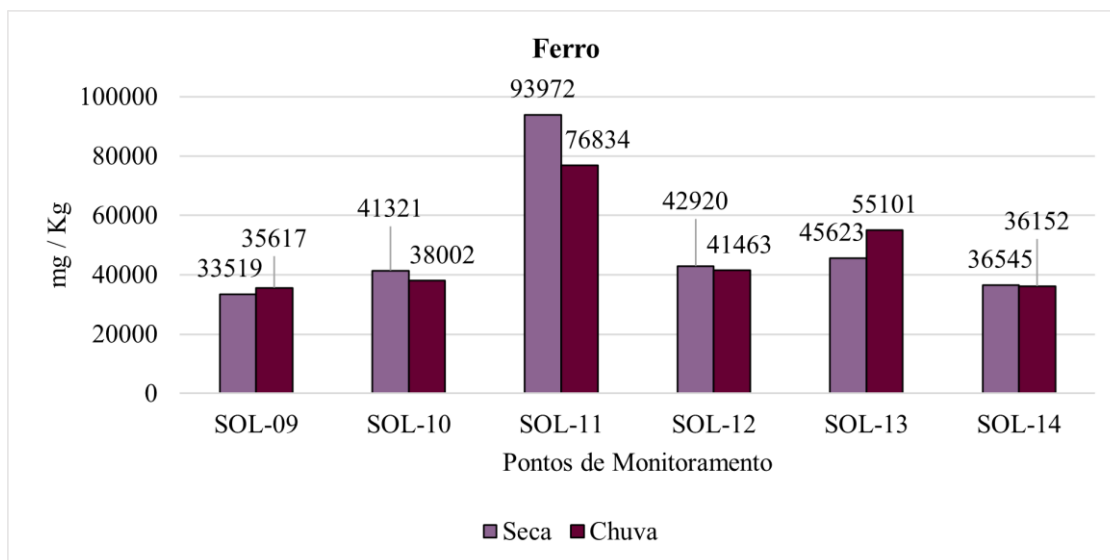


Figura 204 Resultados para o parâmetro Ferro na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para o parâmetro manganês, houve variação de 638 mg/Kg (SOL-14) a 3494 mg/Kg (SOL-13), para o período seco, e de 553 mg/Kg (SOL-11) a 2557 mg/Kg (SOL-09), no período chuvoso, como mostra o gráfico da Figura 205. Tais resultados foram superiores aos valores obtidos para o mesmo tipo de solo (latossolo vermelho amarelo), no estado de São Paulo, onde foram encontradas concentrações máximas de 280 mg/Kg. Apesar disso, a DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite máximo de manganês para solos.

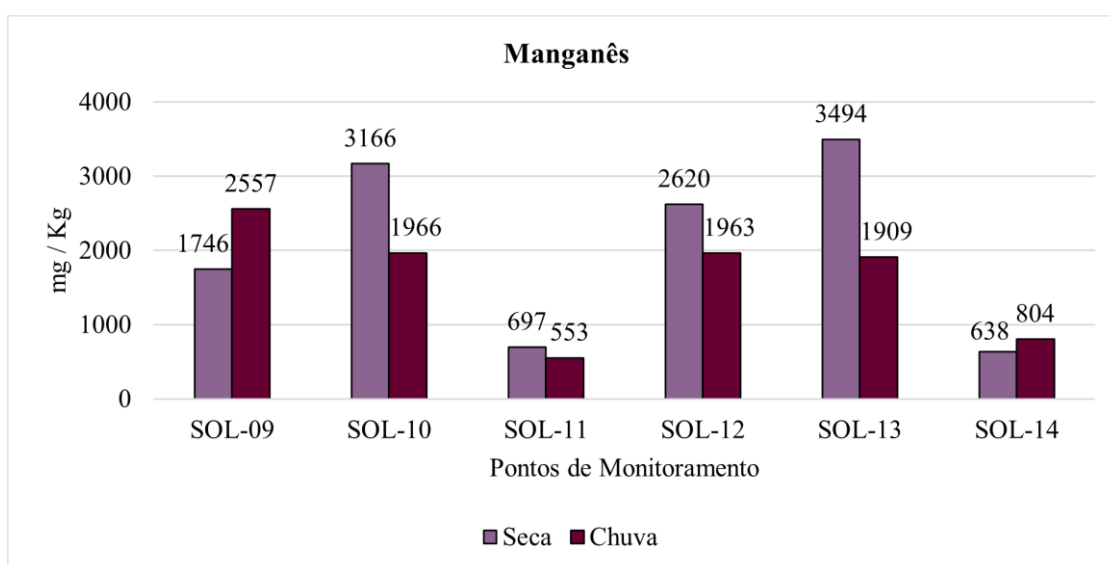


Figura 205 Resultados para o parâmetro Manganês na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para o período de seca as concentrações de mercúrio nos pontos SOL-09, SOL-12, SOL-13 e SOL-14 foram menores que o Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de $<0,05$ mg/Kg; e nos pontos SOL-10 e SOL-11 os resultados foram de 0,05 mg/Kg. Enquanto para o período chuvoso, os valores foram superiores ao limite de VRQ (0,05 mg/Kg) nos pontos SOL-09, SOL-10, SOL-11 e SOL-14, já os pontos SOL-12 e SOL-13 se mantiveram inferiores ao LQ. Uma vez que o VRQ é igual ao LQ, é possível inferir que os resultados estão de acordo com ambos os limites permitidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ), como mostra o gráfico da Figura 206. No estudo realizado para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP), mesmo solo encontrado nas áreas avaliadas (exceto SOL-09 e SOL-11, compostos de neossolo), as concentrações variaram entre 0,03 e 0,06 mg/Kg (CETESB, 2001), estando condizentes aos dados da presente amostragem.

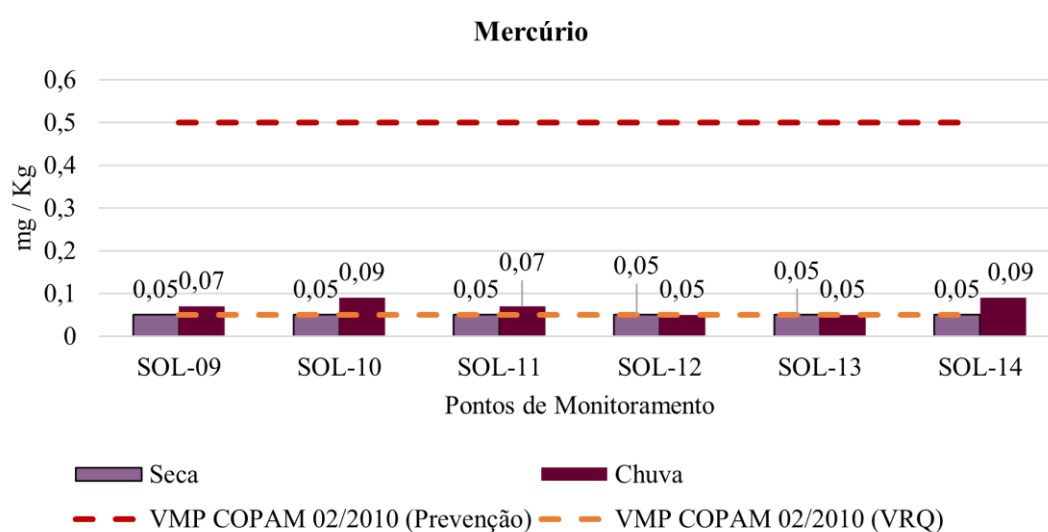


Figura 206 Resultados para o parâmetro Mercúrio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

O gráfico da Figura 207 mostra que os resultados de molibdênio em todos os pontos excederam o valor de referência, de $<0,9$ mg/Kg, que condiz aos valores de ocorrência natural no solo, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010, porém foram menores que o limite de 30 mg/Kg, para Prevenção, em todas as amostragens. Importante ressaltar que, na região central do Planalto de Poços de Caldas a presença de molibdênio pode estar associada à presença de minerais de urânio, que também podem se associar a pirita, fluorita e minerais de tório na Jazida do Agostinho (FRAENKEL & RAMOS, 1974).

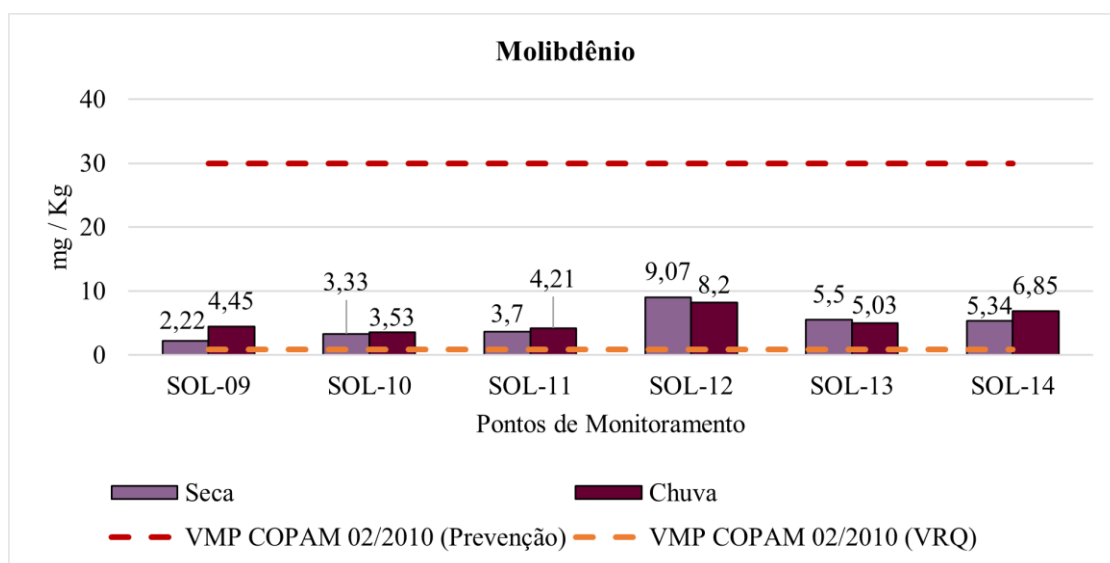


Figura 207 Resultados para o parâmetro Molibdênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para o parâmetro prata, a maioria dos resultados foi inferior ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 0,50 mg/Kg, sendo ligeiramente superior ao VRQ (<0,45 mg/Kg) da DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Figura 208), com exceção do valor obtido no ponto SOL-14 para o período chuvoso. Todos os valores estiveram muito próximos, no entanto foram inferiores ao limite para Prevenção, acima do qual o solo pode sofrer alterações nas suas principais funções.

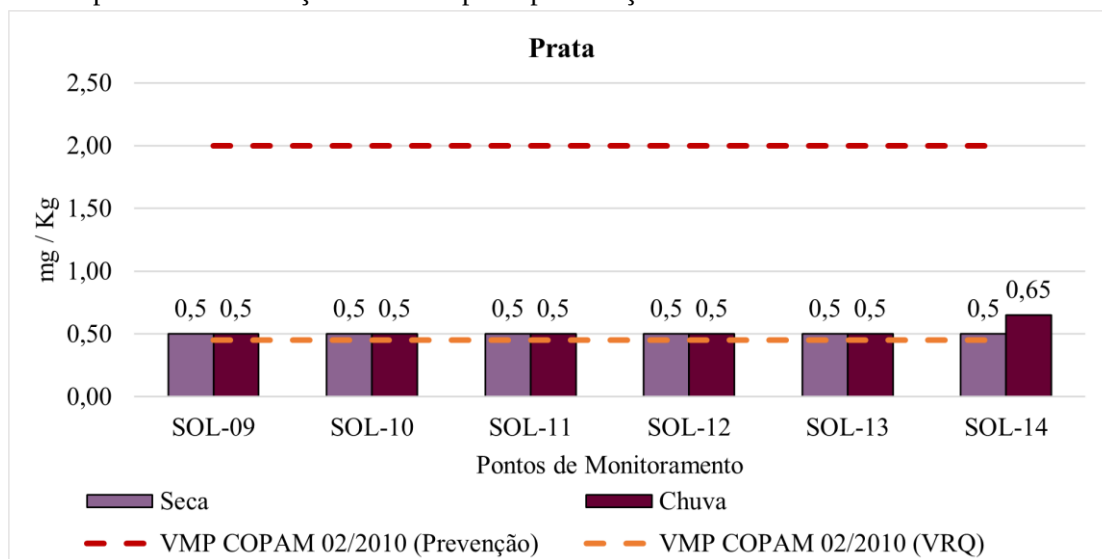


Figura 208 Resultados para o parâmetro Prata na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

As concentrações de vanádio superaram o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), de 129 mg/Kg, apenas no ponto SOL-11 (155 mg/Kg na seca e 134 mg/Kg na chuva). Os demais pontos apresentaram valores entre 61,4 e 117 mg/Kg, para o período de seca, e entre 68 mg/Kg e 118 mg/Kg, para o período de chuva, inferiores ao limite permitido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (VRQ), como mostra o gráfico da Figura 209. O vanádio pode ser encontrado no solo em concentrações naturais que variam entre 3 e 310 mg/Kg, com concentração média de 100 mg/Kg (CETESB, 2022), estando condizente aos dados obtidos nas amostragens realizadas.

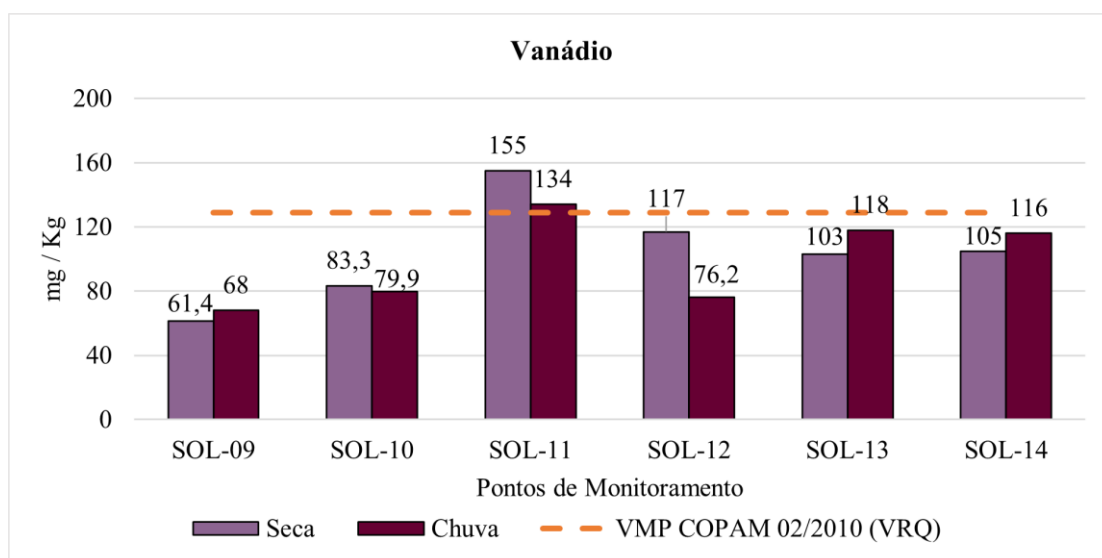


Figura 209 Resultados para o parâmetro Vanádio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Para o parâmetro zinco, nenhuma concentração superou o limite de 300 mg/kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção), porém todas excederam o limite de 46,5 mg/Kg (VRQ), conforme Figura 210. Comparando aos dados obtidos para latossolo vermelho amarelo, os valores de campo foram superiores, uma vez que a concentração máxima de zinco em São Carlos (SP) foi de 27,8 mg/Kg (CETESB, 2001).

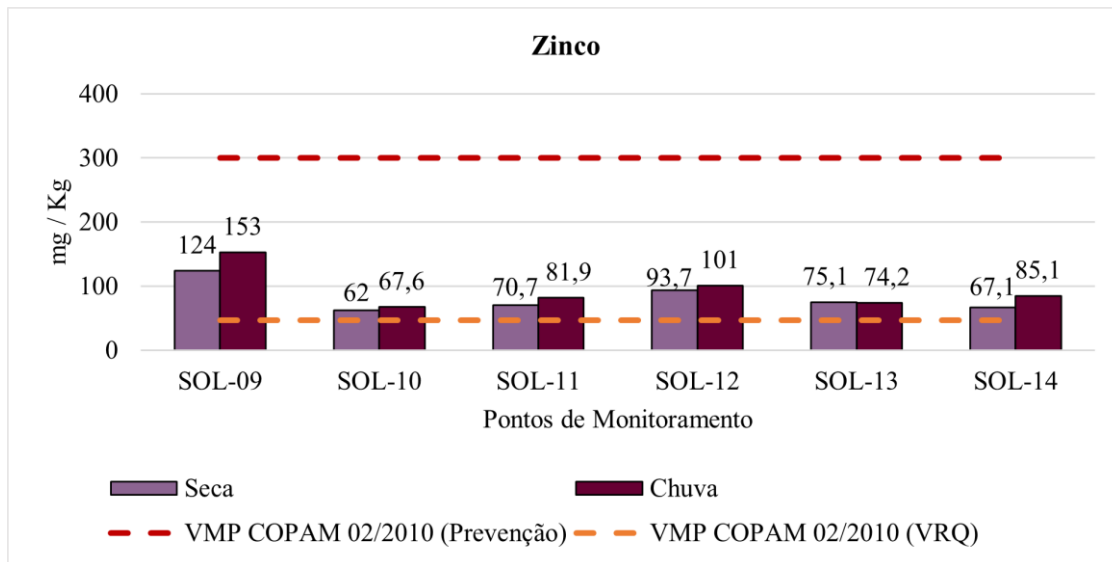


Figura 210 Resultados para o parâmetro Zinco na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Caracterização do grau de nutrientes: nitrato

As concentrações do parâmetro nitrato variaram entre 1 e 28 mg/L, para o período seco, e entre 1 e 36 mg/L, para o período chuvoso, sendo os maiores valores encontrados no ponto SOL-10, mais a montante da sub-bacia (Figura 211). Entretanto, os valores do SOL-09 (seca), SOL-11 (seca e chuva) e SOL-12 (chuva) foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) de 1 mg/L. A presença de nitrato em solos

pode advir de rochas naturais, de atividades industriais de produção e do uso de fertilizantes (principalmente nitrato de amônio e de potássio em fertilizantes inorgânicos), aplicados em quantidade superior à capacidade de assimilação das culturas agrícolas (CETESB, 2022a).

Importante destacar que a DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não possui limites de nitrato em amostras de solos.

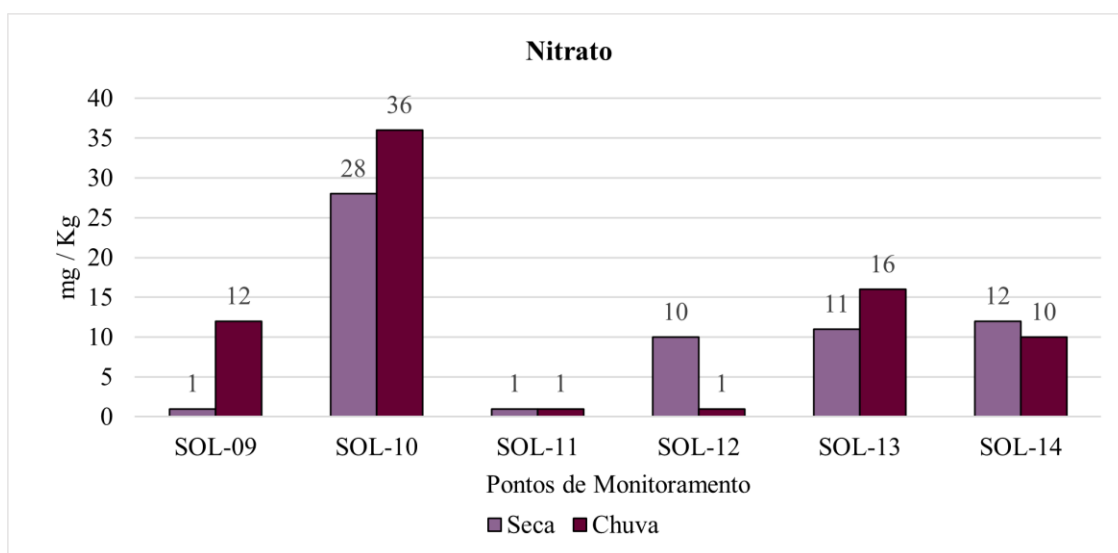


Figura 211 Resultados para o parâmetro Nitrato na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

Caracterização de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos: antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno e indeno(1,2,3,cd)pireno

Os resultados do monitoramento dos parâmetros do grupo de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos na sub-bacia do ribeirão Ponte Alta mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção), em todas as amostragens, em todos os pontos. Além disso, a maioria dos valores foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) de 0,001 mg/Kg, para os 4 parâmetros analisados, com exceção apenas do ponto SOL-12, como pode ser observado nos gráficos ilustrados entre a Figura 212e a Figura 215. Importante destacar que a DN COPAM/CERH nº 02/2010 não define Valor de Referência de Qualidade para esses parâmetros no solo.

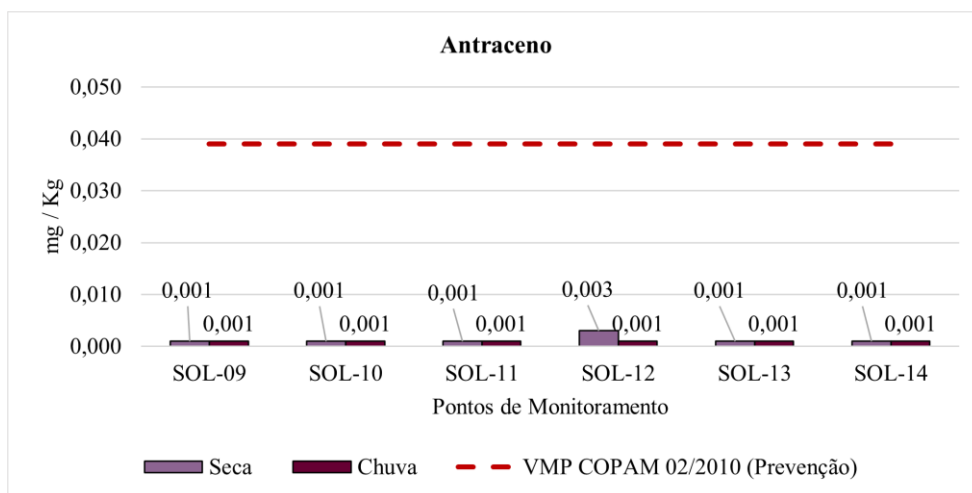


Figura 212 Resultados para o parâmetro Antraceno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

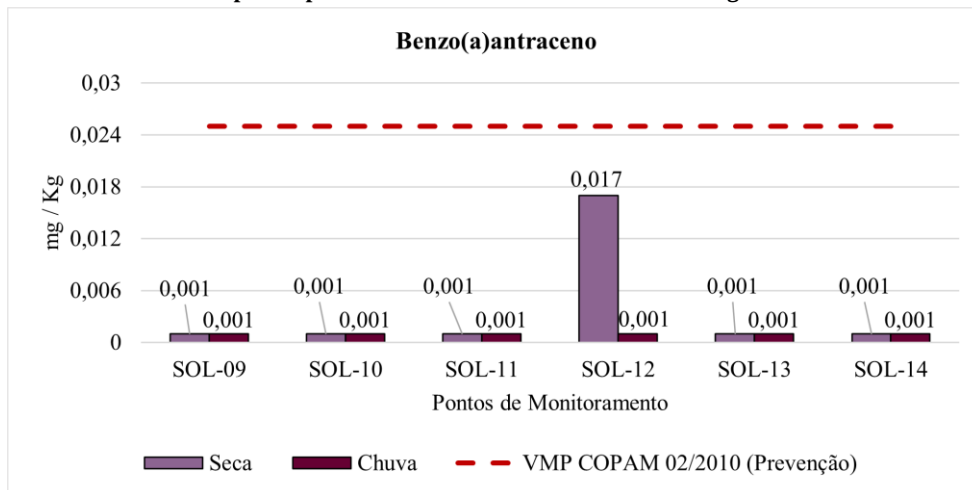


Figura 213 Resultados para o parâmetro Benzo(a)antraceno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

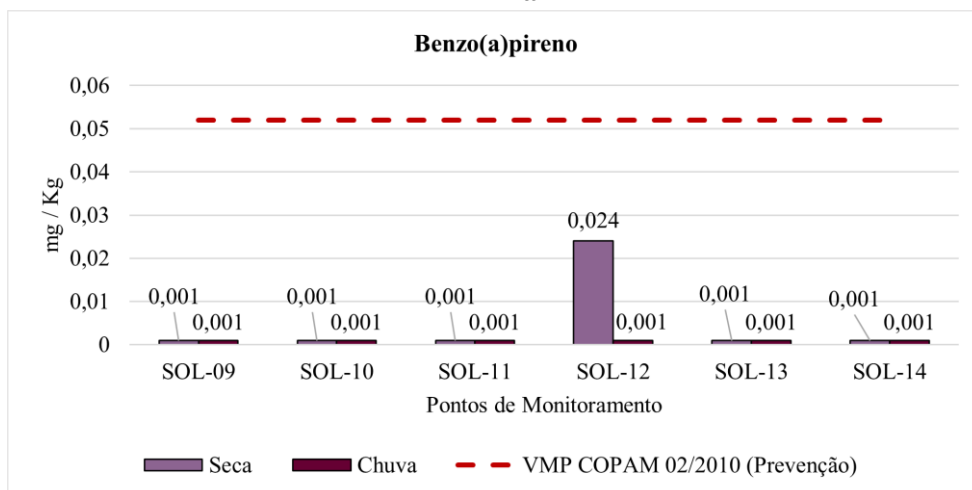


Figura 214 Resultados para o parâmetro Benzo(a)pireno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

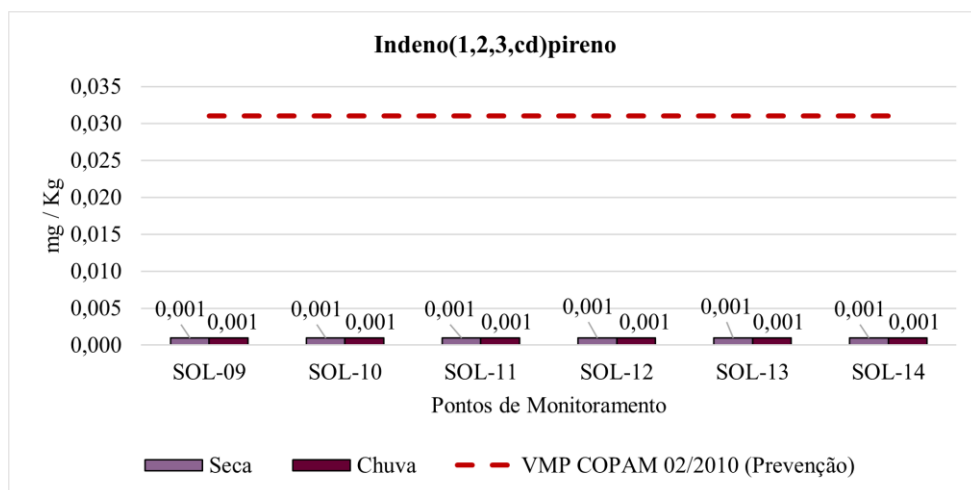


Figura 215 Resultados para o parâmetro Indeno(1,2,3,cd)pireno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Ponte Alta

6.1.11.3.2.2. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens foram definidos quatro (04) pontos de análise dos solos: SOL-03, SOL-04, SOL-05 e SOL-07. A localização dos pontos na extensão dos cursos hídricos pode ser observada no diagrama unifilar da Figura 104.

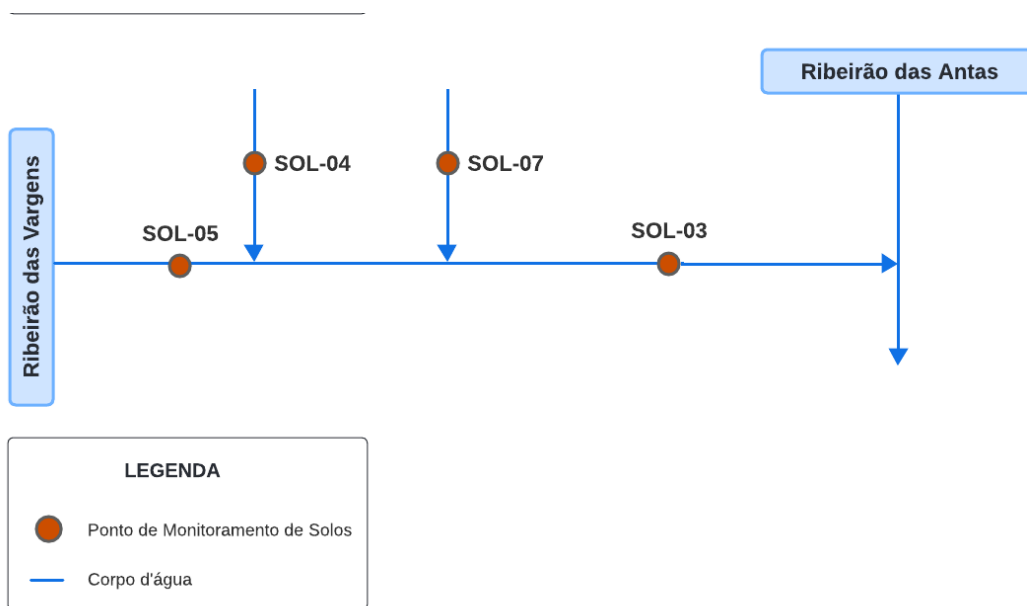


Figura 216 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para caracterização dos solos, sendo comparados aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH nº 02/2010, para solos, seguindo a referência de Prevenção e o Valor de Referência de Qualidade (VRQ).

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes nos solos: antimônio, alumínio, arsênio, bário, chumbo, cobalto, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, prata, vanádio, zinco

As concentrações de antimônio obtidas nos pontos SOL-04 e SOL-05 foram inferiores a ambos os limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ). O ponto SOL-07 superou apenas o limite de VRQ no período chuvoso. Já no ponto SOL-03, localizado mais a jusante da sub-bacia do ribeirão das Vargens, os resultados superaram o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), com concentração de 0,86 mg/Kg no período seco e 0,65 mg/Kg no período chuvoso, porém foram inferiores ao limite de Prevenção (Figura 217). Como a principal origem do antimônio vem da poeira fina urbana do desgaste de freios, pneus, superfícies das ruas e emissões de veículos, justifica-se as concentrações no ponto SOL-03, por se encontrar dentro da área urbana de Poços de Caldas/MG (CETESB, 2020), o que não se observa no ponto SOL-07.

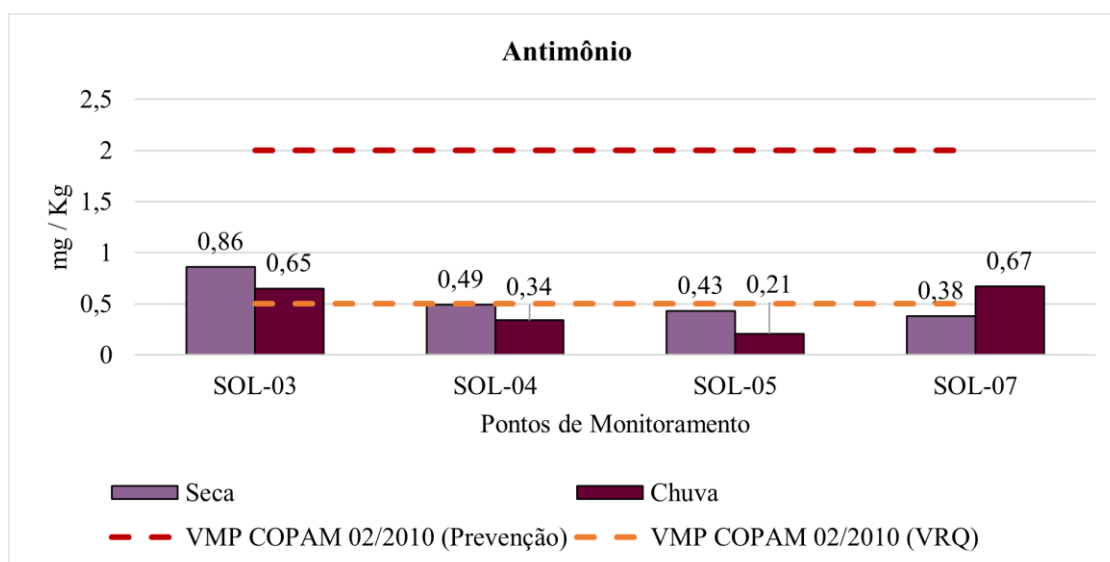


Figura 217 Resultados para o parâmetro Antimônio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para o parâmetro alumínio, os resultados na sub-bacia do ribeirão das Vargens variaram de 74822 mg/Kg (SOL-05) a 117775 mg/Kg (SOL-03), no período de seca, e de 78322 mg/Kg (SOL-05) a 142616 mg/Kg (SOL-03), no período de chuva, sendo as maiores concentrações obtidas no ponto mais a jusante da bacia (Figura 171). A DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite para o alumínio, porém as concentrações obtidas condizem com os valores obtidos para o mesmo tipo de solo, qual seja latossolo vermelho amarelo, em município de São Paulo, onde foram encontrados resultados entre 82600 e 114250 mg/Kg (CETESB, 2001).

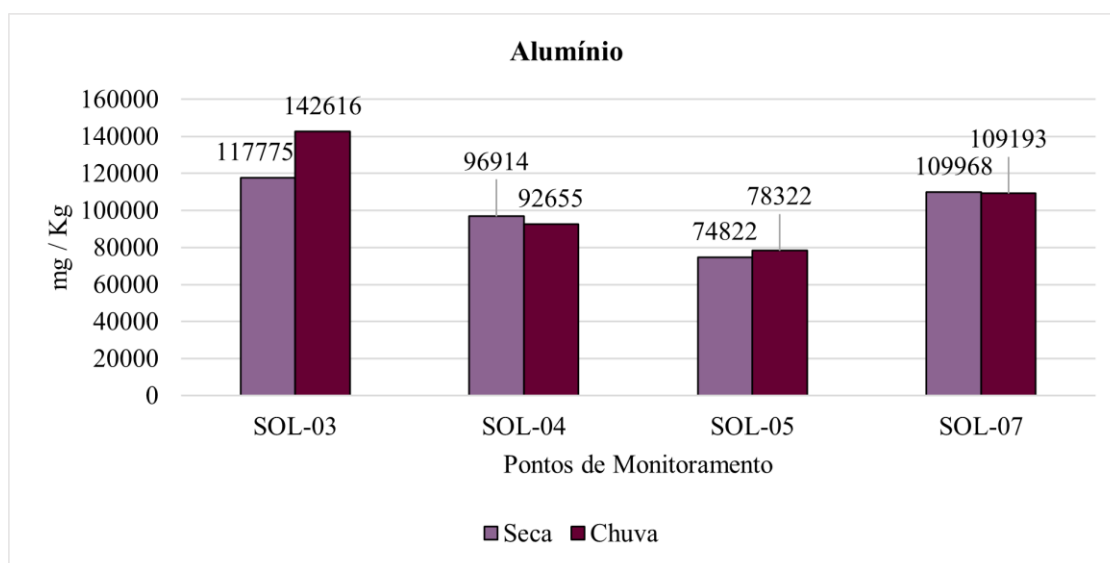


Figura 218 Resultados para o parâmetro Alumínio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Na sub-bacia do ribeirão das Vargens, os resultados de arsênio na maioria dos pontos foram inferiores ao limite de 8 mg/Kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (VRQ), com exceção do ponto SOL-07, para o período de chuvas, onde alcançou o valor de 8,39 mg/Kg. Todos os valores foram, consequentemente, menores também que o limite para Prevenção (15 mg/Kg), como pode ser visto no gráfico da Figura 219.

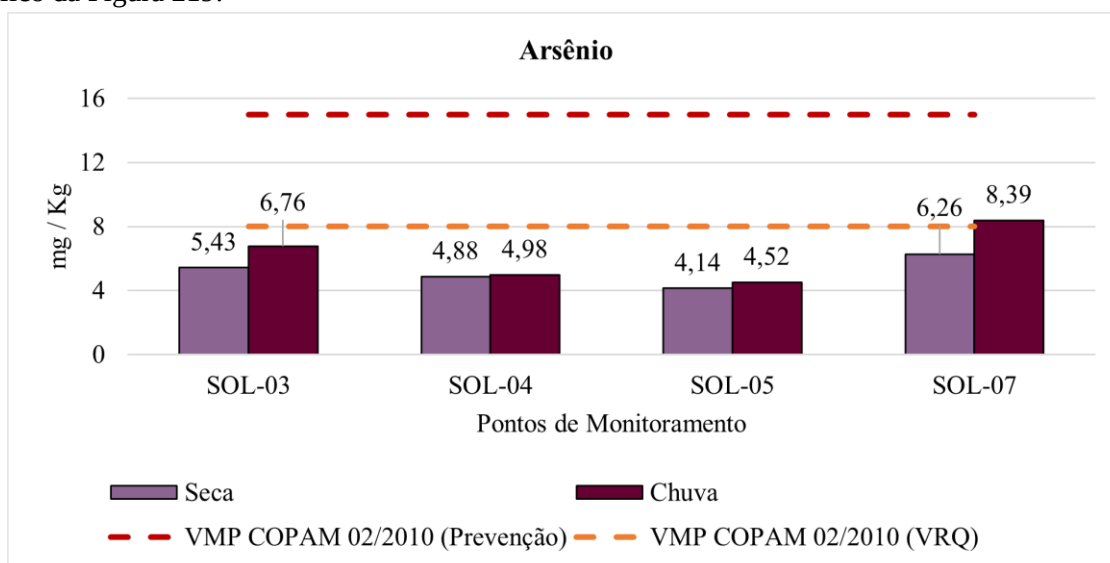


Figura 219 Resultados para o parâmetro Arsênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

As concentrações de bário obtidas nas amostragens de solos nos pontos SOL-04, SOL-05 e SOL-07 foram inferiores aos limites de 93 mg/Kg e 150 mg/Kg, estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para VRQ e Prevenção, respectivamente. O maior resultado encontrado foi no ponto SOL-03, para o período seco, com 104 mg/Kg (Figura 173), superando apenas o limite para VRQ. Todas as concentrações foram superiores às concentrações encontradas no estudo realizado para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP), onde os dados variaram de 5 a 12 mg/Kg (CETESB, 2001).

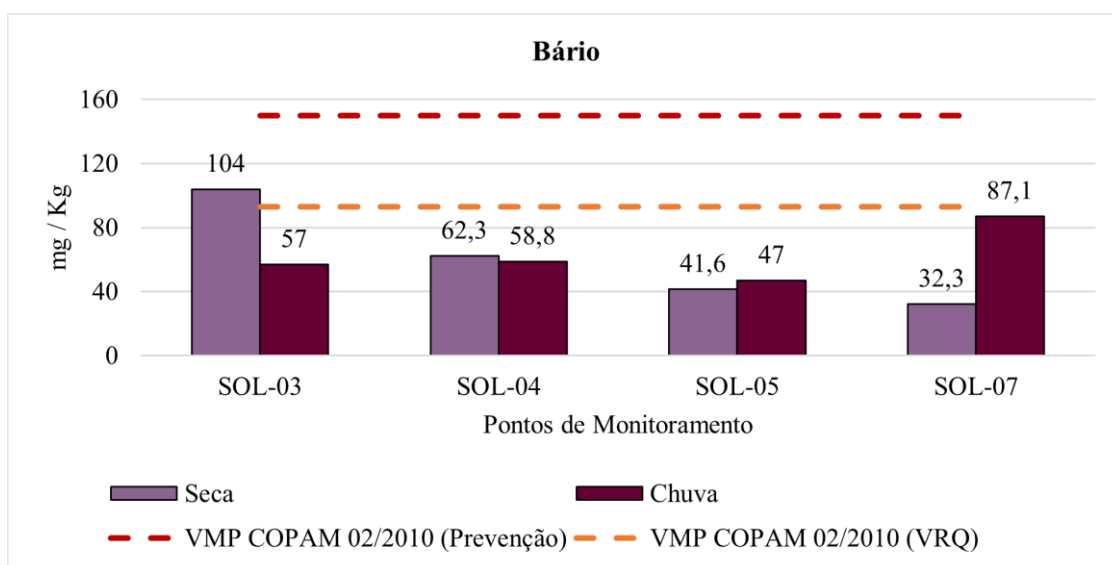


Figura 220 Resultados para o parâmetro Bário na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Nas amostragens realizadas, similar ao parâmetro bário, as maiores concentrações de chumbo foram identificadas para o ponto SOL-03, com 57,6 mg/Kg para o período de seca e 54 mg/Kg para o período de chuvas. Todos os resultados de chumbo excederam o limite de 20 mg/Kg estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para VRQ, no entanto foram inferiores ao limite de 72 mg/Kg, para Prevenção, como mostra o gráfico da Figura 172.

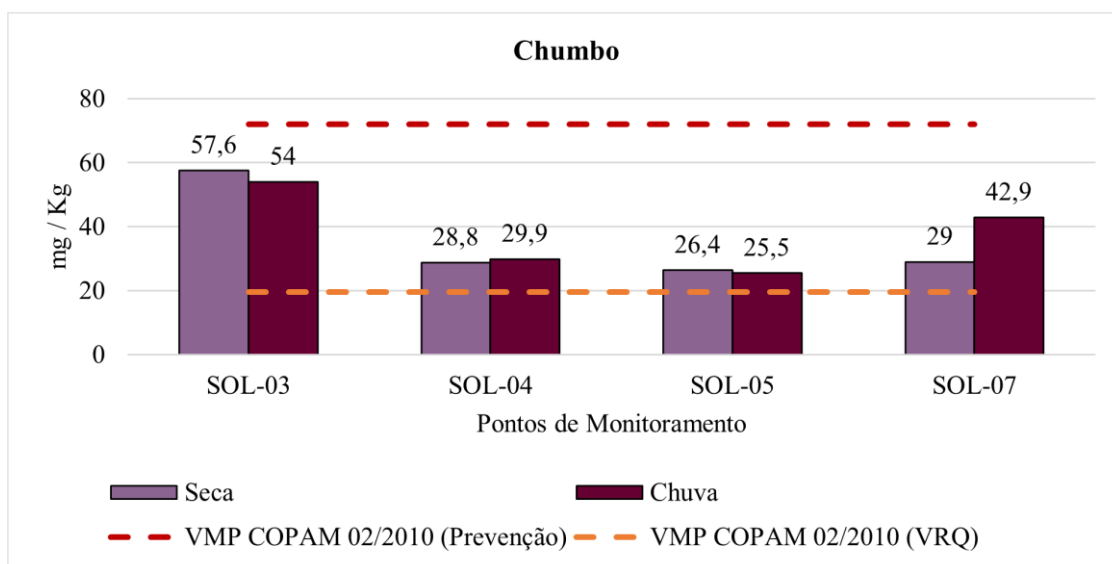


Figura 221 Resultados para o parâmetro Chumbo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para o parâmetro cobalto, as amostragens resultaram em dados entre 1,05 e 1,96 mg/Kg, para o período seco, e entre 1 e 2,09 mg/Kg, no período chuvoso, na sub-bacia do ribeirão das Vargens, sendo todos inferiores aos valores máximos estabelecidos para Prevenção e VRQ pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Figura 222).

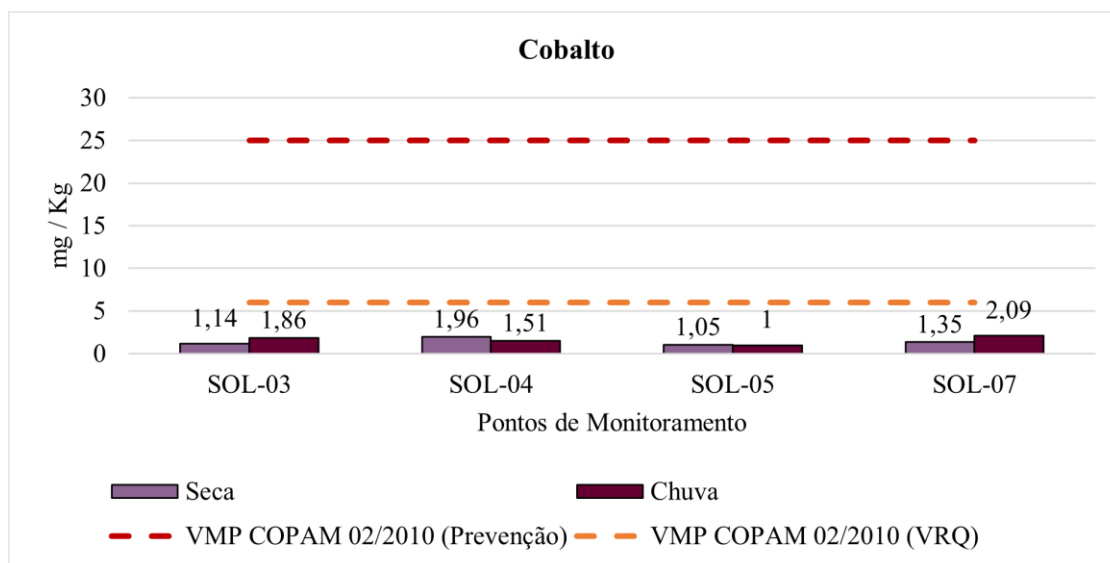


Figura 222 Resultados para o parâmetro Cobalto na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Os resultados obtidos para ferro variaram de 23954 a 42817 mg/Kg, no período seco, e de 24942 a 58434 mg/Kg no período chuvoso, nos locais pertencentes à sub-bacia do ribeirão das Vargens (Figura 174). A DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite para ferro em solos, no entanto os valores foram condizentes aos dados obtidos para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP), uma vez que os dados do estudo estiveram entre 51000 e 110500 mg/Kg (CETESB, 2001).

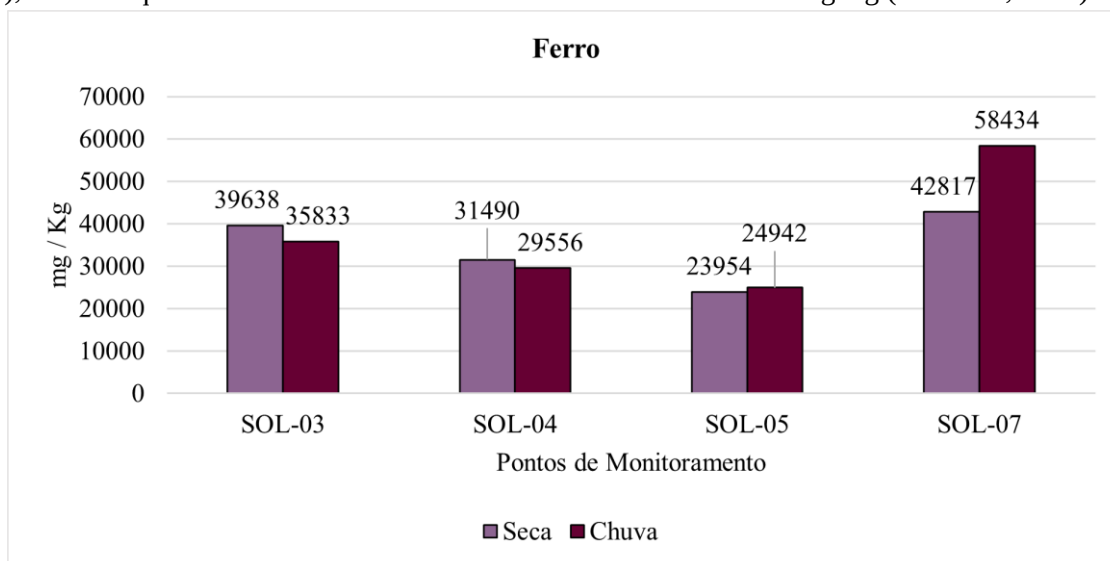


Figura 223 Resultados para o parâmetro Ferro na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para o parâmetro manganês, para o período seco a maior concentração foi identificada no ponto SOL-03, com 1466 mg/Kg, e para o período chuvoso o ponto SOL-07 obteve 1548 mg/Kg, como mostra o gráfico da Figura 175. Os resultados de todos os pontos foram superiores aos valores obtidos para o mesmo tipo de solo (latossolo vermelho amarelo), no estado de São Paulo, onde foram encontradas concentrações máximas de 280 mg/Kg (CETESB, 2001). Apesar disso, a DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite máximo para solos.

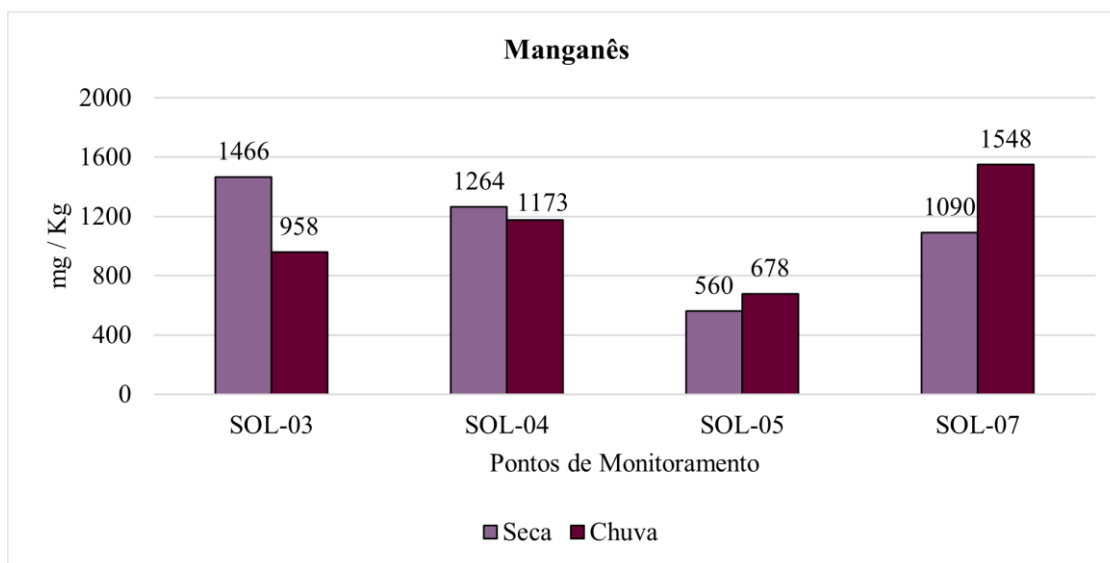


Figura 224 Resultados para o parâmetro Manganês na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

As concentrações de mercúrio em todos os pontos de amostragem de solos foram menores que o Limite de Quantificação (LQ) do laboratório (0,05 mg/Kg), com exceção dos resultados dos pontos SOL-04 e SOL-05, para o período chuvoso. Uma vez que o VRQ é igual ao LQ, conclui-se que no período de chuva, os resultados dos pontos SOL-04 e SOL 05 não estão de acordo com o limite permitido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (VRQ). Nenhum dos resultados ultrapassaram o limite de prevenção (0,5 mg/Kg), como mostra o gráfico da Figura 225.

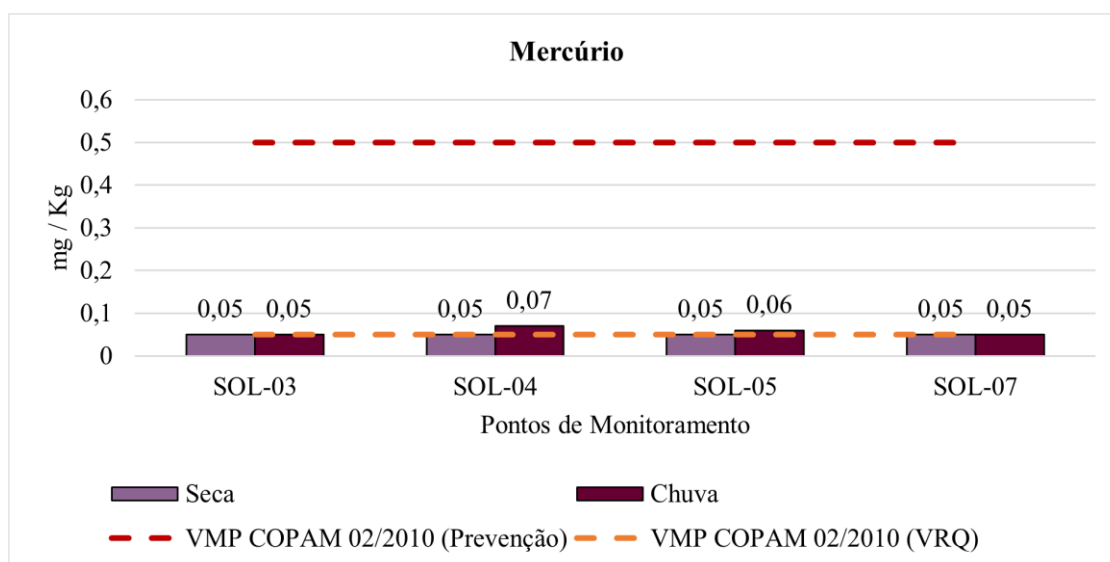


Figura 225 Resultados para o parâmetro Mercúrio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

O gráfico da Figura 226 mostra que as concentrações em todos os pontos excederam o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), de <0,9 mg/Kg, porém foram inferiores ao limite de Prevenção (DN COPAM/CERH nº 02/2010). Os resultados obtidos variaram de 1,95 a 5,86 mg/Kg, no período seco, e de 1,45 a 5,59 mg/Kg, no período chuvoso. Importante ressaltar que, na região central do Planalto de Poços de Caldas a presença de molibdênio pode estar associada à presença de minerais de urânio, que

também podem se associar a pirita, fluorita e minerais de tório na Jazida do Agostinho (FRAENKEL & RAMOS, 1974).

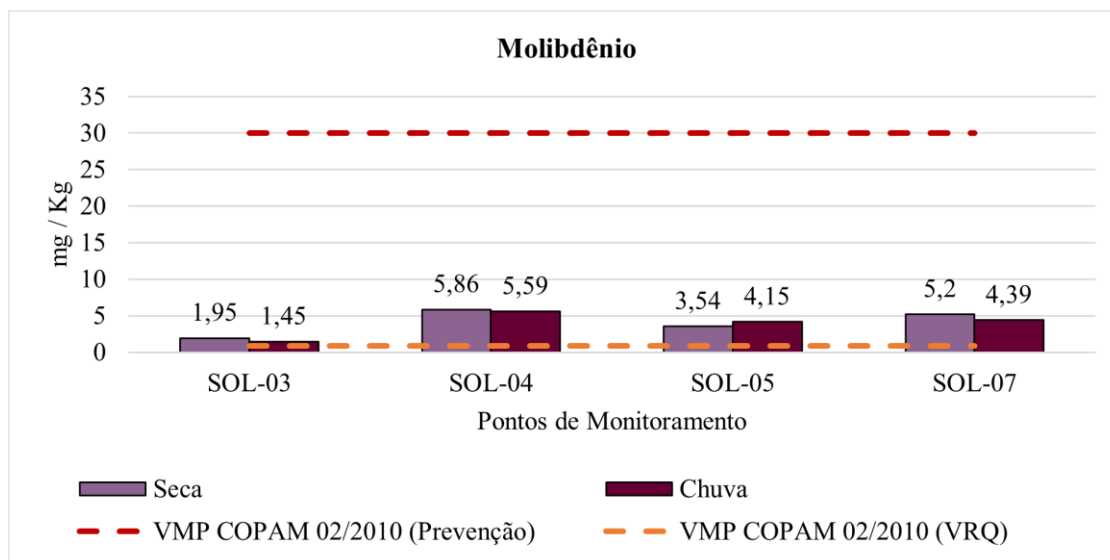


Figura 226 Resultados para o parâmetro Molibdênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para o parâmetro prata, todas as amostragens foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 0,5 mg/Kg, ligeiramente superior ao VRQ (<0,45 mg/Kg) da DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Figura 227). Dessa forma, todos os dados ultrapassaram o limite de 0,45 mg/Kg para VRQ e foram inferiores ao limite para Prevenção, acima do qual o solo pode sofrer alterações nas suas principais funções.

