



ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

RODOANEL METROPOLITANO DE
BELO HORIZONTE

VOLUME 2



Fevereiro de 2024

TRACTEBEL ENGINEERING Ltda.

Sede – Escritório de Belo Horizonte
Rua Paraíba, 1122 - 14º andar - Savassi
CEP: 30.130-918 - Belo Horizonte, MG - BRASIL
tel.: +55 31 3249 7600
contato@tractebel.engie.com
tractebel-engie.com.br

RODOANEL METROPOLITANO DE BELO HORIZONTE

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

VOLUME 2

Identificação do Projeto: Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte

Referência: Diagnóstico Meio Físico

Código: W.000067.0001

Cliente: BHR S.A.

SUMÁRIO

10	DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO	12
10.1	Clima e Meteorologia	13
10.1.1	Metodologia	13
10.1.2	Caracterização e Classificação Climatológica	13
10.1.3	Sistemas Atmosféricos em Escala Sinótica	17
10.1.4	Fenômenos Extremos	18
10.1.5	Parâmetros Meteorológicos	20
10.2	Qualidade do Ar	27
10.2.1	Base Normativa	27
10.2.2	Metodologia	28
10.2.3	Análises Realizadas	29
10.3	Mudanças Climáticas	43
10.3.1	Contextualização	43
10.3.2	Análises Realizadas	45
10.4	Ruído Ambiental e Vibração	50
10.4.1	Base Normativa	51
10.4.2	Metodologia	52
10.4.3	Análises Realizadas	53
10.5	Geologia	62
10.5.1	Metodologia	62
10.5.2	Geologia da Área de Estudo Regional	63
10.5.3	Geologia da Área de Estudo Local	74
10.5.4	Paleontologia	82
10.5.5	Processos Minerários da Área de Estudo Local	84
10.6	Geomorfologia	93
10.6.1	Metodologia	93
10.6.2	Geomorfologia da Área de Estudo Regional	94
10.6.3	Hipsometria e Declividade da Área de Estudo Local	99
10.6.4	Geomorfologia da Área de Estudo Local	102
10.7	Pedologia e Aptidão Agrícola	106
10.7.1	Metodologia	106
10.7.2	Pedologia da Área de Estudo Regional	106
10.7.3	Pedologia da Área de Estudo Local	110
10.7.4	Aptidão Agrícola	115
10.7.5	Vulnerabilidade à Contaminação Ambiental Pelo Uso do Solo	121
10.8	Suscetibilidade a Processos Erosivos	126
10.8.1	Metodologia	126

10.8.2	Avaliação da Suscetibilidade à Erosão e Movimentos de Massa	131
10.8.3	Avaliação da Suscetibilidade a Alagamento e Assoreamento	134
10.9	Espeleologia	135
10.9.1	Introdução	135
10.9.2	Metodologia	136
10.9.3	Caracterização Espeleológica	137
10.9.4	Prospecção Espeleológica	140
10.9.5	Avaliação do Potencial Espeleológico	141
10.10	Recursos Hídricos Superficiais.....	145
10.10.1	Introdução	145
10.10.2	Metodologia	147
10.10.3	Caracterização Geral dos Recursos Hídricos na AER	153
10.10.4	Caracterização Geral dos Recursos Hídricos na AEL	161
10.10.5	Caracterização dos Recursos Hídricos na AED	190
10.11	Qualidade das Águas Superficiais	193
10.11.1	Metodologia	193
10.11.2	Qualidade das Águas Superficiais da Área de Estudo Regional	193
10.11.3	Qualidade das Águas Superficiais da Área de Estudo Local	206
10.12	Recursos Hídricos Subterrâneos.....	242
10.12.1	Introdução	242
10.12.2	Metodologia	244
10.12.3	Sistemas Aquíferos Formação Ferrífera, Carbonático, Quartizítico e Xisto	245
10.12.4	Sistema Aquífero Granito-gnáissico	247
10.12.5	Sistemas Aquíferos Formação Sete Lagoas e Serra de Santa Helena	248
10.12.6	Outorgas e Usos Insignificantes Subterrâneos	249
10.13	Qualidade das Águas Subterrâneas	255
10.13.1	Introdução	255
10.13.2	Metodologia	256
10.13.3	Levantamento de Dados Secundários	256
10.13.4	Levantamento de Dados Primários	259
10.14	Áreas Contaminadas	275
10.14.1	Introdução	275
10.14.2	Metodologia	275
10.14.3	Cadastro de Áreas Contaminadas	276
10.14.4	Potencialidade de Contaminação da Água Subterrânea	276
10.15	Síntese Conclusiva	278
10.16	Referências Bibliográficas	285
10.17	Anexos	300

LISTA DE FIGURAS

Figura 10.1-1 – Mapa da classificação do clima e as estações meteorológicas da Área de Estudo Regional do empreendimento.....	16
Figura 10.1-2 – Gráfico de precipitação acumulada mensal para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	20
Figura 10.1-3 – Gráfico de temperatura máxima mensal para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	22
Figura 10.1-4 – Gráfico de temperatura média compensada mensal para a estação meteorológica Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	23
Figura 10.1-5 – Gráfico de temperatura mínima mensal para a estação meteorológica Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	24
Figura 10.1-6 – Gráfico da umidade relativa do ar média mensal para as estações meteorológicas Belo Horizonte e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	25
Figura 10.1-7 – Gráfico da intensidade média mensal dos ventos para a estação meteorológica de Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	26
Figura 10.2-1 – Localização das estações de qualidade do ar e dos pontos de coleta de dados primários em campo.....	31
Figura 10.2-2 – Resultados de PM _{2,5} x Padrão CONAMA nº 491/2018.....	37
Figura 10.2-3 – Resultados de PM ₁₀ x Padrão CONAMA nº 491/2018.....	38
Figura 10.2-4 – Resultados de PTS x Padrão CONAMA nº 491/2018.....	38
Figura 10.2-5 – Resultados de SO ₂ x Padrão CONAMA nº 491/2018.....	39
Figura 10.2-6 – Resultados de NO ₂ x Padrão CONAMA nº 491/2018.....	39
Figura 10.3-1 – Vulnerabilidade climática dos municípios da Área de Estudo Regional do empreendimento.....	46
Figura 10.3-2 – Emissões brutas por setor (%) no período 2015-2019 no estado de Minas Gerais.....	48
Figura 10.3-3 – Emissões brutas por setor (Mt CO ₂ eq) no período 2015-2019 no estado de Minas Gerais.....	49
Figura 10.3-4 – Evolução das emissões de “Energia” por subcategoria no período 2015-2019.....	49
Figura 10.3-5 – Evolução das emissões de “AFOLU” por subcategoria no período 2015-2019.....	50
Figura 10.4-1 – Mapa dos pontos de coleta de dados primários de ruídos e vibrações.....	53
Figura 10.4-2 – Resultados de ruído no período diurno x Padrões Legais (NBR 10.151/2019).....	56
Figura 10.4-3 – Resultados de ruído no período noturno x Padrões Legais (NBR 10.151/2019).....	56
Figura 10.4-4 – Resultados de vibração x Referência da literatura (WHIFFIN & LEONARD, 1971).....	60
Figura 10.4-5 – Uso e ocupação do solo na Área de Estudo em Detalhe do empreendimento.....	61
Figura 10.5-1 – Mapas de localização da AER inserida no Cráton São Francisco e no QFe.....	64
Figura 10.5-2 – Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero destacando as unidades da AER.....	67
Figura 10.5-3 – Mapa estrutural simplificado do Quadrilátero Ferrífero.....	70
Figura 10.5-4 – Arcabouço estrutural do QFe.....	72
Figura 10.5-5 – Coluna Litoestratigráfica do Grupo Bambuí em Minas Gerais.....	73
Figura 10.5-6 – Mapa e perfis geológicos da AEL do empreendimento.....	75
Figura 10.5-7 – Imagem aérea de drone de ortognaisses da Pedreira do Mirante do Estreito. Ponto Amostral EMF - 064.....	76
Figura 10.5-8 – Imagem aérea de ortognaisses da do Bairro Fimisa. Ponto Amostral EMF – 080.....	76
Figura 10.5-9 – Textura Augen Gnaisse. Ponto Amostral EMF -081.....	77
Figura 10.5-10 – Dobras apertadas vergentes para ENE. Ponto Amostral EMF – 077.....	77
Figura 10.5-11 – Afloramento de itabirito especularítico com bandamento mm a cm da Formação Cauê. Ponto Amostral EMF – 067.....	78
Figura 10.5-12 – Amostra de mão de itabirito especularítico da Formação Cauê. Ponto Amostral EMF - 067.....	78
Figura 10.5-13 – Afloramento de intercalações de quartzitos e filitos da Formação Cercadinho. Ponto Amostral EMF - 065.....	78
Figura 10.5-14 – Voçoroca associada a rochas e sedimentos arenosos da Formação Cercadinho. Ponto Amostral EMF - 068.....	78
Figura 10.5-15 – Afloramento de quartzo-mica xisto, Formação Saramenha. Ponto Amostral EMF – 069.....	79

Figura 10.5-16 – Amostra de quartzo-mica xisto, Grupo Sabará. Ponto Amostral EMF – 069.....	79
Figura 10.5-17 – Afloramentos de calcário da Lapa da Zumba, próximo à Caverna do Susto. Ponto Amostral EMF - 160.	80
Figura 10.5-18 – Amostra de calcilutito com vênulas de calcita. Ponto Amostral EMF - 160.	80
Figura 10.5-19 – Paredão de calcário na região do ribeirão da Mata. Ponto Amostral EMF – 084.....	80
Figura 10.5-20 – Veios de calcita espática. Ponto Amostral EMF – 085.....	80
Figura 10.5-21 – Afloramento de siltito friável. Ponto Amostral EMF – 089.	81
Figura 10.5-22 – Amostra de mão de siltito friável arroxeadado. Ponto Amostral EMF – 089.	81
Figura 10.5-23 – Platô de canga detritica sobre Formação Cauê. Ponto Amostral EMF – 067B.....	82
Figura 10.5-24 – Depósito coluvionar em solo argiloso, Formações Sete Lagoas, Grupo Bambuí. Ponto Amostral – EMF -010.....	82
Figura 10.5-25 – Planície de inundação nas margens do ribeirão Betim. Ponto Amostral EMF – 005.....	82
Figura 10.5-26 – Afloramento de conglomerado em terraço fluvial. Ponto Amostral - EMF – 126.	82
Figura 10.5-27 – Mapa de Potencial Paleontológico, contendo as ocorrências fossilíferas.	84
Figura 10.5-28 – Mapa das fases dos direitos minerários na AEL do empreendimento.....	86
Figura 10.5-29 – Mapa das substâncias dos direitos minerários na AEL do empreendimento.	88
Figura 10.5-30 – Concessão de lavra de areia ANM 832.013/2009 em Vespasiano. Ponto Amostral EMF – 124.....	92
Figura 10.5-31 – Imagem aérea destacando área de extração de areia na região do processo minerário 831004/1998 em Pedro Leopoldo. Ponto Amostral EMF – 016.	93
Figura 10.6-1 – Hipsometria da Área de Estudo Regional do empreendimento.....	100
Figura 10.6-2 – Declividade da Área de Estudo Local do empreendimento.....	101
Figura 10.6-3 – Gráfico com a distribuição da porcentagem dos relevos na ADA das alças do Rodoanel Metropolitano BH.	102
Figura 10.6-4 – Mapas das unidades geomorfológicas da AEL.	103
Figura 10.6-5 – Imagem Aérea de drone de morros de aparência convexa mamelonar dos Patamares de Belo Horizonte na região da Alça Oeste, visada para NE. Ponto Amostral EMF – 024.....	104
Figura 10.6-6 – Imagem Aérea de drone de morros de aparência convexa mamelonar dos Patamares de Belo Horizonte, na região da barragem de Vargem das Flores. Ponto Amostral EMF– 024.....	104
Figura 10.6-7 – Imagem Aérea de drone da região da serra da Piedade, visada para SE. Ponto Amostral EMF – 075.	105
Figura 10.6-8 – Imagem da região da serra da Piedade, visada para NE, morros sustentados por itabiritos e cangas. Ponto Amostral EMF – 067B.	105
Figura 10.6-9 – Imagem Aérea de drone de morros suavizadas da Depressão do Alto São Francisco, visada para NW. Ponto Amostral EMF – 162.....	105
Figura 10.6-10 – Imagem Aérea de drone de encostas escarpadas da Depressão do Alto São Francisco, visada para W. Ponto Amostral EMF – 090.	105
Figura 10.7-1 – Mapa das unidades pedológicas da AEL.	111
Figura 10.7-2 – Perfil de Neossolo Lítico. com cores avermelhadas e pretas, com fragmentos de formação ferrífera. Ponto Amostral EMF – 067.....	112
Figura 10.7-3 – Perfil de Neossolo Lítico com cores avermelhadas e fragmentos de formação ferrífera. Ponto Amostral EMF – 067.....	112
Figura 10.7-4 – Perfil de Argissolo Vermelho de textura granular, cor avermelhada e granulometria siltosa a argilosa. Ponto Amostral EMF – 118.....	113
Figura 10.7-5 – Perfil de Argissolo Vermelho. Ponto Amostral EMF – 125.	113
Figura 10.7-6 – Perfil de intemperismo na região de dominância do Argissolo Vermelho-Amarelo. Ponto Amostral EMF – 011.	113
Figura 10.7-7 – Perfil de Latossolo Vermelho. Ponto Amostral EMF – 053.....	114
Figura 10.7-8 – Perfil de Latossolo Vermelho. Ponto Amostral EMF – 058.....	114
Figura 10.7-9 – Perfil de Cambissolo Háptico de cor avermelhada e textura silto-argilosa. Ponto Amostral EMF – 075.	115
Figura 10.7-10 – Mapa de Aptidão Agrícola da AEL.	119
Figura 10.7-11 – Gráfico das classes de Aptidão Agrícola da ADA.....	121
Figura 10.7-12 – Mapa de teor de matéria orgânica do solo.	122
Figura 10.7-13 – Mapa de textura do solo.....	123
Figura 10.7.14 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Pelo Uso do Solo da AEL.....	125

Figura 10.8-1 – Mapa de suscetibilidade a erosão na Área de Estudo Local do empreendimento.	132
Figura 10.8-2 – Gráfico de distribuição das porcentagens das classes de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa na ADA.....	133
Figura 10.8-3 – Mapa de Suscetibilidade à Inundação na Área de Estudo Local do empreendimento.....	134
Figura 10.9-1 – Mapa com a localização e distribuição espacial das cavidades registradas na Área de Estudo em Detalhe do empreendimento.	139
Figura 10.9-2 – Gráfico com a distribuição da porcentagem dos potenciais espeleológicos da ADA do empreendimento.	140
Figura 10.9-3 – Região pediplanizada com solo marrom claro. Ponto de Inspeção 095.....	142
Figura 10.9-4 – Região pediplanizada com solo marrom claro. Ponto de Inspeção 095.....	142
Figura 10.9-5 – Região pediplanizada com solo marrom claro. Ponto de Inspeção 097.....	142
Figura 10.9-6 – Afloramento de calcilito fora do buffer de 250 metros da área. Ponto de Inspeção 111.	142
Figura 10.9-7 – Presença de indivíduos arbóreos no entorno da entrada da gruta. Ponto de Inspeção 114.	143
Figura 10.9-8– Entrada da Gruta do descarte. Ponto de Inspeção 114.	143
Figura 10.9-9 – Imagem da profundidade da Gruta do descarte. Ponto de Inspeção 114.	143
Figura 10.9-10 – Imagem aérea de drone mostrando a proximidade da Gruta do Descarte com vias asfaltadas e empreendimentos comerciais.....	143
Figura 10.9-11 – Entrada da Caverna do Susto. Ponto de Inspeção 112.	144
Figura 10.9-12 – Loteamento nos entornos da Caverna do Susto e da Lapa da Zumba. Ponto de Inspeção 112. ..	144
Figura 10.10-1 – Hidrografia da região do empreendimento.	146
Figura 10.10-2 – Regiões hidrográficas do Brasil com destaque para a Área de Estudo Regional do empreendimento.	153
Figura 10.10-3 – Distribuição espacial da rede hidrométrica da Área de Estudo Regional do empreendimento.	154
Figura 10.10-4 – Vazões e precipitações mensais máxima, média e mínima para série histórica da estação fluviométrica Ponte Nova do Paraopeba (40800001) e estação pluviométrica Juatuba (01944027).....	155
Figura 10.10-5 – Vazões e precipitações mensais máxima, média e mínima para série histórica da estação fluviométrica Pinhões e estação pluviométrica Vespasiano.	156
Figura 10.10-6 – Vazões e precipitações mensais máxima, média e mínima para série histórica da estação fluviométrica Honório Bicalho Montante e estação pluviométrica Mineração Morro Velho.....	156
Figura 10.10-7 – Curva de permanência da estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001).	157
Figura 10.10-8 – Curva de permanência da estação Pinhões (41260000).	157
Figura 10.10-9 – Curva de permanência da estação Honório Bicalho (41199998).	157
Figura 10.10-10 – Curva de descarga sólida suspensa na estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001).....	158
Figura 10.10-11 – Curva de descarga sólida suspensa na estação Honório Bicalho (40800001).	159
Figura 10.10-12 – Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001). Período de análise (1975-2022).	159
Figura 10.10-13 – Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Honório Bicalho Montante (41199998). Período de análise (1981-2022).	160
Figura 10.10-14 – Principais sub-bacias das AEL.	162
Figura 10.10-15 – Vazões de longo termo na AEL.....	166
Figura 10.10-16 – Vazões Q7,10 na AEL.....	167
Figura 10.10-17 – Nascentes na AEL.....	168
Figura 10.10-18 – Nascentes identificadas dentro da propriedade do Clube Coimbra Sports.	170
Figura 10.10-19 – Nascente cadastrada em campo NAS223.	171
Figura 10.10-20 – Nascente cadastrada em campo NAS225.	171
Figura 10.10-21 – Nascente cadastrada em campo NAS224.	171
Figura 10.10-22 – Nascente cadastrada em campo NAS222.	171
Figura 10.10-23 – Nascente cadastrada em campo NAS221	171
Figura 10.10-24 – Pontos da temática recursos hídricos visitados em campo na APA da Cachoeira da Lajinha.	172
Figura 10.10-25 – Drenagem efêmera em região de mata semidecidual. Ponto Amostral EMF - 105.....	173
Figura 10.10-26 – Lago de dessedentação animal. Ponto Amostral EMF - 107.	173
Figura 10.10-27 – Nascente canalizada. Ponto Amostral EMF – 109.	173
Figura 10.10-28 – Cachoeira da Lajinha no córrego do Serrote. Ponto Amostral EMF - 110.....	173
Figura 10.10-29 – Cachoeira em córrego perene sem nome. Ponto Amostral EMF – 111.	173

Figura 10.10-30 – Brejo/açude de dessedentação animal. Ponto Amostral EMF – 147.....	173
Figura 10.10-31 – Passo molhado sobre o córrego Serrote. Intermitente. Ponto Amostral EMF – 148.	174
Figura 10.10-32 – Nascente intermitente canalizada. Ponto Amostral EMF – 149.....	174
Figura 10.10-33 – Nascente perene. Ponto Amostral EMF – 150.	174
Figura 10.10-34 – Nascente perene. Ponto Amostral EMF – 151.	174
Figura 10.10-35 – Córrego sem nome. Perene. Ponto Amostral EMF – 152.	174
Figura 10.10-36 – Cachoeira em córrego perene sem nome. Ponto Amostral EMF – 153.	174
Figura 10.10-37 – Córrego sem nome. Perene. Vista de jusante. Ponto Amostral EMF – 154.....	175
Figura 10.10-38 – Córrego sem nome. Perene. Vista de montante. Ponto Amostral EMF – 154.	175
Figura 10.10-39 – Usos consuntivos superficiais na AEL (outorgas de direito de uso e cadastros de usos insignificantes).....	177
Figura 10.10-40 – Resumo das vazões outorgadas e autorizadas como usos insignificantes na AEL. Categorização por finalidade de uso	178
Figura 10.10-41 – Usos não-consuntivos superficiais na AEL (outorgas de direito de uso e cadastros de usos insignificantes).....	181
Figura 10.10-42 – Percentual dos modos de usos não consuntivos encontrados na AEL, em termos de outorgas de direito de uso (acima) e de cadastros de usos insignificantes (abaixo).....	182
Figura 10.10-43 – Detalhe dos usuários de recursos hídricos interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH.	184
Figura 10.10-44 – Resumo das vazões de outorgas e usos insignificantes acumuladas de acordo com os usos a montante de cada sub-bacia.	187
Figura 10.10-45 – Balanço Hídrico quantitativo na AEL expresso pelos Níveis de Exploração Potencial da Água Superficial.....	189
Figura 10.10-46 – Representação do processo de refinamento da BHO para o córrego das Abóboras, na região de Contagem: hidrografia original (a); sobreposição de ortofoto (b) e modelo digital de terreno (MDT) (c) e refinamento visual da hidrografia (d).	191
Figura 10.11-1 – Índice de Qualidade das Águas 2021 das estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Regional do empreendimento.	195
Figura 10.11-2 – Percentual de IQA durante o período de 2011 a 2021 nas estações de monitoramento da bacia do rio da Velhas.....	201
Figura 10.11-3 – Percentual de IQA durante o período de 2011 a 2021 nas estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba.....	202
Figura 10.11-4 – Panorama da qualidade das águas superficiais na Área de Estudo Regional em 2021.	204
Figura 10.11-5 – Indicadores de contaminação em desconformidade na sub-bacia do rio das Velhas, delimitada pela área de estudo regional.	205
Figura 10.11-6 – Indicadores de contaminação na sub-bacia do rio Paraopeba, delimitada pela área de estudo regional.	205
Figura 10.11-7 – Unidades de conservação, outorgas de abastecimento público e classe de enquadramento dos cursos d'água inseridos na Área de Estudo Local.	210
Figura 10.11-8 – Principais corpos hídricos a serem interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH....	212
Figura 10.11-9 – IQA médio das 13 estações localizadas na AEL avaliados em 2021.	217
Figura 10.11-10 – Índice de Qualidade das Águas 2021 das estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Local do empreendimento.	219
Figura 10.11-11 – Mapa de localização das estações de amostragem de água superficial e sedimentos dos corpos hídricos a serem interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH.	222
Figura 10.11-12 – Foto da EAA01, ribeirão Vermelho.	223
Figura 10.11-13 – Foto da EAA02, ribeirão das Bicas.....	223
Figura 10.11-14 – Foto da EAA03, rio das Velhas.	223
Figura 10.11-15 – Foto da EAA04, ribeirão das Areias 1.	223
Figura 10.11-16 – Foto da EAA05, ribeirão das Areias 2.	223
Figura 10.11-17 – Foto da EAA06, ribeirão Betim.	223
Figura 10.11-18 – Foto da estação QA01, foz do córrego Água Suja.	224
Figura 10.11-19 – Foto da estação QA02, córrego Bela Vista.	224
Figura 10.11-20 – Foto da estação QA03, córrego Olaria.....	224
Figura 10.11-21 – Foto da estação QA04, reservatório Vargem das Flores, próximo à barragem da COPASA.....	224
Figura 10.11-22 – Foto da estação QA05, reservatório Vargem das Flores, região média do reservatório.	224

Figura 10.11-23 – Valores de pH de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.....	230
Figura 10.11-24 – Concentrações de alumínio dissolvido em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.	231
Figura 10.11-25 – Concentrações de manganês total em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.	231
Figura 10.11-26 – Concentrações de fósforo total em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.	232
Figura 10.11-27 – Valores de turbidez em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas. .	233
Figura 10.11-28 – Concentrações de E. coli em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.	233
Figura 10.11-29 – Concentrações de oxigênio dissolvido de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.	234
Figura 10.11-30 – Concentrações de ferro em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.	235
Figura 10.11-31 – Concentrações de arsênio em amostras de sedimentos nas estações coletadas.	239
Figura 10.11-32 – Concentrações de chumbo em amostras de sedimentos nas estações coletadas.	240
Figura 10.11-33 – Concentrações de cobre em amostras de sedimentos nas estações coletadas.	240
Figura 10.11-34 – Concentrações de zinco em amostras de sedimentos nas estações coletadas.....	241
Figura 10.12-1 – Representação Esquemática dos diferentes tipos de aquíferos, de acordo com o sistema de pressão de águas e com a natureza das camadas que os delimitam no topo e na base.	243
Figura 10.12-2 – Sistemas aquíferos pertinentes no Contexto da Área de Estudo Local do Rodoanel BH.	244
Figura 10.12-3 – Mapa hidrogeológico do Quadrilátero Ferrífero, onde se destaca em vermelho a área interceptada pelo traçado.....	246
Figura 10.12-4 – Usos consuntivos subterrâneos na AEL (outorgas de direito de uso e cadastros de usos insignificantes).....	249
Figura 10.12-5 – Resumo das vazões subterrâneas outorgadas e autorizadas como usos insignificantes na AEL. Categorização por finalidade de uso.	251
Figura 10.12-6 – Resumo das vazões subterrâneas outorgadas e autorizadas como usos insignificantes na AEL. Categorização por sub-bacia que constitui a AEL.	254
Figura 10.13-1 – Pontos de Coleta de Águas Subterrâneas na região que compreende a Área de Proteção Especial (APE) e aquífero que compreende a bacia Vargem das Flores.	260
Figura 10.13-2 – Valores de alumínio em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.....	269
Figura 10.13-3 – Valores de bário em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.	269
Figura 10.13-4 – Valores de cobre em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.	270
Figura 10.13-5 – Valores de condutividade elétrica em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.	270
Figura 10.13-6 – Valores de ferro em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.	271
Figura 10.13-7 – Valores de manganês em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.....	271
Figura 10.13-8 – Valores de nitrato em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.	272
Figura 10.13-9 – Valores de oxigênio dissolvido em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas. ...	272
Figura 10.13-10 – Valores de pH em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.....	273
Figura 10.13-11 – Valores de turbidez em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.....	273
Figura 10.13-12 – Valores de zinco em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.	274

LISTA DE QUADROS

Quadro 10.1-1 – Estações meteorológicas utilizadas para a caracterização climatológica da região do empreendimento.....	13
Quadro 10.1-2 – Anos de ocorrência e intensidade do fenômeno El Niño.....	18
Quadro 10.1-3 – Anos de ocorrência e intensidade do fenômeno La Niña.....	19
Quadro 10.1-4 – Precipitação acumulada mensal e anual para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	21
Quadro 10.1-5 – Temperatura máxima mensal e anual para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	22
Quadro 10.1-6 – Temperatura média compensada mensal e anual para a estação meteorológica Belo Horizonte... 23	23
Quadro 10.1-7 – Temperatura mínima mensal e anual para a estação meteorológica Belo Horizonte.....	24
Quadro 10.1-8 – Umidade relativa do ar compensada mensal e anual para as estações meteorológicas Belo Horizonte e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	25
Quadro 10.1-9 – Intensidade dos ventos para a estação meteorológica Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.....	26
Quadro 10.1-10 – Direção dos ventos para a estação meteorológica Belo Horizonte.....	27
Quadro 10.2-1 – Padrões de qualidade do ar da Resolução Conama 491/2018.....	29
Quadro 10.2-2 – Níveis de atenção, alerta e emergência para os poluentes atmosféricos e suas concentrações.....	30
Quadro 10.2-3 – Estações de qualidade do ar utilizadas para o estudo da área.....	31
Quadro 10.2-4 – Estrutura do IQAr e efeitos à saúde.....	32
Quadro 10.2-5 – Medidas de prevenção de riscos à saúde a serem adotadas em situação de qualidade do ar oriunda do indicador IQAr.....	33
Quadro 10.2-6 – Concentração atual dos principais poluentes atmosféricos e sua comparação com os limites estabelecidos pela legislação vigente.....	35
Quadro 10.2-7 – Número de dias no ano de 2020 com o IQAr diário para os parâmetros MP10, MP2,5, SO2 e O3.....	35
Quadro 10.2-8 – Resultados dos dados primários coletados em campo das concentrações de PTS, PM10, PM2,5, NO2 e SO2.....	36
Quadro 10.2-9 – IQAr nos pontos de coleta de dados primários.....	40
Quadro 10.3-1 – Vulnerabilidade climática dos municípios interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH.....	46
Quadro 10.4-1 – Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período.....	52
Quadro 10.4-2 – Resultados das medições de ruídos no período diurno.....	54
Quadro 10.4-3 – Resultados das medições de ruídos no período noturno.....	54
Quadro 10.4-4 – Classificação dos pontos quanto ao uso e ocupação do solo.....	55
Quadro 10.4-5 – Referências para Vibração Ambiental de WHIFFIN & LEONARD, 1971.....	57
Quadro 10.4-6 – Resultados de vibração em PPV (mm/s).....	58
Quadro 10.4-7 – Área e porcentagem de cada tipo de uso do solo na Área de Estudo em Detalhe.....	61
Quadro 10.5-1 – Síntese de interpretações para a evolução geotectônica do QF.....	71
Quadro 10.5-2 – Probabilidade de ocorrência de sítios paleontológicos por unidade geológica.....	83
Quadro 10.5-3 - Relação de Fases dos processos minerários.....	85
Quadro 10.5-4 – Fase, número de processos e porcentagem dos direitos minerários da AEL.....	86
Quadro 10.5-5 – Fase, número de processo e porcentagem dos processos minerários na AED.....	89
Quadro 10.5-6 – Substância, número de processos e porcentagem dos direitos minerários da AED.....	89
Quadro 10.5-7 – Lista dos direitos minerários em concessão de lavra e licenciamento na AED.....	90
Quadro 10.6-1 – Geomorfologia da AER.....	94
Quadro 10.6-2 - Classificação de Declividades e suas respectivas porcentagens na Área de Estudo Local.....	100
Quadro 10.6-3 - Área e porcentagem das unidades geomorfológicas da AEL.....	103
Quadro 10.7-1 – Percentual das unidades pedológicas identificadas na Area de Estudo Regional.....	106
Quadro 10.7-2 – Percentual das unidades pedológicas identificadas na AEL.....	110
Quadro 10.7-3 – Valores de adequação para as diferentes tipologias do uso e ocupação do solo.....	116
Quadro 10.7-4 – Valores de adequação para as diferentes classes de relevo.....	116
Quadro 10.7-5 – Valores de adequação para os diferentes tipos de solo.....	116

Quadro 10.7-6 – Valores de julgamento da importância relativa.....	117
Quadro 10.7-7 – Matriz comparativa pareada.....	117
Quadro 10.7-8 – Porcentagem das classes de aptidão agrícola da AEL.....	118
Quadro 10.7-9 - Vulnerabilidade à Contaminação Ambiental Pelo Uso do Solo.....	124
Quadro 10.7-10 - Porcentagens e áreas das classes de vulnerabilidade à contaminação pelo uso do solo.....	124
Quadro 10.8-1 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos das unidades geológicas.....	127
Quadro 10.8-2 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos a partir da declividade.....	128
Quadro 10.8-3 - Classificação da suscetibilidade a processos erosivos a partir da altimetria.....	129
Quadro 10.8-4 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos dos tipos de solo.....	130
Quadro 10.8-5 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos de acordo com o uso do solo.....	130
Quadro 10.8-6 - Percentual de área para as classes de suscetibilidade a processos erosivos definidas para a Área de Estudo Local do empreendimento.....	132
Quadro 10.8-7 - Percentual das classes de suscetibilidade a alagamentos e assoreamento para a Área de Estudo Local.....	134
Quadro 10.8-8 - Percentual das classes de suscetibilidade a alagamentos e assoreamento para a Área Diretamente Afetada.....	135
Quadro 10.9-1 – Número de cavidades cadastradas pelo CECAV e pela SBE nos municípios cortados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH.....	137
Quadro 10.9-2 – Cavidades registradas próximas ao traçado do empreendimento.....	138
Quadro 10.9-3 - Potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil de acordo com as litologias.....	139
Quadro 10.10-1 – Resumo dos principais instrumentos de gestão de recursos hídricos disponíveis nas bacias dos rios Paraopeba e das Velhas.....	150
Quadro 10.10-2 – Lista das estações fluviométricas utilizadas para a caracterização da região do empreendimento.....	155
Quadro 10.10-3 – Lista das estações pluviométricas utilizadas para a caracterização da região do empreendimento.....	155
Quadro 10.10-4 – Resumo dos valores médios mensais de pluviometria e fluviometria das estações Juatuba (01944027) e Ponte Nova do Paraopeba (40800001), respectivamente.....	155
Quadro 10.10-5 – Resumo dos valores médios mensais de pluviometria e fluviometria das estações Vespasiano (01943009) e Pinhões (41260000), respectivamente.....	156
Quadro 10.10-6 – Resumo dos valores médios mensais de pluviometria e fluviometria das estações Mineração Morro Velho (1943000) e Honório Bicalho Montante (41199998), respectivamente.....	156
Quadro 10.10-7 – Vazões de referência de acordo com a permanência no tempo.....	158
Quadro 10.10-8 – Lista das estações sedimentométricas utilizadas para a caracterização da região do empreendimento.....	158
Quadro 10.10-9 - Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001). Período de análise (1975-2022).....	159
Quadro 10.10-10 – Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Honório Bicalho Montante (40800001). Período de análise (1981-2022).....	160
Quadro 10.10-11 – Usos da água na bacia do rio Paraopeba.....	160
Quadro 10.10-12 – Usos da água na bacia do rio das Velhas.....	160
Quadro 10.10-13 - Denominação dos principais cursos d’água/sub-bacias e codificação adotada.....	163
Quadro 10.10-14 – Resumo das vazões de referência no executório das principais sub-bacias da AEL.....	164
Quadro 10.10-15 – Nascentes identificadas e interceptadas pela ADA do Rodoanel Metropolitano de BH.....	169
Quadro 10.10-16 – Resumo das vazões outorgadas e de uso insignificante na AEL.....	178
Quadro 10.10-17 – Portarias de outorga para abastecimento público com captação superficial na AEL.....	179
Quadro 10.10-20 - Resumo dos modos de usos não consuntivos encontrados na AEL, em termos de outorgas de direito de uso (acima) e de cadastros de usos insignificantes (abaixo).....	182
Quadro 10.10-21 - Resumo dos usuários de recursos hídricos superficiais interceptados pelo empreendimento....	185
Quadro 10.10-22 - Resumo das vazões de outorgas e usos insignificantes acumuladas de acordo com os usos a montante de cada sub-bacia.....	188
Quadro 10.10-23 - Resumo dos pontos de interceptação estimados.....	192
Quadro 10.10-24 - Resumo dos ottotrechos interceptados pelos elementos que compõem o traçado do Rodoanel Metropolitano BH.....	192
Quadro 10.10-25 - Principais percentis de ocorrência dos atributos hidrológicos e fisiográficos entre os ottotrechos interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH.....	193

Quadro 10.11-1 - Classificação do Índice de Qualidade das Águas (IQA).....	194
Quadro 10.11-2 - Série histórica de IQA, entre 2011 e 2021, das estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Regional.	196
Quadro 10.11-3 - Classes de enquadramento dos cursos d'água, segundo os usos a que se destinam.	207
Quadro 10.11-4 - Cursos d'água interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH e suas respectivas classes de enquadramento.	208
Quadro 10.11-5 - Outorgas de abastecimento público cadastradas na AEL do Rodoanel Metropolitano BH.	214
Quadro 10.11-6 - Unidades de Conservação e porcentagem de ocorrência na AEL.	215
Quadro 10.11-7 - Estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Local.	216
Quadro 10.11-8 - Outorgas de lançamento de efluentes em corpos d'água inseridas na Área de Estudo Local.	218
Quadro 10.11-9 - Coordenadas geográficas das estações de amostragem de água superficial e sedimentos e seus respectivos enquadramentos.....	221
Quadro 10.11-10 - Resultados de qualidade de água superficial das estações de amostragem (EAA) nos períodos de seca e chuva de 2023.	227
Quadro 10.11-11 - Resultados de qualidade de água superficial das estações de amostragem (QA) avaliadas no contexto EIA Vargem das Flores, nos períodos de seca e chuva de 2023.	229
Quadro 10.11-12 - Resultados dos parâmetros avaliados em sedimentos nas estações amostradas (EAA).	236
Quadro 10.11-13 - Resultados dos parâmetros avaliados em sedimentos nas estações amostradas (QA), nos pontos amostrados no EIA Vargem das Flores, na bacia do rio Paraopeba.	238
Quadro 10.12-1 - Resumo das vazões subterrâneas outorgadas e de uso insignificante na AEL.	252
Quadro 10.12-2 - Portarias de outorga para abastecimento público com captação superficial na AEL atribuídas à COPASA.....	252
Quadro 10.13-1– Códigos, localização e coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de água subterrânea na bacia Vargem das Flores.	261
Quadro 10.13-2 - Resultados de qualidade de água subterrânea das estações amostradas (EAB) nas campanhas de seca e chuva na bacia Vargem das Flores.....	263

10 DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO

O Meio Físico é definido como o conjunto do ambiente determinado pela interação entre componentes predominantemente abióticos, englobando materiais terrestres (solos, rochas, água e ar), tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra, dentre outras), bem como suas modificações decorrentes da ação biológica e humana (FORNASARI FILHO, 1992).

Neste contexto, as informações obtidas sobre o Meio Físico são de fundamental importância, de maneira a identificar a dinâmica atual dos seus componentes e o equilíbrio entre eles. Ressalta-se que, mesmo o Meio Físico estando em equilíbrio dinâmico, ele pode ser ativo ou passivo nos processos de deflagração de impactos ambientais a partir da instalação de empreendimentos diversos.

O Diagnóstico do Meio Físico aborda as temáticas de clima e meteorologia, qualidade do ar, mudanças climáticas, ruído 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 e áreas contaminadas, para as áreas de estudo definidas no Volume I do EIA.

A caracterização regional foi feita a partir da compilação de dados secundários. Nessa etapa foram consultados publicações científicas, trabalhos acadêmicos, bases cartográficas, projetos de mapeamentos, análises químicas e outros dados disponíveis em domínios públicos. Na caracterização local, foram realizadas campanhas de campo que percorreram todo o traçado do Rodoanel Metropolitano BH e seus entornos, com o enfoque em descrever os principais aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, os recursos hídricos superficiais e as áreas de suscetibilidade a processos erosivos. O registro fotográfico das estações catalogadas foi feito por câmeras fotográficas convencionais e por fotos aéreas obtidas por drone. O **ANEXO 10 – Quadro Descrição dos Pontos Visitados** contém as coordenadas dos pontos visitados e o **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa dos Pontos Visitados** o mapa dos pontos catalogados.

Além dos dados secundários e primários das campanhas de campo, algumas das temáticas desse diagnóstico contaram com metodologias adicionais para suas caracterizações. No levantamento do Patrimônio Espeleológico, foram feitas campanhas de prospecção e entrevistas com residentes da região do traçado, com o intuito de identificar cavidades em raios de até 250 metros do traçado do Rodoanel Metropolitano BH. Também foram realizadas coletas de amostras de solo, água subterrânea e água superficial para a determinação de seus parâmetros físicos e químicos em áreas mais suscetíveis ambientalmente, bem como análise da qualidade do ar, ruído e vibração ao longo de todo o traçado.

A seguir estão elencados os temas que compõem o Diagnóstico do Meio Físico.

10.1 Clima e Meteorologia

10.1.1 Metodologia

Para a caracterização e classificação climatológica da Área de Estudo Regional do Rodoanel Metropolitano BH foi utilizada a classificação estabelecida no projeto Clima do Brasil 1:500.000 trazida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse mapa representa as diferentes zonas climáticas do território brasileiro agrupadas pela temperatura e umidade.

Já para a caracterização dos parâmetros meteorológicos da área de estudo foram utilizados dados das normais climatológicas do período de 1991 a 2020 disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As normais climatológicas apresentam valores médios de variáveis meteorológicas calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas, e representa as características médias do clima em um determinado local.

Foram consideradas três estações meteorológicas para a análise da Área de Estudo Regional (estação Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas) as quais são listadas no **Quadro 10.1-1**.

Quadro 10.1-1 – Estações meteorológicas utilizadas para a caracterização climatológica da região do empreendimento.

CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	UF	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	ALTITUDE (M)
83587	Belo Horizonte	MG	-19,9344	-43,9522	915,47
83581	Florestal	MG	-19,8854	-44,4169	753,51
83586	Sete Lagoas	MG	-19,4845	-44,1738	753,68

Fonte: INMET, 2023.

Para efeito de informação, constatou-se que a estação Ibité, embora esteja inserida na Área de Estudo Regional, foi descartada no presente diagnóstico por não apresentar dados dos principais parâmetros meteorológicos solicitados em termo de referência estadual para a referida normal climatológica.

10.1.2 Caracterização e Classificação Climatológica

A classificação climatológica utilizada foi idealizada e produzida por Edmon Nimer em 1974, e procurou integrar métodos tradicionais e dinâmicos para exprimir, de maneira simples, as complexas relações entre os fatores ecológicos do território brasileiro. Esse modelo de classificação procura representar um esforço de sistematização macroclimática do território brasileiro definido a partir de dados obtidos de diversas estações climatológicas previamente estabelecidas. Dessa forma, procura atender aos objetivos mais gerais da síntese do complexo climático zonal e regional, podendo assim definir e determinar mesoclimas (climas locais) em seus aspectos mais proeminentes, evidenciando uma compreensão da distribuição geográfica dos diversos tipos de vegetação, de solos e de uso da terra (NIMER, 1979).

A classificação climatológica adotada no presente relatório foi baseada em três sistemas que integram métodos quantitativos e de dinâmica atmosférica.

O primeiro sistema, mais abrangente, relativo à gênese climática, fundamentado na climatologia dinâmica e nos padrões de circulação atmosférica, define os três climas zonais (Equatorial, Tropical e Temperado) e suas subunidades regionais. Os climas zonais são divididos nas seguintes modalidades regionais:

- Clima Equatorial;
- Clima Tropical Austral do Brasil Setentrional;

- Clima Tropical do Nordeste Oriental;
- Clima Tropical do Brasil Central;
- Clima Tropical Boreal do Brasil Setentrional;
- Clima Temperado do Brasil Meridional.

O segundo sistema delimita as regiões térmicas (Mesotérmico Mediano e Brando, Subquente e Quente) e fundamenta-se na frequência e médias dos valores extremos mensais. Assim são classificadas da seguinte maneira:

- Temperatura média de 18 °C para o mês mais frio:
- Clima Quente – temperaturas maiores que 18 °C;
- Clima Subquente – temperaturas menores que 18 °C.
- Temperatura média de 15 °C para o mês mais frio:
- Clima Subquente – temperaturas maiores que 15 °C;
- Clima Mesotérmica – temperaturas menores que 15 °C, que podem ser brando (10 a 15 °C) ou mediano (menor que 10 °C).

A classificação de regiões quanto aos padrões de umidade e seca mensais (que vão de Superúmido a Semiárido) é resultante do terceiro sistema adotado, que se relaciona ao número de meses secos com o tipo de vegetação natural predominante, a fim de mostrar a interação do regime climático com a biogeografia e a ecologia.

- Clima Superúmido (sem seca ou com subseca);
- Clima Úmido (com um a três meses secos);
- Clima Subúmido (com quatro a cinco meses secos);
- Clima Semiárido (com seis ou mais meses secos), sendo subdividido em brando (com seis meses secos), mediano (com sete a oito meses secos), forte (com nove a 10 meses secos) e muito forte (com 11 meses secos);
- Clima Árido ou Desértico (com 12 meses secos).

Portanto, os três sistemas e suas unidades relacionadas são independentes e se superpõem, resultando em diversas regiões climáticas e ecologicamente distintas. Segundo Nimer (1979), o Clima Tropical pode, do ponto de vista da variação de umidade e temperatura, conter todos os tipos climáticos, desde o mais úmido ao mais seco, do mais quente ao mais frio, dependendo das condições específicas controladas por fatores dinâmicos e geográficos regionais e locais.

Já o Clima Equatorial pode estar relacionado a climas quentes, mesotérmicos, frios ou gelados, mas deverá ser ou superúmido ou úmido, porém jamais subúmido ou seco, pois não se permite uma longa estação seca. Além disso, os climas equatorial, tropical e temperado podem estar combinados a climas mesotérmicos superúmidos e úmidos.

Com base nestas premissas metodológicas definidas por Edmond Nimer, 1979, a **Figura 10.1-1** apresenta o mapa completo do traçado do Rodoanel Metropolitano BH, da Área de Estudo Regional e das estações

meteorológicas, todos inseridos no zoneamento climático da região do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte.

A partir desse mapa, é possível observar que o traçado do Rodoanel Metropolitano BH está inserido na região de Clima Tropical do Brasil Central que apresentam duas caracterizações climatológicas distintas.

A zona climática predominante do traçado do Rodoanel Metropolitano BH, abrangendo toda a extensão da Alça Oeste e grande parte da Alça Norte, é definida por um Clima Tropical com região térmica classificada como subquente, com temperaturas médias entre 15 °C e 18 °C. No que se refere ao parâmetro de umidade, essa zona climática é classificada como semiúmida, com quatro a seis meses secos.

A segunda zona climática observada abrange o trecho inicial da Alça Norte. Essa zona se caracteriza pelo Clima Tropical com região térmica classificada como mesotérmica branda, com temperaturas médias entre 10 °C e 15 °C. Quanto à umidade, esta zona climática é definida como úmida com um a três meses secos.

Informa-se que o Clima Tropical do Brasil Central se caracteriza por duas estações bem definidas: uma chuvosa e outra seca, ou de chuvas insuficientes. Além disso, a distinção entre o verão e o inverno é reforçada pelo regime térmico, pois, excluindo as áreas mais montanhosas, o verão é quente em toda a região abrangida por este clima, enquanto o inverno é brando ao sul e nas áreas serranas (NIMER, 1979).

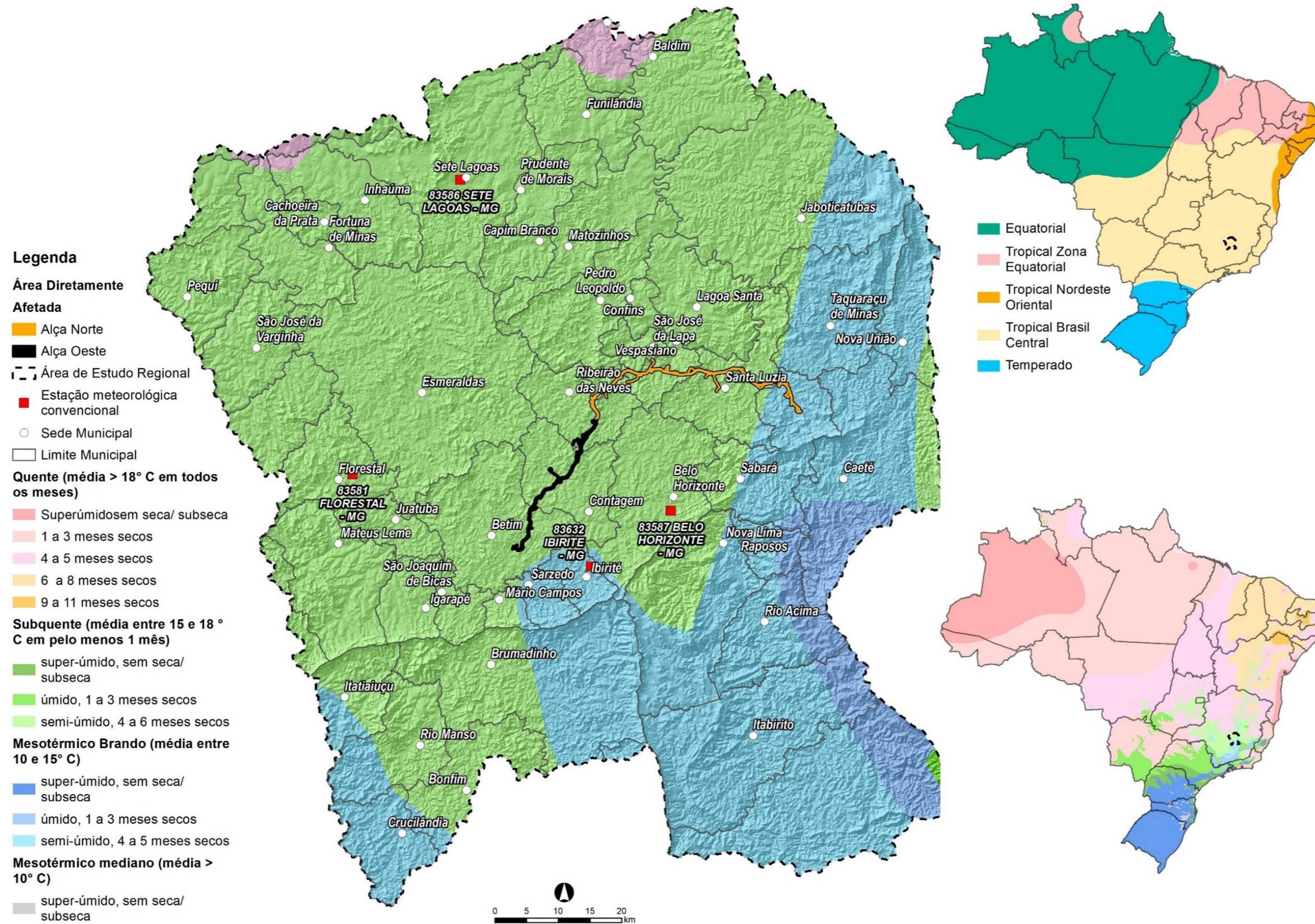


Figura 10.1-1 – Mapa da classificação do clima e as estações meteorológicas da Área de Estudo Regional do empreendimento.

Fonte: IDE SISEMA, 2023.

10.1.3 Sistemas Atmosféricos em Escala Sinótica

Para o entendimento dos fenômenos meteorológicos em escala sinótica é fundamental o conhecimento dos sistemas atmosféricos atuantes no território brasileiro, já que eles acarretam fortes influências nas condições do clima e tempo. Nessa escala, define-se a circulação primária ou geral da atmosfera, onde se destacam a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os cinturões de alta pressão nas latitudes médias, as zonas ciclônicas circumpolares, a Oscilação Sul associada ao El Niño e a circulação monçônica. Os fenômenos climáticos em escala sinótica possuem permanência temporal de uma semana a seis meses.

Nas regiões sudeste e central do Brasil observam-se duas estações bem definidas: uma estação seca e outra chuvosa (clima Tropical do Brasil Central). A estação chuvosa possui um regime do tipo monção, com períodos chuvosos em que predomina a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e períodos secos com regimes pluviométricos mais localizados. Ressalta-se ainda que durante o inverno, algumas frentes frias atingem as regiões sudeste e centro oeste, ocasionalmente provocando geadas e às vezes chegando até a região Norte, onde são denominadas de friagens.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) se caracteriza por ser uma persistente banda de nebulosidade e precipitação com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde o sul e leste da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul, sendo o principal sistema meteorológico de grande escala responsável pelo regime de chuvas sobre as regiões sul e sudeste do Brasil durante os meses de primavera e verão (Cavalcanti et al., 2009). Ressalta-se que a permanência da ZCAS por períodos mais extensos na região sudeste acarreta períodos de enchentes de verão nesta região e veranicos na região sul.

A atividade convectiva se inicia na bacia Amazônica no início do mês de agosto e se movimenta em direção ao sudeste do Brasil. Na segunda quinzena de outubro tem início a estação chuvosa em grande parte das regiões centro oeste e sudeste do Brasil, onde as chuvas mais intensas ocorrem no período entre os meses de dezembro a fevereiro. Já em meados de março e começo de abril, essa atividade convectiva se enfraquece sobre a região tropical. Portanto, considera-se que a ZCAS é responsável pelas precipitações pluviométricas mais volumosas nas regiões centro oeste e sudeste do Brasil. A intensificação da ZCAS pode estar associada a outros sistemas meteorológicos que não atuam diretamente nas áreas de estudo, como os sistemas frontais, os vórtices ciclônicos de altos níveis e a Alta Bolívia.

Vale destacar ainda o papel primordial que as características topográficas do continente sul-americano, principalmente no que se refere à presença da Cordilheira dos Andes, exercem na modulação de certas feições da circulação atmosférica, sendo mais acentuada durante a época de verão. Em geral, a ZCAS posiciona-se mais ao leste em dezembro, principalmente em associação com a alta precipitação sobre o Brasil, o escoamento de nordeste sobre a parte leste da Bolívia e a baixa precipitação sobre o Altiplano. Já em janeiro, a ZCAS se situa mais a oeste, devido ao aumento da precipitação no Altiplano, que é fortemente modulada pelo escoamento de ar úmido em baixos níveis na região leste dos Andes. Portanto, as características topográficas influenciam efetivamente nas variações pluviométricas por todo o continente sul-americano já que afetam diretamente a circulação atmosférica.

Ressalta-se que todas as regiões do Brasil estão sujeitas às variações temporais do clima, onde os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), definidos como aglomerados de tempestades, se organizam em sistemas específicos que se movimentam por horas, provocando chuvas intensas, ventos fortes e, muitas vezes, queda de granizo.

Por fim, ressalta-se a importância da atuação e influência da ZCAS para a região sudeste do Brasil, pois as altas precipitações pluviométricas observadas no período de verão garantem uma grande quantidade de água que é utilizada para diversas atividades socioeconômicas, tais como: agricultura, geração de energia elétrica, abastecimento de água para população ali existente, entre outros. Entretanto, problemas relacionados a deslizamentos de terra e enchentes também estão associados às altas precipitações observadas na região que, associados às condições topográficas da região e à falta de planejamento habitacional e governamental (ocupação desordenada do solo), acarretam esses tipos de situação que devem ser remediados e mitigados.

10.1.4 Fenômenos Extremos

Os fenômenos extremos que podem ocorrer na região do empreendimento, acarretando períodos de seca extrema ou de chuvas intensas, geralmente estão associados aos eventos do *El Niño* e da *La Niña*, que se caracterizam, respectivamente, pelo aquecimento e resfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical Central e Oriental. O gradiente de pressão entre o Pacífico Central e o Oriental (chamado de “oscilação sul”) experimenta variações associadas ao aquecimento ou resfriamento do Pacífico Equatorial. A interação entre o comportamento de anomalias de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) no Pacífico Tropical e as mudanças na circulação atmosférica decorrente deste aquecimento constitui o fenômeno de interação oceano-atmosfera mencionado na literatura como ENOS (*El Niño / Oscilações Sul*).

A combinação das circulações atmosféricas anômalas induzidas pelas distribuições especiais de TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical afeta o posicionamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico, influenciando a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico Norte da América do Sul.

Os fenômenos *El Niño* (anomalias positivas) e *La Niña* (anomalias negativas) são oscilações normais, previsíveis das temperaturas da superfície do mar, nas quais o homem não pode interferir. São fenômenos naturais, variações normais do sistema climático da Terra, que existem há milhares de anos e continuarão a existir.

O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) monitora a evolução do *La Niña* e *El Niño* e dissemina previsões de seus impactos climáticos sobre o Brasil através do Boletim de Informações Climáticas – INFOCLIMA, importante estudo que afeta muitas atividades econômicas e a sociedade.

O **Quadro 10.1-2** apresenta os anos de ocorrência e a intensidade do fenômeno *El Niño* evidenciado pelo CPTEC/INPE (2023). Já o **Quadro 10.1-3** apresenta os anos de ocorrência e a intensidade do fenômeno *La Niña*.

Quadro 10.1-2 – Anos de ocorrência e intensidade do fenômeno *El Niño*.

EVENTO	ANO DE OCORRÊNCIA	INTENSIDADE	EVENTOS	ANO DE OCORRÊNCIA	INTENSIDADE
1	1895 – 1896	Fraca	19	1957 -1958	Forte
2	1896 – 1897	Forte	20	1963 - 1964	Moderada
3	1899 – 1990	Forte	21	1965 - 1966	Forte
4	1902 – 1903	Forte	22	1968 - 1969	Fraca
5	1904 – 1905	Moderada	23	1969 - 1970	Moderada
6	1905 – 1906	Moderada	24	1972 - 1973	Forte
7	1911 – 1912	Moderada	25	1976 - 1977	Moderada

EVENTO	ANO DE OCORRÊNCIA	INTENSIDADE	EVENTOS	ANO DE OCORRÊNCIA	INTENSIDADE
8	1913 – 1914	Fraca	26	1979 - 1980	Moderada
9	1914 – 1915	Moderada	27	1982 - 1983	Forte
10	1918 – 1919	Forte	28	1986 - 1987	Moderada
11	1919 – 1920	Moderada	29	1987 - 1988	Forte
12	1925 – 1926	Moderada	30	1991 - 1992	Forte
13	1930 - 1931	Forte	31	1992 - 1993	Fraca
14	1939 - 1940	Moderada	32	1997 - 1998	Forte
15	1940 - 1941	Forte	33	2002 - 2003	Moderada
16	1941 - 1942	Fraca	34	2006 - 2007	Moderada
17	1951 - 1952	Moderada	35	2009 - 2010	Moderada
18	1952 - 1953	Fraca	36	2015 - 2016	Forte

Fonte: CPTEC/INPE, 2024.

Quadro 10.1-3 – Anos de ocorrência e intensidade do fenômeno *La Niña*.

EVENTO	ANO DE OCORRÊNCIA	INTENSIDADE	EVENTOS	ANO DE OCORRÊNCIA	INTENSIDADE
1	1892 - 1893	Forte	15	1949 - 1950	Forte
2	1893 - 1894	Fraca	16	1954 - 1955	Fraca
3	1903 - 1904	Moderada	17	1955 - 1956	Moderada
4	1906 - 1907	Fraca	18	1967 - 1968	Fraca
5	1908 - 1909	Moderada	19	1970 - 1971	Fraca
6	1909 - 1910	Forte	20	1973 - 1974	Moderada
7	1910 - 1911	Fraca	21	1975 - 1976	Moderada
8	1916 - 1917	Forte	22	1988 - 1989	Moderada
9	1917 - 1918	Moderada	23	1998 - 1999	Fraca
10	1924 - 1925	Moderada	24	1999 - 2000	Moderada
11	1933 - 1934	Moderada	25	2007 - 2008	Moderada
12	1937 - 1938	Fraca	26	2010 – 2011	Moderada
13	1938 - 1939	Fraca	27	2017 - 2018	Moderada
14	1942 - 1943	Forte			

Fonte: CPTEC/INPE, 2024.

Assim, de acordo com análise do INPE (2023), observa-se um padrão de anomalias positivas - características de condições de *El Niño* - na temperatura da superfície do mar do oceano Pacífico Equatorial. As previsões analisadas de anomalias de temperatura da superfície do mar na região do oceano Pacífico Equatorial para agosto-setembro-outubro de 2023 (ASO/2023) dos modelos numéricos de previsão climática indicam a manutenção desse padrão de aquecimento, com valores positivos das anomalias de temperatura da superfície do mar, características de *El Niño*. A previsão da ocorrência de ENOS realizada pelo IRI/CPC em meados do mês de julho de 2023 é de 95% de probabilidade de ocorrência de um *El Niño* e 5% de probabilidade de ocorrência de neutralidade para o trimestre ASO.

Nesse contexto, conclui-se que o fenômeno *El Niño* está em atividade e tende a perdurar em média de 2 a 5 anos. As temperaturas nessa região de estudo poderão ser mais altas que a média histórica devido a esse fenômeno atmosférico. Isso significa que a implantação do Rodoanel Metropolitano BH poderá estar sujeita a chuvas mais fortes do que o habitual, as quais podem causar danos à obra e às pessoas.

Devido a esse padrão que se prevê para os próximos anos, elementos de drenagem reforçados podem ser importantes para as obras. Atenção especial deve ser dada ao cronograma de obra, priorizando que a construção de estruturas fundamentais se dê no período de seca.

10.1.5 Parâmetros Meteorológicos

10.1.5.1 Precipitação

A precipitação ou chuva pode ser entendida como o processo pelo qual a água gasosa condensa na atmosfera, atinge certo peso e cai por meio da força da gravidade, atingindo a superfície terrestre. O índice pluviométrico é a medição da quantidade de chuva, em milímetros (mm), que ocorre em um determinado local durante um dado período (horas, dias, meses ou anos). Equivale a 1 mm de chuva, 1 L de água acumulada em 1 m² de área.

A **Figura 10.1-2** ilustra os valores de precipitação acumulada média mensal para as estações meteorológicas analisadas.

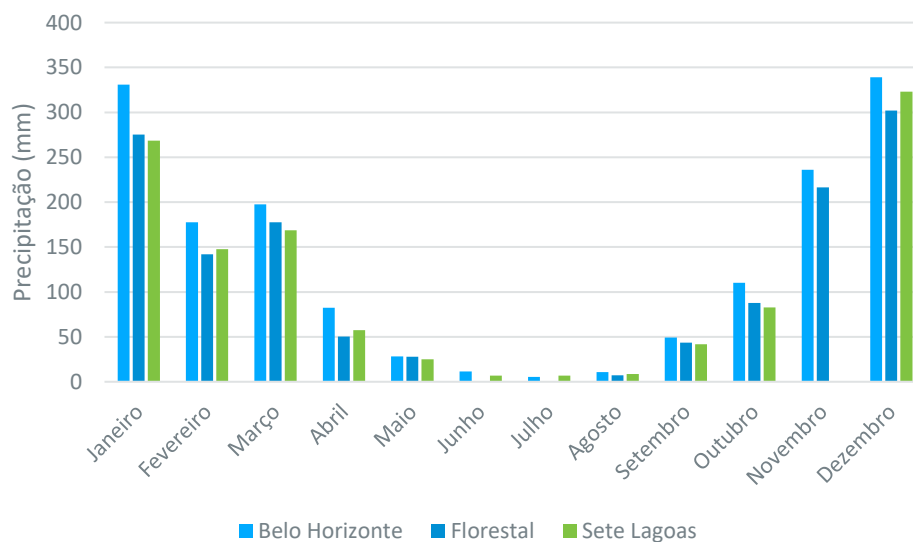


Figura 10.1-2 – Gráfico de precipitação acumulada mensal para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

Fonte: INMET, 2023.

O **Quadro 10.1-4** apresenta os valores de precipitação acumulada média mensal e anual para as referidas estações, os quais subsidiaram a construção do respectivo gráfico.

Quadro 10.1-4 – Precipitação acumulada mensal e anual para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

NORMAL CLIMATOLÓGICA DO BRASIL 1991-2020													
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL E ANUAL (mm)													
NOME DA ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
BELO HORIZONTE	330,9	177,7	197,5	82,3	28,1	11,4	5,4	10,6	49,2	110,1	236,0	339,1	1578,3
FLORESTAL	275,4	142,0	177,7	50,3	28,0	-	-	7,2	43,7	87,6	216,5	302,0	1330,4
SETE LAGOAS	268,7	147,5	168,6	57,4	25,0	6,7	6,7	8,6	41,7	82,8	-	323,0	1136,7

Fonte: INMET, 2023.

Verificam-se dois períodos bem distintos durante o ano no que se refere aos índices pluviométricos. Durante o período mais seco, que compreende os meses de abril a setembro, se destacam os meses de junho, julho e agosto, com os menores índices pluviométricos. A precipitação acumulada mensal mais baixa na região ocorre na estação Belo Horizonte, no mês de julho (inverno), cujo valor é de 5,4 mm.

O período mais úmido ocorre entre os meses de outubro a março, com índices pluviométricos mais elevados, evidenciando o período chuvoso, destacando-se as precipitações que ocorrem nos meses de janeiro e dezembro, época de verão. A precipitação acumulada média mensal mais alta ocorre no mês de dezembro na estação Belo Horizonte, com valor de 339,1 mm.

10.1.5.2 Temperatura do Ar

A temperatura pode ser entendida como o grau de intensidade de calor que existe em um ponto qualquer da atmosfera, resultante da quantidade de insolação recebida, das características da superfície, da distância de corpos hídricos, do relevo, da natureza dos ventos predominantes e das correntes oceânicas. As unidades de medida mais utilizadas para se medir a temperatura do ar são os graus Celsius (°C) e os graus Fahrenheit (°F).

As figuras e tabelas a seguir apresentam dados de temperatura máxima, média (bulbo seco) e mínima para as estações meteorológicas analisadas.

Nesse contexto, a **Figura 10.1-3** ilustra os valores de temperatura máxima mensal.

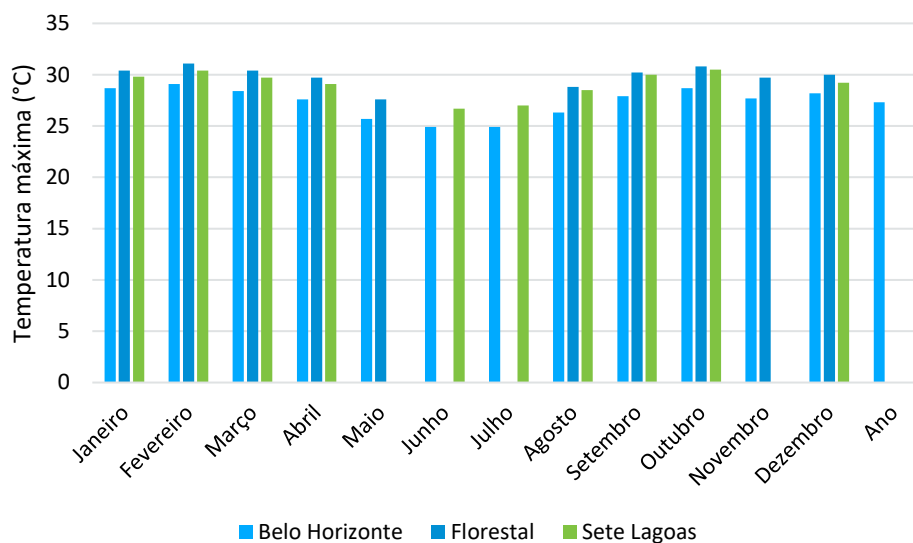


Figura 10.1-3 – Gráfico de temperatura máxima mensal para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

Fonte: INMET, 2023.

O **Quadro 10.1-5** apresenta os valores de temperatura máxima média mensal e anual para as estações, os quais serviram de base para a construção do respectivo gráfico. A série histórica não apresenta dados de algumas estações em alguns meses, bem como não apresenta a média anual de temperatura máxima para as estações Florestal e Sete Lagoas.

Quadro 10.1-5 – Temperatura máxima mensal e anual para as estações meteorológicas Belo Horizonte, Florestal e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

NORMAL CLIMATOLÓGICA DO BRASIL 1991-2020													
TEMPERATURA MÁXIMA MENSAL E ANUAL (°C)													
NOME DA ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
BELO HORIZONTE	28,7	29,1	28,4	27,6	25,7	24,9	25	26,3	27,9	28,7	27,7	28,2	27,3
FLORESTAL	30,4	31,1	30,4	29,7	27,6	-	-	28,8	30,2	30,8	29,7	30	-
SETE LAGOAS	29,8	30,4	29,7	29,1	-	26,7	27	28,5	30	30,5	-	29,2	-

Fonte: INMET, 2023.

Verifica-se que as maiores temperaturas máximas prevalecem na estação Florestal. De acordo com a normal climatológica, o valor mais elevado observado nessa estação foi no mês de fevereiro, de 31,1 °C.

Em relação à temperatura média compensada mensal (temperatura de bulbo seco), a **Figura 10.1-4** traz apenas dados para a estação Belo Horizonte, uma vez que a normal climatológica 1991-2020 do INMET não determinou dados para as estações Florestal e Sete Lagoas, provavelmente pela ausência de dados suficientes medidos, o que pode alterar a consistência dos dados dentro da metodologia aplicada pelo instituto.

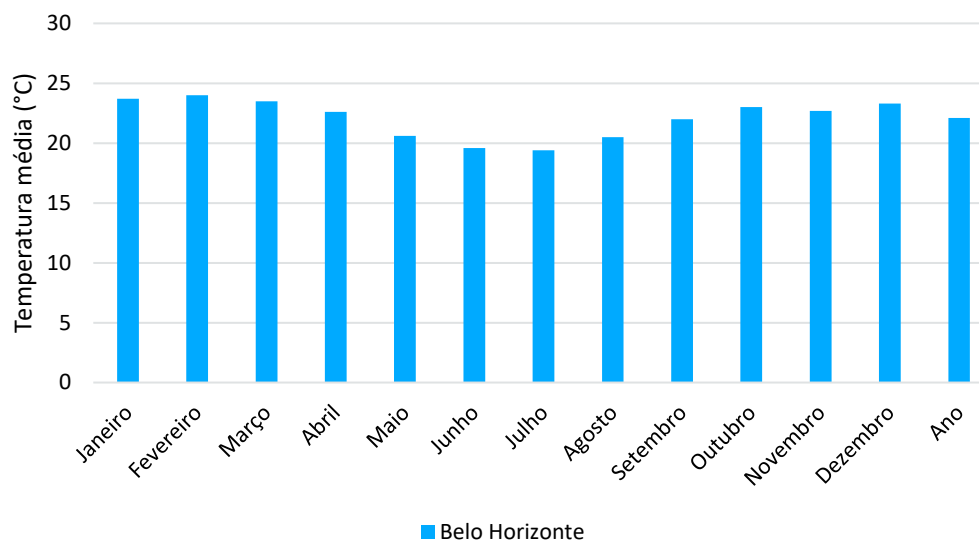


Figura 10.1-4 – Gráfico de temperatura média compensada mensal para a estação meteorológica Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

Fonte: INMET, 2023.

Verifica-se que a temperatura média do ar apresenta menores valores nos meses de junho e julho (inverno). A temperatura média mensal mais baixa ocorre no mês de julho, com 19,4 °C. O **Quadro 10.1-6** apresenta os valores de temperatura média compensada mensal e anual (°C) para a estação de Belo Horizonte, que serviram de base para a construção do respectivo gráfico.

Quadro 10.1-6 – Temperatura média compensada mensal e anual para a estação meteorológica Belo Horizonte.

NORMAL CLIMATOLÓGICA DO BRASIL 1991-2020													
TEMPERATURA MÉDIA COMPENSADA MENSAL E ANUAL (°C)													
NOME DA ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
BELO HORIZONTE	23,7	24,0	23,5	22,6	20,6	19,6	19,4	20,5	22,0	23,0	22,7	23,3	22,1

Fonte: INMET, 2023.

Por fim, as temperaturas mínimas mensais são ilustradas na **Figura 10.1-5**, que também traz apenas dados da estação Belo Horizonte segundo a normal climatológica, a qual não contemplou as estações Florestal e Sete Lagoas.

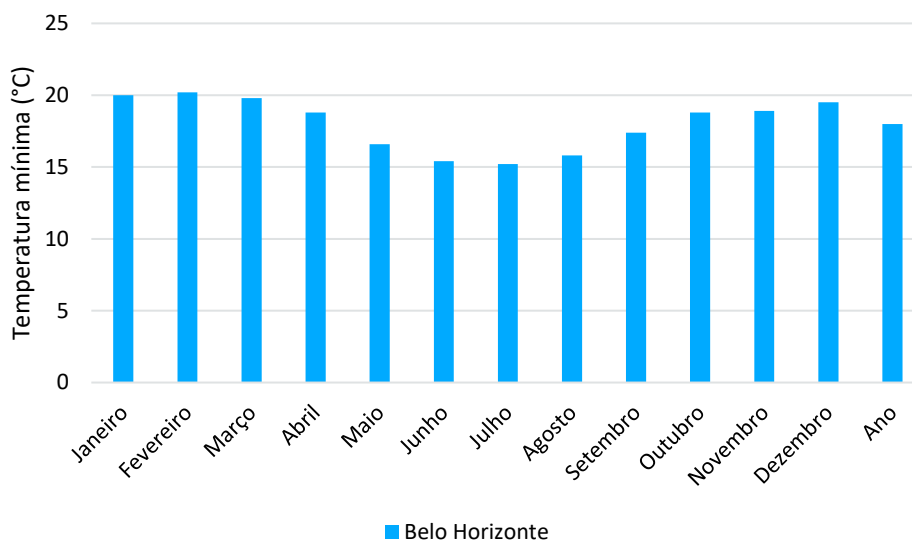


Figura 10.1-5 – Gráfico de temperatura mínima mensal para a estação meteorológica Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

O **Quadro 10.1-7** apresenta os valores de temperatura mínima média mensal e anual (°C) para a estação de Belo Horizonte, os quais serviram de base para a construção do respectivo gráfico. A temperatura mínima mensal ocorre no inverno, no mês de julho, com o valor de 15,2 °C.

Quadro 10.1-7 – Temperatura mínima mensal e anual para a estação meteorológica Belo Horizonte.

NORMAL CLIMATOLÓGICA DO BRASIL 1991-2020													
TEMPERATURA MÍNIMA MENSAL E ANUAL (°C)													
NOME DA ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
BELO HORIZONTE	20	20,2	19,8	18,8	16,6	15,4	15,2	15,8	17,4	18,8	18,9	19,5	18

Fonte: INMET, 2023.

Por meio dos dados de temperatura máxima das três estações, observa-se a semelhança em ordem de grandeza dos valores. Optou-se por utilizar essa Normal Climatológica (ao invés da 1981-2010) pelo fato de ser a mais atualizada e por representar mais fielmente os dados climáticos da atual conjuntura, muito influenciada pelas mudanças climáticas que vem sendo intensificadas nas últimas décadas pela ação antrópica, posicionamento defendido por uma considerável ala de cientistas.

10.1.5.3 Umidade Relativa do Ar

O parâmetro meteorológico de umidade relativa do ar é definido como a razão entre o percentual (em número de moléculas) de água no ar pelo percentual que corresponde à saturação naquela temperatura ambiente, onde seus valores variam de acordo com a temperatura e precipitação pluviométrica. Destaca-se que a umidade relativa do ar é a medida mais utilizada para mensurar a sensação térmica em dias muito secos ou muito úmidos. A umidade relativa é dada em porcentagem (%). A **Figura 10.1-6** ilustra os valores de umidade relativa do ar mensal e anual para as estações meteorológicas Belo Horizonte e Sete Lagoas.

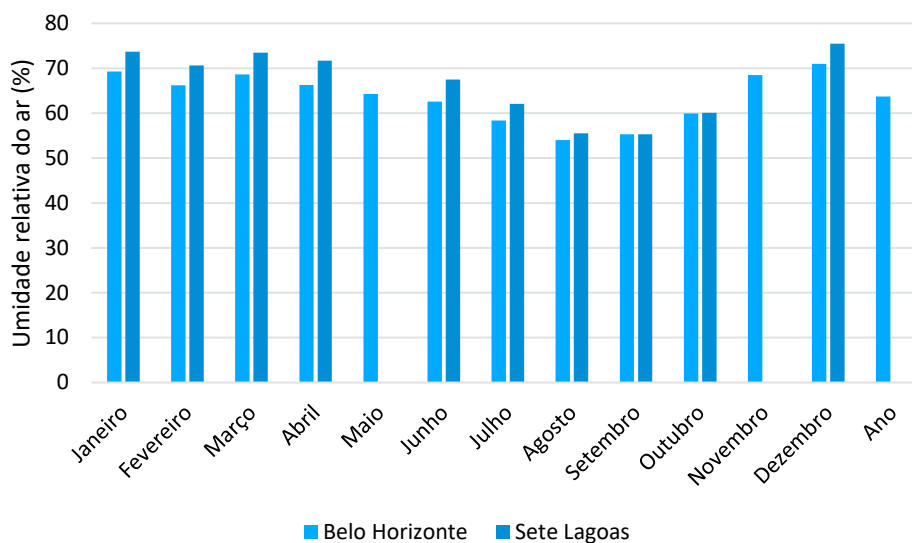


Figura 10.1-6 – Gráfico da umidade relativa do ar média mensal para as estações meteorológicas Belo Horizonte e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

Fonte: INMET, 2023.

Por sua vez, o **Quadro 10.1-8** apresenta os mesmos valores, tabelados, utilizados para a construção do respectivo gráfico.

Quadro 10.1-8 – Umidade relativa do ar compensada mensal e anual para as estações meteorológicas Belo Horizonte e Sete Lagoas, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

NORMAL CLIMATOLÓGICA DO BRASIL 1991-2020													
UMIDADE RELATIVA DO AR COMPENSADA MENSAL E ANUAL (%)													
NOME DA ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
BELO HORIZONTE	69,3	66,2	68,6	66,3	64,3	62,6	58,4	54	55,3	59,9	68,5	71	63,7
SETE LAGOAS	73,7	70,6	73,5	71,7	-	67,5	62,1	55,5	55,3	60,1	-	75,5	-

Fonte: INMET, 2023.

Observa-se que os maiores valores observados da umidade relativa do ar se encontram nos meses de verão (dezembro a março) e os menores se encontram em meses de inverno (agosto e setembro). De acordo com os dados da região, a amplitude da umidade relativa do ar ao longo do ano gira em torno de 20%. O pico de umidade relativa do ar ocorreu na estação Sete Lagoas em dezembro, 75,5%, e a umidade relativa do ar mais baixa ocorreu em agosto na estação Belo Horizonte, 54%.

10.1.5.4 Ventos

Os ventos se formam pelo deslocamento de ar que ocorre pela diferença de pressão e temperatura entre locais do planeta, seguindo princípios da termodinâmica. A caracterização do vento em qualquer ponto da atmosfera requer a determinação de dois parâmetros: sua direção e sua intensidade (apresentada aqui em termos de sua velocidade). Essas grandezas são instantâneas e pontuais, pois o escoamento do ar depende das condições atmosféricas que variam no espaço e no tempo.

A direção do vento define a posição do horizonte aparente do observador a partir da qual o vento parece provir, ou seja, de onde o vento sopra. Já a intensidade do vento à superfície varia bastante com o tempo

e se caracteriza por intensas oscilações. O módulo da intensidade do vento é, normalmente, expresso em velocidade, em metros por segundo (m/s), em quilômetros por hora (km/h) ou em *knot*.

A **Figura 10.1-7** ilustra os valores de média mensal da intensidade do vento para a estação meteorológica Belo Horizonte, a única na região que apresenta dados atualizados para a normal climatológica 1991-2020.

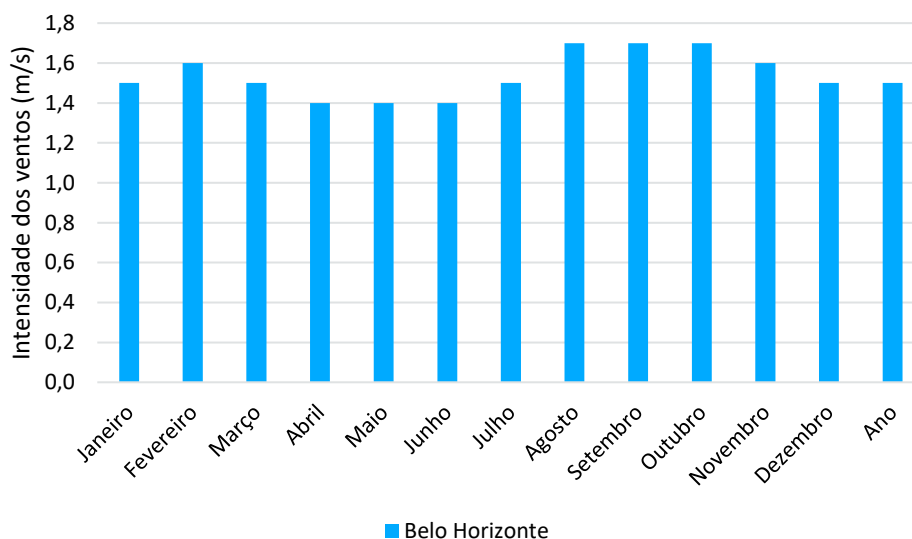


Figura 10.1-7 – Gráfico da intensidade média mensal dos ventos para a estação meteorológica de Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

Fonte: INMET, 2023.

O **Quadro 10.1-9** apresenta os valores tabelados que subsidiaram a construção do respectivo gráfico.

Quadro 10.1-9 – Intensidade dos ventos para a estação meteorológica Belo Horizonte, coletada da Normal Climatológica 1991-2020.

NORMAL CLIMATOLÓGICA DO BRASIL 1991-2020													
INTENSIDADE DO VENTO (m/s)													
NOME DA ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AG O	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
BELO HORIZONTE	1,5	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fonte: INMET, 2023.

Verifica-se que os ventos são mais intensos nos meses de agosto a novembro (final do inverno e início da primavera) com valores de 1,6 a 1,7 m/s. Os ventos são menos intensos, por sua vez, nos meses de abril a junho (outono), apresentando o valor médio de 1,4 m/s. Consta-se que a variação sazonal dos ventos é muito pouco significativa com valores constantes ao longo dos meses do ano quando se avalia cada estação.

A Escala Beaufort, utilizada nas ciências atmosféricas e pelas instituições náuticas, classifica os ventos em termos de intensidade e seus efeitos em terra e em mar. De acordo com essa escala, tanto os ventos médios mais fortes quanto os mais fracos na região de estudo são classificados dentro da faixa de “calmaria” e “aragem”, tendo efeitos de elevação de fumaça vertical e inclinação de fumaça na direção e sentido do vento. A título de comparação, “ventania forte” possui média de velocidade de 22,6 m/s (SEMASA, 2023).

Com relação aos dados de direção do vento, o **Quadro 10.1-10** representa a caracterização desse parâmetro.

Quadro 10.1-10 – Direção dos ventos para a estação meteorológica Belo Horizonte.

NORMAL CLIMATOLÓGICA DO BRASIL 1991-2020													
DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS (PONTOS CARDEAIS E COLATERAIS)													
NOME DA ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
BELO HORIZONTE	NE	E	E	NE	E	E	E	E	E	NE	NE	NE	E

Fonte: INMET, 2023.

Como apresentado no início do capítulo, deve-se interpretar a direção dos ventos em termos de pontos cardeais e colaterais. De acordo com os dados da estação Belo Horizonte, os ventos predominantes na região têm direção Leste (E), o que implica os ventos predominantemente sopraem de leste para oeste.

10.2 Qualidade do Ar

A atmosfera é um meio onde ocorrem diversas interações bióticas e abióticas, que é essencial à vida. A troposfera é a camada mais próxima da superfície terrestre, onde ocorrem os fenômenos atmosféricos e onde se concentram os principais gases como nitrogênio e oxigênio.

A introdução de poluentes na atmosfera de forma natural (erupções vulcânicas, incêndios espontâneos de florestas, erosão do solo, processos de decomposição de animais e plantas, emissão de compostos orgânicos voláteis pela vegetação) ou pela ação antrópica (queima de materiais orgânicos ou inorgânicos, como os combustíveis fósseis, processos industriais) é considerada um aspecto ambiental. Quando as emissões de certas substâncias consideradas poluentes ultrapassam limites legais estabelecidos para a qualidade do ar, o que é um aspecto ambiental se torna um impacto ambiental negativo, afetando a qualidade ambiental e de vida.

A qualidade do ar num determinado local varia ao ritmo das emissões antrópicas por fontes pontuais (onde há controle de fluxo) e fontes difusas (liberação sem direcionamento), influenciadas pelas condições naturais, como as condições meteorológicas e a topografia da região. Essa poluição atmosférica acarreta danos à saúde, causando doenças respiratórias, cardiovasculares e até mesmo neurológicas. Também gera efeitos negativos aos ecossistemas, podendo causar prejuízos à agricultura, à fauna, aos materiais, ao solo e às águas.

10.2.1 Base Normativa

O arcabouço legal que orienta a qualidade do ar no Brasil se baseia no instrumento de padrão de qualidade do ar. São valores de concentração de poluentes específicos na atmosfera, associados a um intervalo de tempo de exposição, que, se ultrapassados, podem prejudicar o meio ambiente e a saúde da população. A legislação brasileira é baseada nas diretrizes de qualidade do ar estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) de 2005.

São apresentadas abaixo as legislações importantes que tratam da qualidade do ar no Brasil:

- Deliberação Normativa (DN) COPAM nº 248/2023: dispõe sobre padrões de qualidade do ar para o Estado de Minas Gerais;

- Resolução CONAMA nº 491/2018 (federal): dispõe sobre padrões de qualidade do ar;
- Resolução CONAMA nº 382/2006 (federal): estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas;
- Resolução CONAMA nº 418/2009 (federal): dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso;
- Resolução COPAM nº 187/2013 (estadual): estabelece condições e limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas e dá outras providências;
- Portaria IBAMA nº 85/1996 (federal): dispõe sobre a fumaça preta de veículos movidos à diesel.

10.2.2 Metodologia

É primordial estabelecer uma relação entre os principais poluentes vinculados à instalação e operação de uma grande rodovia com os poluentes já gerados na região (*background*). Isso permite uma comparação adequada entre a qualidade do ar antes do empreendimento e depois do empreendimento, permitindo a correta mensuração dos possíveis impactos da rodovia na qualidade do ar da região, todavia, o estado de Minas Gerais não possui um inventário de emissão de fontes fixas ou um relatório de monitoramento da qualidade do ar atualizado. Salienta-se, ainda, que de acordo com o Termo de Referência do órgão ambiental, o Rodoanel Metropolitano BH não se enquadra em um empreendimento que necessita realizar um Estudo de Dispersão de Poluentes Atmosféricos.

Para a realização do diagnóstico da qualidade do ar foram realizadas as seguintes ações:

- Levantamento dos principais parâmetros de qualidade do ar relacionados a esse empreendimento: diagnóstico a partir de duas estações de monitoramento da qualidade do ar instaladas no estado (dados secundários), comparando suas concentrações com a legislação pertinente em termos de padrões de lançamento e em termos de Índice de Qualidade do Ar (IQA). Considerou-se dados de média anual e média diária. O Sistema do qual se coletou informações foi a “Plataforma da Qualidade do Ar” do Instituto de Energia e Meio Ambiente do estado do Espírito Santo;
- Levantamento de dados primários em pontos representativos estabelecidos em campo. Tais pontos foram determinados sobretudo em função de dois fatores: distribuição homogênea ao longo do traçado e busca de uma logística adequada para se instalar todo o equipamento (amostradores). Os parâmetros de qualidade do ar avaliados em campo foram: PTS, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂. Foi realizada uma campanha de campo (inverno) em sete pontos, com coleta de três a cinco amostras (dias) por ponto e por parâmetro. As amostras foram acondicionadas em campo e encaminhadas para análise físico-química em laboratório reconhecido pela Rede Metrológica de Minas Gerais (RMMG). Os dados foram então analisados e apresentados nesse relatório. Para maiores detalhes metodológicos, equipamentos utilizados, entre outras informações, sugere-se consulta ao **ANEXO 11 - Qualidade Ar_Pressão Sonora_Vibração**.

10.2.3 Análises Realizadas

Há uma gama de poluentes atmosféricos oriundos da atividade humana e natural, no entanto, há um grupo de poluentes universalmente adotados como indicadores de qualidade do ar em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos.

A seguir, explica-se quais são os principais poluentes atmosféricos que podem estar associados à atividade de transporte rodoviário e que estão inseridos nesse grupo de indicadores supracitado.

- O Material Particulado (MP) divide-se em Partículas Totais Suspensas (PTS), Partículas Inaláveis (MP₁₀ - material particulado com menos de 10 micrômetros [μm]) e Partículas Inaláveis finas (MP_{2,5} – material particulado com menos de 2,5 micrômetros) e tem como fonte os veículos automotores, processos industriais, combustões e ressuspensão de poeira do solo;
- A fumaça é um poluente sólido oriundo da combustão e está associado ao MP, sendo parte deste;
- O monóxido de carbono (CO) resulta da queima incompleta de combustíveis orgânicos, como os fósseis;
- O dióxido de nitrogênio (NO₂) também é gerado nos diversos processos de combustão, tendo os veículos como principais fontes, sobretudo os pesados; é um gás precursor do ozônio (O₃) troposférico, influencia no aumento da quantidade de MP₁₀ (nitratos secundários) e na formação da chuva ácida;
- O dióxido de enxofre (SO₂) é gerado na queima de combustíveis que contêm enxofre, processo comum nos motores a diesel, refinarias de petróleo e produção de papel e fertilizantes; podendo causar chuva ácida, corrosão e contribui para a névoa fotoquímica;
- Por fim, outro poluente associado – indiretamente - à atividade é o O₃, um poluente secundário formado pela reação entre luz solar, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (COV) que, na troposfera, se torna tóxico ao ser humano. Ele também contribui para a névoa fotoquímica e prejudica a produtividade e resistência ecológica da flora.

Em resumo, percebe-se que a combustão/queima de combustíveis é a principal fonte de poluição do ar, que gera efeitos nocivos à fauna, à flora, aos materiais (construções e objetos) e ao ser humano.

O **Quadro 10.2-1** apresenta esses poluentes listados inseridos no contexto dos padrões de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA nº 491/2018. Ressalta-se que, para esses poluentes, os limites da legislação federal é o mesmo que o estabelecido pela legislação estadual (DN COPAM nº 248/2023). Cabe salientar, ainda, que Minas Gerais adota - até o momento - o padrão intermediário 1 (PI-1) como o limite legal de concentração máxima permitida.

Quadro 10.2-1 – Padrões de qualidade do ar da Resolução Conama 491/2018.

POLUENTE ATMOSFÉRICO	PERÍODO DE REFERÊNCIA	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm
Material Particulado – MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado – MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-

POLUENTE ATMOSFÉRICO	PERÍODO DE REFERÊNCIA	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio – O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão – PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo – Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

¹ – média aritmética anual
² – média horária
³ – máxima média móvel obtida no dia
⁴ – média geométrica anual
⁵ – medido nas partículas totais em suspensão

Fonte: adaptado de CONAMA 491/2018.

O Anexo III da Resolução CONAMA nº 491/2018 apresenta os níveis de atenção, alerta e emergência para os poluentes atmosféricos e suas concentrações, conforme apresentado no **Quadro 10.2-2**.

Quadro 10.2-2 – Níveis de atenção, alerta e emergência para os poluentes atmosféricos e suas concentrações.

NÍVEL	POLUENTES E CONCENTRAÇÕES			
	MATERIAL PARTICULADO MP ₁₀ µg/m ³ (MÉDIA DE 24H)	MATERIAL PARTICULADO MP _{2,5} µg/m ³ (MÉDIA DE 24H)	SO ₂ µg/m ³ (MÉDIA DE 24H)	NO ₂ µg/m ³ (MÉDIA DE 1H)
Atenção	250	125	800	1.130
Alerta	420	210	1.600	2.260
Emergência	500	250	2.100	3.000

Fonte: adaptado da Resolução CONAMA 491/2018.

10.2.3.1 Dados Secundários

10.2.3.1.1 Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar

Dentro da rede pública de estações de monitoramento da qualidade do ar disponível na região, duas estações foram selecionadas para levantamento dos dados atuais. As referidas estações são listadas no **Quadro 10.2-3**, enquanto a **Figura 10.2-1** apresenta o mapa com a distribuição espacial delas dentro da Área de Estudo Regional, bem como a localização de cada um dos pontos de coleta de dados primários estabelecidos em campo.

Ressalta-se que essas estações foram selecionadas devido à proximidade que cada uma delas apresenta em relação ao traçado do Rodoanel Metropolitano BH. Além disso, foi verificada a disponibilidade de dados secundários dessas estações nas plataformas digitais existentes.

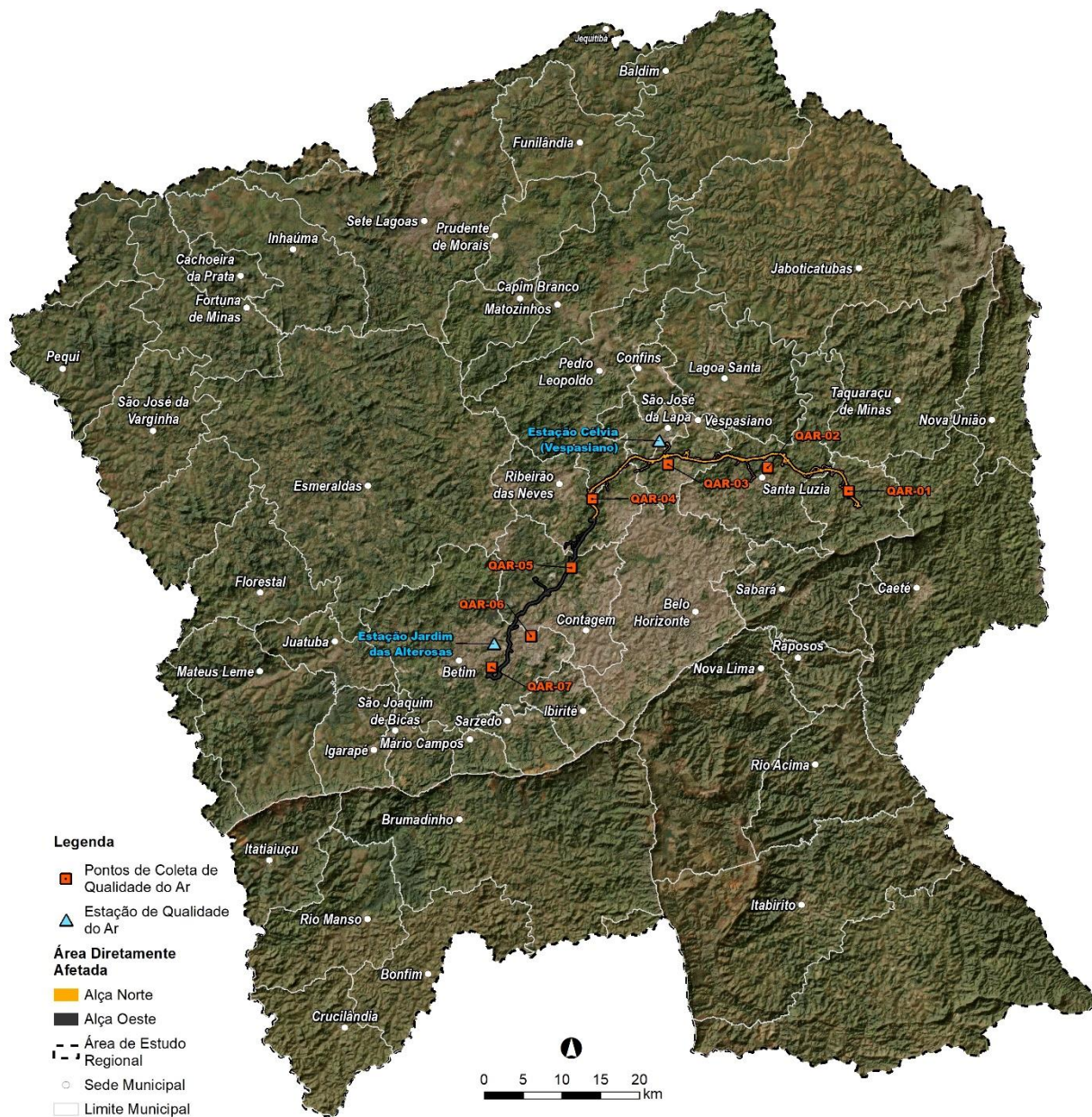


Figura 10.2-1 – Localização das estações de qualidade do ar e dos pontos de coleta de dados primários em campo.

Quadro 10.2-3 – Estações de qualidade do ar utilizadas para o estudo da área.

MUNICÍPIO	NOME DA ESTAÇÃO	LOCAL	ANO DE INSTALAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
Betim	Estação Jardim das Alterosas	Rua Joaquim Bonifácio, bairro Jardim Alterosa	1995	-19,947573	-44,16085
São José da Lapa	Estação Célvia (Vespasiano)	Alameda Uberaba, 114, Bairro Parque Jardim Encantado	-	-19,712501	-43,968865

10.2.3.1.2 Índice de Qualidade do Ar e Padrões de Qualidade do Ar

Há duas formas de divulgação e análise dos dados do monitoramento da qualidade do ar no Brasil: uma é pelo Índice de Qualidade do Ar (IQAr), uma informação de mais fácil compreensão pela sociedade sobre

os níveis de qualidade do ar e seus efeitos à saúde humana e ao meio ambiente; e a outra pela análise dos Padrões de Qualidade do Ar, que são as concentrações limites de poluentes atmosféricos presentes no ar que devem ser respeitados, de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018.

Esse índice é uma ferramenta matemática utilizada para converter as diferentes unidades de concentração dos diferentes poluentes em números adimensionais, os quais são enquadrados nas escalas “boa”, “moderada”, “ruim”, “muito ruim”, “péssima”, como consta no **Quadro 10.2-4**, e sua fórmula encontra-se no Anexo IV da Resolução CONAMA nº 491/2018.

No entanto, é importante salientar que existe uma diferença sutil do conceito entre o IQAr e os padrões de qualidade do ar. O primeiro é uma informação de mais fácil compreensão por estar relacionado aos efeitos adversos à saúde. Já o segundo, se trata de fato das concentrações que não podem ser excedidas por um empreendimento a título de legislação ambiental. Ambos retratam a qualidade do ar, mas de maneiras distintas. O IQAr é um índice calculado para cada poluente (resultando em IQAr bom a péssimo no dia ou no ano) como também para a qualidade do ar geral. Nesse último caso, o IQAr é calculado para cada um dos poluentes e o “índice geral” adota o pior IQAr calculado. Exemplificando: se o IQAr deu “bom” para MP₁₀ e “moderado” para O₃ em um determinado dia, no caso de avaliação do IQAr geral, adota-se o pior índice para aquele dia: “moderado”.

No que concerne ao IQAr, seus efeitos sobre a saúde requerem medidas de prevenção a serem adotadas pela população afetada, as quais são apresentadas no **Quadro 10.2-5**.

Quadro 10.2-4 – Estrutura do IQAr e efeitos à saúde.

ÍNDICE	CLASSIFICAÇÃO IQAr	EFEITOS
0-40	Boa	-
41-80	Moderada	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças cardiorrespiratórias) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população geral não é afetada.
81-120	Ruim	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças cardiorrespiratórias) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
121-200	Muito Ruim	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta, e ainda apresentar respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças cardiorrespiratórias).
>200	Péssima	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2023.

Quadro 10.2-5 – Medidas de prevenção de riscos à saúde a serem adotadas em situação de qualidade do ar oriunda do indicador IQAr.

QUALIDADE	ÍNDICE	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 – Moderada	41 – 80	> 50 – 100 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	> 25 – 50 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	> 100 – 130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	> 9 – 11 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem reduzir esforço físico pesado ao ar livre e evitar vias de tráfego intenso.	> 200 – 240 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	> 20 – 40 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.
N3 – Ruim	81 – 120	> 100 – 150 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	> 50 – 75 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	> 130 – 160 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	> 11 – 13 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem reduzir esforço físico pesado ao ar livre e evitar vias de tráfego intenso.	> 240 – 320 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	> 40 – 365 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.
N4 – Muito Ruim	121 – 200	> 150 – 250 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico	> 75 – 125 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico	> 160 – 200 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico	> 13 – 15 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem evitar esforço físico e vias de tráfego intenso.	> 320 – 1130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico	> 365 – 800 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico

QUALIDADE	ÍNDICE	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
		pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.	pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.	pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.		pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.	pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.
N5 – Péssima	> 200	> 250 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	> 125 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	> 200 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	> 15 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre e vias de tráfego intenso.	> 1130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	> 800 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.

Fonte: adaptado de CETESB, 2023.

De acordo com a Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM-MG), os dados de monitoramento da qualidade do ar passariam a ser interligados à plataforma federal Sistema MonitorAr a partir de 2021, desenvolvida pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (MMA; FEAM, 2023), porém, nesse sistema, não constam dados e relatórios consistentes para Minas Gerais, pelo que se observou dados apenas para os dias mais recentes do ano. Assim, utilizou-se a Plataforma da Qualidade do Ar do Instituto de Energia e Meio Ambiente do estado do Espírito Santo para o estudo (IEMA - ES, 2023), a qual possui informações mais detalhadas para um ano inteiro.

Assim, após determinação dos principais poluentes vinculados ao empreendimento, do levantamento da legislação pertinente, da determinação de quais serão as estações de qualidade do ar pertinentes e da explicação sobre o IQAr utilizado pelos órgãos, agora serão apresentados os resultados da qualidade do ar atual nas estações determinadas. Como já apresentado, esse diagnóstico permite um entendimento da situação atual do ar, antes da implementação e operação da rodovia.

O ano determinado para a análise foi 2020, devido ao fato dele ser o ano mais recente que apresenta dados com maior representatividade (segundo metodologia proposta pelo MMA, 2020, adotada pelo IEMA) para a maioria das estações em análise. A plataforma no presente momento não possui dados representativos para 2021 e não possui dados tabelados para 2022 e 2023. Dessa forma, adotou-se avaliação de média diária de IQAr e avaliação das concentrações de poluentes de acordo com os padrões de qualidade da Resolução CONAMA para as duas estações de qualidade do ar. A plataforma tem grande disponibilidade de informações, mas buscou-se concentrar em poucas formas de apresentar a qualidade do ar na região. A disponibilização de dados para alguns parâmetros é falha em algumas estações e esbarra, também, na metodologia que busca trazer dados representativos.

O **Quadro 10.2-6** trata das concentrações dos poluentes levantadas nas estações e sua comparação com os padrões de qualidade do ar determinados em legislação. Pontua-se que em Minas Gerais ainda se adota o padrão intermediário 1 (PI-1) como limite de concentração vigente. Já o **Quadro 10.2-7** trata do IQAr de cada estação, por poluente, no ano de 2020.

Quadro 10.2-6 – Concentração atual dos principais poluentes atmosféricos e sua comparação com os limites estabelecidos pela legislação vigente.

ESTAÇÃO	CONCENTRAÇÃO (MÉDIA ARITMÉTICA ANUAL)			
	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2,5} (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Estação Jardim das Alterosas	24	sem informação	13	2
Estação Célia (Vespasiano)	22	7	sem informação	sem informação
Conama 491/2018 (Padrão Intermediário 1)	40	60	60	40
OMS 2005 – Padrão Final RC 491/2018	20	10	40	-

Quadro 10.2-7 – Número de dias no ano de 2020 com o IQAr diário para os parâmetros MP10, MP2,5, SO2 e O3.

MUNICÍPIO	ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR	ÍNDICE IQAr	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	O ₃
Betim	Bairro Jardim das Alterosas	Boa (recomendação OMS)	328	251	328	292
		Moderada	10	22	0	16
		Ruim	0	0	0	2
		Muito ruim	0	0	0	0
		Péssima	0	0	0	0
		Sem monitoramento efetivo	28	93	38	56
	Célia	Boa (recomendação OMS)	331	340	-	-

MUNICÍPIO	ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR	ÍNDICE IQAr	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	O ₃
São José da Lapa		Moderada	16	1	-	-
		Ruim	0	0	-	-
		Muito ruim	0	0	-	-
		Péssima	0	0	-	-
		Sem monitoramento efetivo	19	25	-	-

Sendo assim, a partir dos dados secundários de qualidade do ar coletados no ano 2020 nas duas estações públicas, avaliando-se os poluentes MP₁₀, MP_{2,5}, SO₂ e O₃, constata-se que o IQAr é majoritariamente “bom”.

10.2.3.2 Dados Primários

A metodologia detalhada da coleta de dados primários se encontra no **ANEXO 11 – Qualidade Ar_Pressão Sonora_Vibração**. Conforme mencionado anteriormente, as amostragens para determinação das concentrações de PTS, PM₁₀, SO₂ e NO₂ foram realizadas em sete pontos e em cada ponto foram coletadas entre três e cinco amostras por parâmetro, buscando a presença de comunidades ao entorno. Diferentes equipamentos são utilizados para monitorar diferentes poluentes. Os resultados das concentrações dos poluentes amostrados nos pontos selecionados foram comparados aos limites da legislação federal.

10.2.3.2.1 Resultados e Padrões de Qualidade do Ar

O **Quadro 10.2-8** traz os resultados das concentrações dos poluentes PM_{2,5}, PM₁₀, PTS, SO₂ e NO₂ em todos os pontos de coleta de dados primários. Esse monitoramento ocorreu no período de seca, o que dá maior segurança para as análises, visto que é o período mais crítico para a qualidade do ar. Observa-se que “(**) ND” significa não detectado, pois a determinação da massa pelo laboratório acusou resultado abaixo do Limite de Quantificação do método analítico empregado e (*) refere-se à amostra perdida devido a problemas de fornecimento de energia elétrica.

Quadro 10.2-8 – Resultados dos dados primários coletados em campo das concentrações de PTS, PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ e SO₂.

PONTO AMOSTRADO	DATA INICIAL	PTS (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
QAR-01	08/08/2023	61	31	24	43	ND(**)
	09/08/2023	78	42	30	53	ND(**)
	10/08/2023	110	64	45	77	ND(**)
	11/08/2023	55	(*)	(*)	76	ND(**)
	12/08/2023	(*)	30	(*)	48	ND(**)
QAR-02	26/07/2023	13	9	8	15	ND(**)
	27/07/2023	17	11	9	15	ND(**)
	28/07/2023	25	16	11	22	ND(**)
	29/07/2023	41	27	26	30	ND(**)
QAR-03	31/07/2023	192	80	48	51	ND(**)
	01/08/2023	163	51	34	50	ND(**)
	02/08/2023	(*)	77	39	26	ND(**)

PONTO AMOSTRADO	DATA INICIAL	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	03/08/2023	229	112	77	41	ND(**)
	04/08/2023	276	102	77	66	ND(**)
QAR-04	06/06/2023	(*)	26	20	92	32
	07/06/2023	(*)	28	21	76	27
	08/06/2023	61	33	26	67	22
	09/06/2023	59	36	28	67	18
	10/06/2023	57	34	28	20	18
QAR-05	17/07/2023	98	57	51	220	ND(**)
	19/07/2023	-	-	-	73	ND(**)
	20/07/2023	39	33	30	89	ND(**)
	21/07/2023	37	30	27	73	ND(**)
QAR-06	10/07/2023	(*)	65	39	146	ND(**)
	11/07/2023	103	66	65	165	ND(**)
	12/07/2023	99	59	(*)	144	ND(**)
	13/07/2023	108	60	27	139	ND(**)
	14/07/2023	87	51	46	128	ND(**)
QAR-07	04/07/2023	98	63	50	132	ND(**)
	05/07/2023	91	56	46	118	ND(**)
	06/07/2023	99	65	59	89	ND(**)
	07/07/2023	137	99	89	ND(**)	ND(**)

Observação: não foi possível realizar a amostragem de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} no ponto QAR-05 devido a problemas operacionais no equipamento.

As **Figura 10.2-2** à **Figura 10.2-6** apresentam os gráficos com os resultados obtidos para cada um dos poluentes, por ponto, e em comparação com os respectivos limites legais estabelecidos na Resolução CONAMA nº 491/2018.

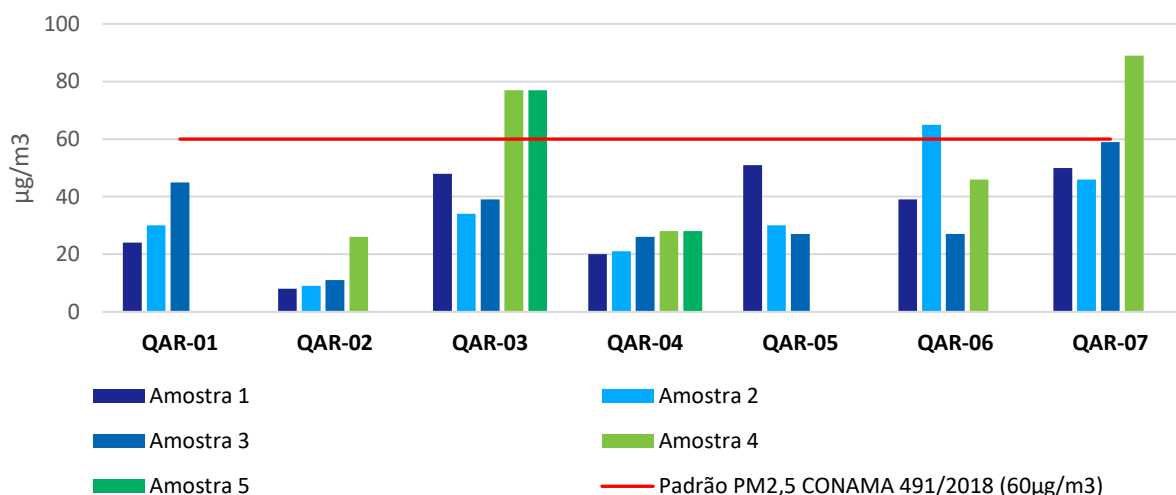


Figura 10.2-2 – Resultados de PM_{2,5} x Padrão CONAMA nº 491/2018.

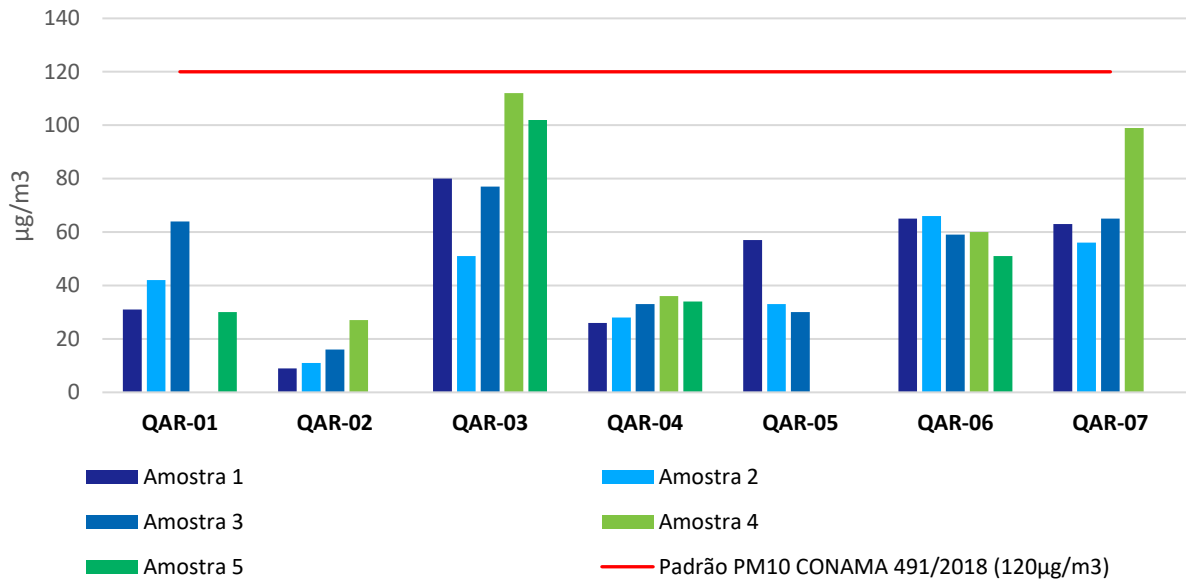


Figura 10.2-3 – Resultados de PM₁₀ x Padrão CONAMA nº 491/2018.

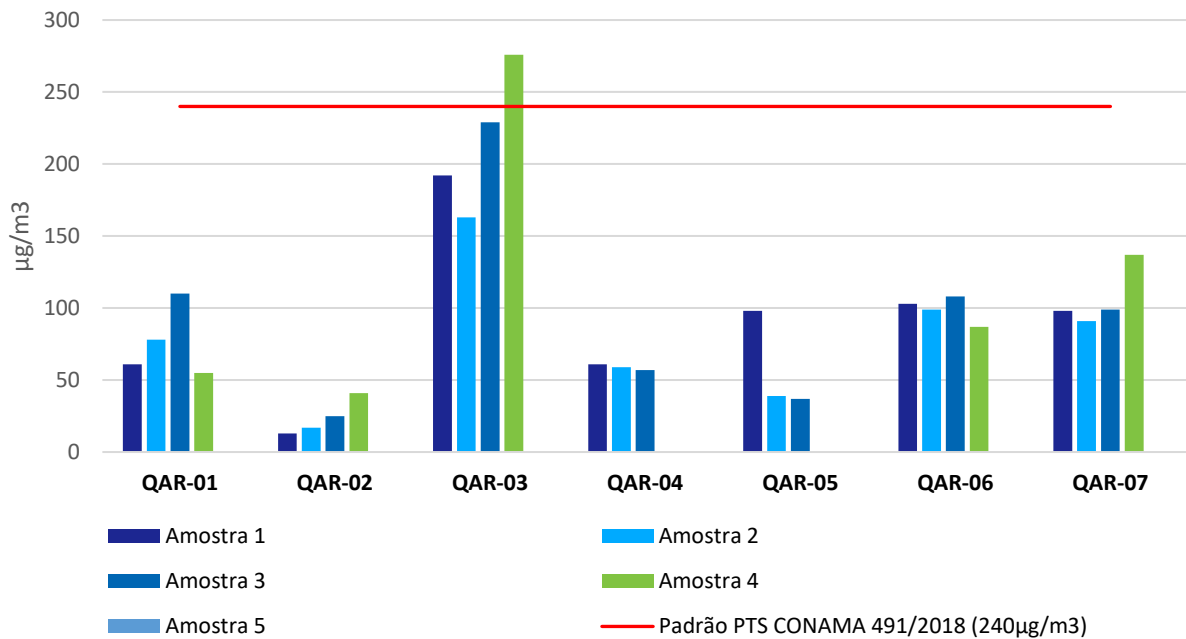


Figura 10.2-4 – Resultados de PTS x Padrão CONAMA nº 491/2018.