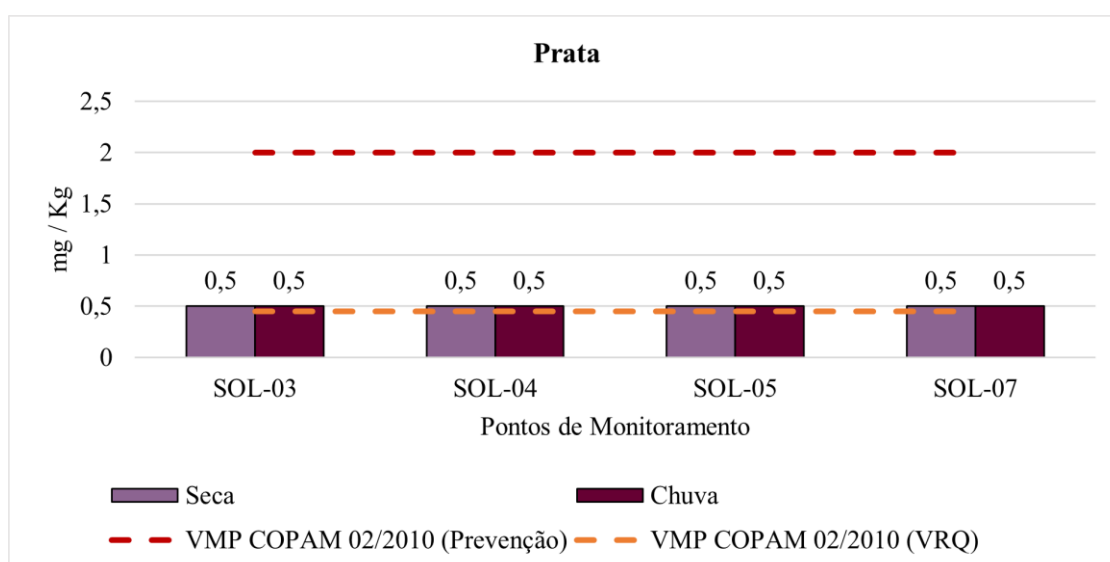


Figura 227 Resultados para o parâmetro Prata na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

As concentrações de vanádio variaram de 57,2 a 84,2 mg/Kg para o período seco e de 57,2 a 109 mg/Kg para o período chuvoso, sendo que nenhuma excedeu o limite de 129 mg/Kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para VRQ, como mostra o gráfico da Figura 228. Os resultados foram

inferiores os teores médios de vanádio de latossolos catarinenses (350,06 mg/Kg) (SUPPI, 2021).

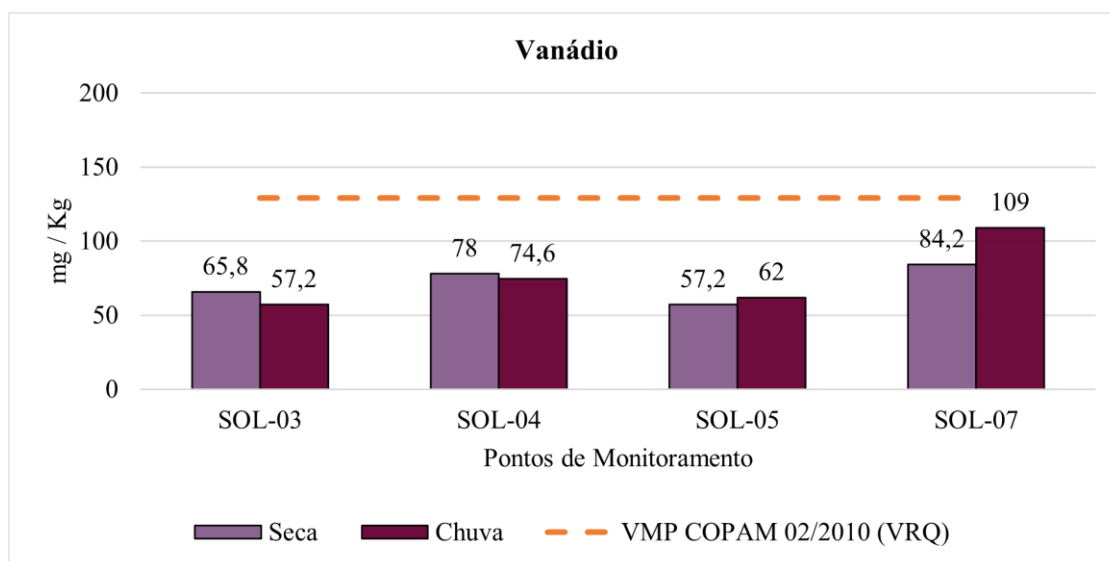


Figura 228 Resultados para o parâmetro Vanádio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Para o parâmetro zinco, nenhuma concentração obtida superou o limite de 300 mg/kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção), porém todas excederam o limite de 46,5 mg/Kg (VRQ), conforme Figura 177. Comparando aos dados obtidos para latossolo vermelho amarelo, os valores de campo foram superiores, uma vez que a concentração máxima de zinco em São Carlos (SP) foi de 27,8 mg/Kg (CETESB, 2001).

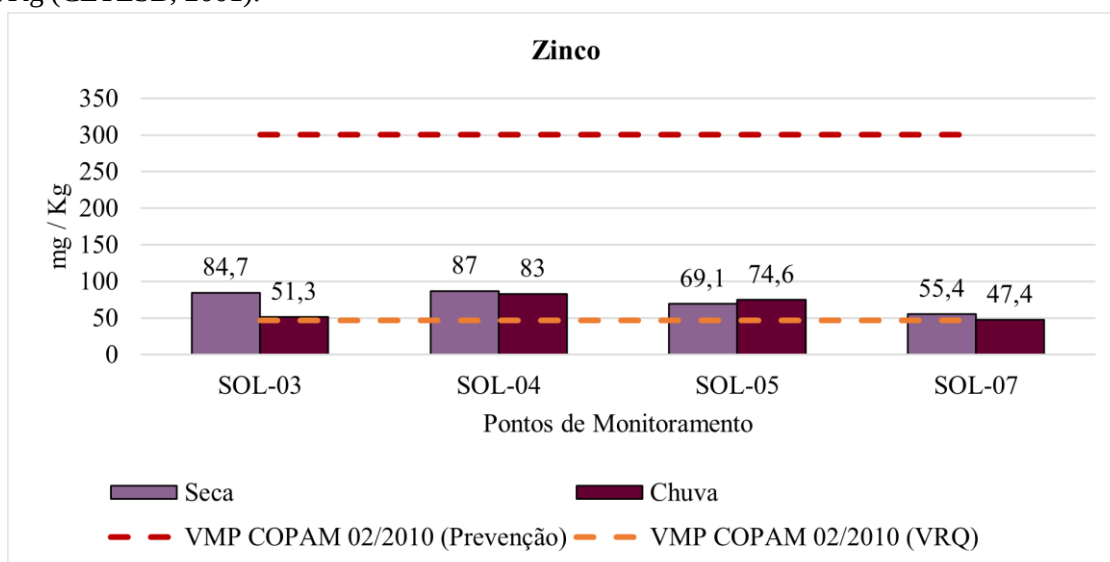


Figura 229 Resultados para o parâmetro Zinco na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Caracterização do grau de nutrientes: nitrato

As maiores concentrações de nitrato foram identificadas no ponto SOL-04 (23 mg/Kg no período chuvoso), inserido a montante da área do Projeto Colossus, e no ponto SOL-03 (19 mg/Kg no período seco e 22 mg/Kg no período chuvoso), localizado mais a jusante na sub-bacia. Para ambos os pontos é



possível que as fontes de nitrato se relacionem à adição de fertilizantes no solo, predominantes no entorno das áreas amostradas, principalmente no ponto SOL-04 onde o teor de nitrato aumentou consideravelmente no período de chuva. Os valores obtidos nos pontos SOL-04 e SOL-05, no período seco, e SOL-07, no período de chuva, foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) de 1 mg/L (Figura 230). Importante destacar que a DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não possui limites de nitrato em amostras de solos.

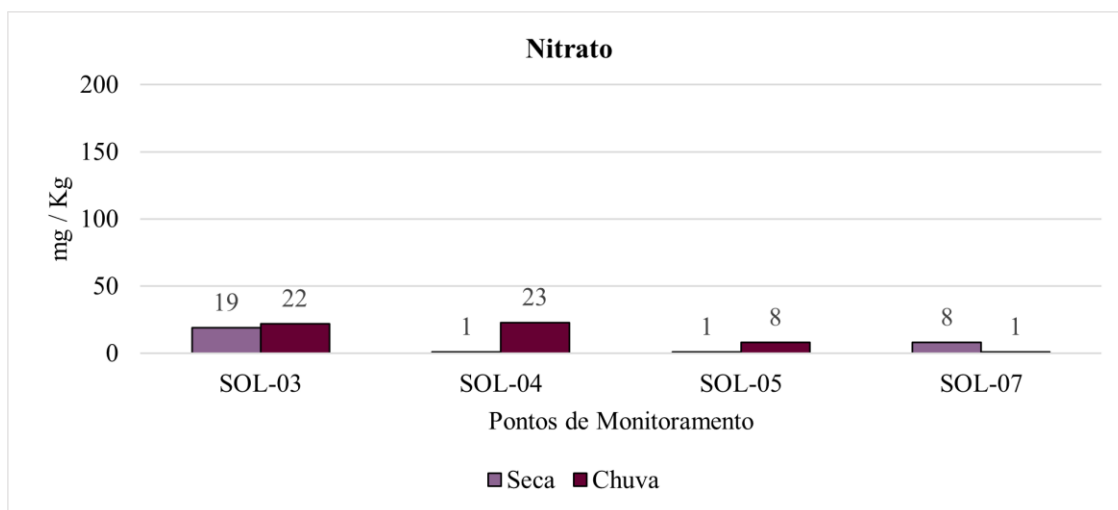


Figura 230 Resultados para o parâmetro Nitrato na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

Caracterização de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos: antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno e indeno(1,2,3,cd)pireno

Conforme apresentado nos gráficos ilustrados entre a Figura 231e a Figura 234 não houve nenhuma inconformidade nos resultados dos pontos situados na sub-bacia do ribeirão das Vargens, com os limites estabelecidos na DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção). Ademais, quase todos os resultados estiveram abaixo do Limite de Quantificação (LQ) em ambas as campanhas, com exceção apenas do SOL-03 que obteve concentração de 0,008 mg/Kg para benzo(a)antraceno. Importante destacar que a DN COPAM/CERH nº 02/2010 não define Valor de Referência de Qualidade para esses parâmetros no solo.

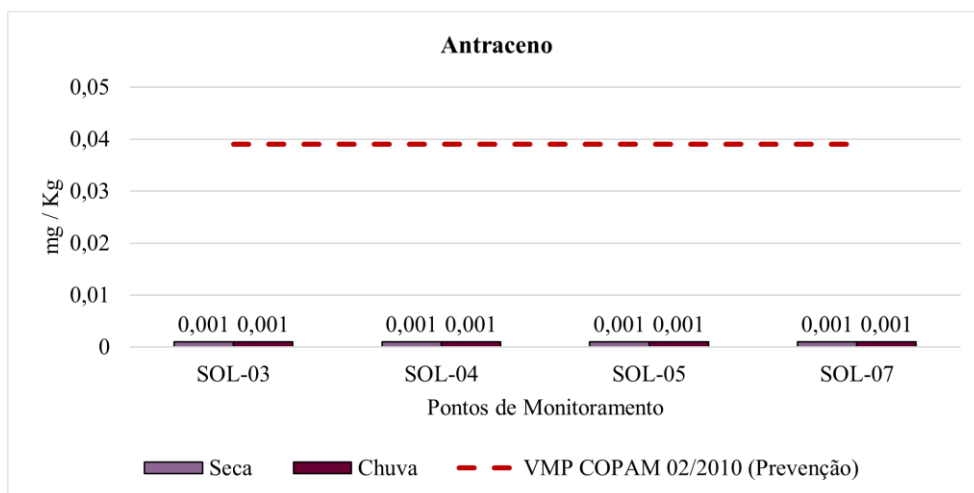


Figura 231 Resultados para o parâmetro Antraceno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

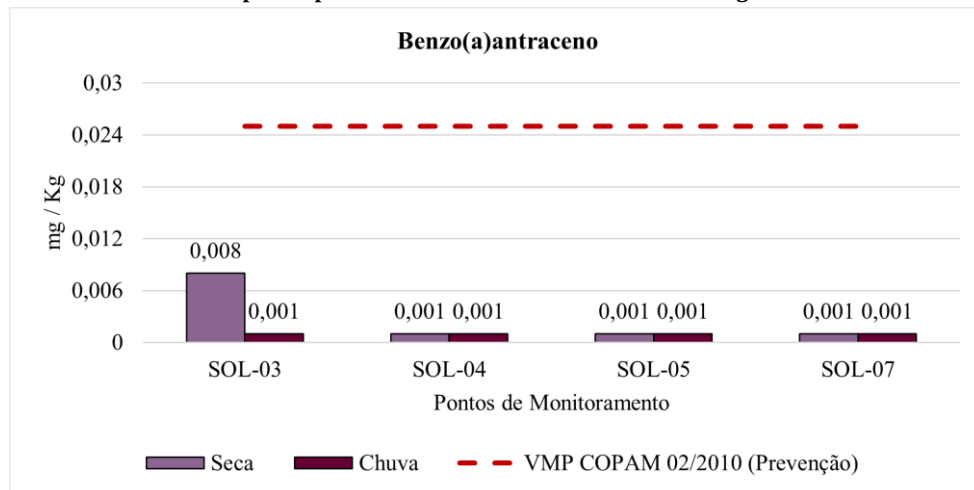


Figura 232 Resultados para o parâmetro Benzo(a)antraceno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

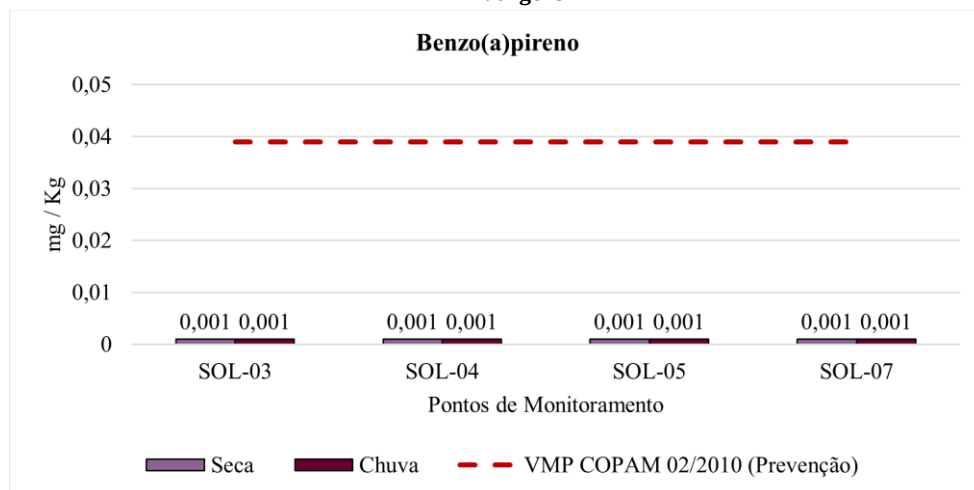


Figura 233 Resultados para o parâmetro Benzo(a)pireno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

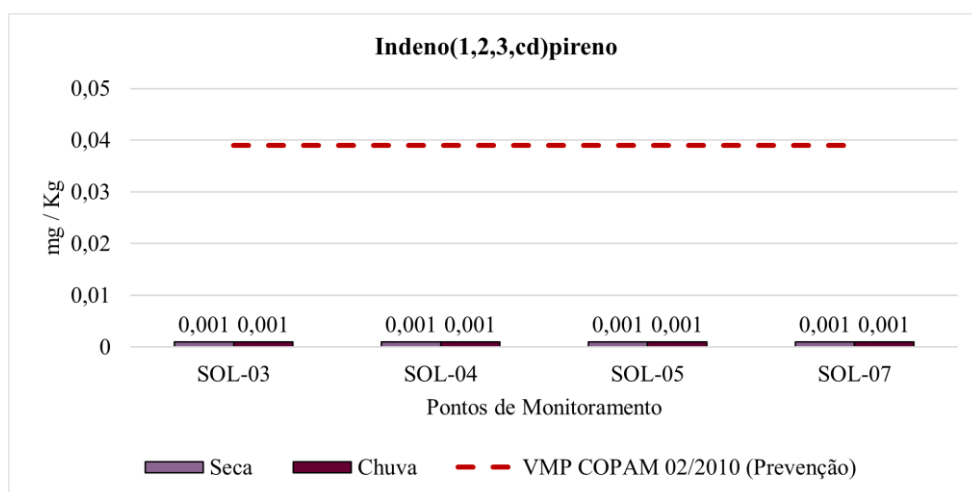


Figura 234 Resultados para o parâmetro Indeno(1,2,3,cd)pireno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Vargens

6.1.11.3.2.3. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas, especificamente na calha principal e afluente próximo, foram definidos três (03) pontos de análise dos solos: SOL-02, SOL-06 e SOL-08. A localização dos pontos na extensão dos cursos hídricos pode ser observada no diagrama unifilar da Figura 129.

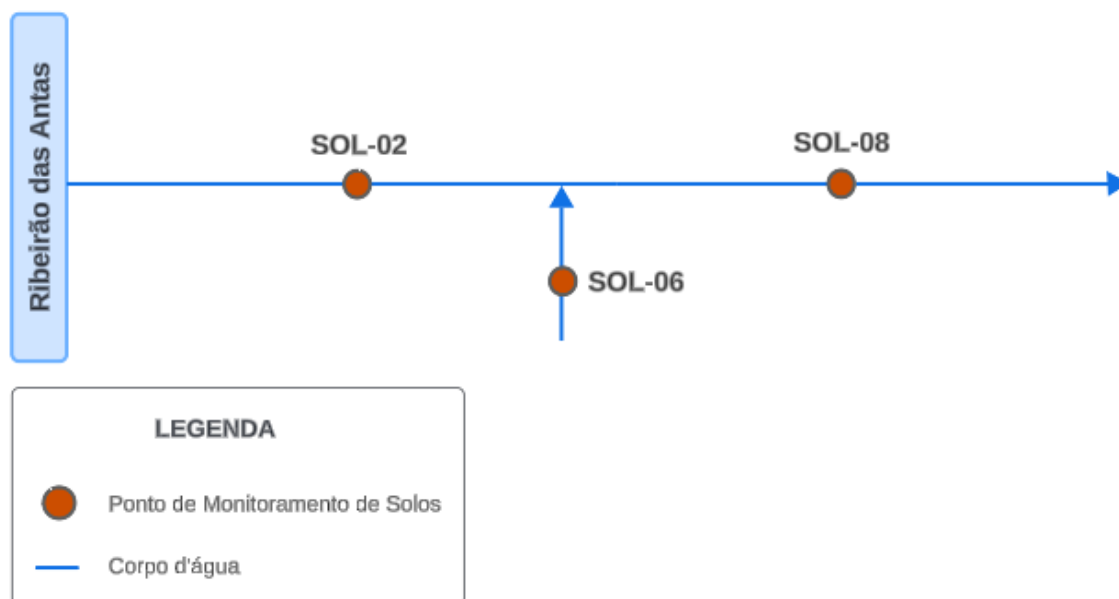


Figura 235 Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos para caracterização dos solos, sendo comparados aos limites estabelecidos na DN COPAM/CERH nº 02/2010, para solos, seguindo a referência de Prevenção e o Valor de Referência de Qualidade (VRQ).

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes nos solos: antimônio, alumínio, arsênio, bário, chumbo, cobalto, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, prata, vanádio, zinco

A concentração de antimônio obtida no ponto SOL-06 (seca e chuva) foi inferior a ambos os limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ). Nos pontos SOL-02 e SOL-08, os resultados superaram o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), de 0,5 mg/Kg, nos dois períodos de amostragem, porém foram inferiores ao limite de Prevenção (Figura 236). O antimônio, embora não ocorra em altas concentrações na natureza, está presente em mais de 200 minerais, classificados como primários e secundários. Os minerais primários geralmente são sulfetos, devido à maior afinidade do antimônio pelo enxofre em comparação ao oxigênio (Multani *et al.*, 2016). Depósitos minerais hidrotermais frequentemente apresentam grandes quantidades de antimônio, tornando a exploração dessas minas uma importante fonte de liberação deste mineral no meio ambiente (Vieira, 2008 *apud* SUPPI, 2021). No solo, a maior parte desse elemento se acumula, onde forma ligações estáveis com partículas de ferro, manganês ou alumínio.

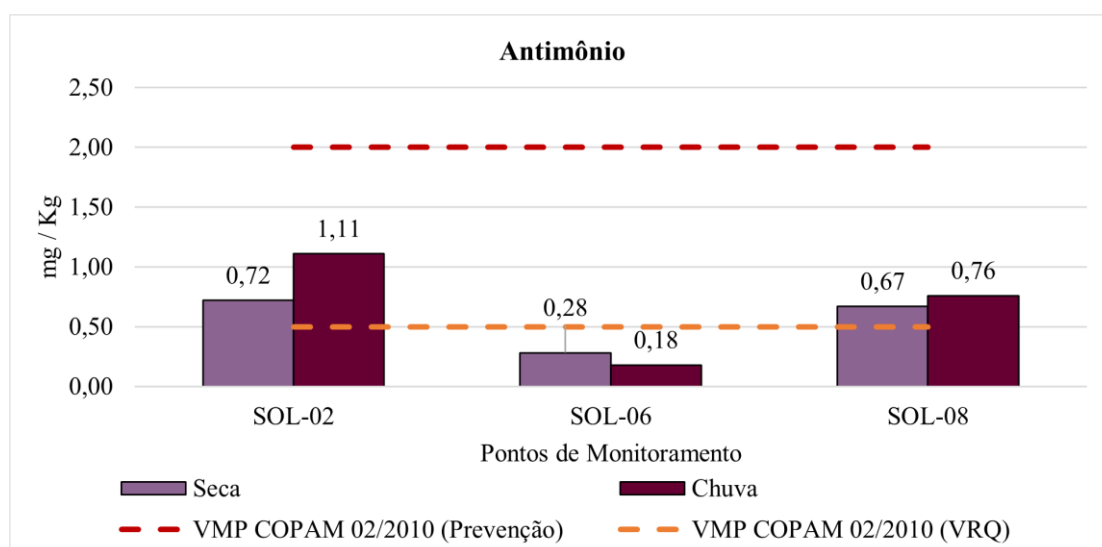


Figura 236 Resultados para o parâmetro Antimônio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para o parâmetro alumínio, os resultados na sub-bacia do ribeirão das Antas variaram de 86283 mg/Kg (SOL-08) a 100620 mg/Kg (SOL-06), no período seco, enquanto no período chuvoso variaram de 49853 mg/Kg (SOL-06) a 114719 mg/Kg (SOL-08), como mostra o gráfico da Figura 237. A DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite para o alumínio, porém as concentrações obtidas condizem com os valores obtidos para o mesmo tipo de solo, qual seja latossolo vermelho amarelo, em município de São Paulo, onde foram encontrados resultados entre 82600 e 114250 mg/Kg (CETESB, 2001).

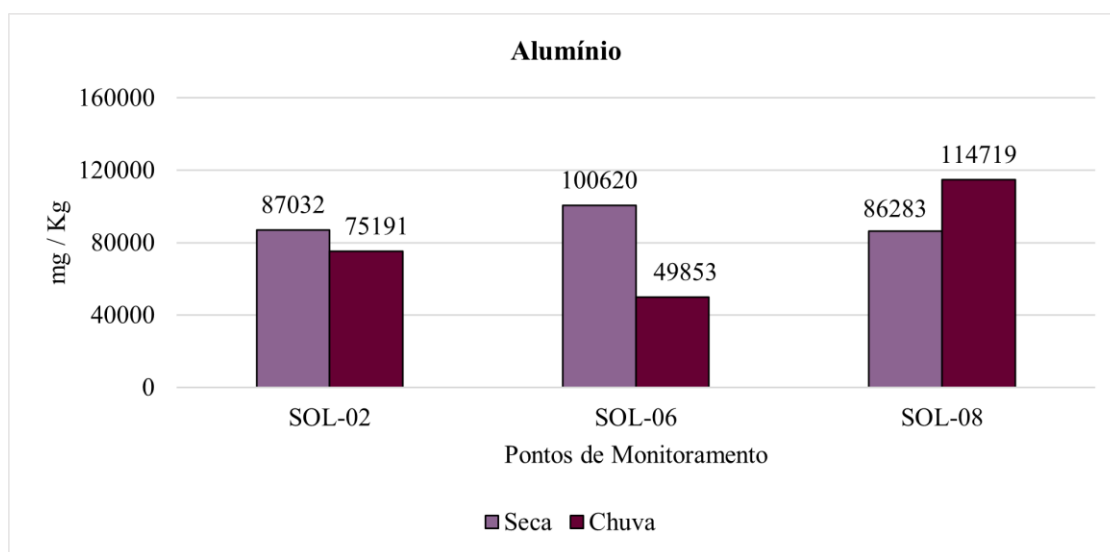


Figura 237 Resultados para o parâmetro Alumínio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Na sub-bacia do ribeirão das Antas, os resultados de arsênio nos pontos SOL-02 (seca) e SOL-08 (chuva) superaram o limite de 8 mg/Kg (VRQ), porém foram inferiores ao limite de 15 mg/Kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para Prevenção. No ponto SOL-02, localizado próximo à calha principal do ribeirão das Antas, o valor do período chuvoso superou tanto o limite de 8 mg/Kg (VRQ) quanto o limite de 15 mg/Kg (Prevenção), como pode ser visto no gráfico da Figura 238. Os valores que se mantiveram abaixo dos dois limites, nos dois períodos foram no SOL-06 (seca e chuva) e SOL-08 (seca). Todas as amostragens foram realizadas em latossolo vermelho amarelo, sendo que os resultados foram condizentes com as concentrações encontradas para o mesmo tipo de solo em São Carlos (SP), uma vez que estas variaram entre 8,12 e 17,6 mg/Kg (CETESB, 2001).

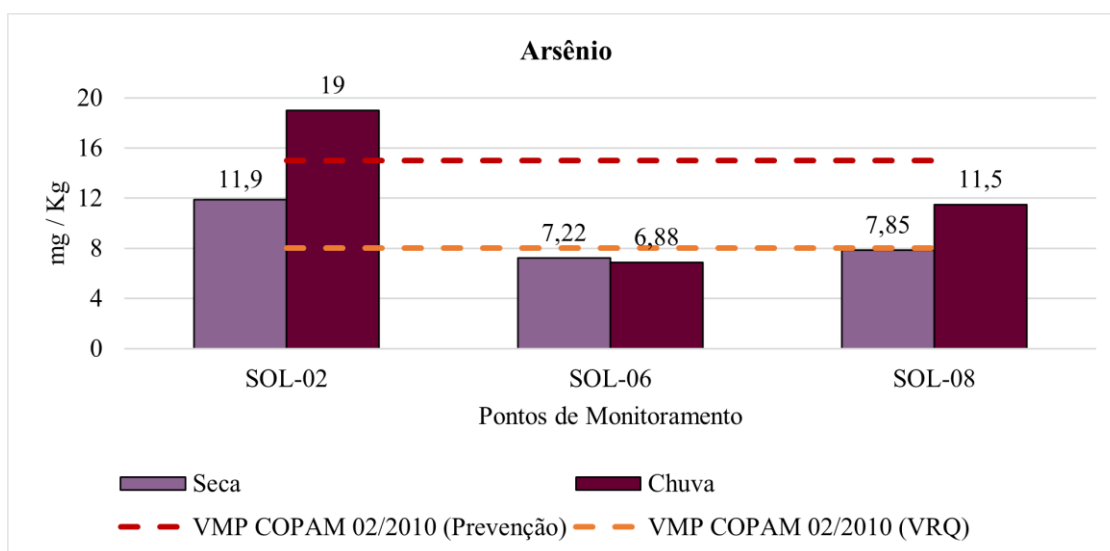


Figura 238 Resultados para o parâmetro Arsênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

As concentrações de bário obtidas nas amostragens de solos foram inferiores ao limite de 150 mg/Kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para Prevenção, em todos os pontos. Os pontos SOL-

02, SOL-06 e SOL-08, para o período seco, foram inferiores ao limite estabelecido para VRQ, porém para o período chuvoso apenas o ponto SOL-02 não superou o limite. Ademais, os dados do ponto SOL-02 se mantiveram abaixo dos limites nos dois períodos de amostragem. Todas as concentrações foram superiores ao estudo realizado para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP), onde os dados variaram de 5 a 12 mg/Kg (CETESB, 2001).

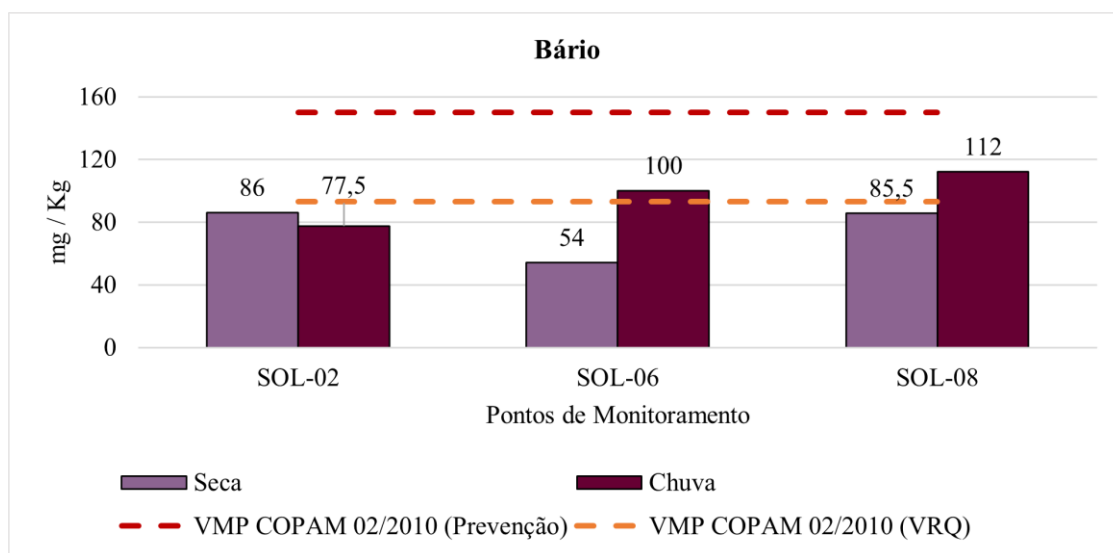


Figura 239 Resultados para o parâmetro Bário na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Nas amostragens realizadas, todos os resultados de chumbo excederam o limite de 20 mg/Kg estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para VRQ, no entanto foram inferiores ao limite de 72 mg/Kg, para Prevenção, nos dois períodos de amostragem, como mostra o gráfico da Figura 240. As concentrações nos pontos variaram entre 29,9 a 40,9 mg/Kg, no período seco, e entre 33,2 e 58,2 mg/Kg, no período chuvoso. Os dados obtidos para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP) foram inferiores aos encontrados em campo na sub-bacia do ribeirão das Antas, uma vez que a maior concentração foi de 12,5 mg/Kg (CETESB, 2001).

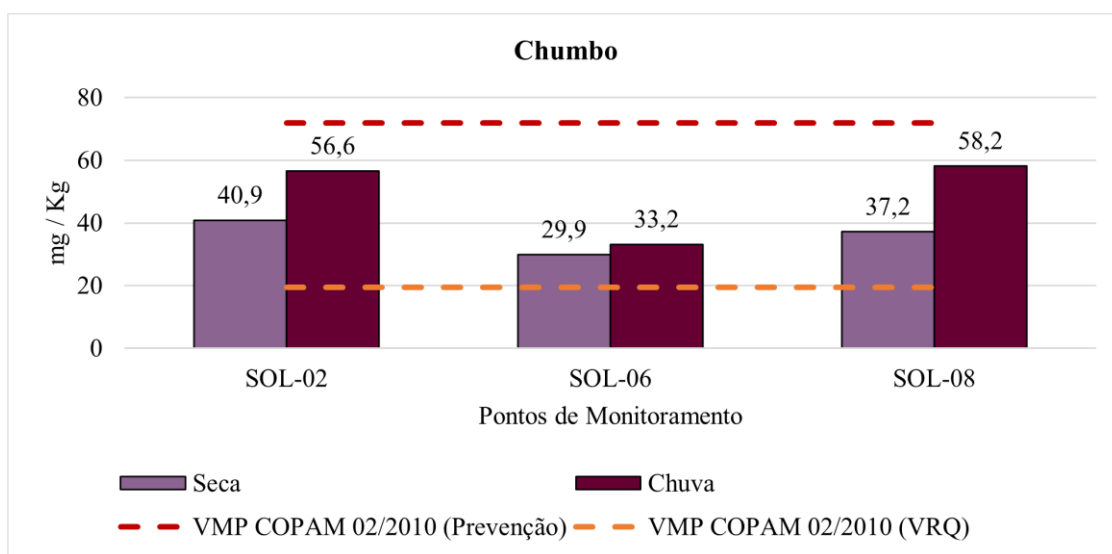


Figura 240 Resultados para o parâmetro Chumbo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para o parâmetro cobalto, as amostragens resultaram em dados entre 1,00 e 2,97 mg/Kg, para o período seco, e entre 1,00 e 3,53 mg/Kg, para o período chuvoso, na sub-bacia do ribeirão das Antas, sendo todos inferiores aos valores máximos estabelecidos para Prevenção e VRQ pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Figura 241). No ponto SOL-06 ambos os dados foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ), de 1 mg/Kg.

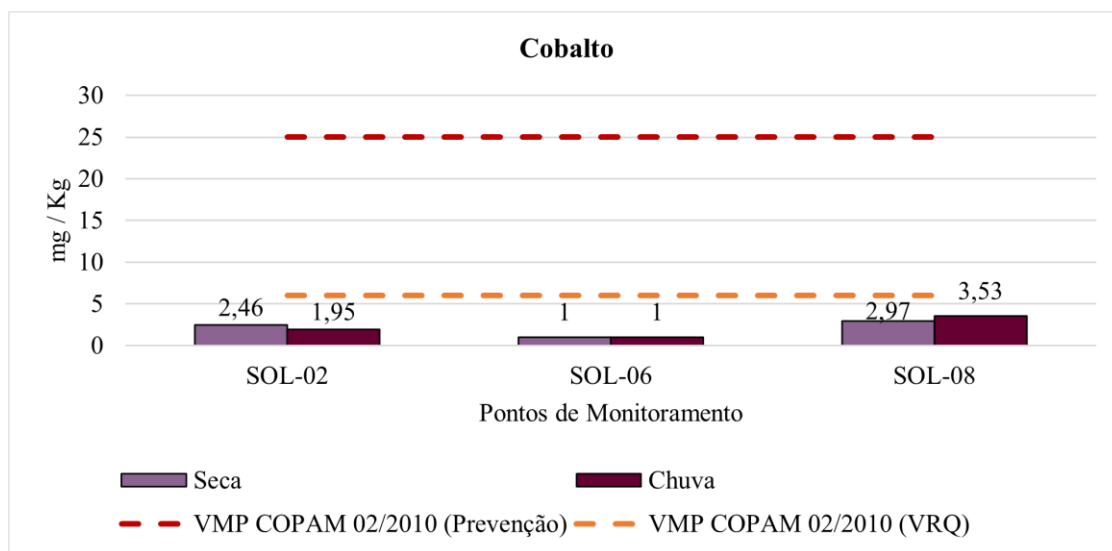


Figura 241 Resultados para o parâmetro Cobalto na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Os resultados obtidos para ferro variaram de 35391 a 37823 mg/Kg, no período de seca, e de 16461 a 40919 mg/Kg, no período de chuvas, nos locais pertencentes à sub-bacia do ribeirão das Antas (Figura 242). A DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite para ferro em solos, no entanto os valores foram inferiores aos dados obtidos para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP), uma vez que os dados do estudo estiveram entre 51000 e 110500 mg/Kg (CETESB, 2001).

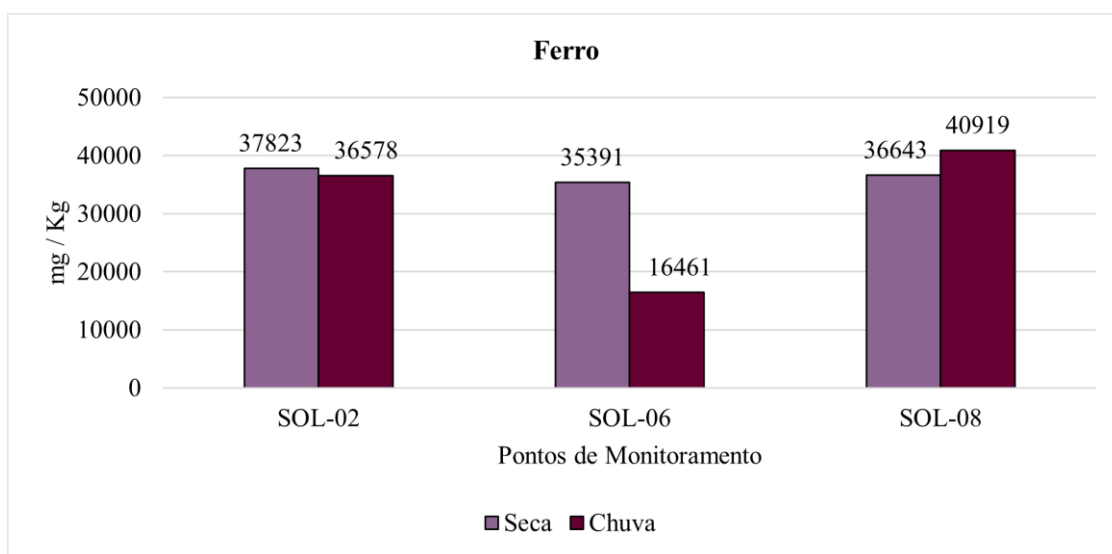


Figura 242 Resultados para o parâmetro Ferro na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para o parâmetro manganês, as concentrações chegaram a 1169 mg/Kg, no período seco, e a 2003 mg/Kg, no período chuvoso, sendo que as menores concentrações foram de 341 mg/Kg, no período seco, e de 113 mg/Kg, no período chuvoso, ambas no ponto SOL-06, como mostra o gráfico da Figura 243. Tais resultados foram superiores aos valores obtidos para o mesmo tipo de solo (latossolo vermelho amarelo), no estado de São Paulo, onde foram encontrados valores máximos de 280 mg/Kg. Apesar disso, a DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não estabelece limite máximo de manganês para solos.

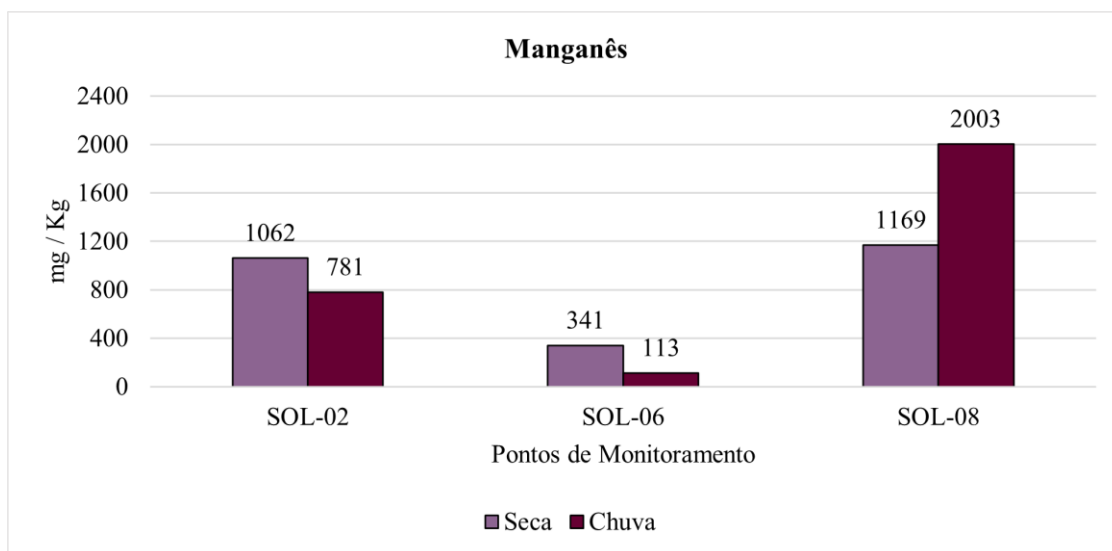


Figura 243 Resultados para o parâmetro Manganês na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

A concentração de mercúrio no ponto SOL-02, para o período de seca, foi menor que o Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de <0,05 mg/Kg. Uma vez que o VRQ é igual ao LQ, é possível concluir que o resultado do ponto SOL-02, para o período seco, está de acordo com ambos os limites

permitidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ), como mostra o gráfico da Figura 244. Os demais valores superaram o limite estabelecido para o VRQ, porém foram inferiores ao limite de Prevenção (0,5 mg/Kg). No estudo realizado para latossolo vermelho amarelo em São Carlos (SP), mesmo solo encontrado nas áreas avaliadas, as concentrações variaram entre 0,03 e 0,06 mg/Kg (CETESB, 2001), estando condizentes aos dados da presente amostragem.

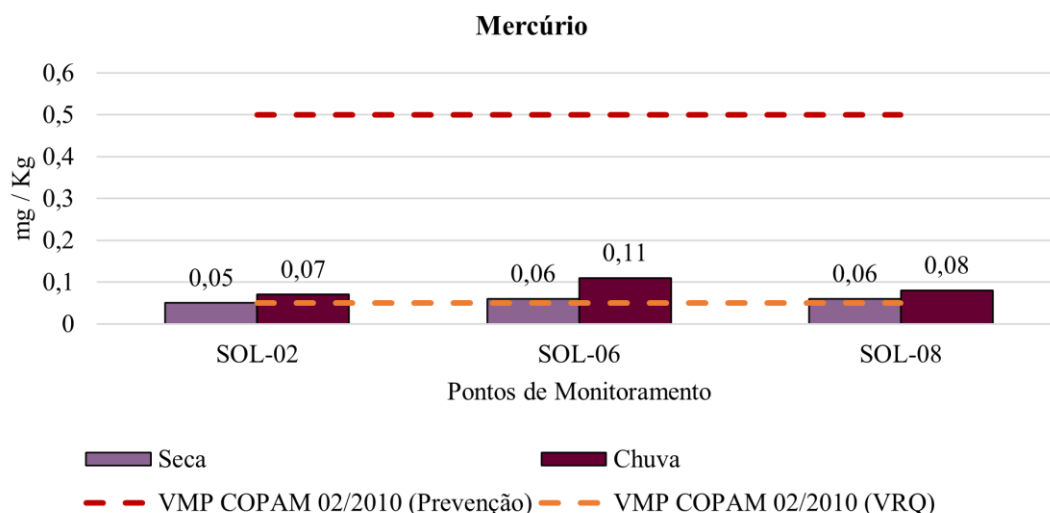


Figura 244 Resultados para o parâmetro Mercúrio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

O gráfico da Figura 245 mostra que, para os dois períodos de amostragem, os resultados de molibdênio no ponto SOL-02 excederam tanto o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), de <0,9 mg/Kg, quanto o limite de 30 mg/Kg, estabelecido para Prevenção (DN COPAM/CERH nº 02/2010). O ponto SOL-06 ultrapassou o limite de Prevenção apenas no período seco, enquanto o ponto SOL-08 foi inferior ao mesmo limite nos dois períodos de amostragem. A presença de molibdênio pode estar associada à presença de minerais de urânio, que também podem se associar a pirita, fluorita e minerais de tório na Jazida do Agostinho, localizada no centro do Planalto de Poços de Caldas (Fraenkel & Ramos, 1974).

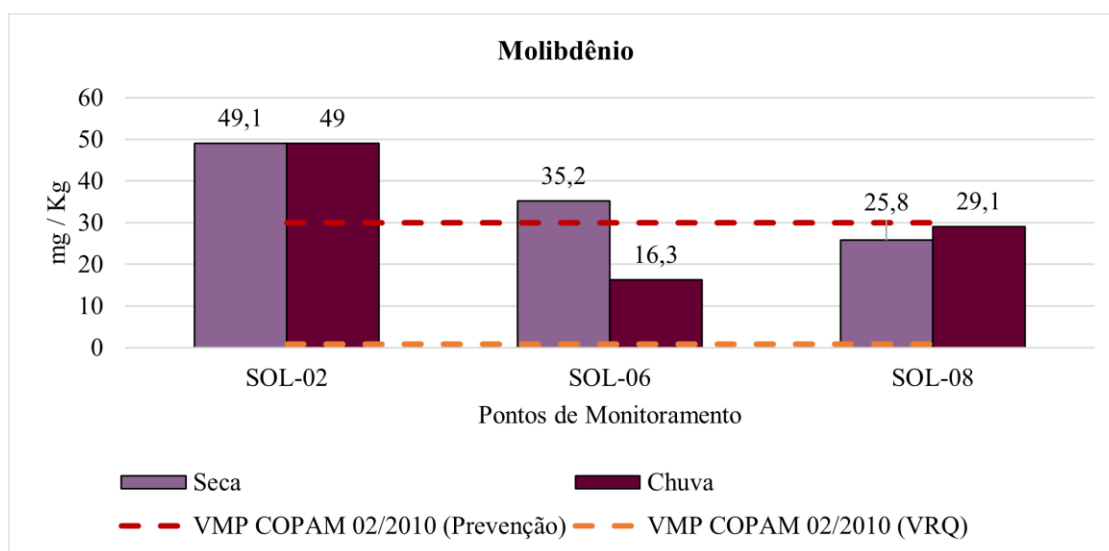


Figura 245 Resultados para o parâmetro Molibdênio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para o parâmetro prata, todos os resultados foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 0,50 mg/Kg, ligeiramente superior ao VRQ (<0,45 mg/Kg) da DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Figura 246). No entanto, todos os dados foram inferiores ao limite para Prevenção, acima do qual o solo pode sofrer alterações nas suas principais funções.

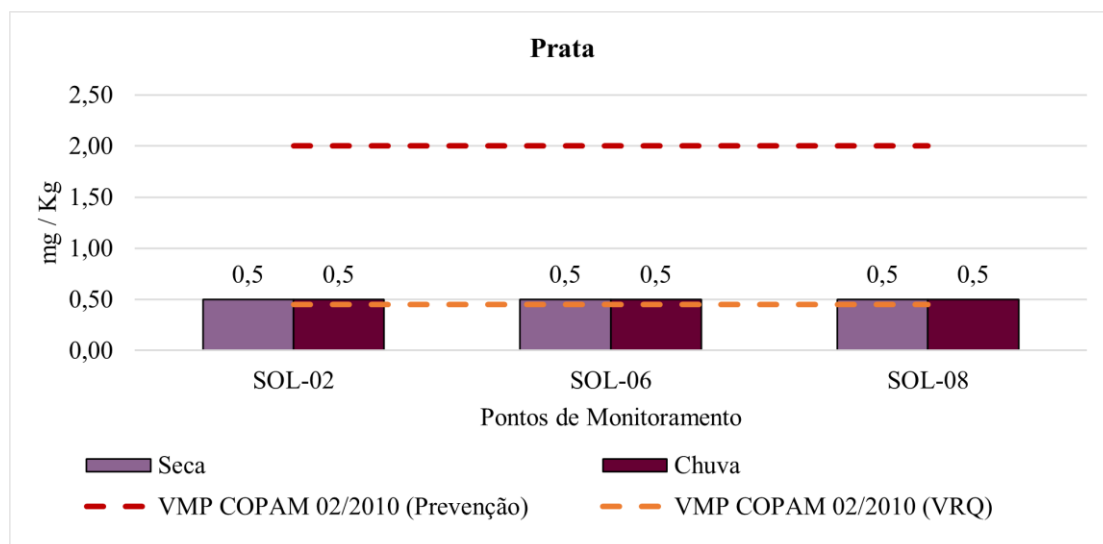


Figura 246 Resultados para o parâmetro Prata na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

As concentrações de vanádio variaram de 73,4 a 87,4 mg/Kg, no período seco, e de 39,1 a 88,4 mg/Kg, no período de chuvas, na sub-bacia do ribeirão das Antas, sendo que nenhuma excedeu o limite de 129 mg/Kg, permitido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 para VRQ, como mostra o gráfico da Figura 247.

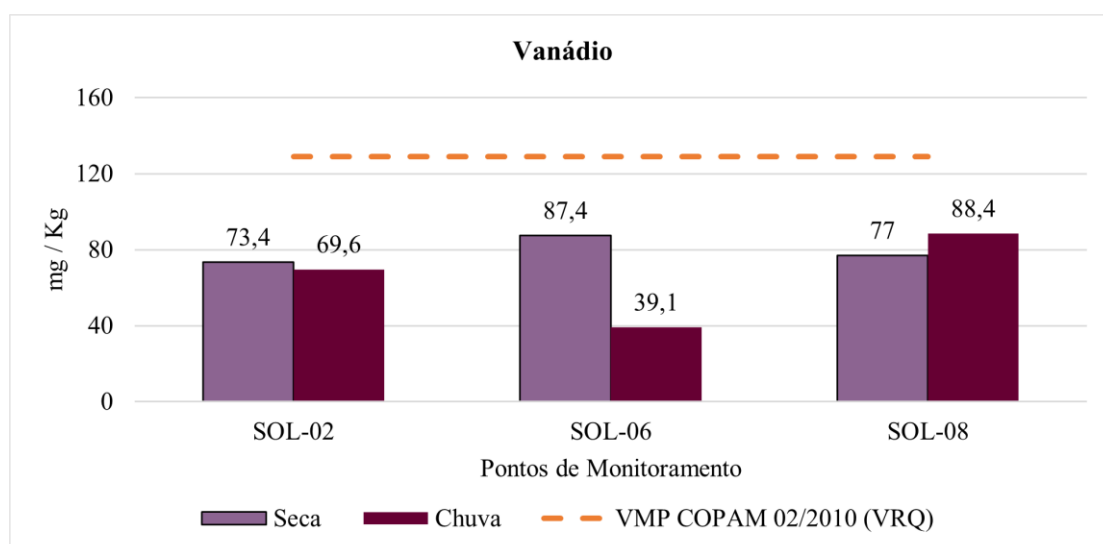


Figura 247 Resultados para o parâmetro Vanádio na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Para o parâmetro zinco, nenhuma concentração obtida superou o limite de 300 mg/kg, estabelecido pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção), porém todas excederam o limite de 46,5 mg/Kg (VRQ), tanto no período de seca, quanto no período de chuvas, conforme Figura 248. Comparando aos dados

obtidos para latossolo vermelho amarelo, os valores de campo foram superiores, uma vez que a concentração máxima de zinco em São Carlos (SP) foi de 27,8 mg/Kg (CETESB, 2001).

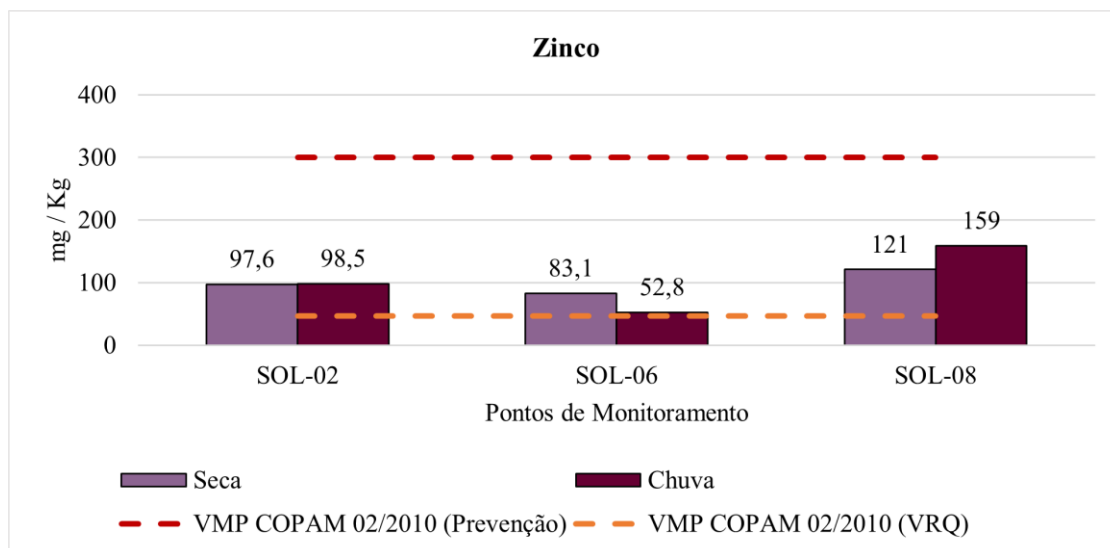


Figura 248 Resultados para o parâmetro Zinco na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Caracterização do grau de nutrientes: nitrato

As maiores concentrações de nitrato foram identificadas nos pontos SOL-06 (53 mg/Kg), no período chuvoso, e SOL-08 (15 mg/Kg), no período de seca. O valor obtido na amostragem de período seco, no ponto SOL-06 foi inferior ao Limite de Quantificação (LQ) de 1 mg/L (Figura 249), porém houve aumento após as chuvas. A presença de nitrato em solos pode advir de rochas naturais, de atividades industriais de produção e do uso de fertilizantes (principalmente nitrato de amônio e de potássio em fertilizantes inorgânicos), aplicados em quantidade superior à capacidade de assimilação das culturas agrícolas (CETESB, 2022a). Dessa forma, o resultado obtido no ponto SOL-06 pode ter ocorrido em função do manejo dos plantios no entorno do local de amostragem. Importante destacar que a DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção e VRQ) não possui limites de nitrato em amostras de solos.

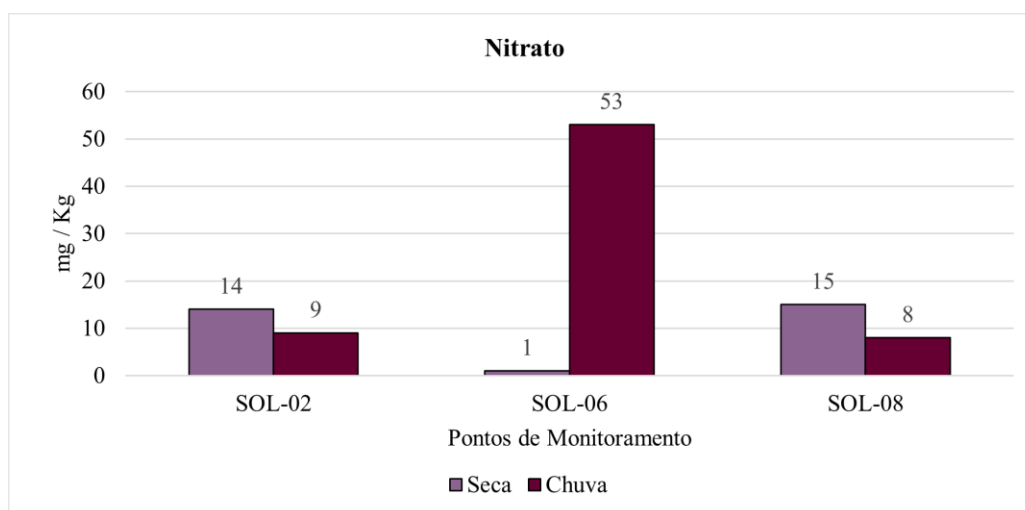


Figura 249 Resultados para o parâmetro Nitrato na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

Caracterização de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos: antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno e indeno(1,2,3,cd)pireno

Ao que tange as análises dos parâmetros do grupo de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos na sub-bacia do ribeirão das Antas, é possível observar por meio dos gráficos ilustrados entre a Figura 250e a Figura 253que apenas o ponto SOL-08 apresentou não conformidade com os limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH nº 02/2010 (Prevenção), nos 4 parâmetros monitorados e nas duas campanhas. Ademais, nos demais pontos os resultados foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ), de 0,001 mg/Kg. Importante destacar que a DN COPAM/CERH nº 02/2010 não define Valor de Referência de Qualidade para esses parâmetros no solo.