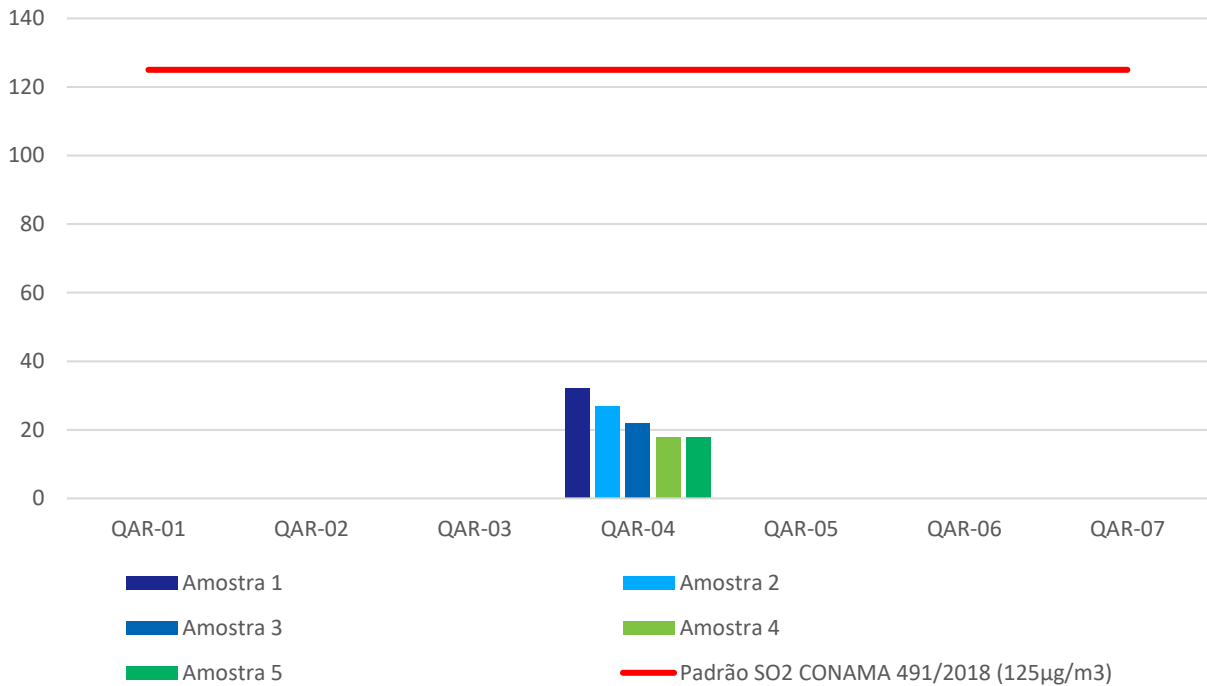


Figura 10.2-5 – Resultados de SO₂ x Padrão CONAMA nº 491/2018.

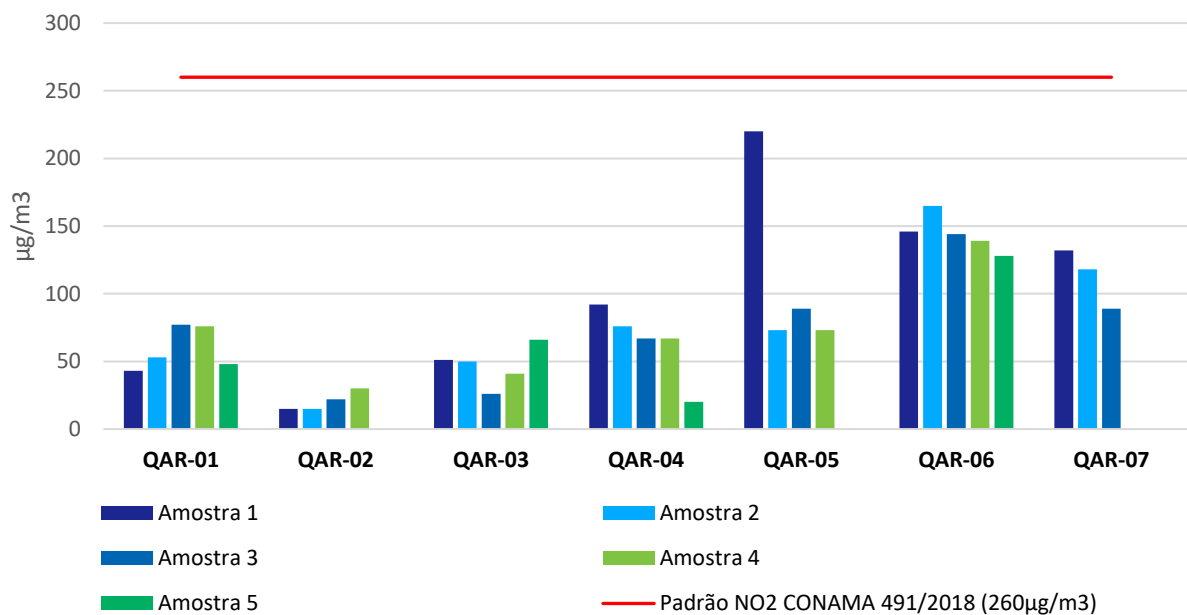


Figura 10.2-6 – Resultados de NO₂ x Padrão CONAMA nº 491/2018.

É possível concluir, diante dos dados primários em campo de qualidade do ar para os cinco parâmetros analisados, que:

- PM_{2,5} – Partículas inaláveis: o ponto localizado na cidade de Vespasiano (QAR-03) apresentou duas amostras acima da referência legal, além de uma amostra no ponto QAR-06, localizado no campus IFMG Betim, e uma no ponto QAR-07, localizado na Escola Municipal Gino José de Souza, também em Betim;

- PM₁₀ – Partículas inaláveis: todas as amostras realizadas apresentaram-se abaixo da referência legal;
- PTS – Partículas totais em suspensão: à exceção de uma amostra analisada no ponto QAR-03, em Vespasiano, todos os outros pontos ficaram abaixo da referência estipulada pela Resolução CONAMA nº 491/2018;
- SO₂: todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite de detecção do método utilizado, à exceção do ponto QAR-04, localizado no bairro Pilar em Belo Horizonte, local onde foram detectadas concentrações deste gás na atmosfera, mas abaixo da referência legal estipulada pela Resolução CONAMA nº 491/2018;
- NO₂: em todos os pontos foi detectada a presença deste gás, mas também abaixo da referência legal estipulada pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

10.2.3.2.2 Resultados e Índice de Qualidade do Ar (IQA_r)

O **Quadro 10.2-9** apresenta o IQA_r diário calculado a partir de cada amostragem realizada, de acordo com a equação da Resolução CONAMA nº 491/2018. Os valores entre parênteses se referem ao valor do IQA_r calculado a partir das concentrações obtidas, sendo associadas às respectivas cores e qualificações dos índices (boa, moderada, ruim, muito ruim e péssima). Ressalta-se que o parâmetro PTS não está contemplado na fórmula do IQA_r.

Quadro 10.2-9 – IQA_r nos pontos de coleta de dados primários.

PONTO AMOSTRADO	DATA INICIAL	PTS (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
QAR-01	08/08/2023	-	BOA (25)	BOA (38)	BOA (9)	ND(**)
	09/08/2023	-	BOA (34)	MODERADA (48)	BOA (11)	ND(**)
	10/08/2023	-	MODERADA (51)	MODERADA (72)	BOA (15)	ND(**)
	11/08/2023	-	(*)	(*)	BOA (15)	ND(**)
	12/08/2023	(*)	MODERADA (48)	(*)	BOA (10)	ND(**)
QAR-02	26/07/2023	-	BOA (7)	BOA (13)	BOA (3)	ND(**)
	27/07/2023	-	BOA (9)	BOA (14)	BOA (3)	ND(**)
	28/07/2023	-	BOA (13)	BOA (18)	BOA (4)	ND(**)
	29/07/2023	-	MODERADA (43)	MODERADA (42)	BOA (6)	ND(**)
QAR-03	31/07/2023	-	MODERADA (64)	MODERADA (77)	BOA (10)	ND(**)
	01/08/2023	-	MODERADA (41)	MODERADA (54)	BOA (10)	ND(**)
	02/08/2023	(*)	MODERADA (62)	MODERADA (62)	BOA (5)	ND(**)
	03/08/2023	-	MUITO RUIM (179)	MUITO RUIM (123)	BOA (8)	ND(**)
	04/08/2023	-	MUITO RUIM (163)	MUITO RUIM (123)	BOA (13)	ND(**)
QAR-04	06/06/2023	(*)	BOA (21)	BOA (32)	BOA (18)	MODERADA (64)
	07/06/2023	(*)	BOA (22)	BOA (34)	BOA (15)	MODERADA (53)
	08/06/2023	-	BOA (26)	MODERADA (42)	BOA (13)	MODERADA (45)

PONTO AMOSTRADO	DATA INICIAL	PTS (µg/m³)	PM ₁₀ (µg/m³)	PM _{2,5} (µg/m³)	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)
	09/06/2023	-	BOA (29)	MODERADA (45)	BOA (13)	BOA (36)
	10/06/2023	-	BOA (27)	MODERADA (45)	BOA (4)	BOA (36)
QAR-05	17/07/2023	-	MODERADA (46)	RUIM (82)	MODERADA (44)	ND(**)
	19/07/2023	-	-	-	BOA (15)	ND(**)
	20/07/2023	-	BOA (26)	MODERADA (48)	BOA (18)	ND(**)
	21/07/2023	-	BOA (24)	MODERADA (43)	BOA (15)	ND(**)
QAR-06	10/07/2023	(*)	MODERADA (52)	MODERADA (62)	BOA (29)	ND(**)
	11/07/2023	-	MODERADA (53)	RUIM (104)	BOA (33)	ND(**)
	12/07/2023	-	MODERADA (47)	(*)	BOA (29)	ND(**)
	13/07/2023	-	MODERADA (48)	MODERADA (43)	BOA (28)	ND(**)
	14/07/2023	-	MODERADA (41)	MODERADA (74)	BOA (26)	ND(**)
QAR-07	04/07/2023	-	MODERADA (50)	MODERADA (80)	BOA (26)	ND(**)
	05/07/2023	-	MODERADA (45)	MODERADA (74)	BOA (24)	ND(**)
	06/07/2023	-	MODERADA (52)	RUIM (94)	BOA (18)	ND(**)
	07/07/2023	-	MUITO RUIM (158)	MUITO RUIM (142)	ND(**)	ND(**)

Para as conclusões apresentadas a seguir, considerou-se a metodologia apresentada no Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar (MMA, 2019), pela qual se determina que o IQAr geral a ser divulgado é o maior obtido dentre os poluentes monitorados em uma estação específica.

Estação QAR-01, localizada em Ravena, distrito do município de Sabará:

- Índice geral quanto ao IQAr: “moderada” (60% das medições realizadas) e “ruim” (40% das medições realizadas). Essas classificações ocorreram devido à concentração das partículas inaláveis presentes na atmosfera;
- O ponto está localizado em área rural, em área externa de um restaurante que funciona eventualmente;
- Nota-se solo desnudo nas proximidades, além de vias locais sem pavimentação. Tal fato pode ocasionar suspensão de material particulado por ação eólica e/ou pelo tráfego veicular.

Estação QAR-02, localizada no município de Santa Luzia:

- Índice geral quanto ao IQAr: “boa” (75% das medições realizadas) e “moderada” (25% das medições realizadas). A classificação de moderada ocorreu devido à concentração das partículas inaláveis presentes na atmosfera;
- O ponto está localizado em área urbana, dentro do Clube Mineiro dos Caçadores, local arborizado.

Estação QAR-03, localizada no município de Vespasiano:

- Índice geral quanto ao IQAr: “moderada” (75% das medições realizadas) e “boa” (25% das medições realizadas). Essas classificações ocorreram devido à concentração das partículas inaláveis presentes na atmosfera;
- O ponto está localizado em um centro de treinamento de atividade esportiva, distando, em linha reta, aproximadamente 58 metros da rodovia MG-424, que possui intenso tráfego veicular.

Estação QAR-04, localizada no município de Ribeirão das Neves:

- Índice geral quanto ao IQAr: “moderada” (100% dos dias avaliados);
- Essa classificação se deu em função das concentrações de partículas inaláveis (MP_{2,5}) e gases (SO₂), presentes na atmosfera;
- Foi observado o solo exposto na área, além das vias não pavimentadas, o que pode gerar suspensão de material particulado na atmosfera pelo trânsito veicular e pela ação eólica;
- Apesar do ponto estar localizado em uma zona rural, dista aproximadamente 2 km a leste e a oeste, em linha reta, de áreas urbanizadas.

Estação QAR-05, localizada no município de Contagem:

- Índice geral quanto ao IQAr: “moderada” (66,67% das medições realizadas) e “ruim” (33,33% das medições realizadas). Essas classificações ocorreram devido à concentração das partículas inaláveis presentes na atmosfera;
- O ponto está localizado no pátio de uma empresa do ramo de cosméticos;
- Salienta-se a proximidade com a rodovia BR-040, distando aproximadamente 230 metros, em linha reta;
- Nota-se também solo desnudo nas proximidades, além de vias locais sem pavimentação. Tal fato pode ocasionar suspensão de material particulado por ação eólica e/ou pelo tráfego veicular.

Estação QAR-06, localizada no município de Betim:

- Índice geral quanto ao IQAr: “moderada” (80% das medições realizadas) e “ruim” (20% das medições realizadas). Essas classificações ocorreram devido à concentração das partículas inaláveis presentes na atmosfera;
- O ponto está localizado em área urbana, dentro de uma instituição de educação;
- Assim como o ponto QAR-07, apesar do local ter uma vocação mista residencial, o município é suprido de médias e grandes empresas de diversos ramos de atividades, como siderurgias, indústrias automobilísticas etc.

Estação QAR-07, localizada no município de Betim:

- Índice geral quanto ao IQAr: “moderada” (50% das medições realizadas), “ruim” (25% das medições realizadas) e “muito ruim” (25% das medições realizadas). Essas classificações ocorreram devido à concentração das partículas inaláveis presentes na atmosfera;

- O ponto está localizado em área urbana, dentro de uma instituição de educação;
- Destaca-se a proximidade com a rodovia BR-262 de intenso tráfego veicular, aproximadamente 300 m, em linha reta;
- Apesar do local ter uma vocação mista residencial, o município é suprido de médias e grandes empresas de diversos ramos de atividades, como siderurgias, indústrias automobilísticas etc.

Conforme exposto acima, o IQAr nas estações para os dados primários é majoritariamente “moderado” nos dias avaliados e é determinado majoritariamente pelos poluentes MP10 e MP2,5, tendo estes apresentado as piores concentrações. Além disso, as estações QAR-07 e QAR-03 apresentaram índice “ruim” e “muito ruim” em alguns dias, no entanto, é de fundamental importância salientar que o IQAr “ruim” apresenta concentração de poluente abaixo do limite legal da Resolução CONAMA nº 491/2018 e que o IQAr “muito ruim” apresenta concentração de poluente acima do limite legal, o que significa que a análise do IQAr e dos Padrões de Qualidade do Ar deve ser criteriosa e deve-se compreender a diferença entre esses dois modos de avaliação, ainda que ambos estejam interligados.

10.3 Mudanças Climáticas

10.3.1 Contextualização

Mudanças Climáticas é o termo internacionalmente adotado para nomear as mudanças que vêm ocorrendo no clima do planeta Terra, caracterizadas por alterações mais abruptas ou incomuns na média e/ou na variabilidade dos parâmetros meteorológicos de regiões, tais como precipitações, temperaturas e ventos (MARGULIS, SERGIO, 2020). Tais mudanças intensas são atribuídas a atividades antrópicas que intensificam o efeito estufa, um fenômeno natural de aquecimento do globo. A liberação maior de gases de efeito estufa (GEE) pelas atividades humanas retém o calor que seria refletido para o espaço, sobreaquecendo a Terra e modificando fortemente as interações termodinâmicas entre água, litosfera e atmosfera.

Essa alteração acelerada tem causado danos, alguns dos quais são citados a seguir:

- Chuvas intensas e concentradas, que causam enchentes, sobrecarga na drenagem, deslizamentos de terra e mortes;
- Secas intensas e concentradas, que geram insegurança hídrica, crises de abastecimento pela geração hidroelétrica, incêndios, desertificação;
- Ondas de calor que afetam as faixas etárias das crianças e idosos por meio da desidratação, questões cardiovasculares e respiratórias, bem como favorecem novos problemas epidemiológicos na medida em que contribuem para a proliferação de vetores tropicais;
- Prejuízos à produção agrícola e piora na qualidade de vida no campo. Tal prejuízo se deve justamente às alterações nas chuvas e nas secas, elementos básicos para a agricultura;
- Geadas intensas e concentradas, que causam mortes e gastos com limpeza;
- Ciclones (tufões/furacões e tornados), que causam mortes e danos bilionários à infraestrutura;

- Derretimento de geleiras e expansão térmica dos oceanos, que causam aumento do nível do mar, com inundações de cidades e desaparecimento de ilhas ocupadas, inclusive acarretando possíveis migrações forçadas em massa;
- Acidificação dos oceanos (dano à fauna e flora) devido à reação entre H₂O e CO₂, que causa perda da biodiversidade e alteração na oferta de alimentos do mar.

Devido a essas consequências negativas em termos sociais, ambientais e econômicos, todos os países têm buscado agir em prol da mitigação e adaptação às mudanças climáticas, reduzindo emissões de GEE e sequestrando carbono (mitigação) e se ajustando, dentro do possível, à nova realidade e aos prejuízos causados, bem como explorando oportunidades de melhoria ambiental através de soluções tecnológicas e políticas (adaptação).

Essa temática está sendo desenvolvida há décadas. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972, é a principal autoridade internacional na promoção da qualidade ambiental e do desenvolvimento sustentável. O órgão cria diretrizes, políticas e instrumentos para esses temas, como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*IPCC*, em inglês), criado em 1988. Em 1992, na reunião internacional Cúpula da Terra, no Rio de Janeiro, estabeleceu-se o tratado Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC em português, *UNFCCC*, em inglês), assinado por vários países, com o objetivo de discutir e diminuir a emissão dos GEE pelos países, a fim de conter os danos sociais, ambientais e econômicos associados ao aquecimento global. Desde 1995 os países se unem nas Conferências das Partes (COPs) para discutir o tema. Em consequência da Convenção, em 1997 foi acordado o Protocolo de Quioto, tratado internacional para conter a emissão de GEE. Esse protocolo caducou em 2020, dando lugar ao Acordo de Paris assinado em 2015, na COP 21 (Conselho da União Europeia, 2023). Esse acordo trouxe uma série de novas tratativas emergenciais quanto aos efeitos do aquecimento global e novas diretrizes para a redução das emissões de GEE. Dentro desse arcabouço, a maioria dos países estabeleceram compromissos para redução dos GEE, adaptação e mitigação das mudanças climáticas por meio de ações diversas (financeiras, operacionais e jurídicas), como as *NDCs* (Contribuições Nacionalmente Determinadas, em português). As metas, diretrizes e novos estudos vinculados ao Acordo de Paris têm sido discutidos e avaliados ano-a-ano por meio das COPs.

A instalação e operação de uma rodovia geram GEE. Tal obra também é alvo de eventuais consequências negativas das mudanças climáticas, como erosão, deslizamentos de terra, enchentes. Portanto, compreende-se que tal empreendimento não está dissociado do tema das mudanças climáticas, motivo pelo qual esse estudo foi realizado.

Considerando os aspectos acima expostos, é de suma importância que os empreendimentos sejam analisados sobre a ótica da avaliação dos riscos e oportunidades associados a alterações decorrentes de eventos climáticos. Neste sentido, o presente diagnóstico visa trazer um panorama acerca do status de conhecimento tanto do grau de vulnerabilidade da região frente aos diferentes cenários de mudanças climáticas quanto à contribuição atual do Estado de Minas Gerais para as estimativas de emissões de gases de efeito estufa nacionais. Ambos os elementos irão contribuir para o desenvolvimento de estratégias e soluções nas quais as melhores práticas ambientais, sociais e de governança (ESG, sigla original) sejam consideradas e, conseqüentemente, adequadas às diferentes fases do ciclo de vida do projeto, assegurando assim resiliência do projeto a médio e longo prazo.

10.3.2 Análises Realizadas

10.3.2.1 Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais

Em 2014, Minas Gerais desenvolveu o Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas. Esse relatório traz uma avaliação da vulnerabilidade do território mineiro às mudanças climáticas a partir de um diagnóstico econômico, social e ambiental integrado (FEAM, 2014), tendo sido importante ferramenta para a construção do Plano de Energia e Mudanças Climáticas (PEMC; FEAM, 2015). Um produto desse plano é a plataforma Climas Gerais, ferramenta de apoio aos municípios (CLIMA GERAIS, 2023).

O estudo e a plataforma Climas Gerais definem a vulnerabilidade de um território como sendo o grau ao qual uma região é suscetível aos efeitos adversos do clima. O Índice Mineiro de Vulnerabilidade Climática (IMVC) é o dado final calculado para cada município ou território e foi construído com base na definição de vulnerabilidade proposta pelo IPCC, em 2007 (CLIMA GERAIS, 2023). O Índice de Vulnerabilidade é formado por três componentes:

- Sensibilidade: depende dos fatores intrínsecos do território que o torna mais sensível a esses impactos;
- Exposição: depende do grau de exposição dos territórios aos impactos dessas mudanças;
- Capacidade de Adaptação: depende da capacidade do território de enfrentar os efeitos negativos das variações do clima e sua capacidade de aproveitar as oportunidades associadas a elas.

Para cada componente há um conjunto de indicadores proposto, medidos em números adimensionais na faixa de 0 a 1, utilizados para o cálculo final da vulnerabilidade:

- Para “sensibilidade”, considerou-se: 1) participação média da agropecuária no valor adicionado; 2) razão de dependência (seguridade social e saúde); 3) indicador de saneamento; 4) densidade populacional; 5) percentual de cobertura vegetal (área remanescente/área municipal); 6) balanço hídrico (demanda versus disponibilidade);
- Para “exposição”, considerou-se: 1) perdas econômicas decorrentes de eventos extremos; 2) pessoas afetadas por eventos extremos; 3) declarações de estado de alerta, emergência e/ou calamidade pública homologadas pelo Estado;
- Para “capacidade de adaptação”, considerou-se: 1) renda per capita; 2) IMRS-Educação; 3) índice de institucionalização de gestão de desastres; 4) gasto per capita com o meio ambiente e saneamento.

Por fim, o Índice de Vulnerabilidade é calculado pela fórmula a seguir e é inserido em uma das cinco categorias: vulnerabilidade relativamente baixa (0 a 0,2), moderada (0,2 a 0,4), alta (0,4 a 0,6), muito alta (0,6 a 0,8) e extrema (0,8 a 1).

$$Vulnerabilidade = \frac{Sensibilidade \times Exposição}{Capacidade \ de \ adaptação}$$

O Rodoanel Metropolitano BH e os municípios interceptados estão totalmente inseridos na região de planejamento climático “Central” que, de acordo com o Estudo de Vulnerabilidade, possui vulnerabilidade climática “moderada”. A **Figura 10.3-1** apresenta as vulnerabilidades de todos os municípios da Área de Estudo Regional, bem como o traçado da rodovia. O **Quadro 10.3-1** apresenta os índices de

vulnerabilidade dos municípios interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH. A escala em vermelho é a mesma tanto para a figura quanto para o quadro.

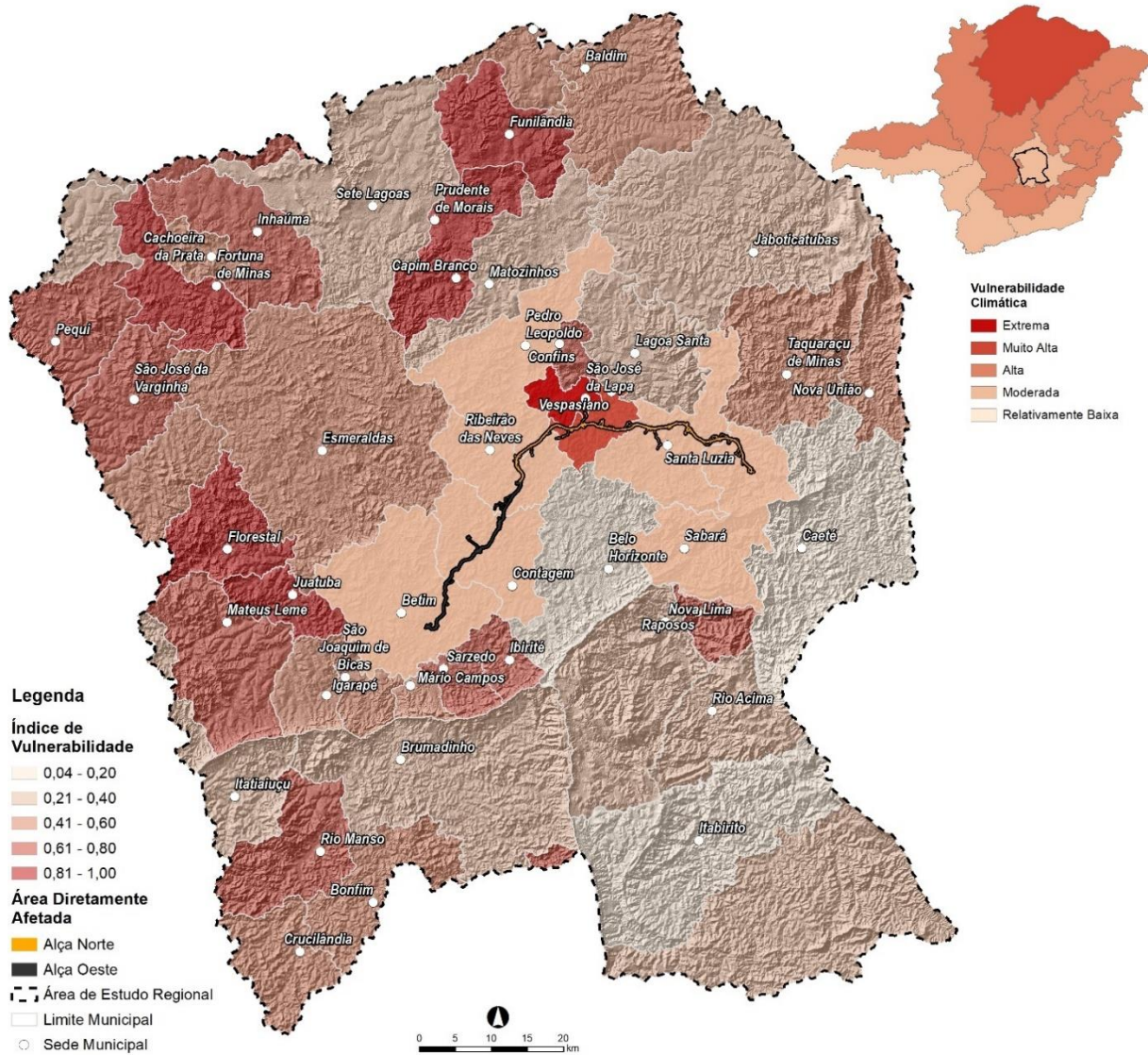


Figura 10.3-1 – Vulnerabilidade climática dos municípios da Área de Estudo Regional do empreendimento.

Fonte: IDE Sisema, 2023; Plataforma Clima Gerais, 2023.

Quadro 10.3-1 – Vulnerabilidade climática dos municípios interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH.

MUNICÍPIO	SENSIBILIDADE GERAL	EXPOSIÇÃO GERAL	CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO GERAL	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE	NÍVEL DE VULNERABILIDADE
Contagem	0,2	0,59	0,47	0,24	Moderada
Santa Luzia	0,2	0,54	0,39	0,26	Moderada

MUNICÍPIO	SENSIBILIDADE GERAL	EXPOSIÇÃO GERAL	CAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO GERAL	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE	NÍVEL DE VULNERABILIDADE
Sabará	0,27	0,56	0,5	0,27	Moderada
Pedro Leopoldo	0,28	0,54	0,47	0,3	Moderada
Ribeirão das Neves	0,21	0,71	0,41	0,33	Moderada
Betim	0,46	0,59	0,66	0,37	Moderada
Vespasiano	0,46	0,59	0,36	0,69	Muito alta
São José da Lapa	0,41	0,54	0,22	0,9	Extrema

Fonte: adaptado da plataforma Clima Gerais (2023).

Uma visão analítica do IMVC permite também concluir que o cálculo do IMVC leva fortemente em consideração a vulnerabilidade do ser humano em relação às mudanças climáticas, sobretudo em termos socioeconômicos, vide as variáveis incluídas no cálculo. Tal metodologia considera pouco ou negligência a vulnerabilidade climática da biodiversidade (fauna e flora), componente indissociável da relação homem-natureza, afetada também pelas mudanças.

Com base nos dados apresentados no **Quadro 10.3-1**, pode-se observar que o município de São José da Lapa apresentou vulnerabilidade “extrema” e o município de Vespasiano vulnerabilidade “muito alta”, sendo que os outros municípios interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH apresentaram vulnerabilidade “moderada”.

Ressalta-se que um município possuir maior vulnerabilidade climática significa que ele é mais suscetível aos riscos e efeitos adversos de um clima instável, ou seja, de acordo com as variáveis socioambientais da equação, este município pode apresentar algum estresse hídrico sazonal (nos períodos de seca, por exemplo), baixa qualidade de drenagem (população mais suscetível a deslizamentos ou doenças de veiculação hídrica), deficiente gestão de desastres (defesa civil), etc. Todos os elementos dessas variáveis podem ser visitados na explicação da equação.

10.3.2.2 Inventário Estadual de Gases de Efeito Estufa

O IPCC é também a organização que estabelece as diretrizes metodológicas para a criação dos inventários em todo o mundo. As estimativas de emissão e remoção de GEE são divididas em setores principais, que são agrupamentos de processos, fontes e sumidouros. Cada setor compreende categorias individuais e subcategorias (ICLEI, 2022). Fundamentalmente, os inventários são construídos de acordo com subcategorias e o total de emissões é contabilizado pela soma dessas subcategorias. São quatro setores principais: Energia, Resíduos, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), e Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU). O Rodoanel Metropolitano BH se trata de uma obra rodoviária e, portanto, está inserida tanto na categoria “Energia” quanto na subcategoria “Uso da Terra”.

De acordo com a metodologia do IPCC, no setor de “Energia”, as fontes de emissão podem ser segregadas em duas principais subcategorias: “Fontes de combustão estacionária” e “Fontes de combustão móvel” (ICLEI, 2022). A instalação e operação do Rodoanel Metropolitano BH estão inseridas nas fontes móveis, nas quais estão incluídas emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis do

maquinário envolvido na instalação e do transporte de cargas e passageiros na operação da rodovia (carros, caminhões e ônibus).

Ainda de acordo com essa metodologia, o setor “AFOLU” compreende as subcategorias “Agropecuária” e “Uso da Terra”. A supressão da vegetação para instalação da rodovia está inserida nessa última subcategoria, devido ao déficit no estoque de carbono oriundo da supressão/desmatamento. Portanto, em resumo, a rodovia em questão está vinculada a duas fontes principais de emissão de GEE: combustão das fontes móveis e supressão da vegetação.

Minas Gerais está em seu quarto inventário de emissões de GEE, o qual traz dados do período 2015-2019. O levantamento suporta o compromisso mineiro de se tornar um estado carbono neutro até 2050, atrelado ao Plano Estadual de Ação Climática (PLAC, 2022). Tal compromisso se deu em adesão ao programa britânico *Race-to-Zero*, de forma pioneira pelo governo mineiro, sendo o primeiro estado da América Latina a assiná-lo.

De acordo com o 4º Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (ICLEI, 2022) referente ao período de 2015 a 2019, a principal emissão de GEE no estado advém do setor AFOLU e, em segundo lugar, do setor de “Energia”, como pode-se verificar nas **Figura 10.3-2** e **Figura 10.3-3**. Cabe pontuar que o dado mais preciso de emissão seriam as “emissões líquidas”, por ser uma variável que leva em conta o balanço entre a emissão e a remoção das atividades. Porém, nesse estudo, optou-se pelo uso da variável “emissões brutas” por dois motivos: 1) há maior riqueza de gráficos para emissões brutas; e 2) a ordem de grandeza é muito similar entre as emissões brutas e líquidas de cada setor, não prejudicando na compreensão do todo.

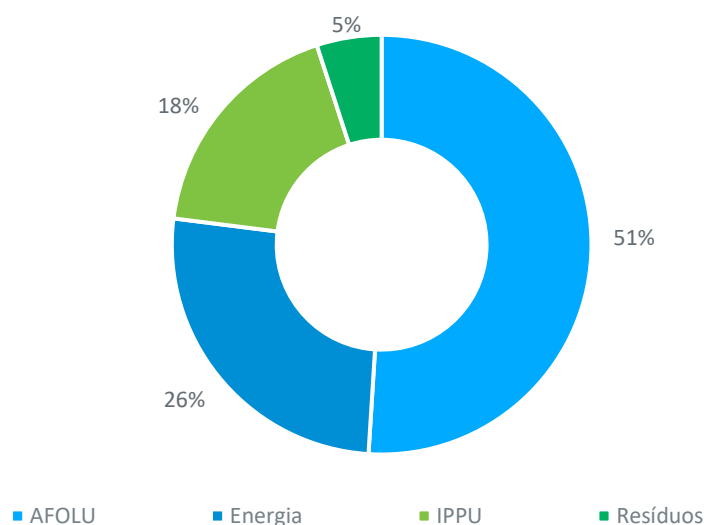


Figura 10.3-2 – Emissões brutas por setor (%) no período 2015-2019 no estado de Minas Gerais.

Fonte: adaptado de ICLEI, 2022.

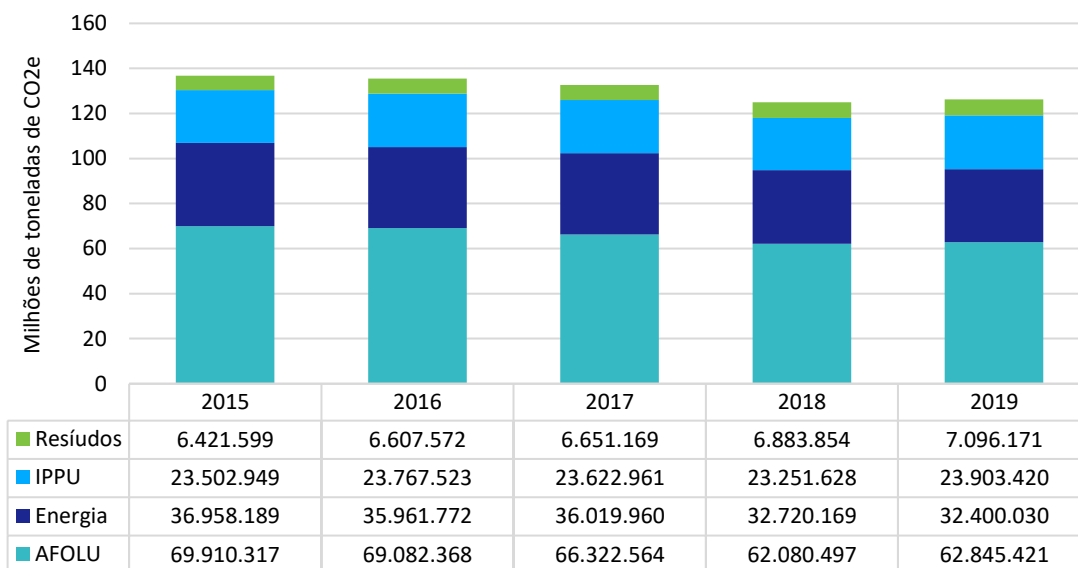


Figura 10.3-3 – Emissões brutas por setor (Mt CO2eq) no período 2015-2019 no estado de Minas Gerais.

Fonte: adaptado de ICLEI, 2022.

Em conclusão, retoma-se que o empreendimento do Rodoanel Metropolitano BH está inserido na subcategoria “fontes móveis”, dentro da categoria “Energia”, e na subcategoria “Uso da terra”, dentro da categoria “AFOLU”. As **Figura 10.3-4** e **Figura 10.3-5** apresentam a porcentagem de cada uma dessas subcategorias dentro de suas respectivas categorias em MG. Adiciona-se que na subcategoria “fontes móveis”, o transporte rodoviário responde a 94% das emissões, das quais 64% advêm do diesel e 32% da gasolina comum.

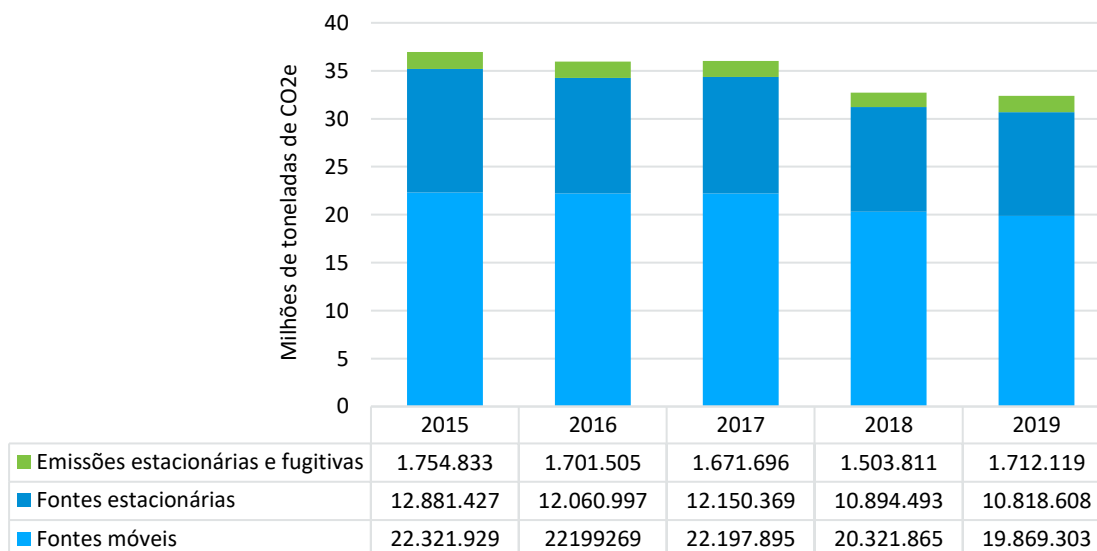


Figura 10.3-4 – Evolução das emissões de “Energia” por subcategoria no período 2015-2019.

Fonte: adaptado de ICLEI, 2022.

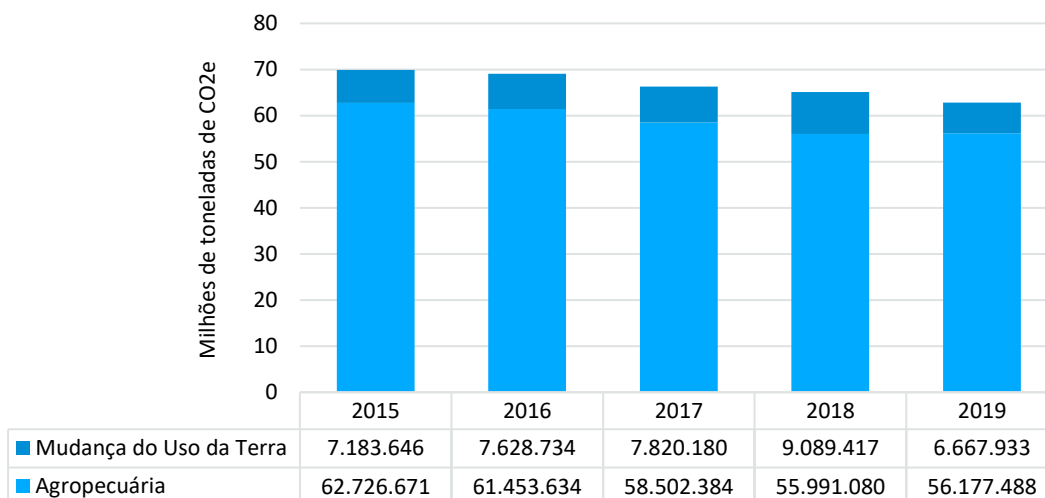


Figura 10.3-5 – Evolução das emissões de “AFOLU” por subcategoria no período 2015-2019.

Fonte: adaptado de ICLEI, 2022.

Um inventário de gases de efeito estufa, considerando os diferentes escopos (escopo 1, 2 e 3), é uma ferramenta utilizada para mensurar desempenho ESG (ESG é uma sigla em inglês para *Environmental, Social and Governance* e é um conceito que tem sido utilizado para caracterizar medidas que geram resultados positivos nas três componentes, em qualquer setor que se queira avaliar). Com isso contabilizado, pode-se propor alternativas de redução ou remoção de carbono ao longo do empreendimento, gerando créditos de carbono a serem comercializados no chamado Mercado de Carbono (voluntário ou regulado).

O **Caderno de Diretrizes ESG (Anexo 14)**, referente à documentação da Concorrência Internacional nº 001/2022 do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, trata da adequação do empreendimento a critérios de sustentabilidade rodoviária, especificando boas práticas a serem adotadas pelo empreendedor, de forma a se alinhar a qualidade ambiental do empreendimento (*Environment*) às questões socioeconômicas e de governança (*Social e Governance*). As obrigações contratuais relacionadas a esse tópico devem ser observadas conforme cláusula relativa do contrato. Cabe salientar que a adoção de medidas de sustentabilidade na implantação e na operação pode diminuir custos das obras, aumentar a aceitabilidade do empreendimento pela comunidade, gerar valorização no mercado, reduzir impactos sobre a biodiversidade e criar valor a curto, médio e longo prazo.

10.4 Ruído Ambiental e Vibração

Neste item, são apresentadas informações em relação ao diagnóstico realizado para avaliação da geração de ruídos e vibrações na região do traçado do Rodoanel Metropolitano BH, a partir de levantamento de dados primários.

De acordo com a NBR 16313:2014, o som são flutuações de pressão em torno da pressão ambiente nas frequências compreendidas entre 20 Hz e 20 kHz. Em acústica, a palavra ruído geralmente é atribuída a sons não desejados ou desagradáveis. A norma nacional ABNT NBR 10151:2019 estabelece níveis de pressão sonora em decibel (dB) como o parâmetro sonoro a ser medido e avaliado. A poluição sonora pode ser entendida como um conjunto de sons com intensidade e duração suficientes para produzir incômodos ao bem-estar e à saúde humana. Ruídos intensos e/ou longos podem provocar no ser humano aborrecimento, incômodo, insatisfação, ansiedade, zumbido, depressão e até perda auditiva. Ruídos

intensos e/ou longos também afetam a saúde e o comportamento ecológico de animais (comunicação, reprodução, defesa) levando à perda de biodiversidade local.

Vibrações de um corpo são movimentos oscilatórios em relação a um ponto. Vibrações de maior intensidade geradas por determinadas atividades podem afetar a estabilidade de certos corpos, como construções humanas, solos e rochas, podendo causar perdas materiais e movimentos de massa (deslizamentos e erosões). As vibrações do terreno foram medidas através da Velocidade de Vibração de Partícula de Pico (PPV), expressa em mm/s, unidade de medida comumente utilizada para vibrações. Este número é o valor máximo instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto, durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes (x, y, z) de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo. Este é o valor que se utiliza para avaliar o potencial de danos das vibrações.

Por todos esses motivos, normas e legislações relacionadas a ruídos e vibrações foram criadas a fim de estabelecer diretrizes técnicas e limites de pressão sonora de forma a controlar ambientalmente tais fenômenos.

10.4.1 Base Normativa

Em relação às vibrações, constata-se que não há uma legislação ou norma técnica no âmbito federal para atividades como rodovias. Em Minas Gerais (âmbito estadual), também não há instrumento semelhante. Diante dessa insuficiência legal, utilizou-se conceitos e terminologias da ABNT NBR 9653:2018, metodologia de medição da norma alemã DIN 45669:2005 e limites de percepção de vibrações e dano a estruturas do estudo britânico de Whiffin & Leonard (1971). Abaixo se encontram as normativas citadas:

- DIN 45669:2005 – Mechanical Vibration and Shock Measurement. Part. 1 (1995) and Part. 2;
- ABNT NBR 9653:2018 – Vibração – Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em área urbanas. Versão corrigida em 28/05/2018.

A legislação pertinente ao tema ruídos é apresentada abaixo:

- Resolução CONAMA nº 1, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política;
- Norma ABNT NBR 16313:2014 – Acústica – Terminologia. Estabelece os termos e definições em acústica;
- Norma ABNT NBR 16425 - Parte 1 – Aspectos Gerais - Acústica. Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes;
- Norma ABNT NBR 10151:2019 Errata 1:2020: Acústica. Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Essa norma estabelece os procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações, bem como procedimentos e limites para avaliação dos resultados em função da finalidade de uso e ocupação do solo.

A NBR 10151:2019 se apresenta como a principal norma a ser seguida, de acordo com a própria Resolução CONAMA. Ela fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independentemente da existência de reclamações. A Lei Ordinária nº 10.100/1990, que

dispõe sobre a poluição sonora no estado de Minas Gerais, não foi avaliada nesse estudo pelo fato dela possuir limites menos restritivos do que a NBR 10151/2019 e não discretização de limites por tipo de área habitada; deve-se sempre adotar o aspecto legal mais restritivo.

O **Quadro 10.4-1** apresenta os limites de níveis de pressão sonora estabelecidos em função dos tipos de áreas habitadas e do período analisado (diurno ou noturno), a partir de uma avaliação pelo método simplificado da norma, utilizado para medição do nível de pressão sonora global, em ambientes externos ou internos às edificações, para identificação e caracterização de sons contínuos ou intermitentes.

Quadro 10.4-1 – Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período.

TIPOS DE ÁREAS HABITADAS	RLAEQ - LIMITES DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA (dB)	
	PERÍODO DIURNO	PERÍODO NOTURNO
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 atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

NOTA 1: Para aplicação desta Norma, entende-se por área mista aquelas ocupadas por dois ou mais tipos de uso, sejam eles residencial, comercial, de lazer, de turismo, industrial e outros.

Fonte: ABNT NBR 10151:2019.

10.4.2 Metodologia

Para avaliação dos níveis de ruídos e vibrações houve coleta de dados primários em campo em 21 pontos (RDVs 1 ao 21) predefinidos, cuja localização e distribuição espacial podem ser visualizadas na **Figura 10.4-1**. Os critérios para a definição e determinação desses pontos de coleta foram a maior proximidade a adensamentos populacionais, melhores condições de acesso e segurança da equipe e busca por uma distribuição homogênea ao longo do traçado. O **ANEXO 11 - Qualidade Ar_Pressão Sonora_Vibração** apresenta o detalhamento da metodologia utilizada, assim como evidencia os equipamentos utilizados e outras informações técnicas importantes relativas aos levantamentos de campo realizados.

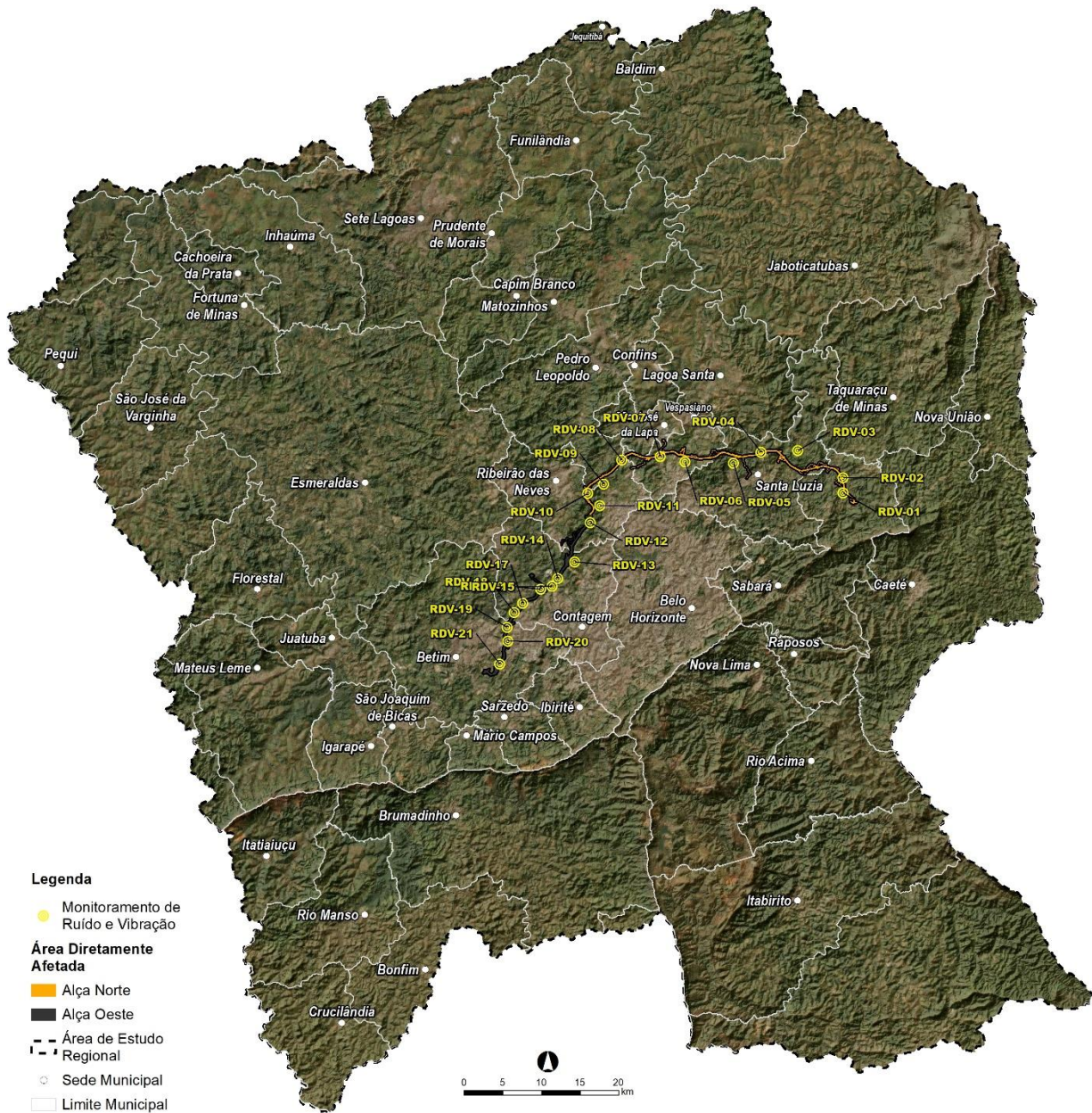


Figura 10.4-1 – Mapa dos pontos de coleta de dados primários de ruídos e vibrações.

Nesse trabalho, de forma adicional aos dados primários coletados em campo, foi feita uma criteriosa análise do uso e ocupação do solo na Área de Estudo em Detalhe do empreendimento, que compreende 1 km para cada lado do eixo principal e do traçado da rodovia, de forma a se verificar quais regiões do empreendimento deverão receber atenção maior quanto a medidas e tecnologias de controle de ruídos.

10.4.3 Análises Realizadas

A seguir, são feitas análises detalhadas com dados primários de ruídos e vibrações. Ao final, faz-se também uma análise do uso e ocupação do solo em toda a área de estudo em detalhe, de forma a enriquecer a avaliação, como apresentado na metodologia.

10.4.3.1 Ruídos

O **Quadro 10.4-2** a seguir apresenta os resultados dos ruídos diurnos coletados nos 21 pontos citados, enquanto o **Quadro 10.4-3** apresenta os resultados dos ruídos noturnos.

Quadro 10.4-2 – Resultados das medições de ruídos no período diurno.

PONTO	INÍCIO (DATA/HORA)	$L_{Aeq, 10min}$	L_{eqmin}	$L_{eqmáx}$	L_{90}	L_{10}	CONDIÇÕES AMBIENTAIS		
							VV (m/s)	TA (°C)	UR (%)
RDV-01	21/09/2023 11:07	57,7	35,6	78,5	39,1	59,6	2,1	27,4	52
RDV-02	21/09/2023 10:52	42,6	36,9	50,4	38,6	45	3,1	25,9	51
RDV-03	21/09/2023 11:49	45	33,4	58,2	37,8	47,1	3,9	29,9	38
RDV-04	21/09/2023 12:14	47,2	41,4	51,5	44,1	48,2	2,8	31,3	39
RDV-05	20/09/2023 16:05	52,2	44,7	60,8	45,9	55,9	0	27,1	50
RDV-06	20/09/2023 17:23	56,9	35,6	72,5	38,8	60,3	2,1	26,5	50
RDV-07	20/09/2023 16:58	53,7	44,4	65	45,5	57,9	2,1	26,1	50
RDV-08	23/08/2023 13:12	41,6	28,5	50,8	34,9	45,7	1,7	34,3	26
RDV-09	23/08/2023 13:36	47,5	35,3	61,2	37,6	50,7	1,8	34,4	26
RDV-10	23/08/2023 14:04	53	32,4	69,5	34,2	47,8	2,7	32,4	24
RDV-11	23/08/2023 14:24	49,1	28,5	67,2	29,7	50,6	2,1	31,9	22
RDV-12	23/08/2023 14:41	50,1	46,8	52	47,4	51,4	2,1	32,1	22
RDV-13	23/08/2023 15:12	48,4	43,2	58	44,7	50,6	0,8	30,1	22
RDV-14	23/08/2023 15:40	49,9	34,1	64	36	49,7	1,5	29,8	24
RDV-15	23/08/2023 15:54	46,8	42,3	54,7	43,6	49	0	31,8	27
RDV-16	03/07/2023 15:25	53,4	38,8	65,3	44,3	56,5	0,8	25,5	35
RDV-17	03/07/2023 15:52	47,4	37,6	54,4	39,6	49,7	1,5	25	34
RDV-18	03/07/2023 16:09	43,2	38,2	57,9	39,4	45	0,8	24,8	41
RDV-19	03/07/2023 16:43	52,6	46,6	60,1	48,4	54,9	0,8	25	40
RDV-20	03/07/2023 16:57	50,1	45,9	58,3	46,3	52,6	1,3	23,1	45
RDV-21	03/07/2023 17:18	46,7	40,9	52,1	42,7	50,8	0	22,1	47

Quadro 10.4-3 – Resultados das medições de ruídos no período noturno.

PONTO	INÍCIO (DATA/HORA)	$L_{Aeq, 10min}$	L_{eqmin}	$L_{eqmáx}$	L_{90}	L_{10}	CONDIÇÕES AMBIENTAIS		
							VV (m/s)	TA (°C)	UR (%)
RDV-01	20/09/2023 20:25	40,5	35,1	45,9	36,5	43,3	4,5	21,8	60
RDV-02	20/09/2023 20:15	33,7	30	47,1	30,9	35,2	1,4	22	58
RDV-03	20/09/2023 18:55	32,3	26,9	41,9	27,5	34,4	1,9	22,7	58
RDV-04	20/09/2023 18:34	41,5	37,7	48,5	39,1	42,7	0	22,1	55
RDV-05	20/09/2023 18:11	48,3	44,7	52,9	46,1	50	0	23,1	55
RDV-06	20/09/2023 21:56	33,9	30,5	40,6	31,4	35,9	0,8	19,8	60
RDV-07	20/09/2023 22:12	45,6	41	50	41,9	48,2	0,8	20	60
RDV-08	20/09/2023 22:35	39,6	35,1	44,1	36,3	41,3	0,8	19,5	58
RDV-09	20/09/2023 22:55	40,9	32,4	53,4	33,5	42,6	1,9	18,5	60
RDV-10	18/09/2023 20:32	36,8	35	38,8	35,8	37,5	0	22,1	48
RDV-11	18/09/2023 20:11	42,5	34,7	60,8	36,7	43	1,3	23,1	48

PONTO	INÍCIO (DATA/HORA)	$L_{Aeq, 10min}$	L_{eqmin}	$L_{eqmáx}$	L_{90}	L_{10}	CONDIÇÕES AMBIENTAIS		
							VV (m/s)	TA (°C)	UR (%)
RDV-12	18/09/2023 19:57	51,3	47,7	56,4	48,3	53,3	0	24,7	58
RDV-13	18/09/2023 21:12	44,9	39,6	50	41,3	47,4	0	22,1	44
RDV-14	18/09/2023 21:33	38,3	35,2	52,3	35,5	38,9	1,3	22,1	47
RDV-15	18/09/2023 21:42	44,2	39,8	48,2	40,7	47,1	1,8	22,4	45
RDV-16	18/09/2023 21:51	44,6	39,2	50,4	40,6	47,9	2,4	21,8	45
RDV-17	18/09/2023 22:04	40,3	37	43,4	38,3	43	1	22,1	45
RDV-18	18/09/2023 22:14	39,3	35	51,1	35,7	41,2	2,5	21,8	44
RDV-19	18/09/2023 22:26	46,5	41,5	52,6	42,7	49	1,3	22,1	48
RDV-20	18/09/2023 22:34	45,7	41,1	57,3	41,6	47,4	2,7	22,8	44
RDV-21	18/09/2023 22:48	45,8	35,6	55,9	36,2	50,2	2,4	22,1	44

O **Quadro 10.4-4** apresenta o tipo de uso e ocupação do solo de cada um dos 21 pontos onde houve coleta de dados primários de ruído e vibração.

Quadro 10.4-4 – Classificação dos pontos quanto ao uso e ocupação do solo.

TIPO DE USO CONFORME ABNT NBR 10.151:2019	PONTOS DE MONITORAMENTO	LIMITE DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (dB) DIURNO	LIMITE DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (dB) NOTURNO
Área mista predominantemente residencial	RDV-01, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21	55	50
Área de residências rurais	RDV-02, 03, 10, 12	40	35

A **Figura 10.4-2** apresenta os resultados dos níveis de pressão sonora obtidos no período diurno, em comparação com os limites estabelecidos pela NBR 10.151/2019, enquanto a **Figura 10.4-3** os dados no período noturno. Nessas figuras, as barras azuis escuras correspondem aos pontos de coleta de dados primários inseridos em “área mista predominantemente residencial” e as barras azuis claras àqueles inseridos em “área de residências rurais”.



Figura 10.4-2 – Resultados de ruído no período diurno x Padrões Legais (NBR 10.151/2019).

Fonte: Tractebel, 2023.