No ponto SOL-08 o resultado de antraceno foi de 0,1 mg/Kg na seca e 0,04 mg/Kg na estação chuvosa, ambos acima do limite de 0,039 mg/Kg. Já o benzo(a)antraceno, para o qual o limite estabelecido pela legislação supracitada é de 0,025 mg/Kg, apresentou resultados de 0,504 mg/Kg (seca) e 0,102 mg/Kg (chuva). O benzo(a)pireno possui limite de 0,052 mg/Kg e as concentrações encontradas no ponto SOL-08 foram não conformes, sendo 0,547 mg/Kg na seca e 0,077 mg/Kg no período de chuva. Por fim, o indeno(1,2,3,cd)pireno apresentou concentrações de 0,358 mg/Kg (seca) e 0,071 (chuva), superiores ao limite de 0,031 mg/Kg.

O antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno e indeno(1,2,3,cd)pireno compõem o grupo de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs). Estes compostos são formados, principalmente, pela combustão incompleta ou pirólise da matéria orgânica e podem ser provenientes de várias fontes antropogênicas como incêndios, queima de carvão, escapamentos de veículos, óleos lubrificantes usados em motores e outras (Alaburda e Caruso, 2008). Além disso, a emissão desses compostos para a atmosfera (por veículos e indústrias) associado ao material particulado fino, tem como consequência uma parcela de deposição no solo (Dias, 2015).

Portanto, as não conformidades no ponto SOL-08 podem estar associadas à contaminação pontual de resíduo oleoso derivado de petróleo, fomentado principalmente pela proximidade do ponto com a Av. Geraldo Martins Costa, além de incêndios identificados na região, no período de seca. As não

conformidades também podem estar relacionadas à deposição de particulados, haja vista que o ponto SOL-08 está localizado em um ponto onde há predominância da direção dos ventos provenientes do centro urbano e industrial de Poços de Caldas.

Ademais é possível perceber que no período de seca as concentrações desses compostos foram mais elevadas, isso pode ser justificado pela diferença sazonal entre as duas campanhas. No período de seca, devido à baixa ou nula pluviometria, as partículas são dispersadas com maior facilidade do que no período chuvoso. Isso pode contribuir para a diferença percebida entre os dois períodos de monitoramento.

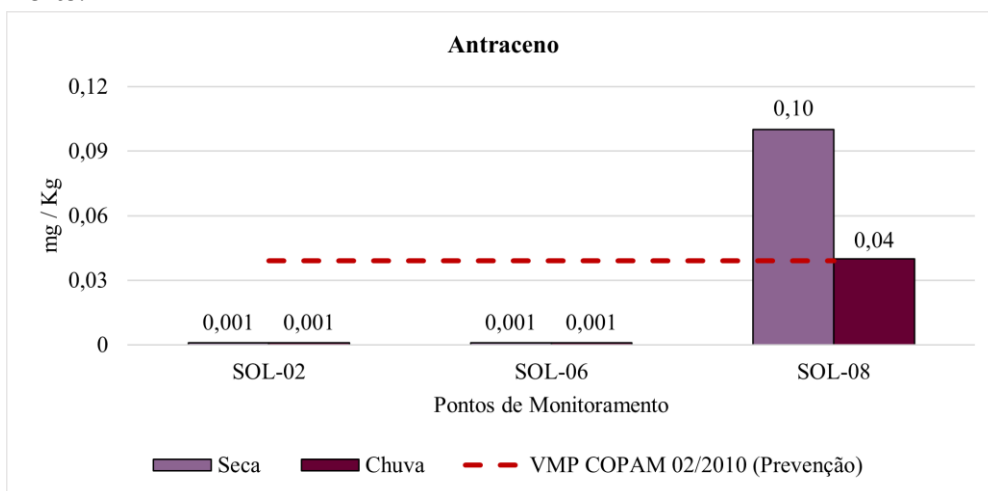


Figura 250 Resultados para o parâmetro Antraceno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

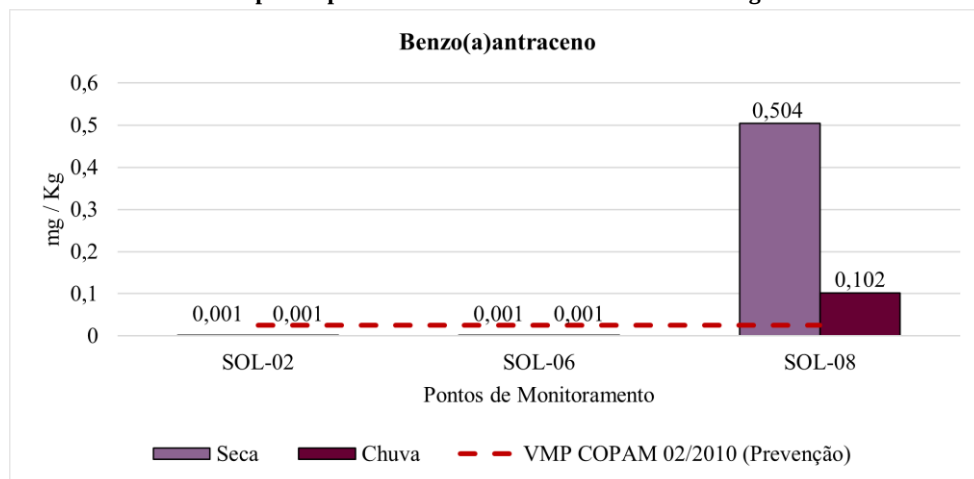


Figura 251 Resultados para o parâmetro Benzo(a)antraceno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

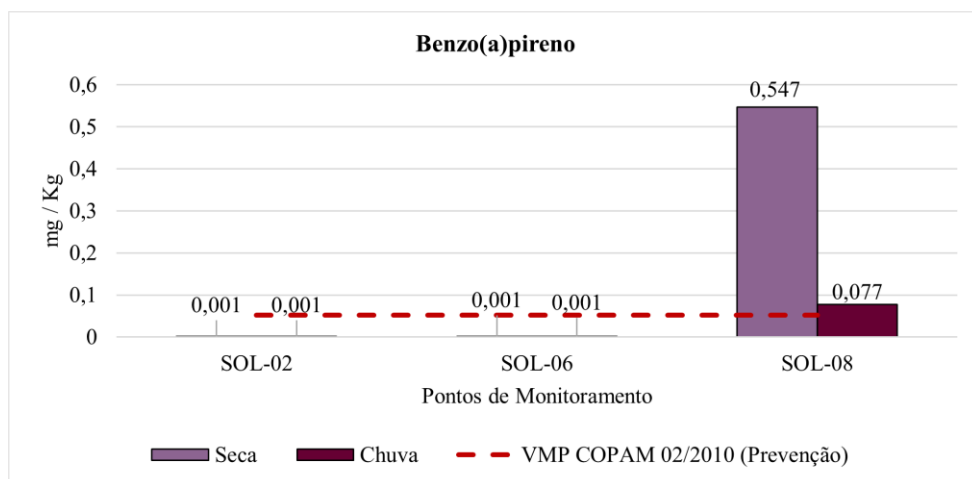


Figura 252 Resultados para o parâmetro Benzo(a)pireno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

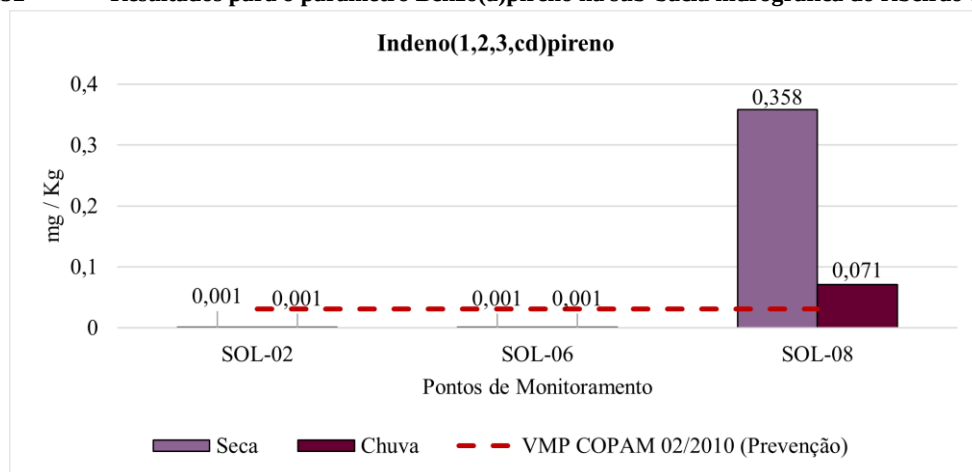


Figura 253 Resultados para o parâmetro Indeno(1,2,3,cd)pireno na sub-bacia hidrográfica do ribeirão das Antas

6.1.12. Recursos Hídricos Subterrâneos

6.1.12.1. Hidrogeologia

6.1.12.1.1. Área de Estudo Regional

6.1.12.1.1.1. Metodologia

O contexto hidrogeológico regional no qual está inserido o projeto foram descritos a partir de dados secundários de mapeamentos geológicos e hidrogeológicos já realizados na região. Os domínios hidrogeológicos na área de estudo foram definidos a partir do mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil, elaborado na escala 1:2.500.000 pela CPRM (2011). Além disso, a descrição da hidrogeologia regional foi elaborada em grande parte tendo como base, também, o estudo realizado por Bomfim (2010).



6.1.12.1.2. Resultados

De maneira geral, o comportamento dos sistemas hidrogeológicos está diretamente relacionado à composição litológica das unidades estratigráficas presentes na área. Além disso, o grau de intemperismo e o grau de fraturamento das rochas também influenciam as condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas.

Na Área de Estudo Regional e Local ocorrem dois domínios hidrogeológicos distintos, diferenciados conforme o mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007), a saber:

- Vulcânicas;
- Cristalino.

Na Figura 254 é apresentado o mapa de distribuição espacial dos domínios hidrogeológicos individualizados na Área de Estudo Regional. A seguir, serão descritas as principais características de cada domínio aquífero supracitado.

Vulcânicas (Aquífero Fissural)

O domínio das Vulcânicas reúne rochas vulcânicas e metavulcânicas de baixo grau metamórfico, de natureza ácida a básica, com comportamento tipicamente fissural (porosidade secundária de fendas e fraturas). Estas sequências rochosas tendem normalmente ao anisotropismo, com uma estruturação acentuada de foliação e/ou acamamento (o que facilita o desenvolvimento da porosidade secundária), sendo que algumas delas apresentam uma porosidade primária relacionada a estruturas vesiculares (principalmente derrames básicos) (Bomfim, 2010).

Cristalino (Aquífero Fissural)

No domínio Cristalino são reunidos, basicamente, granitóides, gnaisses, granulitos, migmatitos e rochas básicas e ultrabásicas, que constituem o aquífero cristalino fissural. Como a porosidade primária é quase inexistente nestes litotipos, o fluxo de água subterrânea é condicionado pela porosidade secundária, representada por descontinuidades nas rochas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas, e a água em função da falta de circulação e do tipo de rocha (entre outras razões), é na maior parte das vezes salinizada. Como a maioria destes litotipos ocorre, geralmente, sob a forma de grandes e extensos corpos maciços, existe uma tendência de que este domínio seja o de potencial hidrogeológico mais baixo dentre todos aqueles relacionados aos aquíferos fissurais (Bomfim, 2010).

Apesar deste domínio ter comportamento similar aos outros domínios que constituem aquíferos fissurais, diferentes rochas apresentam reologias distintas, comportando-se diferentemente frente aos esforços causadores das fendas e fraturas, parâmetros fundamentais no acúmulo e fornecimento de água (Bomfim, 2010).

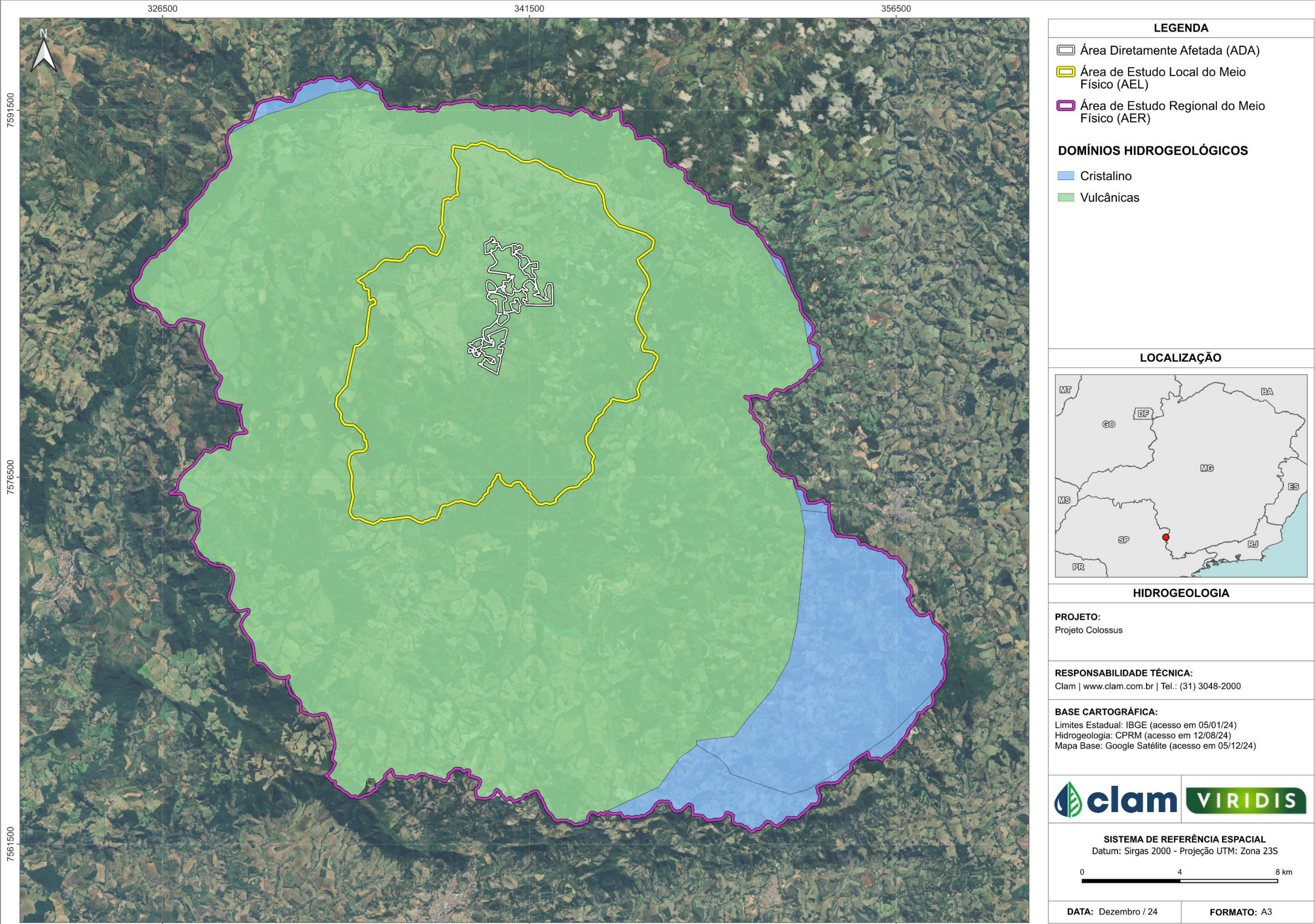


Figura 254 Domínios hidrogeológicos da Área de Estudo Regional (AER) e da Área de Estudo Local (AEL).



6.1.12.1.2. Área de Estudo Local

6.1.12.1.2.1. Metodologia

A descrição da hidrogeologia local foi fundamentada no relatório do modelo hidrogeológico conceitual desenvolvido para a região de Poços de Caldas pela CLAM. Adicionalmente, as informações referentes às nascentes foram obtidas a partir do inventário de nascentes elaborado pela CLAM no mesmo ano.

6.1.12.1.2.2. Resultados

Poços de monitoramento

Com o intuito de monitorar as águas subterrâneas nas dependências e ao redor da área do Projeto Colossus, foram instalados dezesseis (16) poços de monitoramento no local. Os pontos foram estrategicamente distribuídos para perfuração e monitoramento, sendo autorizados pela Certidão nº 95564404, emitida em 26/08/2024.

A instalação dos poços de monitoramento ocorreu entre os dias 02/09/2024 e 26/10/2024, e foi realizada pelas empresas Foraco e Amplar. O método de sondagem utilizado para a execução dos dezesseis poços foi a sondagem rotopercussiva de circulação reversa.

A Tabela 80 apresenta as coordenadas dos poços de monitoramento, dados construtivos, descrição litológica e a especificação da empresa responsável pela instalação de cada um dos instrumentos.

Os poços de monitoramento instalados apresentam profundidades variadas, entre 5,6 e 39 metros. Os perfis litológicos dos poços indicam um padrão predominante na área, no qual o solo próximo a superfície apresenta uma granulometria silto-argilosa de coloração predominantemente amarronzada. Em seguida, este solo é sucedido por uma camada de regolito argiloso de cor marrom, iniciando entre a faixa de 1 e 3 metros, e alcançando, no máximo, 28 metros de profundidade. A camada de saprólito apresenta uma grande variação em sua espessura. No PC-06 a camada de saprólito apresenta espessura de 2 metros, sendo logo procedida pelas rochas cristalinas da área, enquanto no PC-12 o saprólito demonstra 26 metros de continuidade. Nos poços PC-03, PC-04, PC-06 e PC-12 foram identificadas rochas em profundidades superiores a 20 metros, as quais encontram-se alteradas ou são.

Tabela 80 Informações dos poços de monitoramento instalados na área do Projeto Colossus.

Poços	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23K)		Profundidade Poço (m)	Espessura (m) / Perfil Litológico	Empresa responsável pela instalação do poço
	X	Y			
PC-01	340425	7583029	39	0-2 / Solo silto-argiloso marrom	Foraco
				2-19 / Regolito argiloso marrom-claro rosado	
				19-39 / Saprólito cinza a marrom claro	
PC-02	340612	7584804	33	0-1 / Solo	Foraco
				1-22 / Regolito	
				22-33 / Saprólito	
PC-03	342718	7576528	32	0-2 / Solo	Foraco
				2-15 / Regolito	
				15-22 / Saprólito	



Poços	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23K)		Profundidade Poço (m)	Espessura (m) / Perfil Litológico	Empresa responsável pela instalação do poço
	X	Y			
				22-24 / Rocha alterada	
				24-32 / Rocha sã	
PC-04	339825	7581954	28	0-2 / Solo silto-argiloso marrom	Foraco
				2-23 / Regolito silto-argiloso marrom	
				23-26 / Rocha alterada marrom a cinza	
				26-28 / Rocha sã cinza	
PC-05	335332	7573562	12	0-1.5 / Argila marrom	Amplar
				1.5-2.60 / Argila siltosa vermelha	
				2.60-8 / Silte arenoso amarelo	
				8-10.5 / Areia pedregosa cinza	
				10.5-12 / Silte argiloso cinza	
PC-06	340198	7580795	19	0-2 / Solo silto-argiloso marrom	Foraco
				2-5 / Regolito argiloso marrom	
				5-7 / Saprolito marrom	
				7-19 / Rocha cinza	
PC-07	340612	7584804	33	0-1 / Solo	Foraco
				1-22 / Regolito	
				22-33 / Saprolito	
PC-08	339857	7585054	18	0-1 / Solo argiloso marrom	Foraco
				1-12 / Regolito argiloso marrom	
				12-18 / Saprolito marrom	
PC-09	327133	7576324	16.5	0-14.5 / Argila	Amplar
				14.5-16.5 / Silte arenoso Cinza Alaranjado	
				14.5-16.5 / Silte arenoso Cinza Alaranjado	
PC-10	341759	7585168	30	0-1 / Solo argiloso marrom	Foraco
				1-25 / Regolito argiloso marrom	
				25-30/ Saprolito marrom	
PC-11	342604	7580300	36	0-2 / Solo	Foraco
				2-12 / Regolito	
				12-23 / Saprolito	
				23-31 / Rocha alterada	
				31-36 / Rocha sã	
PC-12	339787	7585810	37	0-3 / Solo	Foraco
				3-11 / Regolito	
				11-37 / Saprolito	
PC-13	342976	7584038	30	0-1 / Solo silto-argiloso marrom	Foraco
				1-28 / Regolito argiloso marrom	
				28-30 / Saprolito marrom	
PC-14	339.000	7581777	24	0-2 / Solo silto-argiloso marrom	Foraco
				2-12 / Regolito argiloso marrom	
				12-24 / Regolito siltoso marrom	



Poços	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23K)		Profundidade Poço (m)	Espessura (m) / Perfil Litológico	Empresa responsável pela instalação do poço
	X	Y			
PC-15	335535	7587934	5.6	0-3.6 / Argila marrom	Amplar
				3.6-5.6 / Silte-arenoso marrom amarelado	
PC-16	335758	7574907	8.9	0-8.9 / Argila	Amplar

Fonte: Amplar (2024); Foraco (2024).

Inventário de Nascentes

Em 2024, a CLAM conduziu duas campanhas de inventários de nascentes na área do Projeto Colossus, realizadas durante o período de seca e período chuvoso. A seleção dos pontos de monitoramento baseou-se na proximidade entre as nascentes e a área do empreendimento. Sob essa perspectiva, inicialmente foram selecionados 95 potenciais nascentes na área que circunda a extensão do projeto, para inventariamento e análises físico-químicas de parâmetros *in situ*.

O 1º inventário, referente ao período de seca foi realizado entre os dias 19/06/24 e 08/08/24, por duas equipes de campo da CLAM, responsáveis pelo registro completo das características dos pontos, além de medições de vazão e dos parâmetros físico-químicos, nos 95 pontos determinados.

O 2º inventário, referente ao período chuvoso ocorreu entre os dias 15/10/24 e 15/11/24, realizado por uma equipe de campo da CLAM, responsável pelo registro completo das características dos pontos, além de medições de vazão e dos parâmetros físico-químicos. Nesta campanha, diferentemente da anterior, foram inventariados 79 pontos de nascentes, devido a um ajuste posterior da área diretamente afetada do empreendimento, ocorrido entre as duas campanhas. Foram desconsiderados da segunda campanha do inventário os pontos de nascentes: N-57, N-59, N- 60, N-71, N-72, N-73, N-74, N-75, N-76, N-77, N-79, N-80, N-81, N-82, N-83 e N-84.

Durante a realização dos campos, foram identificadas, ainda, três nascentes no perímetro da ADA. Esses pontos foram inventariados no período chuvoso.

A Tabela 81 apresenta as coordenadas e altitudes das nascentes inventariadas. Os mapas da Figura 255 e Figura 256 mostram a distribuição espacial das nascentes inventariadas no período seco e no período chuvoso, respectivamente. As características de cada nascente estão apresentadas no **Apêndice 15**.

Os parâmetros físico-químicos avaliados *in situ* durante as campanhas de inventário foram: Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Potencial Redox, pH, Temperatura e Turbidez.

Tabela 81 Nascentes inventariadas na área do Projeto Colossus

Identificação do ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Altitude
	X	Y	
N-01	343270	7581073	1410
N-02	343737	7582294	1350
N-03	342884	7582344	1346
N-04	343780	7582778	1390
N-05	343083	7583571	1288
N-06	341932	7580183	1371
N-07	342650	7580640	1335



Identificação do ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Altitude
	X	Y	
N-08	341708	7580562	1409
N-09	342298	7580844	1394
N-10	342688	7580954	1415
N-11	342783	7581135	1398
N-12	342147	7582782	1328
N-13	341736	7584195	1287
N-14	343630	7584543	1343
N-15	343336	7584277	1331
N-16	343279,9	7585053	1315
N-17	342920	7585391	1348
N-18	343613	7585355	1309
N-19	3432219	7585651	1327
N-20	342678	7585957	1310
N-21	342019	7586172	1281
N-22	341502	7586090	1281
N-23	341452	7584973	1278
N-24	341743	7585588	1300
N-25	340759	7585747	1271
N-26	340020	7585730	1284
N-27	339527	7585529	1282
N-28	338999	7585111	1325
N-29	338936	7585708	1304
N-30	341085	7579990	1367
N-31	341805	7579541	1369
N-32	339973	7579393	1350
N-33	340014	7579726	1359
N-34	340778	7580224	1388
N-35	339961	7580412	1341
N-36	341177	7580709	1433
N-37	341513	7581404	1414
N-38	341437	7581835	1378
N-39	339826	7582452	1338
N-40	339855	7582937	1311
N-41	339442	7579159	1351
N-42	339018	7579236	1345
N-43	338915	7579578	1331
N-44	338303	7579511	1320
N-45	334866	7580127	1280
N-46	338069	7581427	1326
N-47	339533	7579675	1382
N-48	339558	7579854	1320
N-49	339078	7580012	1346
N-50	339441	7580987	1353
N-51	339448	7582265	1340
N-52	339387,5	7582805	1325
N-53	339239,2	7583261,6	1290,4
N-54	342365	7583184	1330



Identificação do ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Altitude
	X	Y	
N-55	341965	7575636	1435
N-56	351518	7576582	1380
N-57*	341849	7576512	1448
N-58	342657	7577291	1377
N-59*	341636	7577058	1435
N-60*	341515	7576190	1451
N-61	342320	7575221	1417
N-62	343022,4	7576337,6	1410
N-63	343180	7576942	1409
N-64	335552	7573071	1341
N-65	335167	7573297	1302
N-66	334802	7573652	1316
N-67	334854	7574432	1297
N-68	334379	7575079	1362
N-69	335445	7576004	1315
N-70	334411	7575748	1315
N-71*	333724	7575114	1331
N-72*	333997	7574606	1348
N-73*	334275	7574416	1322
N-74*	334340	7573764	1341
N-75*	334496	7573307	1348
N-76*	334911	7572733	1328
N-77*	335321	7572533	1355
N-78	335719	7572704	1330
N-79*	327456	7576405	1308
N-80*	327953	7575863	1298
N-81*	327768	7575101	1317
N-82*	327317	7575474	1326
N-83*	326687	7576215	1322
N-84*	326456	7576674	1306
N-85	344126	7586868	1341
N-86	343980	7583368	1414
N-87	344593	7583358	1389
N-88	344775	7583949	1376
N-89	344691	7584439	1363
N-90	345046	7584418	1364
N-91	345690	7585222	1352
N-92	343787	7859560	1343
N-93	344803	7585833	1341
N-94	344903	7586374	1359
N-95	345188	7586173	1354
N-96	339884	7581667	1335
N-97	340201	7581810	1341
N-98	339606	7581818	1322

*Nascentes inventariadas apenas no período seco.

Fonte: CLAM (2024).

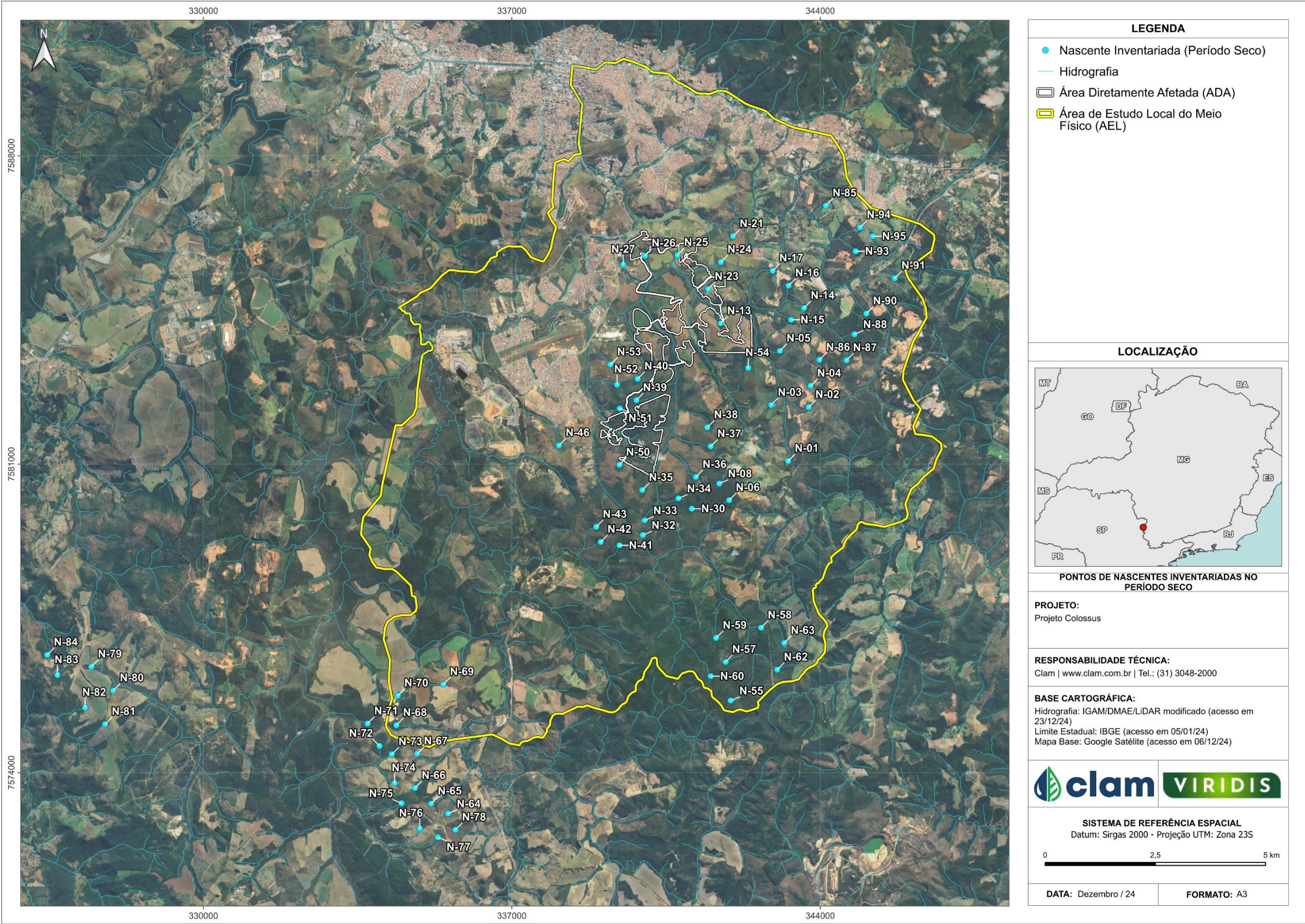


Figura 255 Localização das nascentes inventariadas pela CLAM em 2024 no período da seca.

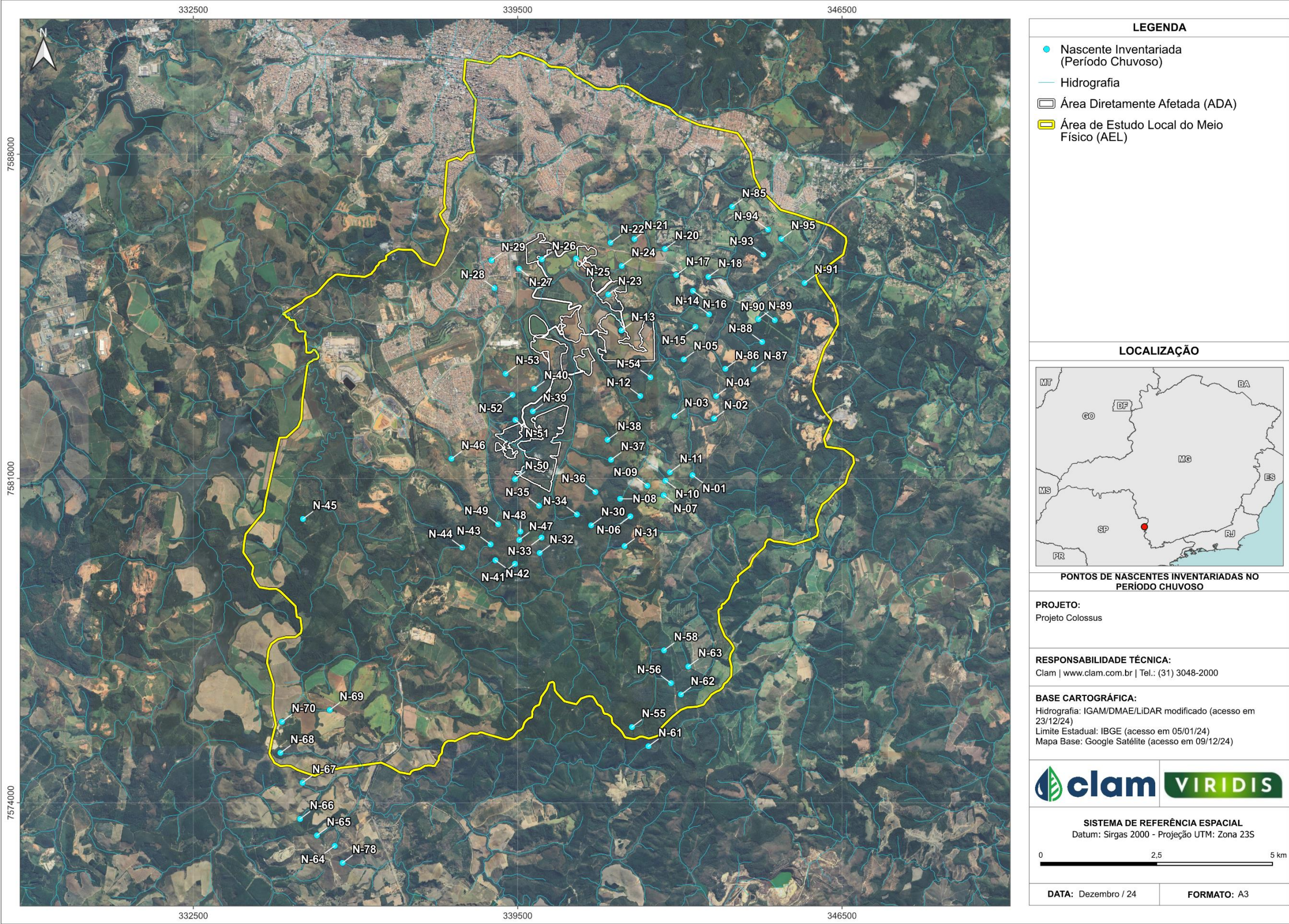


Figura 256 Localização das nascentes inventariadas pela CLAM em 2024 no período chuvoso.



A Tabela 82 apresenta os resultados dos parâmetros medidos *in situ* para as 95 nascentes inventariadas durante o período de seca. Ressalta-se que nas nascentes onde não foi possível medir vazão devido ao baixo fluxo, o resultado está marcado como N.A. (Não Amostrado).

Tabela 82 Resultados das análises físico-químicas e vazões médias obtidas no inventário do período seco.

Identificação do Ponto	pH	E _{medido} /ORP (mV)	EH Corrigido (mV)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Turbidez	T da água (°C)	T do ar (°C)	Vazão (L/s)
N-01	6,06	16,80	215,80	50,00	0,00	50,40	15,38	21,00	N.A
N-02	5,12	210,80	409,80	13,00	2,23	3,27	17,18	20,00	0,06
N-03	5,55	118,00	317,00	20,00	4,74	10,60	17,95	23,00	0,09
N-04	6,8	-43,7	155,30	165	0	76,9	14,65	23	N.A
N-05	5,39	281,4	480,40	19	3,67	4,46	18,59	18	0,11
N-06	5,14	139,7	338,70	23	1,86	2,8	16,88	21	0,03
N-07	4,99	250,4	449,40	14	2,34	10,6	17,99	19	0,01
N-08	6,11	166,7	365,70	46	4,83	4,26	17,72	20	0,13
N-09	6,11	166,7	365,70	46	4,83	4,26	17,72	22	0,09
N-10	5,6	166,91	365,91	19	2,86	4,06	18,46	20	0,02
N-11	5,97	234,5	433,50	11	6,5	0,59	18,97	23	0,42
N-12	5,45	213,8	412,80	35	2,14	67,1	17,4	20	N.A
N-13	5,34	258,6	457,60	15	3,32	2,15	18,07	23	N.A
N-14	6,23	-22,7	176,30	170	0	59,6	19,15	24	N.A
N-15	5,94	148,5	347,50	20	5,67	2,09	18,67	25	N.A
N-16	6,36	117,5	316,50	35	2,99	4,27	13,56	16,84	0,13
N-17	5,07	233	432,00	408	0,26	3,05	15,31	23	N.A
N-18	5,34	258,6	457,60	15	3,32	2,15	18,07	19	7,89
N-19	5,58	250,7	449,70	21	4,76	13	15,07	24	N.A
N-20	6,23	-22,7	176,30	170	0	59,6	19,15	19	N.A
N-21	5,5	-123,9	75,10	26	0	6,62	12,35	23	N.A
N-22	5,93	93,9	292,90	28	0,87	41,3	22,48	23	N.A
N-23	6,13	61,2	260,20	35	4,48	8,27	14,58	29	0,08
N-24	5,9	12,13	211,13	57	0,17	7,31	15,19	22	N.A
N-25	5,11	170	369,00	22	0,14	15,8	15,29	23	N.A
N-26	5,38	293,5	492,50	17	2,66	16,7	15,64	25	N.A
N-27	5,17	265,4	464,40	41	7,34	8,24	13,06	25	N.A
N-28	5,94	148,5	347,50	20	5,67	2,09	18,67	25	0,08
N-29	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
N-30	5,92	93,6	292,60	30	0	10	15,31	23	0,20
N-31	5,17	272,7	471,70	21	3	1,38	18,95	21	0,25
N-32	5,97	124,8	323,80	11	5,84	2,03	18,78	23	N.A
N-33	5,73	273	472,00	28	5,56	1,77	17,85	22	0,07
N-34	5,75	299,60	498,60	23,00	9,47	13,20	16,34	22,00	N.A
N-35	5,5	282,50	481,50	31,00	0,00	8,56	13,90	24,00	N.A
N-36	5,77	282,1	481,10	21	3,3	8,16	18,25	23	N.A
N-37	5,37	308,5	507,50	28	4,85	8,56	19,36	25	0,13
N-38	5,07	277,5	476,50	29	5,98	1,94	20,88	19,82	0,22



Identificação do Ponto	pH	E _{medido} /ORP (mV)	EH Corrigido (mV)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Turbidez	T da água (°C)	T do ar (°C)	Vazão (L/s)
N-39	5,24	92	291,00	66	0,28	20,2	15,22	20	N.A
N-40	5,86	-14,6	184,40	144	0	2,13	17,42	19	N.A
N-41	5,23	286,7	485,70	35	2,91	75,1	14,5	24	N.A
N-42	6,67	241,7	440,70	16	5,77	1,58	14,2	20	0,05
N-43	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
N-44	5,13	247,5	446,50	18	1,43	1,24	18,14	21	0,06
N-45	5,97	124,8	323,80	11	5,84	2,03	18,78	23	0,24
N-46	5,96	134,7	333,70	25	1,39	5,12	14,37	25	0,19
N-47	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	25	Seca
N-48	5,97	124,8	323,80	11	5,84	2,03	18,78	23	N.A
N-49	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	23	Seca
N-50	5,7	68,4	267,40	48	0,82	2,71	16,34	19	N.A
N-51	5,11	278	477,00	34	2,09	0,94	19,07	18,16	0,29
N-52	5,91	176,1	375,10	64	0	4,27	14,01	21	0,06
N-53	5,04	224,3	423,30	19	0	1,58	10,28	22	0,18
N-54	6,36	181,4	380,40	39	2,24	1,07	16,81	22	0,13
N-55	5,33	255	454,00	16	4,91	0,83	17,74	21	0,52
N-56	4,86	150	349,00	52	1,33	43,2	16,42	18	N.A
N-57	5,28	243,5	442,50	15	7,81	2,91	19,05	24	N.A
N-58	5,06	233	432,00	21	0,92	97,5	13,72	17	N.A
N-59	4,83	394,4	593,40	10	11,28	4,31	18,12	23	0,25
N-60	5,87	240,9	439,90	13	4,8	1,84	17,77	21	0,17
N-61	5,55	287,7	486,70	11	6,73	3,41	13,06	22	0,20
N-62	5,39	193,7	392,70	77,8	0,83	0,32	19,86	19,77	0,05
N-63	5,71	278,1	477,10	27	0,92	33,3	13,38	18	N.A
N-64	6,03	211,1	410,10	46	3,07	0,46	18,46	19	0,07
N-65	6,02	208,2	407,20	35	4,48	1,49	16,86	19	0,11
N-66	4,86	278,4	477,40	38	0,83	0,48	16,32	19	N.A
N-67	5,62	52	251,00	72	0	16,4	15,52	19	0,04
N-68	6,17	239,2	438,20	28	2,75	5,12	15,36	19	N.A
N-69	6,05	2,4	201,40	44	0	41,7	16,5	25	N.A
N-70	6,1	191	390,00	15	7,85	4,28	18,8	23	N.A
N-71	5,43	284	483,00	19	0,62	3,31	16,7	25	N.A
N-72	5,12	310,2	509,20	14	3,94	2,69	17,58	23	0,01
N-73	5,34	277,2	476,20	16	2,37	10,4	15,13	23	0,03
N-74	5,85	189,9	388,90	13	3,95	2,69	15,26	24	0,10
N-75	6,55	201,9	400,90	15	10,03	11,9	14,07	22	0,04
N-76	6,15	73,9	272,90	76	3,14	60,9	12,45	21	N.A
N-77	6,4	244,5	443,50	76	0,91	3,62	15,02	24	N.A
N-78	5,84	274,6	473,60	15	2,24	4,43	13,19	23	N.A
N-79	5,09	129	328,00	58	0,88	76,8	14,47	23	N.A
N-80	6,02	188,6	387,60	125	0	189	17,79	25	N.A
N-81	5,32	281,9	480,90	15	2,51	2,96	17,47	24	N.A
N-82	5,07	300,5	499,50	20	6,19	2,27	18,7	24	0,25



Identificação do Ponto	pH	E _{medido} /ORP (mV)	EH Corrigido (mV)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Turbidez	T da água (°C)	T do ar (°C)	Vazão (L/s)
N-83	5,98	86,9	285,90	67	0	12,8	15	22	0,08
N-84	5,86	228,3	427,30	39	3,97	2,46	18,53	23	0,05
N-85	5,68	213	412,00	31	1,67	98,4	14,36	20	N.A
N-86	5,2	281,1	480,10	25	0,85	112	16,89	23	N.A
N-87	6,19	37,6	236,60	41	0,05	21,2	16,96	23	0,06
N-88	5,4	262,1	461,10	23	4,59	30,6	18,68	23	0,10
N-89	5,71	154,5	353,50	17	3,91	2,18	17,11	29	0,02
N-90	6,32	182,3	381,30	28	4,1	76,6	15,44	22	N.A
N-91	5,19	283,5	482,50	15	2,81	21,2	17,34	22	N.A
N-92	6,32	182,3	381,30	28	4,1	10,1	15,44	26,5	0,50
N-94	5,63	234,2	433,20	17	1,61	3,88	18,75	24	0,05
N-95	5,35	236,6	435,60	18	0,3	12,3	15,09	23	0,02

Fonte: CLAM (2024).

A Tabela 83 apresenta os resultados dos parâmetros medidos *in situ* para as 79 nascentes inventariadas durante o período chuvoso. Ressalta-se que nas nascentes onde não foi possível medir vazão devido ao baixo fluxo, o resultado está marcado como N.A. (Não Amostrado).

Tabela 83 Resultados das análises físico-químicas e vazões médias obtidas no inventário do período chuvoso.

Identificação do ponto	pH	E _{medido} /ORP (mV)	EH Corrigido (mV)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Turbidez	T da água (°C)	T do ar (°C)	Vazão (L/s)
N-01	3,81	130,2	329,20	41	0,27	20,99	9,97	22	N.A
N-02	5,03	49,2	248,20	25	1,35	18,28	0,93	19	0,52
N-03	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	20	Seca
N-04	5,82	64,1	263,10	37	4,91	17,74	10000	20	5,94
N-05	4,97	68,2	267,20	85	0,94	18,53	5,8	21	0,06
N-06	5,18	85,2	284,20	43	5,48	18,07	107	23	0,03
N-07	5,25	64	263,00	49	1,3	18,3	4,66	21	N.A
N-08	4,84	86,1	285,10	43	5,88	18,06	6,97	23	0,82
N-09	6,56	64,8	263,80	227	3,56	18,58	52,8	21	1,37
N-10	5,14	70,9	269,90	49	0	17,84	16	21	N.A
N-11	5,68	72,1	271,10	37	5,05	18,92	3,42	22	0,38
N-12	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	23	Seca
N-13	4,68	84,5	283,50	47	0,25	17,98	88,1	22	N.A
N-14	5,05	94,1	293,10	125	2,22	18	26,9	21	0,25
N-15	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	23	Seca
N-16	5,2	146,7	345,70	46	2,35	18,52	5,54	21	3,50
N-17	3,94	125	324,00	44	3,83	18	38,7	19	2,89
N-18	6,42	116	315,00	51	0	18,96	3,11	21	N.A
N-19	4,21	113	312,00	81	0	17,55	3,66	20	N.A
N-20	4,59	107	306,00	25	2,22	19,14	3,42	19	N.A
N-21	4,35	116,2	315,20	77	6,9	19,00	1,68	22	N.A
N-22	3,87	112,9	311,90	65	0,13	21,15	5,61	24	N.A
N-23	4,26	74	273,00	101	1,53	18	1,24	24	N.A



Identificação do ponto	pH	E _{medido} /ORP (mV)	EH Corrigido (mV)	CE (μS/cm)	OD (mg/L)	Turbidez	T da água (°C)	T do ar (°C)	Vazão (L/s)
N-24	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	25	Seca
N-25	4,46	81,9	280,90	39	3,14	17,23	3,32	20	0,62
N-26	4,39	109,2	308,20	29	2,88	17,72	56,7	21	N.A
N-27	4,14	119,8	318,80	40	1,48	20,08	5,44	20	N.A
N-28	4,37	109,4	308,40	36	3,42	20,04	1,04	27	0,17
N-29	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	22	Seca
N-30	4,69	98,6	297,60	52	5,66	17,75	11,2	20	0,76
N-31	5,06	82,1	281,10	93	3,46	18,42	2,35	20	0,13
N-32	4,95	60,3	259,30	42	4,27	18,37	5,25	20	N.A
N-33	5,12	79	278,00	77	1,71	18,29	2,61	22	0,10
N-34	4,66	153,5	352,50	28	5,51	18,58	1,87	22	0,34
N-35	5,19	70,3	269,30	152	0,58	17,53	10,2	24	0,00
N-36	3,88	147,6	346,60	26	3,11	18,42	50,6	21	0,24
N-37	5,46	84,6	283,60	21	0	19,4	9,15	21	0,43
N-38	5,12	89,4	288,40	12	6,51	18,75	0,97	23	1,67
N-39	5,06	70,7	269,70	60	0	17,77	10,4	21,55	N.A
N-40	4,18	104,9	303,90	43	0	18,9	30,4	22	N.A
N-41	4,53	117,9	316,90	77	3,62	17,2	7,42	19	1,51
N-42	3,87	138,5	337,50	45	4,96	18,21	2,23	22	1,59
N-43	4,22	128,3	327,30	39	4,94	19,17	2,09	21	2,57
N-44	3,33	136,9	335,90	53	0,34	17,89	1,32	23	N.A
N-45	4,26	86,9	285,90	20	6,65	18,47	6,59	21	1,30
N-46	3,92	140,6	339,60	51	0,6	18,82	5,84	22	0,48
N-47	4,04	133,1	332,10	45	1,51	18,58	7,94	22	N.A
N-48	3,99	129,6	328,60	59	0,64	19,10	126	21	0,16
N-49	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	22	Seca
N-50	5,12	62,8	261,80	78	0,13	18,38	5,38	24	0,06
N-51	3,66	116,9	315,90	27	5,54	19,09	0,25	21,7	0,49
N-52	6,09	68,3	267,30	363	0	18,35	13,2	19	0,20
N-53	4,57	98,8	297,80	36	0,43	20,56	5,3	24,65	0,21
N-54	5,14	108,6	307,60	56	3,69	19,13	3,56	20	0,38
N-55	3,77	131,8	330,80	42	2,21	18,04	2,65	19	1,87
N-56	5,79	68,8	267,80	96	0	18	3,44	20	N.A
N-58	4,68	63,8	262,80	227	1,52	18,19	32,5	24	N.A
N-61	3,69	136,9	335,90	18	8,05	17,00	1,17	19,43	1,46
N-62	4,31	85	284,00	52	0,11	18,34	5,46	20	0,16
N-63	5,12	68,6	267,60	36	0,8	17,57	13	20	N.A
N-64	5,5	90,5	289,50	44	3,19	18,3	13	21,6	0,58
N-65	6,38	48	247,00	16	9,49	18,73	35,1	20	5,26
N-66	4,9	95,5	294,50	95	0	17,59	23,8	20	N.A
N-67	3,94	128,3	327,30	27	0,05	19,03	6,04	25,7	N.A
N-68	4,18	128	327,00	91	0	18,24	15,7	22	0,11
N-69	4,48	136,2	335,20	49	0,11	20,06	3,18	25	N.A
N-70	5,87	51,2	250,20	71	5,82	22,93	9,88	24	N.A



Identificação do ponto	pH	E _{medido} /ORP (mV)	EH Corrigido (mV)	CE (μS/cm)	OD (mg/L)	Turbidez	T da água (°C)	T do ar (°C)	Vazão (L/s)
N-78	4,32	77,8	276,80	19	9,52	19,71	5,59	21	7,20
N-85	4,91	190,5	389,50	84	0	19,63	4,72	24	2,78
N-86	4,08	111,8	310,80	22	1,68	19,2	1,67	22	0,32
N-87	4,26	145,7	344,70	58	4	17,56	18,2	19,6	N.A
N-88	3,5	146,7	345,70	60	5,34	18,95	3,02	20	0,20
N-89	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	22	Seca
N-90	4	143,6	342,60	59	0	18,65	13,9	20	0,51
N-91	5,32	84,8	283,80	53	6,23	18,34	96,1	22	0,12
N-92	5,19	143,5	342,50	81	0	18,3	7	23	N.A
N-93	4,61	114	313,00	33	7,4	19,25	1,33	21	0,57
N-94	5,54	135,9	334,90	70	0,38	18,84	0,79	22	0,57
N-95	4,28	168,9	367,90	68	2,71	18,14	6,23	23,5	0,22

Fonte: CLAM (2024).

Os gráficos presentes da Figura 257 a Figura 261 apresentam os resultados obtidos a partir das análises dos parâmetros condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, potencial redox e turbidez, medidos *in situ* nas nascentes inventariadas nos períodos de seca e de chuva. A Figura 262 demonstra os valores de vazão medidos para as nascentes inventariadas que apresentaram condições de fluxo suficientes para as medições.

A partir do gráfico da Figura 257, nota-se uma alta predominância de nascentes com condutividade elétrica entre a faixa de 0 e 90 μS/cm, evidenciando a baixa concentração de sais nas surgências. A maior parte das nascentes apresenta um incremento do valor deste parâmetro durante o período chuvoso, apesar de haver algumas exceções como a N-04, N-20, N-40 e N-17, esta última apresentando o maior valor registrado, de 408 μS/cm.

A Figura 258 mostra um alta variação entre os valores de oxigênio dissolvido nas nascentes inventariadas. A maioria das nascentes apresentou condições anaeróbias na surgência, em função do pouco contato com o oxigênio atmosférico, evidenciado também pelo baixo fluxo. No entanto, algumas nascentes apresentaram valores de OD mais elevados, possivelmente em função de maior velocidade no fluxo d'água, o que auxilia a troca gasosa do fluido com o ambiente e eleva os valores deste parâmetro.

Além disso, há uma relação entre a Temperatura e o Oxigênio Dissolvido. Como a solubilidade do gás oxigênio em água é inversamente proporcional ao aumento da temperatura (Fiorucci & Benedetti Filho, 2004), a concentração de OD foi menor em nascentes com maior temperatura, a exemplo da nascente N-17, que teve medições de 22 °C e 0,26 mg/L de OD. No entanto, a relação entre estes parâmetros não é linear, pois pode ser afetada por outras variáveis, tais como pressão atmosférica, salinidade e concentração de sólidos dissolvidos na água (Fiorucci & Benedetti Filho, 2004).

No gráfico da Figura 259 é possível observar um comportamento homogêneo na faixa de pH das nascentes, nas quais todas as águas apresentam um caráter ácido, algumas levemente ácidas, próximo à neutralidade (pH = 7). No geral, as nascentes apresentaram valores de pH mais baixos durante o período chuvoso em relação aos dados do período seco. A diferença de faixa de pH no período seco e chuvoso



pode estar associado à concentração de dióxido de carbono nas águas. Quanto maior a concentração de CO₂ livre, menor a faixa de pH na água subterrânea. No período de chuvas, há um maior aporte de CO₂ para as águas subterrâneas, o que pode reduzir a faixa de pH. Importante lembrar que também há outros fatores envolvidos, o que torna a análise mais complexa, visto que a origem natural do pH das águas está associada, além da absorção de gases da atmosfera, à dissolução das rochas, à oxidação da matéria orgânica e também à fotossíntese (Von Sperling, 2005).

Na Figura 260 é observado a tendência de as nascentes apresentarem maior potencial redox durante o período de seca, majoritariamente entre 300 e 500 mV, enquanto no período chuvoso o potencial redox está, na maioria das nascentes, na faixa entre 250 e 350 mV. Essa ampla faixa de valores indica que as condições redox são fortemente influenciadas pelas características geológicas, hidrológicas e biogeoquímicas de cada nascente.

A variação sazonal dos valores de potencial redox pode ser explicada por diferentes processos. Na fase inicial das chuvas, o aumento da pressão capilar na zona vadosa, devido à redução do diâmetro dos poros, exerce uma tração descendente sobre os níveis de água subterrânea, podendo reduzir temporariamente o nível de água e os valores de Eh (Panguriseng & Nanda, 2018). Além disso, a chuva pode desencadear o aumento das atividades microbianas, aumentando o consumo de oxigênio e alterando os pares redox, reduzindo os valores de Eh (Sacco *et al.*, 2021). Outro fator relevante é a recarga rápida das águas subterrâneas durante chuvas intensas, podendo o influxo de água alterar o equilíbrio de espécies redox-ativas e, consequentemente, os valores de Eh (Tan *et al.*, 2016).

Para o parâmetro turbidez, cujos valores obtidos podem ser visualizados na Figura 261, também são observadas grandes variações nos resultados, com valores entre 0 e 189 NTU no período seco e de 0 a 88,1 NTU no período chuvoso. Essas diferenças refletem as condições específicas de cada nascente, desde áreas mais preservadas até áreas brejosas e muito antropizadas.

No geral, a turbidez é maior no período chuvoso, devido à precipitação que ativa os processos erosivos, elevando a quantidade de sedimentos em suspensão nas águas. Além disso, sedimentos de fundo nos períodos de menor vazão podem se tornar sedimentos em suspensão durante as cheias (Mortatti & Probst, 1998). Entretanto, em alguns pontos, observou-se turbidez mais elevada no período seco em relação ao período chuvoso. Apesar da precipitação ser o fator de maior influência na turbidez, os níveis de turbidez podem sofrer influências de fatores como uso e ocupação do solo e as características morfológicas da bacia (Penedo *et al.*, 2023).

Por fim, a Figura 262 apresenta a vazão medida nos pontos das nascentes. A maioria das nascentes apresenta vazão relativamente baixa, no geral abaixo de 1 L/s. Algumas exceções a este comportamento são observadas nos pontos N-04, N-18, N-65 e N-78, que apresentam medidas de vazão acima de 5 L/s. De forma geral, a vazão tendeu ao aumento no período chuvoso, em comparação ao período seco.