Figura 10.4-3 – Resultados de ruído no período noturno x Padrões Legais (NBR 10.151/2019).

Fonte: Tractebel, 2023.

A análise e interpretação dos dados primários de ruído acima permite concluir que:

- No período diurno, 15 dos 17 pontos localizados em “área mista predominantemente residencial” (barras azuis escuras) apresentaram ruídos de *background* abaixo dos limites da norma e dois ligeiramente acima (RDV-01 e RDV-06). Na “área de residências rurais” (barras azuis claras),

todos os quatro pontos monitorados apresentaram ruídos ligeiramente superiores aos limites da norma:

- RDV-02 e RDV-03: os sons predominantes são oriundos da manifestação da fauna silvestre e doméstica;
- RDV-10: os sons predominantes são oriundos da manifestação da fauna silvestre (pássaros, insetos) e da fauna doméstica (galináceos e cães);
- RDV-12: os sons predominantes são oriundos do tráfego veicular da rodovia LMG-806.
- No período noturno, todos os 17 pontos localizados em “área mista predominantemente residencial” (barras azuis escuras) apresentaram ruídos de background abaixo dos limites da norma. Na “área de residências rurais” (barras azuis claras), dois dos quatro pontos monitorados apresentaram ruídos ligeiramente superiores aos limites da norma (RDV-10 e 12).

Por fim, destaca-se que essa campanha de coleta de dados primários apresenta os ruídos de *background* ou, em outras palavras, os sons residuais, de fundo, que estão presentes antes da instalação do empreendimento. Essa medição de *background* é importante para o cálculo futuro dos sons específicos das fontes emissoras de ruídos, pois subtrai do som das fontes de emissão do empreendimento o som residual. É o som específico das fontes emissoras de ruídos do empreendimento que serão comparadas aos limites da NBR 10151/2019 no futuro.

10.4.3.2 Vibrações

Em relação à vibração, como não existe no Brasil legislação nem norma para vibração ambiental, apenas para vibração por usos de explosivo em áreas urbanas (ABNT), optou-se como referência os estudos de Whiffin & Leonard (1971). Segundo o referido estudo, as vibrações são perceptíveis quando a velocidade de vibração da partícula de pico (PPV) atinge o valor de 2,0 mm/s, produzem incômodos à população quando são contínuas e atingem o valor de 2,5 mm/s, e podem ser incomodativas quando atingem o valor de 5,0 mm/s. Elas podem ser ainda desagradáveis quando estão entre 10 e 15,0 mm/s, conforme indicado no **Quadro 10.4-5**.

Quadro 10.4-5 – Referências para Vibração Ambiental de WHIFFIN & LEONARD, 1971.

VELOCIDADE DE VIBRAÇÃO DE PARTÍCULA DE PICO (mm/s)	REAÇÃO HUMANA	EFEITOS SOBRE AS CONSTRUÇÕES
0,00 – 0,15	Imperceptível pela população, não incomoda	Não causam danos de nenhum tipo.
0,15 – 0,30	Limiar de percepção	Não causam danos de nenhum tipo.
2,0	Vibração perceptível	Vibrações máximas recomendadas para ruínas e monumentos antigos.
2,5	Vibrações contínuas produzem incômodo na população	Virtualmente não causa danos arquitetônicos a construções normais.
5,0	Vibrações incomodativas	Limiar, no qual existe risco de danos às construções.
10,00 – 15,00	Vibrações desagradáveis	Podem gerar danos arquitetônicos.

Fonte: Adaptado de WHIFFIN & LEONARD, 1971.

Os dados primários de vibração obtidos em campo são apresentados no **Quadro 10.4-6**. Os números destacados em negrito representam o valor máximo encontrado por eixo em cada medição realizada.

Quadro 10.4-6 – Resultados de vibração em PPV (mm/s).

PONTOS	EIXO	PPV (mm/s)
RDV-01	X	0,422
	Y	0,417
	Z	0,412
RDV-02	X	0,432
	Y	0,447
	Z	0,569
RDV-03	X	0,432
	Y	0,432
	Z	0,427
RDV-04	X	0,442
	Y	0,282
	Z	0,422
RDV-05	X	0,442
	Y	0,468
	Z	0,442
RDV-06	X	0,442
	Y	0,432
	Z	0,442
RDV-07	X	0,708
	Y	0,389
	Z	0,442
RDV-08	X	0,407
	Y	0,417
	Z	0,442
RDV-09	X	0,417
	Y	0,412
	Z	0,437
RDV-10	X	0,447
	Y	0,569
	Z	0,422
RDV-11	X	0,432
	Y	0,427
	Z	0,432
RDV-12	X	0,282
	Y	0,422
	Z	0,432
RDV-13	X	0,468
	Y	0,442
	Z	0,442
RDV-14	X	0,432
	Y	0,442

PONTOS	EIXO	PPV (mm/s)
	Z	0,442
RDV-15	X	0,389
	Y	0,442
	Z	0,442
RDV-16	X	0,417
	Y	0,442
	Z	0,708
RDV-17	X	0,412
	Y	0,437
	Z	0,407
RDV-18	X	0,569
	Y	0,422
	Z	0,417
RDV-19	X	0,427
	Y	0,432
	Z	0,447
RDV-20	X	0,422
	Y	0,432
	Z	0,432
RDV-21	X	0,442
	Y	0,442
	Z	0,282

Observação: os números destacados em negrito representam o valor máximo encontrado por eixo em cada medição realizada.

Observa-se pela **Figura 10.4-4**, que os resultados ficaram restritos ao limiar da percepção humana, que tem como referência o valor de 0,3 mm/s. Conforme os relatos dos técnicos de campo, durante os levantamentos não houve a percepção de vibração nos pontos avaliados. Cabe salientar, ainda, que as referências de 2,0 mm/s e de 5,0 mm/s, que poderiam gerar percepções e/ou reações incomodativas, respectivamente, não foram alcançadas em nenhuma das medições.

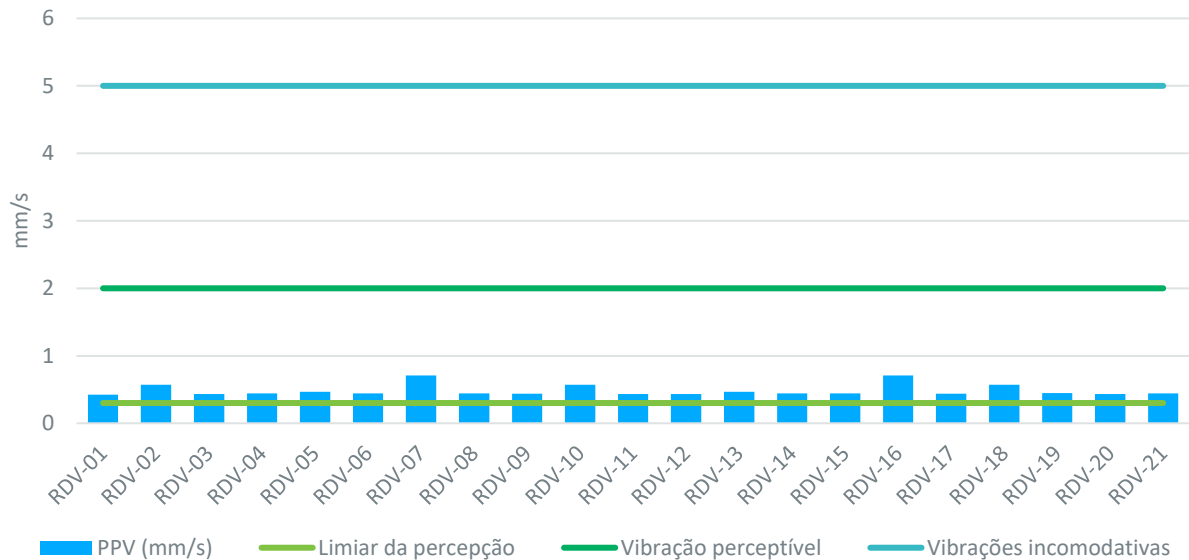


Figura 10.4-4 – Resultados de vibração x Referência da literatura (WHIFFIN & LEONARD, 1971).

10.4.3.3 Uso e Ocupação do Solo e Ruídos

A avaliação sonora é realizada pela comparação dos níveis de pressão sonora medidos ou calculados com os limites de avaliação apresentados na NBR 10151/2019, conforme o tipo de área habitada (residencial, industrial etc.) e os períodos/horários (diurno e noturno). Pelo fato de a “área habitada” ser tão importante, buscou-se avaliar também o uso e ocupação do solo da área de estudo em detalhe para se ter uma compreensão de locais mais adensados, critério este utilizado para a definição dos pontos de coleta. Esse levantamento, portanto, buscou complementar os dados coletados em campo, de maneira visual pelo mapa da **Figura 10.4-5** e pelo **Quadro 10.4-7** de quantitativos.

A **Figura 10.4-5** e o **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_ Mapa de Uso e Ocupação do Solo** apresentam o uso e ocupação do solo na Área de Estudo em Detalhe (AED). O **Quadro 10.4-7** apresenta, por alça da rodovia, o quantitativo de área (hectares) por tipo de uso, bem como sua porcentagem em relação ao todo. Colocou-se em ordem decrescente para se compreender também de forma mais rápida qual uso é preponderante.

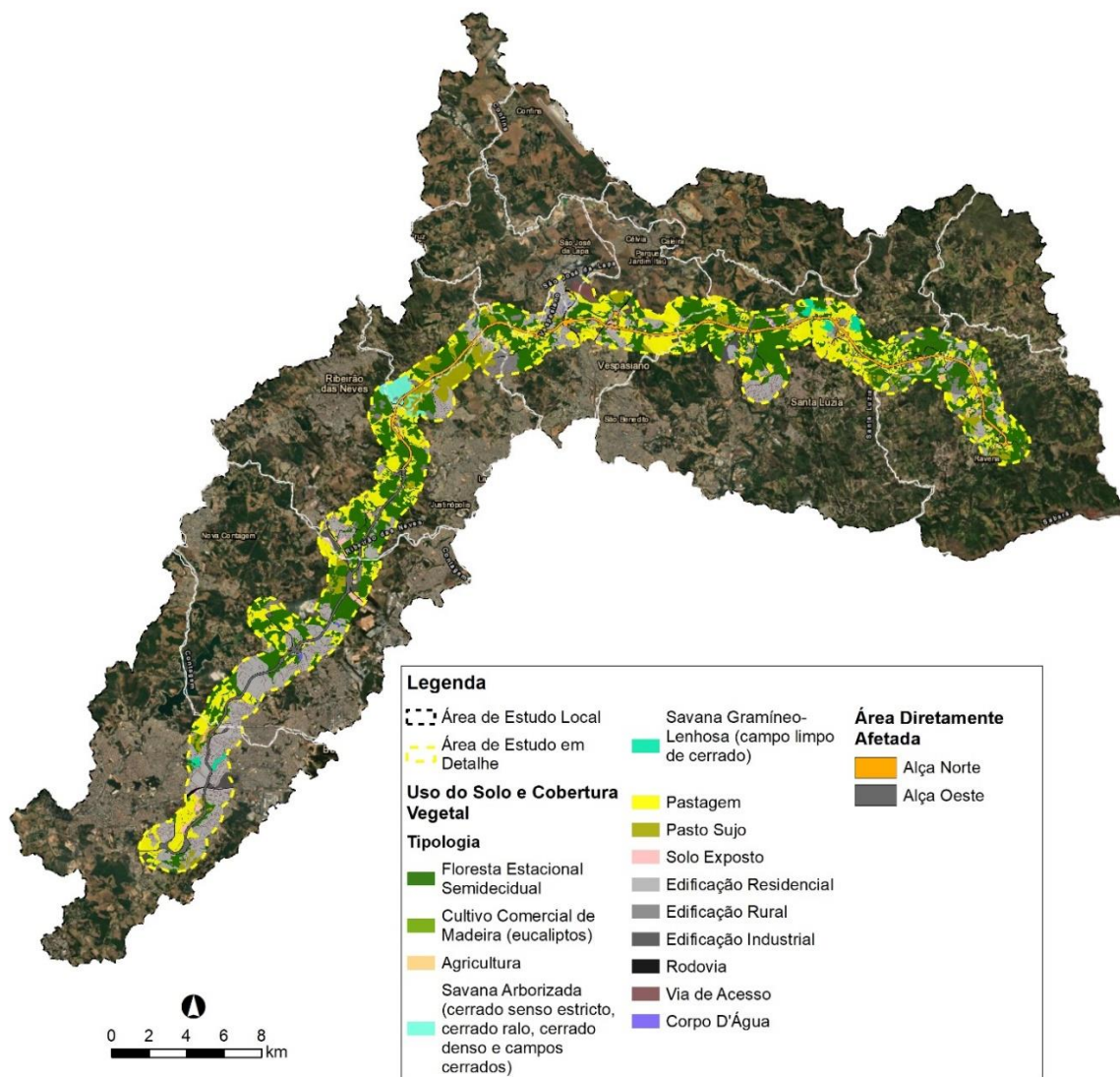


Figura 10.4-5 – Uso e ocupação do solo na Área de Estudo em Detalhe do empreendimento.

Fonte: Tractebel, 2024.

Quadro 10.4-7 – Área e porcentagem de cada tipo de uso do solo na Área de Estudo em Detalhe.

TIPO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	ÁREA TOTAL DO USO (ha)	PORCENTAGEM DO USO EM RELAÇÃO AO TOTAL (%)
Floresta Estacional Semidecidual	6697,35	36,73
Pastagem	4241,36	23,26
Edificação Residencial	3442,13	18,88
Pasto Sujo	1115,28	6,12
Via de Acesso	739,31	4,06
Edificação Rural	705,85	3,87
Edificação Industrial	322,82	1,77
Savana Arborizada (cerrado senso estricto, cerrado ralo, cerrado denso e campos cerrados)	217,72	1,19

TIPO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	ÁREA TOTAL DO USO (ha)	PORCENTAGEM DO USO EM RELAÇÃO AO TOTAL (%)
Solo Exposto	186,45	1,02
Savana Gramíneo-Lenhosa (campo limpo de cerrado)	163,37	0,90
Agricultura	162,89	0,89
Rodovia	122,71	0,67
Corpo D'Água	80,38	0,44
Cultivo Comercial de Madeira (eucaliptos)	33,39	0,18
	0,55	0,00
TOTAL GERAL	18231,57	100,00

Algumas análises podem ser extraídas da figura e quadro de “uso e ocupação do solo” em relação ao tema de ruídos/nível de pressão sonora/acústica:

- Segundo a norma técnica, os usos e ocupações de solo que apresentam os limites de ruídos mais baixos para o conforto humano são a área de residências rurais e a área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas. Esses dois usos juntos compreendem 23,30% de toda a AED;
- Há trechos no qual o traçado do Rodoanel Metropolitano BH atravessa ao meio áreas de “edificação residencial”, como se vê na Alça Oeste. Devido à proximidade da futura fonte ruído à população especialmente nesses trechos, está previsto, no âmbito dos Programas Ambientais, a implantação de tecnologias de contenção de ruídos em áreas habitadas;
- O maior quantitativo de uso do solo na AED corresponde à Floresta Estacional Semidecidual, com 36,88% do total. No entanto, a norma principal (NBR 10151:2019) estabelece diretrizes apenas para áreas habitadas (humanos), não compreendendo flora e fauna.

Ressalta-se que durante a execução das atividades de instalação ocorrerá movimentação de veículos e máquinas de diferentes portes. A instalação de canteiros de obras, usinas de asfalto, britadores, entre outras estruturas, também tem potencial de gerar ruídos, por meio da atividade de supressão vegetal, de terraplenagem, de construção em si e de abertura de acessos. Outro ponto importante a ser considerado nas atividades de implantação do empreendimento se refere à necessidade de escavação em rocha com uso de explosivos que deverão ser limitados, em trecho com adensamento urbano ou estruturas mais sensíveis a esse tema, como por exemplo, barragens de mineração. Sendo assim, medidas devem ser tomadas para minimizar os impactos gerados por esses ruídos, principalmente no que se refere a áreas habitadas.

10.5 Geologia

10.5.1 Metodologia

A caracterização da geologia regional se baseou em diversas publicações que abordavam os principais aspectos litoestratigráficos e estruturais do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero e Grupo Bambuí. O mapa regional do empreendimento foi confeccionado a partir da compilação dos estudos

geológicos realizados por Endo et al. (2019), que produziu o Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero (QFe), em escala 1:150.000, juntamente com a FOLHA SE. 23-Z-C-VI BELO HORIZONTE em escala 1:100.000 (CPRM, 2000) e Mapa Geológico Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH em escala 1:250.000 (SOTERO et al., 2019). O objetivo da caracterização e do mapa compilado foi criar uma base de dados única que abordasse os aspectos geológicos principais dos domínios geotectônicos da área.

A AEL (Área de Estudo Local) foi caracterizada a partir de dados levantados em campanhas de campo realizadas pela equipe da Tractebel. As visitas percorreram todas as unidades litoestratigráficas ao longo da área bem com as principais feições estruturais associadas. Na etapa pré-campo foi feito o planejamento dos pontos a serem visitados baseado no mapa compilado produzido, na análise das imagens aéreas e no planejamento da logística de acessos e deslocamentos. Em campo, foram descritas as principais características morfológicas, petrográficas, estratigráficas e estruturais das estações catalogadas. O registro fotográfico foi feito por câmeras de celular e imagens aéreas de drone.

A caracterização do potencial paleontológico da área foi feita a partir da classificação do potencial de ocorrência de fósseis das unidades litoestratigráficas e AEL e da consulta dos portais PALEO da CPRM e SIGEP (Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos), que trazem os sítios paleontológicos cadastrados de todo o Brasil.

Por fim, foi feito um levantamento cadastral dos direitos minerais da AEL junto ao Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) da Agência Nacional de Mineração (ANM). Foram analisadas as fases em que cada processo se encontra e as substâncias requeridas, correlacionando-as com a distribuição das unidades litoestratigráficas da área.

10.5.2 Geologia da Área de Estudo Regional

A Área de Estudo Regional (AER) engloba parte da porção sudeste do Cráton do São Francisco e suas áreas marginais (**Figura 10.5-1**). Tradicionalmente, crátons são definidos como porções da crosta continental não envolvidas em processos orogênicos Fanerozóicos. Nesse sentido, o Cráton do São Francisco consiste em um segmento tectonicamente estável durante o ciclo Brasiliano-Pan Africano, que resultou na edificação de suas faixas marginais e no amalgamento do Supercontinente Gondwana (HEILBRON et al., 2017).

Consoante ao apresentado nas Diretrizes Ambientais referente à documentação da Concorrência Internacional nº 001/2022 do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte as caracterizações geológicas abrangem três grandes grupos geotectônicos: Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero e Grupo Bambuí.

O Complexo Belo Horizonte consiste em um embasamento gnáissico-migmatítico de idade Mesoarqueana, que abrange grande parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. O terreno apresenta paragêneses metamórficas de médio a alto grau e é seccionado por granitóides de caráter diversos.

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) localiza-se na porção centro-sudeste do Estado de Minas Gerais, ocupando uma área aproximada de 7.000 km² (DORR, 1969). No contexto do QFe, o empreendimento está inserido, especificamente, na região norte, onde encontra-se a serra do Curral, desde a serra do Rola Moça até a serra da Piedade. Assim, o traçado da via intercepta os supergrupos Minas e Estrada Real, juntamente com coberturas Cenozóicas.

Já o Grupo Bambuí consiste em uma cobertura cratônica composta por rochas metassedimentares e sedimentares de idade Neoproterozóica (LIMA et al., 2007). As formações do grupo são constituídas

majoritariamente por associações pelíticas e carbonáticas, depositadas em uma bacia intracratônica do tipo *foreland*.

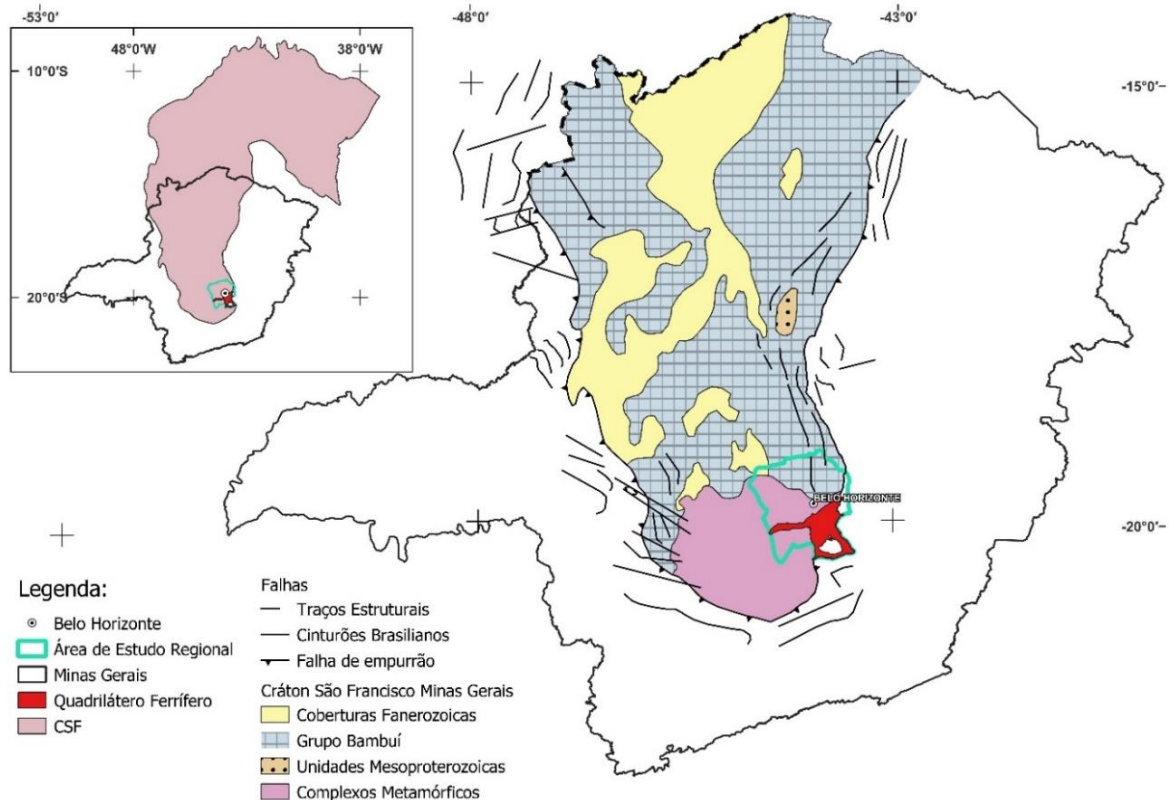


Figura 10.5-1 – Mapas de localização da AER inserida no Cráton São Francisco e no QFe.

Fonte: adaptados de Alkmim et al., 2006.

Nos itens seguintes serão apresentadas as descrições dos principais grupos litológicos presentes, sendo eles: Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, e Grupo Bambuí. O Mapa Geológico da AER elaborado para o presente diagnóstico está contido no **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Geológico**.

10.5.2.1 Complexo Belo Horizonte

No presente trabalho evidencia-se o Complexo Belo Horizonte como uma unidade externa ao QFe devido a sua expressão e continuidade na área. Nesse sentido, utilizou-se a denominação Complexo Belo Horizonte de Noce *et al.* (1994), estendendo-se a mesma para leste (sem englobar o domo de Caeté), de modo a envolver também granitóides de idades distintas.

O Complexo Belo Horizonte é constituído, em sua maior parte, por gnáissico-migmatítico que se apresentam como gnaisses cinzentos frequentemente com bandamento composicional, feições de migmatização e integrantes de uma suíte do tipo TTG (tonalito-trondhjemito-granodiorito). As características de campo e composição química desses gnaisses exibem um caráter ortoderivado (NOCE, 1995; NOCE *et al.* 1997).

Em sua maioria, os gnaisses do complexo Belo Horizonte, passaram por processo intenso de migmatização (U/Pb de 2.860 ±14/-10 Ma) e apresentam caráter predominantemente peraluminoso a ligeiramente metaluminoso, com concentrações elevadas de Na₂O (média de 5,2%) e possuem composição trondhjemítica.

As formas fisiográficas desenvolvidas sobre as rochas do Complexo Belo Horizonte são colinas de topos planos a arqueados devido as litologias de granitoides, granito gnaisses, ortognaisses e migmatitos. Em geral, as rochas possuem coloração acinzentada, granulação média, ocorrendo faixas mais grosseiras, às vezes com textura porfiroblástica (DORR, 1969). Apresentam em geral estrutura bandada ocorrendo também tipos mais homogêneos foliados. Quando há migmatização desenvolve-se partes mais grosseiras quartzo-feldspáticas, brancas, concordantes ou discordantes (CPRM, 2000).

A maior parte dos contatos do complexo é de natureza tectônica, através de zonas de cisalhamento contracionais de médio a alto ângulo. Na porção meridional e sudoeste o Complexo Belo Horizonte é em grande parte cavalgado pelo Supergrupo Estrada Real, através da Formação Saramenha, Grupo Sabará, por sistema de rampas laterais (ENDO et al., 2019).

O Complexo Belo Horizonte possui expressão em todas as alças do Rodoanel Metropolitano BH (Norte e Oeste) sendo a unidade de maior continuidade e ocorrência no traçado.

10.5.2.2 Quadrilátero Ferrífero

A Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero (QFe) corresponde a uma região de grande interesse econômico devido aos depósitos de minerais metálicos e outras substâncias, com destaque para a exploração de ouro, ferro e manganês (CASTRO et al., 2020). A região apresenta depósitos de grande tonelagem e depósitos de classe mundial, sendo, por esse motivo, uma das regiões mais estudadas no Brasil.

O QFe apresenta uma subdivisão em macrounidades litodêmicas e litoestratigráficas do Arqueano ao Paleo-Mesoproterozóico e Cenozóico (ENDO et al., 2019), a saber:

- Complexos Metamórficos: Constituídos de gnaisses bandados ou não, migmatitos, granitoides, anfíbolitos e corpos máficos/ultramáficos;
- Supergrupo Rio das Velhas: Constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas, metavulcanoclásticas e por rochas metavulcânicas félsicas, máficas e ultramáficas;
- Supergrupo Minas: Constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas;
- Supergrupo Estrada Real: Constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas e por rochas metavulcânicas félsicas, máficas e ultramáficas;
- Grupo Barbacena: Constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas e por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas;
- Supergrupo Espinhaço: Constituído majoritariamente por metarenitos e metaconglomerados;
- Unidades sedimentares: Correspondentes às coberturas do Paleógeno ao Holoceno, constituídas por sedimentos terrígenos. Inclusos os depósitos coluvionares e aluvionares.

No traçado do Rodoanel Metropolitano BH, tem expressão na extremidade sudeste da Alça Norte e é representado pelos supergrupos Minas e Estrada Real, juntamente com coberturas Cenozóicas.

10.5.2.2.1 Estratigrafia

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero (QFe) foi consolidada a partir dos levantamentos geológicos de DORR (1969). Este projeto possibilitou um grande avanço no conhecimento geológico de uma das

províncias minerais de ouro, ferro e manganês mais importantes do mundo. Em comemoração aos 50 anos dessa publicação Endo et al. (2019) compilou mapas geológicos e propôs uma atualização do estado da arte da cartografia geológica, da estratigrafia (**Figura 10.5-2**) e da geologia estrutural.

As unidades do QFe que ocorrem na AER estão inseridas nos supergrupos Rio das Velhas, Minas e Estrada Real, além dos complexos metamórficos e das coberturas sedimentares de idades Cenozóicas. Essas unidades estão destacadas na **Figura 10.5-2** e serão descritas nos itens seguintes, dando um enfoque para os supergrupos inseridos na AEL. O Complexo Belo Horizonte, principal domínio litoestratigráficos interceptado pela via e, que faz parte dos complexos metamórficos do embasamento do QFe, já foi descrito no item **10.5.2.1**.

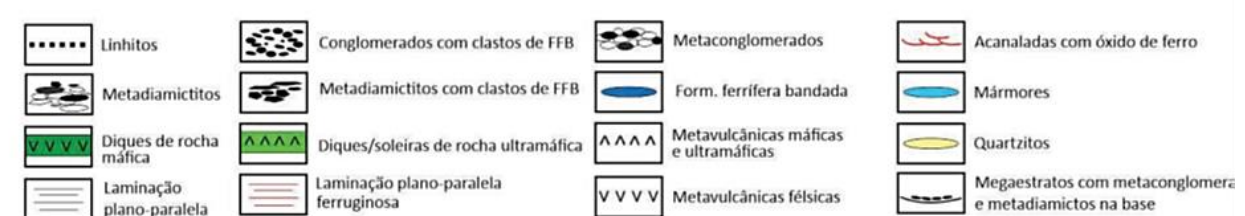
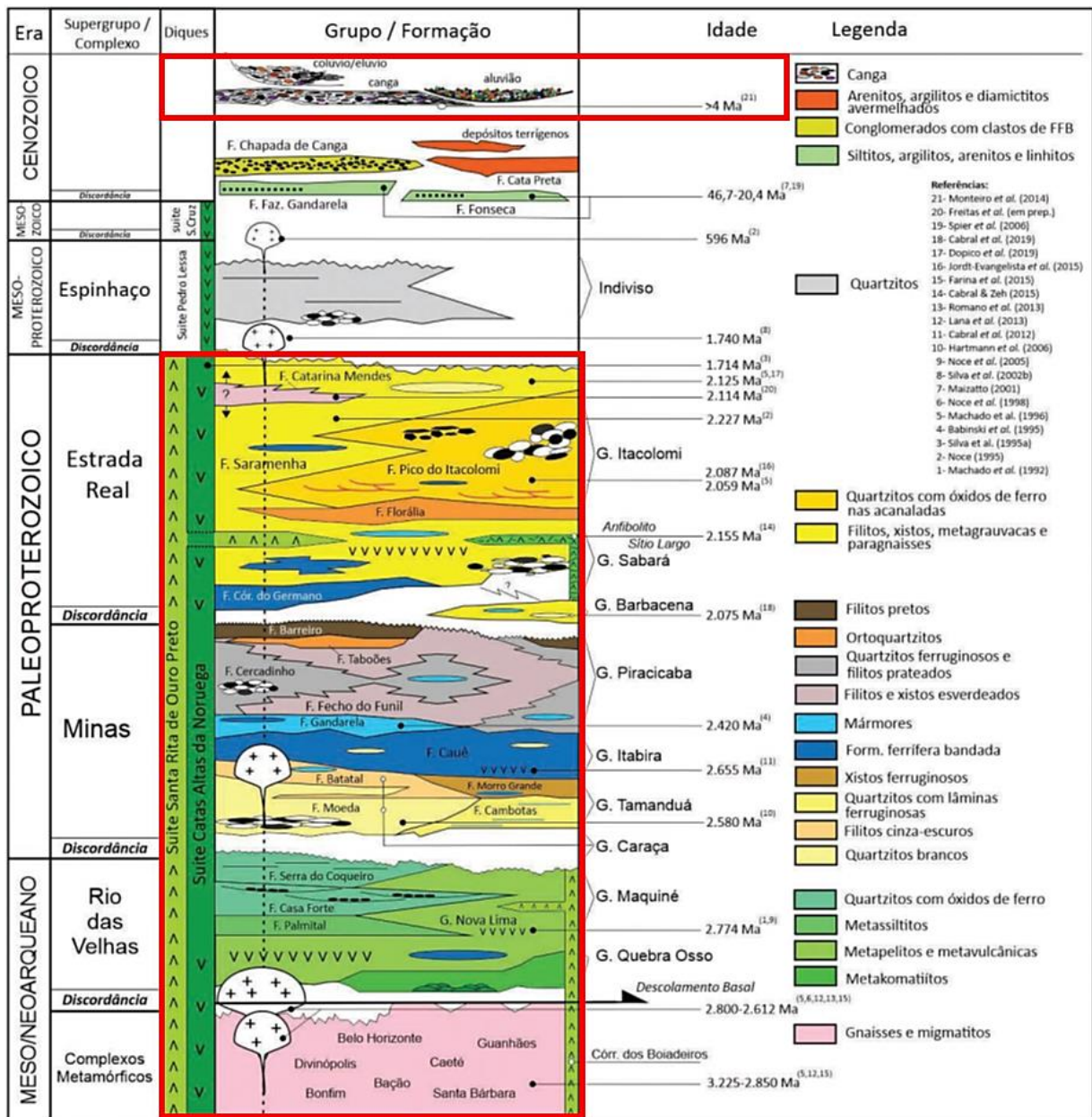


Figura 10.5-2 – Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero destacando as unidades da AER.
Fonte: Endo et al., 2019.

Supergrupo Rio das Velhas

As rochas do *Greenstone Belt* Arqueano são agrupadas no Supergrupo Rio das Velhas (SGRV), definido pela primeira vez por Dorr et al. (1957). Os mesmos autores subdividiram este supergrupo em dois grupos: Nova Lima e Maquiné.

O grupo Nova Lima, apresenta-se como formação de base ou inferior, que se constitui basicamente por rochas metavulcânicas com intercalações metassedimentares químicas e clásticas (TEIXEIRA et al., 2006).

De forma geral, as rochas do Grupo Nova Lima possuem natureza vulcanossedimentar, que compreendem em komatiitos, basaltos toleíticos, rochas vulcanoclásticas e vulcânicas félsicas. A porção sedimentar é de natureza clástica e química, predominantemente composta por filitos cloríticos, mas, também incluem parte de formação ferrífera, grauvaca, quartzito e conglomerado (DOCE, 1995).

O Grupo Maquiné corresponde a sucessões metapelíticas e metapsamíticas predominantemente clásticas. A base é composta por xistos e filitos enquanto nas associações de topo predominam quartzitos, metaconglomerados e metadiamicititos no topo.

Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas, de idade Paleoproterozóica, foi nomeado pela primeira vez por Derby (1906), sendo posteriormente subdividido em nove diferentes formações por Wallace (1958), Maxwell (1958), Dorr (1958), Pomerene (1958), Simmons (1958) e Gair (1958). O Supergrupo Minas (SGM) sobrepõe-se aos dos TTG's e SGRV, geralmente em contato tectônico. A seguir são detalhados três grupos pertencentes ao Supergrupo Minas, que são: Caraça, Itabira e Piracicaba.

Grupo Caraça – A4PP1mc

O Grupo Caraça, consiste em uma unidade clástica basal, que apresenta em sua base a Formação Moeda, constituída por quartzitos com intercalações de filito e níveis de conglomeráticos, onde se observa a presença de conglomerados auríferos-uraníferos que é uma litologia característica dessa unidade. Sotoposto à Formação Moeda encontra-se a Formação Batatal, onde predominam filitos sericíticos, por vezes carbonosos ou ferruginosos. Este grupo se estende desde a serra da Moeda, que atinge altitudes superiores a 2.000 metros, até a região de Ouro Preto (DOCE, 1995).

A Formação Moeda exibe um caráter fluvial, com quartzitos e conglomerados em abundância e, quartzitos finos e filitos como unidade intermediária, representando uma transgressão marinha. As variações de espessura e de sedimentação com fácies grosseiras e finas indicam um caráter extensional da Formação, com implantação de estruturas do tipo *graben* (DOCE, 1995; ROSIÈRE & CHEMALE JR., 2000).

Já a Formação Batatal, consiste em uma unidade sedimentar de granulação fina, formada em prioritariamente por filito sericítico. Em certas zonas contém quantidades significativas de clorito, filito grafítico ou material carbonáceo. Ocorrem também, de forma ampla, metachert, quartzo e formações de ferro. Ademais, a Formação Batatal é facilmente intemperizada e não resistente, podendo ser revelada na presença de voçorocas (DORR, 1969).

Grupo Itabira – A4PP1mi

O Grupo Itabira consiste em uma unidade química intermediária, tendo sido depositada logo depois do Grupo Caraça, em uma sequência predominantemente marinha de ambiente raso a profundo que apresenta, da base para o topo, conglomerados, quartzitos e metapelitos. A fase marinha iniciou-se com os filitos carbonosos, sericita – filitos e filitos dolomíticos que passam lateralmente e para o topo, de forma gradativa, a hematita – filitos, itabiritos e dolomitos (ROSIÈRE & CHEMALE JR., 2000).

O Grupo Itabira, na AER, pode ser dividido nas Formações Gandarela e Cauê. Segundo DORR (1969), essas formações contém reservas de minério de ferro e já produziram muito manganês. Além disso, o autor ressalta que em muitas localidades a Formação Cauê pode ser uma ampla fonte de água subterrânea.

A Formação Cauê consiste em uma unidade inferior, onde predominam itabiritos mais espessos; enquanto a Formação Gandarela consiste na unidade superior com rochas carbonáticas (dolomitos e mármore dolomíticos e calcíticos), filitos e formações ferríferas bandadas, sem uma nítida separação entre elas, onde dolomitos e itabiritos ocorrem intercalados (ROSIÈRE & CHEMALE JR., 2000).

Grupo Piracicaba – PP12mp

O Grupo Piracicaba, consiste em uma unidade clástica de topo, formada de maneira superposta ao Grupo Itabira, exibindo discordância erosiva em sua base. As formações do Grupo Piracicaba possuem grande parte de rochas sedimentares clásticas, variando de conglomerado fino passando por quartzito até filito e filito grafítico; os precipitados químicos (ou bioquímicos) incluídos na sequência são leitos esporádicos de dolomita e pequenas lentes de formação de ferro (DORR, 1969).

Em sua porção basal, apresenta comumente feições turbidíticas com metarenitos, geralmente ferruginosos, intercalados com filitos. Essa sequência passa na lateral e vertical para filitos carbonáticos, filitos ferruginosos assim como dolomitos, mármore estromatolíticos e formações ferríferas bandadas. A complexa variação lateral e vertical de fácies desenvolveu-se pela alternância de condições transgressivas (ROSIÈRE & CHEMALE JR., 2000).

As unidades basais do Grupo Piracicaba, compreendem em Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. A Formação Cercadinho caracteriza-se pela alternância de quartzitos filitos, comumente ferruginosos. A Formação Fecho do Funil constitui-se por filitos quartzosos, filitos dolomíticos e lentes de dolomito. Por fim, de maneira geral, a Formação Taboões são ortoquartzitos de granulação fina equigranular, enquanto a Formação Barreiro se caracteriza pela ocorrência de filitos e filitos grafíticos; sendo que ambas as formações ocorrem de maneira restrita (DOCE, 1995).

Supergrupo Estrada Real

De acordo com a revisão feita no trabalho de Dorr (1969) por Castro et al., (2020), o Supergrupo Estrada Real, de idade Paleoproterozóica, compreende os grupos Sabará e Itacolomi, seguindo a proposição de Teixeira da Costa (1961). É representado por unidades mais jovens e do topo da seção estratigráfica da região do Quadrilátero Ferrífero. A seguir será detalhado o Grupo Sabará que incluso na AE do Rodoanel Metropolitano BH.

Grupo Sabará – PP2sb

O Grupo Sabará, consiste em um conjunto de depósitos marinhos imaturos, composto pelas Formações Saramenha, Córrego do Germano e Catarina Mendes, as quais ocorrem em todo o QFe. De forma geral, o Grupo Sabará está profundamente alterado para saprólito, com apenas algumas localidades apresentando rocha fresca. Há incertezas quanto à litologia detalhada e quanto à correlação de horizontes ou zonas particulares de uma parte da região para outra, resultando em um desconhecimento quanto as espessuras exatas desse grupo, já que se apresenta mal selecionada. No entanto, observou-se que, são abundantes clorita e biotita xisto, denominadas por tufos metamorfoseadas e, há quantidade significativa de gravaca (DORR, 1969; ROSIÈRE & CHEMALE JR., 2000; CASTRO et al., 2020).

A Formação Saramenha, incluída na área de interesse do Rodoanel Metropolitano BH, é constituída, principalmente, por clorita xistos, mica xistos com intercalações de metagrauvacas, quartzitos e formação ferrífera bandada (CASTRO et al., 2020).

Pires (1979) e Endo et al. (2019) descrevem na serra do Curral a presença da falha do Curral no contato entre a Formação Saramenha e o Grupo Piracicaba e a falha Mário Campos entre o Grupo Sabará e o Complexo Metamórfico Belo Horizonte.

10.5.2.2.2 Arcabouço Estrutural

O arcabouço estrutural do QFe apresenta uma configuração complexa e consolidada por um histórico de deformações polifásicas. Esse arcabouço é formado por estruturas com geometrias anticlinais e sinclinais, além de falhas de empurrão e transcorrentes. As principais megaestruturas da província podem ser vistas na **Figura 10.5-3**.

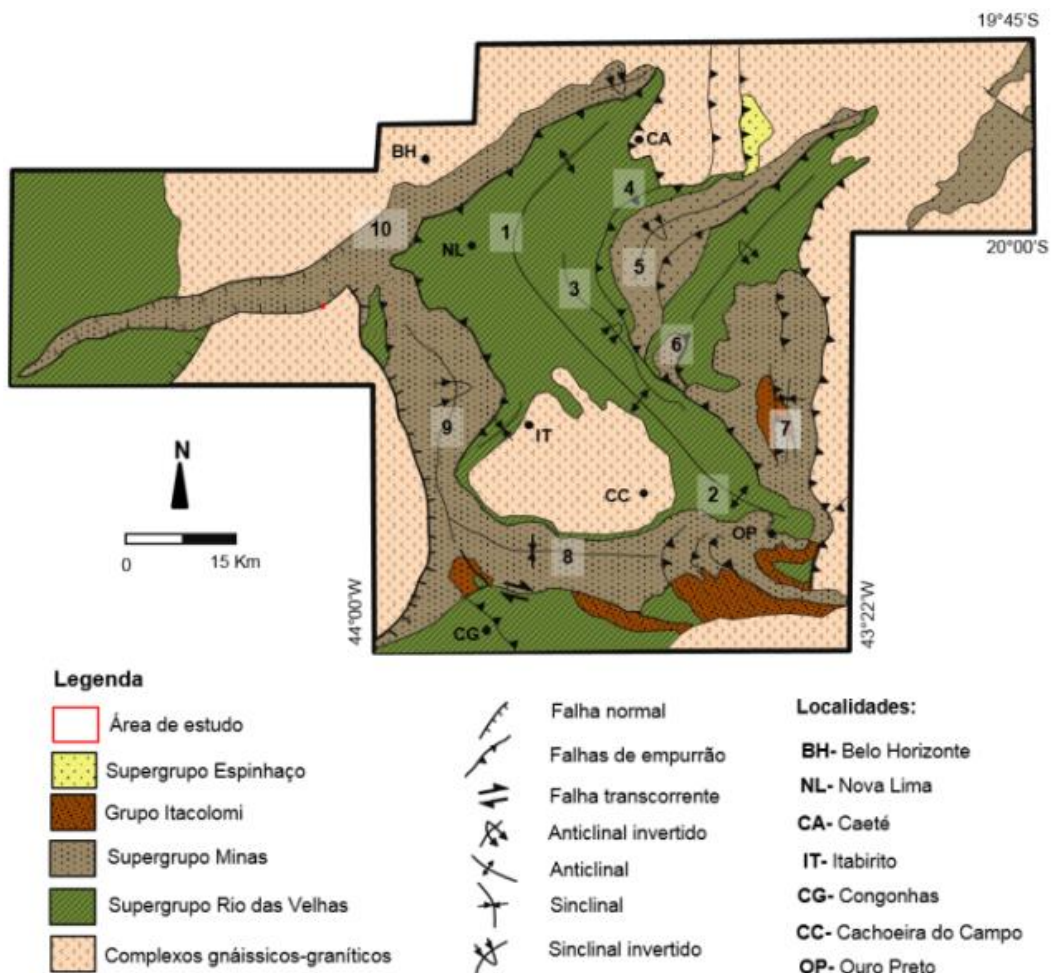


Figura 10.5-3 – Mapa estrutural simplificado do Quadrilátero Ferrífero.

Megaestruturas: (1) Arqueamento Rio das Velhas; (2) Anticlinal de Mariana; (3) Sinclinal Vargem da Lima; (4) Sistema Cambotas-Fundão; (5) Sinclinal Gandarela; (6) Sinclinal Ouro Fino; (7) Sinclinal Santa Rita; (8) Sinclinal Dom Bosco; (9) Sinclinal da Moeda; (10) Serra do Curral. Modificado de Dorr (1969), Chemale Jr *et al.* (1994) e Baltazar & Zuchetti (2005).

Fonte: Dorr (1969), Chemale Jr *et al.* (1994) e Baltazar & Zuchetti (2005).

Ao longo dos anos foram propostas diversas interpretações a respeito da evolução tectônica da província. Madeira (2018) traz uma síntese de alguns desses trabalhos que abordam a evolução da região sob diferentes óticas. eventos e fases deformacionais (**Quadro 10.5-1**).

Quadro 10.5-1 – Síntese de interpretações para a evolução geotectônica do QF.

TRABALHO	EVENTOS/FASE	VERGÊNCIA TECTÔNICA	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	
Dorr (1969)	Pré-Minas	W e SW	Envolve o Supergrupo Rio das Velhas e os complexos cristalinos	
	Pós-Minas e pré-Itacolomi	-	Agitação crustal e arqueamento incipiente	
	Pós-Itacolomi	W e NW	Soerguimento dos complexos cristalinos e sedimentação do grupo Itacolomi; nucleação e posterior inversão dos megassinclinais; falhas inversas	
Chemale Jr. et al. (1991 e 1994)	Transamazônico	ESSE	Extensional; metamorphic core complex associado a formação dos megassinclinais	
	Brasiliano	F1	W	Natureza dúctil; dobras abertas a isoclinais; zonas de cisalhamento inversas relacionadas a falhas normais
		F2	W	Natureza dúctil rúptil; dobramentos; falhas transcorrentes
		F3	W	Reativação de rampas frontais em níveis crustais rasos; dobras abertas do tipo kink
Endo (1997)	Ciclo Jequié (2780 – 2555 Ma)			
	Orogênese Rio das Velhas	-	Deformação dúctil transcorrente dextral, N-S; metamorfismo e foliação milonítica vertical nas unidades no Supergrupo Rio das Velhas	
	Tafrogênese Maquiné	-	Deformação dúctil, transcorrente sinistral; fraturamento crustal NW-SE e E-W; e deposição do Grupo Maquiné	
	Orogênese Maquiné	-	Deformação dúctil-rúptil, transcorrente dextral	
	Ciclo Transamazônico (2250 – 1900 Ma)			
	Orogênese Minas	SWeSE	Dobramentos regionais; fase final extensional gerando estruturas dômicas e megassinclinais; deposição do Grupo Itacolomi; blocos soerguidos na porção WNW	
	Orogênese Itacolomi	NNW e SSE	Falhas de empurrão; fase final extensional gerando falhas normais	
	Ciclo Brasileiro (600 – 400 Ma)			
	Fase 1	W	Dobramentos e redobramentos regionais; inversão do Sinclinal da Moeda; falhas reversas; cisalhamentos normais pós-orogênico para leste com clivagem de crenulação	
	Fase 2	NNW	Dobramentos suaves normais e clivagem espaçada E-W	
Alkmim e Marshak (1998)	Pré-Transamazônico	-	Extensional; gerou uma bacia ensiálica ou margem passiva	
	Orogênese Transamazônica	NW	Dobras regionais; zonas de cisalhamento inversa; foliação fraca. Na fase final, colapso orogênico extensão regional e estruturação domos e quilhas	
	Rifte Espinhaço	-	Porção nordeste do QF; intrusões de diques de diabásio	
	Brasiliano	W	Falhamentos arqueados; dobras mesoscópicas; foliação; reativação de estruturas com direção EW	

Fonte: Madeira, 2008.

Endo *et al.*, (2020) propõem um modelo evolutivo em que o Quadrilátero Ferrífero seria um conjunto de rochas supracrustais alóctones Arqueanas e Paleoproterozóicas, sobre o embasamento cristalino. Essas rochas estariam organizadas em dois sistemas de *nappes* de idade Transamazônica: *Nappe* Curral com vergência N-NE e Sistemas de *Nappe* Ouro Preto de vergência S-SE (**Figura 10.5-4**). Também foram geradas dobras de terceira geração resultantes de amplificação e ou redobramento.

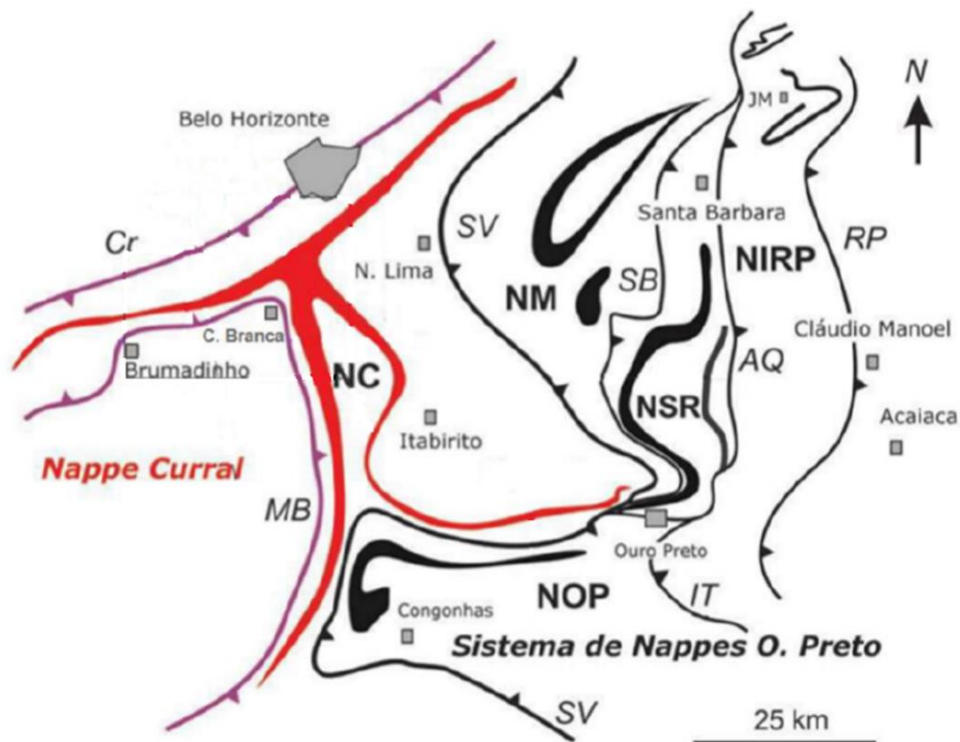


Figura 10.5-4 – Arcabouço estrutural do QFe.
Fonte: Endo *et al.*, 2019.

10.5.2.3 Grupo Bambuí

A estratigrafia, mais usual, do Grupo Bambuí foi definida por Costa & Branco (1961) e por Dardenne (1978, 1981). A distribuição geográfica do Grupo é ampla e contínua ao longo de uma expressiva faixa do Brasil Central. O Grupo Bambuí está inserido no Supergrupo São Francisco que está depositado na bacia de São Francisco e se estende para zonas onde se desenvolveram faixas de dobramento de idade Brasileira. No contexto do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, o Grupo Bambuí está restrito às Alças Norte e Oeste do traçado.

O Grupo Bambuí é composto por sequências Proterozóicas, majoritariamente, de rochas clásticas e carbonáticas, (químicas, bioquímicas e de retrabalhamento), depositadas sobre uma plataforma marinha epicontinental, formada entre o Paleoproterozóico e o Cretáceo (DARDENNE, 1978; UHLEIN *et al.*, 1999; ALKIMIN & MARTINS-NETO, 2012).

As formações que compõem o Grupo Bambuí são produto de deformação fraca a moderada e o relevo associado às rochas do Grupo Bambuí, caracterizam-se, sobretudo, por formas cársticas (UHLEIN *et al.*, 1999). Schobbenhaus (1984) define a estratigrafia e, posteriormente, (Mora, 2015) destaca três sequências sedimentares regressivas de megaciclos: 1) Carbonatos (Fm. Sete Lagoas); 2) Calcissilutitos (Fm. Serra de Santa Helena e Fm. Lagoa do Jacaré); 3) Sequências silto argilo arenosas (Fm. Serra da Saudade e Três Marias)

Dentre essas formações supracitadas, as Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena são as principais no contexto do Rodoanel Metropolitano BH. A **Figura 10.5-5** contém a estratigrafia do Grupo Bambuí destacando as formações supracitadas.

A Formação Sete Lagoas, consiste na unidade basal do Grupo Bambuí, representa uma unidade carbonática, formada por calcários argilosos, calcários puros, dolomitos com pelitos intercalados, calcários estromatolíticos e folhelhos (Dardenne, 1978; Mora, 2015).

A Formação Serra de Santa Helena é formada por siltitos e argilitos sotopostos à Formação Sete Lagoas. Subordinadamente também são descritos arenitos e lentes carbonáticas.

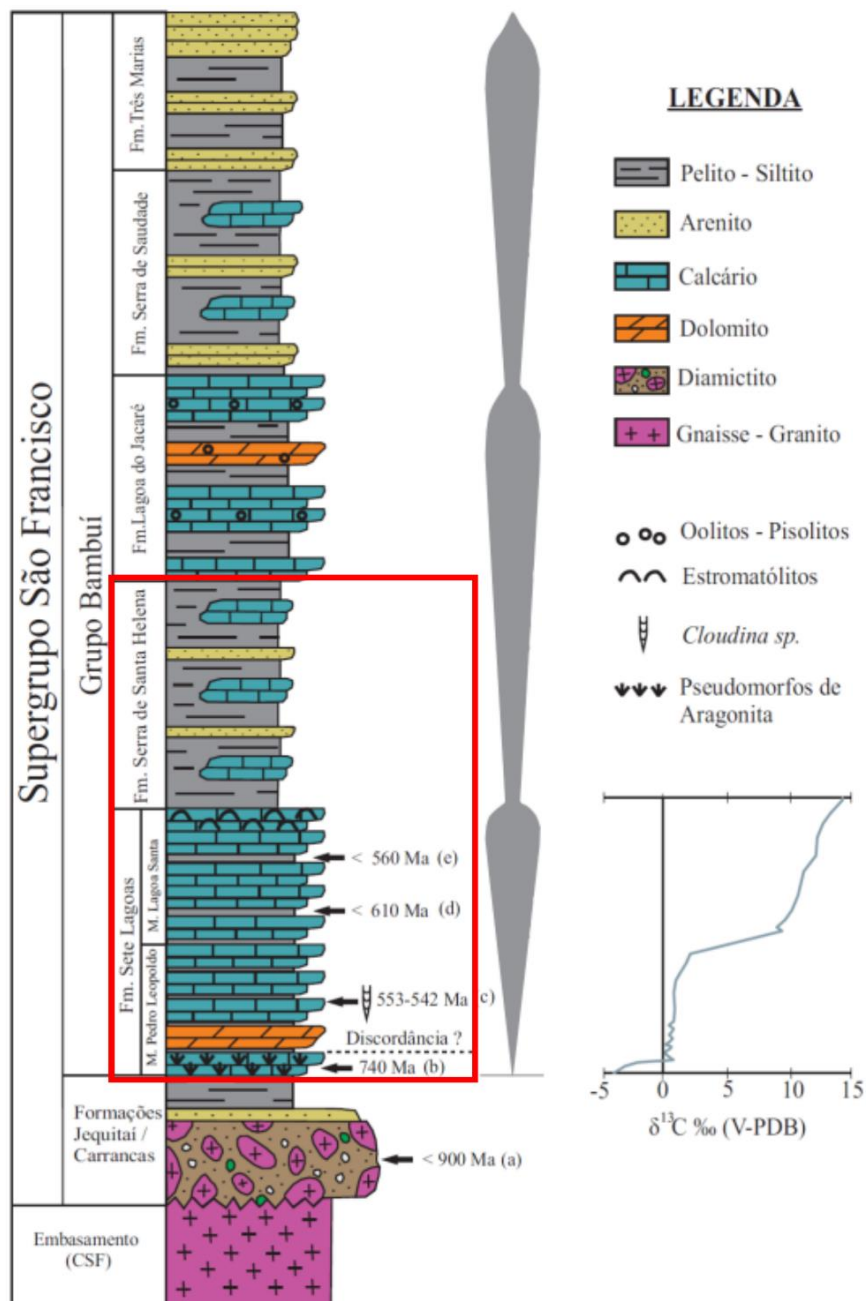


Figura 10.5-5 – Coluna Litoestratigráfica do Grupo Bambuí em Minas Gerais.

Fonte: Mora, 2015.

10.5.3 Geologia da Área de Estudo Local

Seguindo as mesmas premissas apresentadas na Área de Estudo Regional (AER), a Geologia da AEL também é representada por três domínios geotectônicos principais: Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero e Grupo Bambuí.

O Complexo Belo Horizonte corresponde à unidade basal da área, ocupando a maior parte da extensão total da AEL, ocorrendo em ambas as alças do empreendimento. As unidades do Quadrilátero Ferrífero afloram no extremo leste da área e se estendem paralelamente à serra do Curral, na direção aproximada N30E, região também conhecida como serra da Piedade. As camadas estão estruturadas no flanco invertido de um anticlinal, sendo as camadas mais novas sotopostas pelas mais antigas. Por fim, as rochas do Grupo Bambuí ocorrem no norte da AEL, se assentam sobre o embasamento cristalino do Complexo Belo Horizonte e apresentam acamamento predominantemente sub-horizontal. Além desses três domínios principais, a área ainda conta com coberturas sedimentares de idades cenozoicas.