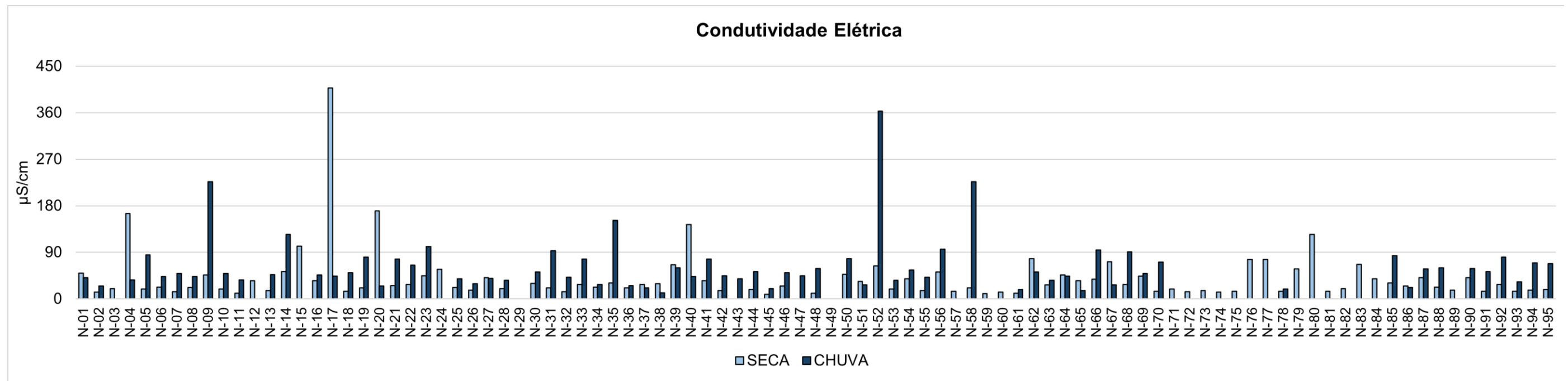


Figura 257

Condutividade elétrica medida *in situ* nas nascentes.
Fonte: CLAM, 2024.

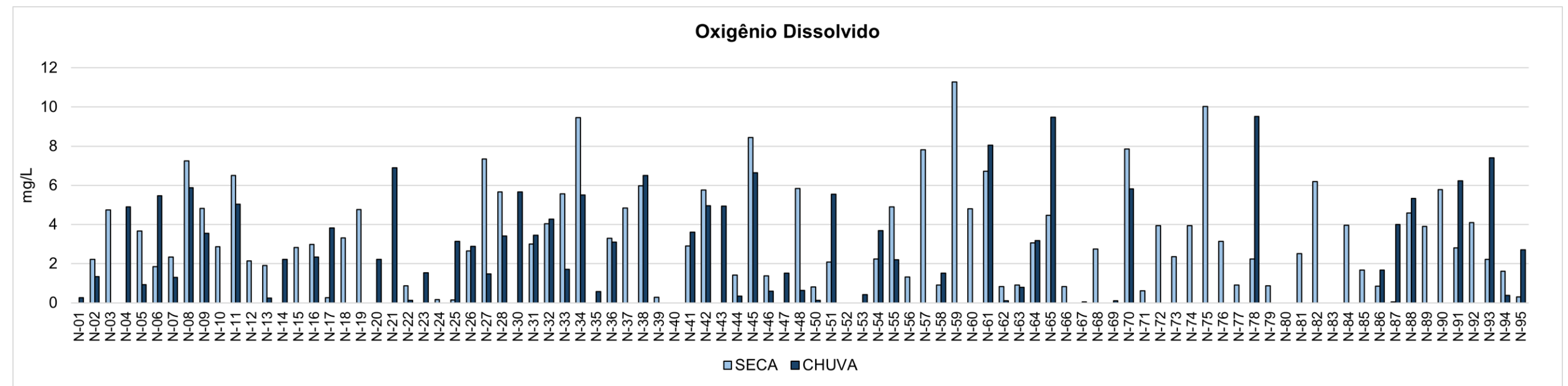


Figura 258

Oxigênio dissolvido medida *in situ* nas nascentes.
Fonte: CLAM, 2024.

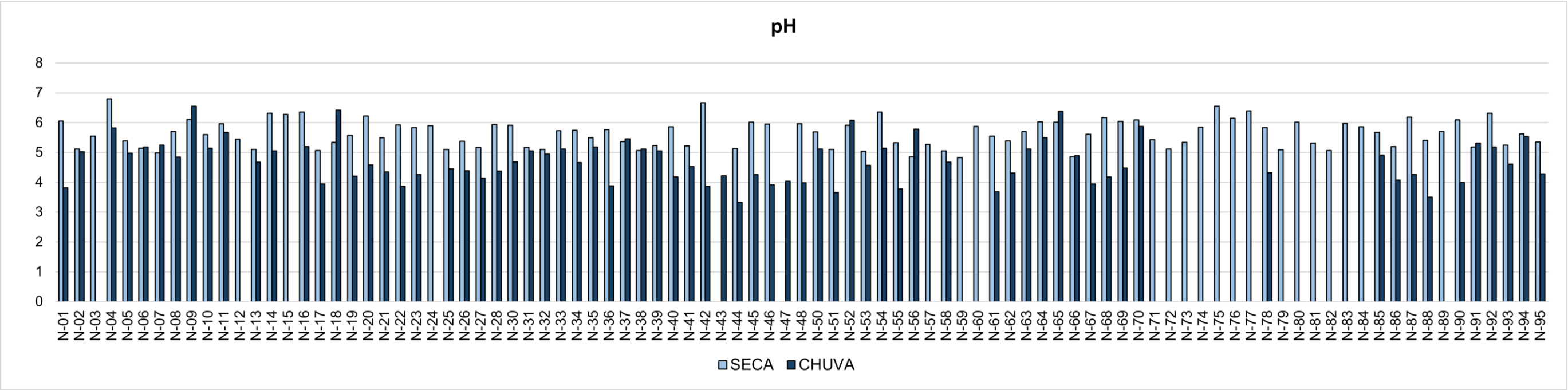


Figura 259 pH medido *in situ* nas nascentes.
Fonte: CLAM, 2024.

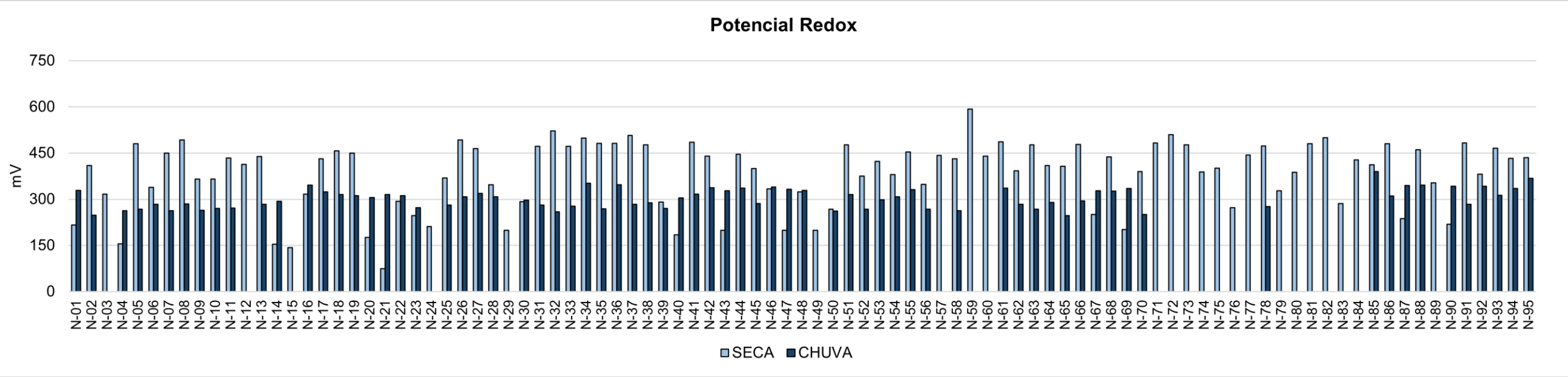


Figura 260 Potencial Redox medido *in situ* nas nascentes.
Fonte: CLAM, 2024.

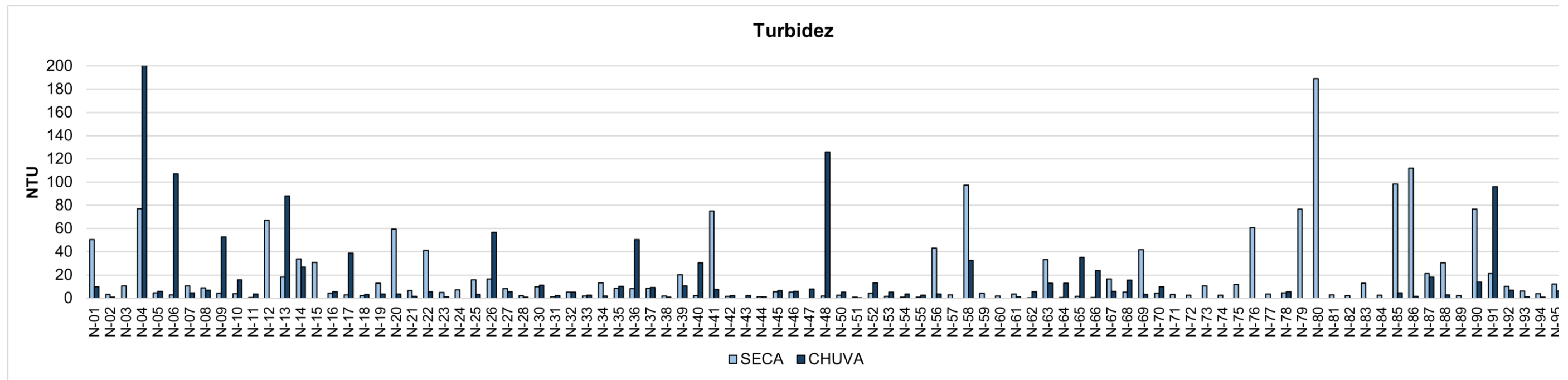


Figura 261

Turbidez medida *in situ* nas nascentes.
Fonte: CLAM, 2024.

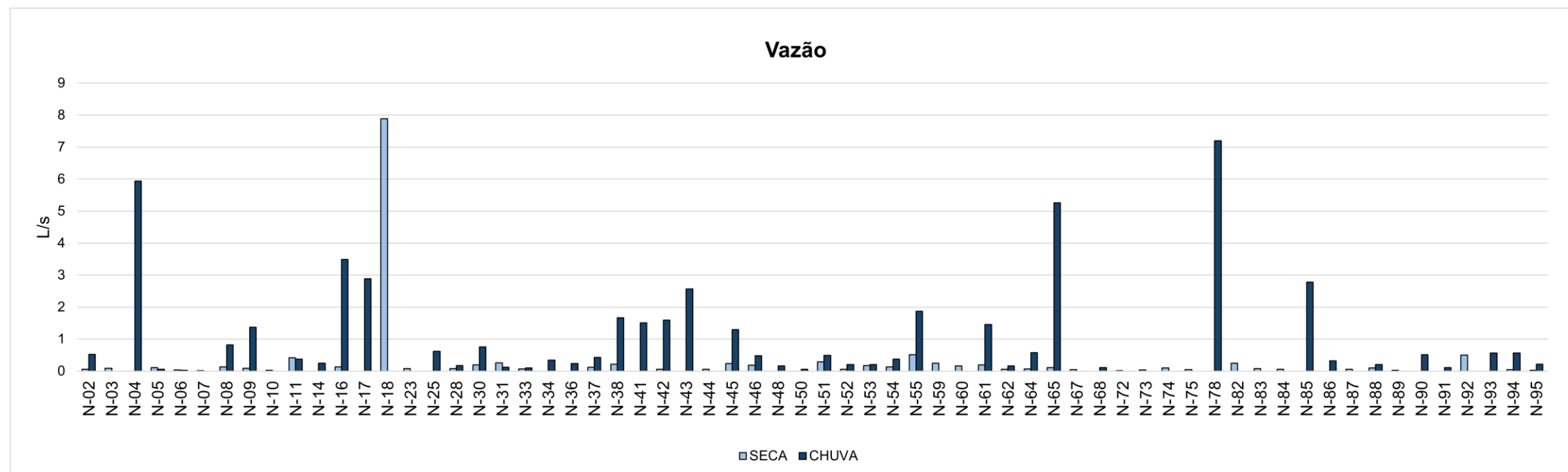


Figura 262

Vazão das nascentes.
Fonte: CLAM, 2024.



Unidades Hidrogeológicas

As unidades hidrogeológicas da área em questão foram descritas a partir dos dados de mapeamentos geológicos e estudos hidrogeológicos já realizados na região, como os trabalhos de Targa (2018) e o Projeto Hidrogeoambiental do Plano Diretor de Poços de Caldas (Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, [s.d.]).

De maneira geral, o comportamento dos sistemas hidrogeológicos está diretamente relacionado à composição litológica das unidades estratigráficas presentes na área. Além disso, o grau de intemperismo e o grau de fraturamento das rochas também influenciam as condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas. Na área do Projeto Colossus podem ser individualizadas duas unidades hidrogeológicas, sendo elas: Aquífero Poroso/Granular e Aquífero Fissural.

O Aquífero Fissural é constituído pelas rochas ígneas intrusivas e vulcânicas frescas, que incluem principalmente foiaítos, tinguaitos e fonólitos e que apresentam características químicas e mineralógicas muito semelhantes. Essas rochas são densas, compactas, não-porosas, pouco permeáveis e apresentam capacidade aquífera muito limitada. Entretanto, devido aos eventos tectônicos que atuaram no Complexo de Poços de Caldas, as rochas da região apresentam um sistema de falhas e fraturas profundas, abertas e interconectadas, que permitem a percolação e infiltração de água subterrânea. Assim, a circulação e o armazenamento da água subterrânea ocorrem por meio das discontinuidades das rochas, caracterizando a porosidade secundária.

A eficiência do Aquífero Fissural depende diretamente da densidade, abertura e conectividade dessas fraturas. Em áreas onde as fraturas são mais densas e conectadas, é possível observar maior produtividade de água subterrânea. Por outro lado, em regiões onde as fraturas são menos desenvolvidas ou preenchidas por minerais secundários, a circulação hídrica é mais restrita, resultando em uma menor capacidade de armazenamento e fluxo.

Devido à distribuição irregular das fraturas, Aquífero Fissural apresenta grande heterogeneidade e anisotropia. O fluxo nos aquíferos fissurais é controlado pelas fraturas principais, enquanto as zonas menos conectadas podem atuar como reservas de baixa permeabilidade. O tempo de residência das águas subterrâneas varia de curto a muito longo, dependendo da profundidade e do grau de confinamento das fraturas.

Segundo Cruz & Peixoto (1991), o Aquífero Fissural pode ser dividido em três zonas principais. São elas: 1. zona aquífera rasa; 2. zona aquífera intermediária; e 3. zona aquífera de circulação profunda. As duas zonas mais superficiais estão relacionadas a nascentes, a maior parte das fontes frias e as águas explotadas por meio de poços tubulares com profundidades até 200 m, enquanto a última zona está associada a fontes termais.

Mais superficialmente, a presença de um manto de alteração proveniente da alteração das rochas subjacentes propicia a existência do Aquífero Poroso/Granular, no qual a circulação de águas subterrâneas ocorre pelos poros entre os grãos da rocha alterada (porosidade primária). O manto de alteração é composto por uma matriz heterogênea de materiais arenosos e argilosos, cuja granulometria e mineralogia variam em função das características da rocha original e das condições de intemperismo a que foi submetida. O material arenoso, geralmente mais permeável, constitui as zonas de maior



transmissividade do aquífero, permitindo uma circulação mais eficiente da água subterrânea. Já o material argiloso, devido à sua baixa permeabilidade, pode atuar como barreiras locais ao fluxo, favorecendo a retenção de água em determinadas camadas e contribuindo para a formação de zonas de armazenamento temporário.

O Aquífero Poroso/Granular é particularmente sensível às condições climáticas, pois depende diretamente da recarga pela infiltração das águas pluviais. Durante períodos chuvosos, a saturação do manto de alteração aumenta, melhorando a conectividade hidráulica entre os poros e favorecendo o fluxo subterrâneo. Já em períodos secos, a drenagem e a evapotranspiração podem reduzir significativamente o armazenamento e o nível de saturação.

A espessura e continuidade do manto de alteração variam conforme fatores geológicos e geomorfológicos, como topografia e grau de intemperismo das rochas. Ademais, a composição argilosa do manto de alteração pode atuar na proteção da qualidade das águas subterrâneas, retendo poluentes e funcionando como um filtro natural, diminuindo o risco de contaminação em camadas mais profundas.

Destaca-se que o sistema de fraturas do Aquífero Fissural pode estar associado a zonas de recarga preferencial, onde a infiltração é facilitada por fatores como topografia, presença de solos permeáveis ou contato direto com o Aquífero Poroso/Granular. Nessas condições, a interação entre os dois sistemas aquíferos pode contribuir para a recarga do Aquífero Fissural, especialmente em períodos de alta precipitação.

Na Figura 263 são apresentadas seções hidrogeológicas elaboradas a partir dos perfis litológicos dos poços de monitoramento instalados na área do Projeto Colossus. Foi considerado o nível de água medido em cada instrumento após a perfuração. A localização das seções hidrogeológicas pode ser visualizada no mapa da Figura 264.

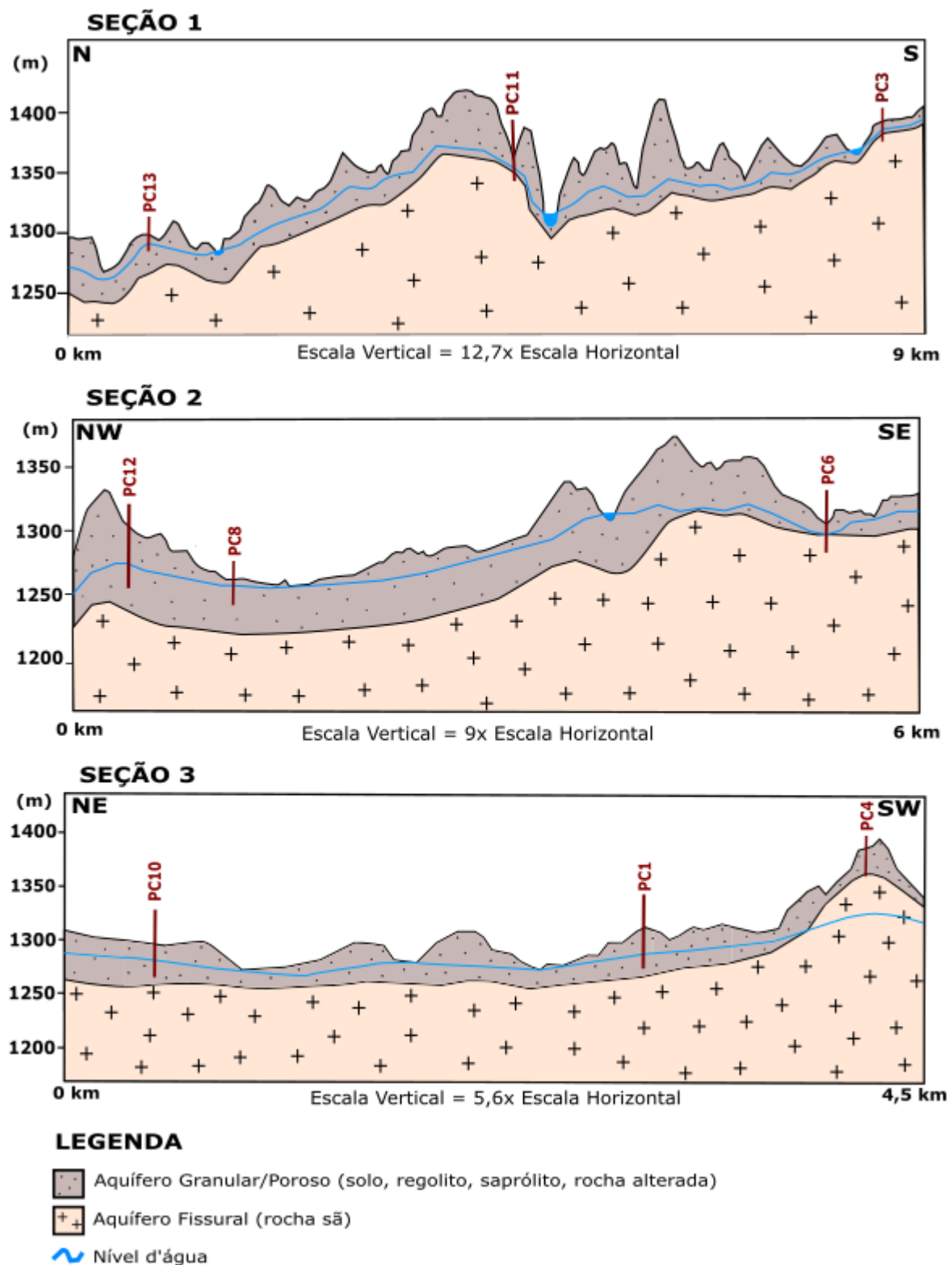


Figura 263

Seções hidrogeológicas esquemáticas.
Fonte: CLAM (2024).

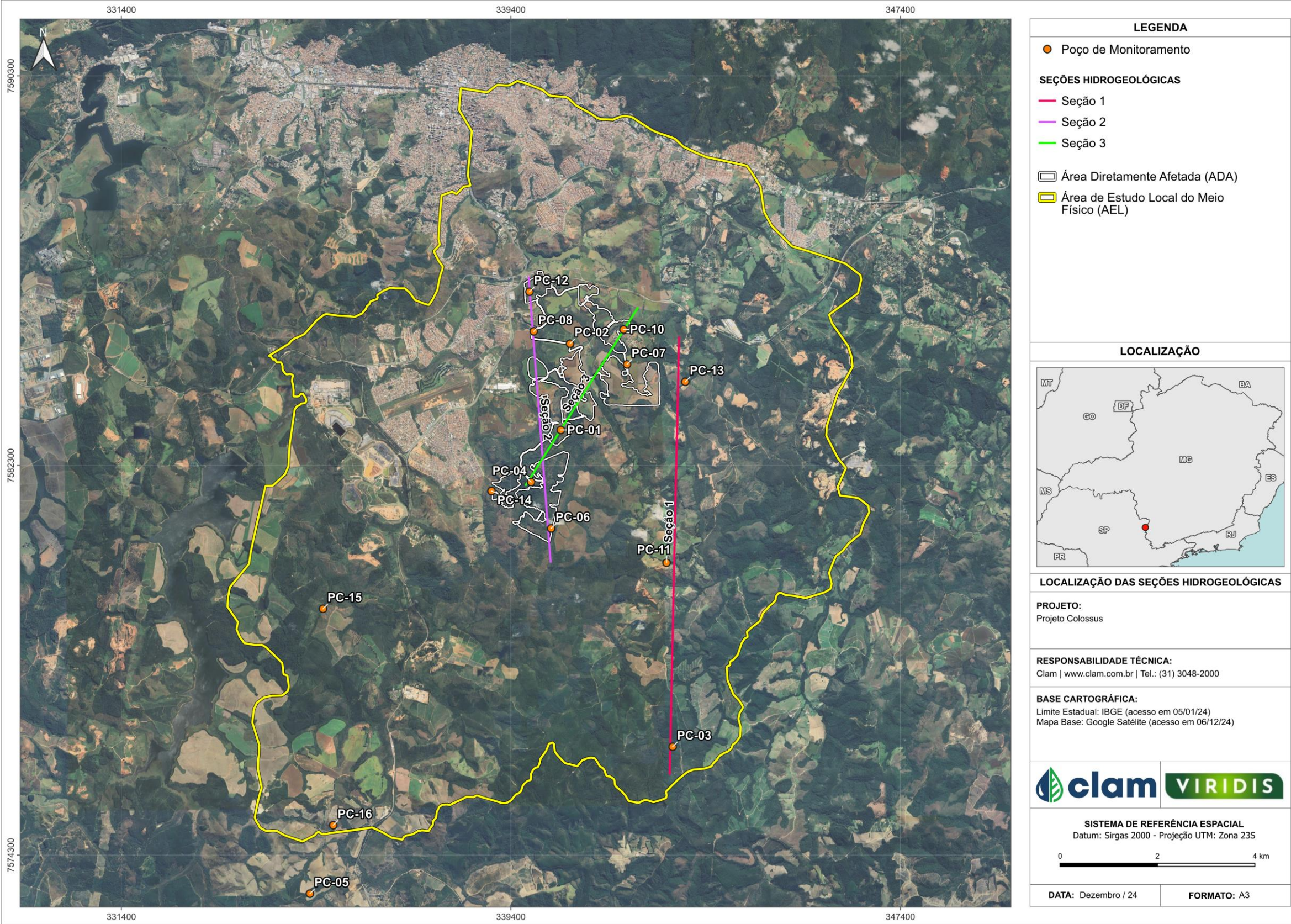


Figura 264 Localização das seções hidrogeológicas.



Ao observar as três seções hidrogeológicas elaboradas a partir dos dados dos poços de monitoramento instalados na área do Projeto Colossus, nota-se que a espessura média do Aquífero Poroso/Granular na área é de cerca de 50 metros. A superfície freática nas seções 1 e 2 indica que, no geral, esta unidade aquífera encontra-se sub-saturada.

Na seção 3, chama a atenção o fato de que os poços PC-10 e PC-01 não atingiram o aquífero fissural, representado pela rocha sã, mas interceptaram a superfície freática. Já o poço PC-04, localizado em maior cota topográfica, atingiu a rocha sã a uma profundidade de 26 metros, mas não foi encontrado água até a sua profundidade máxima de perfuração. Assim, diferentemente do que foi observado nas seções 01 e 02, a superfície freática está abaixo do Aquífero Poroso/Granular na região onde foi instalado o poço PC-04, ou seja, o Aquífero Poroso/Granular é insaturado no local.

A condição insaturada do Aquífero Poroso/Granular em regiões específicas pode ser explicada pela presença de materiais menos permeáveis localmente ou pela variação topográfica, ocorrendo especialmente em áreas de relevo mais elevado ou de encostas acentuadas, onde a recarga é mais limitada. Vale destacar que as seções hidrogeológicas foram elaboradas considerando os dados de medição de nível d'água do período seco, sendo que a conformação da superfície freática e sua relação com as unidades aquíferas pode variar sazonalmente. Durante a estação chuvosa, por exemplo, o aumento da taxa de recarga pode levar a um incremento significativo na saturação do aquífero sub-superficial.

Caracterização Hidrodinâmica dos Sistemas Hidrogeológicos

Os sistemas hidrogeológicos da área apresentam comportamentos variáveis em função das características litológicas e estruturais das formações geológicas. As propriedades hidrodinâmicas são controladas por parâmetros como porosidade, condutividade hidráulica, transmissividade e armazenamento específico, que determinam a capacidade do meio aquífero de armazenar e transmitir água.

A zona aquífera rasa, desenvolvida principalmente no manto de intemperismo e nos solos sobrejacentes, apresenta maior porosidade efetiva e condutividade hidráulica, devido à maior conectividade entre os poros. Nas zonas mais profundas, que são controladas pela presença de fraturas e sistemas de falhas em rochas consolidadas, espera-se menor condutividade hidráulica em relação à zona rasa, mas ainda suficiente para permitir a existência dos fluxos subterrâneos. Assim, o comportamento hidrodinâmico em pequenas profundidades é mais influenciado pela porosidade primária, enquanto em maiores profundidades tem-se a conectividade e abertura das fraturas, que atuam como caminhos preferenciais para o fluxo, como fator determinante.

A interação entre as zonas aquíferas é outro aspecto relevante das características hidrodinâmicas do sistema. A recarga do Aquífero Granular/Poroso alimenta parcialmente o aquífero subjacente, especialmente ao longo das fraturas conectadas.

Para a zona aquífera rasa, foram definidas as condutividades hidráulicas por meio da realização do ensaio de permeabilidade do tipo *Slug Test* nos poços de monitoramento instalados na área do Projeto Colossus. Como a profundidade dos poços de monitoramento não ultrapassa 40 metros, não foi possível obter os parâmetros hidrodinâmicos para as zonas mais profundas.



A condutividade hidráulica de materiais de cobertura varia amplamente dependendo de sua composição mineralógica, granulometria, grau de compactação, porosidade e teor de água. Em geral, materiais argilosos apresentam baixa condutividade hidráulica, devido à sua estrutura de grãos muito finos e alta coesão, que limitam a capacidade de condução de água. Em contraponto, as frações mais arenosas geralmente apresentam uma condutividade hidráulica maior em comparação às frações predominantemente argilosas, devido à maior porosidade efetiva e ao maior tamanho dos grãos.

De forma geral, os valores obtidos para a condutividade hidráulica do Aquífero Granular/Poroso na área de estudo, calculados pelo método de Bower & Rice (1971), são baixos, o que está coerente com as descrições litológicas dos poços, visto que, no geral, o material subsuperficial é bem argiloso. Os resultados variaram entre os poços, o que demonstra a heterogeneidade do aquífero, sobretudo na composição do material, que apesar de predominantemente argiloso, tende a ser mais arenoso pontualmente. A maioria dos poços indicam valores de K na faixa de 10^{-8} a 10^{-9} m/s, mostrando uma permeabilidade moderada a baixa. Esses valores indicam que, embora haja um certo fluxo de água, ele é relativamente restrito em comparação com áreas de maior permeabilidade.

Os poços PC-07 e PC-15 apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica, com K de $2,39 \times 10^{-7}$ m/s e $4,39 \times 10^{-7}$ m/s, respectivamente. Esses resultados indicam que essas áreas do aquífero possuem uma maior capacidade de condução de água, possivelmente associada a zonas de maior porosidade ou a uma predominância de materiais mais arenosos, que favorecem o fluxo hídrico. Em contraste, o poço PC-08 apresentou um valor de K de $5,68 \times 10^{-10}$ m/s, caracterizando condições de baixa permeabilidade. Isso sugere que essa zona pode estar associada a materiais mais finos e compactos, como argilas, que apresentam uma capacidade muito reduzida de transmissão de água. Dessa forma, os resultados apontam para a possível presença de frações arenosas predominantes nos poços PC-07 e PC-15, enquanto no poço PC-08 predominam materiais essencialmente argilosos, o que influencia significativamente o comportamento hidrogeológico do aquífero.

Na Tabela 84 são indicados os valores de condutividade hidráulica “K” (m/s) obtidos em cada um dos instrumentos testados.

Tabela 84 Valores de Condutividade Hidráulica (K) obtidos pelos ensaios de Slug Test realizados nos poços.

Identificação dos Poços	Data de Execução do Slug Test	K (m/s) Bower & Rice (1971)
PC-01	12/11/2024	$2,53 \times 10^{-8}$
PC-02	12/11/2024	$1,18 \times 10^{-8}$
PC-03	21/11/2024	$5,38 \times 10^{-9}$
PC-04	11/11/2024	$1,82 \times 10^{-8}$
PC-06	11/11/2024	$9,65 \times 10^{-9}$
PC-07	27/09/2024	$2,39 \times 10^{-7}$
PC-08	08/11/2024	$5,68 \times 10^{-10}$
PC-09	13/11/2024	$1,37 \times 10^{-9}$
PC-10	12/11/2024	$1,32 \times 10^{-9}$



Identificação dos Poços	Data de Execução do Slug Test	K (m/s) Bower & Rice (1971)
PC-11	21/11/2024	$4,51 \times 10^{-9}$
PC-12	02/10/2024	$1,03 \times 10^{-5*}$
PC-13	06/11/2024	$1,01 \times 10^{-8}$
PC-14	01/11/2015	$3,83 \times 10^{-9}$
PC-15	22/11/2024	$4,39 \times 10^{-7}$

*Valor desconsiderado.

Fonte: CLAM (2024).

Fluxo da água subterrânea

Na Figura 265 é apresentado o mapa potenciométrico elaborado para a área do projeto, com base em dados de nível d'água obtidos nos furos de sondagem, além das cotas das nascentes inventariadas. Cada nascente representa um ponto de descarga do aquífero, onde a superfície do nível d'água subterrâneo (NA) intercepta a superfície do relevo.

É importante ressaltar que os dados utilizados na elaboração da potencimetria são objeto da compilação de monitoramento de nível d'água de diferentes períodos. Portanto, as leituras não se apresentam de forma intrínseca ao período seco, como normalmente é feito.

No mapa da Figura 265, as linhas equipotenciais, representativas da carga hidráulica, estão espaçadas de 20 em 20 metros. A direção preferencial do fluxo subterrâneo é NW-SE. A direção do fluxo de águas subterrâneas se dá das cotas mais elevadas para as áreas de menores cotas topográficas. Além disso, a conformação da superfície freática acompanha, de forma suavizada, a topografia local.

Cabe destacar que as isolinhas mostradas no mapa são uma representação inferida da superfície freática, sendo resultantes de uma interpolação dos dados de nível d'água considerados. Assim, ao distanciar-se dos pontos com informação, a superfície freática pode não representar fielmente a realidade hidrogeológica local.

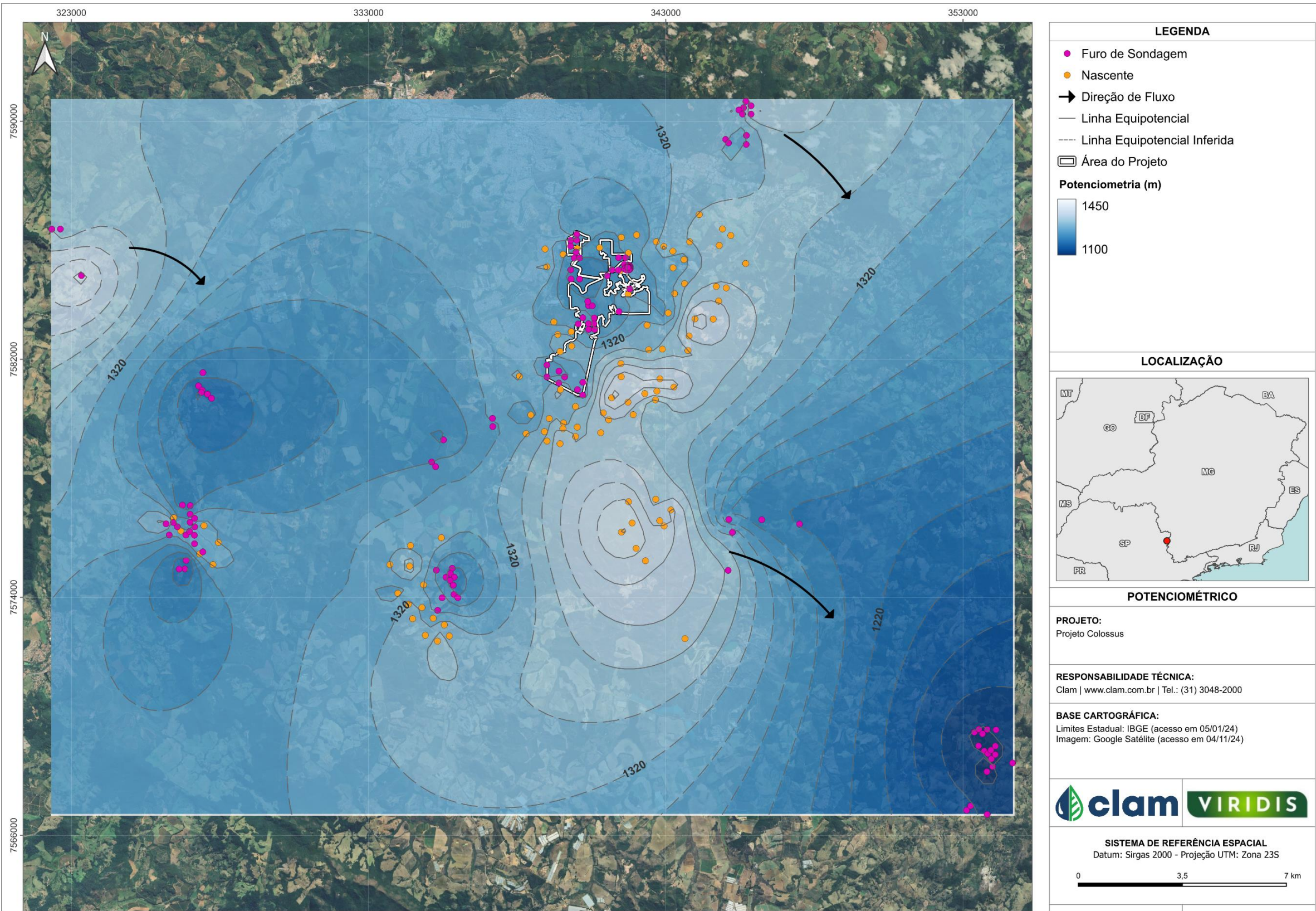


Figura 265 Mapa da superfície potenciométrica das áreas de estudo.



6.1.12.2. Usos das Águas Subterrâneas

6.1.12.2.1. Área de Estudo Regional

6.1.12.2.1.1. Metodologia

A quantificação dos usos outorgados na Área de Estudo Regional (AER) foi realizada utilizando as informações sobre as concessões de outorga disponibilizadas no banco de dados na Plataforma IDE-Sisema, que engloba todo o Estado de Minas Gerais, por meio das camadas “Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos” e “Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos (IGAM)”. O *download* dos arquivos foi realizado no dia 16/08/2024, em formato *shapefile*, o que possibilitou a manipulação de dados via Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Para a análise de dados as informações foram filtradas pelo tipo de outorga (superficial ou subterrânea), sendo desconsiderados os usos superficiais no presente tópico. Foram identificados os tipos de consumo, tipos de uso da água, finalidades, município, vazões autorizadas e os nomes dos recursos hídricos para a AER.

Destaca-se que não foram levadas em consideração as datas de validade das autorizações, sendo utilizados todos os registros disponíveis na Plataforma IDE-Sisema. Na Figura 266 estão demonstradas as localizações dos pontos dos usos outorgados.

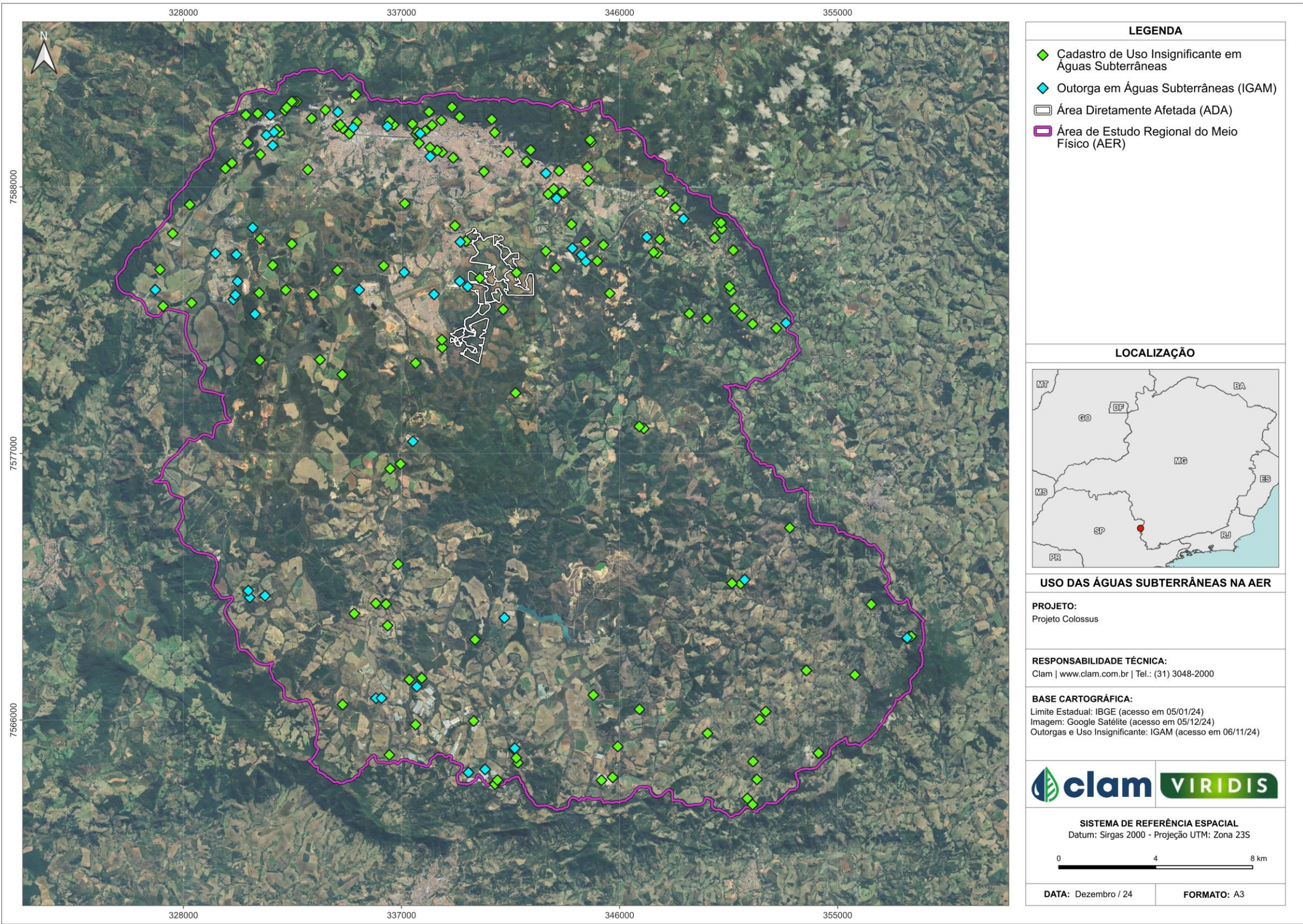


Figura 266 Localização dos usos subterrâneos autorizados na AER



6.1.12.2.1.2. Resultados

As autorizações do IGAM, em âmbito estadual, somam 199 no total, com 46 outorgas e 153 usos insignificantes (Figura 267). Destaca-se que não foram identificadas autorizações subterrâneas federais na AER.

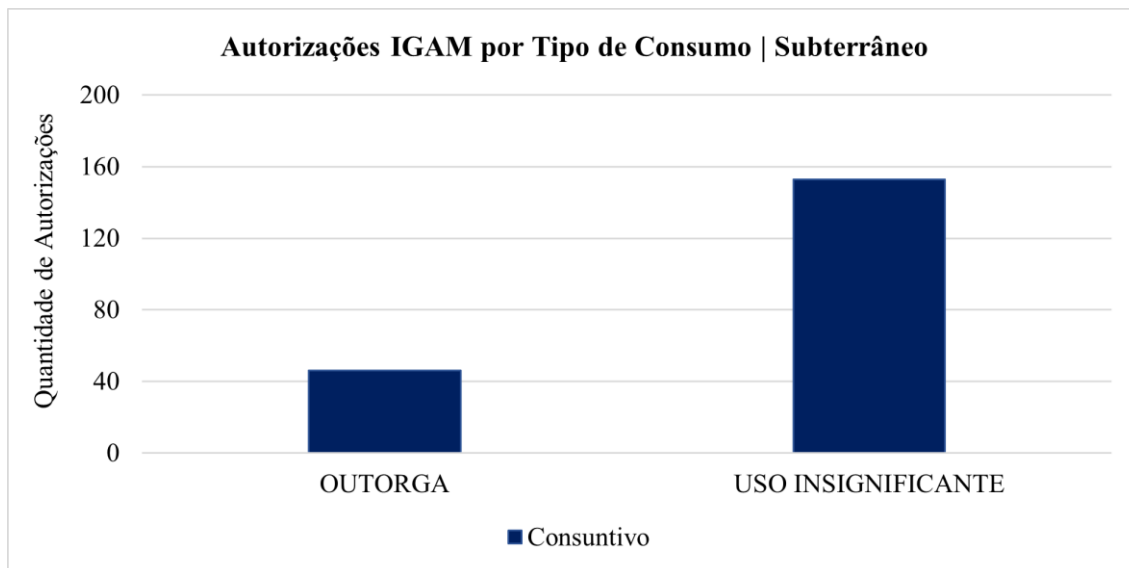


Figura 267 Autorizações concedidas pelo IGAM na AEL

As autorizações de usos consuntivos, que envolvem o consumo direto da água, para as águas subterrâneas são de Tipo/Modo de uso para “exploração de água subterrânea”, totalizam 197 certificados, e de “rebaixamento de nível de água” com 2 certificados (Figura 268). As vazões máximas mensais são de 0,13 m³/s.

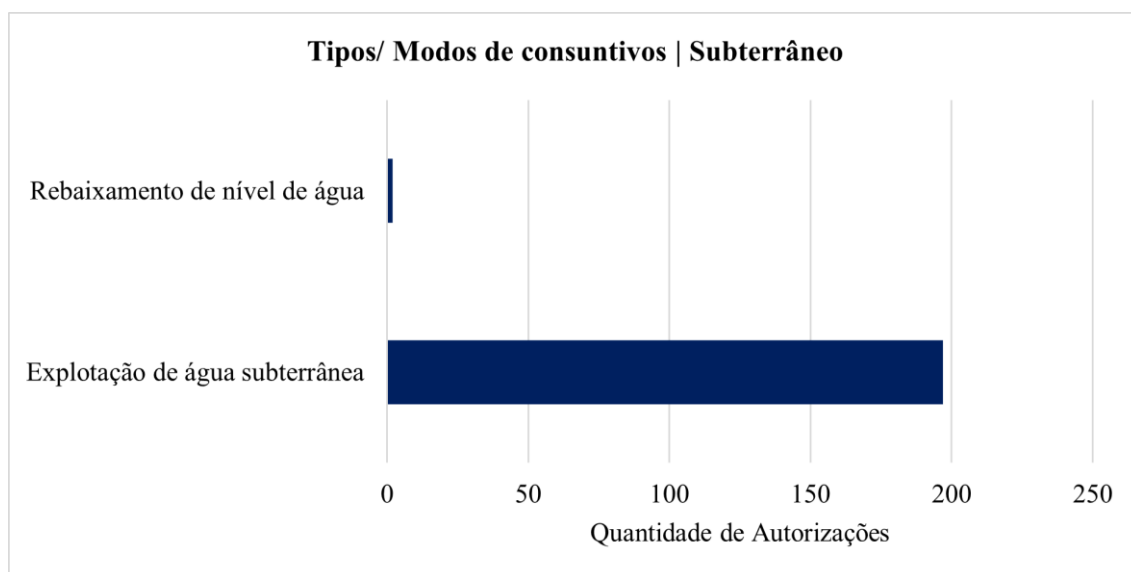


Figura 268 Tipos e modo de uso consuntivo IGAM



Analisando as Finalidades de Uso autorizadas pelo IGAM para usos consuntivos, além da categoria “outros”, o “consumo humano” foi predominante citado, sendo 139 dos 199 documentos. e ainda, de forma relevante, temos “dessedentação animal” com 52 citações, “indústria” com 41 e “irrigação” com 34. Uma vez que um certificado pode conter mais de uma finalidade, o gráfico da Figura 269 demonstra a quantidade de citações de cada tipologia, na totalidade de autorizações consuntivas.

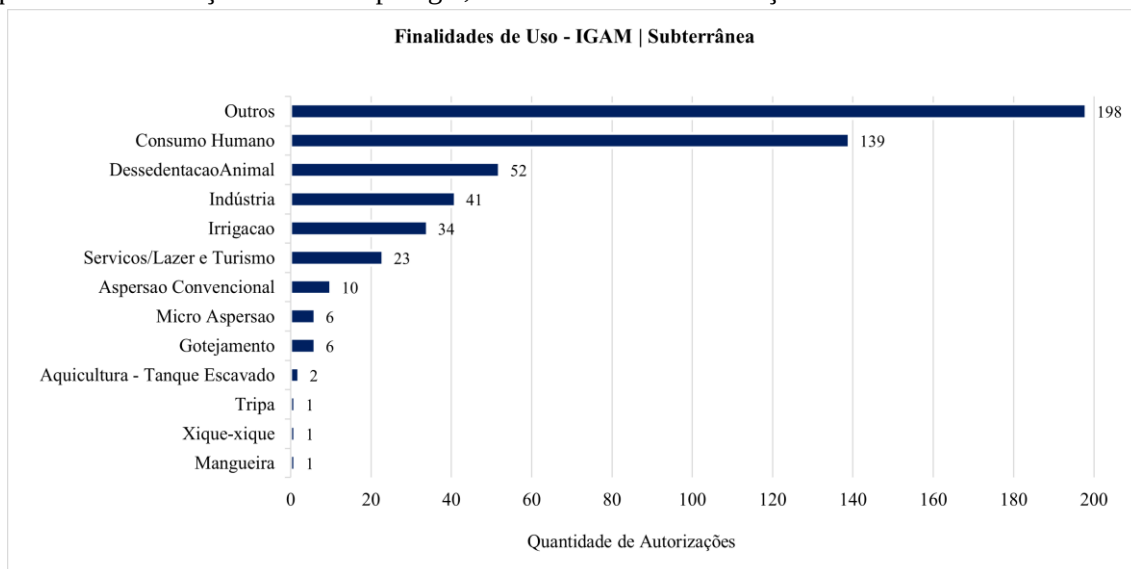


Figura 269 Finalidades de usos consuntivos IGAM

Em relação as vazões, destaca-se a finalidade, assim como o número de citações, a de “consumo humano/outros” com a vazão máxima mensal de 0,04 m³/s, sendo o ponto de captação com maior vazão individual (0,005 m³/s), localizado a 4,5 km a oeste da ada, em uma planta industrial. já a “indústria/outros” apesar de não ser a mais citada nos documentos, é a terceira maior vazão captada (0,02 m³/s). As demais finalidades somam a maior parcela da vazão autorizada, com 0,13 m³/s.

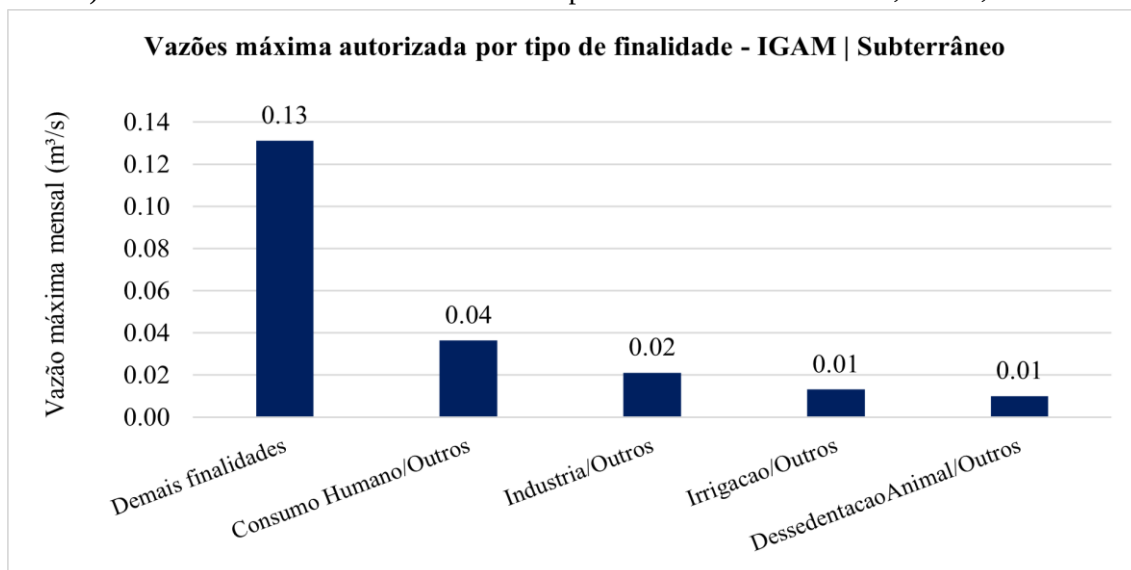


Figura 270 Vazões máxima autorizada pela IGAM por tipo de finalidade na AER



Os dados dos usos outorgados subterrâneos identificados junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) na AER são apresentados no **Apêndice 13**.

6.1.12.2.2. Área de Estudo Local

6.1.12.2.2.1. Metodologia

A quantificação dos usos outorgados na Área de Estudo Local (AEL) foi realizada utilizando as informações sobre as concessões de outorga disponibilizadas no banco de dados na Plataforma IDE-Sisema, que engloba todo o Estado de Minas Gerais, por meio das camadas “Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos” e “Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos (IGAM)”. O *download* dos arquivos foi realizado no dia 16/08/2024, em formato *shapefile*, o que possibilitou a manipulação de dados via Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Para a análise de dados as informações foram filtradas pelo tipo de outorga (superficial ou subterrânea), sendo desconsiderados os usos superficiais no presente tópico. Foram identificados os tipos de consumo, tipos de uso da água, finalidades, município, vazões autorizadas e os nomes dos recursos hídricos para a AEL.

Destaca-se que não foram levadas em consideração as datas de validade das autorizações, sendo utilizados todos os registros disponíveis na Plataforma IDE-Sisema. Na Figura 271 estão demonstradas as localizações dos pontos dos usos outorgados.

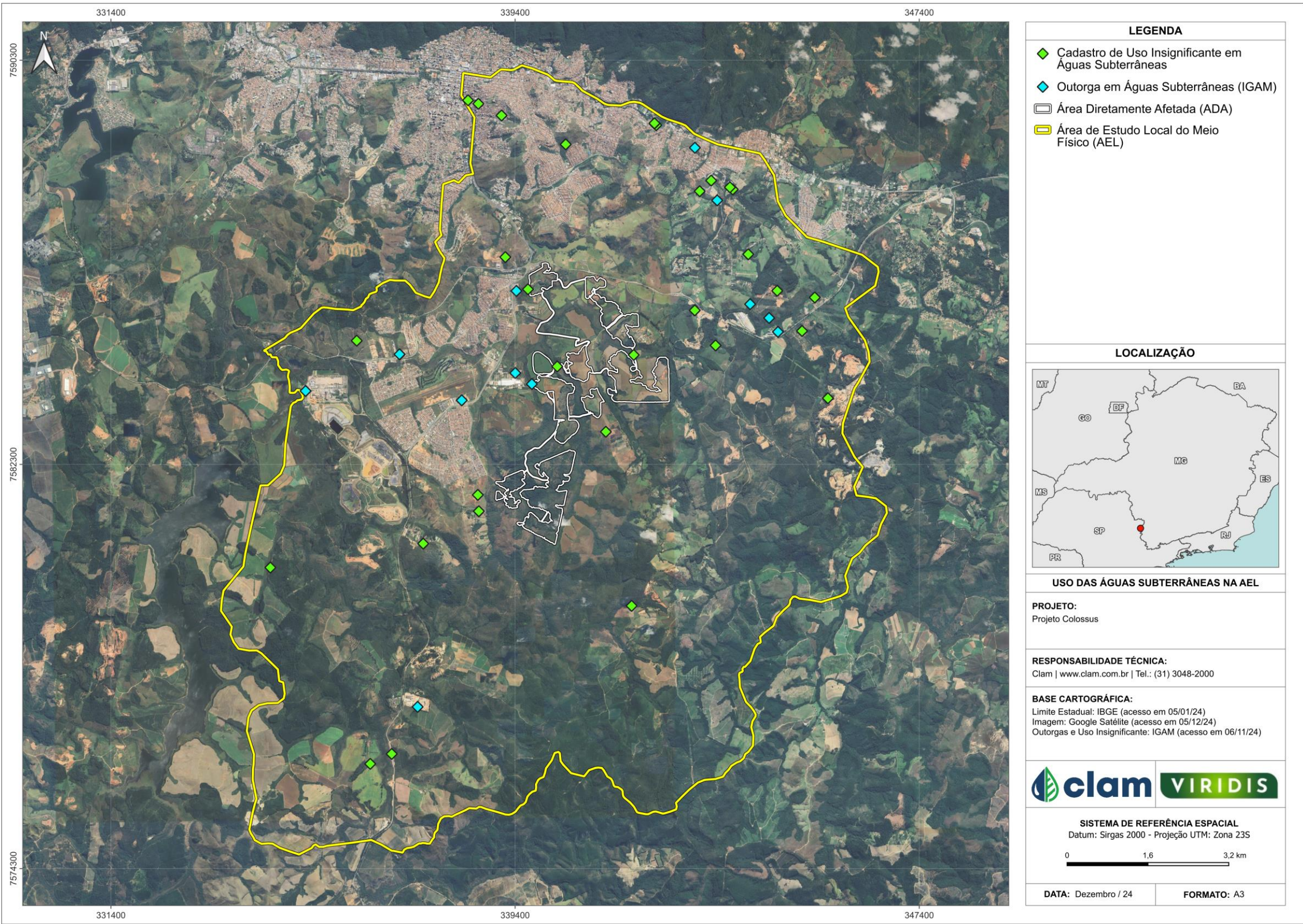


Figura 271 Localização dos usos subterrâneos autorizados na AEL



6.1.12.2.2. Resultados

As autorizações do IGAM para o uso das águas subterrâneas na AEL, em âmbito estadual, somam 44 no total, com 13 outorgas e 31 usos insignificantes, como pode ser visto no gráfico da Figura 272. Os usos identificados são somente consuntivos, que envolvem o consumo direto da água, para o Tipo/Modo de uso “Exploração de água subterrânea”.

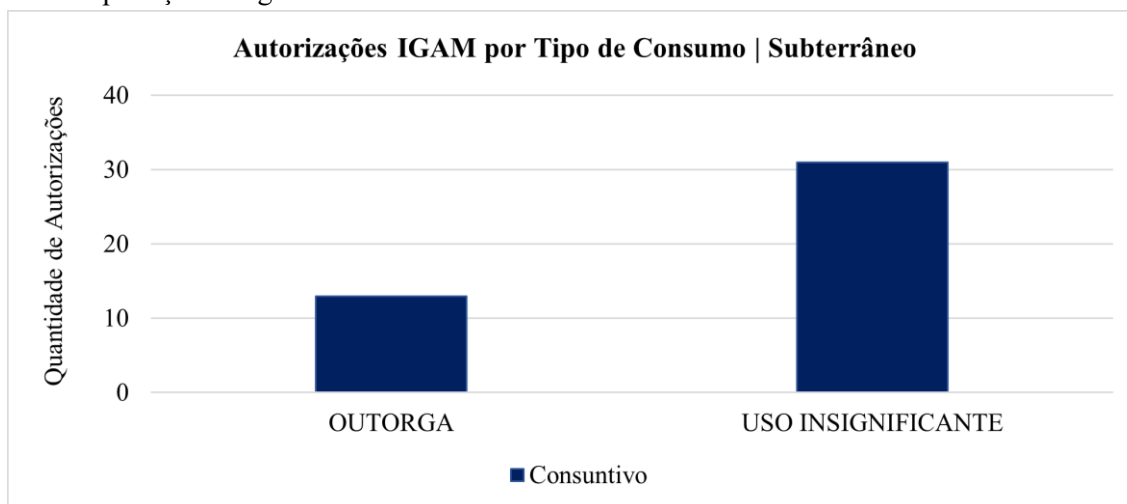


Figura 272 Autorizações concedidas pelo IGAM na AEL

Analisando as Finalidades de Uso autorizadas pelo IGAM, além da categoria “outros”, assim como para a AER, o “consumo humano” foi predominante citado, sendo 26 dos 44 documentos para usos consuntivos de águas subterrâneas. Uma vez que um certificado pode conter mais de uma finalidade, o gráfico da Figura 273 demonstra a quantidade de citações de cada tipologia, na totalidade de autorizações consuntivas.

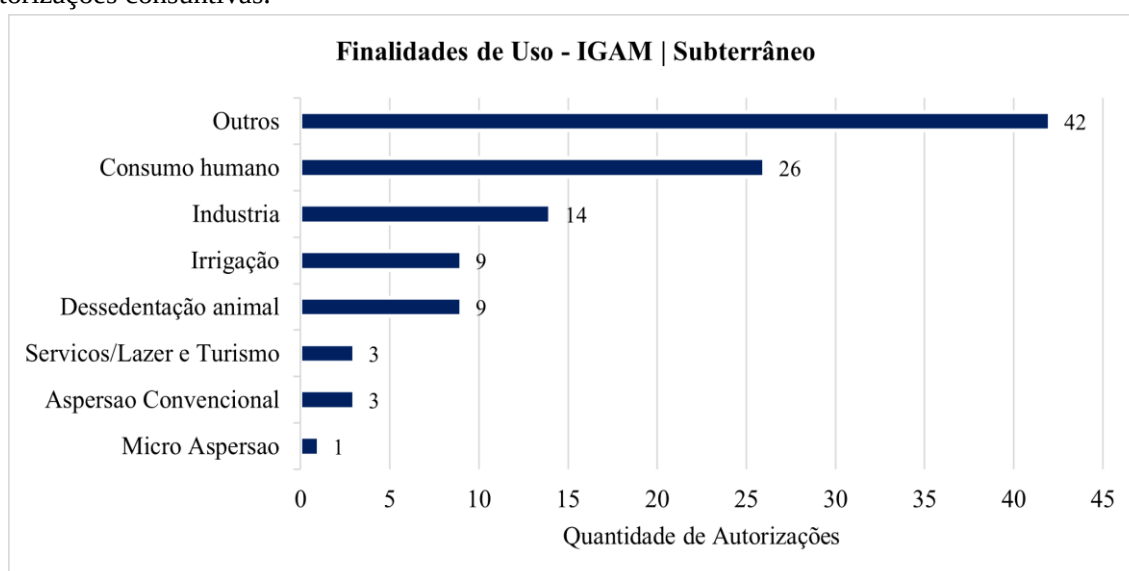


Figura 273 Finalidades de usos consuntivos IGAM

Com relação à demanda hídrica de captação subterrânea, as autorizações do IGAM, considerando as vazões máximas mensais totaliza 0,03 m³/s em toda a AEL. Destaca-se a finalidade, assim como no

número de citações, a de “consumo humano/outros” com a vazão máxima mensal de 0,0094 m³/s, sendo o ponto de captação com maior vazão individual (0,0048 m³/s), localizado a 3,6 km a oeste da ADA, em uma planta industrial. a “indústria/outros” é a terceira finalidade mais citada e de maior vazão individual captada (0,0089 m³/s) estando localizada a 4 km da ADA.

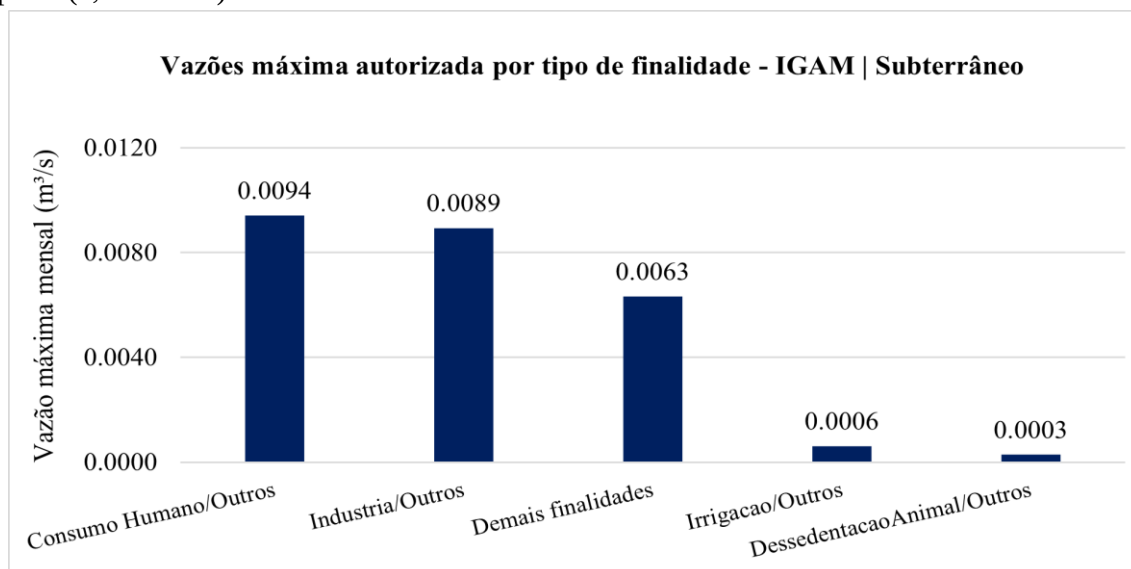


Figura 274 Vazões máxima autorizada pela IGAM por tipo de finalidade na AEL

Os dados dos usos outorgados subterrâneos identificados junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) na AEL são apresentados no **Apêndice 14**.

6.1.13. Qualidade das Águas Subterrâneas

6.1.13.1. Metodologia

6.1.13.1.1. Procedimentos Gerais

Para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas no contexto da área de estudo local (AEL), os dados foram coletados pela equipe da CLAM. As amostragens para composição do inventário de nascentes e avaliação da qualidade de águas subterrâneas foram realizadas por técnicos devidamente treinados, sendo que as análises dos parâmetros *in situ* foram realizadas pelas equipes e pelo laboratório CLAM, que possui Reconhecimento de Competências PRC nº 602.01; e as análises de bancada foram realizadas pelo laboratório SGS Geosol, acreditado pela norma ABNT NBR ISO/IEC 17.025/2017, conforme CRL nº 0386.

Os ensaios seguiram as seguintes recomendações para coleta, preservação, métodos analíticos das amostras, normas e recomendações:

- Referências Analíticas: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); e *Environmental Protection Agency*;

- Referência de Amostragem: *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23rd (2017); Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras (Águas, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos), ANA (2011); IT.02 - Amostragem Hídrica.

Durante os dias de amostragem, a equipe de campo da CLAM executou uma série de procedimentos adicionais à coleta de amostras, que compreende:

- Abertura de acesso aos pontos de medição definidos;
- Registro fotográfico das condições ambientais do local amostrado;
- Registro fotográfico do procedimento de medição em todos os pontos;
- Documentação de eventuais obstáculos que poderiam comprometer a segurança e integridade das equipes, equipamentos e veículos.

Para aumentar a eficiência do processo, a equipe CLAM utilizou um sistema eletrônico de anotação de dados de campo (*Smartquestion®*), com o uso de *smartphones*, onde foram inseridas todas as informações e dados relevantes durante os serviços realizados.

Os parâmetros físico-químicos das águas dos pontos foram aferidos com o auxílio de uma sonda multiparâmetro, verificando-se os seguintes parâmetros: (pH, ORP (potencial redox), condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura da água e temperatura do ar). A turbidez foi aferida por um equipamento denominado Turbidímetro. Ambos os equipamentos são da marca Hanna®, como mostrado na Foto 201 e Foto 202. O Certificado de Calibração foi apresentado no **Anexo 11**.



Foto 201 Sonda Multiparâmetro
Autor: CLAM, 2024



Foto 202 Turbidímetro utilizado em campo
Autor: Clam, 2024

6.1.13.1.2. Análise dos Dados Hidroquímicos

Premissas

Para computar os gráficos e as estatísticas, foi realizado um tratamento nos resultados que apresentaram a simbologia “<”, que indica, nesses casos, valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) segundo o método analítico utilizado. Como premissa, os resultados que apresentaram a simbologia indicada foram considerados de acordo com seus valores idênticos aos LQs, a fim de se interferir minimamente nos resultados laboratoriais.

Nas análises de águas subterrâneas foi utilizada a Resolução CONAMA n° 396/2008 (consumo



humano), para confrontar os resultados amostrados, a fim de se obter análises com uma validação mais conservadora. Além disso, a título comparativo, a análise de Fontes Termiais contou também com a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, que Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Análise por Parâmetros

Baseando-se na análise proposta por Von Sperling (2007), considerando os parâmetros amostrados, e as avaliações realizadas preliminarmente, definiu-se os seguintes tipos de caracterizações e seus respectivos parâmetros para avaliação e interpretação dos resultados:

- Nascentes e Poços:
 - **Caracterização genérica da água e avaliação do grau de oxigenação:** Temperatura, pH, Turbidez e Oxigênio Dissolvido;
 - **Caracterização do grau de mineralização da água:** Condutividade e Potencial Redox;
 - **Avaliação da presença de nutrientes, sais e da poluição orgânica na água:** Nitrito e Nitrato, Sulfatos e Cloretos;
 - **Presença de elementos-traço e eventuais contaminantes:** Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Manganês, Níquel, Prata, Sódio, Urânio e Zinco;
 - **Caracterização da comunidade biológica:** Coliformes Termotolerantes e *Escherichia Coli*.
- Fontes Termiais:
 - **Caracterização genérica da água:** pH, Temperatura, Cor Verdadeira e Turbidez;
 - **Caracterização do grau de mineralização da água:** Alcalinidade, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais e Potencial Redox;
 - **Caracterização do grau de oxigenação, de nutrientes e da poluição orgânica:** Oxigênio Dissolvido e *Escherichia coli*;
 - **Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes na água:** Bário Total, Cádmio Total, Ferro Total, Níquel Total, Prata Total, Tório Total e Urânio Total.

Ademais, foi incluído um item para tratar especificamente da radioatividade:

- Caracterização de Radioatividade Alfa e Beta.



6.1.13.1.3. Rede de Monitoramento

Qualidade das nascentes

Dentre as nascentes inventariadas, foram selecionadas 35 para realização de caracterização qualitativa de um grupo maior de parâmetros, por meio de coleta de amostras e análise em laboratório subcontratado. O critério para seleção dos 35 pontos se refere à proximidade com o território delimitado para o empreendimento, além do potencial de sofrer intervenções em detrimento das atividades realizadas durante a fase de implantação e operação do complexo. Os parâmetros avaliados e a localização dos pontos podem ser vistos na Tabela 85. A Figura 275 apresenta a localização dos pontos de monitoramento, em relação à área de estudo do Projeto Colossus. Já as características e fotos de cada nascente estão apresentados no **Apêndice 15**.

Após a campanha de período seco, houve alteração na ADA e algumas nascentes foram retiradas da malha de monitoramento, permanecendo 33 pontos de inventário e qualidade.

Tabela 85 Pontos de coleta de nascentes nas áreas de estudo do Projeto Colossus

Identificação do ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Parâmetros
	X	Y	
N-13	341881,9	7584097,1	Alcalinidade de Bicarbonato / Alcalinidade de Carbonato / Alcalinidade de Hidróxido / Alcalinidade Total / Alumínio Dissolvido / Arsênio Total / Bário Total / Cádmio Total / Chumbo Total / Cloreto / Cobre Dissolvido / Coliformes Termotolerantes / Coliformes Totais / Cor Verdadeira / Demanda Bioquímica de Oxigênio / <i>Escherichia coli</i> / Ferro Dissolvido / Fósforo Total / Manganês Total / Níquel Total / Nitrato (N) / Nitrito (N) / Nitrogênio Amoniacal / Nitrogênio Total / Óleos e Graxas / Prata Total / Radioatividade Alfa / Radioatividade Beta / Sódio Total / Sólidos Totais / Sulfato / Surfactantes Aniônicos / Tório Total / Urânio Total / Zinco Total / pH / Condutividade / Potencial Redox / Turbidez / Oxigênio Dissolvido / Temperatura
N-14	343949,1	7584117,5	
N-15	342915,5	7584107,4	
N-16	342904,6	7585214,5	
N-17	342860,2	7585415,5	
N-23	341870,9	7585204,2	
N-24	341870,9	7585204,2	
N-25	340826,1	7586301,1	
N-26	339803,5	7585183,6	
N-27	339548,7	7585534,2	
N-33	339859,2	7579647,9	
N-34	340892,6	7579658,3	
N-35	339961	7580412	
N-36	340881,5	7580765,4	
N-37	341903,9	7581882,9	
N-38	341903,9	7581882,9	
N-39	339825,8	7582969,3	
N-40	339825,8	7582969,3	
N-50	339848,1	7580755	



Identificação do ponto	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Parâmetros
	X	Y	
N-51	339836,9	7581862,2	
N-52	339825,8	7582969,3	
N-53	338792,2	7582958,9	
N-54	342357,0	7583137,0	
N-56	342992,1	7576357,5	
N-62	342992,1	7576357,5	
N-64	335794,6	7572962,7	
N-65	334761,7	7572952	
N-66	334750,1	7574059,1	
N-67	334750,1	7574059,1	
N-68	334738,6	7575166,3	
N-79*	327494,9	7576196,4	
N-80*	327494,9	7576196,4	
N-93	344795,6	7585828,7	
N-94	344961,2	7586341,9	
N-95	344961,2	7586341,9	

*Nascente monitorada apenas no período de seca

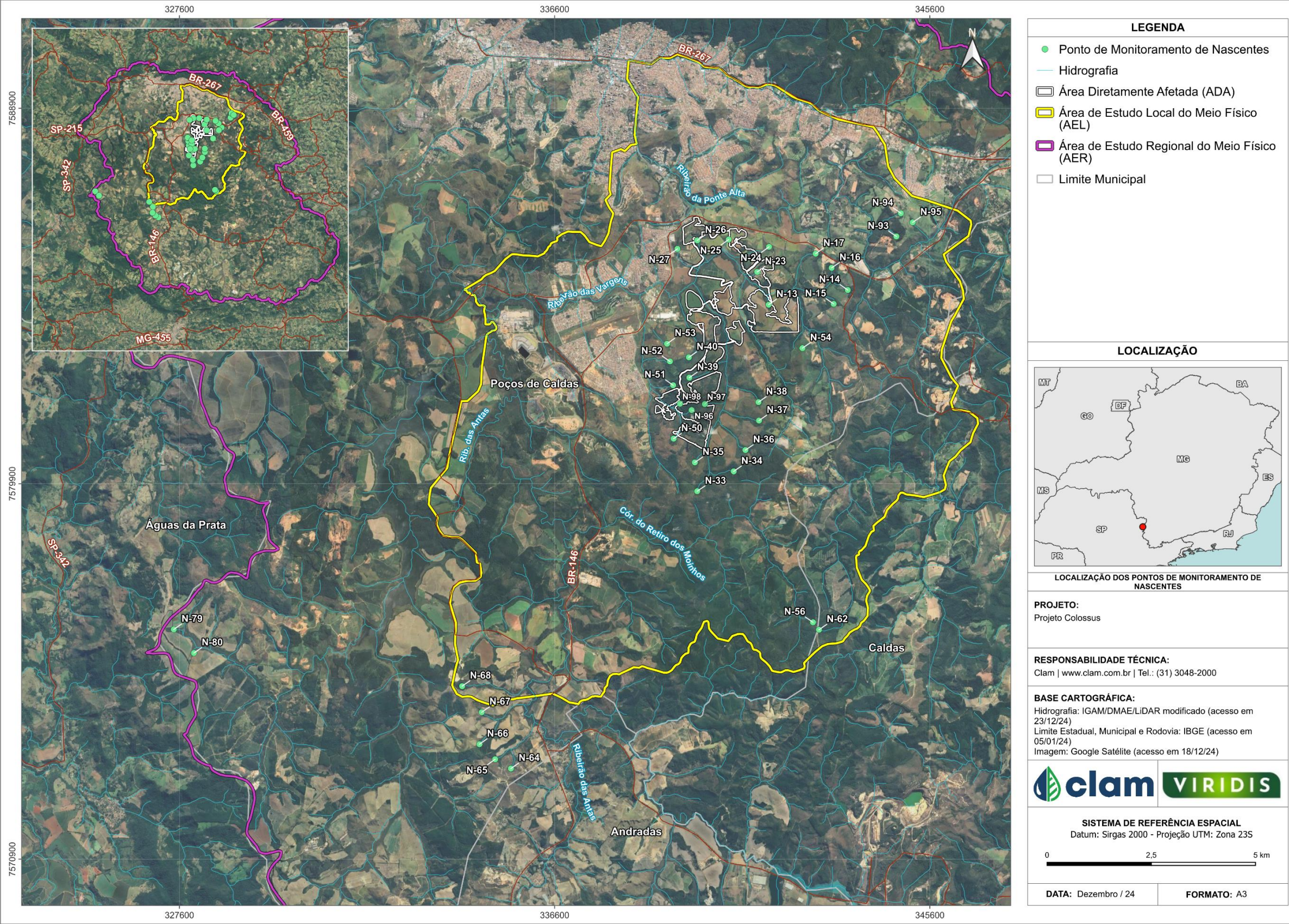


Figura 275 Localização dos pontos de monitoramento de qualidade de nascentes



Poços de monitoramento

Quanto às análises de poços de monitoramento subterrâneo, foi monitorado um total de 12 pontos. Desses, 6 (SUB-01, SUB-03, SUB-04, SUB-07, SUB-11 e SUB-12) foram avaliados no período seco e chuvoso e os 6 restantes (SUB-02, SUB-06, SUB-08, SUB-10, SUB-13 e SUB-14) apenas no período de chuva. Esse cenário deve-se ao fato de que, durante a campanha de monitoramento de seca, alguns poços ainda estavam em processo de perfuração pelas empresas responsáveis.

A Tabela 86 apresenta a rede de monitoramento estabelecida, bem como as coordenadas, descrição e parâmetros. Da Foto 203 a Foto 220, são apresentados os registros fotográficos dos monitoramentos realizados e a Figura 78 apresenta a localização dos pontos de monitoramento, em relação à área de estudo do Projeto Colossus e seus parâmetros monitorados. As evidências de campo podem ser vistas no **Apêndice 16**.

Tabela 86 Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas

Ponto	Código do poço perfurado	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Parâmetros
		X	Y	
SUB-01	PC-01	340427,84	7583024,08	Alcalinidade de Bicarbonato / Alcalinidade de Carbonato / Alcalinidade de Hidróxido / Alcalinidade Total / Alumínio Dissolvido / Arsênio Total / Bário Total / Cádmio Total / Chumbo Total / Cloreto / Cobre Dissolvido / Coliformes Termotolerantes / Coliformes Totais / Cor Verdadeira / Demanda Bioquímica de Oxigênio / Escherichia coli / Ferro Dissolvido / Fósforo Total / Manganês Total / Níquel Total / Nitrato (N) / Nitrito (N) / Nitrogênio Amoniacal / Nitrogênio Total / Óleos e Graxas / Prata Total / Radioatividade Alfa / Radioatividade Beta / Sódio Total / Sólidos Totais / Sulfato / Surfactantes Aniônicos / Tório Total / Urânio Total / Zinco Total / pH / Condutividade / Potencial Redox / Turbidez / Oxigênio Dissolvido / Temperatura
SUB-02	PC-02	340613,66	7584801,95	
SUB-03	PC-03	342718,69	7576528,59	
SUB-04	PC-04	339837,11	7581945,22	
SUB-06	PC-06	340225,85	7581009,07	
SUB-07	PC-07	341805,73	7584374,27	
SUB-08	PC-08	339868,86	7585054,68	
SUB-10	PC-10	341712,78	7585093,05	
SUB-11	PC-11	342604,83	7580300,93	
SUB-12	PC-12	339813,83	7585798,20	
SUB-13	PC-13	342980,47	7584019,41	
SUB-14	PC-14	339000,57	7581776,21	



Foto 203 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-01 - Período de Seca



Foto 204 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-01 - Período de Chuva



Foto 205 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-02 - Período de Chuva



Foto 206 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-03 - Período de Seca



Foto 207 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-03 - Período de Chuva



**Foto 208 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto
SUB-04 - Período de Seca**



Foto 209 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-04 - Período de Chuva



Foto 210 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-06 - Período de Chuva



Foto 211 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-07 - Período de Seca



Foto 212 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-07 - Período de Chuva



Foto 213 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-08 - Período de Chuva



Foto 214 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-10 - Período de Chuva



Foto 215 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-11 - Período de Seca



Foto 216 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-11 - Período de Chuva



Foto 217 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-12 - Período de Seca



Foto 218 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-12 - Período de Chuva



Foto 219 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-13 - Período de Chuva



Foto 220 Amostragem de Águas Subterrâneas no Ponto SUB-14 - Período de Chuva

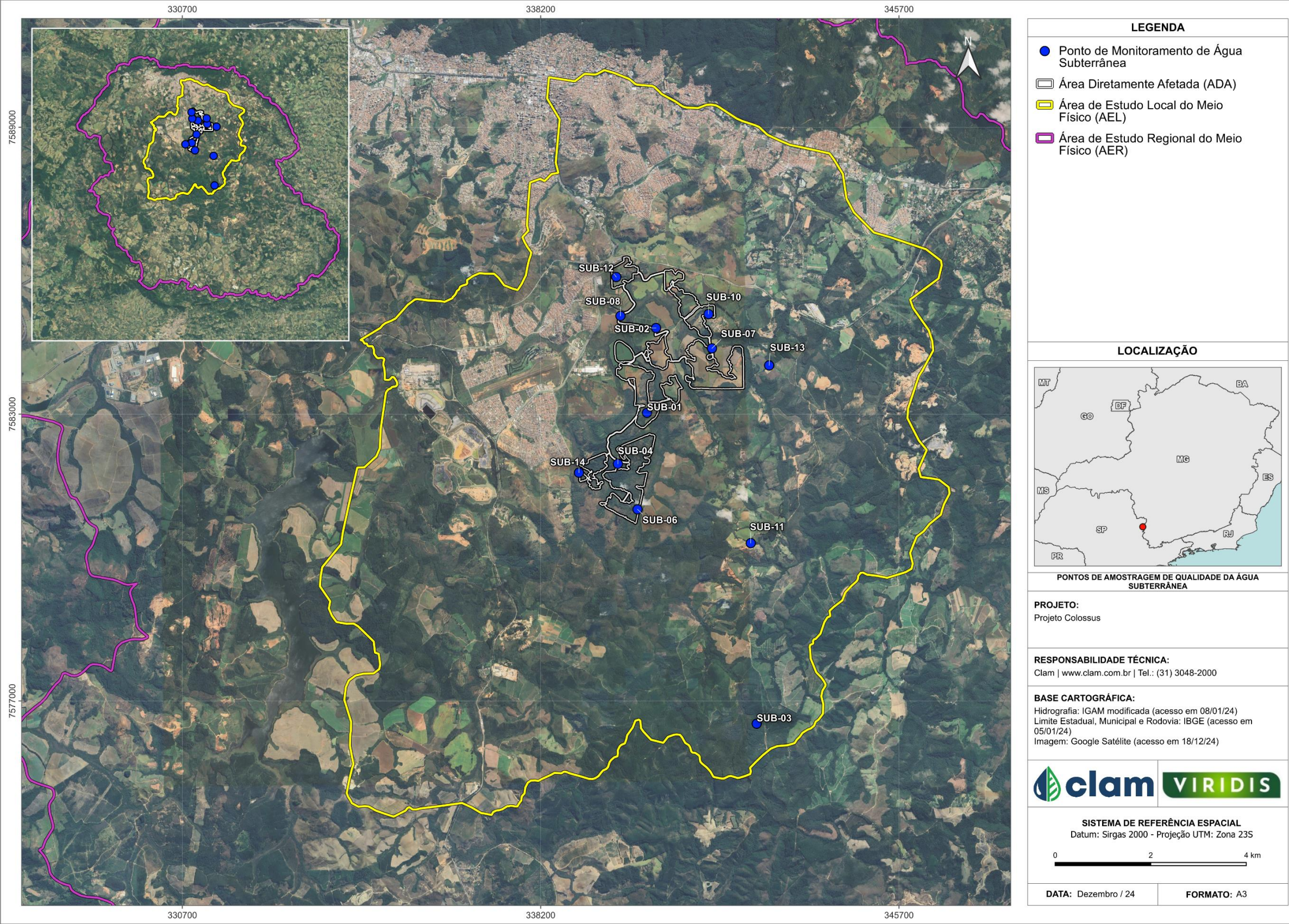


Figura 276 Localização dos Pontos de Monitoramento de Qualidade de Águas Subterrâneas



Fontes Termiais

Para análise e caracterização das fontes existentes no município de Poços de Caldas/MG, foram escolhidas três fontes, sendo duas de água quente e uma de água fria, localizadas na área urbana do município, para realizar as coletas de amostragem pela CLAM. As amostragens ocorreram nos dias 01 de agosto de 2024 e 22 de outubro de 2024, respectivamente, para os períodos de seca e chuva. Importante ressaltar que as fontes se encontram distantes cerca de 4 km da ADA do Projeto Colossus e se inserem na Área de Estudo Regional (AER).

A Tabela 87 apresenta as fontes consideradas no presente relatório e a Figura 277 mostra sua espacialização em relação às áreas de estudo do Projeto Colossus. Nas Foto 221 a Foto 226 estão apresentados os registros fotográficos das amostragens realizadas pela CLAM. As evidências de campo podem ser vistas no **Apêndice 16**.

Tabela 87 Rede de Monitoramento de Fontes Termiais – Amostragem CLAM

Fonte	Referência de amostragem	Distância da ADA (km)	Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, 23S)		Local de amostragem	Parâmetros
			X	Y		
Fonte Pedro Botelho (Fria) / Boca do Leão	FTMS-01	4,2	-46,56921	-21,78736	Local de amostragem: bebedouro	Alcalinidade Total / Bário Total / Bicarbonato / Cádmio Total / Cálcio Total / Carbonato / Cloreto Total / Condutividade Elétrica/ Cor Real / DBO/ Dureza total/ <i>Escherichia coli</i> / Ferro total/ Fluoreto/ Fósforo Total/ Magnésio Total/ Níquel Total/ Nitrogênio Total/ Óleos e Graxas Totais/ Oxigênio saturado/ Oxigênio Dissolvido/ pH/ Potássio Total/ Potencial redox - ORP/ Prata Total/ Radioatividade Alfa Global/ Radioatividade Beta Global/ Sódio Total/ Sólidos Totais/ Sulfato/ Surfactantes Aniônicos/ Temperatura/ Tório Total/ Turbidez/ Urânio Total
Fonte Pedro Botelho (Quente)	FTMS-02	4,2	-46,5689	-21,78708	Local de amostragem: torneira	
Fonte dos Macacos (Quente)	FTMS-03	3,7	-46,56479	-21,79	Local de amostragem: torneira	



Foto 221 Amostragem da Fonte Pedro Botelho (Fria) / Boca do Leão – Período de Seca



Foto 222 Amostragem da Fonte Pedro Botelho (Quente) – Período de Seca



Foto 223 Amostragem da Fonte dos Macacos – Período de Seca



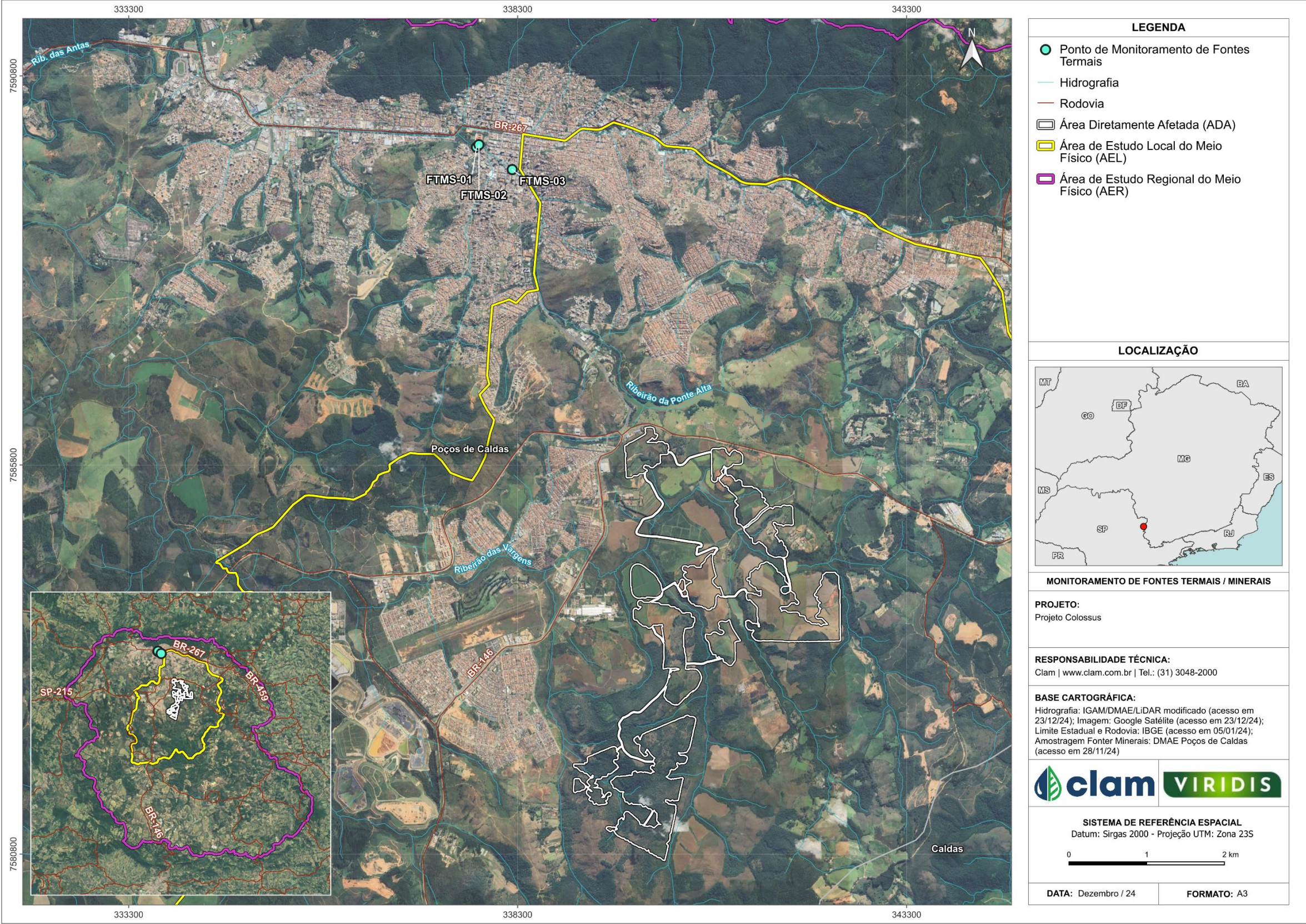
Foto 224 Amostragem da Fonte Pedro Botelho (Fria) / Boca do Leão– Período de Chuva



Foto 225 Amostragem da Fonte Pedro Botelho (Quente) – Período de Chuva



Foto 226 Amostragem da Fonte dos Macacos – Período de Chuva





6.1.13.2. Resultados

São apresentados, a seguir, os resultados obtidos para os parâmetros amostrados em nascentes e em poços de monitoramento. Os Certificados de Ensaio e tabela de resultados de nascentes estão apresentados no **Apêndice 15**. Já para os poços de monitoramento e fontes termais, os Certificados de Ensaio e tabela de resultados estão apresentados, respectivamente, no **Anexo 12** e **Apêndice 17**.

6.1.13.2.1. Qualidade das Nascentes

Caracterização Genérica e avaliação do grau de oxigenação da água: Temperatura, pH, Turbidez e Oxigênio Dissolvido.

O gráfico da Figura 278 apresenta os dados de pH de todas as 35 nascentes monitoradas em ambos os períodos. É possível observar que os resultados variaram de 5 a 7 no período de seca e de 3 a 7 no período de chuva, mantendo-se no espectro ácido a neutro. As águas subterrâneas na zona mais superficial dos aquíferos apresentam pH nesta faixa devido à presença de ácidos fracos, frequentemente ácido carbônico e pequenas concentrações de ácidos orgânicos, como o ácido fúlvico. Estes ácidos, por meio principalmente das reações de hidrólise, promovem a substituição de alguns elementos dos minerais primários pelos elementos ionizáveis da água (H^+ e OH^-), desfazendo a estrutura cristalina. Nesta reação ocorre a transformação dos minerais primários em argilas, o que caracteriza o intemperismo químico, com a liberação de cátions e sílica solúvel

A diferença de faixa de pH no período seco e chuvoso pode estar associado com a maior concentração de dióxido de carbono (Duarte, 2010). Quanto maior a concentração de CO_2 livre, menor a faixa de pH na água subterrânea. No período de chuvas, há um maior aporte de CO_2 para as águas subterrâneas, o que pode reduzir a faixa de pH. Importante lembrar que também há outros fatores envolvidos, o que torna a análise mais complexa, visto que a origem natural do pH das águas está associada, além da absorção de gases da atmosfera, à dissolução das rochas, à oxidação da matéria orgânica e à fotossíntese (Von Sperling, 2005).

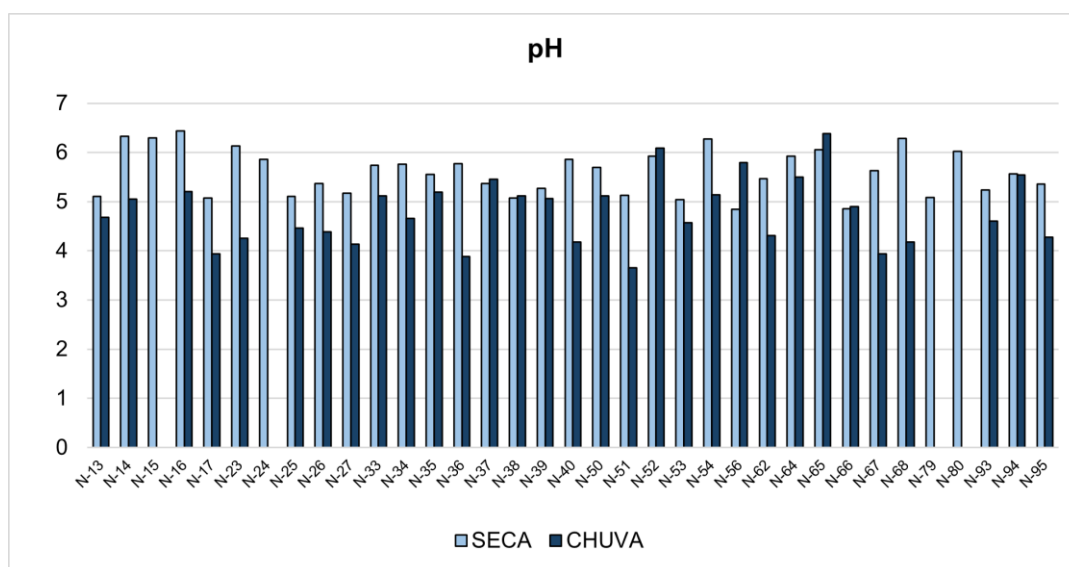


Figura 278 Resultados para o parâmetro pH

A Turbidez, ilustrada no gráfico da Figura 279, apresentou grande variedade de resultados, com valores entre 0 e 189 NTU no período seco e de 0 a 88,1 NTU no período chuvoso. Esses resultados refletem as condições de cada nascente, desde áreas mais preservadas até áreas brejosas e muito antropizadas. A nascente N-80, que apresentou o maior valor medido no período de seca (189 NTU), se insere em área brejosa, com água de coloração amarronzada e turva, o que possivelmente influenciou a Turbidez. A nascente N-79 apresentou resultado de 76,8 NTU (período de seca) para a turbidez e esse valor, da mesma forma, está relacionado às características do ponto, já que a surgência também encontra-se em região brejosa, com aparência turva. Ainda, a N-13 apresentou turbidez de 88,1 NTU, sendo o maior valor monitorado no período chuvoso. Nesse ponto (N-13), foi observado plantação de tubérculos nas proximidades, além disso, a água estava com aspecto esbranquiçado, o que confere a elevada turbidez.

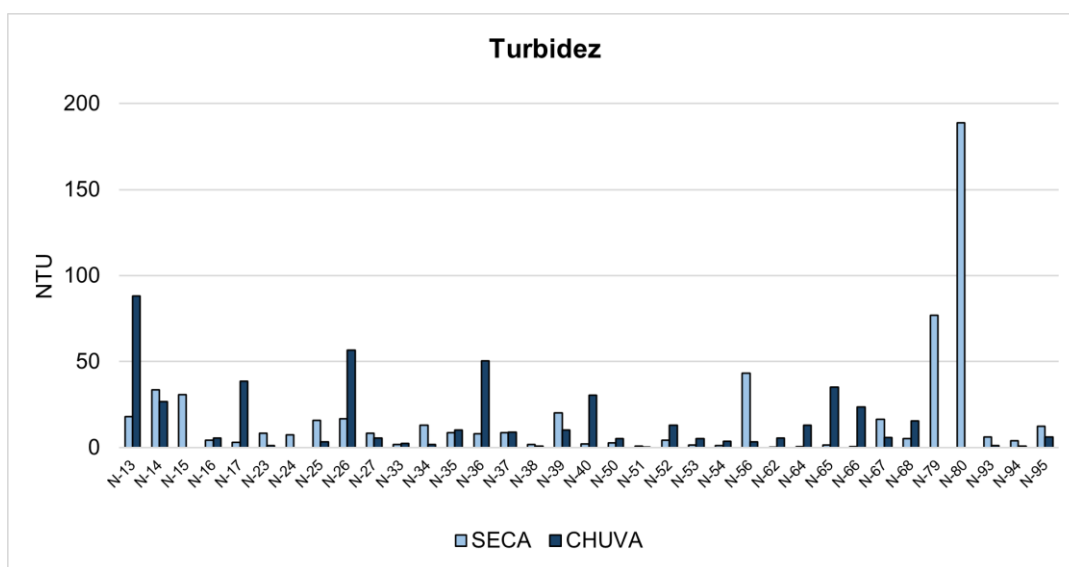


Figura 279 Resultados para o parâmetro Turbidez

A temperatura da água durante o período seco, sofreu variações de cerca 12 °C, com valor mínimo identificado na nascente N-53, de 10,14 °C, e máximo de 22 °C, na nascente N-17, conforme apresentado no gráfico da Figura 08. Em contrapartida, no período chuvoso variação foi menor, apenas cerca de 3°C com valores mínimos encontrados da N-25 (17,23 °C) e máximos na N-53 (20,56 °C).

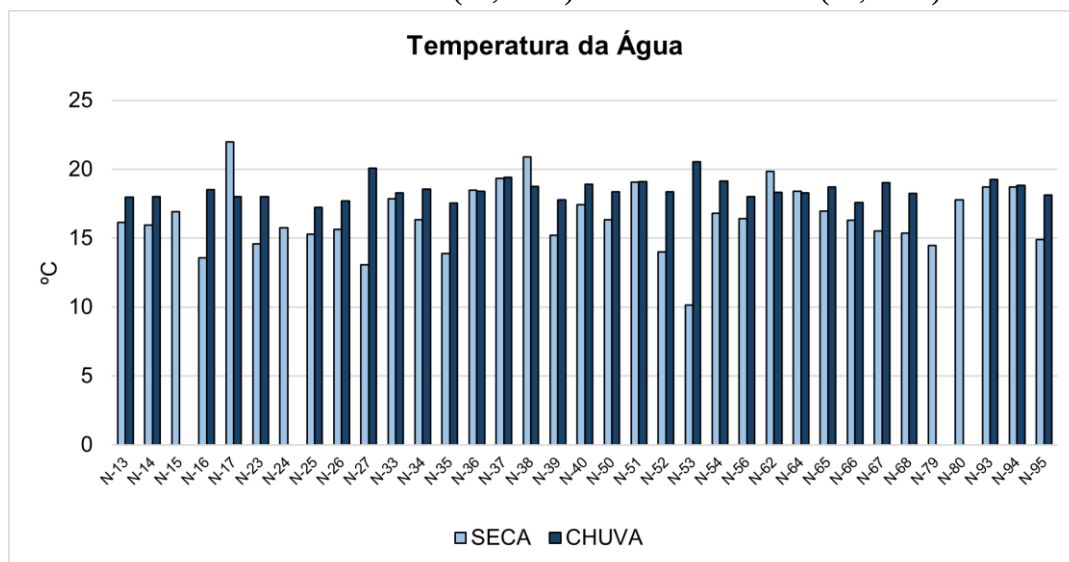


Figura 280

Resultados para o parâmetro Temperatura

Quanto ao grau de oxigenação, a maioria das nascentes apresentou condições anaeróbias na surgência, em função do pouco contato com o oxigênio atmosférico, evidenciado também pelo baixo fluxo. No entanto, algumas nascentes apresentaram valores de OD mais elevados, possivelmente em função de maior velocidade no fluxo d'água, o que auxilia a troca gasosa do fluido com o ambiente e eleva os valores deste parâmetro. No período chuvoso algumas nascentes apresentaram resultados ainda mais elevados de oxigênio dissolvido. Isso pode ser justificado pelo contato entre a chuva e a surgência, o que aumenta a superfície de contato com o oxigênio atmosférico e intensifica a troca gasosa, resultando em níveis mais elevados de oxigênio dissolvido.

Além disso, a partir da interpretação do gráfico da Figura 281 e da Figura 282, é possível observar uma relação entre a Temperatura e o Oxigênio Dissolvido. Como a solubilidade do gás oxigênio em água é inversamente proporcional ao aumento da temperatura (Fiorucci & Benedetti Filho, 2004), a concentração de OD foi menor em nascentes com maior temperatura, a exemplo da nascente N-17 (período de seca), que teve medições de 22 °C e 0,26 mg/L de OD. No período de chuva esse comportamento é similar, evidenciado pela nascente N-53 em que a temperatura da água foi de 20,56°C e o OD foi de 0,43 mg/L. No entanto, a relação entre estes parâmetros não foi linear, pois pode ser afetada por outros parâmetros, tais como pressão atmosférica, salinidade e concentração de sólidos dissolvidos na água (Fiorucci & Benedetti Filho, 2004).

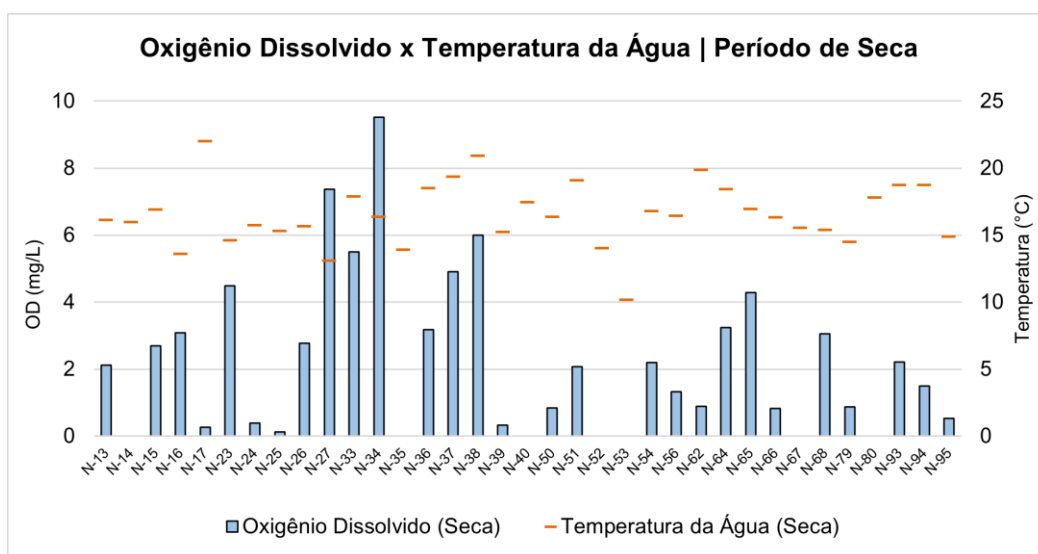


Figura 281 Relação entre Oxigênio Dissolvido e Temperatura da Água (Período de Seca)

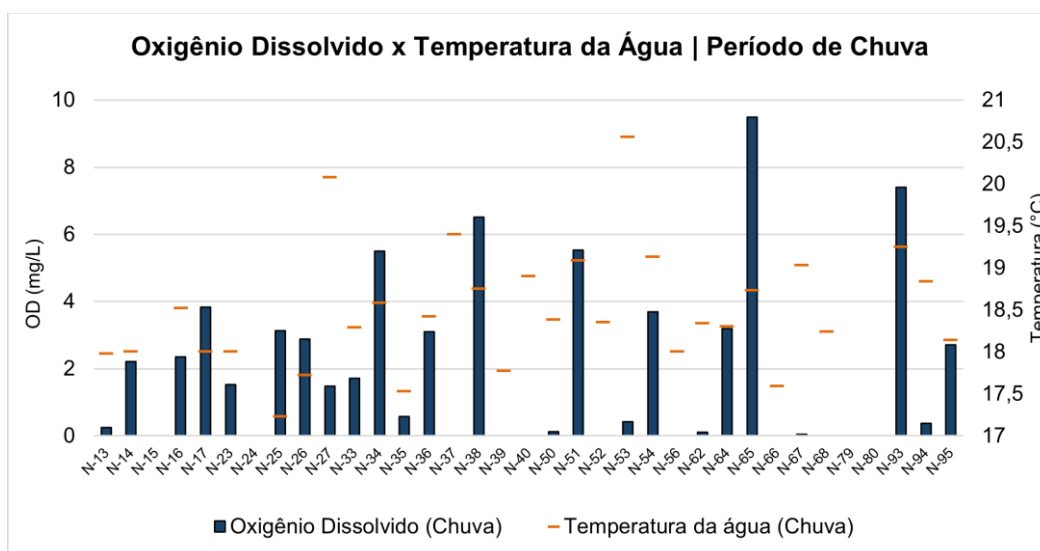


Figura 282 Relação entre Oxigênio Dissolvido e Temperatura da Água (Período de Chuva)

Caracterização do grau de mineralização da água: Potencial Redox, Condutividade Elétrica e Sólidos Totais

A análise do Potencial Redox revelou uma heterogeneidade significativa entre as nascentes ao longo do período de seca, com variação de 180,5 mV a 507,9 mV. No período chuvoso, os resultados apresentaram um padrão um pouco mais consistente com valores variando de 247 mV a 367,9 mV (Figura 09). Essa ampla faixa de valores indica que as condições redox são fortemente influenciadas pelas características geológicas, hidrológicas e biogeoquímicas de cada nascente.

As nascentes N-14 (152,9 mV), N-15 (159mV) e N-40 (180 mV) apresentaram os menores valores de Potencial Redox no período seco. Nesses 3 pontos observa-se a presença de muita matéria orgânica na surgência, bem como baixo fluxo. Isso pode conferir elevada concentração de CO₂ à amostra, o que diminui o potencial redox. No entanto, esse parâmetro também está relacionado a outros fatores, tais

como pH, alcalinidade, temperatura e minerais (Jardim, 2014).

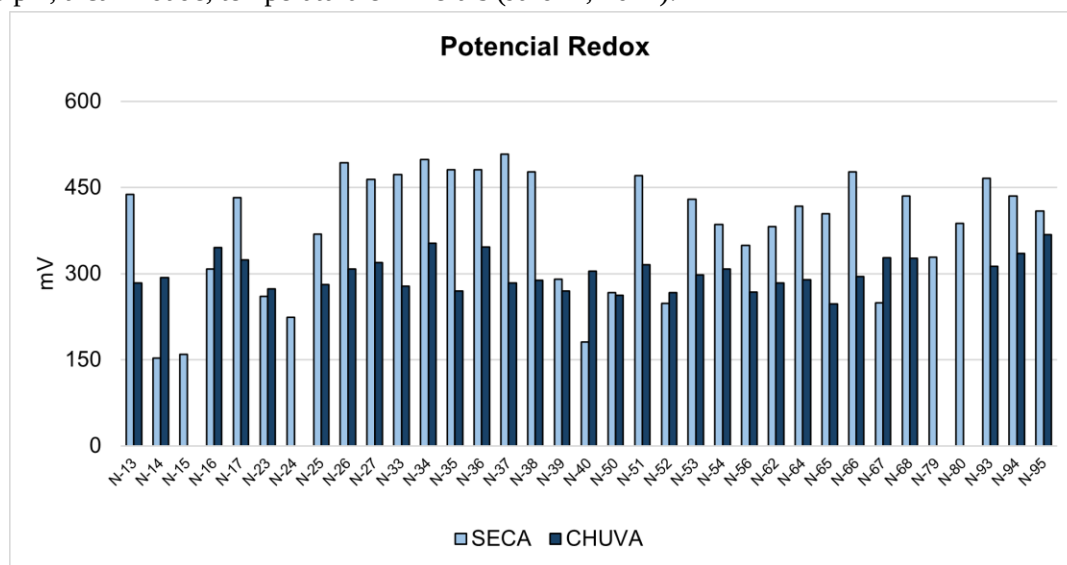


Figura 283 Resultados para o parâmetro Potencial Redox

A Condutividade nas 35 nascentes apresentou-se majoritariamente abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, evidenciando a baixa concentração de sais nas surgências, havendo apenas 3 dados com valores superiores na seca e 2 na chuva. A condutividade da água aumenta proporcionalmente ao aumento da concentração de sólidos dissolvidos (CETESB, 2020). Portanto, o gráfico da Figura 284 ilustra a correlação entre esses dois parâmetros.

É possível observar uma tendência de que amostras com maior condutividade elétrica apresentem maiores valores de Sólidos Totais. No entanto, há alguns desvios nessa tendência. No período de estiagem o ponto N-17, por exemplo, apresentou condutividade de 408 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e concentração de sólidos totais de 175 mg/L. Em contrapartida, no ponto N-80 observa-se condutividade de 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e concentração de sólidos de 755 mg/L.

Ainda, no período chuvoso a relação é semelhante, na N-26 apresentou condutividade de 26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e concentração de sólidos totais de 362 mg/L. Já a N-62 obteve uma condutividade de 363 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e concentração de sólidos de 220 mg/L.

Essa análise indica que outros fatores podem influenciar essa relação, a exemplo dos tipos de íons presentes na amostra, bem como dos valores de pH e temperatura (McCleskey *et al.*, 2012).

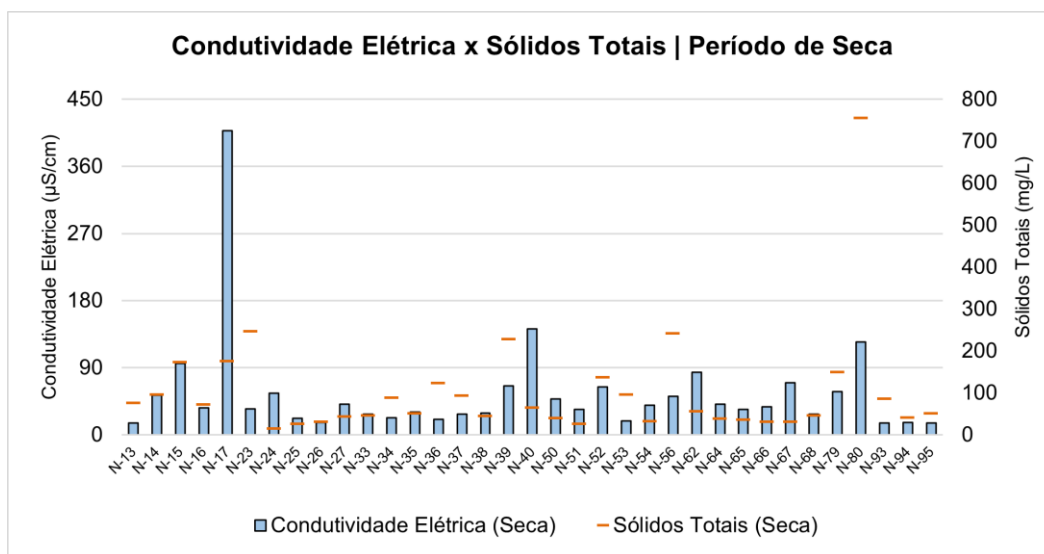


Figura 284 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos (Período de Seca)

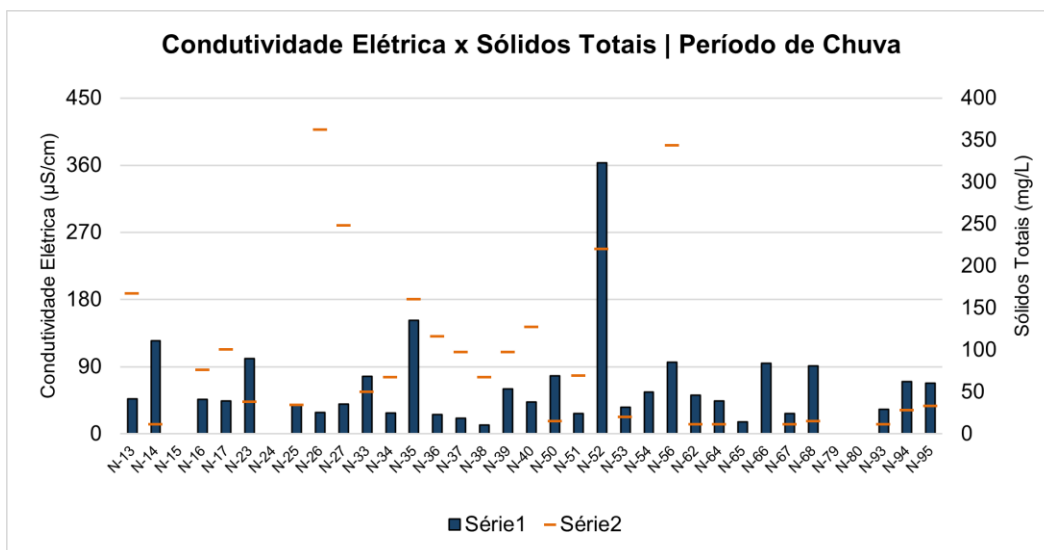


Figura 285 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos (Período de Chuva)

Avaliação da presença de nutrientes, sais e da poluição orgânica na água

As análises apresentadas no gráfico da Figura 286 indicam que as concentrações de Nitrito, foram todas inferiores ao limite de 1 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano) tanto no período de seca, quanto no chuvoso. Por outro lado, para Nitrato, apenas a nascente N-17 apresentou resultado superior ao limite de 10 mg/L, estabelecido pela legislação supracitada, como observado no gráfico da Figura 287. Para o parâmetro nitrato, a única não conformidade foi observada na primeira campanha (período de estiagem).