A **Figura 10.5-6** traz o mapa geológico da AEL e perfis geológicos representativos que mostram a estruturação das unidades da área, onde se observa que as rochas do Complexo Belo Horizonte são as predominantes e representativas ao longo do traçado.

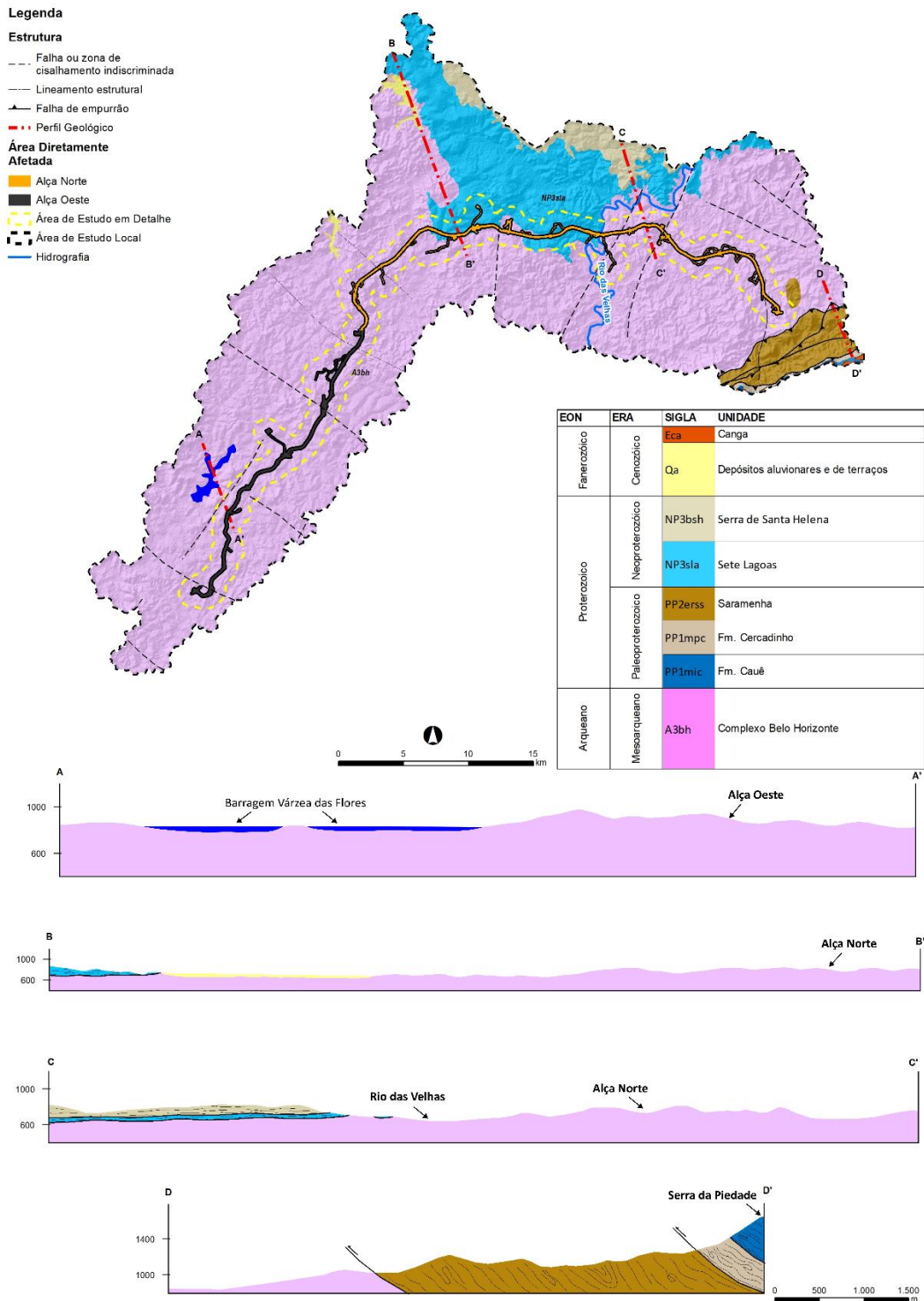


Figura 10.5-6 – Mapa e perfis geológicos da AEL do empreendimento.
Fonte: ENDO et al., 2019; SOTERO et al., 2019.

10.5.3.1 Complexo Belo Horizonte

O Complexo Belo Horizonte corresponde ao grupamento de rochas de maior abrangência na AEL, sendo cortado por ambas as alças do empreendimento e ocupando 79,09% da extensão total.

Morfologicamente, o complexo é caracterizado por relevo de morros arredondados dissecados, do tipo mares de morros. Os afloramentos encontram-se, na maioria das vezes, intensamente saprolitizados e intemperizados, dando origem a solos rosados a avermelhados argilo-siltosos a silto-arenosos. As melhores exposições ocorrem na forma de lajedos e em pedreiras distribuídas ao longo da área (**Figura 10.5-7** e **Figura 10.5-8**).



Figura 10.5-7 – Imagem aérea de drone de ortognaisses da Pedreira do Mirante do Estreito. Ponto Amostral EMF - 064.



Figura 10.5-8 – Imagem aérea de ortognaisses da do Bairro Fimisa. Ponto Amostral EMF – 080.

Os litotipos predominantes são ortognaisses bandados, leucocráticos a mesocráticos, com bandamento que varia de milimétrico a centimétrico. As bandas máficas são compostas por biotita, podendo apresentar anfibólios associados, e as félsicas contêm quartzo e feldspato. Em zonas de alta deformação, os gnaisses apresentam textura milonítica e foliações do tipo S-C. Os *Augen* gnaisses representam a deformação plástica e a recristalização parcial de cristais de feldspatos blastoporfíricos (**Figura 10.5-9**). Na extremidade leste da Alça Norte foram reconhecidas dobras apertadas com vergência para ENE, e eixos que mergulham para NNE e SSW, associadas a veios aplíticos quartzo feldspáticos evidenciando fusão parcial (**Figura 10.5-10**).



Figura 10.5-9 – Textura Augen Gnaiss. Ponto Amostral EMF -081.



Figura 10.5-10 – Dobras apertadas vergentes para ENE. Ponto Amostral EMF – 077.

10.5.3.2 Quadrilátero Ferrífero

As unidades associadas ao Quadrilátero Ferrífero ocorrem de forma restrita na AEL, como camadas estiradas paralelamente à serra do Curral, na direção NE-SW. As rochas da província ocupam 3,74% da extensão total e afloram a sudeste da extremidade leste da Alça Norte. Essa região corresponde ao setor oriental da serra do Curral e a área da serra da Piedade.

O Grupo Itabira é representado na AEL pela Formação Cauê, unidade composta por formações ferríferas que sustentam os principais altos topográficos da província. Os principais afloramentos são de itabiritos e itabiritos silicosos com bandamento milimétrico a centimétrico, formado por bandas de hematita e de quartzo (**Figura 10.5-11**). Em alguns locais, a hematita ocorre na variedade especularita, com brilho metálico intenso (**Figura 10.5-12**). É comum a presença de porções manganésíferas de colorações pretas e dolomíticas, com cores alaranjadas. Quando intemperizados, esses itabiritos dão origem a solos residuais avermelhados e carapaças de canga.



Figura 10.5-11 – Afloramento de itabirito especularítico com bandamento mm a cm da Formação Cauê. Ponto Amostral EMF – 067.



Figura 10.5-12 – Amostra de mão de itabirito especularítico da Formação Cauê. Ponto Amostral EMF - 067.

O Grupo Piracicaba é constituído por quartzitos puros, acinzentados, compactos a friáveis, de granulação fina a média, intercalados com níveis de filitos prateados (**Figura 10.5-13**). As porções mais arenosas condicionam o surgimento de ravinas e voçorocas (**Figura 10.5-14**).



Figura 10.5-13 – Afloramento de intercalações de quartzitos e filitos da Formação Cercadinho. Ponto Amostral EMF -065.



Figura 10.5-14 – Voçoroca associada a rochas e sedimentos arenosos da Formação Cercadinho. Ponto Amostral EMF – 068.

O Supergrupo Estrada Real, é representado na AEL pela Formação Saramenha, Grupo Sabará. A formação constitui uma faixa extensa que se alonga nos sopés da serra do Curral. As exposições descritas são de quartzo-mica xistos friáveis com cores arroxeadas intercalados com quartzitos (**Figura 10.5-15** e **Figura 10.5-16**).



Figura 10.5-15 – Afloramento de quartzo-mica xisto, Formação Saramenha. Ponto Amostral EMF – 069.



Figura 10.5-16 – Amostra de quartzo-mica xisto, Grupo Sabará. Ponto Amostral EMF – 069.

10.5.3.3 Grupo Bambuí

As rochas do Grupo Bambuí constituem associações carbonáticas e pelíticas que se assentam diretamente sobre o embasamento cristalino. Na AEL o Grupo Bambuí aflora na porção norte e é representado pelas formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena.

A Formação Sete Lagoas é formada por rochas carbonáticas que ocupam 14,07% da área. Do ponto de vista geomorfológico, a formação se associa a morros suaves arredondados e às feições cársticas como grutas, dolinas e torres de calcário. Quando alteradas, essas rochas dão origem a solos argilosos com cores vermelhas intensas. As melhores exposições ocorrem próximas ao ribeirão da Mata, em cortes de estradas na MG-010 e nos entornos da Caverna do Susto (**Figura 10.5-17** e **Figura 10.5-19**).

Os principais litotipos descritos são calcilitos finamente laminados, com cores acinzentadas a azuladas, que apresentam acamamentos sub-horizontais (**Figura 10.5-18**). Subordinadamente, ocorrem calcarenitos finos com cores brancas e que podem apresentar intercalação com siltitos cloríticos, indicando deposição rítmica (**Figura 10.5-19**). Cristais de calcita e dolomita preenchendo veios e bolsões são gerados por processos de recristalização (**Figura 10.5-20**).



Figura 10.5-17 – Afloramentos de calcário da Lapa da Zumba, próximo à Caverna do Susto. Ponto Amostral EMF - 160.



Figura 10.5-18 – Amostra de calclutito com vênulas de calcita. Ponto Amostral EMF - 160.

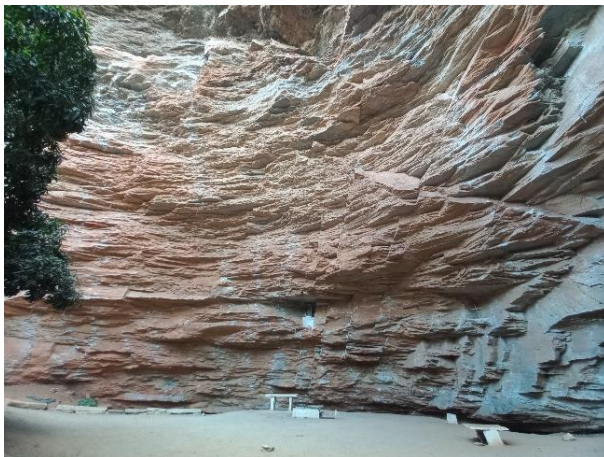


Figura 10.5-19 – Paredão de calcário na região do ribeirão da Mata. Ponto Amostral EMF – 084.



Figura 10.5-20 – Veios de calcita espática. Ponto Amostral EMF – 085.

A Formação Serra de Santa Helena aflora em uma área restrita no extremo norte da AEL, com 2,56% da extensão total. A Formação contém siltitos e argilitos com cores arroxeadas e alaranjadas (**Figura 10.5-21** e **Figura 10.5-22**) que sobrepõem as rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas e que são encobertos por solos siltosos e alaranjados e cascalhos de quartzo leitoso.



Figura 10.5-21 – Afloramento de siltito friável. Ponto Amostral EMF – 089.



Figura 10.5-22 – Amostra de mão de siltito friável arroxeadado. Ponto Amostral EMF – 089.

10.5.3.4 Coberturas Cenozoicas

As coberturas Cenozoicas presentes na AEL ocorrem como camadas delgadas e de extensão limitada. São representadas por depósitos eluvionares, coluvionares e aluvionares na forma de materiais cimentados e sedimentos inconsolidados.

As cangas que cobrem as formações ferríferas do Grupo Itabira constituem as principais unidades eluvionares da área. Essas cangas formam extensos platôs e ocorrem, principalmente, na forma de canga detritica, com fragmentos de hematita e itabirito cimentados por óxidos de ferro, e canga estruturada, blocos de formação ferrífera autóctones cimentados por limonitas (**Figura 10.5-23**). Também foram reconhecidas coberturas lateríticas em diversas unidades da AEL, formadas pela concentração superficial de óxido de ferro e alumínio. Em relação às cangas do Grupo Itabira, as lateritas das outras unidades são menos compactas e apresentam menores pesos específicos.

Os colúvios são constituídos por materiais detríticos carregados por processos gravitacionais e hídricos. Formam depósitos de encostas com espessuras, granulometria e mineralogia variadas. Na AEL se concentram nos sopés da serra do Curral e nas vertentes mais íngremes do Complexo Belo Horizonte e do Grupo Bambuí (**Figura 10.5-24**).

Os Depósitos Aluvionares se desenvolvem ao longo dos meandros dos principais cursos d'água da área, com destaque para o rio das Velhas, e os ribeirões Betim e das Areias. Esses ambientes são formados por sedimentos arenosos e cascalhos que se depositam nas barras de pontal e depósitos silto-argilosos que preenchem as planícies de inundação (**Figura 10.5-25**). Além disso, também ocorrem terraços fluviais com conglomerados contendo seixos de quartzo bem arredondados e matriz arenosa (**Figura 10.5-26**).



Figura 10.5-23 – Platô de canga detritica sobre Formação Cauê. Ponto Amostral EMF – 067B.



Figura 10.5-24 – Depósito coluvionar em solo argiloso, Formações Sete Lagoas, Grupo Bambuí. Ponto Amostral – EMF -010.



Figura 10.5-25 – Planície de inundação nas margens do ribeirão Betim. Ponto Amostral EMF – 005.



Figura 10.5-26 – Afloramento de conglomerado em terraço fluvial. Ponto Amostral - EMF – 126.

10.5.4 Paleontologia

A paleontologia é a ciência que estuda a evolução dos seres vivos ao longo do tempo geológico, através de registros fossilíferos e de seus posicionamentos estratigráficos e paleontológicos, combinando métodos e conceitos das ciências geológicas e biológicas (SIGEP, 2023). Apesar dessa temática ter sido apresentada no Termo de Referência no âmbito da Geomorfologia, considerou-se mais adequado retratá-lo na Geologia, visto que os registros de fósseis estão intrinsecamente ligados às formações geológicas.

A fossilização é produto de uma ação combinada de processos físicos, químicos e biológicos, sendo que para o seu desenvolvimento há necessidade de uma série de condições de deposição e consolidação de sedimentos que esteja associada à ocorrência de um rápido processo de soterramento de restos de animais e plantas. Este tipo de ambiente deposicional é bem característico na formação de rochas sedimentares (processos de sedimentação e diagênese).

Dessa forma, a caracterização paleontológica visa o levantamento, identificação e mapeamento das áreas com potencial de presença de sítios paleontológicos que estão inseridas na AEL. É importante ressaltar

que a caracterização geológica da AEL, com definição das unidades geológicas ali existentes, é o fator condicionante e indicador para estabelecer e identificar o potencial fossilífero de uma região. Vale destacar que no contexto deste estudo são avaliadas apenas as unidades litoestratigráficas sedimentares, já que são os tipos litológicos que possuem potencial positivo de ocorrências de fósseis.

A caracterização paleontológica da região se baseou na identificação das unidades litoestratigráficas que possuem potencial fossilífero (rochas sedimentares) e da existência ou não de sítios fossilíferos na AEL, por meio de uma consulta minuciosa tanto na base de dados PALEO da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), quanto, principalmente, na base de dados do SIGEP (Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos), além de artigos acadêmicos que evidenciem novos registros fossilíferos nas unidades litoestratigráficas sedimentares observadas na região.

A Base PALEO constitui o maior depósito de informações paleontológicas do País, reunindo mais de 31 mil registros que incluem os fósseis das coleções do Museu de Ciências da Terra - MCTer, Museu Nacional, de universidades e de projetos do SGB. Contudo, o maior desafio se encontra na espacialização dos dados em coordenadas geográficas, já que a maior parte dos registros históricos (cerca de 71%) antecede o emprego do GPS, sendo necessária a identificação de sua proveniência através de suas publicações originais à consolidação dos registros (CPRM, 2023).

Em relação à plataforma do SIGEP, foi consultado o inventário de geossítios do Brasil, por meio das publicações disponibilizadas (Volumes I, II e III – Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil) e, também, verificada a distribuição espacial das ocorrências paleontológicas cadastradas no Brasil, objetivando a possível interferência da implantação do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte.

Além disso, levando-se em conta a geologia da AEL, estabeleceu-se uma classificação para as três principais compartimentações litoestratigráficas quanto ao seu potencial de ocorrência fossilífera, onde foram determinadas três classes específicas:

- Ocorrência Positiva: unidades litoestratigráficas que apresentam registros de ocorrências fossilíferas (rochas sedimentares);
- Ocorrência Improvável: unidades que não apresentam fósseis registrados (rochas sedimentares e depósitos quaternários atuais);
- Nulo: unidades que possuem características que não tornam possível a ocorrência e manutenção de ocorrências fossilíferas (rochas metamórficas e ígneas).

Levando-se em consideração esta premissa, o potencial fossilífero dos grupos litológicos da AEL foi classificado de acordo com as três classes supracitadas (positiva, improvável e nulo). A região onde aflora as formações do Grupo Bambuí é a única onde pode haver ocorrência de fósseis, devido a presença de rochas sedimentares. O Complexo Belo Horizonte e as unidades do Quadrilátero Ferrífero, por se tratar de rochas metamórficas de idades arqueanas e paleoproterozóicas e, por terem sido submetidas a diversos eventos tectono-termiais, apresentam probabilidade de ocorrência fossilífera nula. O **Quadro 10.5-2** apresenta a probabilidade de ocorrência de sítios paleontológicos para cada grupo litológico e sua respectiva extensão na AEL.

Quadro 10.5-2 – Probabilidade de ocorrência de sítios paleontológicos por unidade geológica.

GRUPO LITOLÓGICO	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	EXTENSÃO (%)
Complexo Belo Horizonte	Nulo	77,50
Quadrilátero Ferrífero	Nulo	4,57
Grupo Bambuí	Positiva	17,27

A partir do levantamento bibliográfico na AEL do empreendimento, realizado por meio da consulta ao Banco de Dados do SIGEP e PALEO da CPRM, foi constatado que os únicos sítios paleontológicos cadastrados no SIGEP estão localizados na APA Carste de Lagoa Santa. A região, inserida na área de ocorrência do Grupo Bambuí, é considerada o berço da paleontologia, arqueologia e espeleologia, apresentando uma geomorfologia cárstica que condiciona o desenvolvimento de cavidades, locais propensos a abrigarem patrimônios paleontológicos relevantes. Dos materiais já encontrados na região, destacam-se componentes da fauna Pleistocênica extinta, entre eles, preguiça gigante, tigre-dente-de-sabre, lhama, cavalo, tatu gigante, gliptodonte, mastodonte (BERBERT-BORN, 2002). A **Figura 10.5-27** mostra o potencial de ocorrência de sítios paleontológicos na AEL e a delimitação da APA Carste de Lagoa Santa.

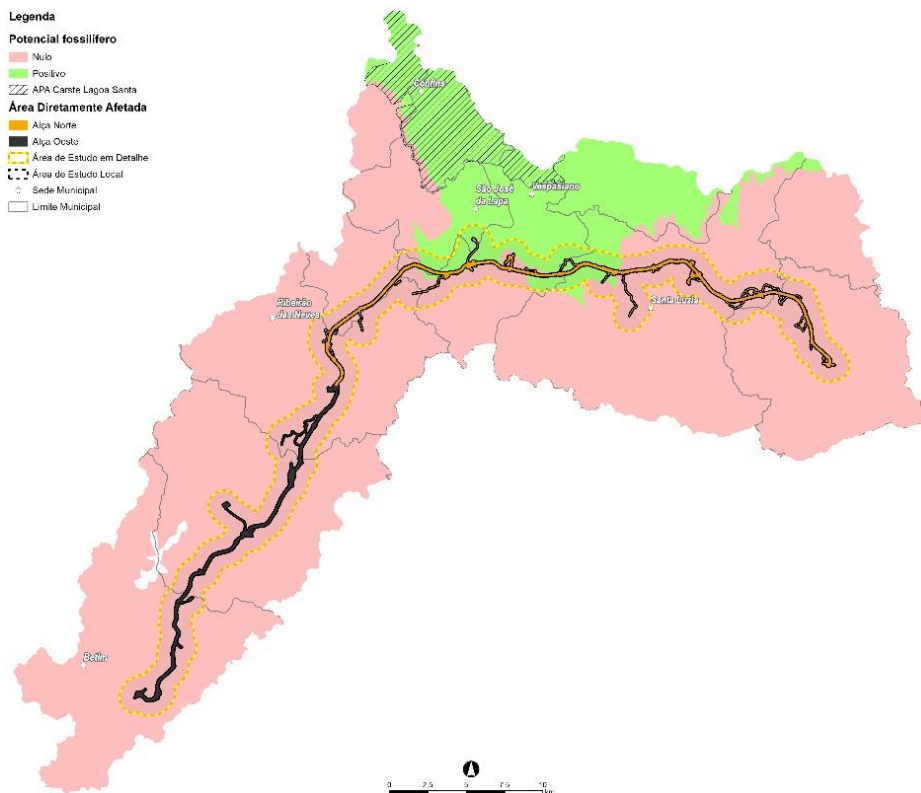


Figura 10.5-27 – Mapa de Potencial Paleontológico, contendo as ocorrências fossilíferas.

Em relação ao traçado, apenas um trecho da Alça Norte passa por uma região com potencial positivo de ocorrência fossilífera. A distância dessa alça ao limite da APA Carste, local mais próximo onde há registros fósseis catalogados, é de cerca de 5,5 km. Portanto, acredita-se que o Patrimônio Paleontológico não tenha grande relevância para a implantação do empreendimento.

10.5.5 Processos Minerários da Área de Estudo Local

O foco principal do levantamento dos recursos minerais é a avaliação da dinâmica dos referidos processos minerários junto à Agência Nacional de Mineração – ANM na Área de Estudo Local (AEL) e na Área de Estudo em Detalhe (ADE), enfatizando principalmente o próprio traçado do Rodoanel Metropolitano BH para avaliar possíveis interferências entre as atividades minerárias presentes com a implantação do próprio empreendimento. Tal dinâmica está relacionada às diversas fases dos processos minerários em tramitação na ANM.

A fase do processo minerário constitui o conjunto de regulamentos, leis e acordos legais que regem a exploração, extração e produção dos recursos minerais. De acordo com a ANM, existem 12 fases que caracterizam o estágio de desenvolvimento dos processos. O **Quadro 10.5-3** traz uma síntese de cada uma dessas fases.

Quadro 10.5-3 - Relação de Fases dos processos minerários.

FASE	DESCRIÇÃO
Apto para Disponibilidade	Regime dos processos que aguardam trâmites para serem disponibilizados para leilão.
Disponibilidade	Fase em que os processos retornaram à carteira ANM por algum motivo como indeferimento de requerimento, caducidade de título, abandono da jazida ou mina, desistência e renúncia ao direito minerário estão disponíveis para leilão.
Requerimento de Pesquisa	Regime de aproveitamento mineral para áreas que já se encontram livres na base de dados da ANM.
Autorização de Pesquisa	É o regime de aproveitamento mineral em que são executados os trabalhos voltados à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da exequibilidade de seu aproveitamento econômico.
Requerimento de Licenciamento	Requerimento que pleiteia o registro de licença visando o aproveitamento mineral pelo regime de licenciamento, voltado para substâncias minerais destinadas ao emprego imediato na construção civil, no preparo de agregados e argamassas e os calcários empregados como corretivo de solo na agricultura, desde que não sejam submetidos a processo industrial de beneficiamento, nem se destinem como matéria-prima à indústria de transformação.
Licenciamento	É o regime de aproveitamento de substâncias minerais no qual é registrada, na ANM, licença expedida em obediência a regulamentos administrativos locais, e que permite a extração de determinados bens minerais.
Direito de Requerer a Lavra	Corresponde a etapa prévia ao requerimento de lavra.
Requerimento de Lavra	Corresponde a fase em que é realizado após a aprovação do relatório final de pesquisa a área e marca o fim da etapa de autorização de pesquisa mineral.
Requerimento de Lavra Garimpeira	É um dos tipos de requerimento mineral referente ao regime de extração de substâncias minerais com aproveitamento imediato do minério, que por sua natureza, tem pouco volume e se distribui de maneira irregular e por isso não justifica o investimento em pesquisa mineral.
Concessão de Lavra	É um título mineral obtido após aprovação do Relatório Final de Pesquisa e a execução do Requerimento de Lavra Mineral.
Requerimento de Registro de Extração	Corresponde a etapa prévia ao registro de extração.
Registro de Extração	Permite a extração e utilização de substâncias minerais que têm aplicação imediata na construção civil, como areia, cascalho, saibro e rochas britadas.

Fonte: ANM, 2023.

Como resultado do levantamento realizado, foram identificados 411 processos minerários ativos, situados integral ou parcialmente na Área de Estudo Local (AEL) do Rodoanel Metropolitano BH. A **Figura 10.5-28** mostra a distribuição espacial desses direitos considerando a fase de cada um deles.

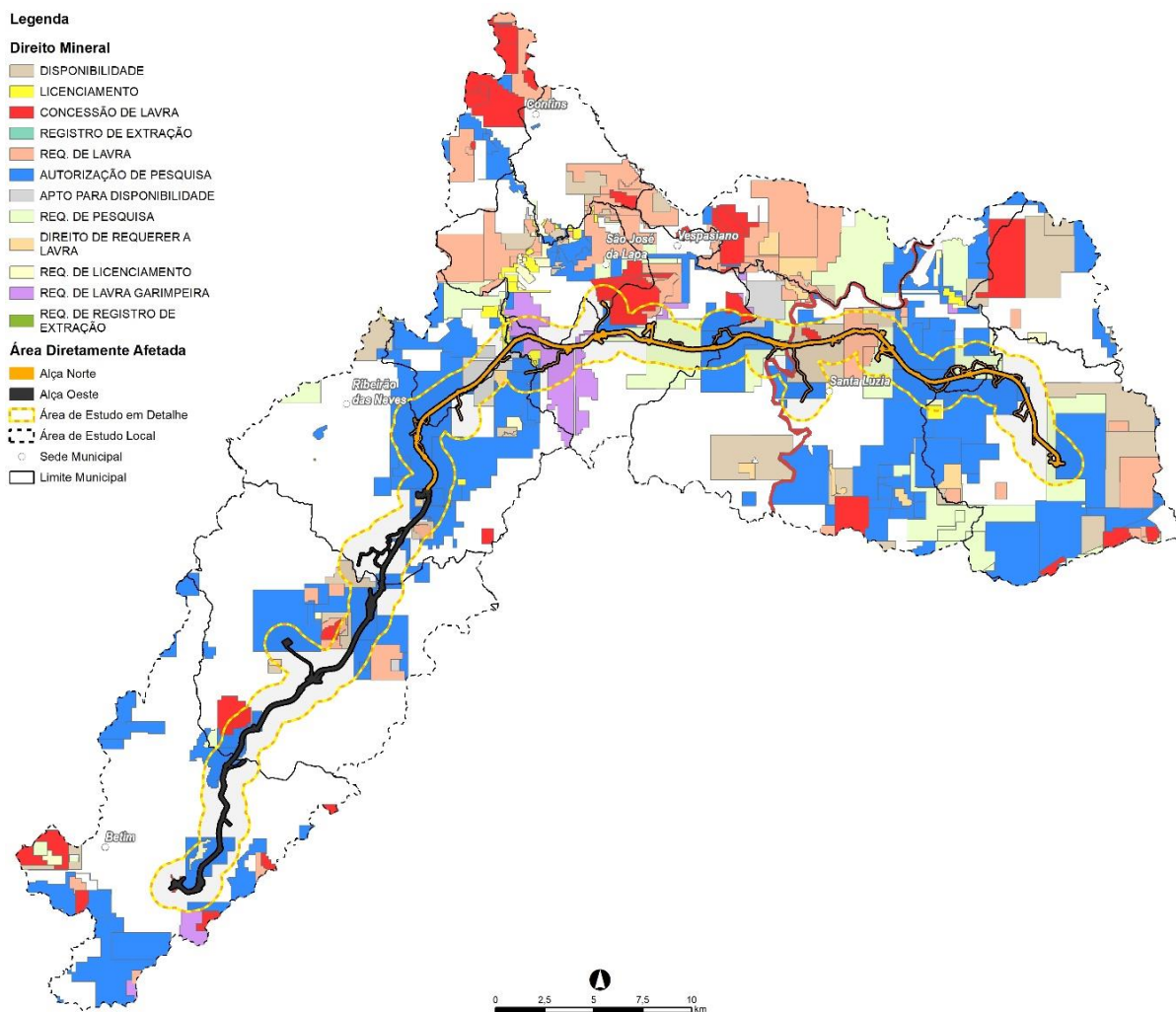


Figura 10.5-28 – Mapa das fases dos direitos minerários na AEL do empreendimento.
Fonte: ANM, 2023.

A maioria dos processos da AEL encontra-se na fase de Autorização de Pesquisa, com um total de 32,36% dos processos minerários registrados no órgão, seguido de outras fases com destaque para as fases de Requerimento de Lavra com 13,14%, Requerimento de Pesquisa com 13,14% e Concessão de Lavra com 13,10%. O **Quadro 10.5-4** traz o número de processos e a porcentagem de cada uma das fases supracitadas. O **ANEXO 12 – Quadro Direitos Minerários AEL** traz a lista completa de todos os direitos minerários presentes na AEL, destacando aqueles que estão na AED e na ADA do futuro empreendimento.

Quadro 10.5-4 – Fase, número de processos e porcentagem dos direitos minerários da AEL.

FASE	NÚMERO DE PROCESSOS	PORCENTAGEM
AUTORIZAÇÃO DE PESQUISA	133	32,36
REQUERIMENTO DE LAVRA	54	13,14
REQUERIMENTO DE PESQUISA	54	13,14
CONCESSÃO DE LAVRA	44	10,71
DISPONIBILIDADE	39	9,49
LICENCIAMENTO	35	8,52
REQUERIMENTO DE LICENCIAMENTO	26	6,33
DIREITO DE REQUERER LAVRA	10	2,43
REQUERIMENTO DE LAVRA GARIMPEIRA	10	2,43

FASE	NÚMERO DE PROCESSOS	PORCENTAGEM
APTO PARA DISPONIBILIDADE	4	0,97
REGISTRO DE EXTRAÇÃO	1	0,24
REQUERIMENTO DE REGISTRO DE EXTRAÇÃO	1	0,24
TOTAL	411	100,00%

Nesse contexto, foram identificadas 14 substâncias requeridas dentre os processos minerários na AEL. Entre elas, destacam-se areia, calcário, gnaïsse, ferro e quartzo, ocorrendo também extração de argila, granito, ouro, entre outros. Vale ressaltar que algumas dessas substâncias poderão ser fonte de material de empréstimo para a própria implantação do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, caso seja comprovada sua viabilidade e necessidade para as obras civis inerentes ao empreendimento. O **Quadro 10.5-1** traz todas as substâncias requeridas na AEL, com a percentagem relativa aos quantitativos dos processos minerários presentes.

Quadro 10.5-1 – Substância, número de processo e percentagem dos processos minerários na AEL.

SUBSTÂNCIA	NÚMERO DE PROCESSOS	PORCENTAGEM
AREIA	150	36,50
CALCÁRIO	49	11,92
GNAÏSSE	43	10,46
FERRO	38	9,25
QUARTZO	29	7,06
ARGILA	26	6,33
DADO NÃO CADASTRADO	25	6,08
GRANITO	21	5,11
OURO	10	2,43
SAIBRO	7	1,70
ÁGUA MINERAL	5	1,22
CASCALHO	3	0,73
CAULIM	3	0,73
MINPERIO DE MANGANÊS	2	0,49
TOTAL	411	100,00%

Fonte: ANM, 2023.

A substância areia possui o maior número de processos, com 36,50% dos direitos requeridos, seguida pelo calcário 11,92%, gnaïsse 10,46% e ferro 9,25%. É possível observar que as substâncias requeridas apresentam forte correlações com as litologias presentes na AEL.

Os direitos requeridos para ferro e manganês predominam na região do Quadrilátero Ferrífero, na porção sudeste da Alça Norte. Essas substâncias se associam às rochas de sedimentação química e depósitos eluvionares do Grupo Itabira, que constituem em depósitos minerais de classe mundial.

No Grupo Bambuí, localizado ao norte da área, a distribuição de substâncias requeridas exibe forte correlação com suas divisões estratigráficas. Os direitos requeridos para calcário se associam às áreas de ocorrência das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas e, os processos requeridos para argila estão relacionados aos pelitos e solos residuais da Formação Serra de Santa Helena.

O Complexo Belo Horizonte, que cobre a maior parte da AEL, concentra as lavras e alvarás de pesquisa para granito e gnaïsse. Os processos requeridos para areia também se concentram nessa região e, ao longo dos principais depósitos aluvionares da AEL.

A **Figura 10.5-29** mostra a distribuição espacial das substâncias requeridas na AEL.

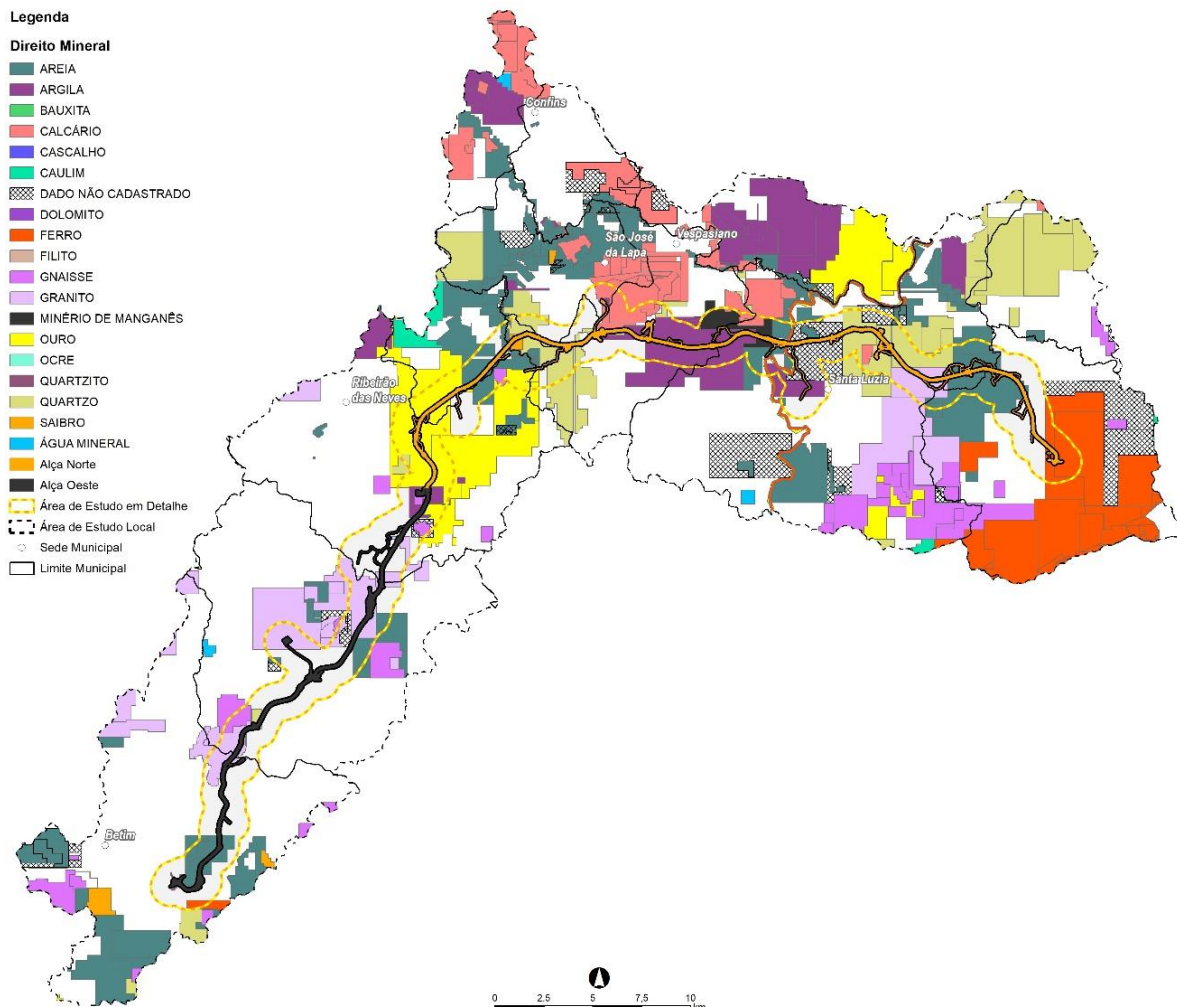


Figura 10.5-29 – Mapa das substâncias dos direitos minerários na AEL do empreendimento.
Fonte: ANM, 2023.

No que concerne a Área de Estudo em Detalhe (AED), do total dos 411 processos minerários destacados na AEL, 113 estão inseridos parcial ou totalmente na supracitada AED, e 56 são interceptados pelo traçado, acessos secundários ou por canteiros do Rodoanel Metropolitano BH. A descrição completa desses processos está no **ANEXO 12 – Quadro Direitos Minerários AEL** e o mapa com a distribuição dos processos minerários na AED, com a identificação de cada um deles, está no **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa dos Direitos Minerários da AED**.

A maior parte dos processos da AED, um total de 46 processos minerários (40,71%), encontra-se na fase de Autorização de Pesquisa. O restante dos direitos minerários está nas seguintes fases: 14 na fase de Concessão de Lavra (12,39%), 11 processos estão na fase de Requerimento de Pesquisa (9,73%), 10 na fase de Licenciamento (8,85%), 9 na fase de Disponibilidade (7,96%), 9 na fase Requerimento de Lavra (7,96%), 5 na fase de Requerimento de Licenciamento (4,42%), 4 na fase de Requerimento de Lavra Garimpeira (3,54%), 3 na fase de Direito de Requerer a Lavra (2,65%) e 2 na fase Apto para Disponibilidade (1,77%). O

Quadro 10.5-5 apresenta o resumo desses quantitativos mencionados.

Quadro 10.5-5 – Fase, número de processo e porcentagem dos processos minerários na AED.

FASE	NÚMERO DE PROCESSOS	PORCENTAGEM
AUTORIZAÇÃO DE PESQUISA	46	40,71
CONCESSÃO DE LAVRA	14	12,39
REQUERIMENTO DE PESQUISA	11	9,73
LICENCIAMENTO	10	8,85
DISPONIBILIDADE	9	7,96
REQUERIMENTO DE LAVRA	9	7,96
REQUERIMENTO DE LAVRA GARIMPEIRA	5	4,42
REQUERIMENTO DE LICENCIAMENTO	4	3,54
DIREITO DE REQUERER A LAVRA	3	2,65
APTO PARA DISPONIBILIDADE	2	1,77
TOTAL	113	100,00

Fonte: ANM, 2023.

As substâncias cadastradas na AED seguem a seguinte distribuição: 43 processos requeridos para areia (38,05%), 13 para granito (11,50%), 12 para quartzo (10,62%), 9 para gnaisse (7,96%), 8 para argila (7,08%), 8 dados não cadastrados (7,08%), 7 para calcário (6,19%), 4 para ferro (3,54%), 4 para ouro (3,54%), 4 para saibro (3,54), 1 para minério de manganês (0,88%).

O **Quadro 10.5-6** traz todas as substâncias requeridas na AED, com a porcentagem relativa aos quantitativos dos processos minerários presentes.

Quadro 10.5-6 – Substância, número de processos e porcentagem dos direitos minerários da AED.

SUBSTÂNCIA	NÚMERO DE PROCESSOS	PORCENTAGEM
AREIA	43	38,05
GRANITO	13	11,50
QUARTZO	12	10,62
GNAISSE	9	7,96
ARGILA	8	7,08
DADO NÃO CADASTRADO	8	7,08
CALCÁRIO	7	6,19
FERRO	4	3,54
OURO	4	3,54
SAIBRO	4	3,54
MINÉRIO DE MANGANÊS	1	0,88
TOTAL	113	100,00

Fonte: ANM, 2023.

Para o presente diagnóstico, deve-se atentar para àqueles processos aptos à extração de substâncias, que já estejam em fase avançada de trâmite junto a ANM, tais como nas fases de Concessão de Lavra e de Licenciamento. Caso eles sejam interceptados pela ADA, poderá haver necessidade de tratativas de negociação junto aos seus titulares para que não haja impedimentos na implantação do empreendimento e que não tragam prejuízos para o titular da lavra em desenvolvimento. NA AED há 14 direitos minerários em fase de Concessão de Lavra, sendo quatro processos inseridos na ADA da Alça Norte e um na ADA da Alça Oeste. Em relação aos direitos minerários na fase de Licenciamento, foram registrados 10 processos na AED, em que três estão na ADA da Alça Norte. No **Quadro 10.5-7** estão listados os direitos minerários em “Concessão de Lavra” e “Licenciamento” na AED, destacando aqueles que estão inseridos na ADA.

Quadro 10.5-7 – Lista dos direitos minerários em concessão de lavra e licenciamento na AED.

PROCESSO	AREA_HA	FASE	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	MUNICÍPIO	ADA INTERCEPTADA
1119/1939	3610,83	CONCESSÃO DE LAVRA	GBM EMPREENDIMENTOS E NEGOCIOS LTDA	MINÉRIO DE FERRO	Santa Luzia	Alça Norte
31119/1939	508,55	CONCESSÃO DE LAVRA	P. C. Mineração Ltda	OURO	Santa Luzia	Alça Norte
832013/2009	46,14	CONCESSÃO DE LAVRA	AREAL DINIZ LTDA	AREIA	Vespasiano	Alça Norte
807349/1971	667,19	CONCESSÃO DE LAVRA	Ical Indústria de Calcinação Ltda.	CALCÁRIO	São José da Lapa/Vespasiano	Alça Norte (canteiro)
808200/1972	21,52	CONCESSÃO DE LAVRA	COMPANHIA CIMENTO PORTLAND ITAÚ	ARGILA	Betim	Alça Oeste
1338/1940	99,99	CONCESSÃO DE LAVRA	MINERACAO BELOCAL LTDA	CALCÁRIO	São José da Lapa	-
810837/1973	122,2	CONCESSÃO DE LAVRA	ENGEXPLO DESMONTE A EXPLOSIVOS LTDA	CALCÁRIO	Vespasiano/Santa Luzia	-
830024/1982	21,46	CONCESSÃO DE LAVRA	Construtora Martins Lanna Ltda.	GNAISSE	Contagem	-
830684/2016	49,61	CONCESSÃO DE LAVRA	Pema Beneficiamento de Minerios Ltda Epp	GNAISSE	Betim	-
830898/1991	40,65	CONCESSÃO DE LAVRA	Brasmic Mineração Areia e Brita Ltda	SAIBRO	Betim	-
830900/1991	42,88	CONCESSÃO DE LAVRA	Brasmic Mineração Areia e Brita Ltda	SAIBRO	Betim	-
831006/2014	49,47	CONCESSÃO DE LAVRA	Pema Beneficiamento de Minerios Ltda Epp	AREIA	Betim	-
831849/1985	267,62	CONCESSÃO DE LAVRA	MASSA FALIDA DE BRITADORA CONTAGEM LTDA	GNAISSE	Betim	-
831867/1987	45,38	CONCESSÃO DE LAVRA	Construtora Martins Lanna Ltda.	GRANITO	Betim	-
830098/2017	3,19	LICENCIAMENTO	MAD Mineração Ltda	AREIA	Ibirité	-
830708/2020	2,2	LICENCIAMENTO	CERAMICA E DRAGAGEM XAVIER LTDA ME	SAIBRO	Pedro Leopoldo	Alça Norte (acesso secundário)
831004/1998	42,6	LICENCIAMENTO	Maria de Lourdes Santos Costa Me	AREIA	Pedro Leopoldo	Alça Norte
831191/2004	2,2	LICENCIAMENTO	HELP PRESTADORA DE SERVICOS LTDA	AREIA	Contagem	-
831547/2005	49	LICENCIAMENTO	EXTRACAO DE AREIA NOGUEIRA LTDA	AREIA	Contagem	-
831677/2016	9,51	LICENCIAMENTO	MAD Mineração Ltda	AREIA	Vespasiano	-
832011/2016	23,57	LICENCIAMENTO	MATOS DINIZ EXTRACAO E COMERCIO DE AREIA LTDA	AREIA	Santa Luzia	-

PROCESSO	AREA_HA	FASE	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	MUNICÍPIO	ADA INTERCEPTADA
832841/2004	40,79	LICENCIAMENTO	MINERACAO COSTA DINIZ LTDA	AREIA	Pedro Leopodo	Alça Norte
833387/2013	49,61	LICENCIAMENTO	Pema Beneficiamento de Minerios Ltda Epp	GNAISSE	Betim	-
833436/2003	9,94	LICENCIAMENTO	Areia Diniz Extração e Comércio de Areia Ltda Me	AREIA	Ribeirão das Neves/Vespasiano	-

Fonte: ANM, 2023.

Na ADA da Alça Norte são interceptados quatro direitos minerários em fase de Concessão de Lavra. Os processos 1.119/1939 e 31.119/1939 foram requeridos para ferro pela GBM Empreendimentos e Negócios LTDA e para ouro pela P. C. Mineração, respectivamente. Ambos os direitos estão parcialmente inseridos no município de Santa Luzia, ao longo do leito e das margens do rio das Velhas, com áreas de 3610,83 ha (1119/1939) e 508,55 ha (31119/1939). Em consulta ao portal Jazida, constatou-se que as substâncias areia, cascalho, ouro e quartzo também foram cadastradas. Pelas imagens aéreas, não é possível identificar se há extração de recursos minerais nos processos na região do traçado. Já a Concessão de Lavra 832013/2009 consiste em um empreendimento de extração de areia, requerida pela Areal Diniz LTDA, com 46,14 ha, no município de Vespasiano (**Figura 10.5-30**). As visitas de campo e as imagens aéreas mostram que uma parte do areal está inserida no traçado do Rodoanel Metropolitano BH. Por fim, o processo ANM 807.349/1971 consiste em uma lavra de calcário da Ical Indústria de Calcinação Ltda, localizada nos municípios de São José da Lapa e Vespasiano, com área de 667,19 ha. No contexto da fase construtiva do rodoanel, haverá a implantação de um canteiro em uma pequena parte do direito minerário e fora da área da jazida.



Figura 10.5-30 – Concessão de lavra de areia ANM 832.013/2009 em Vespasiano. Ponto Amostral EMF – 124.

No que concerne a Alça Oeste, verifica-se o processo minerário 808200/1972 na fase de Concessão de Lavra. Sua poligonal se situa no fim da Alça Oeste, no entroncamento com a BR-262, no município de Betim. O direito minerário apresenta uma extensão de 21,52 ha e foi requerido para extração de argila pela Companhia de Cimento Portland Itaú. Pelas imagens aéreas não foi possível identificar nenhuma extração mineral nessa região do traçado.

Em relação aos licenciamentos minerais cadastrados na área do traçado, foram identificados três na Alça Norte. Os licenciamentos minerários 831004/1998 e 832.841/2004 foram cadastrados para extração de areia, por Maria de Lourdes Santos Costa e pela Mineração Costa Diniz LTDA, respectivamente. Ambos estão localizados próximos ao ribeirão Areias em Pedro Leopoldo, com cerca de 40 ha cada. Aparentemente, apenas o processo minerário 831004/1998 (**Figura 10.5-31**) apresenta areia sendo extraída na região do traçado. Já o processo minerário 830.708/2020 foi requerido para exploração de saibro, com extensão de 2,2 ha também situado em Pedro Leopoldo.



Figura 10.5-31 – Imagem aérea destacando área de extração de areia na região do processo minerário 831004/1998 em Pedro Leopoldo. Ponto Amostral EMF – 016.

Com base no que foi exposto, reitera-se que esses processos minerários nas fases mais avançadas, de Concessão de Lavra e Licenciamento, que cortam o traçado do Rodoanel Metropolitano BH, requererem acompanhamento e tratativas específicas junto aos seus titulares para que os possíveis conflitos de interesse existentes entre as atividades minerárias e a própria implantação do empreendimento sejam avaliados, alinhados e sanados, de acordo com as leis vigentes.

10.6 Geomorfologia

10.6.1 Metodologia

A Geomorfologia compreende o estudo das formas de relevo e paisagem, de forma a possibilitar a análise e compreensão dos processos que moldaram e moldam a superfície terrestre, observando a evolução dos relevos e estruturas, bem como as interações entre os diversos fatores que influenciam na sua dinâmica. Para que o estudo das formas de relevo se dê de forma integral, leva-se em consideração três abordagens sistematizadas que compõem todo o contexto da análise geomorfológica, a saber: compartimentação morfológica, levantamento da estrutura superficial e estudo da fisiologia da paisagem. A Geomorfologia é capaz de unir as formas da paisagem, realizando análise com temas relacionados ao meio físico, principalmente, geologia, hidrografia e pedologia.

Para a caracterização das unidades geomorfológicas da Área de Estudo Regional (AER) do empreendimento, foram utilizadas as delimitações geomorfológicas definidas pelo Manual de Geomorfologia do IBGE (2009). O Manual define os Domínios Morfoestruturais como aqueles que ocorrem em escala regional e organizam os fatos geomorfológicos pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas. Esses fatores, sob efeitos climáticos variáveis ao longo do tempo geológico, geraram amplos conjuntos de relevos com características próprias, cujas feições, embora diversas, guardam, entre si, as relações comuns com a estrutura geológica a partir da qual se formaram (IBGE, 2009).

As Unidades Geomorfológicas são definidas como um arranjo de formas altimétricas e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados. Os conjuntos de formas de relevo que compõem as unidades constituem compartimentos identificados como planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, patamares, planaltos e serras (IBGE, 2009).

No contexto da Área de Estudo Local (AEL) foram elaborados mapas hipsométricos e de declividade utilizando o Modelo Digital de Elevação ALOS-PALSAR, de resolução 12,5 metros. Nas visitas de campo, foram descritos os principais aspectos morfológicos, morfométricos e os processos morfodinâmicos associados aos Domínios Morfoestruturais da área.

10.6.2 Geomorfologia da Área de Estudo Regional

A AER compreende quatro domínios morfoestruturais subdivididos em suas respectivas unidades geomorfológicas. O Mapa Geomorfológico está contido no **ANEXO 1 – Caderno de Mapas Mapa Geomorfológico**, enquanto o **Quadro 10.6-1** traz a porcentagem de cada uma das unidades geomorfológicas presentes na Área de Estudo Regional (AER) em tela.

Quadro 10.6-1 – Geomorfologia da AER.

DOMÍNIO MORFOESTRUTURAL	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	% DA ÁREA DE ESTUDO REGIONAL
Cinturões Móveis Neoproterozóicos	Serras do Espinhaço Meridional	1,9%
	Patamares do Espinhaço	0,5%
Corpo d'água continental	Corpo d'água continental	0,3%
Crátons Neoproterozóicos	Patamares de Belo Horizonte	36,9%
	Serras do Quadrilátero Ferrífero	25,7%
	Depressão do Alto Rio São Francisco	21,2%
	Planalto de Oliveira	9,2%
	Serranias de Pará de Minas	3,5%
	Depressões Interiores do Espinhaço	0,8%
Depósitos Sedimentares Quaternários	Planícies e Terraços Fluviais	0,1%

Fonte: IBGE, 2009.

Conforme pode ser observado no **Quadro 10.6-1** aproximadamente 97% da AER está inserida no domínio morfoestrutural Cráton Neoproterozóico, sendo representado, majoritariamente, pelas unidades geomorfológicas Patamares de Belo Horizonte (545), Serras do Quadrilátero Ferrífero (525) e Depressão do Alto Rio São Francisco (519). As unidades geomorfológicas identificadas na AER são descritas a seguir.

10.6.2.1 Cinturões Móveis Neoproterozóicos

Este domínio morfoestrutural é caracterizado por extensas áreas representadas por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas formadas em terrenos que sofreram intensa atividade tectônica, como dobramentos e falhamentos, incluindo principalmente metamorfitos e granitoides associados (IBGE, 2009).

10.6.2.1.1 Serras do Espinhaço Meridional

Esta unidade abrange vasto conjunto de relevos serranos e elevadas superfícies estruturais com disposição preferencial sul-norte, incorporando-se a ela os blocos destacados das serras do Cabral e do Bicudo. Do ponto de vista altimétrico, a unidade posiciona-se quase sempre acima de 1.000 m de altitude, atingindo eventualmente cotas superiores a 2.000 m. Na Serra do Espinhaço propriamente dita predominam modelados de dissecação estrutural e modelados de dissecação diferencial, refletindo o estreito relacionamento das feições do relevo com as litologias metassedimentares integrantes de cobertura de caráter plataformal intensamente tectonizada e que teria evoluído no sentido de um maciço antigo, rejuvenescido em decorrência de esforços epirogenéticos posteriores. Registram-se ainda residuais de superfície de aplanamento em situação de cimeira, truncando coberturas detrítico-lateríticas terciário-quadernárias sobrepostas aos metassedimentos; são definidas no mapa como setores de pediplano retocado inumado a oeste de Diamantina.

A importante falha inversa que define a parte frontal da Serra do Espinhaço caracteriza um escarpamento de natureza escalonada adaptado à falha, compondo paredões desnudos e esporões acentuados que esfacelam os dobramentos das bordas da estrutura.

Sobre os altos planos estruturais do Espinhaço torna-se possível distinguir três tipos de relevos residuais: a) blocos rochosos reunidos; b) residuais com 10 a 20 m de altura, com vertentes descascadas assemelhando-se aos "dorsos de baleia"; c) residuais com mais de 20 m de altura, representando formas tipo inselbergs. Esta unidade está localizada na região nordeste da AER.

Os modelados presentes na AER são caracterizados como de dissecação estrutural de topos aguçado, convexo e tabular, ocorrendo também o modelado de aplanamento pediplano retocado desnudado.

Os modelados de dissecação estrutural são marcados por evidente controle estrutural, em rochas muito deformadas, caracterizados por inúmeras cristas, vales e sulcos estruturais, comumente encontrados em rochas metamórficas. As formas de topo aguçado apresentam relevo de topos estreitos e alongados, de aparência aguçada e que são esculpidas em rochas de embasamento cristalino, definidas por vales encaixados. Já as formas de topo convexo são esculpidas em rochas ígneas e metamórficas e eventualmente em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural, sendo caracterizadas por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem. Os modelados de dissecação estrutural apresentam média densidade de drenagem e muito fraco a médio aprofundamento das incisões.

Os modelados de aplanamento pediplano retocado desnudado apresentam superfície de aplanamento elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão, sem, no entanto, perder suas características de aplanamento, cujos processos geram sistemas de planos inclinados, às vezes levemente côncavos. Pode apresentar cobertura detrítica e/ou encouraçamentos com mais de 1,0 metro de espessura, indicando rochas pouco alteradas truncadas pelos processos de aplanamento que desnudaram o relevo. Ocorre nas depressões pediplanadas interplanálticas e periféricas tabuliformes e no sopé de escarpas que dominam os níveis de erosão inferiores e eventualmente nos topos de planaltos e chapadas ao longo dos vales.

10.6.2.1.2 Patamares do Espinhaço

Essas feições são caracterizadas por cânions e escarpas no contato dos patamares com o vale do São Francisco, desde a área a sudeste de Guanambi até riacho de Santana. Sua altimetria varia dos 700 a 900 m, com pontos cotados alcançando 965 m, sendo o relevo geralmente colinoso com setores de topos aplanados. O padrão estrutural é marcado por falhas e basculamentos responsáveis por importantes

feições de relevo (IBGE, 2009). Esta unidade está localizada em uma pequena região da AER, localizada no extremo nordeste da área.

Os modelados presentes nessa unidade são de dissecação homogênea ou diferencial de topo tabular, que são caracterizadas predominantemente por colinas, morros e interflúvios tabulares, que é definida pela combinação das variáveis formas de topo, densidade de drenagem e aprofundamento das incisões. As formas de topo tabulares delineiam feições de rampas inclinadas e lombadas, esculpidas em rochas sedimentares e do embasamento cristalino, denotando, eventualmente, controle estrutural. Em geral, são definidos por vales rasos, apresentando vertentes de pequena e média declividade (IBGE, 2009). O modelado de dissecação homogênea de topo tubular identificado na área é classificado por média a grosseira densidade de drenagem e muito fraco aprofundamento das incisões.

10.6.2.2 Crátons Neoproterozóicos

Este domínio morfoestrutural caracteriza-se por planaltos residuais, chapadas e depressões interplanálticas, tendo como embasamento metamorfitos e granitoides associados e incluindo como cobertura rochas sedimentares e/ou vulcano-plutonismo, deformados ou não (IBGE, 2009).