De acordo com CETESB (2022), o nitrato pode ter origem a partir de rochas vulcânicas, da decomposição de animais e de vegetais e fazem parte do ciclo do nitrogênio. Destaca-se que a nascente N-17 está na área do domínio hidrogeológico das Vulcânicas (conforme Item 2.1) e, além disso, no entorno desse ponto foi observada a presença de muitos resíduos e entulhos, caracterizando a nascente



como fortemente antropizada. Esse fator pode gerar desequilíbrio no ciclo do nitrogênio e justificar o valor elevado de Nitrato na N-17.

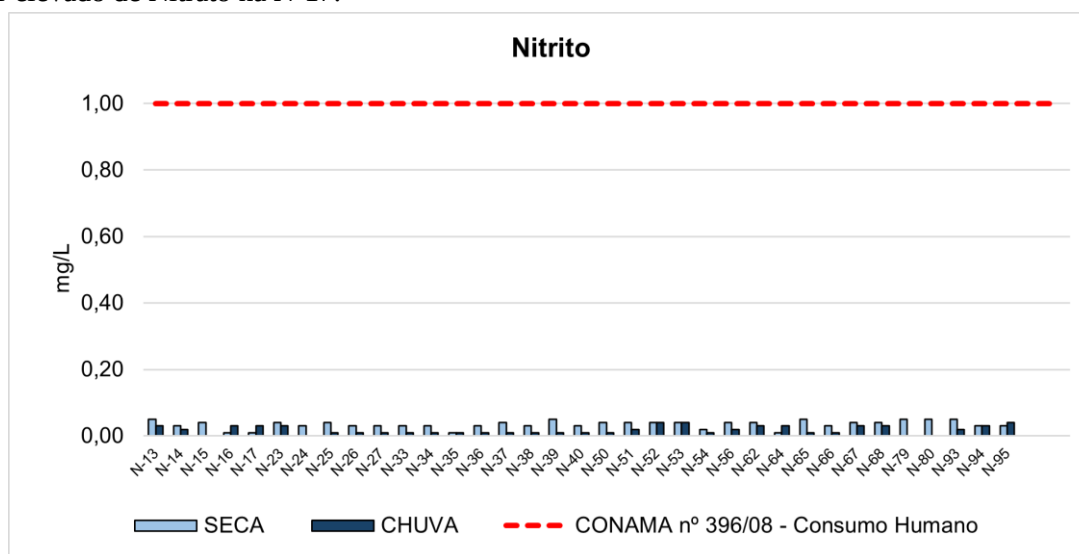


Figura 286 Resultados para o parâmetro Nitrito

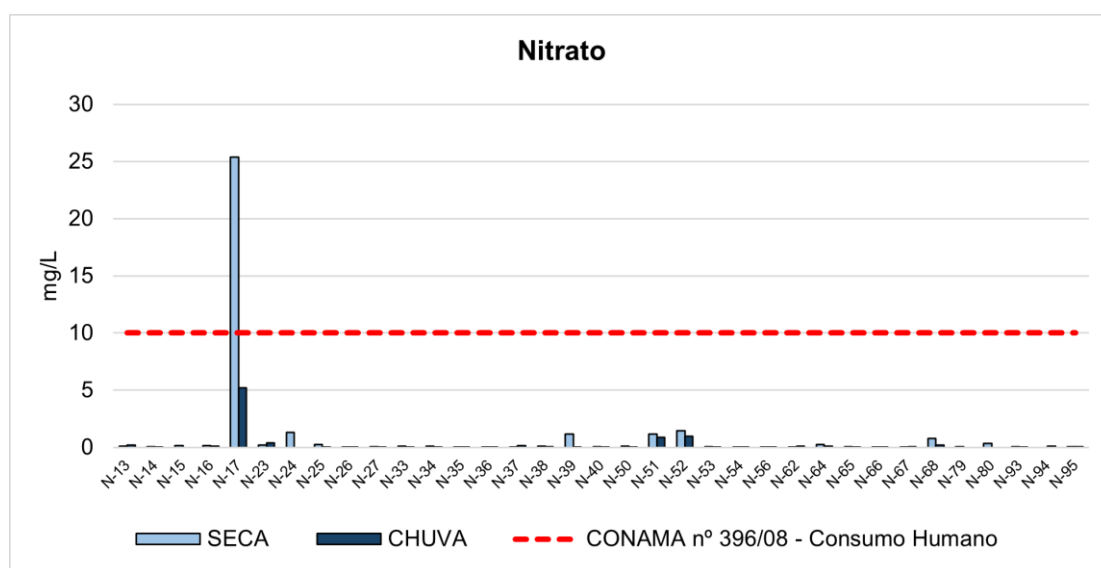


Figura 287 Resultados para o parâmetro Nitrato

A Resolução CONAMA n° 396/2008 prevê em seu Anexo I o limite de 250 mg/L para Sulfato e Cloreto nas águas subterrâneas para consumo humano. Dentre as 35 nascentes monitoradas, nenhuma ultrapassou o limite estabelecido pela legislação supracitada, indicando boa qualidade das nascentes em relação a esses dois parâmetros, nas duas campanhas. Estes resultados estão apresentados nos gráficos da Figura 288 e da Figura 289.

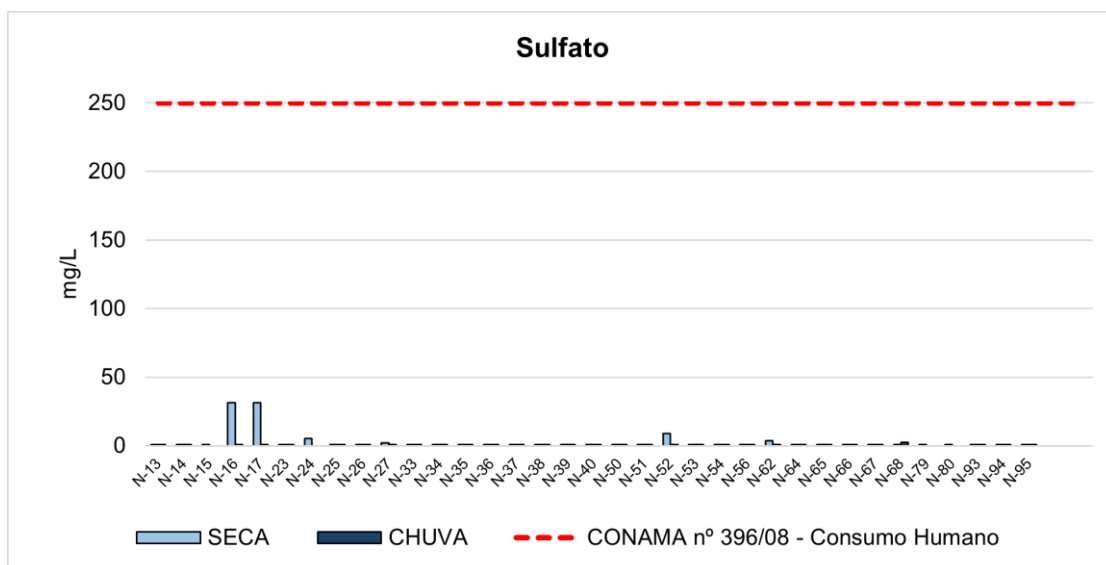


Figura 288 Resultados para o parâmetro Sulfato

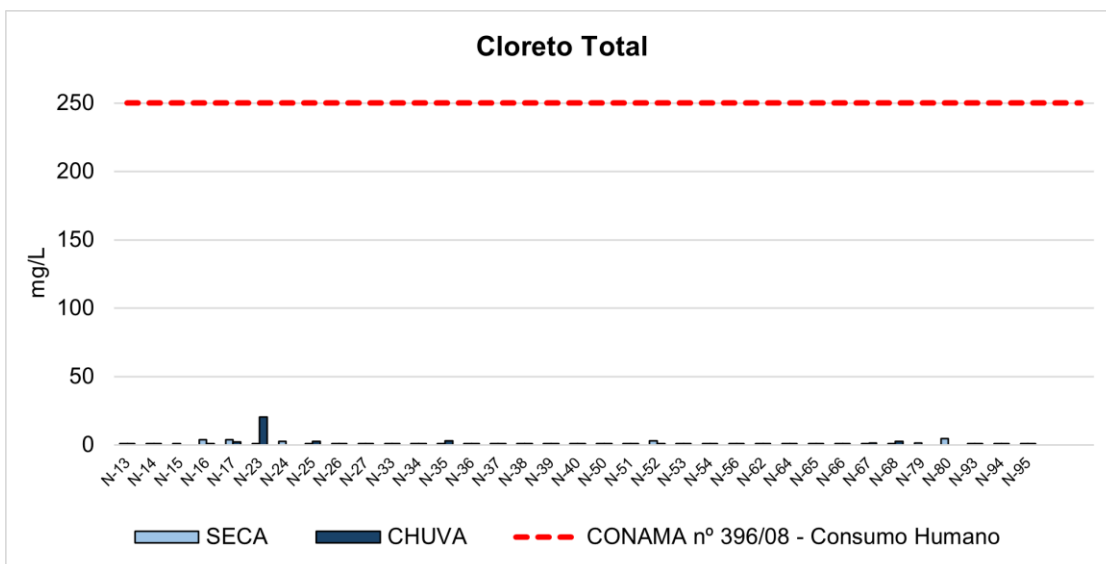


Figura 289 Resultados para o parâmetro Cloro Total

Presença de elementos-traço e eventuais contaminantes: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Manganês, Níquel, Prata, Sódio, Urânio e Zinco

Dentre as nascentes analisadas, apenas Manganês Total e Chumbo Total apresentaram não conformidades em relação aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano). Destaca-se que no período chuvoso apenas foi observada não conformidade com o parâmetro Manganês Total.

Na primeira campanha, o parâmetro Manganês Total apresentou não conformidade com o limite de 0,1 mg/L em 18 nascentes (Figura 290). Dentre essas, destacam-se as nascentes N-15, N-27 e N-67, que apresentaram concentrações de 0,61 mg/L, 0,86 mg/L e 1,73 mg/L, respectivamente. Nesses 3 pontos, observa-se coloração alaranjada do solo, o que pode indicar a presença de manganês no solo. O contato com o oxigênio promove a oxidação desse elemento (CETESB, 2022), resultando na característica cor



alaranjada.

No período chuvoso, 22 nascentes apresentaram resultados superiores ao limite preconizado pela legislação. Dentre essas destacam-se os pontos N-35 (1,74 mg/L), N-52 (1,8 mg/L), N-53 (1,53 mg/L), N-56 (1,52 mg/L) e N-67 (0,87 mg/L).

Tais concentrações podem ser atribuídas, em grande parte, à geologia da região, caracterizada pela presença de rochas ígneas extrusivas e rochas metamórficas associadas. O manganês, presente geralmente como elemento traço nestas rochas, é encontrado dissolvido na água subterrânea sob diferentes formas químicas, o que depende basicamente do pH. Comumente, é encontrada a forma Mn^{2+} , apresentando-se no estado solúvel. É importante ressaltar que a concentração de manganês pode variar ao longo do ano, sendo influenciada por fatores como precipitação e vazão das nascentes. Nesse momento, as nascentes apresentaram baixa vazão, devido à época de estiagem, e isso pode interferir nesses resultados, já que a diluição será menor (Wen *et al.*, 2022).

Dentre as 35 nascentes analisadas, apenas a N-80 (período de seca) apresentou concentração de Chumbo Total superior ao limite estabelecido pela legislação (0,01 mg/L), atingindo o valor de 0,03 mg/L, como observado na Figura 291. A ocorrência ligeiramente mais elevada de chumbo nessa nascente pode estar relacionada aos mesmos fatores geológicos que influenciaram as altas concentrações de manganês, como a presença deste elemento como metal traço em rochas ígneas e as condições ambientais favoráveis à sua lixiviação (Bourotte, 2021). No entanto, a localização da nascente em uma área com lavouras e pastagens sugere a possibilidade de contaminação adicional por agrotóxicos à base de chumbo, o que pode ter contribuído para o aumento da concentração desse metal na água surgente.

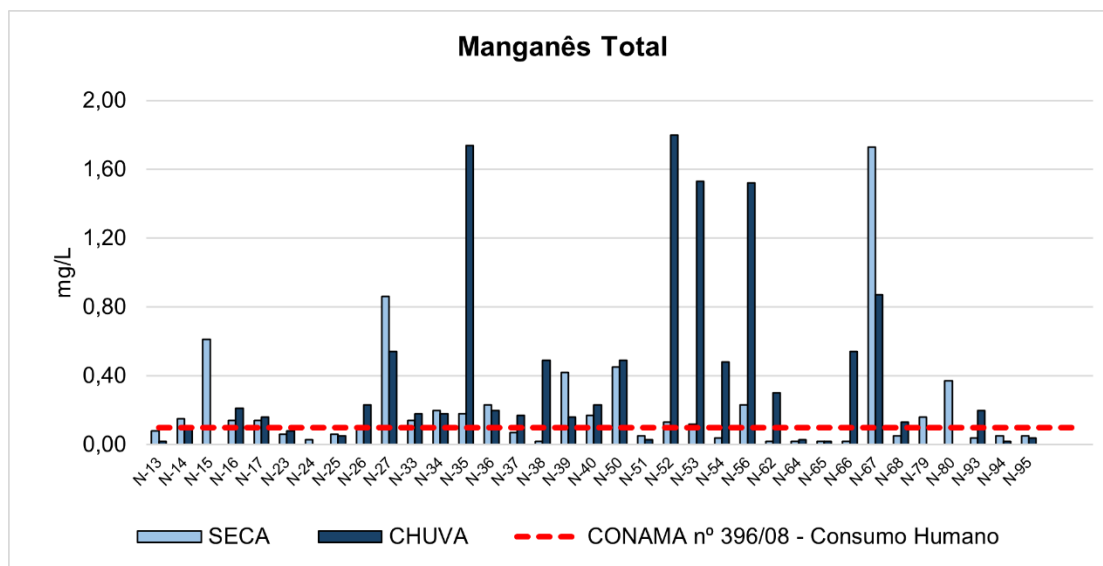


Figura 290 Resultado para o parâmetro Manganês Total

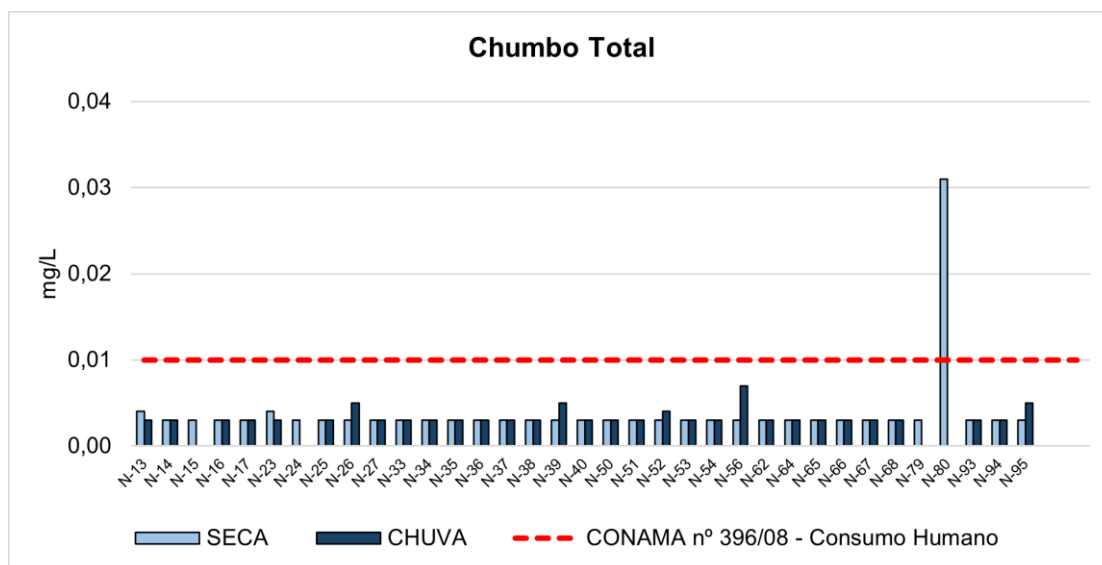


Figura 291

Resultados para o parâmetro Chumbo Total

Os parâmetros Arsênio Total, Bário Total, Cádmio Total, Níquel Total, Prata Total, Sódio Total, Urânio Total e Zinco Total estiveram em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano) durante as duas campanhas de monitoramento, como pode ser visto entre os gráficos da Figura 292 a Figura 299.

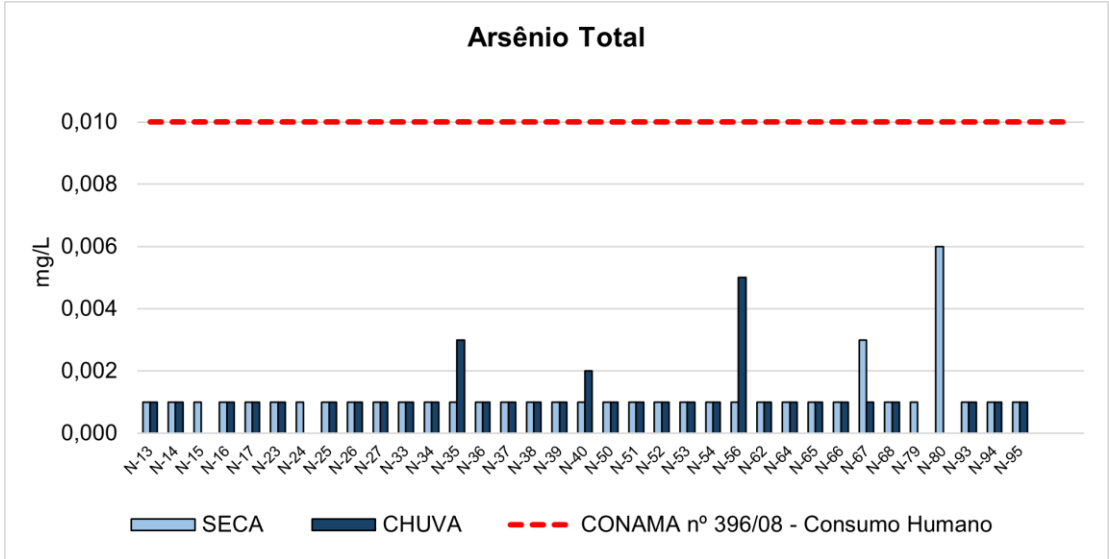


Figura 292 Resultados para o parâmetro Arsênio Total

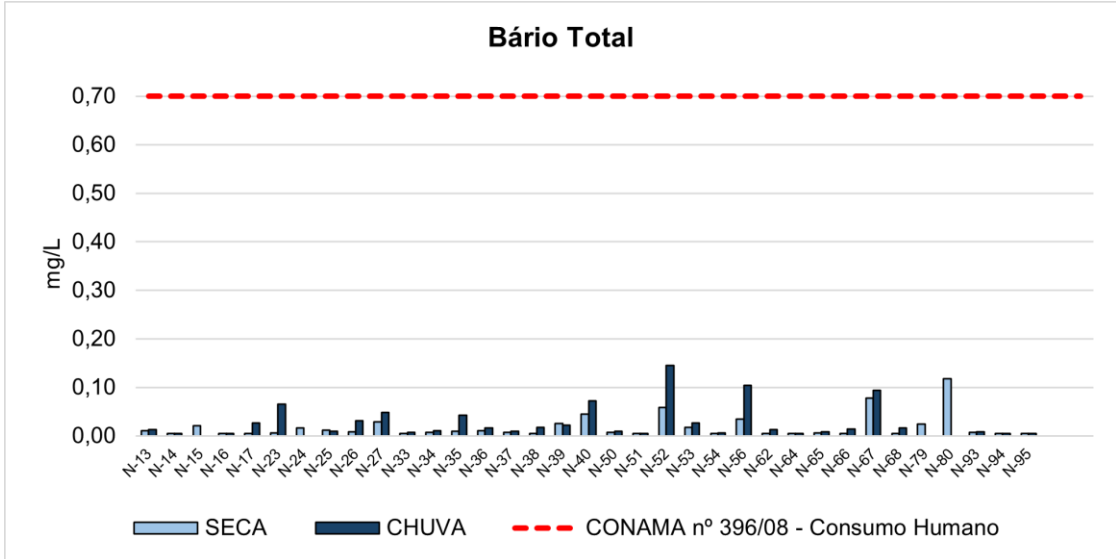


Figura 293 Resultados para o parâmetro Bário Total

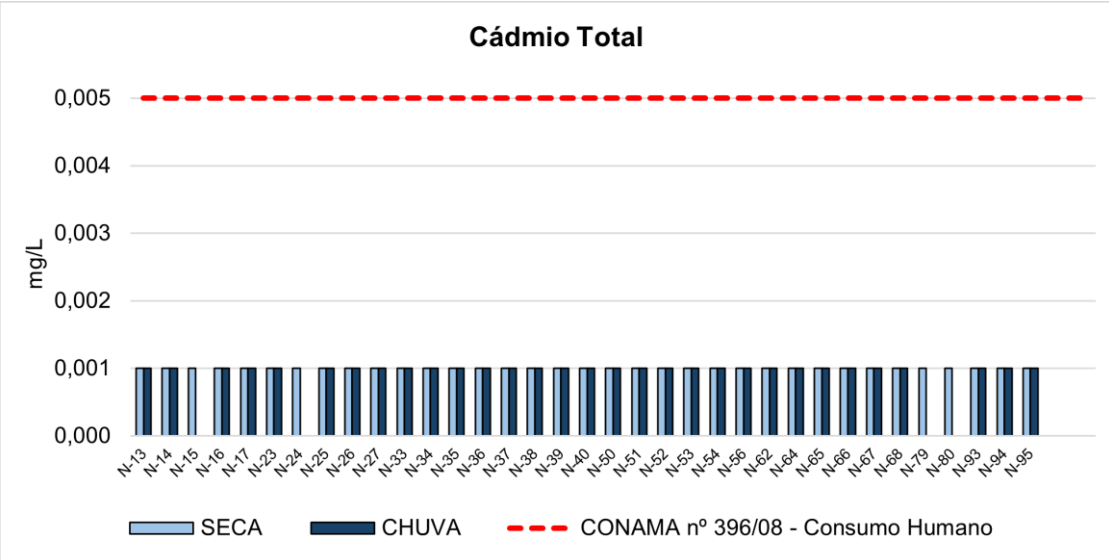


Figura 294 Resultados para o parâmetro Cádmio Total

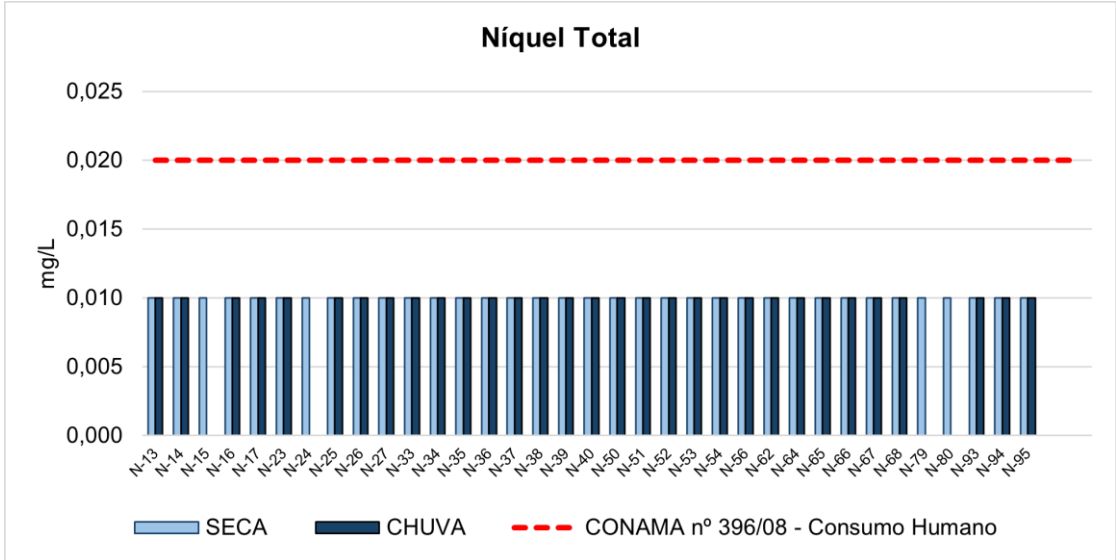


Figura 295 Resultados para o parâmetro Níquel Total

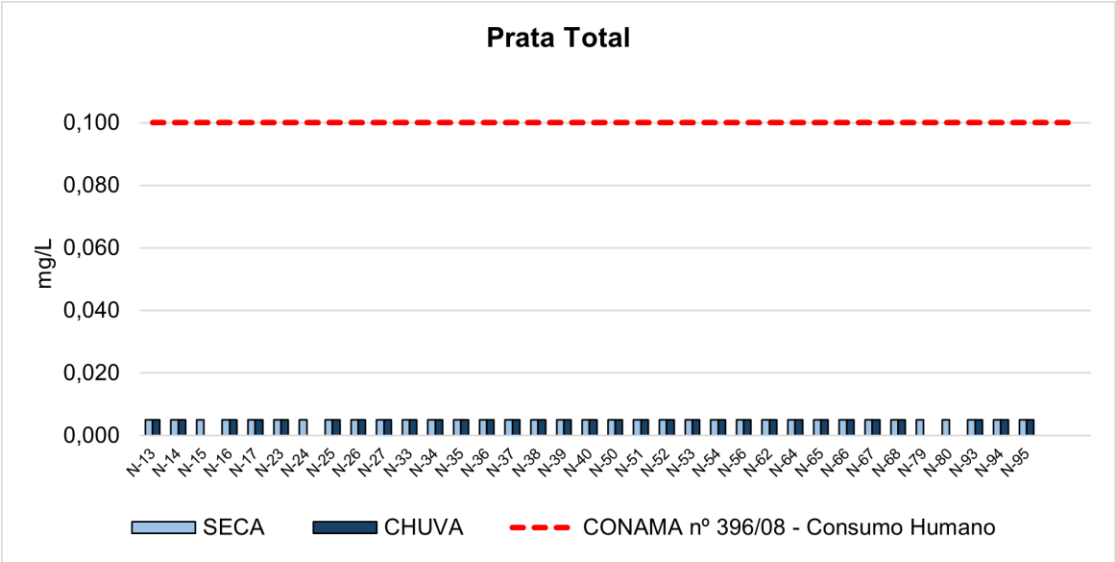


Figura 296 Resultados para o parâmetro Prata Total

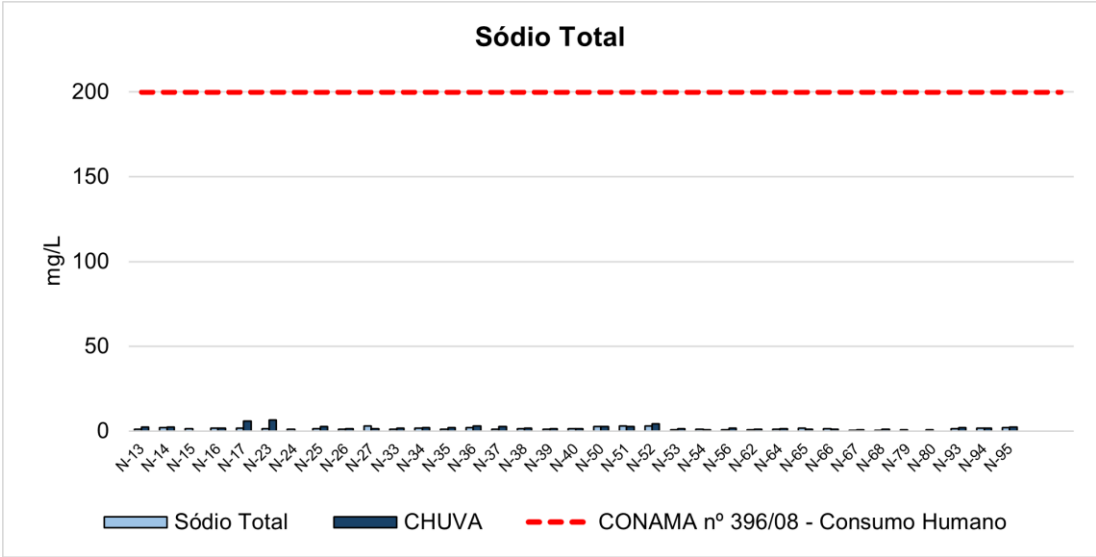


Figura 297 Resultados para o parâmetro Sódio Total

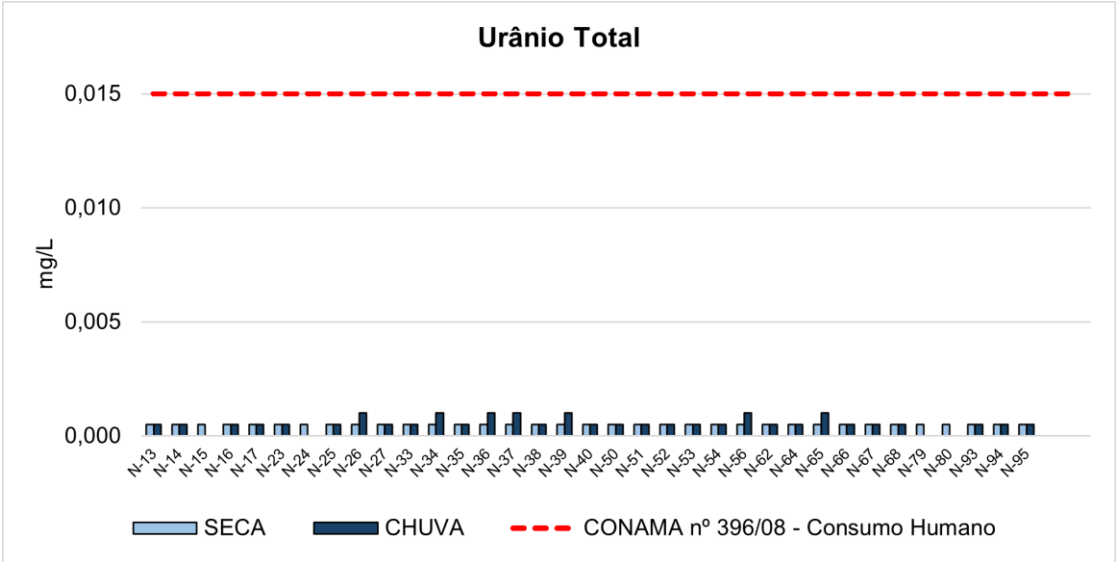


Figura 298 Resultados para o parâmetro Urânio Total

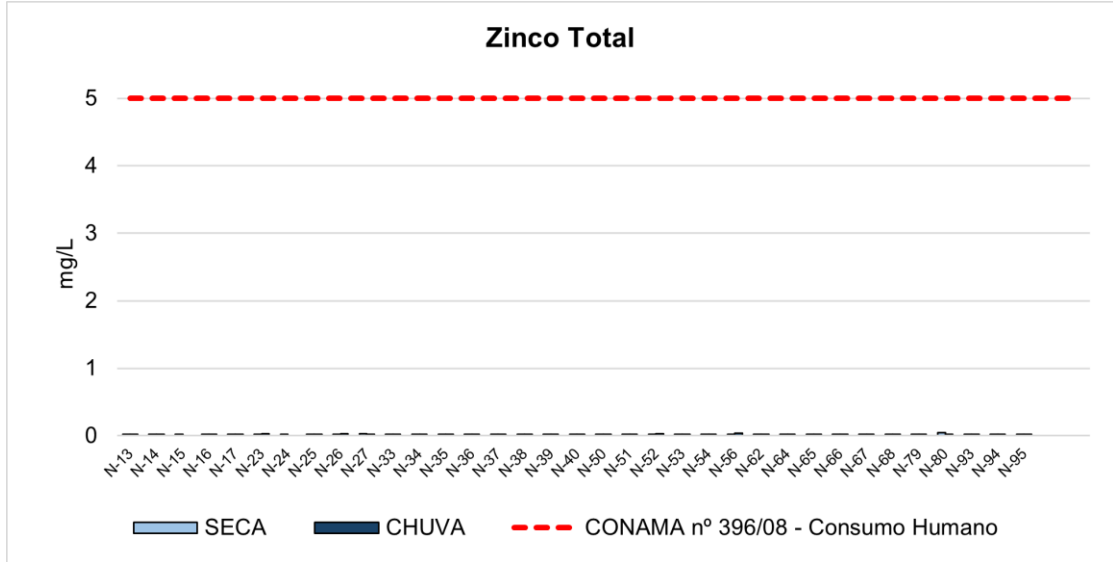


Figura 299 Resultados para o parâmetro Zinco Total



Caracterização da comunidade biológica: Coliformes Termotolerantes, *Escherichia Coli*.

Os gráficos da Figura 300 e da Figura 301 apresentam os resultados amostrados de Coliformes Termotolerantes e *Escherichia Coli*, respectivamente. As contagens de Coliformes Termotolerantes nas nascentes analisadas no período de seca oscilaram entre 1 e 2.900 UFC/100mL no período de seca e de 1 a 11.000 UFC/100 mL no período chuvoso, excedendo o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano), que preconiza a ausência desses indicadores de contaminação biológica, numa amostra de 100 mL, no período de chuva.

De forma semelhante aos Coliformes Termotolerantes, a presença de *E. coli* nas nascentes também superou o limite estabelecido pela legislação na maioria das nascentes. Os valores encontrados variaram entre 1 e 2.500 UFC/100mL na seca e de 1 a 10.600 UFC/100mL nas chuvas, enquanto a Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano) estabelece como padrão a ausência desse indicador de contaminação fecal recente, numa amostra de 100 mL.

Durante o período de estiagem, em 9 nascentes (N-27, N-35, N-36, N-39, N-40, N-50, N-51, N-53 e N-67) os valores foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 1,0 UFC/100mL, tanto para Coliformes Termotolerantes quanto para *E. coli*. De maneira similar, no período chuvoso as nascentes N-51 e N-67 apresentaram esse comportamento (resultado menor do que o LQ). No entanto, como o LQ é diferente do limite estabelecido na legislação (presença/ausência), não é possível afirmar com certeza se houve ou não concentrações destes parâmetros nas 9 nascentes supracitadas.

Os resultados acima do LQ podem ser devido a inúmeros fatores já citados nesse documento, tais como despejo de efluentes e resíduos sólidos, presença de animais e fezes humanas ou proximidade com áreas de lavouras e pastagens. Os valores mais elevados no período chuvoso podem estar associados com a lixiviação desses dejetos para o lençol freático pela ação da pluviometria, ou ainda infiltração das águas superficiais contaminadas (Freitas e Almeida, 1998).

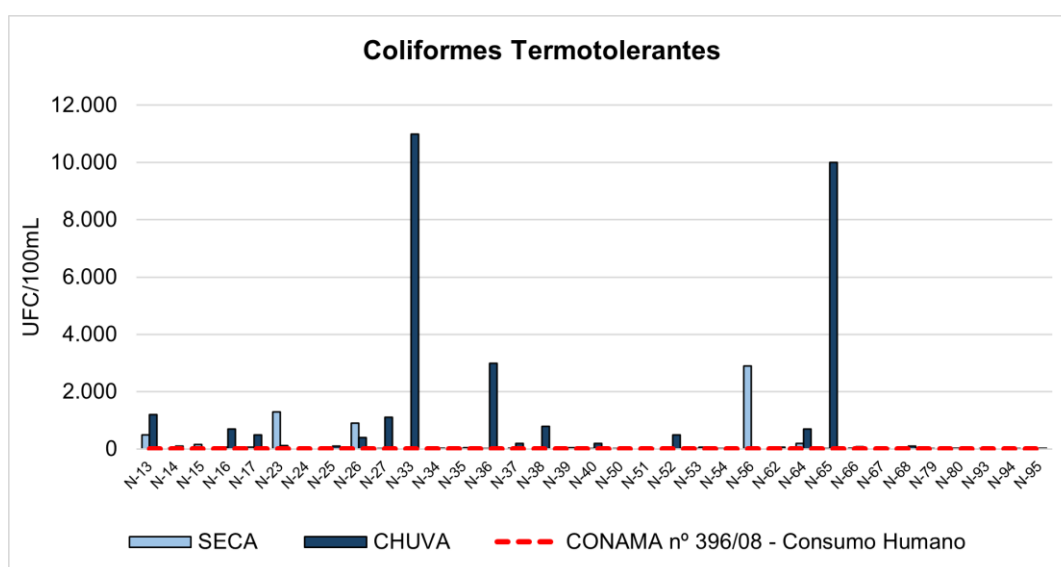


Figura 300

Resultados para o parâmetro Coliformes Termotolerantes

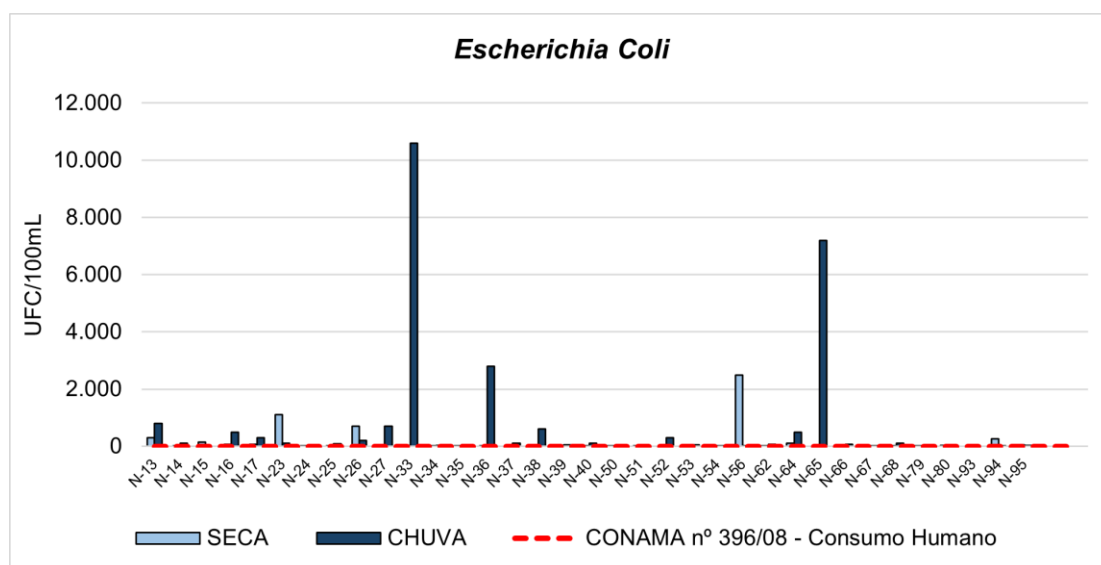


Figura 301 Resultados para o parâmetro *Escherichia Coli*

Caracterização Quantitativa: Vazão

Dentre os 95 pontos analisados, quatro nascentes não apresentaram surgência de água durante a campanha de seca (N-29, N-43, N-47 e N-49) e em 44 pontos não foi possível medir vazão, devido a condições do relevo e superfície plana, como destacado em itens anteriores. A maior vazão foi encontrada na nascente N-18, com 7,89 L/s, localizada próximo à rodovia.

No período chuvoso as nascentes N-03, N-12, N-15, N-24, N-29, N-49 e N-89 apresentaram-se sem afloramento de água. Ainda, em 43 pontos não foi possível medir a vazão devido às características da área, assim como no período de seca.

É importante destacar que as nascentes N-29 e N-49 estavam secas nas duas campanhas, e dessa forma esses pontos podem ser caracterizados como secos. Já as nascentes N-43 e N-47, que não afloraram no período seco, podem ser caracterizadas como surgências intermitentes, uma vez que variaram conforme a sazonalidade.

Ainda, apenas ao longo do período pluvioso, as seguintes nascentes não apresentaram surgência: N-03, N-12, N-15, N-24 e N-89. Isso pode ser justificado pelo longo período de estiagem a que a região foi submetida, indicando que o aquífero que alimenta essas nascentes não teve tempo suficiente para recarregar durante o período chuvoso, tendo em vista que o monitoramento foi realizado no início da estação chuvosa.

No gráfico apresentado na Figura 302, foram apresentadas apenas as nascentes onde houve medição. No período seco não foi possível aferir vazão nas seguintes nascentes: N-01, N-04, N-12, N-13, N-14, N-15, N-17, N-19, N-20, N-21, N-22, N-24, N-25, N-26, N-27, N-29, N-32, N-34, N-35, N-36, N-39, N-40, N-41, N-43, N-47, N-48, N-49, N-50, N-56, N-57, N-58, N-63, N-66, N-68, N-69, N-70, N-71, N-76, N-77, N-78, N-79, N-80, N-81, N-85, N-86, N-90, N-91 e N-93. Além disso, as nascentes N-29, N-43, N-47 e N-49 encontravam-se sem surgência. No período chuvoso, não foi possível medir vazão nas nascentes: N-01, N-07, N-10, N-13, N-19, N-20, N-21, N-22, N-23, N-26, N-27, N-29, N-32, N-35, N-39, N-40, N-44, N-47, N-49, N-56, N-57, N-58, N-59, N-60, N-63, N-66, N-67, N-69, N-70, N-



87, N-88 e N-92. Ainda, as nascentes N-03, N-12, N-15, N-24, N-29, N-49 e N-89 encontravam-se secas.

É possível perceber que na época de estiagem a maior vazão foi encontrada na nascente N-18, com 7,89 L/s, localizada próximo à rodovia. Já no período chuvoso a maior vazão foi identificada na nascente N-78, com 7,17 L/s.

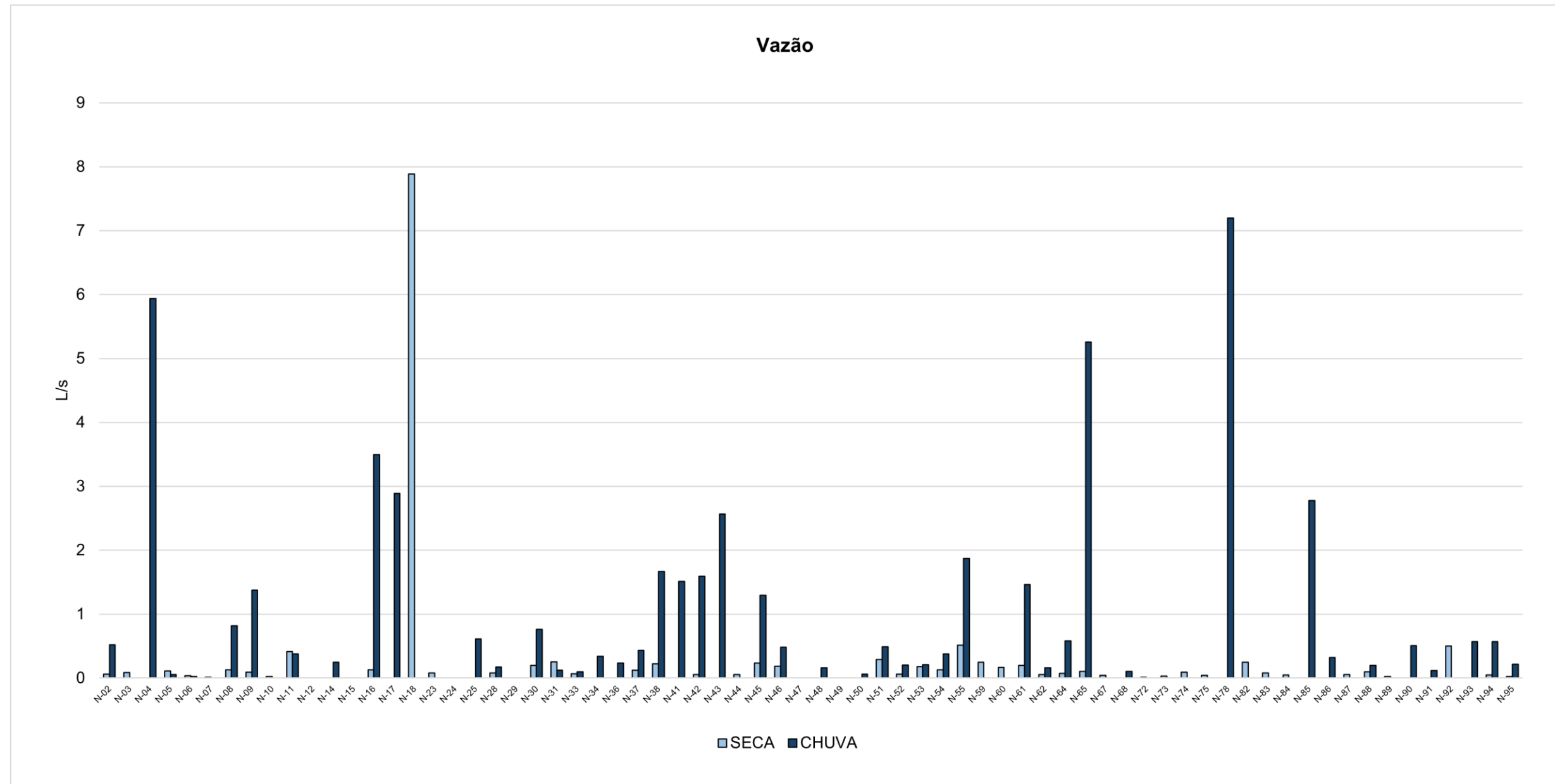


Figura 302 Monitoramento de Vazão

6.1.13.2.1.1. Qualidade dos Poços

Caracterização Genérica e avaliação do grau de oxigenação da água: Temperatura, pH, Turbidez e Oxigênio Dissolvido.

Nos poços monitorados, o pH variou de 4,58 a 6,51, mantendo-se no espectro ácido a neutro em ambos os períodos. No período seco, ocorreu uma variação de 5,13 e 6,51 para o pH, indicando resultados dentro da faixa de normalidade preconizada por Feitosa *et al.* (2008) de 5,5 a 8,5 para águas subterrâneas. No período chuvoso, o pH variou de 4,58 e 5,69, indicando maior acidez que o período anterior. Essa diferença pode ser decorrente da solubilização de metais do solo (Nakamura, *et al.* 2014). O gráfico da Figura 303 apresenta os dados de pH dos poços monitorados.

As águas subterrâneas na zona mais superficial dos aquíferos são influenciadas por diversos fatores, como o intemperismo químico, este que é uma das principais fontes de influência de solutos em águas subterrâneas, dissolvendo minerais e matéria orgânica no aquífero (Berland *et al.*, 2020).

O pH na faixa encontrada pode ser decorrente da presença de ácidos fracos, frequentemente ácido carbônico, e de pequenas concentrações de ácidos orgânicos, como o ácido fúlvico, que é resultante da degradação da matéria orgânica. Estes ácidos, por meio principalmente das reações de hidrólise, promovem a substituição de alguns elementos dos minerais primários pelos elementos ionizáveis da água (H^+ e OH^-), desfazendo a estrutura cristalina. Nesta reação ocorre a transformação dos minerais primários em argilas, caracterizando a atuação do intemperismo e a liberação de cátions e sílica solúvel.

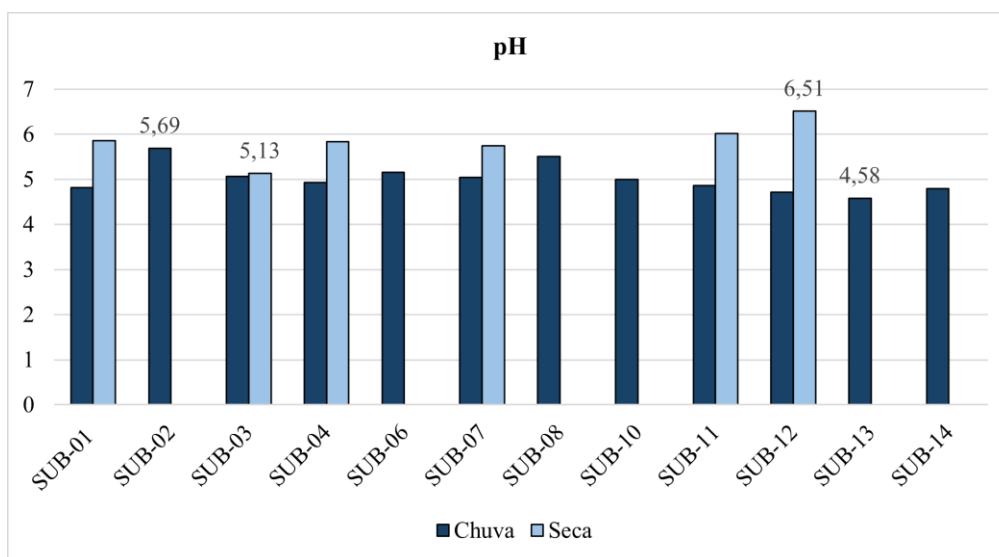


Figura 303 Resultados para o parâmetro pH

A Turbidez, ilustrada no gráfico da Figura 304, variou entre 1,9 e 98 NTU, para ambos os períodos, sendo que a concentração mais elevada foi identificada no ponto SUB-10, no período seco. Este desenvolvimento tem como objetivo a remoção do material mais fino da formação aquífera nas proximidades do poço, aumentando, assim, sua porosidade e permeabilidade ao redor do poço (Costa Filho *et al.*, 1998). A não-remoção desses materiais finos impacta significativamente a Turbidez, tendo

em vista que esse parâmetro está diretamente relacionado à concentração de sólidos em suspensão (Feitosa *et al.*, 2008). Com o início do período chuvoso, a turbidez dos poços perfurados apresentou uma diminuição, com exceção ao SUB-01, único ponto em que a turbidez no período chuvoso foi maior que a do seco, sendo 32,4 e 4,75 NTU, respectivamente.

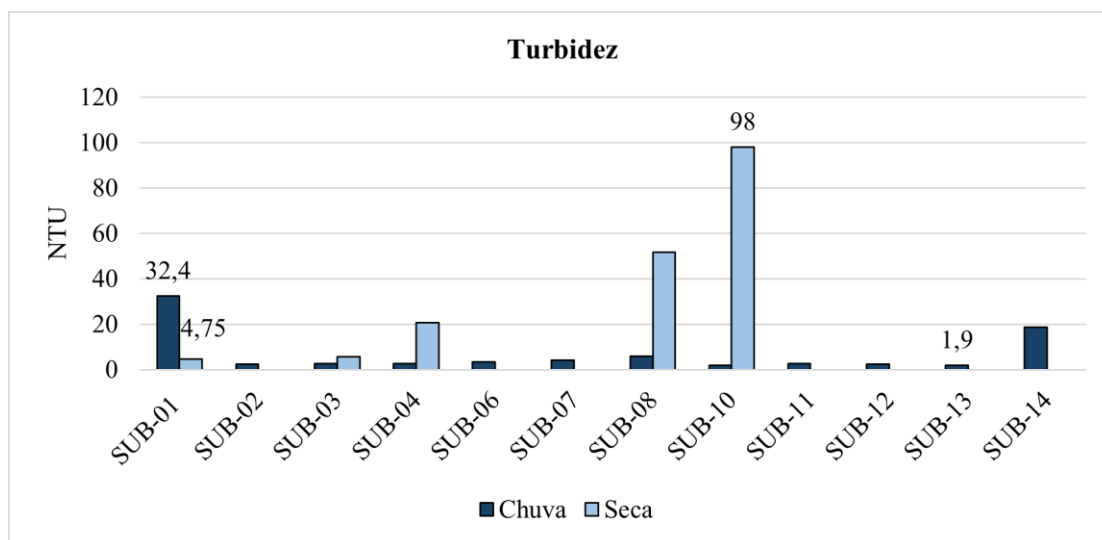


Figura 304 Resultados para o parâmetro Turbidez

Quanto ao grau de oxigenação, em águas subterrâneas espera-se que o Oxigênio Dissolvido (OD) seja baixo devido ao confinamento e ausência de contato com a atmosfera. No entanto, nas amostras dos poços perfurados observa-se valores mais elevados desse parâmetro. Isso pode ser justificado pela turbulência provocada pelo bombeamento do poço ao se realizar testes de nível. Essa turbulência aumenta a área específica de contato da água com a atmosfera e, conseqüentemente, o nível de OD.

É possível observar uma relação entre a Temperatura e o Oxigênio Dissolvido a partir da interpretação do gráfico da Figura 281 e Figura 306, já que a solubilidade do gás oxigênio em água é inversamente proporcional ao aumento da temperatura (Fiorucci & Benedetti Filho, 2005).

Em ambos os períodos, a concentração de OD foi maior em poços com menor temperatura. No período de seca, por exemplo, o poço SUB-12, obteve a maior medição, de 6,92 mg/L de OD, aliado a medição da menor temperatura do período, de 21,58 °C. O SUB-11 protagonizou o segundo maior valor de OD (5,76 mg/L), e conseqüentemente a segunda menor temperatura do período monitorado, de 22,08 °C, apresentando dinâmica similar. O mesmo comportamento pôde ser observado no período chuvoso, como o SUB-07, que resultou em um OD de 6,8 mg/L, maior valor no período, concomitante à 20,51 °C, menor temperatura medida. Ademais, o SUB-12 repetiu sua alta de OD aliada à baixas temperatura monitorada. No entanto, a relação entre estes parâmetros não foi integralmente linear, pois pode ser afetada por outros parâmetros, tais como pressão atmosférica, salinidade e concentração de sólidos dissolvidos na água (Fiorucci & Benedetti Filho, 2005).

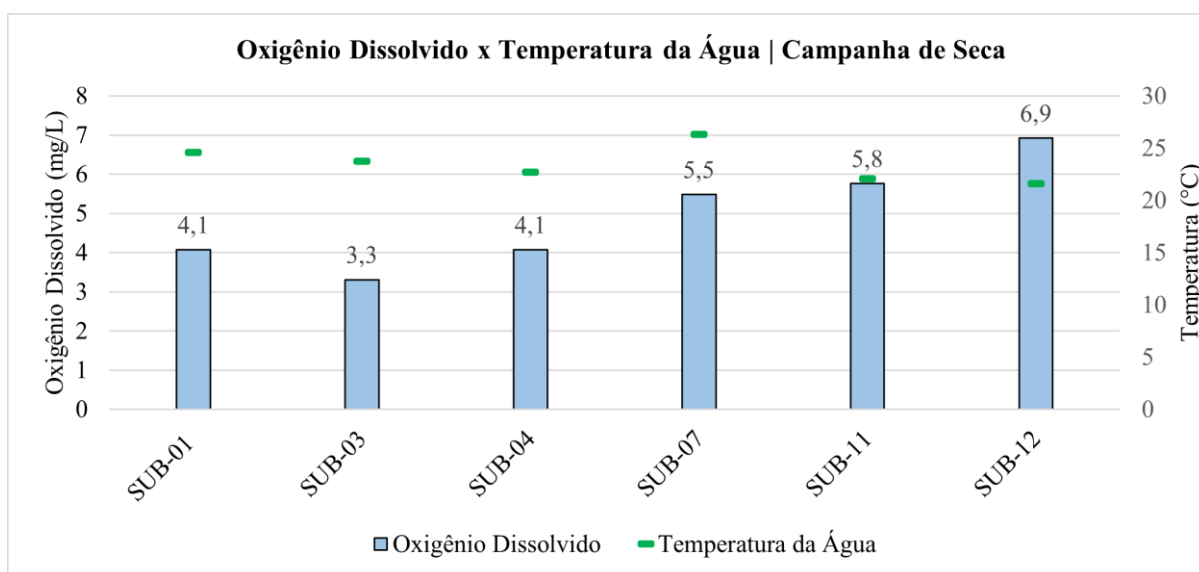


Figura 305 Resultados para o parâmetro Oxigênio Dissolvido e Temperatura da Água (período de seca)

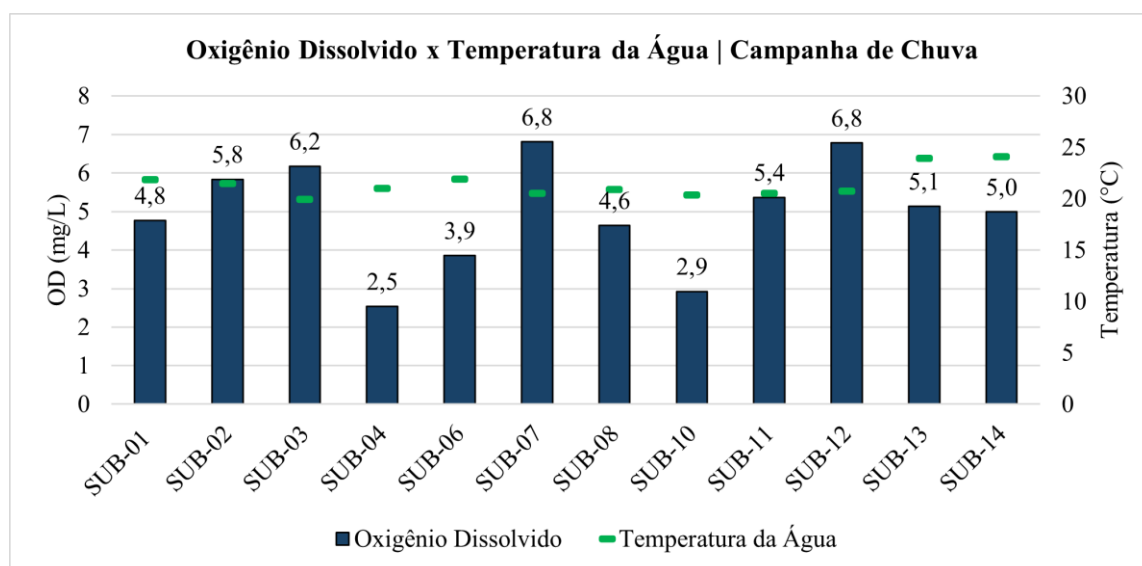


Figura 306 Resultados para o parâmetro Oxigênio Dissolvido e Temperatura da Água (período de chuva)

Caracterização do grau de mineralização da água: Potencial Redox, Condutividade Elétrica e Sólidos Totais

A análise do Potencial Redox revelou valores entre 256,1 e 507,3 mV (Figura 307). Em razão da positividade dos valores obtidos, verifica-se a existência de um ambiente oxidante para a água em todos os poços e para ambos os períodos monitorados.

É possível perceber que o poço SUB-04 (256,1 mV) no período de seca, não seguiu a mesma tendência de valores dos demais pontos, possuindo menor valor monitorado. Isso pode ser justificado pela interface água-sedimento (Jardim, 2014) existente no poço, que é influenciada pelo não-desenvolvimento no período. No entanto, o valor voltou à estabilidade no período de chuva.

Por fim, o Potencial Redox também está relacionado a outros fatores, tais como pH, alcalinidade,

temperatura e minerais (Jardim, 2014) e é fortemente influenciada pelas características geológicas, hidrológicas e biogeoquímicas de cada ponto.

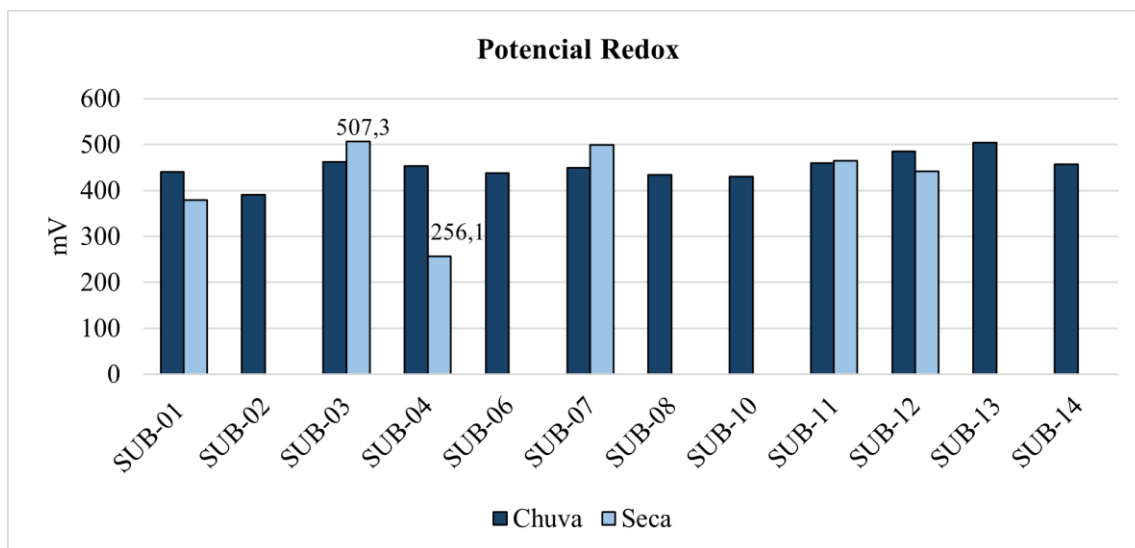


Figura 307 Resultados do parâmetro Potencial Redox

No período seco, a condutividade variou entre 18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 121 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nos poços, que, com exceção feita ao SUB-04, apresentaram valores abaixo de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No período chuvoso, os valores variaram entre 15 e 65 $\mu\text{S}/\text{cm}$, também se mantendo abaixo de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Em ambos os períodos, evidencia-se a baixa concentração de sais nas surgências, o que está alinhado aos baixos valores de Sólidos Totais, permitindo caracterizar essa água como Água Doce (Braga *et al.* 2021). Essa classificação está alinhada à definição de salubridade para águas subterrâneas, realizada pela Portaria N° 1.469 de 2001 da FUNASA – MS, que define como doce aquela água que possui valor de Sólidos Totais Dissolvidos entre 0 e 500 mg/L.

Observa-se um comportamento de aumento proporcional do parâmetro condutividade com o aumento da concentração de sólidos (CETESB, 2017), como observado de forma gráfica na Figura 308 e Figura 309. Foi possível observar que a mudança de períodos não interferiu significativamente nos resultados, reforçando que a chuva não interferiu significativamente no aumento dos sólidos, situação esperada em ambientes pouco impactados.

Cita-se como exemplo o ponto SUB-04, que teve comportamento similar para ambos os períodos, assim, o mesmo apresentou sua maior condutividade no período seco, quando obteve maior presença de sólidos totais, e seguidamente, apresentou diminuição para ambos os parâmetros, quando monitorados no período chuvoso. O mesmo comportamento ocorreu no ponto SUB-01, SUB-03, SUB-04, SUB-07, SUB-11 e SUB-12 que apresentaram seus maiores valores de condutividade alinhadas ao aumento da concentração de sólidos totais quando comparados ambos os períodos.

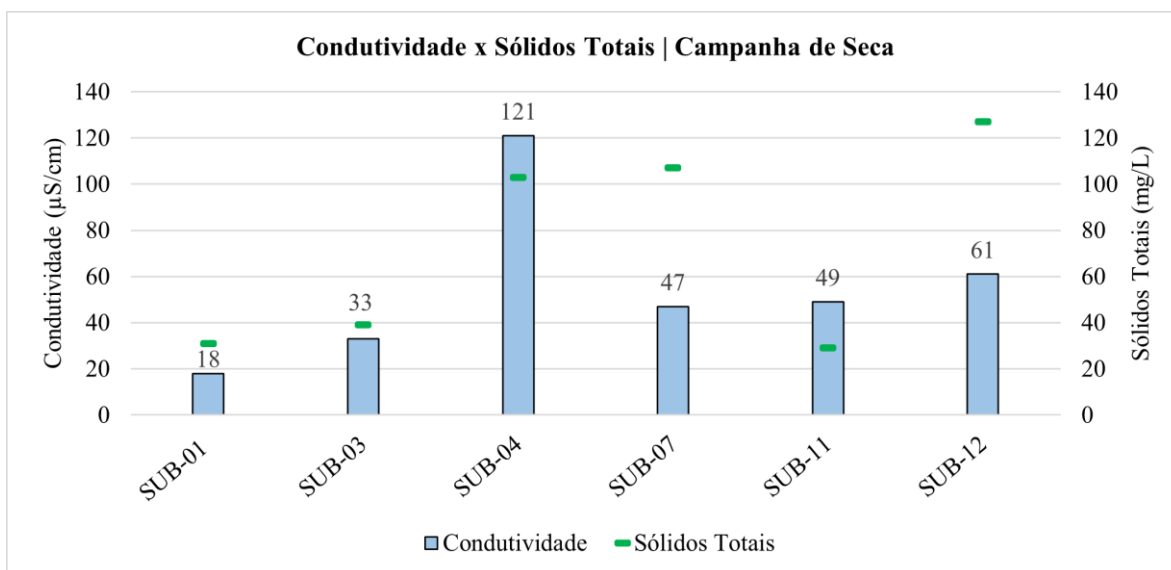


Figura 308 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos Totais no período de seca

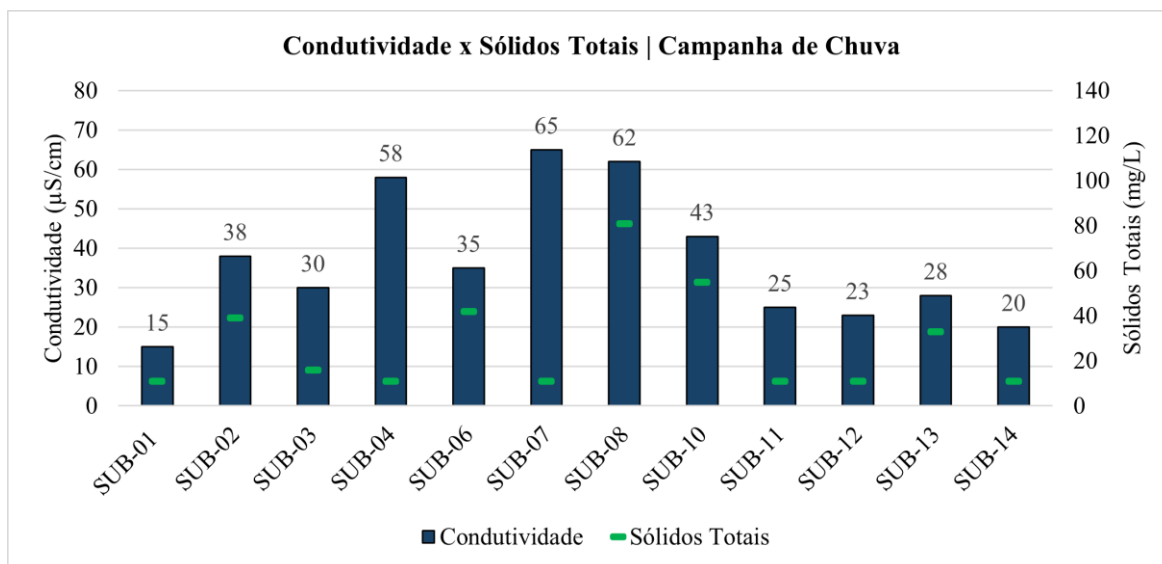


Figura 309 Resultados de correlação entre Condutividade e Sólidos Totais no período de chuva

Avaliação da presença de nutrientes, sais e da poluição orgânica na água: Nitrito, Nitrato, Sulfato e Cloreto

As análises apresentadas no gráfico da Figura 310 indicam que as concentrações de Nitrito foram todas inferiores ao limite de 1 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano), com maior concentração de 0,07 mg/L no período chuvoso, encontrada no ponto SUB-08. No mesmo período, os pontos SUB-03, SUB-06, SUB-10, SUB-12 e SUB-13 apresentaram valores abaixo do LQ (<0,01 mg/L), assim como como os pontos SUB-07 e SUB-12 no período seco.

Para o parâmetro Nitrato, o monitoramento não apresentou resultados superiores ao limite de 10 mg/L, estabelecido pela legislação supracitada, em nenhum ponto. Os resultados variaram entre 0,02 e 1,93 mg/L, como observado no gráfico da Figura 311 a Figura 287. O poço SUB-14 apresentou valores abaixo do LQ (<0,02 mg/L) no período chuvoso.

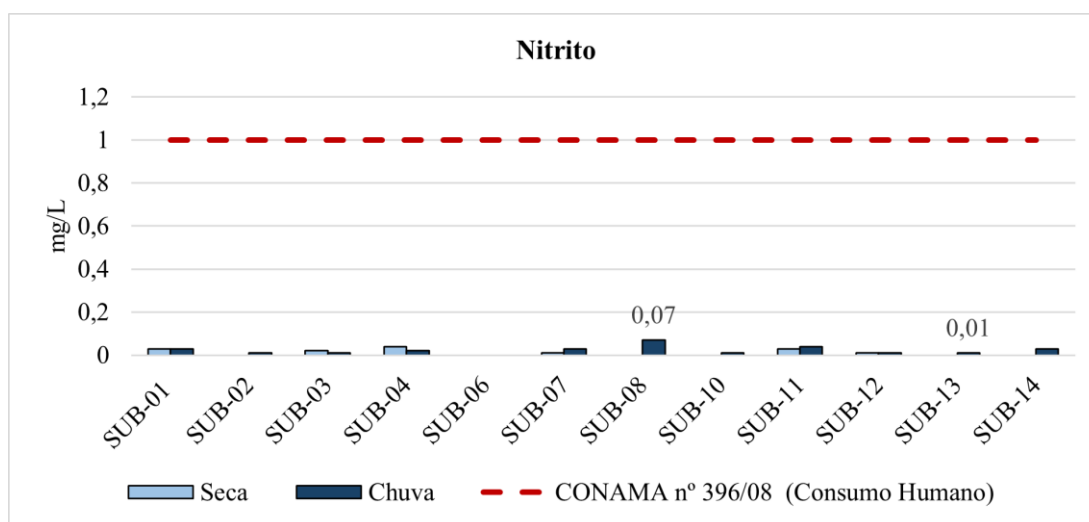


Figura 310 Resultados para o parâmetro Nitrito

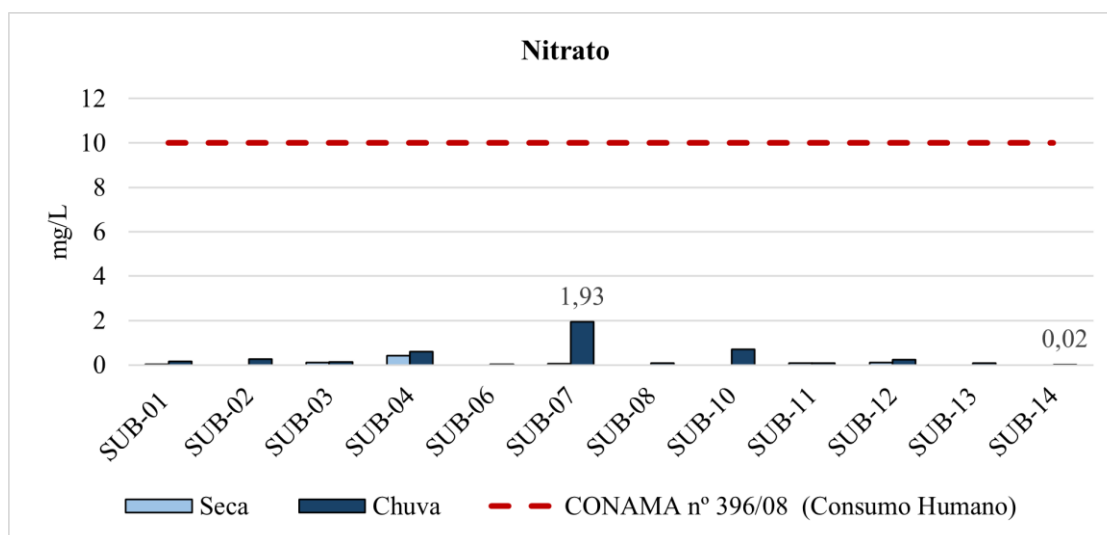


Figura 311 Resultados para o parâmetro Nitrato

A Resolução CONAMA n° 396/2008 prevê, em seu Anexo I, o limite de 250 mg/L para Sulfato e Cloreto nas águas subterrâneas para consumo humano. Todos os poços, em ambos os períodos monitorados apresentaram resultados inferiores aos limites estabelecidos pela legislação supracitada para os dois parâmetros, indicando boa qualidade das águas subterrâneas. Estes resultados estão apresentados nos gráficos da Figura 312 e Figura 313.

Em relação ao Sulfato, no período de seca, os pontos SUB-01, SUB-03, SUB-07 e SUB-11 apresentaram valores inferiores ao Limites de Quantificação (LQ) do laboratório, de 1 mg/L. Já no período chuvoso, apenas os pontos SUB-06 e SUB-07 não apresentaram valores inferiores ao LQ.

Em adicional, todos os resultados para Cloreto foram inferiores ao preconizado pela resolução, como demonstrado na Figura 289. Ademais, com exceção ao ponto SUB-07 (5 mg/L) no período chuvoso, todos os valores estavam abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 1 mg/L.

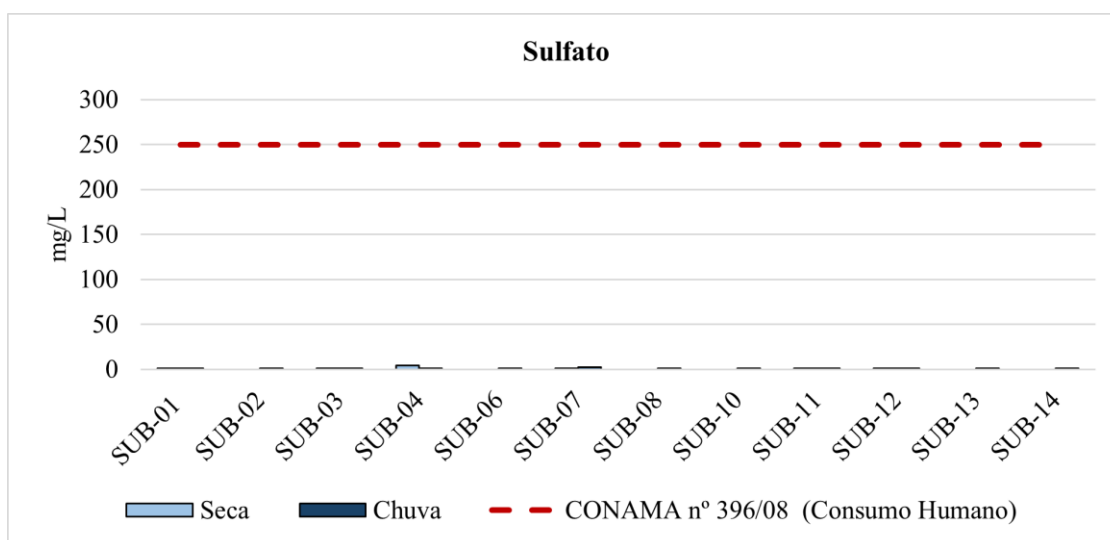


Figura 312 Resultados para o parâmetro Sulfato

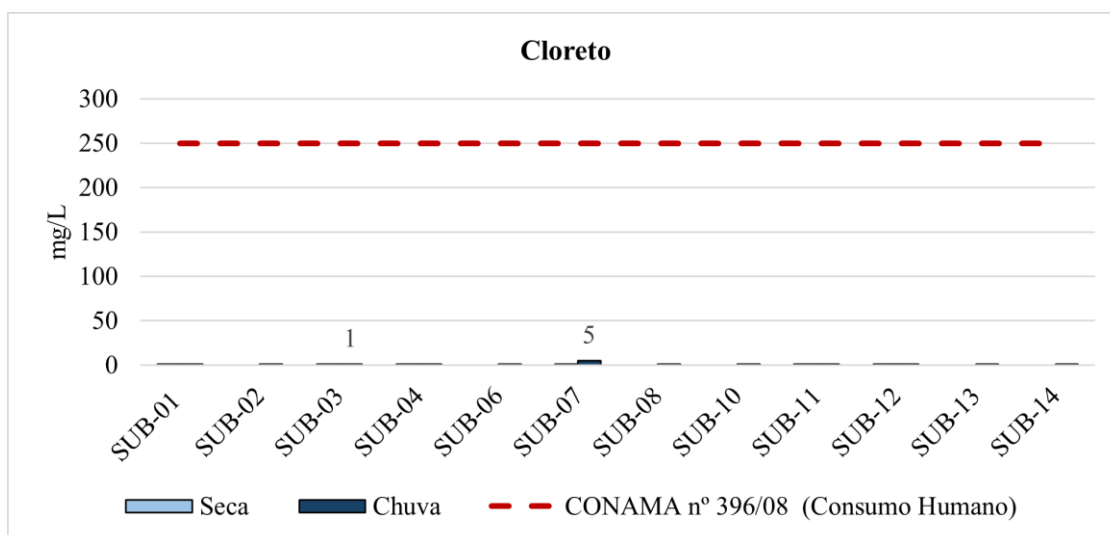


Figura 313 Resultados para o parâmetro Cloreto

Presença de elementos-traço e eventuais contaminantes: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Manganês, Níquel, Prata, Sódio, Urânio e Zinco

As análises físico-químicas realizadas nos poços indicam que, dentre os 10 parâmetros analisados, apenas Manganês Total apresentou não conformidade em relação ao limite de 0,1 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 (consumo humano), em ambos os períodos monitorados.

No período seco, o parâmetro Manganês Total apresentou não conformidade no poço SUB-04, com concentração de 0,85 mg/L; e no poço SUB-07; com concentração de 0,15 mg/L (Figura 314). No período chuvoso, o SUB-04 assimila o mesmo comportamento obtido no período anterior, representando a maior concentração, de 0,82 mg/L. Além desse, os pontos SUB-06 (0,19 mg/L) e SUB-14 (0,11 mg/L) apresentaram não conformidade, ultrapassando o limite preconizado. Ressalta-se que o ponto SUB-10 resultou no limite máximo permitido, de 0,1 mg/L.

Tais concentrações podem ser atribuídas, em grande parte, à geologia da região, caracterizada pela presença de rochas ígneas extrusivas e rochas metamórficas associadas. O manganês, presente geralmente como elemento traço nestas rochas, é encontrado na forma Mn^{2+} dissolvido na água subterrânea. Sua formação em estado solúvel depende de diversos fatores, como pH, Potencial Redox, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido. É importante observar que no ponto SUB-04, o manganês na forma de Mn^{2+} pode ter sido solubilizado em função do potencial consumo total de oxigênio e redução do Mn^{4+} no período seco, evidenciado pelo Potencial Redox de 256,1 mV, obtido neste ponto. Este valor está na faixa que prioriza a formação deste composto solúvel quando entre +100 e +300 mV (Jardim, 2014). No período de chuva, o mesmo ponto SUB-04, assim como SUB-06 e SUB-10 apresentaram baixo oxigênio dissolvido, indicando um ambiente redutor, no qual o oxigênio pode ser consumido pelos receptores de elétrons do Mn^{4+} e favorecem a formação do Mn^{2+} em estado solúvel (Jardim, 2014).

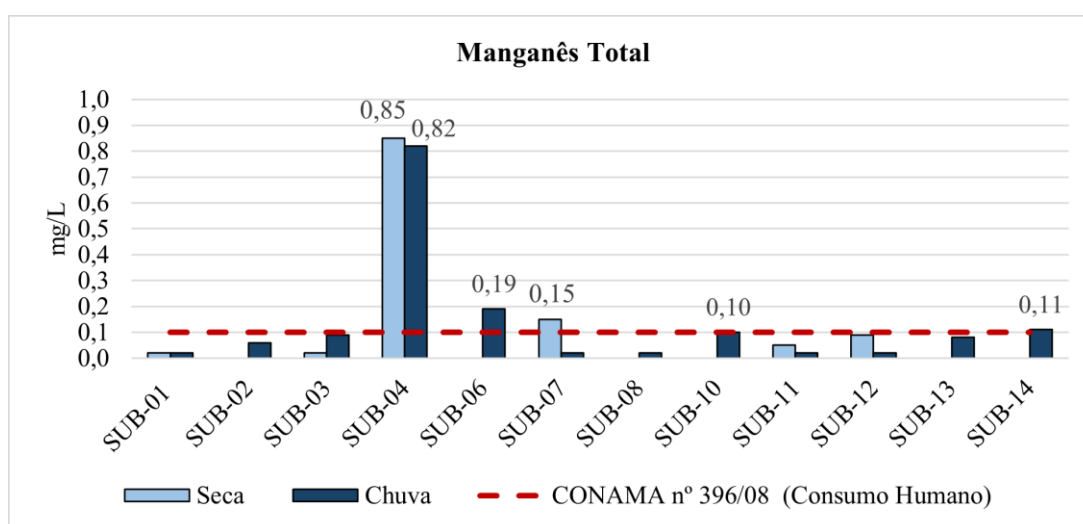


Figura 314 Resultados para o parâmetro Manganês Total

Os parâmetros Arsênio Total, Bário Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Níquel Total, Prata Total, Sódio Total, Urânio Total e Zinco Total estiveram em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano), como visualizado nos gráficos da Figura 315 a Figura 323.

Além disso, os parâmetros Arsênio Total, Cádmio Total, Níquel Total, Prata Total e Urânio Total apresentaram resultados inferiores aos respectivos Limites de Quantificação (LQ), em todas as amostragens de ambos os períodos.

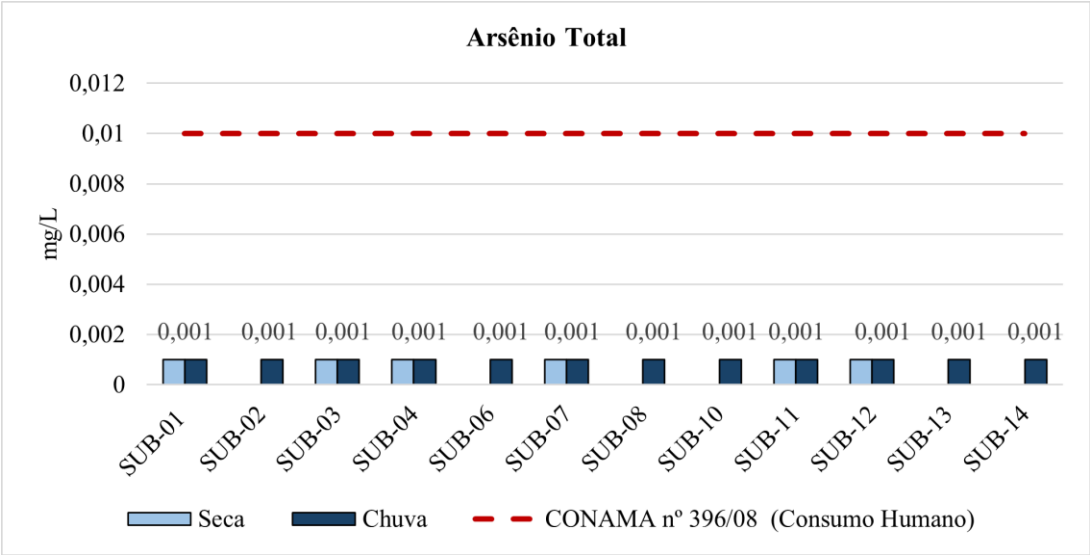


Figura 315 Resultados para o parâmetro Arsênio Total

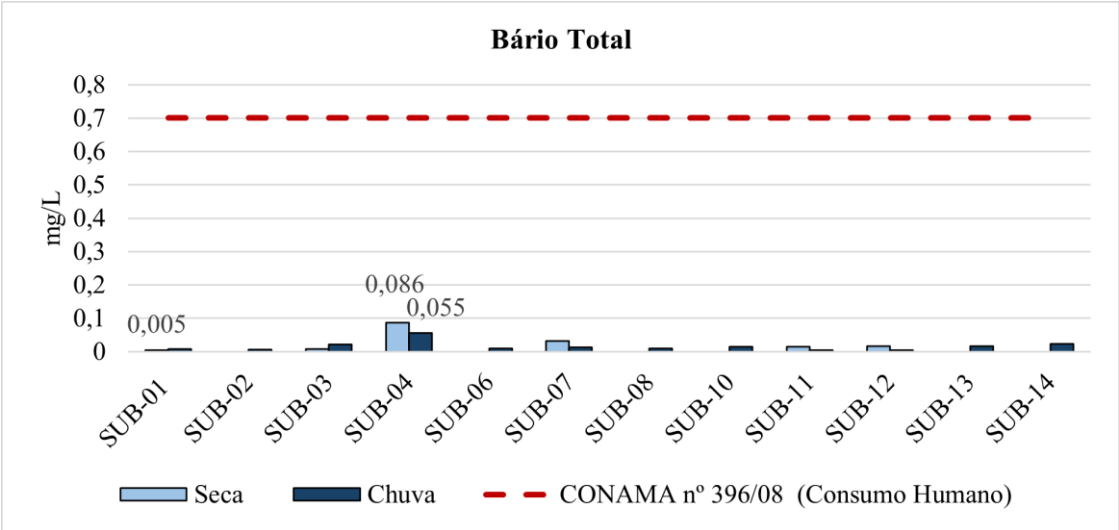


Figura 316 Resultados para o parâmetro Bário Total

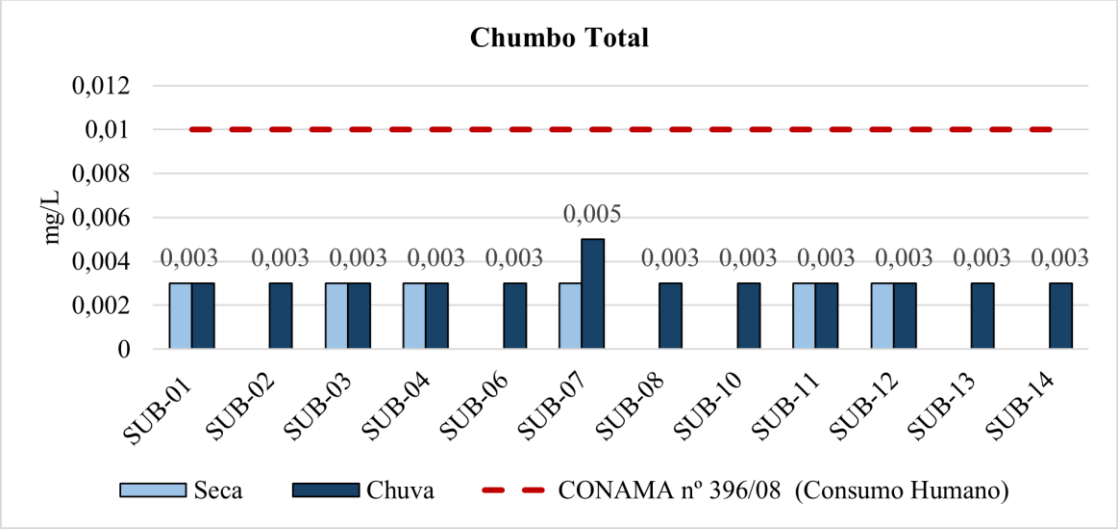


Figura 317 Resultados para o parâmetro Chumbo Total

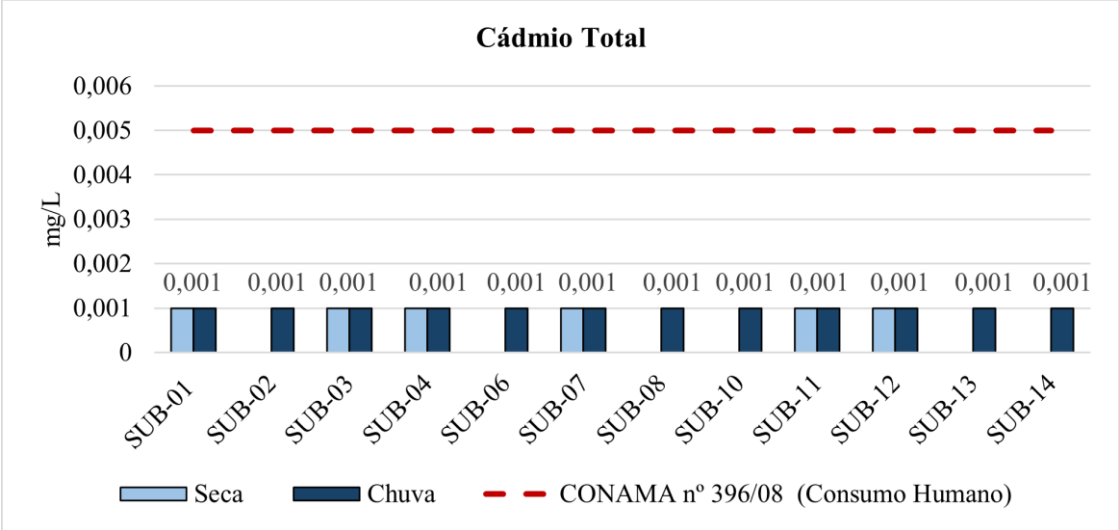


Figura 318 Resultados para o parâmetro Cádmio Total

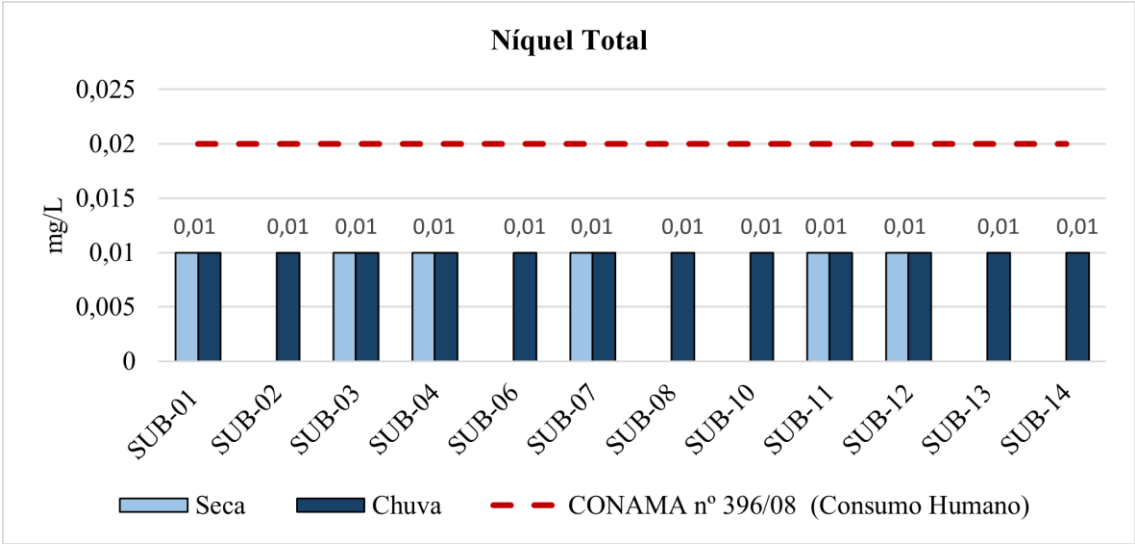


Figura 319 Resultados para o parâmetro Níquel Total

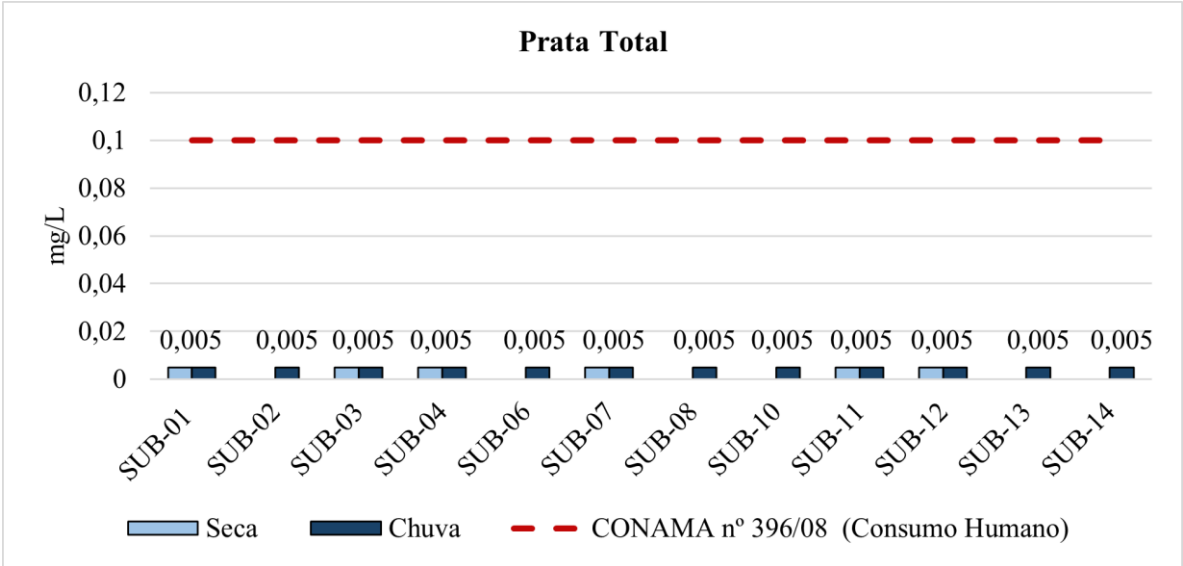


Figura 320 Resultados para o parâmetro Prata Total

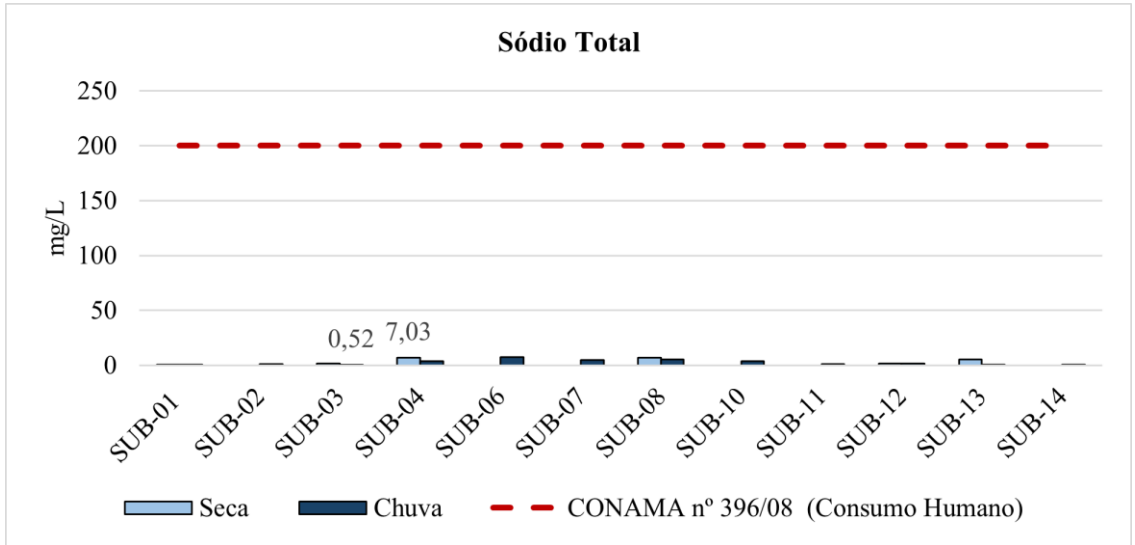


Figura 321 Resultados para o parâmetro Sódio Total

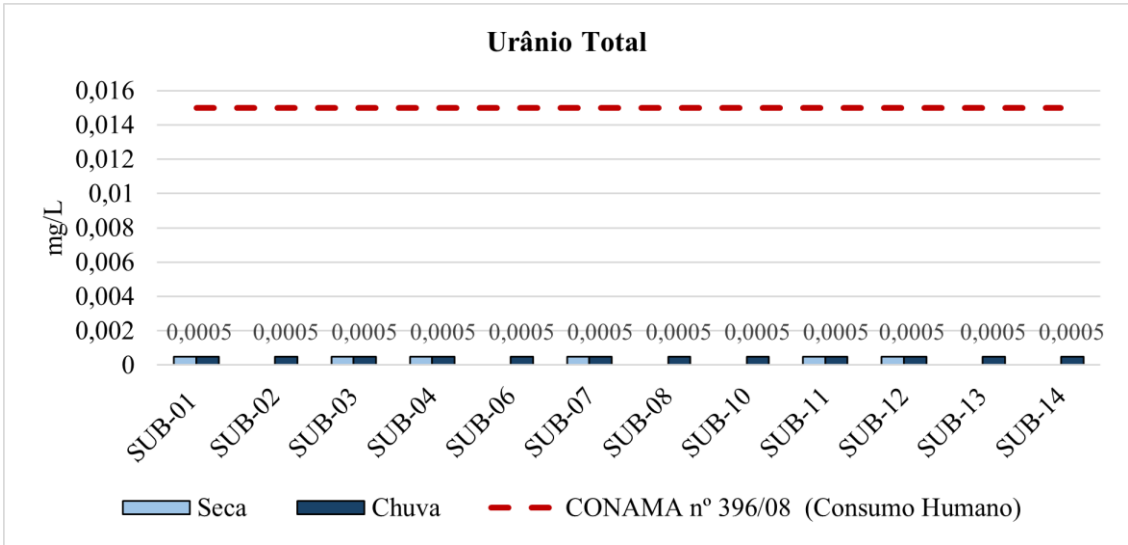


Figura 322 Resultados para o parâmetro Urânio Total

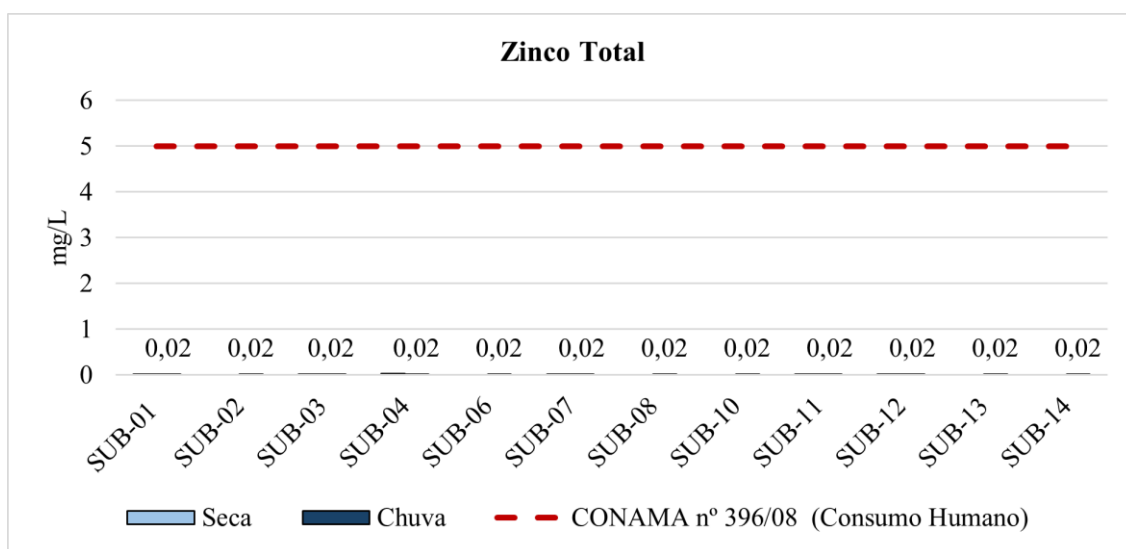


Figura 323 Resultados para o parâmetro Zinco Total

Caracterização da comunidade biológica: Coliformes Termotolerantes, *Escherichia Coli*.

Os gráficos da Figura 324 e Figura 325 apresentam os resultados de Coliformes Termotolerantes e *Escherichia Coli*, respectivamente. No período seco, as contagens de Coliformes Termotolerantes nos poços analisados oscilaram entre 1 e 25 UFC/100mL, excedendo o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano), que preconiza a ausência desses indicadores de contaminação biológica, numa amostra de 100 mL. No período chuvoso, as contagens de Coliformes Termotolerantes variaram entre 1 e 1100 UFC/100ml, e ultrapassaram o limite estabelecido.

De forma semelhante aos Coliformes Termotolerantes, a presença de *E. coli* nos poços superou o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (consumo humano), que estabelece como padrão a ausência desse indicador de contaminação fecal recente, numa amostra de 100 mL. No período seco, os valores encontrados variaram entre 1 e 22 NMP/100mL, já no período chuvoso, os valores encontrados variaram entre 1 e 800 NMP/100ml. O ponto SUB-02 apresentou o maior resultado para ambos os parâmetros no período chuvoso, esse poço localiza-se próxima a fazendas que possuem áreas agrícolas e de pastagem, além da cercania de uma Hípica, fatores que podem originar a contaminação.

No período seco, os poços SUB-01, SUB-03, SUB-07 e SUB-11, tiveram valores que foram inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) do laboratório, de 1,0 UFC/100mL ou NMP/100mL, tanto para Coliformes Termotolerantes quanto para *E. coli*. Já os poços SUB-01, SUB-04, SUB-07, SUB-12 e SUB-14 apresentaram resultados inferiores ao Limite de Quantificação (LQ) no período de chuva para ambos os parâmetros citados.

No entanto, como o LQ é diferente do limite estabelecido na legislação (presença/ausência), não é possível afirmar com certeza se houve ou não concentrações destes parâmetros. Os resultados acima do LQ podem ser devido a inúmeros fatores, tais como despejo de efluentes e resíduos sólidos, presença de animais e fezes humanas ou proximidade com áreas de lavouras e pastagens.

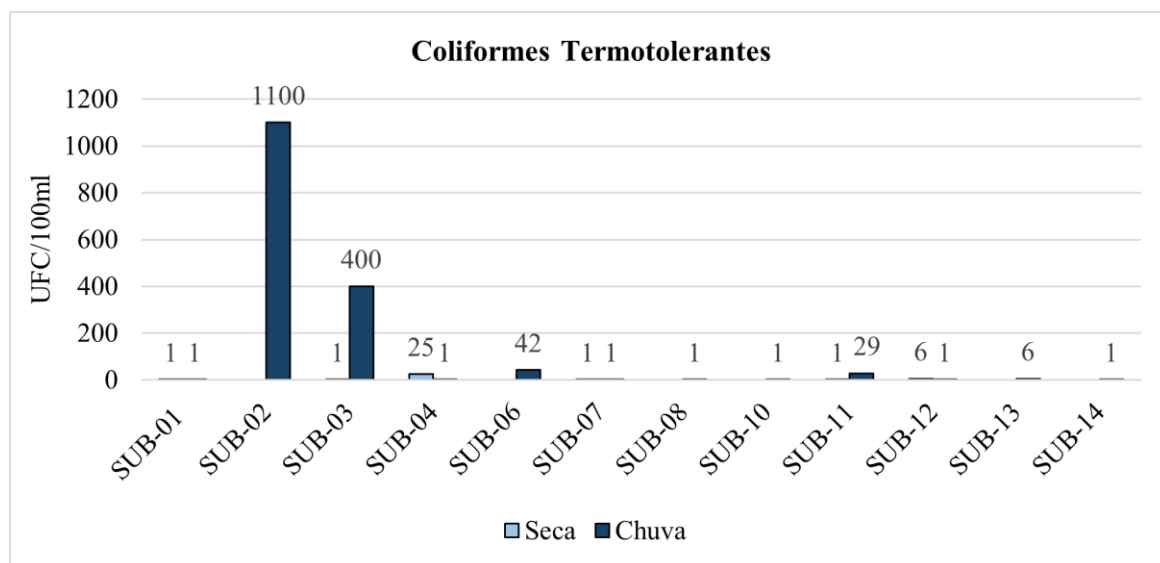


Figura 324 Resultados para o parâmetro Coliformes Termotolerantes

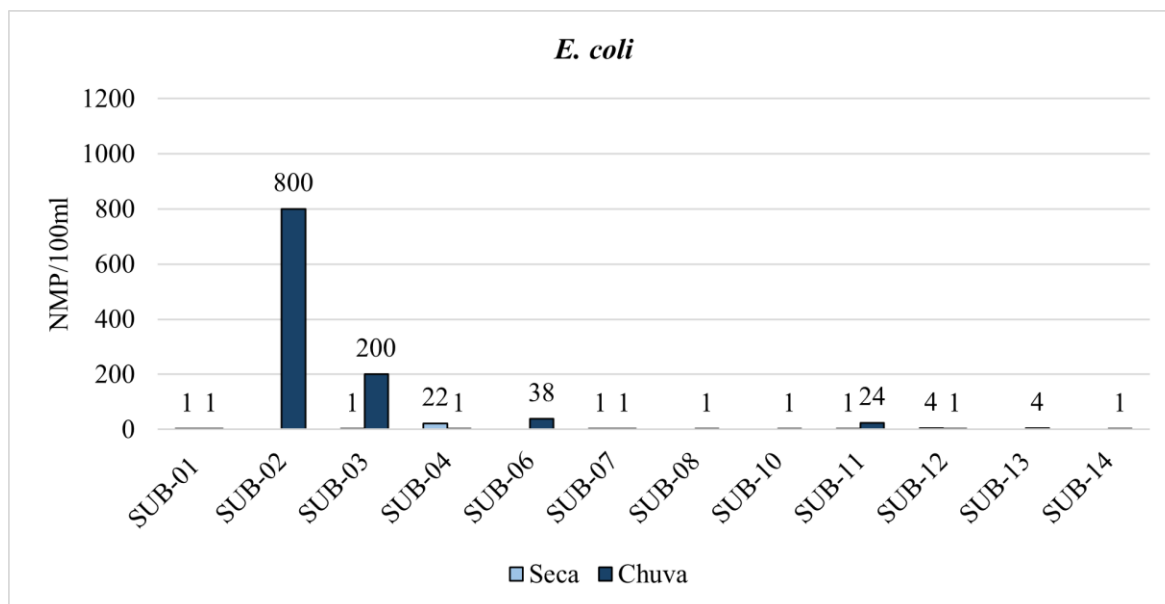


Figura 325 Resultados para o parâmetro Escherichia Coli

6.1.13.2.1.2. Qualidade das Fontes Termais

Caracterização genérica da água: pH, Cor, Temperatura e Turbidez

Os resultados de pH estão apresentados no gráfico da Figura 326 e os dados de temperatura podem ser vistos no gráfico da Figura 327, para ambos os períodos de amostragem (seca e chuva). Os resultados das fontes de água quente foram semelhantes e com características alcalinas, com pH acima de 9. Em contrapartida, na Fonte Pedro Botelho (Fria) o pH foi de 6,2, próximo à neutralidade.

Nas amostragens realizadas, a temperatura foi de 41,10 °C (seca) e 39,41 °C (chuva) para a Fonte Pedro Botelho (Quente), e para a Fonte dos Macacos os resultados foram de 38,90 °C (seca) e 39,05 °C (chuva). Para a Fonte Pedro Botelho (fria), na época de seca, a medição foi de 21,57 °C, e na época de chuva de

29,95 °C. Dessa forma, as águas das fontes que apresentaram valores acima de 38 °C se enquadram na classe de hipertermais, quando abaixo de 25°C como frias e de 25°C a 33°C como hipotermiais, de acordo com o Decreto-Lei nº 7.841/1945. Portanto, a Fonte Pedro Botelho (fria), na época de seca, apresentou temperatura de classe fria e, na época de chuva, temperatura de classe hipotermal.

A relação entre o pH e a temperatura das águas foi observada, conforme discutido nos estudos de Cruz & Peixoto (1991) e COMIG (2001), sendo que águas classificadas como fontes frias apresentaram pH variando de 5,4 a 6,9 e as fontes termais pH variando entre 9,6 e 9,8. Dessa forma, pode-se observar que a correlação entre pH e temperatura ocorreu nos pontos amostrados, tendo sido medido pH mais baixo na fonte de menor temperatura e pH mais elevados nas fontes de maior temperatura. Entretanto, os valores de pH no período de chuva, nas fontes termais, foram mais elevados do que a faixa de 9,6 e 9,8. Vale ressaltar que, a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelecem valor limite para os parâmetros pH e Temperatura.

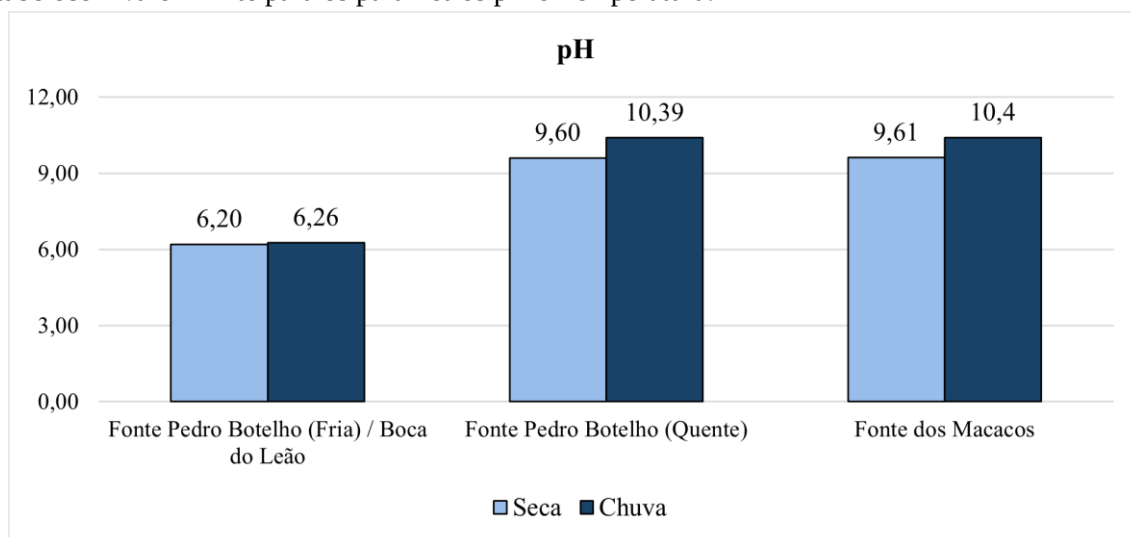


Figura 326 Resultados do parâmetro pH das fontes termais analisadas

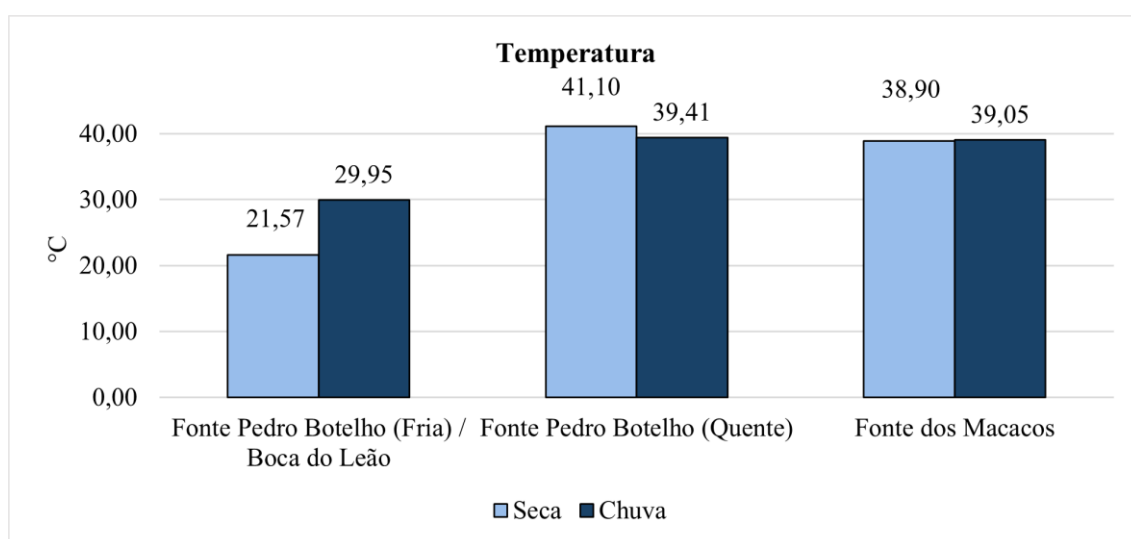


Figura 327 Resultados do parâmetro Temperatura das fontes termais analisadas



No gráfico da Figura 328 estão apresentados os resultados do parâmetro Cor Verdadeira para amostragens do período de seca e de chuva. Os 3 pontos analisados mostraram resultados abaixo do limite de quantificação, que é de 10 mg/L. A Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelecem limites para o parâmetro Cor Verdadeira.