10.6.2.2.1 Patamares de Belo Horizonte

A unidade geomorfológica Patamares de Belo Horizonte é descrita por Barbosa e Rodrigues (1965), como depressão do tipo periférica, correspondendo aos trechos de formas colinosas desenvolvidas entre a borda setentrional das estruturas pré-cambrianas do Quadrilátero Ferrífero e da Bacia Sedimentar do São Francisco, sendo caracterizada por vales pouco profundos, apresentando vertentes de declividade suave, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem em rochas granito-gnáissicas.

Constitui uma área de transição entre as colinas côncavo-convexas, com vertentes não muito íngremes e pontões graníticos, localmente aflorantes, recobertos de vegetação da Mata Atlântica, e as Chapadas Sedimentares do São Francisco, com vegetação de Cerrado.

A altimetria desta unidade varia em torno de 900 m, litologicamente a área é constituída de rochas granito-gnáissicas do Granitoide Divinópolis (Pré-Cambriano), de tonalidades predominantemente claras, e que evoluíram para um manto regolítico vermelho-alaranjado típico de solos lateríticos (IBGE, 2009).

Os modelados identificados na AER é de dissecação homogênea de topos aguçado, convexo e tabular, que apresentam variação de muito fina a grosseira densidade de drenagem e muito fraco a médio aprofundamento das incisões. Também ocorre na área o modelado de aplanamento retocado inumado.

10.6.2.2.2 Serras do Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero representa um conjunto de serras elevadas subentendendo uma área central dissecada topograficamente deprimida. Suas altitudes são sempre superiores a 800 m, com cotas mais elevadas alcançando valores superiores a 2.000 m, como na Serra do Caraça. Tem sido considerado um prolongamento meridional do Espinhaço, com características muito mais complexas que as seções central e setentrional daquele sistema montanhoso.

Conforme Barbosa e Rodrigues (1965), essa unidade é caracterizada por serras de substrato metassedimentar do Supergrupo Rio das Velhas e do Supergrupo Minas, sendo observada a composição por relevo do tipo *hogback*, um relevo escarpado formado por mergulho das camadas metassedimentares superior a 45°. No centro da unidade geomorfológica, o relevo é mais homogêneo, com morros e colinas

suaves. Em suas formações superficiais, é possível observar o aparecimento de coberturas detrítico-lateríticas com concreções ferruginosas, denominadas de cangas.

Dorr (1969) sintetizou as características fisiográficas do Quadrilátero Ferrífero em “picos altos e acidentados, longas cadeias de montanhas em hogback, platôs elevados, alguns cânions profundos e suaves vales abertos”. Ao classificar os principais rios da região como antecedentes, o autor reconheceu a superimposição fluvial sobre a estrutura geológica, destacando a ocorrência de piratarias fluviais e *water gaps*. Ele também frisou o contraste entre segmentos suaves e entrincheirados ao longo da calha do rio das Velhas.

Os modelados presentes na AER são de dissecação estrutural de topos aguçado e convexo, que apresentam fina a grosseira densidade de drenagem e fraco a muito forte aprofundamento das incisões; bem como modelados de dissecação homogênea de topos convexo e tabular, com grosseira e fina densidade de drenagem e fraco a médio aprofundamento das incisões.

10.6.2.2.3 Depressão do Alto Rio São Francisco

A unidade geomorfológica Depressão do Alto Rio São Francisco é drenada por afluentes do São Francisco, sendo eles: rios Pará, Paraopeba, Velhas, Abaeté, Verde Grande, Paracatu e Uruçuia. Possui longos trechos desses rios orientados por fraturas, responsáveis em parte pelo recuo local dos contrafortes das Chapadas do São Francisco, constituindo o piso regional com altitudes que variam, do Sul para Norte, de 750 a 420 m.

Dois tipos de modelados são dominantes, sendo que o primeiro se refere aos aplanamentos retocados inumados, que correspondem a um nível de aplanamento intermediário entre os Patamares Ocidentais do Espinhaço e as superfícies da Depressão do Médio São Francisco, e o segundo tipo corresponde ao nível dissecado que adentra pelo aplanamento, deixando localmente áreas de aplainamentos retocados inumados bastante recortadas e representando o nível altimétrico mais elevado da unidade. Esta unidade está presente na região norte da AER, abrangendo parte da Alça Norte do traçado do Rodoanel Metropolitano BH.

Os modelados identificados na AER são de dissecação homogênea de topo tabular e convexo, que apresentam densidade de drenagem que variam de fina a grosseira densidade de drenagem e muito fraco a médio aprofundamento das incisões. Há também, na AER, modelados de dissolução carste descoberto e de aplanamento pediplano retocado inumado.

Os modelados de dissolução carste descobertos, que se apresentam como um conjunto de formas de dissolução originadas em superfície ou descobertas por erosão de coberturas preexistentes.

Os modelados de aplanamento pediplano retocado inumado podem apresentar cobertura detrítica e/ou encouraçamentos com mais de um metro de espessura, indicando remanejamentos sucessivos.

10.6.2.2.4 Planalto de Oliveira

A unidade geomorfológica Planalto de Oliveira localiza-se no sul do estado de Minas Gerais e tem seus limites aproximados nas cidades de Moeda, a leste, Arcos, a oeste, Araújos, a norte, e Ibituruna, a sul.

É caracterizada por um relevo predominantemente suave, em geral composto por morros e colinas de topo convexos. Em suas formações superficiais, verifica-se pequenas planícies e terraços embutidos, associados a rampas de colúvio e alúvio-colúvio.

Em geral, a unidade possui altitudes que variam entre 800 e 1.200m, sendo que o seu interior possui uma larga faixa onde as altitudes superam os 1.000m. O padrão de drenagem predominante na unidade é o dendrítico, sendo que variações do padrão retangular podem ser encontradas localmente, onde existe um maior controle estrutural.

As litologias predominantes na unidade são granitos, granitoides, gnaisses granulíticos e migmatitos do Complexo Lavras; tonalitos e granitos do Complexo Divinópolis; gnaisses do Complexo Bonfim; tonalitos, granitos e granodioritos da Suíte Alto Maranhão; xistos, metagrauvas e rochas metamáficas do Grupo Nova Lima; dentre outras litologias de menor expressão. Esta unidade está presente no extremo sudoeste da AER.

Na AER, os modelados identificados são de dissecação homogênea de topos aguçado e convexo, que apresentam densidades de drenagem que variam entre fina a grosseira e fraco a forte aprofundamento das incisões.

10.6.2.2.5 Serranias de Pará de Minas

As Serranias de Pará de Minas estão localizadas no centro-sul do estado de Minas Gerais, onde se localiza a cidade homônima de Pará de Minas (MG), e constituem um conjunto de serras que apresentam altitudes que variam entre 700 e 1200 m, aproximadamente.

As feições de relevo são caracterizadas por modelados de dissecação diversos, podendo apresentar topo aguçados, convexos ou tabulares e o padrão de drenagem predominante na unidade é o dendrítico, porém muitas vezes associado a padrões mais retangulares, em razão da influência das estruturas geológicas no relevo.

Na AER, os modelados identificados são de dissecação homogênea de topos aguçado, convexo e tabular, que apresentam densidade de drenagem que variam de fina a grosseira e muito fraco a médio aprofundamento das incisões. Há também a ocorrência do modelado de aplanamento pediplano degradado inumado. Esta unidade está localizada no extremo oeste da AER.

Os modelados de aplanamento pediplano degradado inumado apresentam superfície de aplanamento parcialmente conservada, tendo perdido a continuidade em consequência de mudança do sistema morfogênético. Geralmente, se apresenta conservada ou pouco dissecada e/ou separada por escarpas ou ressaltos de outros modelados de aplanamento e de dissecação correspondentes aos sistemas morfogênicos subsequentes. Aparece frequentemente mascarada, recoberta por coberturas detríticas e/ou de alteração, constituídas de couraças e/ou Latossolos. Ocorre nos topos de planaltos e chapadas, dominados por residuais ou dominando relevos dissecados.

10.6.2.2.6 Depressões Interiores do Espinhaço

Esta unidade apresenta-se como dois compartimentos topograficamente rebaixados embutidos respectivamente nos maciços e nas cristas e barras estruturais das Unidades Serras do Espinhaço Central e Serras do Espinhaço Meridional e contactando com os Patamares do Espinhaço.

Ambas as depressões mostram características morfológicas bem definidas e diferenciadas entre si, mas são estruturalmente correlacionadas pelo fato de representarem exposições, a partir de inversão do relevo, das rochas cristalinas das raízes dos dobramentos que afetaram os metassedimentos sobrejacentes.

Caracterizam-se por uma "superfície de aplanamento inumada que trunca camadas de metassedimentos dobrados do Supergrupo do Espinhaço e rochas graníticas do Pré-Cambriano", resultando em "topos

aplanados e de rampas convergentes, formando áreas embaciadas que encerram depressões fechadas". Esta unidade está localizada no extremo nordeste da AER.

O modelado identificado na AER é de dissecação estrutural de topo convexo, caracterizado como de fina densidade de drenagem e fraco aprofundamento das incisões.

10.6.2.3 Depósitos Sedimentares Quaternários

Esse domínio morfoestrutural é constituído pelas áreas de acumulação representadas pelas planícies e terraços de baixa declividade e, eventualmente, depressões modeladas sobre depósitos de sedimentos horizontais a sub-horizontais de ambientes fluviais, marinhos, fluviomarinhos, lagunares e/ou eólicos, dispostos na zona costeira ou no interior do continente (IBGE, 2009).

10.6.2.3.1 Planícies e Terraços Fluviais

As planícies e terraços fluviais incluem várzeas e terraços aluviais elaborados em depósitos sedimentares holocênicos. Ocorrem principalmente ao longo dos principais rios, onde se apresentam como trechos descontínuos de planície fluvial. Ocorrem feições como diques arenosos, lagos de barramento, bacias de decantação, canais anastomosados e trechos de talvegues retelinizados por fatores estruturais (IBGE, 2009).

Os leitos dos rios são balizados por cordões arenosos e, na época de seca, formam barrancos íngremes. Trechos de planícies podem ter o aspecto de veredas com bordas arenosas e substrato turfoso, assinaladas por renque arbustivo incluindo palmeiras.

Na AER, essa unidade é caracterizada pela presença de modelados de acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior, entalhada devido às mudanças de condições de escoamento e conseqüente retomada de erosão. Ocorre nos vales contendo aluviões finos a grosseiros, pleistocênicos e holocênicos.

Esses modelados de acumulação, muitas vezes, coalescem com as rampas coluviais que suavizam as encostas dos tabuleiros e modelados de dissecação ou os planos pedimentados componentes do piso das depressões interplanálticas.

10.6.3 Hipsometria e Declividade da Área de Estudo Local

A hipsometria e a declividade são duas características essenciais para compreender a forma e relevo, de forma a facilitar a identificação de áreas críticas, no que se refere à possibilidade de deslizamentos de encostas, de erodibilidade, análises de terreno para definição do planejamento de obras, traçados de perfis ecodinâmicos da paisagem, entre outros. Nesse sentido, foram confeccionados mapas hipsométricos e de declividade da AEL, visando a caracterização fisiográfica do empreendimento e das principais unidades geomorfológicas associadas.

Em relação a hipsometria, ambas as alças do Rodoanel Metropolitano de BH apresentam cotas entre 660 e 900 metros. De acordo com o **Anexo 13 - Diretrizes Ambientais** referente à documentação da Concorrência Internacional nº 001/2022 do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, são observadas similaridades nas características de relevo e solo da região de ambas as alças, devido a elas estarem inseridas basicamente em um mesmo ambiente geológico, que contempla o Complexo Belo Horizonte e se aproxima da região cárstica, representada pela APA Carste de Lagoa Santa. As altitudes mais elevadas da AEL encontram-se a sudeste da extremidade leste da Alça Norte, na Unidade Geomorfógica da Serras

do Quadrilátero Ferrífero. As cotas na região variam em média entre 850 e 1250 metros, sendo que as altitudes mais altas chegam próximas aos 1720 metros na região da serra da Piedade. Essas grandes elevações são sustentadas pelas rochas quartzíticas, itabiritos e cangas das unidades do Quadrilátero Ferrífero, enquanto, de maneira geral, os xistos e filitos predominam nas cotas intermediárias e os gnaisses do Complexo Belo Horizonte nas cotas mais baixas. As porções mais rebaixadas da AEL ocorrem nas planícies de inundação do rio das Velhas, a aproximadamente 650 metros. O curso d'água apresenta traçado meandrante de orientação aproximada NS e, secciona a porção central da Alça Norte. O Mapa de Hipsometria da AEL encontra-se na **Figura 10.6-1**.

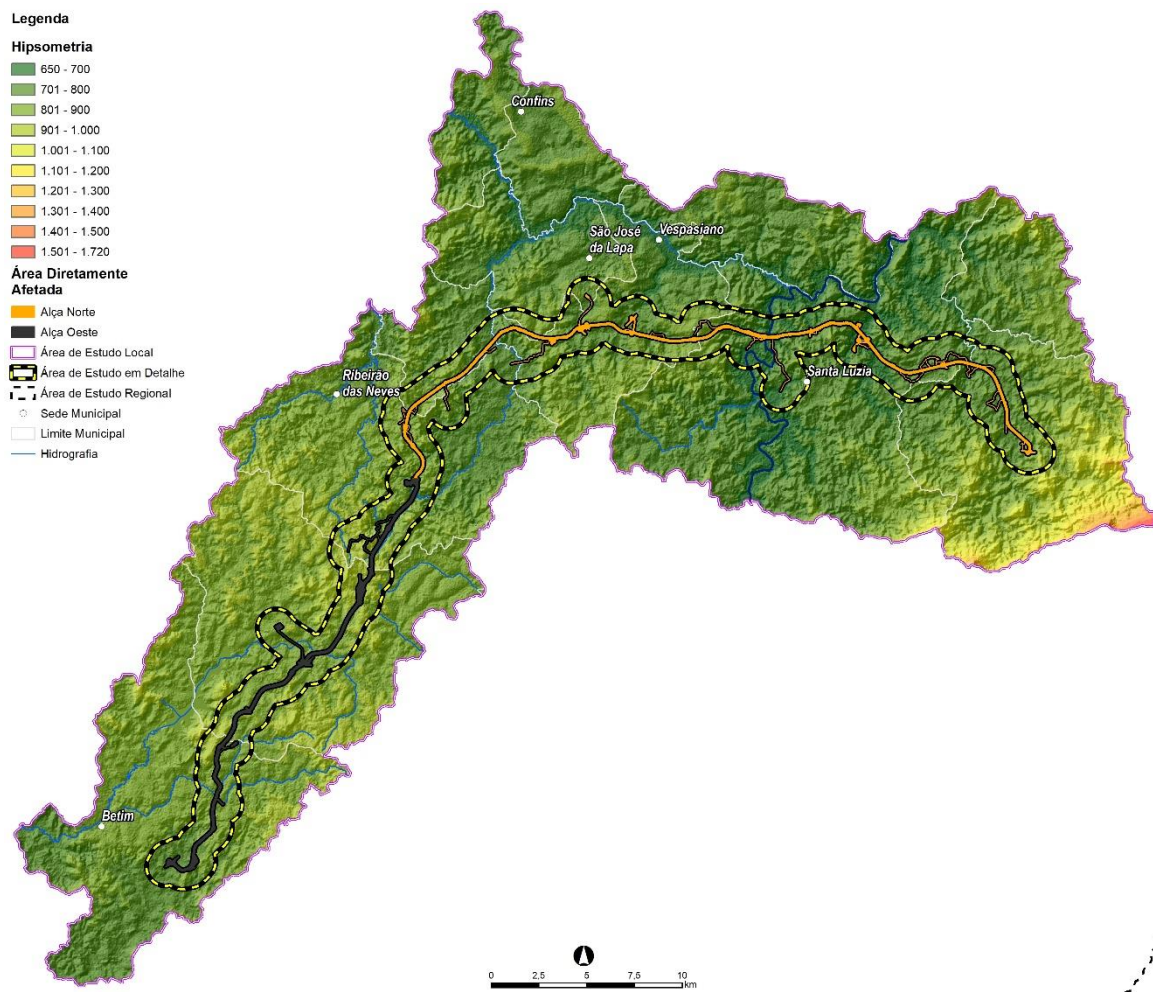


Figura 10.6-1 – Hipsometria da Área de Estudo Regional do empreendimento.

Para a caracterização da declividade da AEL, foram atribuídas seis classes de relevo distintas, e calculados o seu percentual de ocorrência (**Quadro 10.6-2**).

Quadro 10.6-2 - Classificação de Declividades e suas respectivas porcentagens na Área de Estudo Local.

DECLIVIDADE	CLASSE DE RELEVO	PORCENTAGEM (%)
0 - 3%	Plano	2,73%
3 - 8%	Suave Ondulado	18,37%
8 - 20%	Ondulado	46,12%
20 - 45%	Forte Ondulado	30,55%
45 - 75%	Montanhoso/Escarpado	2,15%
>75%	Escarpado	0,08%

A maior parte da AEL é formada por relevos ondulados e forte ondulados com 46,12% e 30,55%, respectivamente. As áreas de relevo suave ondulado e plano correspondem a 18,37% e 2,83%, respectivamente, se concentrando ao longo das principais planícies aluviais da área, com destaque para o rio das Velhas e os ribeirões da Mata e Areias. Esses valores são superestimados pela cota do nível d'água da barragem de Vargem das Flores, que também são classificadas como áreas planas. Por fim, os relevos montanhoso/escarpado e escarpado compõem 2,23% da área e se concentram nas escarpas da serra do Curral e nos em encostas dissecadas. A **Figura 10.6-2** mostra a distribuição das diferentes classes de relevo da AEL.

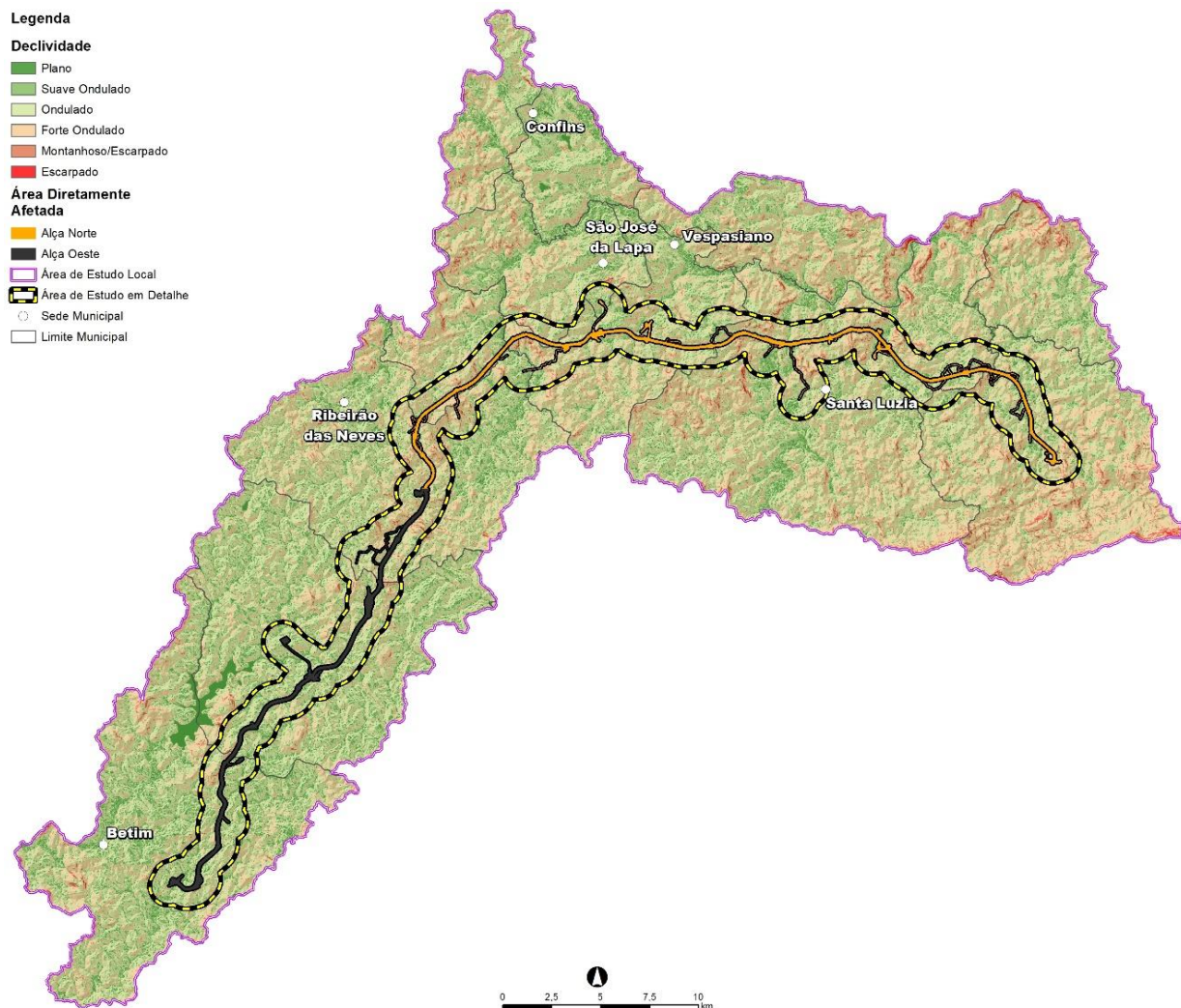


Figura 10.6-2 – Declividade da Área de Estudo Local do empreendimento.

Ainda de acordo com o **Anexo 13 - Diretrizes Ambientais** as alças Oeste e Norte do traçado estão inseridas em um robusto compartimento geomorfológico na região do Alto São Francisco, drenado pelo rio Paraopeba e pelo rio das Velhas, às margens do Quadrilátero Ferrífero. De maneira geral o empreendimento está inserido em um molde de baixas declividades com as áreas mais planas junto aos cursos d'água, enquanto as mais declivosas estão localizadas nos interflúvios.

Na ADA há um predomínio significativo do relevo Ondulado em ambas as alças com 47,98% de ocorrência na Alça Norte e 52,46% na Alça Oeste. Em relação ao relevo Forte Ondulado há uma maior incidência na

Alça Norte, com 33,89%, do que na Alça Oeste, 22,61%. O relevo Suave Ondulado ocorre em 15,62% da Alça Norte e em 21,63% da Alça Oeste e, o relevo Plano corresponde a 1,67% da Alça Norte e 2,61% da Alça Oeste. Por fim, as declividades superiores a 45% ocorrem de forma irrisória na ADA com 0,85% na Alça Norte e 0,69% na Alça Oeste enquanto o relevo Escarpado corresponde a apenas 0,01% da Alça Oeste. A **Figura 10.6-3** apresenta o gráfico com a distribuição da porcentagem das declividades da ADA.

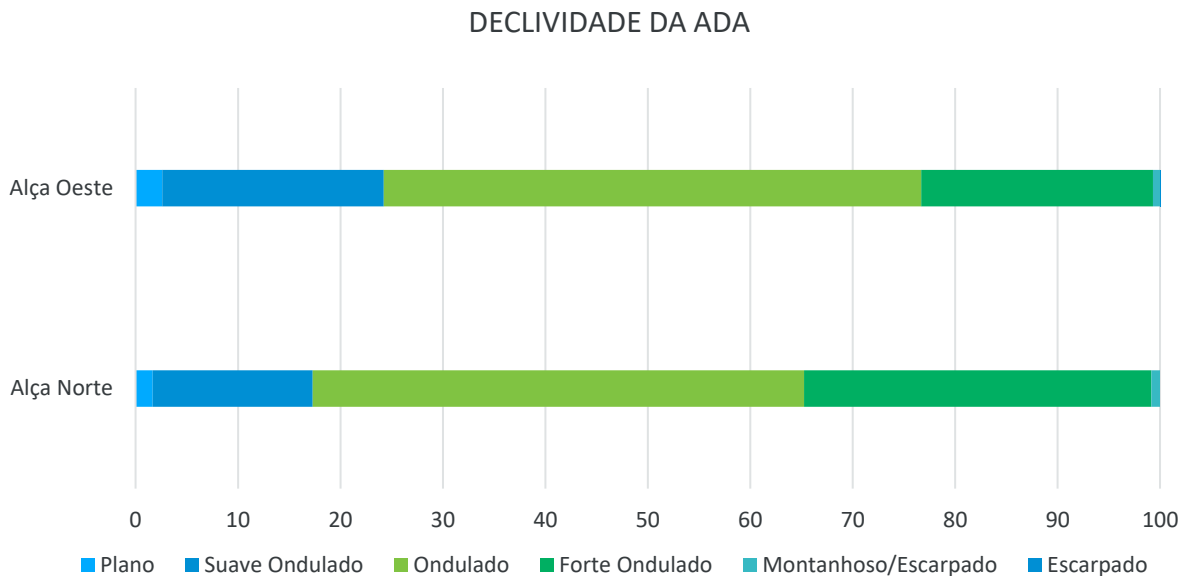


Figura 10.6-3 – Gráfico com a distribuição da porcentagem dos relevos na ADA das alças do Rodoanel Metropolitano BH.

10.6.4 Geomorfologia da Área de Estudo Local

O contexto da geomorfologia da Área de Estudo Local (AEL) se articula sob três unidades geomorfológicas pertencentes ao domínio morfoestrutural Crátons Neoproterozóicos. O mapa contendo as unidades geomorfológicas da AEL está disponível na **Figura 10.6-4**.

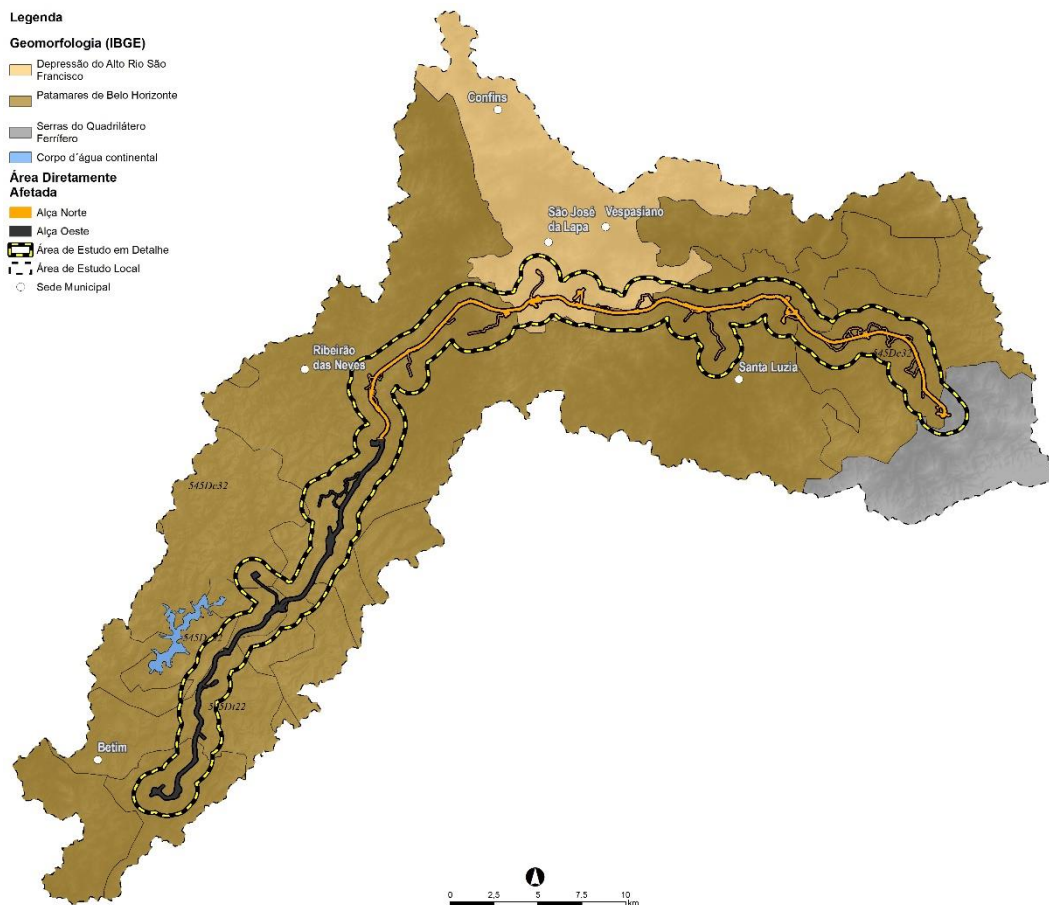


Figura 10.6-4 – Mapas das unidades geomorfológicas da AEL.

A Unidade Geomorfológica da Serras do Quadrilátero Ferrífero ocorre nos limites leste da AEL, na região de ocorrência da província mineral homônima. Os Patamares de Belo Horizonte cobrem a maior parte da área e ocorrem associados aos ortognaisses do Complexo Belo Horizonte. A Depressão do Alto Rio São Francisco se associa às rochas do Grupo Bambuí no norte da poligonal. O **Quadro 10.6-3** mostra o quantitativo das áreas e porcentagens das unidades geomorfológicas da AEL.

Quadro 10.6-3 - Área e porcentagem das unidades geomorfológicas da AEL.

UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	ÁREA (ha)	PORCENTAGEM (%)
Depressão do Alto Rio São Francisco	12.556,62	12,60%
Patamares de Belo Horizonte	80.421,65	80,73%
Serras do Quadrilátero Ferrífero	6.240,40	6,26%
Corpo d'água continental	399,75	0,40%
Total Geral	99.618,42	100,00%

10.6.4.1 Unidade Patamares de Belo Horizonte

Os Patamares de Belo Horizonte representam a unidade de maior extensão da AEL ocupando 80,73% da área total. A unidade ocorre em ambas as alças, se associa aos ortognaisses e granitoides associados do Complexo Belo Horizonte e ocorre entre as Serras do Quadrilátero Ferrífero e a Depressão do Alto Rio São Francisco.

O relevo da unidade é predominantemente forte ondulado a ondulado, com morros de aparência convexa mamelonar do tipo mares de morro e pontões graníticos localmente aflorantes (**Figura 10.6-5** e **Figura 10.6-6**). As maiores altitudes ocorrem próximas às Serras do Quadrilátero Ferrífero e podem superar os 1.210 metros. Já as cotas mais baixas, com valores em torno de até 660 metros, estão associadas às planícies aluvionares do rio das Velhas.



Figura 10.6-5 – Imagem Aérea de drone de morros de aparência convexa mamelonar dos Patamares de Belo Horizonte na região da Alça Oeste, visada para NE. Ponto Amostral EMF – 024.



Figura 10.6-6 – Imagem Aérea de drone de morros de aparência convexa mamelonar dos Patamares de Belo Horizonte, na região da barragem de Vargem das Flores. Ponto Amostral EMF– 024.

10.6.4.2 Unidade Serras do Quadrilátero Ferrífero

Essa unidade corresponde a 6,26% da AEL, ocorrendo a sudeste do limite leste da Alça Norte (**Figura 10.6-7**). Sua área de ocorrência se estende paralelamente as cristas da serra do Curral com orientação N50W. As cotas variam em média entre 850 m e 1250 m, sendo que na região da serra da Piedade as altitudes chegam em torno dos 1720 m.

A morfologia da serra do Curral é intensamente influenciada pelos aspectos litoestruturais. As cristas são assimétricas, com camadas litológicas que mergulham para SE, com vertentes íngremes com declividades superiores a 50° e paredões subverticais. A linha de cumeada é sustentada pelos itabiritos da Formação Cauê e pelas carapaças de canga que preservam a parte residual da serra (**Figura 10.6-8**).

Entre as cristas mais elevadas da serra e os Patamares de Belo Horizonte ocorre uma zona transicional formada por patamares e esporões. Essas feições são resultadas da erosão diferencial onde os patamares correspondem às rochas menos resistentes (filitos e dolomitos) e os esporões se associam às litologias mais resistentes (quartzitos).



Figura 10.6-7 – Imagem Aérea de drone da região da serra da Piedade, visada para SE. Ponto Amostral EMF – 075.



Figura 10.6-8 – Imagem da região da serra da Piedade, visada para NE, morros sustentados por itabiritos e cangas. Ponto Amostral EMF – 067B.

10.6.4.3 Depressão Alto Rio São Francisco

A Depressão Alto Rio São Francisco ocorre no norte da área, na região de ocorrência do Grupo Bambuí, com 12,60% da extensão total. A unidade é caracterizada por morros suavizados com baixas vertentes associados com colinas convexas e relevos fortemente ondulados a escarpados associados aos pelitos da Formação Serra de Santa Helena. As variações altimétricas vão de 670 a 840 metros, em média. Nas regiões da Formação Sete Lagoas, onde há o predomínio de rochas carbonáticas, ocorre o desenvolvimento do relevo cárstico com presença de cavidades, dutos, dolinas e torres de calcário (**Figura 10.6-9** e **Figura 10.6-10**). No entanto, na região da ADA, o relevo encontra-se pediplanizado com o desenvolvimento de argissolos.



Figura 10.6-9 – Imagem Aérea de drone de morros suavizadas da Depressão do Alto São Francisco, visada para NW. Ponto Amostral EMF – 162.



Figura 10.6-10 – Imagem Aérea de drone de encostas escarpadas da Depressão do Alto São Francisco, visada para W. Ponto Amostral EMF – 090.

10.7 Pedologia e Aptidão Agrícola

10.7.1 Metodologia

A caracterização pedológica integral envolve a delimitação dos horizontes e camadas com identificação e registro de suas características morfológicas individualmente, definindo a transição entre os referidos horizontes e camadas, profundidade, espessura, coloração, textura, estrutura, consistência e outros atributos mais específicos. Além de observações de campo são realizadas análises laboratoriais para complementação de sua caracterização.

A delimitação e caracterização dos diferentes tipos de solo para a Área de Estudo Regional (AER) foram realizadas por meio de pesquisa bibliográfica (dados secundários), abrangendo a área delimitada, que resultou na elaboração do Mapa Pedológico, na escala 1:250.000, que é apresentado no **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pedológico**. A caracterização dos solos segue as diretrizes e padrões do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018), que apresenta níveis categóricos de classificação. Adicionalmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos e documentos técnicos relacionados ao tema em questão, para complementação de informações técnicas.

Para a Área de Estudo Local (AEL), foram feitas descrições de perfis de solo identificados durante as campanhas de campo, para cada unidade pedológica. As descrições contêm informações referentes à cor, textura e granulometria desses materiais. Por fim, também foram feitas análises da aptidão agrícola e da vulnerabilidade pelo uso do solo na AEL. A metodologia utilizada está descrita nos tópicos referentes a esses assuntos.

10.7.2 Pedologia da Área de Estudo Regional

Conforme ilustrado no **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pedológico**, os solos dominantes na AER são o Argissolo Vermelho (PV), Cambissolo Háplico (CX), Latossolo Vermelho (LV) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA). Entretanto, também foram identificados o Plintossolo Pétrico (FF), Gleissolo Háplico (GX), Neossolo Litólico (RL) e os Afloramentos de Rochas.

Quadro 10.7-1 – Percentual das unidades pedológicas identificadas na Area de Estudo Regional.

TIPO DE SOLO	ÁREA (ha)	PORCENTAGEM (%)
Áreas Urbanizadas	83.062,99	6,85%
AR - Afloramentos de Rochas	18.018,72	1,49%
Corpos d' água continental	3.192,37	0,26%
CX - Cambissolo Háplico	243.254,48	20,07%
FF - Plintossolo Patrico	21.611,87	1,78%
GX - Gleissolo Háplico	5.820,13	0,48%
LV - Latossolo Vermelho	240.621,85	19,85%
LVA - Latossolo Vermelho-Amarelo	45.529,79	3,76%
PV - Argissolo Vermelho	276.597,33	22,82%
PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo	228.764,51	18,88%
RL - Neossolo Litólico	45.507,65	3,75%
Total Geral	1.211.981,70	100,00%

Fonte: EMBRAPA, 2018.

A seguir, é apresentada a caracterização pedológica dos principais tipos de solos supracitados. O conhecimento dos referidos tipos de solo é importante para o entendimento da dinâmica geomorfológica da região, além de subsidiar amplamente a caracterização e o entendimento técnico da ocorrência ou não de aparecimento de processos erosivos nas encostas e taludes existentes, principalmente no que concerne ao traçado do Rodoanel Metropolitano BH.

10.7.2.1 Neossolos

Na área do empreendimento, verifica-se a presença de Neossolos que, de acordo com a classificação da Embrapa (2018), são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou material orgânico com menos de 20 (vinte) cm de espessura, apresentando pequena profundidade e ausência de horizonte B diagnóstico. O critério de classificação desta classe de solo é a insuficiência de atributos que caracterizem sua pedogênese, com pouca variação entre os horizontes, sendo o horizonte A sucedido pelo horizonte C ou R (FREITAS, 2013). Em síntese, estes solos são poucos desenvolvidos e possuem um contato lítico raso, sendo raros os solos com horizontes profundos.

Conforme levantamento da Embrapa (2018), estes solos possuem baixa atividade pedogenética e devido à proximidade do material de origem, os perfis de solo encontram-se pouco desenvolvidos, apresentando grande quantidade de materiais primários e pequenos fragmentos de rocha, principalmente no horizonte C.

10.7.2.1.1 Neossolos Litólicos

Os Neossolos Litólicos possuem usualmente a presença predominante de rochas preservadas e pouco alteradas, devido ao processo de origem de formação destes. Devido a esta característica, o processo de infiltração da água é mínimo, impactando diretamente no crescimento das raízes. Conforme apresentado, os Neossolos possuem baixa profundidade, propiciando assim uma maior vulnerabilidade ambiental, com uma maior propensão aos processos erosivos, pois a ocorrência destes também está relacionada a áreas de maiores declividades.

Conforme apresentado no **Quadro 10.7-1** este tipo de solo corresponde a aproximadamente 4% da AE. De maneira geral, os Neossolos estão localizados em áreas de relevo mais ondulado, com tendência a apresentar textura média a arenosa. Compreendem terras de pequena aptidão agrícola e elevada suscetibilidade erosiva, o que os torna mais indicados para preservação da flora e da fauna (SHINZATO e CARVALHO FILHO, 2005).

10.7.2.2 Argissolos

Os Argissolos são solos constituídos por material mineral, pouco profundos a profundos, que mostram aumento do teor de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B textural. Possuem argila de atividade baixa ou argila de atividade alta correlacionada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B. As cores do horizonte B textural variam de acinzentadas a avermelhadas. Frequentemente, apresentam baixa atividade da argila (CTC) e, normalmente, são solos ácidos. Podem ser alíticos (altos teores de alumínio), distróficos (baixa saturação de bases) ou eutróficos (alta saturação de bases). Na AER foram observados Argissolos Vermelho Eutróficos.

Na AER observa-se a indicação desse tipo de solo em uma faixa muito restrita e localizada na porção norte da All do empreendimento.

10.7.2.2.1 Argissolo Vermelho

O Argissolo Vermelho faz parte de um grupo de solos minerais com evolução pedogenética avançada, não hidromórfico. Característica peculiar dessa classe de solo é o gradiente textural em função da presença em subsuperfície de horizonte B textural (Bt), o qual tem colorações avermelhadas. O gradiente textural supracitado está expresso pelas diferenças entre os teores da fração argila no horizonte A – franco-arenoso, não raramente areia franca – e o horizonte Bt – franco-argilo-arenoso ou argilo-arenosa.

10.7.2.2.2 Argissolo Vermelho-Amarelo

Conforme definição da Embrapa, os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) são solos desenvolvidos do Grupo Barreiras de rochas cristalinas ou sob influência destas, e apresentam horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos compreendem aproximadamente 20% da AER, e apresentam predominância do horizonte superficial A do tipo moderado e proeminente, e denotam principalmente a textura média/argilosa, podendo apresentar em menor frequência a textura média/média e média/muito argilosa. Possuem também níveis baixos de fertilidade natural, com reação fortemente ácida e argilas de atividade baixa.

10.7.2.3 Latossolos

Segundo a Embrapa (2013), os Latossolos são solos profundos, com boa estrutura e homogeneização, o que significa possuírem resistência a erosões e pouca diferenciação entre seus horizontes. Estes solos possuem elevada permeabilidade e por estarem localizados em áreas pouco acidentadas e com relevo suave, são muito utilizados para a agricultura.

Esses também são solos muito intemperizados e, portanto, bastante evoluídos, caracterizados por material mineral, sendo homogêneos profundos, de boa drenagem e com horizonte B latossólico subjacente a qualquer tipo de horizonte A. Possui mineralogia da fração argila, predominantemente, caulinitica ou caulinitica oxidica, com teor de silte inferior a 20% e o teor de argila entre 15% e 80%. Diferem-se entre si, principalmente pela coloração e teores de óxido de ferro. São fortemente ácidos, sendo que o caráter distrófico destes solos evidencia baixa fertilidade natural, pois a saturação por bases costuma ser menor que 50% nos primeiros metros.

São solos típicos de regiões tropicais e estão distribuídos por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais. Geralmente são encontrados em terrenos de relevo plano ou suave ondulado, apesar de também ocorrerem em relevo montanhoso.

São solos não hidromórficos, de textura predominantemente argilosa e coloração variando de vermelhas muito escuras a amareladas. São formados pelo processo de latolização, que se caracteriza pela remoção de sílica e das bases de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} , entre outros, após transformação dos minerais primários constituintes.

10.7.2.3.1 Latossolo Vermelho-Amarelos

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são identificados em extensas áreas dispersas em todo o território nacional associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado. Ocorrem em ambientes bem

drenados, sendo muito profundos, que sofreram forte intemperismo e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade.

Apresentam um horizonte B latossólico com altos teores de argila de baixa atividade e presença variada de óxidos de ferro e alumínio. Geralmente, apresentam boa permeabilidade, estrutura e porosidade.

10.7.2.3.2 Latossolo Vermelho

O Latossolo Vermelho (LV), como já mencionado anteriormente no **Quadro 10.7-1** está presente em aproximadamente 21% da AER. Esse tipo de solo caracteriza-se por ser um solo muito desgastado, principalmente por sofrer intemperismo químico, o que causa considerável decomposição de componentes minerais, principalmente de origem caulínica (MACHADO SÁ, 2014).

10.7.2.4 Cambissolos

Os Cambissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte A chernozêmico quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta. Conforme Embrapa (2013), devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro.

10.7.2.4.1 Cambissolo Háptico

São solos fortemente drenados, rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal. 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 horizonte A para o Bi. A estrutura do horizonte B pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos, também, de solos com ausência de agregados, com grãos simples ou maciços.

Os Cambissolos apresentam espessura no mínimo mediana (50-100 cm de profundidade) e sem restrição de drenagem, em relevo pouco movimentado, eutróficos ou distróficos, com bom potencial agrícola.

10.7.2.5 Gleissolos

Os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. Caracterizam-se, assim, pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido, em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica.

São definidos pela Embrapa (2006) como solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei, que pode ser um horizonte subsuperficial (C, B ou E) ou superficial A. O horizonte superficial apresenta cores desde cinzentas até pretas, espessura normalmente entre 10 e 50 cm e teores médios a altos de carbono orgânico.

10.7.2.6 Plintossolos

O Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) da Embrapa, define esta classe de solos como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário,

provenientes da segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação da estrutura (Embrapa, 2006). Os Plintossolos são solos fortemente ácidos, e podem apresentar saturação por bases baixa (distróficos) ou alta (eutróficos), predominando os de baixa saturação.

São solos minerais, formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, geralmente mal ou imperfeitamente drenados (Embrapa, 2018).

10.7.2.6.1 Plintossolos Pétricos

Apresentam um horizonte somente, e, devido a características supracitadas, possuem sérias restrições ao uso agrícola devido ao enraizamento das plantas, entrave ao uso de equipamentos agrícolas e pouco volume de solo disponível para as plantas. Nestes solos, as pastagens constituem o uso mais comum.

10.7.3 Pedologia da Área de Estudo Local

O **Quadro 10.7-2** traz o quantitativo das áreas das unidades pedológicas da AEL e suas respectivas porcentagens. Na última coluna são apresentadas as porcentagens normalizadas das classes desconsiderando as áreas referentes às regiões urbanizadas e aos corpos, que corresponde a 19,54% e 0,49% da extensão total, respectivamente.

Quadro 10.7-2 – Percentual das unidades pedológicas identificadas na AEL.

TIPO DE SOLO	ÁREA (ha)	PORCENTAGEM (%)	PORCENTAGEM NORMALIZADA (%)
PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo	51.351,39	51,55%	63,37%
PV - Argissolo Vermelho	17.388,85	17,46%	21,46%
CX - Cambissolo Háptico	7.206,59	7,23%	8,89%
LV - Latossolo Vermelho	4.308,50	4,33%	5,32%
RL - Neossolo Litólico	780,07	0,78%	0,96%
Áreas Urbanizadas	18.186,73	18,26%	
Corpos d'água continental	396,28	0,40%	
Total	99.618,41	100,00%	100,00%

O mapa com as unidades pedológicas da AEL está disponível na **Figura 10.7-1**.

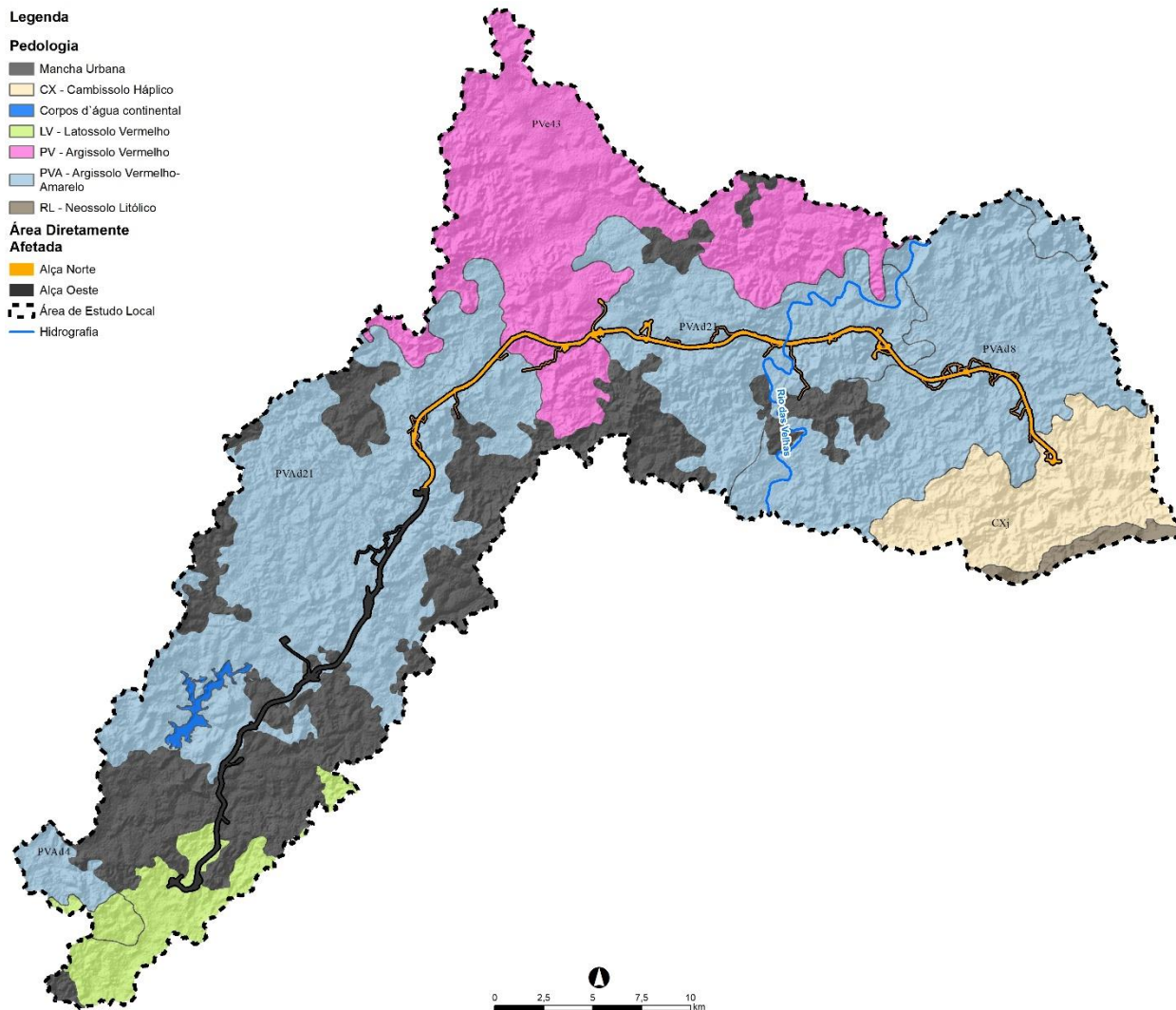


Figura 10.7-1 – Mapa das unidades pedológicas da AEL.

10.7.3.1 Neossolos

10.7.3.1.1 Neossolo Litólico

Os Neossolos Litólicos correspondem a apenas 0,78% da extensão total da AEL, ocorrendo nas altas vertentes da serra do Curral, em regiões de relevo montanhoso a escarpado. Esses solos são rasos apresentando um perfil definido pela sequência do horizonte A sobre as rochas do Grupo Itabira, Quadrilátero Ferrífero, e às suas cangas associadas. Apresentam grandes quantidades de materiais primários e pequenos fragmentos de formações ferríferas e lateritas ferruginosas (Figura 10.7-2 e Figura 10.7-3). As colorações predominam nos tons escuros com cores avermelhadas e pretas, com altos teores de ferro associados e a granulometria predominante é argilo-siltoso.



Figura 10.7-2 – Perfil de Neossolo Lítico. com cores avermelhadas e pretas, com fragmentos de formação ferrífera. Ponto Amostral EMF – 067



Figura 10.7-3 – Perfil de Neossolo Lítico com cores avermelhadas e fragmentos de formação ferrífera. Ponto Amostral EMF – 067

10.7.3.2 Argissolos

Os argissolos consistem na principal unidade pedológica da AEL cobrindo quase 69% de sua extensão. A classe é subdividida nas subordens Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo.

10.7.3.2.1 Argissolo Vermelho

Os Argissolos Vermelhos ocorrem no norte da AEL, com 17,46% da extensão total, associados principalmente às rochas do Grupo Bambuí, e subordinadamente aos granitos-gnaisses do Complexo Belo Horizonte. São solos argilosos, de cores vermelhas, podendo apresentar coberturas lateríticas pouco espessas e de baixo peso específico. Na maior parte das exposições são solos residuais espessos de textura granular, sem a preservação das estruturas reliquias do protólito (**Figura 10.7-4 e Figura 10.7-5**).



Figura 10.7-4 – Perfil de Argissolo Vermelho de textura granular, cor avermelhada e granulometria siltosa a argilosa. Ponto Amostral EMF – 118.



Figura 10.7-5 – Perfil de Argissolo Vermelho. Ponto Amostral EMF – 125.

10.7.3.2.2 Argissolo Vermelho-Amarelo

Os Argissolos Vermelho-Amarelo ocupam 51,55% da AEL e se desenvolvem sob as rochas cristalinas do Complexo Belo Horizonte. São solos argilosos, bem desenvolvidos com cores que variam de tons amarelos a avermelhados. Em rochas com maiores teores de quartzo, esses solos são mais arenosos. É comum a presença de coberturas coluvionares pouco espessas, com clastos de quartzo de veio e de granitos. Na **Figura 10.7-6** pode ser observada a rocha sã sotoposta por um horizonte C saprolítico, sotoposto por um horizonte B bem desenvolvido com solo residual maduro, sotoposto pelo horizonte A com camada coluvionar.



Figura 10.7-6 – Perfil de intemperismo na região de dominância do Argissolo Vermelho-Amarelo. Ponto Amostral EMF – 011.

10.7.3.3 Latossolos

10.7.3.3.1 Latossolo Vermelho

Esses solos correspondem a 4,33% da AEL, ocorrendo a sul do extremo meridional da Alça Oeste, em áreas de relevo forte ondulado a ondulado. São solos espessos predominantemente silto-argilosos formados a partir do intemperismo das rochas cristalinas do Complexo Belo Horizonte. Constituem solos profundos, bem desenvolvidos com textura silto-a argilosa. As exposições visitadas em campo encontram-se fora da AEL, nos municípios de Betim e Ibirité (**Figura 10.7-7** e **Figura 10.7-8**).



Figura 10.7-7 – Perfil de Latossolo Vermelho. Ponto Amostral EMF – 053.



Figura 10.7-8 – Perfil de Latossolo Vermelho. Ponto Amostral EMF – 058.

10.7.3.4 Cambissolos

10.7.3.4.1 Cambissolos Háplicos

Os Cambissolos Háplicos, com 7,23% da extensão total da AEL, ocorrem em vertentes fortemente onduladas a escarpadas nos sopés da serra do Curral. São produtos do intemperismo das rochas metassedimentares dos grupos Sabará e Piracicaba e dos granito-gnaisses do Complexo Belo Horizonte. São solos pouco espessos, silto-argilosos a silto-arenosos com cores avermelhadas e beges (**Figura 10.7-9**).



Figura 10.7-9 – Perfil de Cambissolo Háplico de cor avermelhada e textura silto-argilosa. Ponto Amostral EMF – 075.

10.7.4 Aptidão Agrícola

10.7.4.1 Metodologia

A avaliação da aptidão agrícola possibilita o planejamento do uso e ocupação do solo, identificando o potencial produtivo das terras, além de subsidiar as alternativas de adequação do uso, contribuindo com a redução dos riscos de degradação do ambiente. O foco no uso adequado de sistemas produtivos assegura a sustentabilidade dos diversos ambientes.

Os aspectos metodológicos para o levantamento da aptidão agrícola pautaram-se na percepção *in loco* da área e por meio da coleta e avaliação de dados secundários, obtidos na literatura especializada relativa ao tema, que compreende o sítio do empreendimento.

Para o Mapa de Aptidão Agrícola da AEL, foi adaptado a metodologia proposta por Pereira e Lombardi Neto (2004), utilizando uma Análise Multicritério designada como Processo Hierárquico Analítico (Analytic Hierarchy Process – AHP) desenvolvida por Saaty (1980). O principal objetivo da execução do mapa foi gerar um produto com um maior detalhamento em relação aos mapas de aptidão existentes. Os aspectos utilizados foram o Uso do Solo, Declividade e Unidade Pedológica. O clima não foi ponderado para a confecção do mapa já que não há variações significativas dentro da área. Foram estimados valores de adequação de 1 a 6 para cada os atributos dos aspectos utilizados, baseado na valoração de Santana (2021), sendo a aptidão inversamente proporcional aos valores de adequação.

As classes de Cobertura e Uso do Solo exercem influência direta na aptidão agrícola. Áreas já destinadas a agricultura são mais aptas ao cultivo agrícola enquanto áreas urbanizadas, alagadas e de floresta preservada são mais inaptas. A classificação do uso e cobertura do solo se baseia na taxa de cobertura proporcionada pela vegetação ou seu uso, de acordo com a classificação do MapBiomass 2022 (**Quadro 10.7-3**).

Quadro 10.7-3 – Valores de adequação para as diferentes tipologias do uso e ocupação do solo.

TIPOLOGIA	VALOR DE ADEQUAÇÃO
Afloramento Rochoso	6
Área Urbanizada	6
Café (beta)	1
Campo Alagado e Área Pantanosa	6
Formação Campestre	6
Formação Florestal	6
Formação Savânica	6
Mineração	6
Mosaico de Agricultura e Pastagem	1
Outras Áreas não Vegetadas	6
Outras Lavouras Temporárias	1
Pastagem	3
Rio, Lago e Oceano	6
Silvicultura	4

Fonte: MapBiomass, 2022.

Em relação à declividade foi utilizado o raster Alos Passar, com resolução de 12,5 metros, também utilizado em outros estudos desse EIA. O **Quadro 10.7-4** mostra as classes de declividade e os valores de adequação determinados.

Quadro 10.7-4 – Valores de adequação para as diferentes classes de relevo.

DECLIVIDADE	CLASSE DE RELEVO	VALORES DE ADEQUAÇÃO	PORCENTAGEM (%)
0 - 3%	Plano	1	2,73%
3 - 8%	Suave Ondulado	2	18,37%
8 - 20%	Ondulado	3	46,12%
20 - 45%	Forte Ondulado	4	30,55%
45 - 75%	Montanhoso/Escarpado	5	2,15%
>75%	Escarpado	6	0,08%

Em relação aos tipos de solo, foi utilizado mapa de classificação da EMBRAPA produzido no ano de 2018. São descritos cinco diferentes tipos de solo na AEL, além das áreas urbanizadas e corpos d'água (**Quadro 10.7-5**).

Quadro 10.7-5 – Valores de adequação para os diferentes tipos de solo.

TIPO DE SOLO	VALORES DE ADEQUAÇÃO	PORCENTAGEM (%)
PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo	2	51,55%
PV - Argissolo Vermelho	2	17,46%
CX - Cambissolo Háplico	5	7,23%
LV - Latossolo Vermelho	2	4,33%
RL - Neossolo Litólico	6	0,78%
Áreas Urbanizadas	6	18,26%
Corpos d'água continental	6	0,4%

Após a definição da valoração dos aspectos mencionados, todos os mapas que estavam no formato *shapefile* ou geobjeto foram convertidos para *raster* ou geobjeto, normalizados para valores entre 0 e 1. Em seguida, foi feita a ponderação relativa da influência dos aspectos, considerando as definições de importância mostradas no **Quadro 10.7-6**.