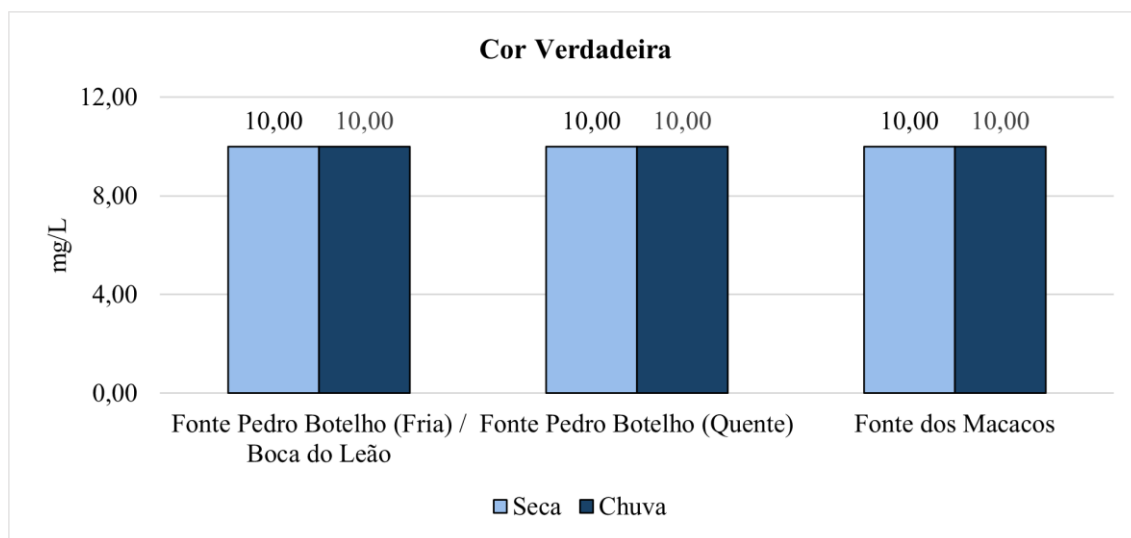


Figura 328 Resultados do parâmetro Cor Verdadeira das fontes termais analisadas

Para o parâmetro Turbidez, na Fonte Pedro Botelho (Fria) foram obtidos os valores de 0,11 NTU (seca) e 0,13 NTU (chuva). Na Fonte Pedro Botelho (Quente), o valor encontrado foi de 0,11 NTU (seca) e 0,13 NTU (chuva), e na Fonte dos Macacos de 0,04 NTU (seca) e de 0,11 NTU (chuva) (Figura 329). A Resolução CONAMA nº 396/2008 não apresenta valores limites para o parâmetro Turbidez, mas a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece que o limite máximo permitido deve ser de 5 uT. Dessa forma, todos os valores apresentados, para ambas as campanhas, estão em conformidade. Cabe ainda ressaltar que, para os parâmetros Cor Verdadeira e Turbidez, os resultados obtidos podem ser considerados baixos e aceitáveis como água para consumo humano (Von Sperling, 2005).

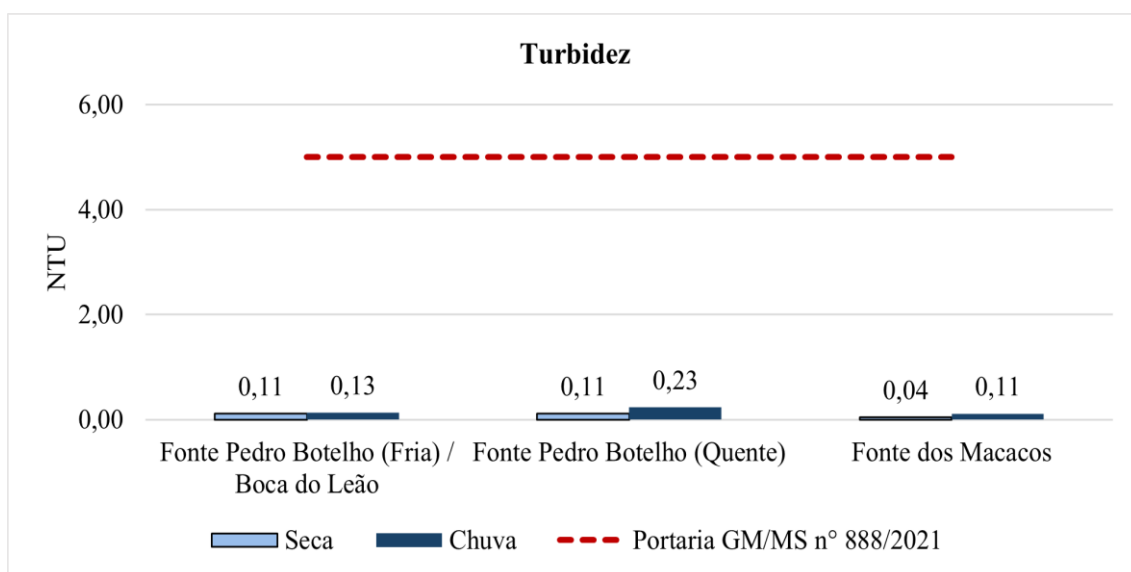


Figura 329 Resultados do parâmetro Turbidez das fontes termais analisadas

Caracterização do grau de mineralização da água e sais: Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Potencial Redox e Fluoreto

Na Figura 330 é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro Alcalinidade Total, sendo que os 3 pontos analisados apresentaram valor abaixo do LQ de 4,0 mg/L, na campanha de seca. Entretanto, na campanha de chuva as concentrações das fontes de água quente foram acima de 350,00 mg/L, de forma discrepante dos valores encontrados nas campanhas de seca e da fonte de água fria. A Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelecem limites para o parâmetro Alcalinidade Total.

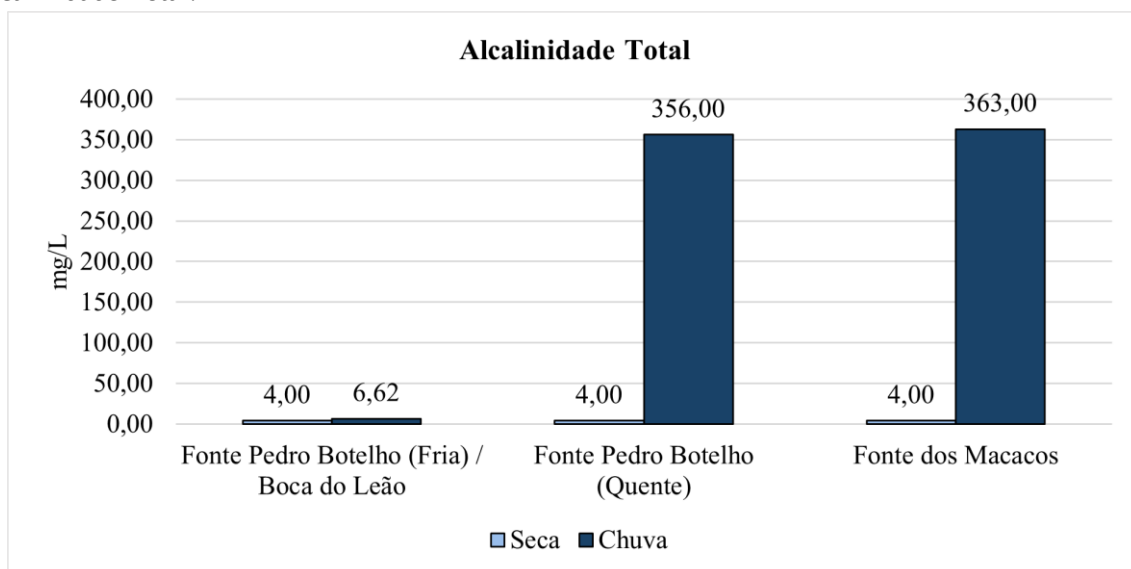


Figura 330 Resultados do parâmetro Alcalinidade Total das fontes termais analisadas

No gráfico da Figura 331 estão apresentados os valores de Condutividade Elétrica e de Sólidos Totais, da amostragem no período de seca, e na Figura 332 os resultados da amostragem do período de chuva.



Na Fonte Pedro Botelho (Fria) os resultados de Condutividade Elétrica foram de 46,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (seca) e 53,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (chuva). Para Sólidos Totais, os valores foram de 37,00 mg/L (seca) e 42,00 mg/L (chuva), com pouca variação entre os períodos, sendo consideravelmente inferiores aos dados obtidos para as fontes de água quente. As fontes quentes superaram os valores de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para Condutividade Elétrica e de 500 mg/L para Sólidos Totais. Na Fonte Pedro Botelho (Quente), os resultados foram de 1.109,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (seca) e de 742,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (chuva), para Condutividade Elétrica, e de 553,00 mg/L (seca) e de 528,00 mg/L (chuva), para Sólidos Totais. Na Fonte dos Macacos, foram de 751,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (seca) e 759,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (chuva), e de 576,00 mg/L (seca) e 568,00 mg/L (chuva), para Condutividade Elétrica e Sólidos totais, respectivamente. Conforme pode ser observado, há uma correlação direta na variação das concentrações dos parâmetros analisados, sendo a Condutividade Elétrica um indicador de modificações na composição de uma água, principalmente na composição mineral, sendo que, à medida que aumenta a concentração de Sólidos Dissolvidos (parcela do grupo de Sólidos Totais), aumenta a Condutividade Elétrica (CETESB, 2017; Dos Santos, 2017). Ressalta-se que, para ambos os parâmetros, não são apresentados valores máximos permitidos nas legislações utilizadas.

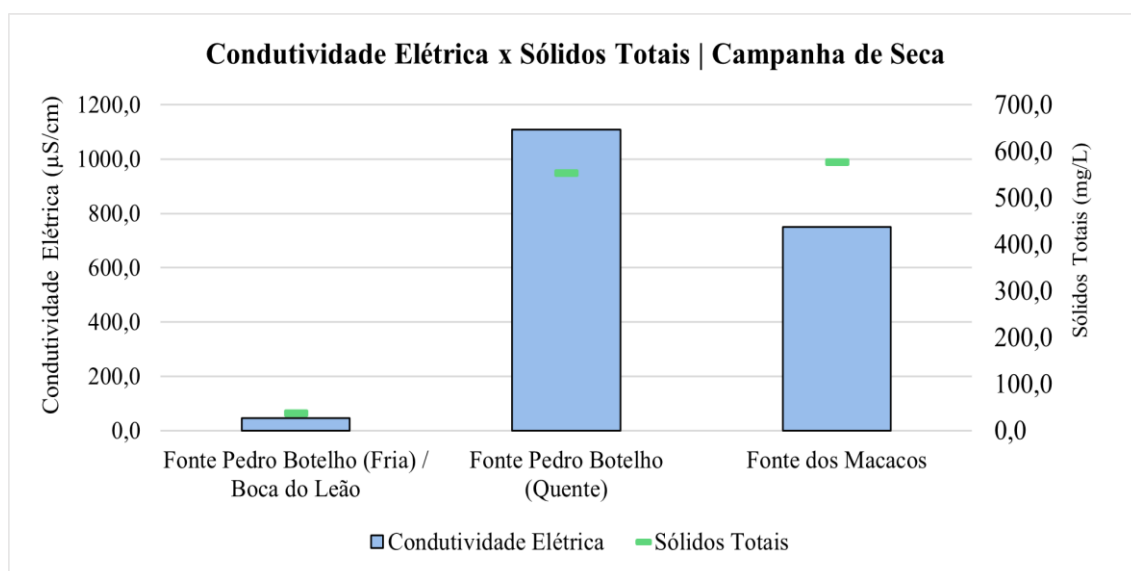


Figura 331 Resultados dos parâmetros de Condutividade Elétrica e Sólidos Totais das fontes termais analisadas

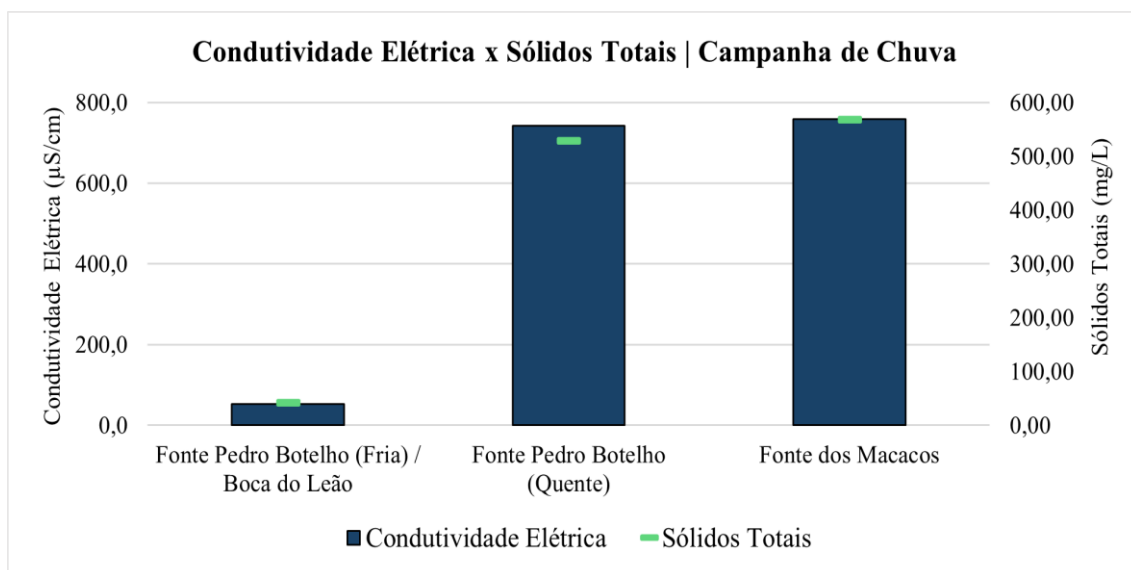


Figura 332 Resultados dos parâmetros de Condutividade Elétrica e Sólidos Totais das fontes termais analisadas

O parâmetro Potencial Redox pode estar associado à transferência de elétrons entre as espécies químicas e, quando em meio redutor, entende-se que as condições são de deficiência de elétrons e, em meio oxidante, de transferência de elétrons (CETESB, 2017). Na amostragem, os resultados não apresentaram similaridade, sendo que na fonte fria obteve-se os valores de 127,40 mV (seca) e de 626,40 mV (chuva), na Fonte Pedro Botelho (Quente) de 711,10 mV (seca) e de 100,40 mV, e na Fonte dos Macacos de 96,50 mV (seca) e de -183,00 mV (chuva) (Figura 333). Portanto, o valor negativo no resultado da amostragem de chuva na Fonte dos Macacos representa uma água com características de agente redutor e de circulação profunda (Cruz & Peixoto, 1991). É importante destacar que, a Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelecem limites para o parâmetro Potencial Redox.

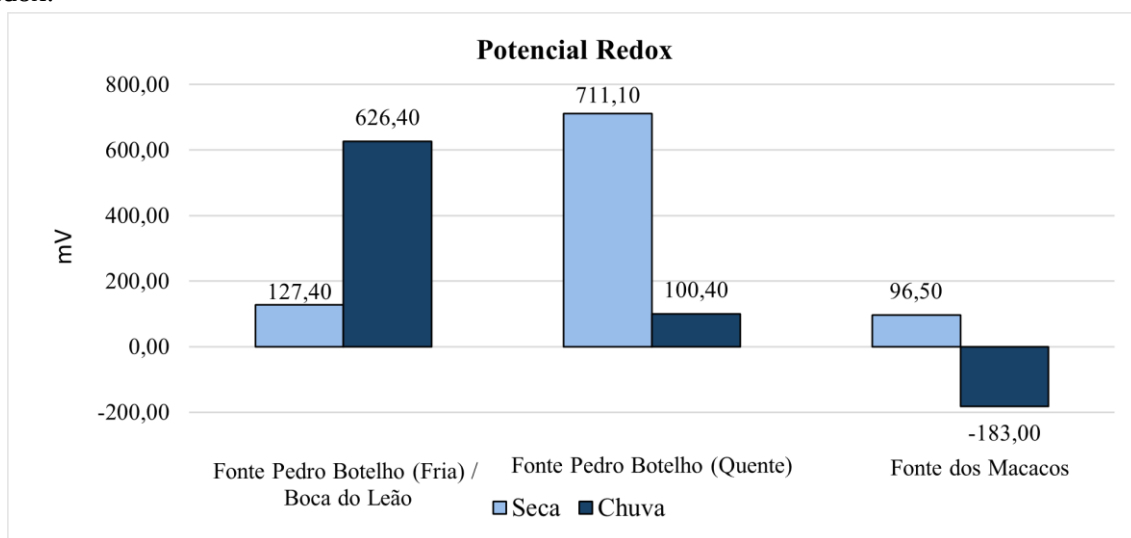


Figura 333 Resultados do parâmetro Potencial Redox das fontes termais analisadas

A concentração de Fluoreto na Fonte Pedro Botelho (Fria) está em conformidade com o limite de 1,5 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008, para consumo humano, tendo sido obtidos

os valores de 0,70 mg/L na amostragem de seca e de 0,34 mg/L na amostragem de chuva. Porém, na Fonte Pedro Botelho (Quente) e na Fonte dos Macacos, as concentrações foram de 22,10 mg/L (seca) e 22,20 mg/L (chuva) e de 22,60 mg/L (seca e chuva), respectivamente, não estando em conformidade com a legislação. De acordo com Cruz & Peixoto (1991), a formação geológica do complexo alcalino de Poços de Caldas é abundante em minerais contendo flúor e a dissolução das rochas em profundidade, favorecida pelo aumento da temperatura, eleva as concentrações da substância.

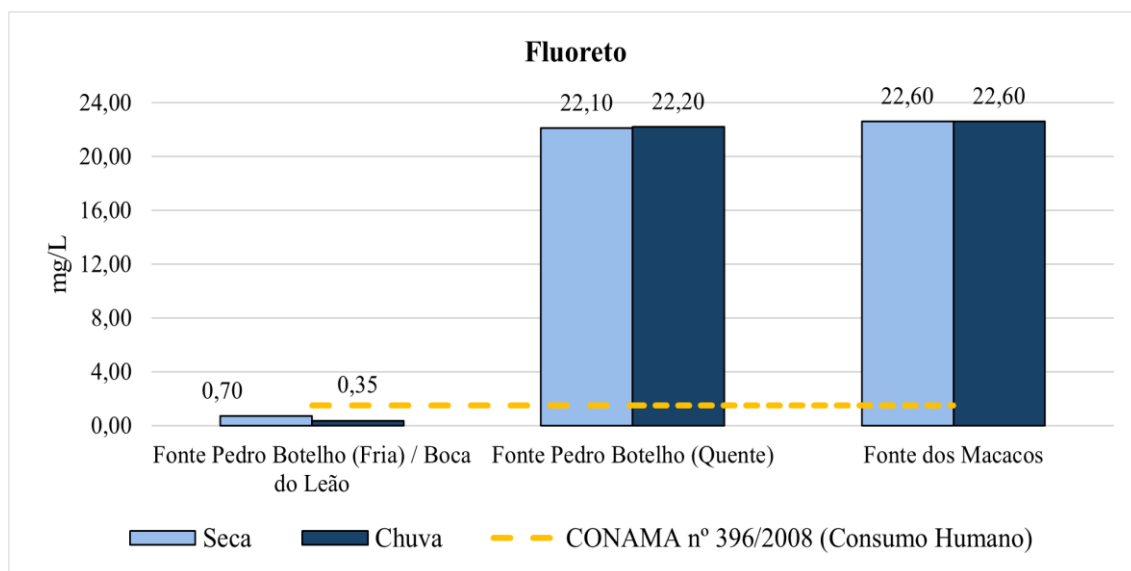


Figura 334 Resultados do parâmetro Fluoreto das fontes termais analisadas

Caracterização do grau de oxigenação, de nutrientes e da poluição orgânica: Oxigênio Dissolvido e E. coli

Os resultados de Oxigênio Dissolvido da amostragem nos períodos de seca e de chuva estão apresentados no gráfico da Figura 335. A Fonte Pedro Botelho (Fria) apresentou o resultado de 4,60 mg/L (seca) e de 4,13 mg/L (chuva) e as fontes de maior temperatura tiveram resultados mais baixos, sendo na Fonte Pedro Botelho (Quente) de 0,43 mg/L (seca) e de 1,16 mg/L (chuva) e na Fonte dos Macacos 0,00 mg/L (seca) e 1,12 mg/L (chuva). A concentração de oxigênio presente na água varia de acordo com a temperatura, sendo que águas com temperaturas mais baixas têm maior capacidade de dissolver oxigênio (CETESB, 2017). Por isso as águas das fontes de temperatura elevada tiveram resultados zerado ou próximo de zero. A Portaria GM/MS n° 888/2021 e a Resolução CONAMA n° 396/2008 não estabelecem limites para o parâmetro Oxigênio Dissolvido.

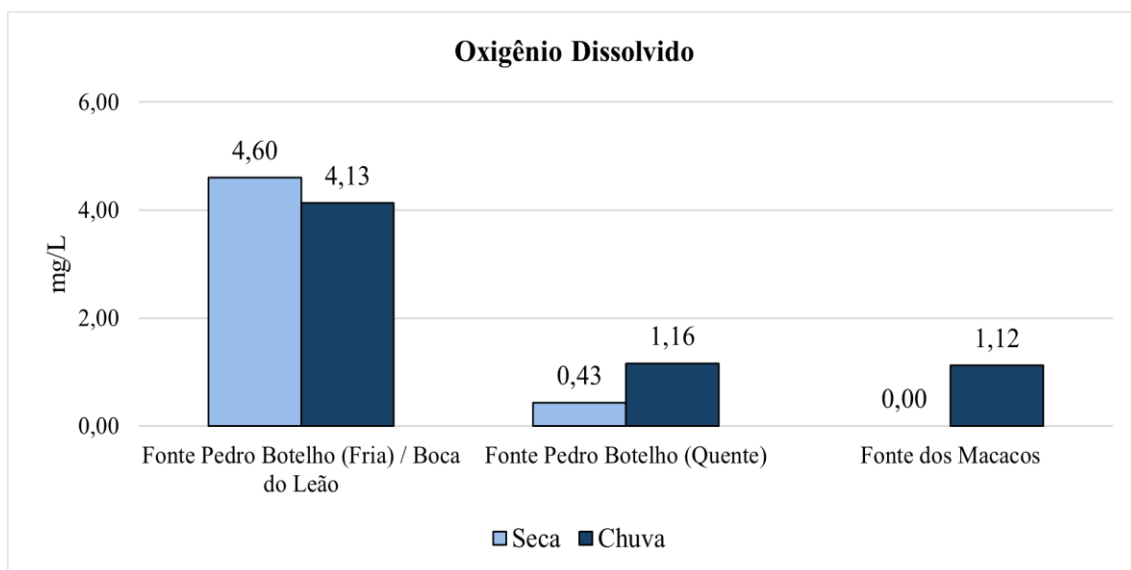


Figura 335 Resultados do parâmetro Oxigênio Dissolvido das fontes termais analisadas

De acordo com a Resolução CONAMA n° 396/2008 e a Portaria GM/MS n° 888/2021, a concentração de *Escherichia coli* (*E. Coli*) deve ser ausente em 100 mL, para águas utilizadas para consumo humano. Em todos os pontos amostrados, como pode ser observado no gráfico da Figura 336, os resultados apresentaram valor abaixo do LQ de 1,0 NMP/100 mL, com exceção da Fonte Pedro Botelho (Quente), na amostragem de chuva, em que o resultado obtido foi de 28,0 NMP/100 mL. Nos pontos em que os resultados foram abaixo do LQ, não é possível afirmar se houve não conformidade nas fontes amostradas.

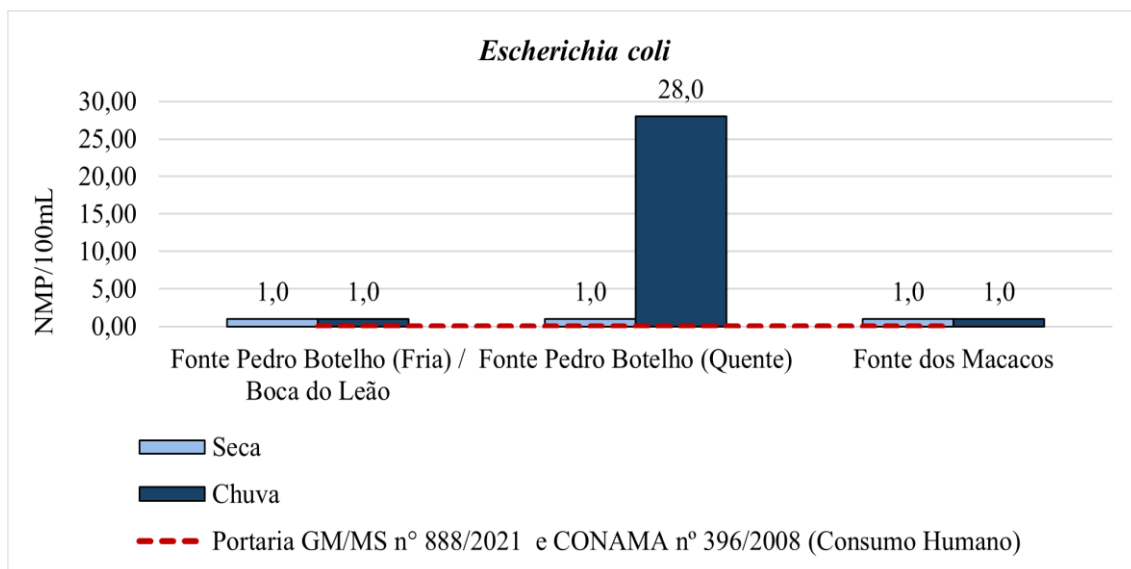


Figura 336 Resultados do parâmetro *Escherichia coli* das fontes termais analisadas

Caracterização da presença de elementos-traço e eventuais contaminantes na água: Bário Total, Cádmio Total, Ferro Total, Níquel Total, Prata Total, Tório Total e Urânio Total

As concentrações de Bário Total para os pontos amostrados foram de 0,009 mg/L na Fonte Pedro



Botelho (Fria), no período de seca e de chuva, e de 0,005 mg/L nas Fontes Pedro Botelho (Quente) e dos Macacos, na seca e chuva. Segundo a Resolução CONAMA n° 396/2008 (consumo humano) e a Portaria GM/MS n° 888/2021, o limite estabelecido para o Bário Total é de 0,70 mg/L e, desta forma, todos os resultados obtidos estão abaixo do limite (Figura 337).

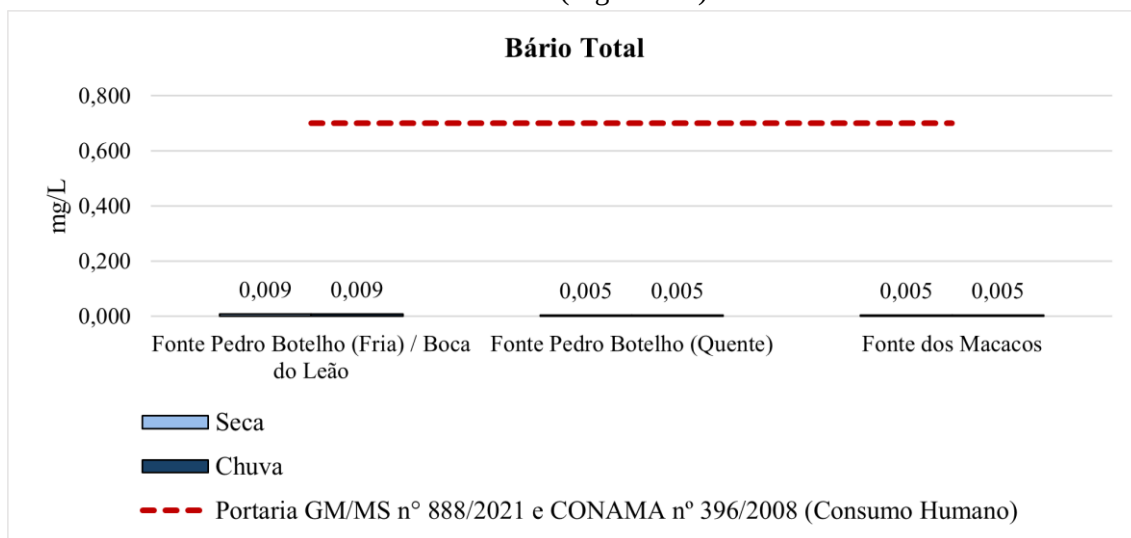


Figura 337 Resultados do parâmetro Bário Total das fontes termais analisadas

A Resolução CONAMA n° 396/2008 estabelece que, para consumo humano, a concentração de Cádmio Total seja de até 0,005 mg/L, e a Portaria GM/MS n° 888/2021 define a concentração limite de 0,003 mg/L. Nas 3 fontes analisadas, o resultado foi de 0,001 mg/L para ambos os períodos amostrados (seca e chuva). Portanto, o parâmetro se encontra dentro dos valores limite estabelecidos pelas legislações.

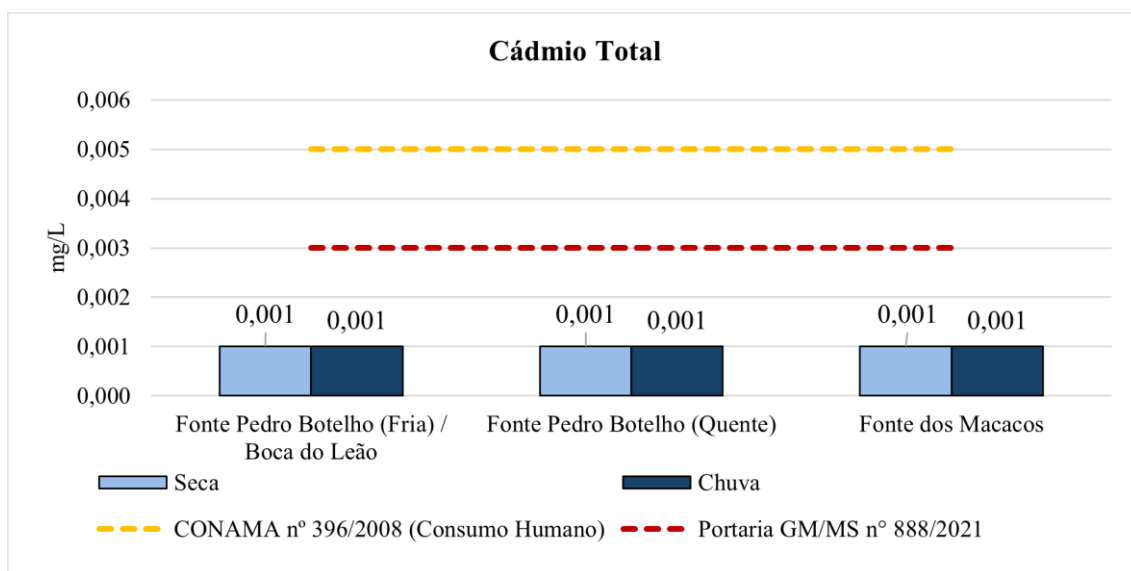


Figura 338 Resultados do parâmetro Cádmio Total das fontes termais analisadas

As concentrações obtidas do Ferro Total nos pontos analisados nas campanhas de seca e chuva foram de 0,10 mg/L. A Resolução CONAMA n° 396/2008, assim como a Portaria GM/MS n° 888/2021,



estabelecem o limite de 0,30 mg/L, estando, dessa forma, os resultados das três fontes em conformidade com a legislação.

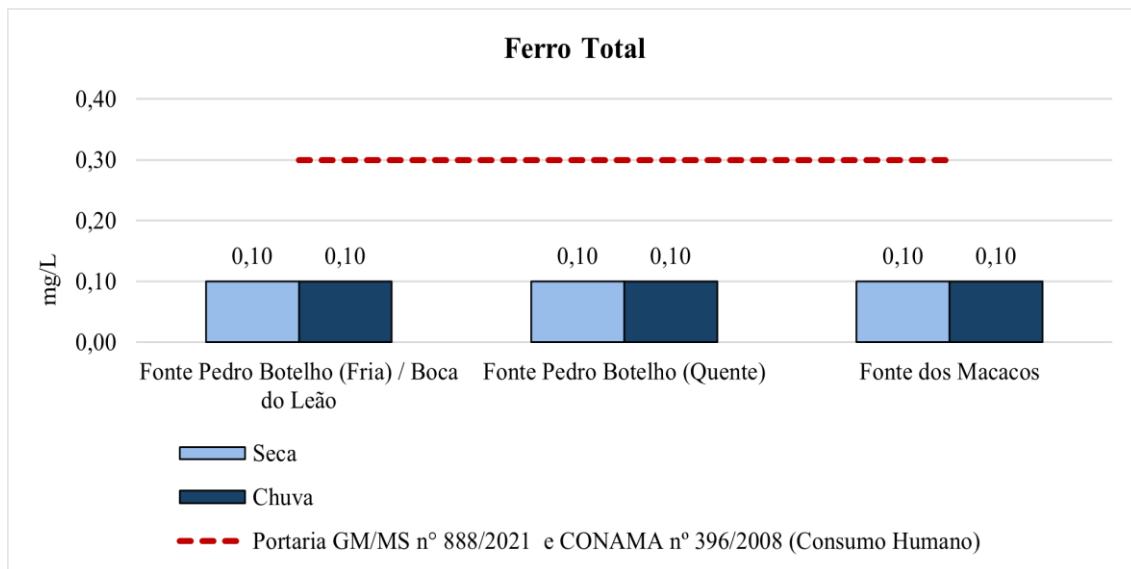


Figura 339 Resultados do parâmetro Ferro Total das fontes termais analisadas

A Resolução CONAMA nº 396/2008 define que o valor limite do Níquel Total seja de 0,02 mg/L e a Portaria GM/MS nº 888/2021 de 0,07 mg/L. Todos os pontos amostrados tiveram valores abaixo do LQ de 0,010 mg/, e, portanto, em todos os pontos o parâmetro está em conformidade com ambas as legislações.

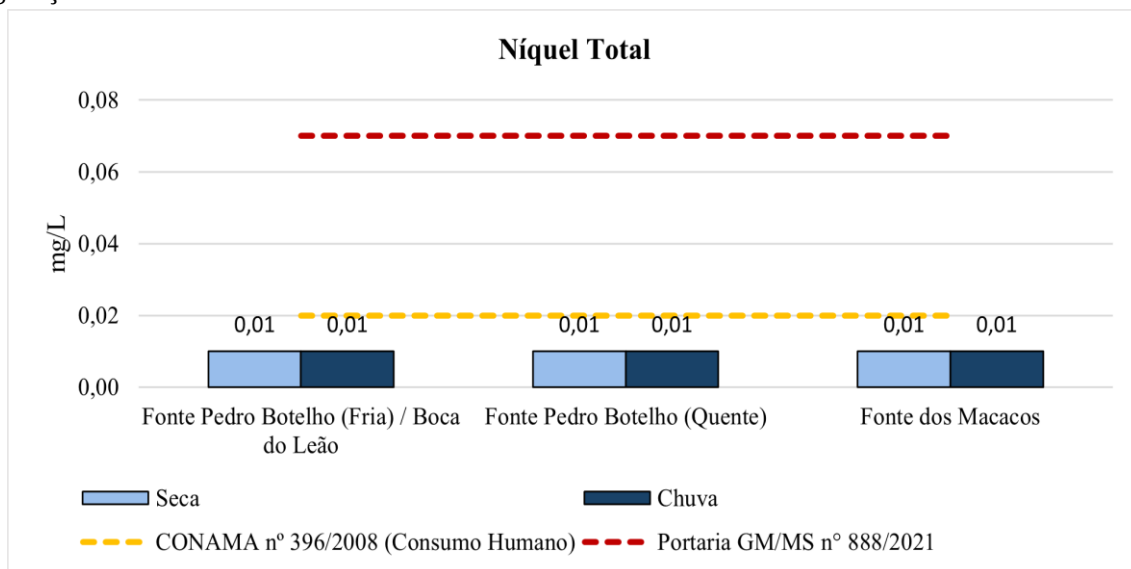


Figura 340 Resultados do parâmetro Níquel Total das fontes termais analisadas

A concentração do parâmetro Prata Total foi menor que o LQ de 0,005 mg/L nas fontes analisadas no período de seca e no período de chuva. Conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 396/2008 (consumo humano), o valor limite é de 0,1 mg/L, e sendo assim todas as amostras estão em



conformidade com a legislação. A Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelece limites para o parâmetro Prata Total.

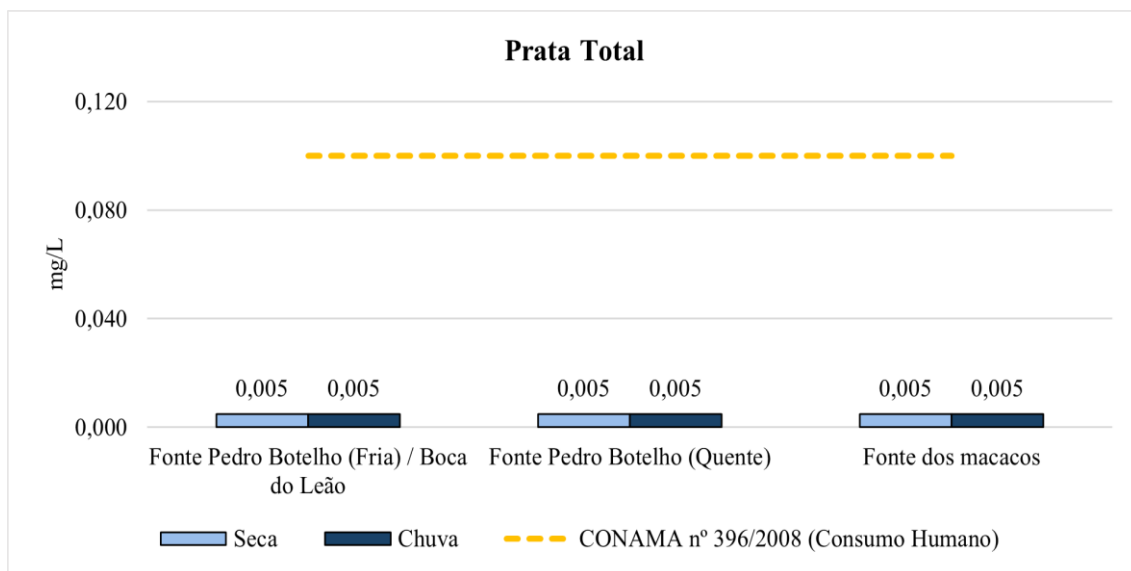


Figura 341 Resultados do parâmetro Prata Total das fontes termais analisadas

O LQ para o parâmetro Tório Total é de 0,001 mg/L e todos os resultados obtidos nas fontes estiveram abaixo desta concentração, no período de seca e de chuva. A Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 396/2008 não estabelecem limites para o parâmetro Tório Total.

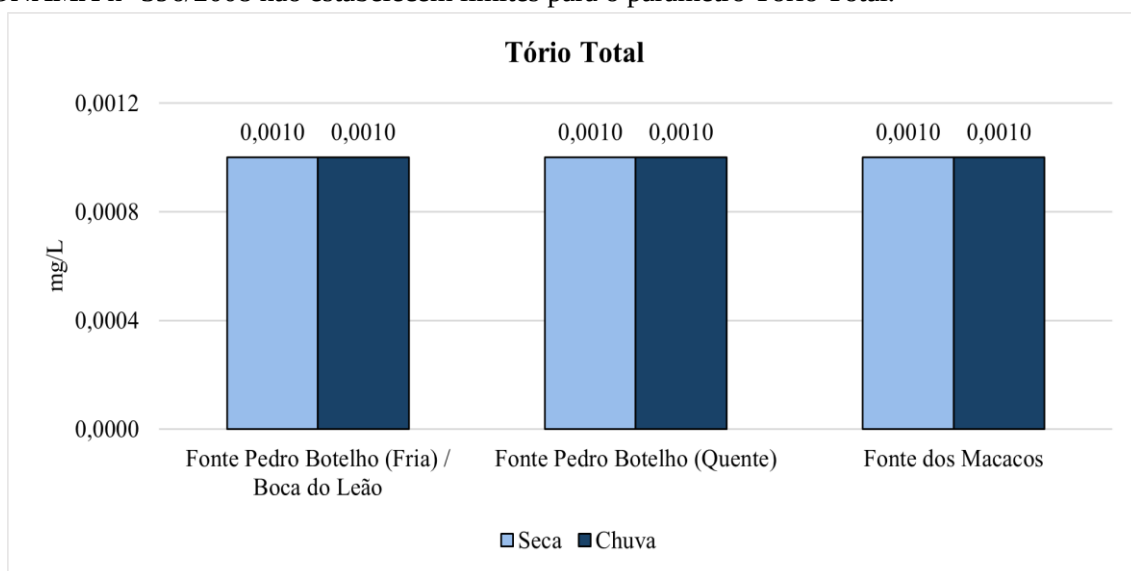


Figura 342 Resultados do parâmetro Tório Total das fontes termais analisadas

Para o parâmetro Urânio Total, a Resolução CONAMA nº 396/2008 (consumo humano) define que o limite máximo de concentração seja de 0,015 mg/L e a Portaria GM/MS nº 888/2021 de 0,03 mg/L. Os resultados obtidos nos 3 pontos amostrados, no período de seca e de chuva, estiveram abaixo do LQ de 0,005. Dessa forma, todos os pontos coletados estão em conformidade com a legislação.



Para águas subterrâneas, as concentrações de urânio e tório são baixas, sendo que o urânio é ligeiramente solúvel e o tório é considerado uma substância menos solúvel. As maiores concentrações são encontradas em água com características mais ácidas (Cruz & Peixoto, 1991), não sendo esta a característica da água nos pontos amostrados.

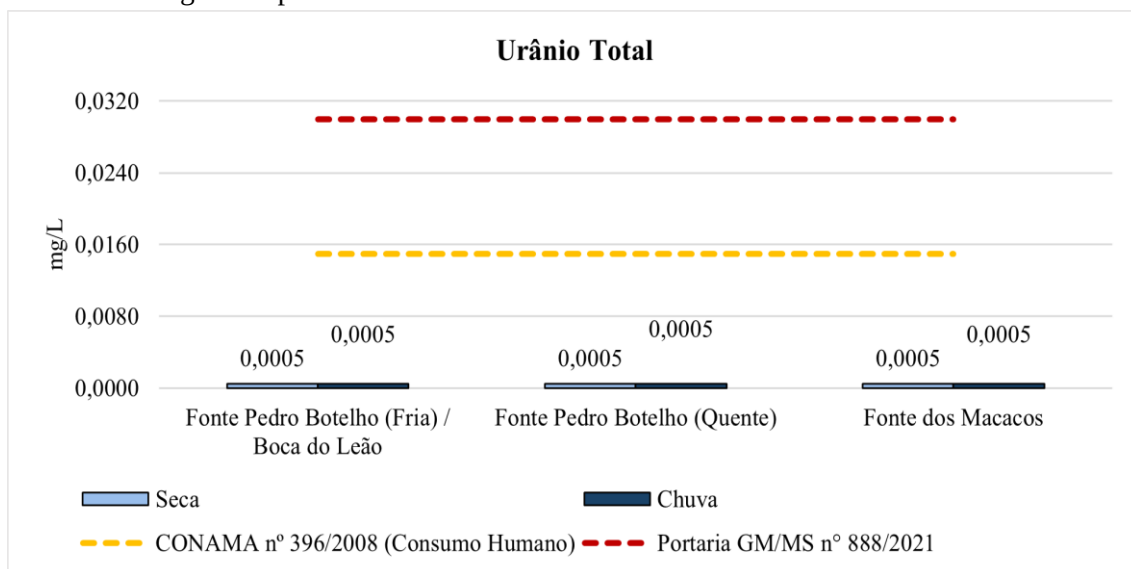


Figura 343 Resultados do parâmetro Urânio Total das fontes termais analisadas

Caracterização de Radioatividade Alfa e Beta

As concentrações de Radioatividade Alfa e Radioatividade Beta obtidas no campo de seca estão apresentadas nas Figura 344 e Figura 345, respectivamente. O LQ de Radioatividade Alfa é de 0,33 mg/L e os resultados dos 3 pontos de amostragem foram abaixo do LQ. Para o parâmetro de Radioatividade Beta o LQ é de 0,37 mg/L e, da mesma forma, os resultados dos pontos amostrados foram abaixo do LQ. A Portaria GM/MS n° 888/2021 e a Resolução CONAMA n° 396/2008 não estabelecem limites para os parâmetros Radioatividade Alfa e Beta.

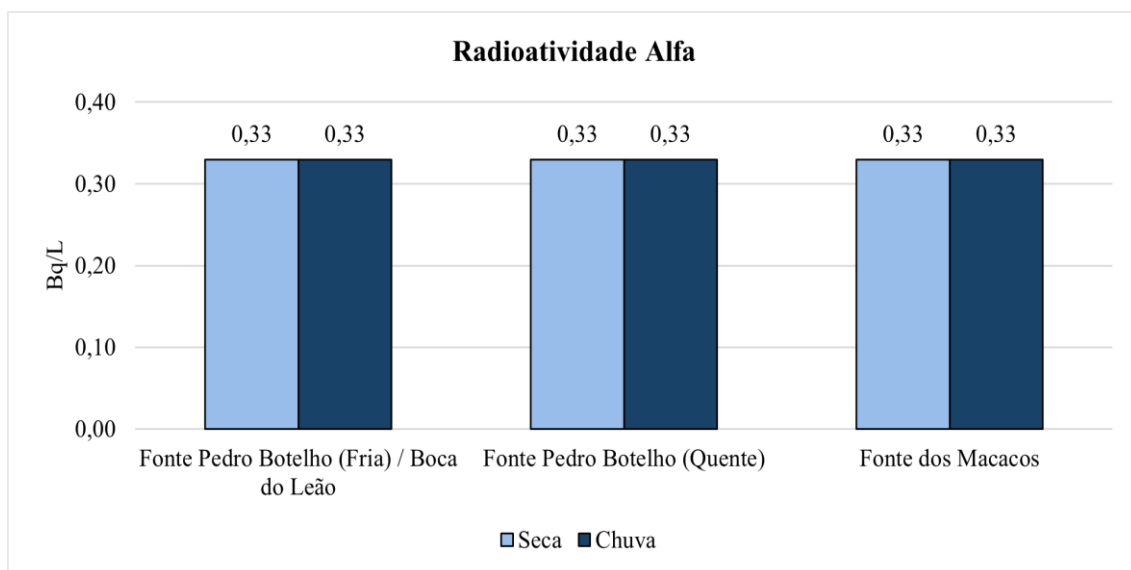


Figura 344 Resultados do parâmetro Radioatividade Alfa das fontes termais analisadas

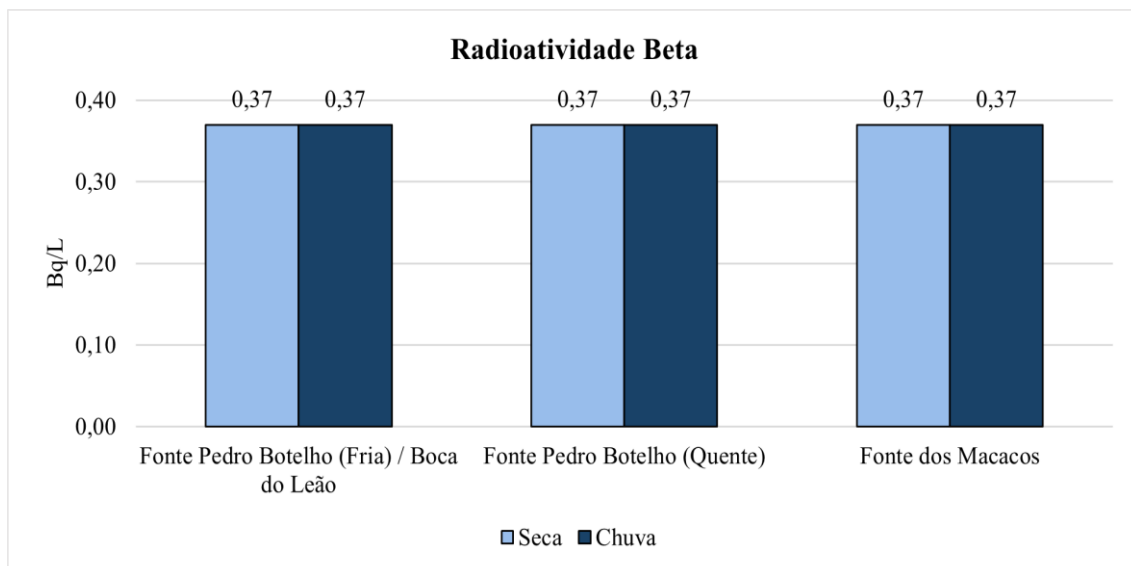


Figura 345 Resultados do parâmetro Radioatividade Beta das fontes termais analisadas

A análise destes dados nos permite afirmar que as águas oriundas dos aquíferos rasos se diferenciam das águas das fontes termais amostradas em pelo menos 5 parâmetros: alcalinidade total, condutividade, fluoreto, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais e temperatura.

6.1.14. Áreas Contaminadas

Área Contaminada pode ser definida como uma área onde existe ou existiu fonte de contaminação primária e, como resultado, contém quantidades de matéria ou concentrações de substâncias, em ao menos, um dos compartimentos do meio ambiente, capazes de causar danos aos bens a proteger (CETESB, 2021). Estes compartimentos são representados por solos, sedimentos, rochas, materiais utilizados para aterrar os terrenos, construções, águas subterrâneas e superficiais, ar e organismos vivos.



Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010, que institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas, define contaminação como a presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger.

Segundo o Art. 9º da legislação estadual, o gerenciamento de áreas contaminadas compreende as etapas de diagnóstico, intervenção e reabilitação, a serem implantadas segundo o nível das informações ou riscos existentes em cada área. As áreas são classificadas pelo órgão ambiental competente como:

- I - Área com Potencial de Contaminação (AP);
- II - Área Suspeita de Contaminação (AS);
- III - Área Contaminada sob Investigação (AI);
- IV - Área Contaminada sob Intervenção (ACI);
- V - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR);
- VI - Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR) (MINAS GERAIS, 2010).

Ressalta-se que, de acordo com o Inventário de Áreas Contaminadas de Minas Gerais verificado por meio do IDE-SISEMA (2024), que apresenta os dados do inventário georreferenciados, não foram identificadas/inventariadas áreas contaminadas na Área Diretamente Afetada (ADA) do Projeto Colossus, como pode ser visto no mapa da Figura 346.

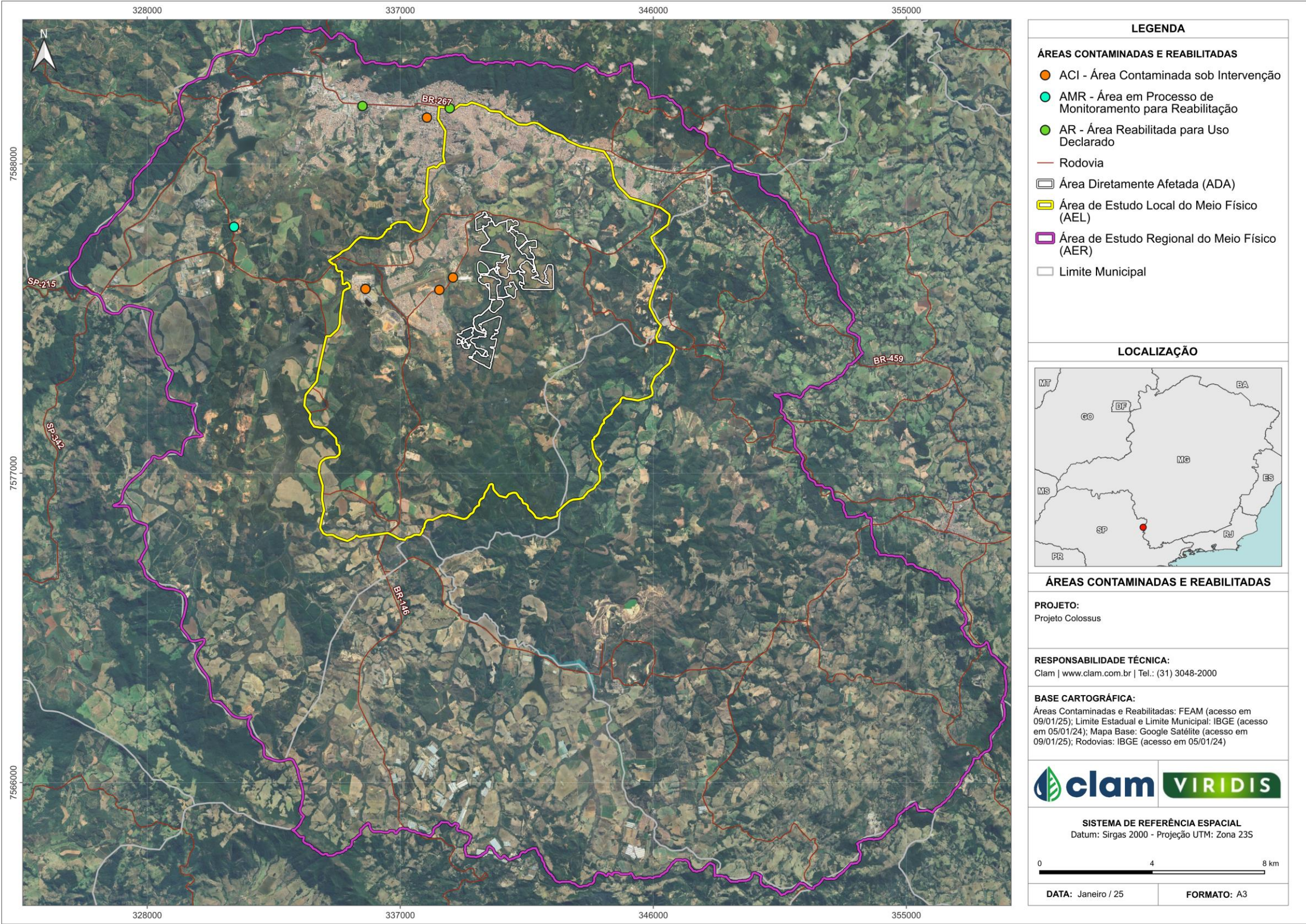


Figura 346 Áreas contaminadas em relação à ADA do Projeto Colossus



clam.com.br