Quadro 10.7-6 – Valores de julgamento da importância relativa.

VALOR DO PESO OU IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO DO PESO OU IMPORTÂNCIA
1	Igual
2	Um pouco melhor
3	Algo Melhor
4	Moderadamente Melhor
5	Melhor
6	Bem Melhor
7	Muito Melhor
8	Criticamente Melhor
9	Absolutamente Melhor

Fonte: Saaty (1977, 1987).

A partir da definição dos valores de importância relativas, foi gerada uma matriz pareada, em que foi possível definir os pesos de cada aspecto (**Quadro 10.7-7**). Essa planilha foi inserida na extensão AHP do software ArcGis, junto com os *raster* normalizados gerando o Mapa de Aptidão Agrícola (BARROS *et al.*, 2019).

Quadro 10.7-7 – Matriz comparativa pareada.

	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	DECLIVIDADE	TIPO DE SOLO	PESOS
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	1	3	7	0,65
DECLIVIDADE	0,33	1	4	0,26
TIPO DE SOLO	0,14	0,33	1	0,09

Após o geoprocessamento foram definidas as seguintes classes de aptidão agrícola, adaptadas de Ramalho Filho e Beek (1995):

Classe Alta – terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando às condições do manejo considerado;

Classe Média – terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições de manejo considerado;

Classe Baixa – terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização;

Classe Restrita – terras que apresentam condições que parece excluir a produção sustentada do tipo de utilização em questão e tem como alternativa a preservação ambiental, extrativismo ou algum outro uso não agrícola;

Classe Inapta - terras consideradas inaptas para os diversos usos (lavouras, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural), têm como alternativa a preservação ambiental, extrativismo ou algum outro uso não agrícola.

10.7.4.2 Aptidão Agrícola AEL e ADA

A Figura 10.7-10

Figura 10.7-10 – Mapa de Aptidão Agrícola da AEL.

traz o mapa de Aptidão Agrícola elaborado para a AEL considerando o Uso e Cobertura do Solo, a Declividade e as Unidades Pedológicas e o **Quadro 10.7-8** mostra os quantitativos das classes obtidas.

Quadro 10.7-8 – Porcentagem das classes de aptidão agrícola da AEL.

CLASSE	ÁREA (ha)	PORCENTAGEM
Inapta	60.569,63	60,78%
Restrita	5.932,66	5,95%
Baixa	15.563,69	15,62%
Média	14.043,91	14,09%
Alta	3.538,22	3,55%
Total	99.648,11	100,00%

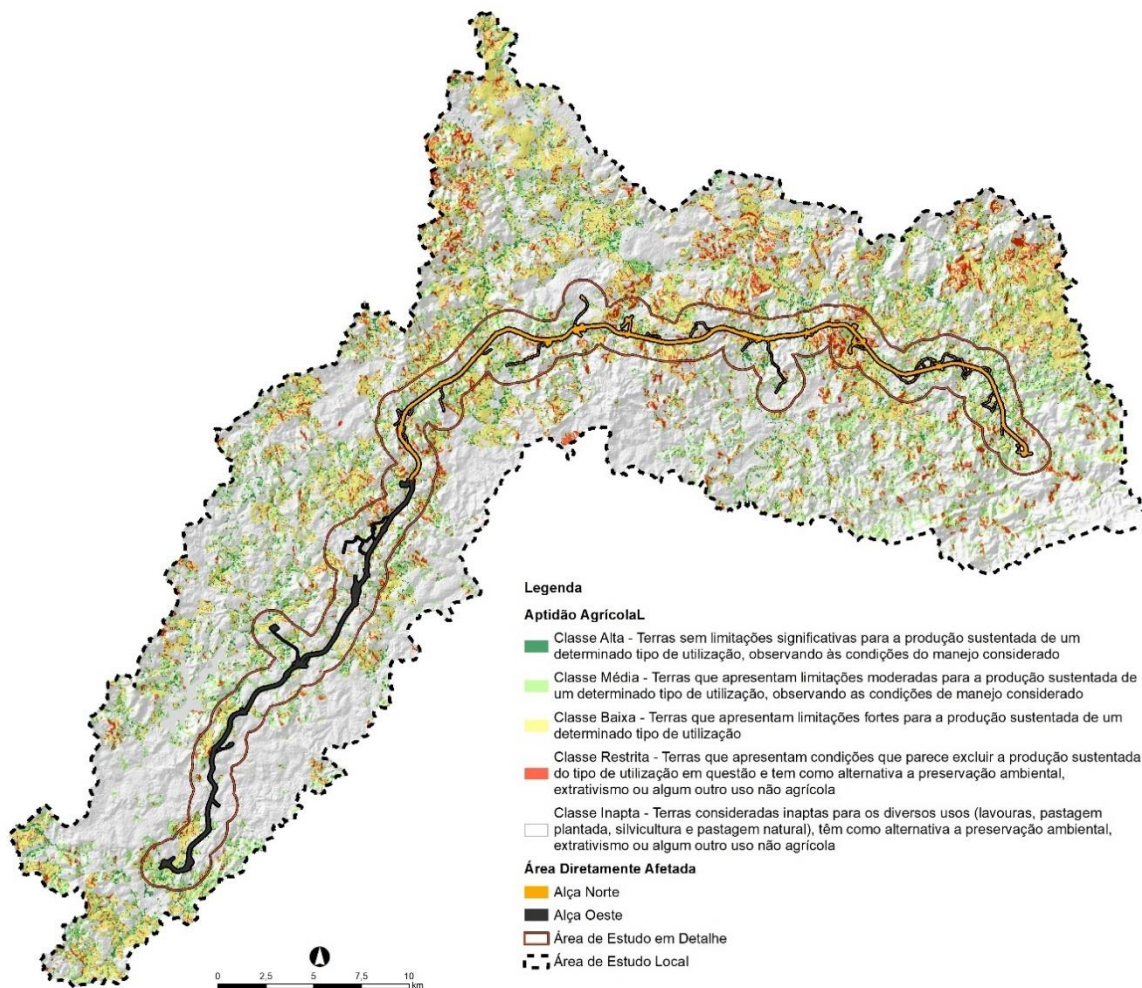


Figura 10.7-10 – Mapa de Aptidão Agrícola da AEL.

O Uso do Solo consiste no aspecto de maior ponderação na análise multicritério utilizada. Pelo fato de o Rodoanel Metropolitano BH estar em uma área intensamente urbanizada e apresentar trechos de vegetação preservada, a maior parte da AEL é considerada inapta para a aptidão agrícola. No uso urbano, o solo é considerado como um substrato para instalar construções, o que impermeabiliza grande parte da sua superfície, impede a infiltração da água e a troca de gases com a atmosfera, medidas que praticamente eliminam a manutenção da biota e as atividades de produção do solo. Além das áreas urbanizadas, as regiões inaptas à aptidão agrícola se concentram nas regiões de vegetações preservadas que devem ser destinadas para a preservação ambiental e as áreas alagadas. Em contrapartida, as áreas de alta ou média aptidão, em relação ao uso e ocupação do solo, são aquelas em que já existe o desenvolvimento de atividades relacionadas à agricultura e pecuária. Como a AEL corresponde a uma região densamente ocupada e com diversas áreas vegetadas, os cultivos na região apresentam pequenas extensões e ocorrem, predominantemente, de forma segmentada.

O relevo também é determinante para a classificação da aptidão agrícola de uma região. As altas declividades são dificultadores da mecanização agrícola, podendo até inviabilizar o desenvolvimento dos cultivos. Na AEL as áreas mais íngremes (>45%) se concentram próximos à serra do Curral, regiões predominantemente inaptas ao cultivo agrícola, sendo que, onde há o desenvolvimento de atividades de agropecuária, a classificação varia de restrita a média e, em alguns casos pontuais, alta. As regiões de relevo plano e suave ondulado se distribuem ao longo das principais planícies de inundação, áreas com grande incidência de classes média e alta. Já as áreas de relevo ondulado e forte ondulado, que correspondem à maior parte da AEL, apresentam variados graus de aptidão, a depender da classificação da ponderação dos outros aspectos.

Por fim, em relação aos tipos de solos foram descritas cinco unidades pedológicas na AEL, além das áreas urbanizadas e os corpos d'água. Os argissolos e os latossolos constituem as classes mais aptas, enquanto os cambissolos e neossolos são solos mais inaptos ao cultivo agrícola. A descrição completa dessas classes pedológicas pode ser consultada nos itens **10.7.2** e **10.7.3** - Pedologia da Área de Estudo Regional.

A classe dos Argissolos é definida pelo aumento substancial do teor de argila em profundidade, conferindo ao horizonte diagnóstico subsuperficial maior coesão, plasticidade e pegajosidade (SANTOS et al. 2018). Os Argissolos Vermelho-Amarelo são solos profundos a pouco profundos, bem a moderadamente drenados, com transição abrupta e argila de atividade alta (Ta). O horizonte A dominante é o moderado, a textura média/argilosa e o relevo forte ondulado e ondulado. As principais limitações ao uso agrícola são o relevo movimentado e com baixa fertilidade natural (solos álicos ou distróficos).

O segundo tipo de solo com maior relevância na AEL é o Latossolo Vermelho. De acordo com o mapeamento da EMBRAPA (2004), os latossolos são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e áreas de reflorestamento. São solos profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo, sendo, portanto, considerado aptos para as atividades de agropecuária e para a proteção da biodiversidade.

O Cambissolo Háplico são solos mal a acentuadamente drenados, apresentando em muitos casos fase cascalhenta, pedregosa e/ou rochosa (EMBRAPA, 2004). Estes solos estão presentes nas áreas de relevo mais acentuado, configurando uma limitação ao uso agrícola na AEL.

Por último, tem-se o Neossolo Litólico definidos como sendo rasos e pouco evoluídos, associados diretamente a afloramentos rochosos, estando localizados em áreas de relevo ondulado a forte ondulado. Essas características configuram limitações ao potencial agrícola deste tipo solo.

No contexto da ADA, o tipo de solo não é uma variável relevante na determinação das classes de aptidão agrícola, já que a maior parte das alças está em regiões de argissolos e latossolos, que apresentam o mesmo valor de adequação. Apenas um trecho de menos de 2 km no extremo leste da Alça Norte, próximo

ao distrito de Ravena, passa por áreas de cambiosolos, condicionando aptidões relativamente mais baixas.

As áreas inaptas na ADA da Alça Norte à aptidão agrícola correspondem a 35,81% da extensão total enquanto na Alça Oeste elas são 49,67%. Na Alça Norte as áreas inaptas estão quase que totalmente associadas às áreas de preservação preferencial e na Alça Oeste, além das áreas vegetadas também há uma grande presença de áreas urbanizadas. As áreas de aptidão restrita correspondem a 12,18% da Alça Norte e 5,67% da Alça Oeste e, as áreas de baixa aptidão são 30,08% da Alça Norte e 15,62% da Alça Oeste. Em geral, as regiões de pastagem se associam às áreas de aptidão restrita e baixa sendo as porções de maiores declividades classificadas como restrita e as de relevo mais suave classificadas como baixas. Já as áreas de média e alta aptidão estão associadas, principalmente, às regiões onde já há o desenvolvimento de atividades agrícolas, sendo que quanto maior a declividade do terreno, menor a aptidão. Na Alça Norte as classes média e alta correspondem a 18,01% e 3,93%, respectivamente, e na Alça Oeste as áreas de média aptidão são 23,33% e as regiões de classe alta são 5,72%. A **Figura 10.7-11** apresenta o gráfico com a distribuição das demais classes de aptidão em ambas as alças da ADA.

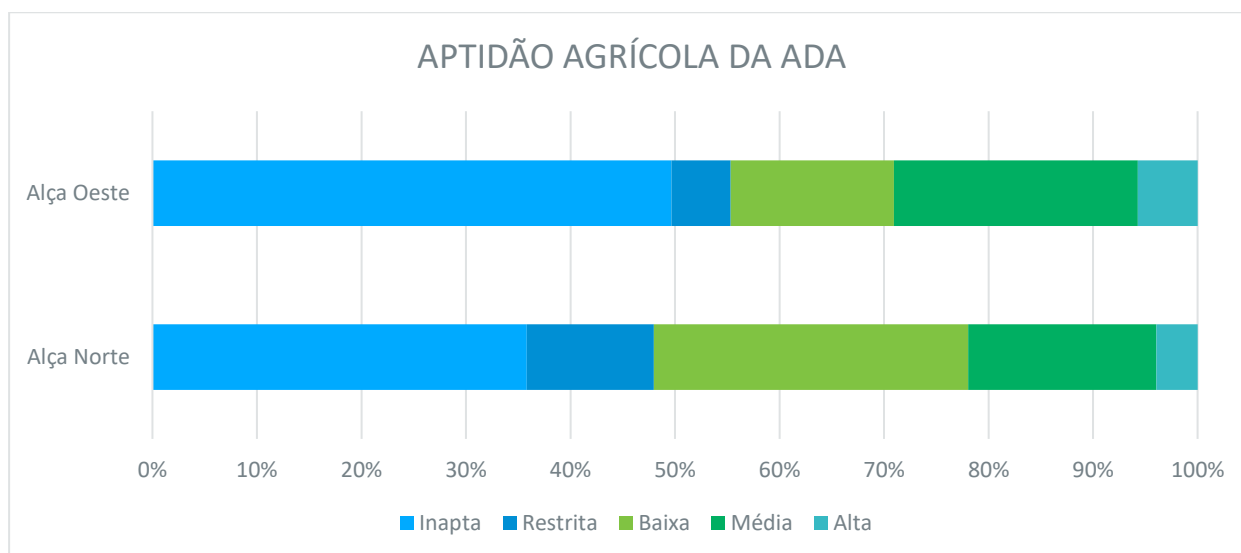


Figura 10.7-11 – Gráfico das classes de Aptidão Agrícola da ADA.

10.7.5 Vulnerabilidade à Contaminação Ambiental Pelo Uso do Solo

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) consiste em um instrumento de planejamento e gestão, que orienta o desenvolvimento de políticas públicas nos âmbitos ambiental, social e econômico. Esse documento, previsto na Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) instituída pela Lei Federal nº 6.938/1981, contém o zoneamento obtido a partir do cruzamento de informações, considerando as vulnerabilidades sociais e naturais do território. Em Minas Gerais o ZEE foi desenvolvido entre o convênio do SISEMA e a Universidade Federal de Lavras (UFLA) entre 2005 e 2008 (SCOLFORO et al., 2008).

Um dos mapas contidos no ZEE-MG é o de vulnerabilidade à contaminação pelo uso do solo. Esse mapa foi adaptado para a AEL do Rodoanel Metropolitano BH a partir da reinterpretação e cruzamento dos seguintes mapas auxiliares, gerados a partir do Mapa de Solos de Minas Gerais (EMBRAPA, 2018): (I) teor de matéria orgânica no solo; (II) textura do solo e III) regime hídrico do solo.

O teor de matéria orgânica é classificado a partir da classificação do horizonte superficial dos solos mapeados. Solos com horizonte “A fraco” têm baixo teor de matéria orgânica, os com horizonte “A

moderado” apresentam médio teor de matéria orgânica e os de outros tipos de horizontes superficiais possuem alto teor. A **Figura 10.7-12** mostra a distribuição dos teores de matéria orgânica na AEL.

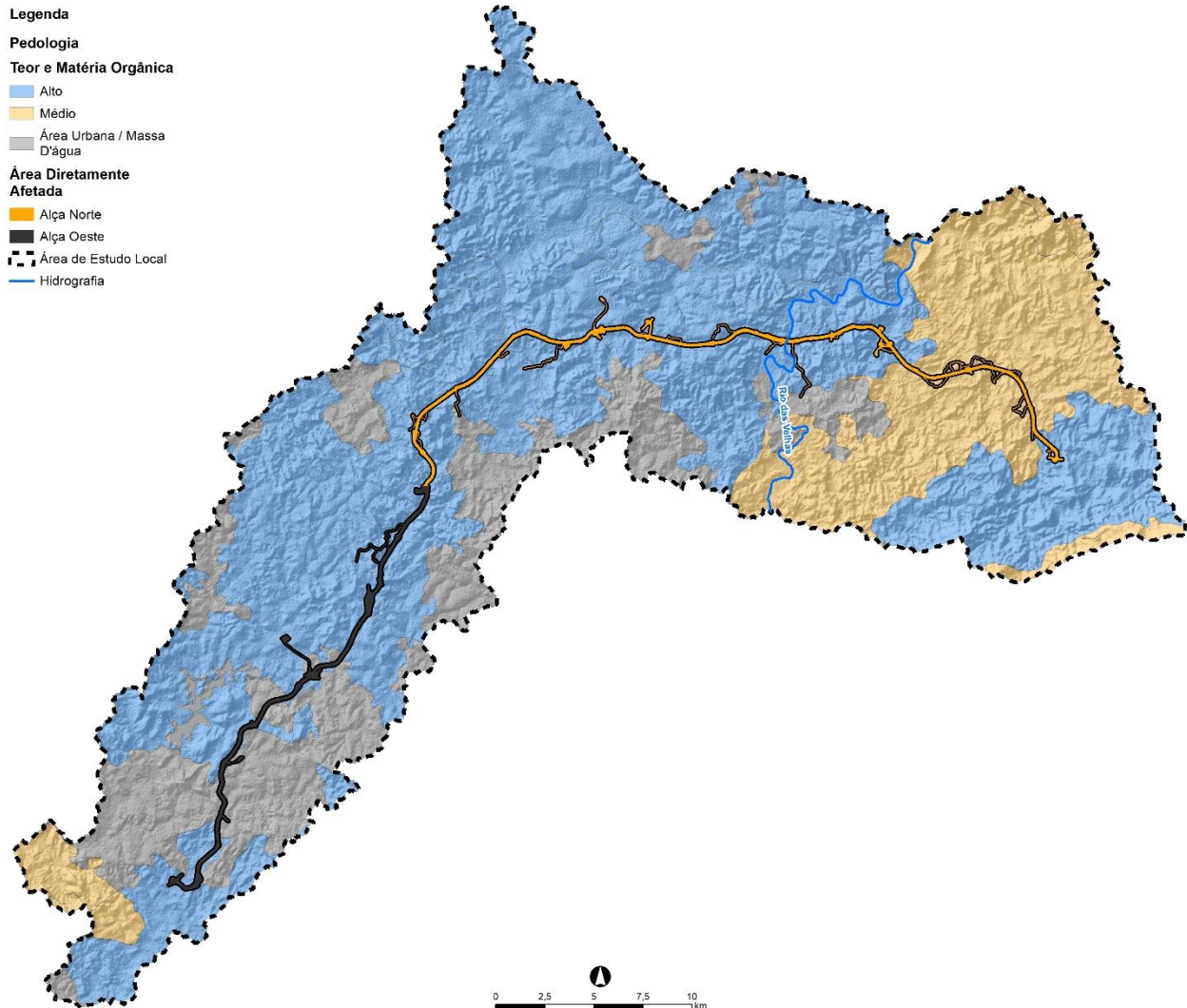


Figura 10.7-12 – Mapa de teor de matéria orgânica do solo.

As texturas dos solos foram agrupadas nas categorias fina, média e grossa, sendo a presença de cascalho considerada em termos de comportamento do solo. Dessa forma, um solo “argiloso cascalhento”, por exemplo, foi classificado como tendo textura média. Um solo textura “média cascalhenta” foi classificado como tendo textura grosseira. A mapa de textura dos solos está disponível na **Figura 10.7-13**.

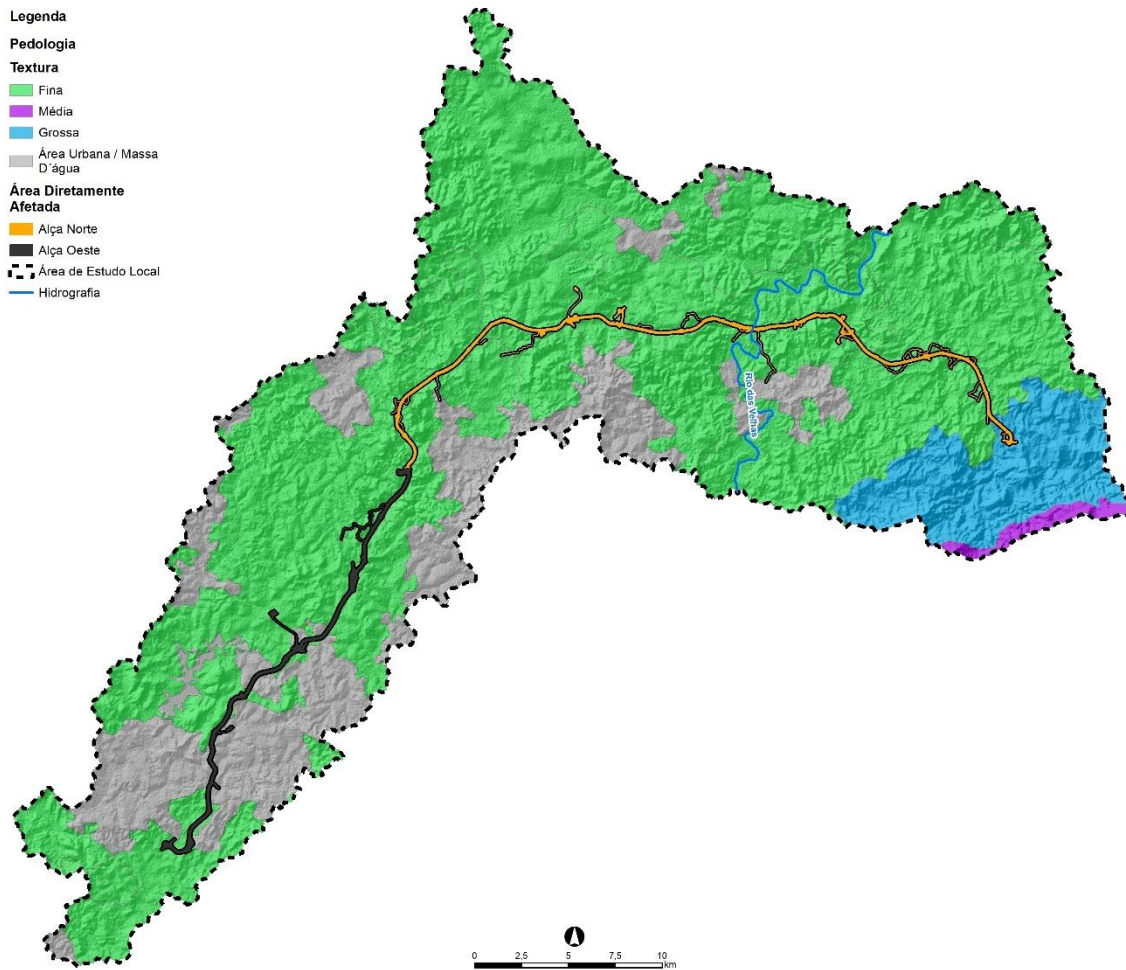


Figura 10.7-13 – Mapa de textura do solo.

O mapa de regime hídrico do solo foi determinado pelas fases de vegetação nativa, de acordo com Lemos & Santos (1996). A AEL do empreendimento é classificada como zonas de regime Údico (menos de três meses secos) e Ústico (três e seis meses secos).

A Vulnerabilidade à Contaminação pelo Uso do Solo foi classificada em cinco níveis, indicados no **Quadro 10.7-9**, em consonância com a metodologia adotada por SCOLFORO et al., 2008. Em relação às unidades pedológicas, os solos mais profundos tendem a ser menos vulneráveis à contaminação, já que os poluentes têm um longo caminho a percorrer até atingir os cursos d'água a jusante das paisagens. A matéria orgânica desempenha um importante papel na vulnerabilidade à contaminação ao uso do solo, pois sua associação com cátions resulta na formação de complexos estáveis (PIERZYNSKI et al., 1994). Portanto, quanto maior a quantidade de matéria orgânica menor será, preferencialmente, a vulnerabilidade à contaminação. Os solos mais finos tendem a ser menos permeáveis, retardando o transporte dos contaminantes. Por fim, regiões de regime hídrico Aqüico, que permanecem saturados em água a maior parte do ano, apresentam vulnerabilidade muito alta. As demais classes não interferem na valoração dos índices de vulnerabilidade.

Quadro 10.7-9 - Vulnerabilidade à Contaminação Ambiental Pelo Uso do Solo.

CLASSE	TIPO DE SOLO	TEXTURA	TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA	REGIME HÍDRICO
Muito Alto	Gleissolo	-	-	-
	-	-	Baixa	-
	-	-	-	-
	-	-	-	Aqüico
Alto	Neossolo Flúvico ou Espodossolo ou Neossolo Litólico	-	-	-
	Neossolo Quartzarênico ou Cambissolo	-	Média	-
Médio	Neossolo Quartzarênico ou Cambissolo		Alta	-
	Latossolo ou Argissolo	Grossa	-	-
	Latossolo	Média	Média	-
Baixo	Argissolo	Média	-	-
	Argissolo	Fina	-	-
	Nitossolo	-	Média	-
	Latossolo	Média	-	-
Muito Baixo	Latossolo	Fina	-	-
	Nitossolo	-	Alta	-

Fonte: SCOLFORO et al., 2008.

A **Figura 10.7.14** mostra a vulnerabilidade da contaminação pelo uso do solo na AEL e o **Quadro 10.7-10** traz as porcentagens de cada um dos níveis de vulnerabilidade. A maior parte da área apresenta baixa vulnerabilidade à contaminação do solo, associada principalmente as regiões de ocorrência de argissolos, solos maduros e profundos, de textura fina. No sul da AEL, onde ocorrem latossolos, solos bem desenvolvidos, de textura fina e médios teores de matéria orgânica, a vulnerabilidade é classificada, majoritariamente, como muito baixa. O extremo leste da AEL é considerado a região mais sensível do ponto de vista da contaminação pelo uso do solo, sendo que, as áreas de ocorrência de Cambissolos são classificadas como de média vulnerabilidade e onde afloram os neossolos são áreas de alta vulnerabilidade. Nas várzeas ao longo dos principais cursos d'água há um aumento da vulnerabilidade à contaminação. Para o rio das Velhas e o ribeirão da Mata foi calculada uma área de influência de 500 metros a partir de suas margens, enquanto os demais corpos hídricos foi adotada áreas de influência de 250 metros.

Quadro 10.7-10 - Porcentagens e áreas das classes de vulnerabilidade à contaminação pelo uso do solo.

CLASSE	PORCENTAGEM
Area Urbana/ Corpo D'Água	18,66
Muito Baixa	4,22
Baixa	60,40
Média	15,93
Alta	0,78
Total Geral	100,00

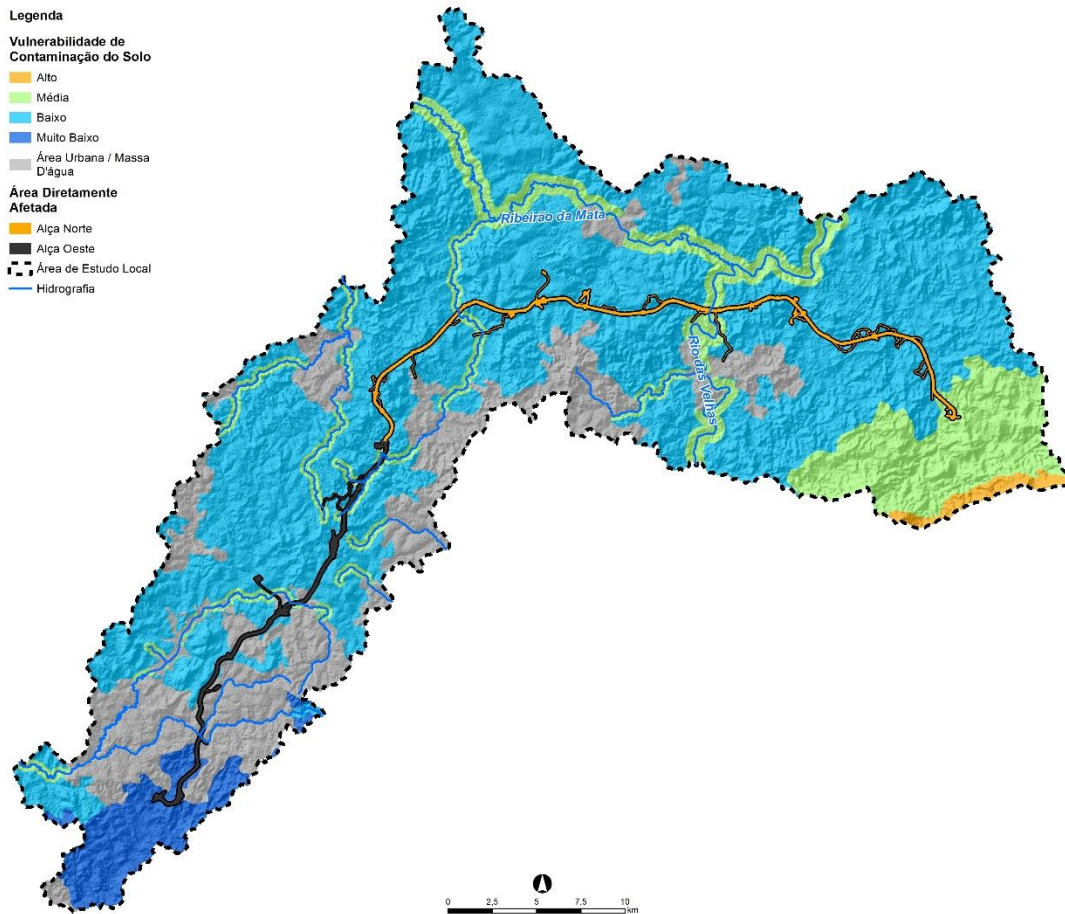


Figura 10.7.14 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Pelo Uso do Solo da AEL.
Fonte: SCOLFORO et al., 2008.

Em relação à ADA, 90,48% da Alça Norte apresenta baixa vulnerabilidade à contaminação ambiental pelo uso do solo. As áreas de média vulnerabilidade se associam às várzeas dos corpos d'água que cortam a alça e às regiões de cambissolo no extremo leste do traçado. As áreas urbanas ocupam apenas 0,07% da área. Na ADA da Alça Oeste, as áreas de argissolos que não estão próximas às áreas de várzea, apresentam baixa vulnerabilidade e correspondem a 45,64%, enquanto as regiões nos entornos dos cursos d'água são de média vulnerabilidade com 15,20% da extensão total. No sul da ADA ocorrem áreas de muito baixa vulnerabilidade (18,95%) associadas à presença de latossolos. Já a área urbanizada cortada pela Alça Oeste corresponde a 20,21%.

10.8 Suscetibilidade a Processos Erosivos

10.8.1 Metodologia

O diagnóstico de suscetibilidade a processos erosivos da Área de Estudo Local (AEL) foi conceituado a partir do geoprocessamento de dados secundários. A Suscetibilidade a Processos Erosivos e Movimentos de Massa foi determinada utilizando a metodologia de mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo estabelecida por Crepani et al., 2001. Para a Suscetibilidade a Alagamento e Assoreamento foi utilizado o índice tipográfico de umidade (*Topographic Wetness Index – TWI*) (SIRTOLI et al., 2008). Além disso, foi feito um descritivo das principais feições erosivas observadas em campo e suas relações com a suscetibilidade a processos erosivos da área.

10.8.1.1 Suscetibilidade à Erosão e Movimentos de Massa

A metodologia de mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo (Crepani et al., 2001), adota critérios específicos para atribuição de valores de suscetibilidade a processos erosivos. No caso do presente diagnóstico, os fatores condicionantes definidos são: geologia, geomorfologia, pedologia e uso e ocupação do solo.

A partir da coleta de dados secundários, estabeleceu-se a integração dessas informações empregando técnicas de geoprocessamento, que permitiram a espacialização da classificação da suscetibilidade a processos erosivos e confecção do Mapa de Suscetibilidade a Erosão.

A elaboração desse mapa objetivou representar, de forma integrada, a sensibilidade natural intrínseca dos atributos físicos da Área de Estudo frente às pressões antrópicas já existentes, que podem ser potencializadas ou acrescidas com a implantação do empreendimento. A sistematização das características do meio físico foi feita por meio de análise multicritério a partir da valoração de elementos desses quatro fatores físicos supracitados.

Esta valoração teve como objetivo identificar os graus de fragilidade de cada aspecto, por meio de interpretações de seus elementos. Foram atribuídos valores de 1 a 7 para cada fator condicionante, com exceção do uso e cobertura dos solos e pedologia que foram classificados de 0 a 7. A partir da valoração de cada componente, foi realizado o cruzamento e somatório dessas informações através do ArcGIS, que variou de 4 a 35. Dessa forma, a classificação da suscetibilidade a processos erosivos foi dividida em cinco classes, sendo que, quanto maior o valor, maior a suscetibilidade na área:

- Suscetibilidade muito baixa (valores de 4 a 10);
- Suscetibilidade baixa (valores de 11 a 16);
- Suscetibilidade média (valores de 17 a 22);
- Suscetibilidade alta (valores de 23 a 29);
- Suscetibilidade muito alta (valores de 30 a 35).

A seguir são descritos os atributos considerados na avaliação relativos a cada fator condicionante supracitado.

10.8.1.1.1 Geologia

A suscetibilidade dos aspectos geológicos se deu em função da combinação da resistência da rocha ao intemperismo, bem como da presença de falhas, fraturas ou dobras, além da coesão da rocha. A caracterização desses elementos foi realizada com base em informações apresentadas no próprio texto dissertativo do diagnóstico ambiental do tema geologia e da distribuição espacial das unidades litológicas.

A coesão da rocha e dos solos refere-se à força interna que une suas partículas. De uma maneira geral, quanto mais coesa a rocha ou o solo, menor será sua fragilidade em relação às ações antrópicas e de intemperismo. As rochas ígneas e metamórficas (granitos, tonalitos, gnaisses, diabásio, entre outros), apresentam, em sua maioria, alto grau de coesão da rocha quando não decompostas, o que imprime uma baixa fragilidade. Já nas rochas sedimentares, onde a coesão da rocha frequentemente é menor, a fragilidade é maior. Vale destacar que a composição mineralógica de cada unidade litológica também é importante neste contexto.

Em face ao que foi exposto, consolida-se o conceito que as rochas metamórficas e ígneas são mais resistentes ao processo erosivo do que as sedimentares. Dentre estas, é conhecido que, em termos gerais, as de granulometria grossa, como os arenitos, são mais susceptíveis do que as de granulometria fina, como os argilitos e folhelhos. Em um mesmo tipo de rocha, a composição mineralógica ou conjunto dos principais minerais presentes, e a ocorrência ou não de cimentação entre os grânulos dos minerais, também definem o grau de susceptibilidade à erosão.

Com base nestas premissas, as unidades geológicas são classificadas de 1 a 7, conforme suas características geológico-geotécnicas presentes (**Quadro 10.8-1**). Nesse contexto foram classificadas rochas metassedimentares e metavulcânicas de três grandes unidades geológicas, denominadas Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero e Grupo Bambuí.

Quadro 10.8-1 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos das unidades geológicas.

UNIDADE GEOLÓGICA	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Nal - Depósitos aluvionares	Depósitos aluviais contendo areias, argilas e cascalhos	7
P/N(dt) - Depósitos terrígenos	Depósitos terrígenos (arenitos, pelitos, conglomerados e diamictitos com matriz argilosa avermelhada)	7
NP3sla - Sete Lagoas	Metamarga, Metacalcário, Dolomito, Siltito, Argilito, Dolarenito, Calcarenito, Calcissiltito	5
PP2erss - Saramenha	Biotita-clorita-granada xistos, quartzitos, metapelitos, filitos carbonosos, mármores dolomíticos, BIF, metadiamictitos, metagrauvacas e paragnaisses. Subordinadamente metavulcânica félsica, metamáfica, metaultramáficas e pegmatito	5
PP1mpb - Barreiro	Filitos e filitos carbonosos	4
PP1mpt - Taboões	Quartzitos finos, localmente limonitizados e podendo conter manganês associado	3
PP1mpf - Fecho do Funil	Filitos, filitos dolomíticos, metassiltitos, mármores impuros, ritmitos e formações ferríferas subordinadas	4
PP1mpc - Cercadinho	Quartzitos ferruginosos, filitos prateados, xistos róseos e sericíticos e subordinadamente mármores dolomíticos	4
PP1mig - Gandarela	Mármores, mármores ferruginosos, itabiritos dolomíticos e silicosos. Localmente brechas ferruginosas e dolomíticas	6
PP1mic - Cauê	Itabiritos silicosos, dolomíticos e anfibolíticos, hematititos, mármores, mármores ferruginosos e filitos ferruginosos.	4

UNIDADE GEOLÓGICA	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
PP1mcb - Batatal	Filitos sericíticos, filitos carbonosos, filitos quartzosos e filitos carbonáticos, com intercalações de quartzitos finos na base e mármores dolomíticos no topo, além de xistos	5
PP1mcm - Moeda	Quartzitos e metaconglomerados, quartzo-mica xisto com lentes de filito intercaladas	3
PP2y2mp - Morro do Papagaio	Granitoides	2
A3bh - Complexo Belo Horizonte	Gnaiss-graníticos, biotita-gnaisses, biotita-hornblenda-gnaisses e migmatitos	2

10.8.1.1.2 Geomorfologia

A geomorfologia é um fator de suma importância na identificação e classificação de processos erosivos e movimentação de massa. Segundo Carvalho (1994), a declividade e o comprimento da rampa provocam o aumento da erosão, isto é, em terrenos com maior declividade, o agente erosivo (água) esco rapidamente, não permitindo que aconteça a infiltração, provocando um maior esforço nos terrenos e, conseqüentemente, maior erosão.

A declividade possui atuação quanto ao controle ou à intensificação dos processos de erosão, uma vez que possui relação direta com a transformação do agente erosivo de energia potencial para energia cinética, desagregando e transportando materiais (SILVA, 2021). Assim, as formas de maior amplitude, mais inclinadas e de vertentes mais longas favorecem o processo erosivo, ao contrário daquelas mais baixas e de menor declividade. Ademais, o relevo desempenha ainda papel importante na circulação da água pluvial e nas relações infiltração-deflúvio, de forma que em topografias com o mínimo de 3° de inclinação prevalece o escoamento, na qual a água da chuva, ao atingir o solo, esco de forma mais rápida que a infiltração (CREPANI et al., 2001).

Na análise dos aspectos geomorfológicos para o presente diagnóstico foram analisadas as variáveis relacionadas à declividade ou à inclinação de encostas (relação entre a amplitude e o comprimento de rampa), além do gradiente altimétrico (hipsometria) com base nos dados obtidos no contexto do diagnóstico ambiental do tema Geomorfologia e na caracterização da declividade e hipsometria.

A classificação da suscetibilidade a processos erosivos indica que quanto maior a declividade, maior é a seu grau de instabilidade e vulnerabilidade a eventos erosivos, assim como se observa para as maiores das cotas altimétricas (hipsometria). Portanto, os valores atribuídos de 1 a 7 aumentam proporcionalmente com os valores de declividade e cota altimétrica. O **Quadro 10.8-2** traz a classificação atribuída às declividades e o **Quadro 10.8-3** contém a classificação em relação aos intervalos altimétricos.

Quadro 10.8-2 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos a partir da declividade.

DECLIVIDADE	CLASSES DE RELEVO	CLASSIFICAÇÃO
0° - 3°	Plano	1
3° - 8°	Suave Ondulado	3
8° - 20°	Ondulado	4
20° - 45°	Forte Ondulado	5
45° - 75°	Montanhoso	6
>75°	Escarpado	7

Quadro 10.8-3 - Classificação da suscetibilidade a processos erosivos a partir da altimetria.

INTERVALO – COTAS ALTIMÉTRICAS (m)	CLASSIFICAÇÃO
601 - 772	1
773 - 944	2
945 - 1115	3
1116 - 1286	4
1287 - 1457	5
1458 - 1629	6
1630 - 1800	7

10.8.1.1.3 Pedologia

O tipo de solo de determinada região, bem como suas características intrínsecas, influencia na ocorrência e desenvolvimento de processos erosivos. A variação das propriedades pedológicas, responsáveis pelas forças de resistência, também vão interferir nos fluxos hídricos de superfície e subsuperfície, ora aumentando e acelerando o escoamento superficial (favorecendo as forças de tração), ora facilitando a infiltração (favorecendo as forças de resistência) (NÓBREGA; CUNHA, 2011). A caracterização pedológica foi baseada no próprio texto dissertativo do diagnóstico ambiental do tema Pedologia e na distribuição espacial das unidades pedológicas representadas no Mapa Pedológico.

A erodibilidade do solo é uma função da sua classe taxonômica (tipo de solo), e para dado tipo de solo, a erodibilidade, ou susceptibilidade à erosão, varia com a textura (associada à granulometria), estrutura e agregação, profundidade, teor de matéria orgânica e drenagem da camada de solo. A avaliação qualitativa da erodibilidade, que pode se basear nas informações extraídas de mapas e relatórios dos levantamentos de solos, são definidas em termos de alta, média ou baixa erodibilidade e classes intermediárias, em relação às quais se atribuem os graus de susceptibilidade à erosão dos diferentes tipos de solos. A determinação da suscetibilidade à erosão dos solos deu-se pela verificação dos seus principais atributos físicos, como drenagem, profundidade, textura e estrutura.

A drenagem dos solos caracteriza-se como um destes atributos, uma vez que, conforme apresentado por Calderano Filho et al., 2018, solos mal drenados apresentam menor estabilidade quando comparados a solos fortemente drenados. A deficiência na drenagem torna os solos mais frágeis, uma vez que faz com que eles permaneçam mais tempo úmidos ou até mesmo encharcados (saturados), favorecendo a erosão e/ou desbarrancamento, por perda de sua resistência.

Um comportamento análogo ocorre em relação à profundidade. Os solos mais rasos são mais facilmente removidos, ou seja, são mais susceptíveis às ações externas, apresentando-se mais frágeis quando comparados a solos de maior profundidade. Já em relação à estrutura, pode-se dizer que quanto mais desenvolvido, maior a resistência à desagregação, ou seja, menor a fragilidade.

A sua textura também é um fator preponderante na suscetibilidade a erosão, onde solos mais arenosos apresentam maior fragilidade às ações erosivas das águas pluviais por serem não coesivos, enquanto solos de textura argilosa tendem a ter maior estabilidade, justamente por serem solos classificados como coesivos.

Com base nestas premissas, as unidades pedológicas levantadas para a AEL foram classificadas de 1 a 7, conforme apresentado no **Quadro 10.8-4**.

Quadro 10.8-4 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos dos tipos de solo.

UNIDADES PEDOLÓGICAS	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
AR - Afloramentos De Rochas	Terrenos representados por exposições de rocha com diferentes graus de alteração associados a cambissolos	7
CX - Cambissolo Háptico	Exposições com textura argilosa muito cascalhenta.	5
LV - Latossolo Vermelho	Exposições com textura média a argilosa em relevo moderado suave a ondulado.	1
LVA - Latossolo Vermelho-Amarelo	Solo com textura argilosa a muito argilosa que predomina em relevo ondulado, plano e suave.	1
PV - Argissolo Vermelho	Exposições com colorações avermelhadas em horizonte B e desenvolvidos em relevo moderado suave a ondulado.	4
PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo	Solos de textura média/argilosa desenvolvidos de rochas cristalinas em relevo ondulado a forte ondulado.	4
RL - Neossolo Litólico	Solo de textura pedregosa, predominantemente, em relevo montanhoso e escarpado.	6
UM – Mancha urbana	Áreas urbanas impermeabilizadas	0

10.8.1.1.4 Uso e Cobertura do Solo

As classes de Cobertura e Uso do Solo apontam a situação da cobertura vegetal presente na AEL, e exercem influência direta na capacidade do solo resistir ou não à erosão, uma vez que a cobertura vegetal possui importante atuação na defesa do solo contra processos modificadores do relevo. A análise da suscetibilidade a processos erosivos em função da cobertura vegetal e dos usos do solo foi realizada a partir das informações apresentadas no Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal, com base na metodologia MapBiomias (2022), conforme apresentado no contexto do diagnóstico ambiental do meio socioeconômico.

O mapeamento da Área de Estudo local do traçado do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte indicou os tipos de uso do solo e fitofisionomias estabelecidos e valorados nas seguintes classes: Afloramento Rochoso, Área Urbanizada; Café; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Formação Florestal; Formação Savânica; Mineração; Mosaico de Agricultura e Pastagem; Nuvem, Outras Áreas não Vegetadas; Outras Formações não Florestais; Outras Lavouras Perenes; Outras Lavouras Temporárias; Pastagem, Rio, Lago e Oceano; e Silvicultura.

A classificação do uso e cobertura do solo se baseia na taxa de cobertura proporcionada pela vegetação ou seu uso. Para cada uma dessas classes, foi atribuída uma classificação de 0 a 7, em que 0 indica maior estabilidade e 7 indica instabilidade geotécnica, conforme apresentado no **Quadro 10.8-5**.

Quadro 10.8-5 – Classificação da suscetibilidade a processos erosivos de acordo com o uso do solo.

USO E COBERTURA	DESCRIÇÃO	PESO
Afloramento Rochoso	Exposição de rocha.	1
Área Urbanizada	Cidades ou aglomerados urbanos.	3
Café	Área de uso agrícola.	5
Campo Alagado e Área Pantanosa	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo sujeita ao alagamento sazonal.	6
Formação Campestre	Área de campo com presença de diferentes tipos e portes espécies arbóreas.	2
Formação Florestal	Área florestada com presença de diferentes tipos e portes espécies arbóreas.	1

USO E COBERTURA	DESCRIÇÃO	PESO
Formação Savânica	Savanas, Savana -Estépicas Florestadas e Arborizadas.	2
Mineração	Área de extração mineral de porte industrial ou artesanal.	7
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Áreas de pasto com fragmentos de áreas de uso agrícola.	6
Nuvem	Nuvem	0
Outras Áreas não vegetadas	Áreas de superfície não permeáveis.	7
Outras Formações não Florestais	Vegetação herbácea com influência fluviomarinha.	3
Outras Lavouras Perenes	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetal longo.	5
Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração.	5
Pastagem	Áreas de pasto com poucas ou nenhuma árvore.	7
Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, oceano e outras massas d'água	0
Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).	7

10.8.1.2 Suscetibilidade a Alagamento e Assoreamento

O índice topográfico de umidade (TWI) consiste em um descritor geomorfométrico, de valores adimensionais, que indica zonas de saturação de água superficial e o conteúdo de água nos solos (BEVEN E KIRIK, 1979; SIRTOLI et al., 2008). Com isso, essa ferramenta é amplamente utilizada para identificar áreas com risco de alagamentos, regiões de brejo, planícies de inundações e regiões onde a diminuição do declive gera a redução da competência do transporte de sedimentos.

O cálculo do TWI considera a declividade e a acumulação do fluxo, sendo que quanto menor a declividade maior é a tendência de acumular água. A acumulação de fluxo consiste na área de contribuição a montante de cada pixel. O TWI foi derivado a partir do MDT citado nos itens anteriores e pela expressão:

$$TWI = \frac{\ln A}{\tan(B)}$$

Em que:

- A = Acumulação de fluxo;
- B = Declividade.

10.8.2 Avaliação da Suscetibilidade à Erosão e Movimentos de Massa

A suscetibilidade à erosão e movimentos de massa foi espacializada para a AEL considerando a valoração dos aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, associado aos usos do solo descritos acima. A **Figura 10.8-1** apresenta o mapa e o **Quadro 10.8-6** apresenta os percentuais das áreas ocupadas por cada uma das classes de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa.

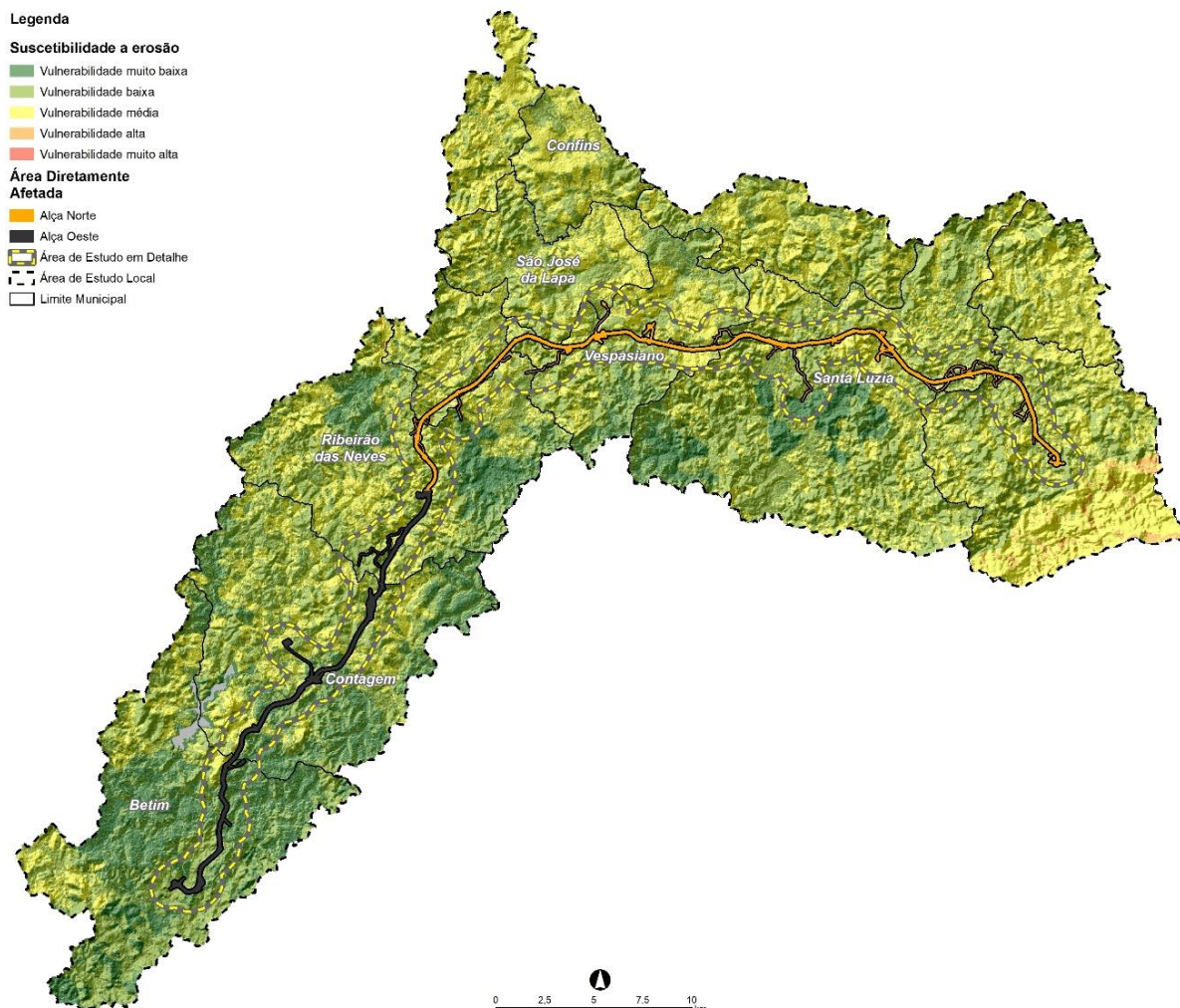


Figura 10.8-1 – Mapa de suscetibilidade a erosão na Área de Estudo Local do empreendimento.

Quadro 10.8-6 - Percentual de área para as classes de suscetibilidade a processos erosivos definidas para a Área de Estudo Local do empreendimento.

CLASSIFICAÇÃO	PORCENTAGEM (%)
Muito Baixa	13,77%
Baixa	51,14%
Média	34,53%
Alta	0,56%

De acordo com a classificação realizada, 0,56% da poligonal em análise é classificada como áreas de alta suscetibilidade à erosão e movimentos de massa. Essas áreas se concentram nas regiões das Serras do Quadrilátero Ferrífero, que correspondem aos locais de maiores declividades e com os intervalos altimétricos mais elevados. Além disso, as regiões também coincidem com áreas de ocorrências de cambissolos e neossolos que, por serem solos mais rasos, são mais facilmente erodíveis. Ressalta-se que as classes de suscetibilidade são aquelas que requerem maior atenção, pelo fato de serem as que apresentam maior suscetibilidade à erosão, sendo, portanto, mais propícias à ocorrência de processos erosivos e de instabilização (movimentos de massa – deslizamentos e escorregamentos, voçorocamento, ravinamento, queda de blocos, entre outros). Dessa forma, a área de abrangência que apresentou classe

alta deverá ter atenção especial na fase de implantação do empreendimento, a fim de se evitar a potencialização de tais eventos.

Sendo assim, o projeto executivo do empreendimento deverá realizar medidas de engenharia mais efetivas e criteriosas no que diz respeito às intervenções relacionadas à abertura de acessos, serviços de corte e aterro, de escavação de fundações, entre outras, que envolvem revolvimento de material subsuperficial do terreno, para que amenize ou anule o possível desenvolvimento de processos erosivos de qualquer natureza. Estas medidas, necessariamente, passam pelo disciplinamento do escoamento superficial das águas pluviais, que é o fator catalisador preponderante no desencadeamento dos referidos eventos.

Os locais de média suscetibilidade a processos erosivos, representam 34,50% da AEL e estão distribuídos ao longo de toda a área, se concentrando, ao longo das vertentes e sopés da serra do Curral. A suscetibilidade média também está sujeita a ocorrência de processos erosivos, mas que, em caso de implementação de medidas mitigadoras, preventivas e de controle adequadas e efetivas, a sua ocorrência pode ser inibida.

Em relação às classes de suscetibilidade a processos erosivos muito baixa e baixa, verifica-se que, considerando seus quantitativos de forma conjunta, elas somadas representam uma porcentagem aproximada de 64,82% da AEL. Essas áreas apresentam pouco ou risco nulo à ocorrência e desenvolvimento de processos erosivos e/ou de movimentos de massa. As áreas de suscetibilidade muito baixa estão localizadas majoritariamente nas regiões mais urbanizadas.

Em relação à ADA, a Alça Norte apresenta uma maior vulnerabilidade geotécnica com 55,70% de áreas classificadas como de média suscetibilidade à erosão, enquanto na Alça Oeste 29,71% de sua área está em regiões de média suscetibilidade. As áreas de baixa suscetibilidade à erosão são de 43,26% na Alça Norte e 55,46% na Alça Oeste. Em relação às áreas de suscetibilidade muito baixa, elas ocupam 1,04% da Alça Norte e 14,73% da Alça Oeste. A **Figura 10.8-2** mostra a distribuição das classes de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa da ADA.

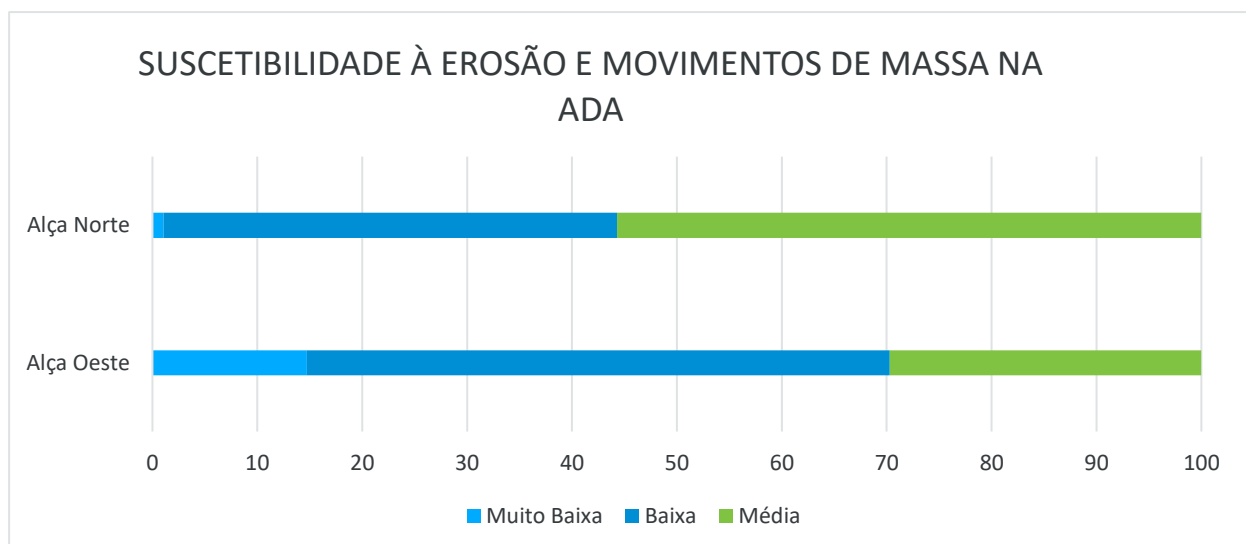


Figura 10.8-2 – Gráfico de distribuição das porcentagens das classes de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa na ADA.

Ao longo da ADA, foram listados diversos passivos ambientais que incluem áreas de solo exposto e focos erosivos. A localização e descrição desses pontos pode ser vista no **VOLUME 6** desse EIA, bem como as medidas mitigadoras e os programas ambientais propostos (**VOLUME 8**).

10.8.3 Avaliação da Suscetibilidade a Alagamento e Assoreamento

Para a classificação da Suscetibilidade a Alagamento e Assoreamento foram calculados os índices topográficos de umidade (TWI) para toda a área. Os valores obtidos foram classificados em cinco classes, sendo que quanto maior o índice, maior a vulnerabilidade. O **Quadro 10.8-7** traz o quantitativo das classes de vulnerabilidade, ao passo que a **Figura 10.8-3** mostra esse dado distribuído espacialmente. A maior parte da AEL, em torno de 65%, é classificada como regiões de suscetibilidade Muito Baixa e Baixa. Já as porções de suscetibilidade Muito Alta e Alta perfazem 12,39% da extensão total e ocorrem ao longo das drenagens, nas regiões de vales e talvegues encaixados e corpos d'água. As áreas classificadas como de risco moderado correspondem a 22,75%.

Quadro 10.8-7 - Percentual das classes de suscetibilidade a alagamentos e assoreamento para a Área de Estudo Local.

CLASSIFICAÇÃO	PORCENTAGEM (%)
Muito Baixa	27,32%
Baixa	37,54%
Média	22,75%
Alta	9,00%
Muito Alta	3,39%

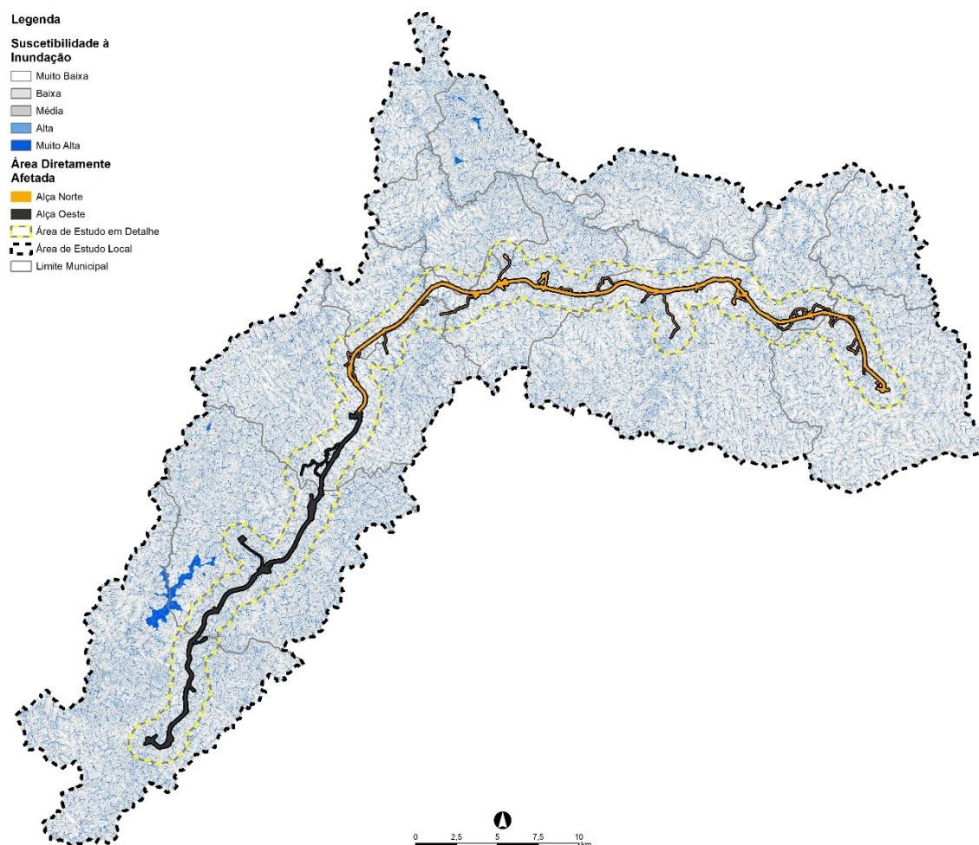


Figura 10.8-3 – Mapa de Suscetibilidade à Inundação na Área de Estudo Local do empreendimento.

Em relação à ADA, os valores de suscetibilidade a alagamento e assoreamento são bem próximos aos encontrados na AEL e, também não há variações significativas entre as alças. O **Quadro 10.8-8** traz o quantitativo dessas classes na ADA.

Quadro 10.8-8 - Percentual das classes de suscetibilidade a alagamentos e assoreamento para a Área Diretamente Afetada.

CLASSIFICAÇÃO	PORCENTAGEM (%)
Muito Baixa	27,05%
Baixa	38,17%
Média	22,69%
Alta	9,01%
Muito Alta	3,08%

10.9 Espeleologia

10.9.1 Introdução

As cavidades naturais constituem delicados ecossistemas, extremamente sensível a intervenções humanas devido aos processos originários de sua formação. As cavernas ou cavidades naturais são constituídas por um sistema de canais horizontais, verticais com fraturas e fendas de variações irregulares, formando em alguns casos um complexo sistema de condutos, onde a ação da água em algum momento e de diferentes formas dissolveu a rocha matriz (ICMBio, 2013).

A Constituição Federal de 1988, art. 20, X, estabelece que as cavidades naturais subterrâneas e os sítios arqueológicos e pré-históricos são bens da União (BRASIL, 1988). O art. 1º do Decreto nº 99.556/1990, modificado pelo Decreto nº 6.640/2008, dispõe que “as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional deverão ser protegidas, de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo”.

Contudo, com a promulgação do Decreto nº 6.640/2008 as cavidades naturais subterrâneas passam a ser classificadas de acordo com seu grau de relevância em máximo, alto, médio e baixo, determinado pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob enfoque regional e local. As feições classificadas entre baixa e alta relevância passaram a ser passíveis de supressão e manejo, desde que previamente estudadas durante o processo de licenciamento ambiental, levando em consideração o que determina a Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente nº 02/2017.

Em 12 de janeiro de 2022, foi publicado o Decreto nº 10.935 que revoga o Decreto nº 6.640/2008 e traz importantes alterações na legislação vigente, em que, de acordo com o artigo 5º, § 4º, cavidades de baixa relevância que sejam ocasionados impactos negativos irreversíveis, o empreendedor não ficará obrigado a adotar medidas para assegurar a preservação de outras cavidades naturais subterrâneas. Também é importante ressaltar que tal decreto não prevê a metodologia a ser utilizada para a classificação da relevância das cavidades, desta forma, deverá continuar a ser considerada a Instrução Normativa MMA nº 02/2017.

Por fim, em termos de legislação estadual vigente, cabe mencionar a Instrução de Serviço Sisema 08/2017, Revisão 1 que estabelece os procedimentos para análise dos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos e de atividades efetivas ou, potencialmente, causadoras de impactos sobre cavidades naturais subterrâneas.

Nesse contexto, os tópicos seguintes descrevem a caracterização do potencial espeleológico realizada no empreendimento, visando a ampliação do conhecimento de cavidades no território nacional e a preservação e conservação do Patrimônio Espeleológico Brasileiro. Todas os estudos foram executados

em conformidade com as legislações vigentes e com o documento Anexo 13 - Diretrizes Ambientais (SEINFRA, 2022) referente à documentação da Concorrência Internacional nº 001/2022 do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte.

10.9.2 Metodologia

Os levantamentos espeleológicos foram desenvolvidos em três fases distintas que contemplaram a execução de atividades de escritório e de campo específicas. Essas etapas visaram investigar e caracterizar esses registros em determinada área, ou seja, para se verificar a presença ou ausência de ocorrências espeleológicas a partir da caracterização e observação de aspectos geológicos, pedológicos e geomorfológicos existentes.

Na primeira fase foi feita uma revisão bibliográfica em estudos prévios, EIA/RIMA, relatórios, teses, dissertações e artigos científicos acerca das características geológicas, geomorfológicas e espeleológicas das áreas de estudo do Rodoanel Metropolitano BH. A listagem das cavidades já cadastradas nos municípios do empreendimento foi consultada nos bancos de dados do CECAV e da Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. O Mapa de Potencial Espeleológico foi desenvolvido a partir do mapa geológico compilado produzido neste EIA, seguindo a classificação de JASEN et al., (2012).

Dessa forma, nessa primeira fase foi realizada uma revisão sobre a legislação relacionada a cavidades naturais subterrâneas no Brasil e, em sequência, o levantamento de quais são as variáveis mais determinantes para composição do potencial espeleológico de uma região. A importância da determinação do potencial espeleológico antes dos trabalhos de campo é uma medida que torna a prospecção espeleológica mais eficiente, uma vez que a maior parcela de tempo do caminhamento é dedicada àquelas áreas com maior potencial de ocorrência de cavidades.

Posteriormente, foi feita a análise do Mapa de Potencial Espeleológico do CECAV e das ocorrências de cavidades naturais nas bases de dados CANIE e SBE, onde foi realizado o cruzamento dessas informações com as imagens aéreas e dos mapas geológico e geomorfológico, selecionando previamente diferentes pontos ao longo do empreendimento para a prospecção espeleológica. A análise preliminar da imagem aérea serviu para traçar as vias de acesso, no sentido de interceptar toda a área de estudo e em busca de áreas de afloramento de rochas ou de feições importantes, características de relevo cárstico e pseudo-cárstico como afundamentos de forma circular no terreno (dolina), cabeceiras de drenagem, sumidouro e ressurgências, além de cortar as unidades litoestratigráficas para a inspeção.

A segunda fase dos estudos espeleológicos se caracterizou pela execução das atividades de campo, realizadas entre 17 de julho e 04 de agosto de 2023, que se embasaram em um caminhamento ao longo de todo o traçado do Rodoanel Metropolitano BH. O objetivo foi mapear a ocorrência de cavidades passíveis de serem interferidas pelo empreendimento e de entrevistas com residentes e frequentadores da região para colher indicação e referências sobre cavidades que já fossem conhecidas nessas localidades.

A metodologia para realização das entrevistas se embasou na aplicação de um questionário, com questões objetivas referentes à identificação do entrevistado, se é morador do local, tempo de residência e sobre o seu conhecimento da existência ou não de cavidades naturais na região de interesse. A localização da casa ou moradia de cada entrevistado não foi coletada, pois serviram apenas como referência ao levantamento de campo.

No que concerne ao caminhamento de campo ao longo do traçado, essa atividade foi desenvolvida concomitantemente com a de entrevistas. Essa etapa foi executada utilizando duas metodologias distintas: i) Forma extensiva - reconhecimento inicial da área; ii) forma intensiva - de natureza sistemática consistindo

na disposição dos membros da equipe de campo em pontos específicos visando a observação da superfície do solo e rochas, realizadas em áreas com potencial espeleológico. Para cada ponto catalogado, foi realizada a caracterização geológica, pedológica e geomorfológica da área do seu entorno, sendo que no caso de ocorrência de cavidades uma caracterização e descrição espeleológica deveria ser realizada. Vale ressaltar que, em algumas propriedades privadas, não houve autorização dos proprietários impossibilitando as prospecções espeleológicas nesses locais.

A terceira e última fase contemplou a análise, consistência e consolidação dos dados de campo levantados, cujos resultados e avaliações são apresentados no presente Diagnóstico do Meio Físico do EIA do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, destacando-se que a principal conclusão observada foi a ausência de cavidades de alta relevância que possam ser impactadas pela implantação e operação do empreendimento em tela.

Destaca-se que o detalhamento dos estudos de Avaliação do Potencial Espeleológico com as fichas de inspeção de campo está disponível no **ANEXO 13 – Estudo de Avaliação do Potencial Espeleológico**. O mapa de pontos levantados e estão presentes nos **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pontos Prospecção Espeleológica**.

10.9.3 Caracterização Espeleológica

A caracterização do potencial espeleológico foi baseada na contextualização dos estudos espeleológicos no Brasil, ressaltando sua importância e os principais aspectos a serem observados para que os empreendimentos estejam em consonância com a legislação ambiental desta temática. De acordo com o Decreto nº 6.640/2008, entende-se por cavidade natural subterrânea:

(..) todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, fuma ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante.

A Portaria nº 78, de 03 de setembro de 2009, criou os Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação, tendo sido constituído o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), órgão que tem como objetivo principal realizar pesquisas científicas e ações de manejo e controle para conservação dos ambientes cavernícolas e espécies associadas, assim como auxiliar no manejo das Unidades de Conservação federais.

No estado de Minas Gerais, até o dia 24 de agosto de 2023, haviam sido cadastradas 11.029 cavidades pelo CEVAC e 2.656 cavidades pela SBE. Nos municípios seccionados pelo Rodoanel Metropolitano BH foram cadastradas 482 cavidades (**Quadro 10.9-1**). A lista completa dessas cavidades pode ser conferida nos **ANEXO 9 - RODOANEL METROPOLITANO BH ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ESPELEOLÓGICO**

Quadro 10.9-1 – Número de cavidades cadastradas pelo CECAV e pela SBE nos municípios cortados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH.

MUNICÍPIO	CECAV	SBE
Betim	---	---
Contagem	---	---
Pedro Leopoldo	249	116

MUNICÍPIO	CECAV	SBE
Ribeirão das Neves	---	---
Sabará	98	1
Santa Luzia	11	1
São José da Lapa	---	---
Vespasiano	4	2
Total	362	120

Dentre as cavidades cadastradas nos municípios do Rodoanel Metropolitano BH, apenas duas estão inseridas na AED. O **Quadro 10.9-2** traz o número do registro, o nome, as coordenadas e as distâncias em relação ao traçado dessas cavidades. A **Figura 10.9-1** mostra a localização dessas cavidades em relação ao empreendimento. Pontua-se que, ambas as cavidades se encontram fora do *buffer* de 250 metros em relação à ADA do projeto.

Quadro 10.9-2 – Cavidades registradas próximas ao traçado do empreendimento.

REGISTRO	CAVERNA	UTM SIRGAS 2000 – 23S		DISTÂNCIA EM RELAÇÃO A ADA
		X	Y	
021756.06799.31.57807	Caverna do Susto	616.017	7.818.551	432 m
021757.06641.31.71204	Gruta do Descarte	612.311	7.818.104	325 m

Fonte: Canie, 2022.

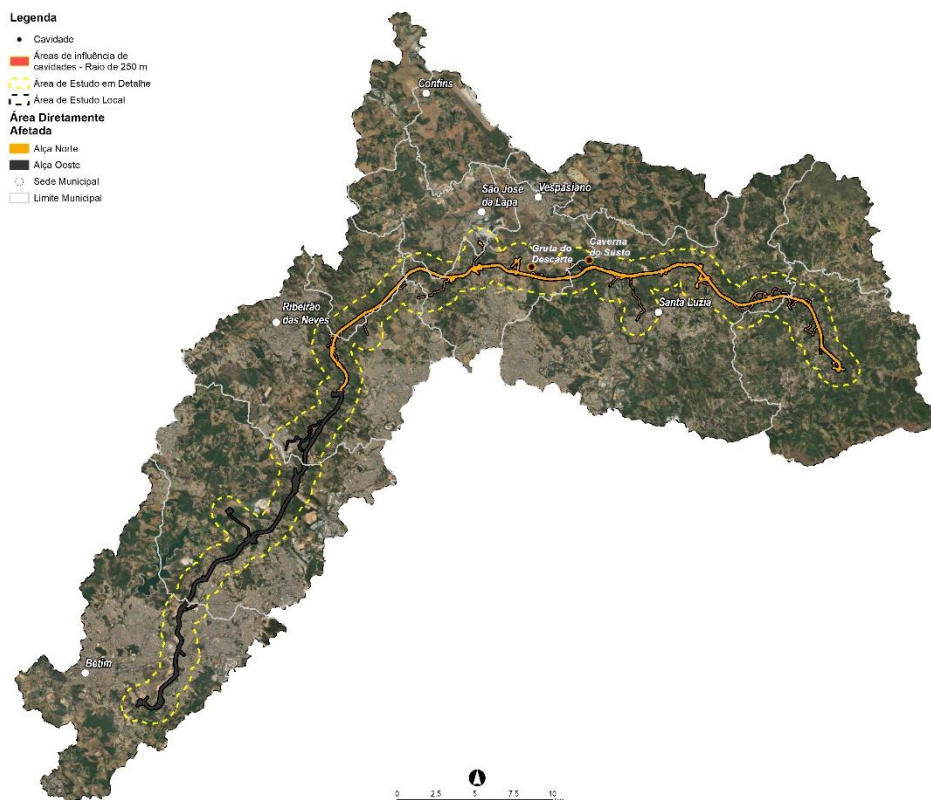


Figura 10.9-1 – Mapa com a localização e distribuição espacial das cavidades registradas na Área de Estudo em Detalhe do empreendimento.
Fonte: Canie, 2022.

O Mapa de Potencial Espeleológico da AEL utilizou como base o Mapa Geológico compilado para esse diagnóstico, disponível no **ANEXO 5 - RODOANEL METROPOLITANO BH MAPA GEOLÓGICO**. Para a determinação do potencial de ocorrência de cavidades, foi adotada a classificação de JANSSEN *et al.*, (2012) no mapa base, classificando as potencialidades, de ocorrência improvável a muito alto, de acordo com os litotipos das unidades geológicas descritas (**Quadro 10.9-3**). O produto final pode ser consultado no **ANEXO 8 - RODOANEL METROPOLITANO BH MAPA DE POTENCIAL ESPELEOLÓGICO**.

Quadro 10.9-3 - Potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil de acordo com as litologias.

POTENCIALIDADE	LITOTIPO
Muito alto	Calcário, dolomito, evaporito, metacalcário, formação ferrífera bandada, itabirito e jaspilito.
Alto	Calcrete, carbonatito, mármore e marga.
Médio	Arenito, conglomerado, filito, folhelho, fosforito, grauvaca, metaconglomerado, metapelito, metassilito, micaxisto, milonito, quartzito, pelito, riolito, ritmito, rocha calci-silicática, silito e xisto.
Baixo	Anortosito, arcóseo, augengnaisse, basalto, charnockito, diabasio, diamictito, enderbitto, gabro, gnaisse, granito, granitóide, granodiorito, hornfels, kinzigito, komatito, laterita, metachert, migmatito, monzogranito, olivina gabro, ortoanfibolito, sienito, sienogranito, tonalito, trondhjemitto, entre outros litotipos.
Ocorrência improvável	Aluvião, areia, argila, cascalho, lamito, linhito, turfa e outros sedimentos.

Fonte: Jansen et al., (2012).

Em relação a ADA do projeto, foi quantificado a potencialidade de ocorrência de cavidades considerando um *buffer* de 250m. Toda a Alça Oeste, que está inserida no Complexo Belo Horizonte, apresenta baixo

potencial espeleológico. Na Alça Norte 72,46% da ADA apresentam baixo potencial, associados as áreas de ocorrência do Complexo Belo Horizonte. As áreas de muito alto potencial espeleológico constituem 27,54% do buffer de 250 metros da alça e se associam à Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí. A **Figura 10.9-2** apresenta o gráfico com a distribuição das porcentagens do potencial espeleológico da ADA.

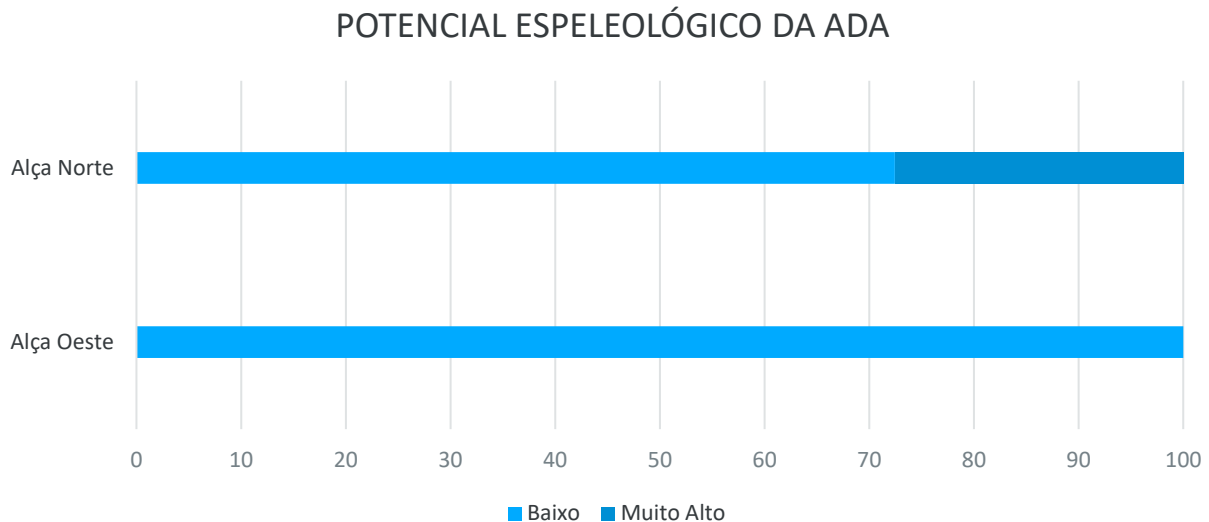


Figura 10.9-2 – Gráfico com a distribuição da porcentagem dos potenciais espeleológicos da ADA do empreendimento.

10.9.4 Prospecção Espeleológica

A prospecção espeleológica visou, principalmente, a identificação de novas cavidades não cadastradas pelo CECAV e pela SBE, e a classificação dos principais aspectos espeleológicos em um *buffer* de 250 metros da ADA do empreendimento. Durante as campanhas de campo, foram descritos 114 pontos, sendo que nenhuma cavidade além da Caverna do Susto e da Gruta do Descarte, já cadastradas pelo CECAV e fora do *buffer* de 250 metros da ADA, foi identificada. Os caminhamentos foram realizados de forma intensiva e extensiva, como descrito no item **10.9.2 Metodologia**, e nas áreas de muito alto potencial espeleológico houve um adensamento dos caminhamentos percorridos. Vale destacar que algumas propriedades não se obtiveram permissão e acesso junto aos seus proprietários, mas tal situação não acarretou prejuízos ao diagnóstico espeleológico realizado.

As fichas de inspeção de todos os pontos visitados estão no **ANEXO 13 – Estudo de Avaliação do Potencial Espeleológico** e o mapa de pontos pode ser consultado no **ANEXO 10 – Caderno de Mapas_ Mapa Pontos De Prospecção Espeleológica**.

No decorrer das visitas foram realizadas entrevistas com residentes e frequentadores locais, para investigar se havia cavidades próximas, de conhecimento da população. Todos os entrevistados relataram não conhecer nenhuma dessas feições nos entornos da ADA do Rodoanel Metropolitano BH.

A seguir, será descrito a Avaliação do Potencial Espeleológico da área que contempla as análises de escritório e os dados levantados em campo.

10.9.5 Avaliação do Potencial Espeleológico

A Avaliação do Potencial Espeleológico foi realizada a partir da integração e análise de todos os dados levantados, durante as fases de escritório e de campo, dos estudos espeleológicos executados. Essa avaliação foi organizada a partir da distribuição das alças do empreendimento, enfatizando as regiões de muito alto potencial espeleológico.

A Alça Oeste encontra-se inteiramente inserida em áreas de baixo potencial espeleológico. Do ponto de vista fisiográfico, a alça corta regiões de relevo predominantemente forte ondulado a ondulado, com morros convexos de aparência mamelonar. As litologias são ortognaisses e granitóides associados ao Complexo Belo Horizonte, que quando intemperizados originam espessos horizontes de argissolos e latossolos. Além disso, a alça é caracterizada por uma intensa ocupação urbana.

A Alça Norte apresenta diferentes potenciais espeleológicos condicionados, principalmente, pela distribuição das unidades geológicas da área. Assim como na Alça Oeste, as áreas de Baixo Potencial se associam às rochas cristalinas do Complexo Belo Horizonte.

As áreas de Muito Alto Potencial se estendem na porção central da alça, por cerca de 11,1 km, nas áreas de ocorrência da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí. Essa unidade é descrita como associações de calcários argilosos, calcários puros, dolomitos com pelitos intercalados, calcários estromatolíticos e folhelhos. Em relação a fisiografia, a região é dominada por morros suavizados com baixas vertentes.

Durante as campanhas de campo constatou-se que as regiões de muito alto potencial se encontram pediplanizadas com elevações em baixo gradiente para leste, e altas espessuras de solo marrom claro (**Figura 10.9-3 a Figura 10.9-5**). Boa parte da região é coberta por áreas urbanizadas e de pastagem, em que não são observadas cavidades. Fora do *buffer* de 250 metros da ADA são observados alguns afloramentos de metacalcário, podendo considerá-la como epicarste ou cárste coberto, onde pode existir drenagem subterrânea em cavidades, porém sem abertura externa (**Figura 10.9-6**). Os aspectos pedológicos são diversificados com a presença de Argissolos bem desenvolvidos, constatados através dos poços de inspeção da prospecção arqueológica, sem a presença de rochas aflorantes. Não ocorre o desenvolvimento de endocarste na região evidenciado pela ausência de dolinas, gerados pelo abatimento de material intemperizado no subsolo.



Figura 10.9-3 – Região pediplanizada com solo marrom claro. Ponto de Inspeção 095.



Figura 10.9-4 – Região pediplanizada com solo marrom claro. Ponto de Inspeção 095.



Figura 10.9-5 – Região pediplanizada com solo marrom claro. Ponto de Inspeção 097.



Figura 10.9-6 – Afloramento de calcilutito fora do *buffer* de 250 metros da área. Ponto de Inspeção 111.

Durante a caracterização do diagnóstico do meio físico do EIA, foram visitadas as duas cavidades, Gruta do Descarte e Caverna do Susto, mais próximas à ADA. Vale ressaltar que ambas as feições estão fora do *buffer* de prospecção de 250 metros estipulado pela Instrução de Serviço da SEMAD - IS 08/2017.

A Gruta do Descarte, localizada a 325 metros da ADA no município de Vespasiano e a 560 metros do traçado principal, se encontra em uma propriedade privada, com presença de indivíduos de porte arbóreos em sua entrada em meio a uma área de pasto (**Figura 10.9-7**). A boca da gruta apresenta cerca de 1,5 e 2 metros de largura, 3 metros de altura e apresenta um desenvolvimento vertical de cerca de 8 metros (**Figura 10.9-8** e **Figura 10.9-9**). Não foram observados espeleotemas e morcegos no interior da cavidade. A visita foi acompanhada pelo proprietário que relatou que a gruta vem sofrendo um processo de soterramento, com a deposição de sedimentos finos no fundo da caverna, carregados pelas águas pluviais.

Em relação aos empreendimentos do entorno, a gruta está a cerca de 140 metros da Avenida Fonseca Viana (**Figura 10.9-10**). Essa via consiste em um acesso importante entre a MG-010 e a bairros do município de Santa Luzia, apresentando tráfego intenso, incluído a passagem de veículos pesados. Além disso, também ocorre uma ocupação densa, com a presença de galpões e outros imóveis comerciais e residenciais, nos loteamentos próximos à cavidade. Considerando esses aspectos e o fato de a gruta estar a 560 metros do traçado principal, a implantação do Rodoanel Metropolitano BH não irá gerar impactos na cavidade.



Figura 10.9-7 – Presença de indivíduos arbóreos no entorno da entrada da gruta. Ponto de Inspeção 114.



Figura 10.9-8– Entrada da Gruta do descarte. Ponto de Inspeção 114.



Figura 10.9-9 – Imagem da profundidade da Gruta do descarte. Ponto de Inspeção 114.



Figura 10.9-10 – Imagem aérea de drone mostrando a proximidade da Gruta do Descarte com vias asfaltadas e empreendimentos comerciais.

A Caverna do Susto se localiza no município de Santa Luzia, a 432 metros da ADA. A cavidade está inserida em afloramentos de calcário conhecidos como Lapa da Zumba. No local foram identificados grampos utilizados para a prática de escalada esportiva. A entrada da cavidade é estreita e não foi observada a presença de espeleotemas e morcegos (**Figura 10.9-11**). A cerca de 10 metros da entrada da cavidade ocorre um poço artesiano e, a aproximadamente 30 metros foi executada a supressão vegetal e operações de corte e aterro em um loteamento (**Figura 10.9-12**). Além disso, a 500 metros a norte da cavidade há uma pedreira de calcário em fase de concessão de lavra, número do processo 810.837/1973, onde ocorrem detonações de rocha. O empreendimento foi requerido pela Engexplo Desmonte A Explosivos Ltda.



Figura 10.9-11 – Entrada da Caverna do Susto. Ponto de Inspeção 112.



Figura 10.9-12 – Loteamento nos entornos da Caverna do Susto e da Lapa da Zumba. Ponto de Inspeção 112.

Em suma, a Avaliação de Potencial Espeleológico constatou que a maior parte do empreendimento apresenta baixa potencialidade para a ocorrência de cavidades. As áreas de muito alto potencial espeleológico se associam ao Grupo Bambuí e correspondem a 27,54% da Alça Norte. Nas campanhas de prospecção não foi identificada nenhuma cavidade em um raio de 250 metros da ADA e, as áreas de muito alto potencial encontram-se pediplanizada com o desenvolvimento de argissolos. As cavidades mais próximas ao empreendimento já sofrem intervenções antrópicas em seu entorno, não sendo afetadas pela implantação e operação do empreendimento.

10.10 Recursos Hídricos Superficiais

10.10.1 Introdução

A água é um bem de domínio público, dotado de valor econômico e com disponibilidade limitada. Em função da importância que os corpos hídricos possuem como elementos integradores de toda a dinâmica socioambiental, é fundamental o pleno conhecimento dos cursos d'água existentes na Área de Estudo e seus comportamentos hidrológicos. Dessa forma, esse estudo fornece informações para que se possa conservar a qualidade e a quantidade de água na região, como determinam a Política Nacional do Meio Ambiente e a Política Nacional de Recursos Hídricos.

O traçado do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte se encontra inteiramente localizado dentro das bacias hidrográficas do rio Paraopeba (médio) e do rio das Velhas (alto e médio alto), as quais estão inseridas na região hidrográfica do rio São Francisco. O traçado do Rodoanel Metropolitano BH intercepta o rio das Velhas, além de ribeirões e córregos, como o ribeirão das Areais, ribeirão Betim, ribeirão Riacho das Pedras, ribeirão das Bicas, ribeirão Vermelho, córrego das Abóboras e córrego do Serrote.

A **Figura 10.10-1** apresenta a localização do traçado, a Área de Estudo Regional e as hidrografias principais afetas à região do projeto.



Legenda

Área Diretamente Afetada

- Alça Norte
- Alça Oeste

Bacia Hidrográfica

- Alto Paraopeba
- Médio Paraopebas
- Alto Rio das Velhas
- Médio Alto Rio das Velhas
- Médio Baixo Rio das Velhas
- Baixo Rio das Velhas

- Área de Estudo Regional

- Hidrografia

- Bacia do Rio das Velhas e Rio Paraopeba

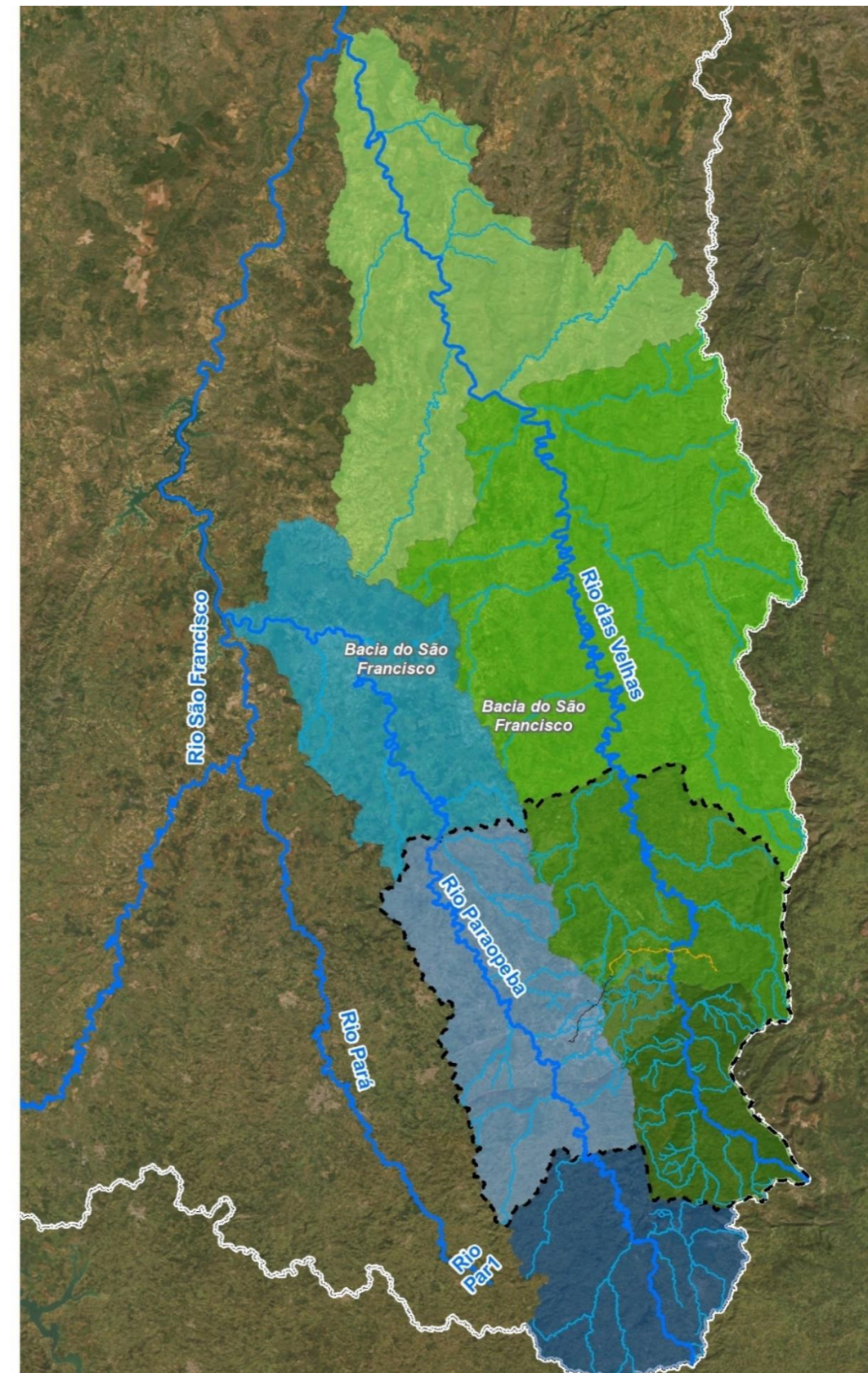
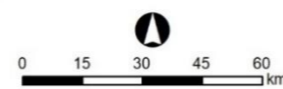


Figura 10.10-1 – Hidrografia da região do empreendimento.

10.10.2 Metodologia

O presente item discorre acerca da metodologia adotada para a caracterização dos recursos hídricos nas Áreas de Estudo Regional (AER), Local (AEL) e em Detalhe (AED) de forma a subsidiar o diagnóstico das condições atuais desse atributo do meio físico e suportar o prognóstico, pensando na implantação do empreendimento e nos possíveis impactos ambientais associados a esse. Limitações de escala da informação disponível em bases de dados públicas quanto ao monitoramento dos recursos hídricos exigiram que as análises fossem divididas de acordo com cada uma das áreas de estudo, sendo que as análises e metodologias associadas a essas descritas abaixo:

10.10.2.1 Área De Estudo Regional (AER)

Caracterização Geral dos Recursos Hídricos na AER: destaque das circunscrições hidrográficas compreendidas pelo empreendimento, análise do comportamento hidrossedimentológico, em termos médios mensais, a partir de dados disponíveis na Rede Hidrometeorológica Nacional (Hidroweb) para as estações fluviométricas, sedimentométricas e pluviométricas mais representativas, bem como e de análise de extremos de séries temporais de dados de vazão.

10.10.2.2 Área De Estudo Local (AEL)

Caracterização dos Recursos Hídricos na AEL: caracterização fisiográfica das principais sub-bacias da AEL, espacialização de nascentes a partir de bases públicas de dados, análise vazões de referência tendo por base estudos de regionalização de vazões elaborados por parceria entre o IGAM/UFV, usos da água, balanço hídrico quantitativo e quali-quantitativo de forma com o intuito de se analisar a pressão sobre os recursos hídricos na AEL por meio de dados de vazões outorgadas, análise de susceptibilidade a inundações por meio da superposição de parâmetros fisiográficos e de compilação de estudos de inundação realizados por municípios situados e interceptados pelo traçado, determinação dos riscos do sistema de drenagem das águas pluviais e travessias de bueiros.

10.10.2.3 Área de Estudo em Detalhe (AED)

Caracterização dos Recursos Hídricos na AED: superposição da hidrografia do estado de Minas Gerais, disponível na plataforma IDE-SISEMA, com o empreendimento de forma a se quantificar os ottotrechos de cursos d'água interceptados pela ADA do empreendimento.

Cabe ressaltar que além da compilação, análise e interpretação de informações e dados provenientes de bases estaduais e federais acerca dos recursos hídricos nas três áreas de estudos, o presente item também utiliza como base documentos elaborados e emitidos por entidades públicas, comitês de bacia, empresa de saneamento público (COPASA), dentre outras, acerca dos usos e da disponibilidade dos recursos hídricos sejam a nível de território municipal, região metropolitana, de bacia, área de proteção ambiental ou mananciais de abastecimento público. Nesse sentido, destaca-se abaixo os principais estudos consultados e referendados ao longo deste item:

- Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Rio das Velhas, 2015);
- Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba – SF3 - Resumo Executivo (COBRAPE, 2020);

- Estudo de Regionalização de Vazão para o Aprimoramento do Processo de Outorga no Estado de Minas Gerais. (IGAM, 2012);
- Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais (IGAM, 2010);
- Infraestrutura Natural para Água na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais (WRI, 2023);
- Plano de Segurança Hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte - PSH-RMBH (Agência RMBH, 2023);
- Projeto APA Sul, Estudos do Meio Físico (CPRM, 2005).

Alguns desses documentos são instrumentos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Tais instrumentos definem diretrizes para a gestão de recursos hídricos que devem ser consideradas tanto na fase de diagnóstico do empreendimento quanto na fase de avaliação de impactos ambientais. Demais instrumentos previstos na PNRH também são essenciais ao presente diagnósticos e são apresentados no subitem a seguir.

10.10.2.4 Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos nas Bacias dos Rios das Velhas e Paraopeba

A Lei Nº 9.433 instituiu em janeiro de 1997 a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tendo como objetivos a garantia do acesso a água em padrões de qualidade adequados às gerações atual e futuras, utilização racional e integrada dos recursos hídricos, prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos e incentivo e a promoção a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais. Essa lei prevê instrumentos de gestão de recursos hídricos de forma a se atingir os objetivos listados, de onde lista-se:

- **Planos de Recursos Hídricos:** documentos que definem a agenda dos recursos hídricos de uma região, incluindo informações sobre ações de gestão, projetos, obras e investimentos prioritários. Tais planos são elaborados a nível nacional, unidade da federação e de bacia. A nível de bacia, a elaboração desses planos são responsabilidade do Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), com suporte de Agências de Bacias, ou dos próprios governos estaduais;
- **Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água:** que estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo. A nível nacional, a Resolução CONAMA 357/2005, complementada pela Resolução CONAMA 430/2011, dispõe acerca da classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A Resolução CNRH nº 91, de 5 de novembro de 2008, estabelece que compete às agências de água ou de bacia ou entidades delegatárias das suas funções, a elaboração e encaminhamento das propostas de alternativas de enquadramento aos respectivos comitês de bacia hidrográfica para discussão, aprovação e posterior encaminhamento, para deliberação, ao Conselho de Recursos Hídricos;
- **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos:** instrumento legal que assegura ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos. A autorização garante o direito de uso ao usuário, não sendo dada a esse a propriedade da água;

- **Cobrança pelo uso de recursos hídricos:** objetiva o reconhecimento da água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; o incentivo à racionalização do uso da água, bem como obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídrico;
- **Compensação a municípios:** afetados por inundação causada por implantação de reservatório ou por restrição decorrente de lei ou outorga;
- **Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos:** estabelecimento de sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

No âmbito do estado de Minas Gerais, a Lei Estadual nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999 dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), estando essa em consonância com a PNRH, abrangendo instrumentos complementares em seu Art. 9º, tais como:

- **Plano Estadual de Recursos Hídricos:** deverá a divisão hidrográfica do Estado, na qual se caracterizará cada bacia hidrográfica utilizada para o gerenciamento descentralizado e compartilhado dos recursos hídricos; objetivos a serem alcançados; as diretrizes e os critérios para o gerenciamento de recursos hídricos; programas de desenvolvimento institucional, tecnológico e gerencial, de valorização profissional e de comunicação social, no campo dos recursos hídricos;
- **Rateio de custos das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo:** As obras de uso múltiplo de recursos hídricos, de interesse comum ou coletivo, terão seus custos rateados, direta ou indiretamente, segundo critérios e normas a serem estabelecidos em regulamento baixado pelo Poder Executivo, após aprovação pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG);
- **Penalidades:** penalização a usuários que cometam práticas de derivação ou utilização de recursos hídricos (superficiais ou subterrâneos) sem a respectiva outorga de direito de uso; ampliação ou alteração de empreendimento relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos que importe alterações no seu regime, quantidade e qualidade, ou iniciar a sua implantação, sem autorização do órgão ou da entidade da administração pública estadual, utilização de recursos hídricos em desacordo com as condições estabelecidas na outorga; fraudar as medidas dos volumes de água captados e a declaração dos valores utilizados; infringir instruções e procedimentos estabelecidos pelos órgãos e pelas entidades competentes; obstar ou dificultar a ação fiscalizadora das autoridades competentes.

As bacias dos rios Paraopeba e das Velhas contam com diversos desses instrumentos de gestão de recursos hídricos, cujos objetivos, diretrizes e diagnósticos podem suportar as análises aqui realizadas. Adicionalmente, esses instrumentos têm um papel importante nos levantamentos dos possíveis implicativos decorrentes da implantação do Rodoanel Metropolitano BH sobre os recursos hídricos, em decorrência, principalmente, da interceptação de corpos hídricos pelo traçado ou possíveis usos consuntivos.

O **Quadro 10.10-1** sumariza os principais instrumentos de gestão de recursos hídricos nas bacias de interesse.

Quadro 10.10-1 – Resumo dos principais instrumentos de gestão de recursos hídricos disponíveis nas bacias dos rios Paraopeba e das Velhas.

INSTRUMENTO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	RIO PARAOPEBA	RIO DAS VELHAS
Plano de Recursos Hídricos	<p>Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba (PDRH Paraopeba): contempla diagnóstico da situação atual da bacia, prognóstico com o horizonte de planejamento de 20 anos, estratégias e diretrizes do PDRH suportado por um plano de ações de modo a garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos da bacia. No momento, encontra-se disponível apenas o Sumário Executivo do PDRH Paraopeba no portal hidroinfo do IGAM.</p>	<p>Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio das Velhas – PDRH 2015: Elaborado pelo Consórcio ECOPLAN/SKILL em 2015, o PDRH fundamenta o Comitê da Bacia Hidrográfica – CBH Rio das Velhas, a Agência de Bacias Peixe Vivo, os subcomitês, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), prefeituras municipais e demais instituições envolvidas em sua implementação, através do conhecimento sobre os principais problemas da bacia, as metas e ações prioritárias, as fontes de recursos disponíveis e a responsabilidade de cada ator na gestão compartilhada dos recursos hídricos.</p>
Enquadramento de Recursos Hídricos ¹	<p>Deliberação Normativa nº 14, de 28 de dezembro de 1995: dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio Paraopeba.</p>	<p>Deliberação Normativa nº 20, de 24 de junho de 1997: dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas.</p>
Regularização de uso de recursos hídricos em MG	<p>Decreto Estadual nº 47.705/2019: estabelece normas e os procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais.</p>	
Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos ²	<p>Portaria IGAM Nº 23, de 31 de maio de 2023: altera a Portaria IGAM nº 48, de 04 de outubro de 2019, que estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais, e dá outras providências.</p> <p>Ao que concerne às vazões máximas outorgáveis, a portaria estabelece em seu Art. 1º</p> <p>“Parágrafo único - O limite máximo de captações em recursos hídricos nas Circunscrições Hidrográficas – CHs – Rio Pará, Rio Paraopeba, Rio das Velhas, Rios Jequitai e Pacuí, Rio Urucuia, Afluentes Mineiros do Médio São Francisco e Rio Verde Grande, para cada seção considerada em condições naturais, será de 30% (trinta por cento) da Q7,10, ficando garantidos a jusante de cada intervenção, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da Q7,10.”</p> <p>Ao que concerne às vazões de diluição, a portaria estabelece em seu Art. 2º</p> <p>“§1º - O limite máximo para cálculo da vazão de diluição para lançamento de efluentes em recursos hídricos nas CHs – Rio Pará, Rio Paraopeba, Rio das Velhas, Rios Jequitai e Pacuí, Rio Urucuia, Afluentes Mineiros do Médio São Francisco e Rio Verde Grande, para cada seção considerada em condições naturais, será de 70% (setenta por cento) da Q7,10.</p>	
Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos ³	<p>Deliberação Normativa nº 08/2021 do CBH Paraopeba: aprova os mecanismos e valores de cobrança do CBH Paraopeba. Posteriormente, está é aprovada pelo CERH-MG por meio da Deliberação CERH-MG nº 474/2021.</p>	<p>Deliberação Normativa nº 03/2020 do CBH Rio das Velhas: Aprova a atualização monetária dos Preços Públicos Unitários (PPU) praticados na metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia</p>

INSTRUMENTO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	RIO PARAÓPEBA	RIO DAS VELHAS
		hidrográfica do rio das Velhas. Posteriormente, está é aprovada pelo CERH-MG por meio da Deliberação CERH-MG nº 444/20220.
Compensação a municípios	<p>Segundo a ANEEL (2022), é estabelecido que a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos para geração de energia elétrica é uma indenização paga pelas usinas hidrelétricas. Esses valores são coletados e distribuídos aos Estados, Municípios e órgãos federais, conforme estabelecido na Constituição Federal de 1988, artigo 20, § 1º, e regulamentado pela Lei nº 7.990/1989. O valor recolhido é distribuído pela ANEEL, conforme estabelecido na Lei nº 8.001/1990, com modificações dadas pelas Leis nº 9.433/97, nº 9.984/00, nº 9.993/00, nº 13.360/16 e nº 13.661/18.</p> <p>Adicionalmente, a Lei Estadual nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, em seu Art. 29 estabelece que a compensação a município afetado por inundação causada por implantação de reservatório ou por restrição decorrente de lei ou outorga relacionada com recursos hídricos será disciplinada pelo Poder Executivo, mediante decreto, a partir de estudo próprio, aprovado pelo CERH-MG.</p>	
Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos	Portal InfoHidro: ferramenta integrante do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos, cujo objetivo é disponibilizar dados e informações técnicas que são produzidas pelo IGAM e por seus parceiros, tais como Comitês de Bacia, Agências de Bacias, Universidades, entre outros.	
Plano Estadual de Recursos Hídricos	Plano Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (PERH-MG): concluído em 2010 e aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos conforme Deliberação CERH/MG, nº 260 de 26 de novembro de 2010 e pelo Governo de Minas por meio do Decreto nº 45.565 de 22 de março de 2011. O PERH-MG tem o objetivo de promover o uso sustentável dos recursos hídricos no estado, garantindo a disponibilidade de água para as necessidades atuais e futuras da população, além de proteger os ecossistemas aquáticos. O documento é dividido em quatro volumes que contemplam aspectos estratégicos para a gestão de recursos hídricos, instrumentos de gestão, avaliação do sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos no estado, bem como a proposição de programas, projetos e ações estruturais e/ou estratégicas quanto a temática de recursos hídricos.	
Rateio de custos das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo ⁴	Regimento Interno do CBH Rio Paraopeba: criado pela Deliberação 03/2022 do CBH-Paraopeba.	Regimento Interno do CBH Rio Paraopeba: criado pela Deliberação CBH Rio das Velhas nº 05, de 02 de agosto de 2019.
Penalidades	Decreto nº 47383, de 02/03/2018: estabelece normas para licenciamento ambiental, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades. Dentre as penalidades previstas, o Art. 109 da Subseção IX prevê a suspensão ou o cancelamento de cadastro, registro, licença, outorga, permissão ou autorização, perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais, perda ou suspensão da participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito, proibição de contratar com a administração pública, pelo período de até três anos e a suspensão de entrega ou utilização de documentos de controle ou registro expedidos pelo órgão ambiental competente.	

¹ A nível estadual, tem-se a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8, de 21 de novembro de 2022, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.² Em caso restrito a bacia do rio das Velhas, a Deliberação CBH Rio Das Velhas nº 18, de 28 de abril de 2022,

institui a Câmara Técnica de Outorga e Cobrança do CBH Rio das Velhas, com o intuito de analisar e emitir parecer sobre os processos de outorgas encaminhados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, previamente à sua apreciação pela Plenária do CBH Rio das Velhas;³ A nível estadual, tem-se o Decreto nº 48160, de 24/03/2021, que regulamenta a cobrança pelo uso de recursos hídricos no Estado e dá outras providências, e a Portaria IGAM nº 79, de 25 de outubro de 2021, a qual estabelece normas suplementares para a Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos (CRH) de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências⁴ Ambos os regimentos internos dos comitês das bacias dos rios Paraopeba e das Velhas estabelecem que dentre as suas competências e funções os cabem definir, de acordo com critérios e normas estabelecidos, o rateio de custos das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo

10.10.3 Caracterização Geral dos Recursos Hídricos na AER

O Brasil possui 12 regiões hidrográficas por todo o seu território, definidas a partir da Resolução CNRH 32/2003. Observa-se na **Figura 10.10-2**, que a Área de Estudo Regional do Rodoanel Metropolitano BH está totalmente inserida na Região Hidrográfica do rio São Francisco.



Figura 10.10-2 – Regiões hidrográficas do Brasil com destaque para a Área de Estudo Regional do empreendimento.
Fonte: ANA, 2023.

10.10.3.1 Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

A Bacia Hidrográfica do rio São Francisco possui uma área de drenagem de aproximadamente 639.219 km² e extensão de 2.863 km, sendo dividida em quatro regiões (alto, médio, submédio e baixo São Francisco) e em 34 sub-bacias.

A bacia abrange 505 municípios e seis estados, se estendendo desde Minas Gerais, onde o rio São Francisco nasce, na serra da Canastra, até a divisa dos estados de Alagoas e de Sergipe, onde o rio deságua no Oceano Atlântico (CBH SF, 2022).

A população total da bacia é superior a 15 milhões de habitantes, sendo que a maior concentração demográfica está no Alto São Francisco. Seu perfil populacional apresenta grandes contrastes, com áreas com elevados níveis de riqueza e densidade demográfica e outras com renda reduzida e baixa densidade populacional.

As demandas urbanas e industrial referem-se à siderurgia, mineração, química, têxtil, papel e equipamentos industriais, sendo mais expressivas no Alto São Francisco. A bacia apresenta um alto índice de lançamento de efluentes industriais e domésticos nas calhas do São Francisco e seus afluentes, sendo a Região Metropolitana de Belo Horizonte uma das áreas onde a poluição é mais crítica.

10.10.3.1.1 Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

A Deliberação Normativa CERH-MG 66/2020, estabeleceu sete Unidades Estratégicas de Gestão (UEG) no Estado de Minas Gerais, sendo que a bacia do rio Paraopeba se insere na UEG denominada Afluentes do Alto São Francisco (UEG 1). Esta é composta por 10 Circunscrições Hidrográficas (CHs). Esses instrumentos territoriais (Circunscrições Hidrográficas - CHs) orientam a estruturação e a formação dos comitês de bacia no estado de Minas Gerais. A bacia do Paraopeba corresponde à CH SF3 e possui uma área de drenagem de 12.054,25 km (IGAM, 2023).

Nessa bacia se insere uma população de aproximadamente 1.318.885 milhões de habitantes, distribuídos em 48 municípios que são cortados pelo rio e seus afluentes, a saber: Belo Vale, Betim, Bonfim, Brumadinho, Cachoeira da Prata, Caetanópolis, Casa Grande, Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Contagem, Cristiano Ottoni, Crucilândia, Curvelo, Desterro de Entre Rios, Entre Rios de Minas, Esmeraldas, Felixlândia, Florestal, Fortuna de Minas, Ibirité, Igarapé, Inhaúma, Itatiaiuçu, Itaúna, Itaverava, Jeceaba, Juatuba, Lagoa Dourada, Maravilhas, Mario Campos, Mateus Leme, Moeda, Ouro Branco, Ouro Preto, Papagaios, Pará de Minas, Paraopeba, Pequi, Piedade dos Gerais, Pompéu, Queluzito, Resende Costa, Rio Manso, São Brás do Suaçuí, São Joaquim de Bicas, São José da Varginha, Sarzedo, Sete Lagoas (IGAM, 2023). O traçado do Rodoanel Metropolitano BH passa diretamente sobre os municípios de Contagem, Betim e Ibirité.

De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba (COBRAPE, 2020), a maior parte da área da bacia é ocupada por pastagem (38,8%) e agricultura/pastagem (28,4%), ocorrendo ainda, de forma menos predominante, infraestrutura urbana, com 2,9%, formações naturais não florestais (0,01%), e áreas não vegetadas (0,2%).

A bacia apresenta uma significativa densidade de drenagem, que alimenta o rio Paraopeba em todo o seu percurso. Ela possui como principais tributários: rio Maranhão, rio Pequeri, ribeirão Casa Branca, ribeirão Grande, ribeirão, Sarzedo, ribeirão Betim, ribeirão Macacos, ribeirão Cedro e ribeirão São João na margem

direita; e rio Brumado, rio da Prata, rio Macaúbas, rio Manso, ribeirão serra Azul e rio Pardo (COBRAPE, 2020). O principal curso d'água da bacia é o rio homônimo, que tem sua nascente localizada no extremo sul da serra do Espinhaço, no município de Cristiano Ottoni, e que percorre uma distância de aproximadamente 550 km até seu exutório no rio São Francisco, entre os limites dos municípios de Felixlândia e Pompéu.

10.10.3.1.2 Bacia Hidrográfica do rio das Velhas

A bacia do rio das Velhas corresponde à CH SF5. Seu principal corpo d'água é o rio das Velhas, que tem sua nascente principal na cachoeira das Andorinhas, no município de Ouro Preto, numa altitude de aproximadamente 1.500 metros, percorrendo 806,84 km e desaguando no rio São Francisco, em barra do Guaicuí, Distrito de Várzea da Palma, numa altitude de 478 m. Essa bacia é dividida em três regiões (alto, médio e baixo Velhas) e possui área total de drenagem de 27.850 km² (CBH Rio das Velhas, 2015).

A bacia hidrográfica apresenta uma significativa densidade de drenagem, que alimenta o rio das Velhas em todo o seu percurso. Possui como principais tributários o rio Paraúna, rio Itabirito, rio Taquaraçu, rio Bicudo e ribeirão da Mata. Assim como a maioria dos rios brasileiros, o rio das Velhas apresenta regime de tipo pluvial e dessa forma, no período de chuvas há uma grande elevação no nível das águas (IGAM, 2005).

A bacia do rio das Velhas possui uma população de aproximadamente 4,8 milhões de habitantes, distribuídos em 51 municípios que são cortados pelo rio e seus afluentes, a saber: Araçaí, Augusto de Lima, Baldim, Belo Horizonte, Buenópolis, Caeté, Capim Branco, Conceição do Mato Dentro, Confins, Congonhas do Norte, Contagem, Cordisburgo, Corinto, Curvelo, Datas, Diamantina, Esmeraldas, Funilândia, Gouveia, Inimutaba, Itabirito, Jaboticatubas, Jequitibá, Joaquim Felício, Lagoa Santa, Lassance, Matozinhos, Monjolos, Morro da Garça, Nova Lima, Nova União, Ouro Preto, Paraopeba, Pedro Leopoldo, Pirapora, Presidente Juscelino, Presidente Kubitschek, Prudente de Moraes, Raposos, Ribeirão das Neves, rio Acima, Sabará, Santa Luzia, Santana de Pirapama, Santana do Riacho, Santo Hipólito, São José da Lapa, Sete Lagoas, Taquaraçu de Minas, Várzea da Palma, e Vespasiano (CBH Rio das Velhas, 2020). O traçado do Rodoanel Metropolitano BH afeta diretamente os municípios de Ribeirão das Neves, Pedro Leopoldo, Vespasiano, São José da Lapa, Santa Luzia e Sabará.

10.10.3.2 Comportamento Hidrológico Médio

Com o intuito de caracterizar o regime fluviométrico da região da Área de Estudo, foi realizada consulta ao banco de dados da Agência Nacional das Águas – ANA, plataforma Hidroweb. A partir dos dados do Inventário da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), cruzados com dados do *plugin* da própria agência no QGIS, foram selecionadas todas as estações fluviométricas com disponibilidade de dados e localizadas nas bacias do rio Paraopeba (médio) e rio das Velhas (alto e médio alto), eliminadas estações inoperantes, de qualidade da água, UHE, PCH e CGH, além daquelas operadas pelo CEMADEN.

A **Figura 10.10-3** apresenta as estações analisadas, onde se destacam aquelas que foram selecionadas para análise estatística de sua série de dados.

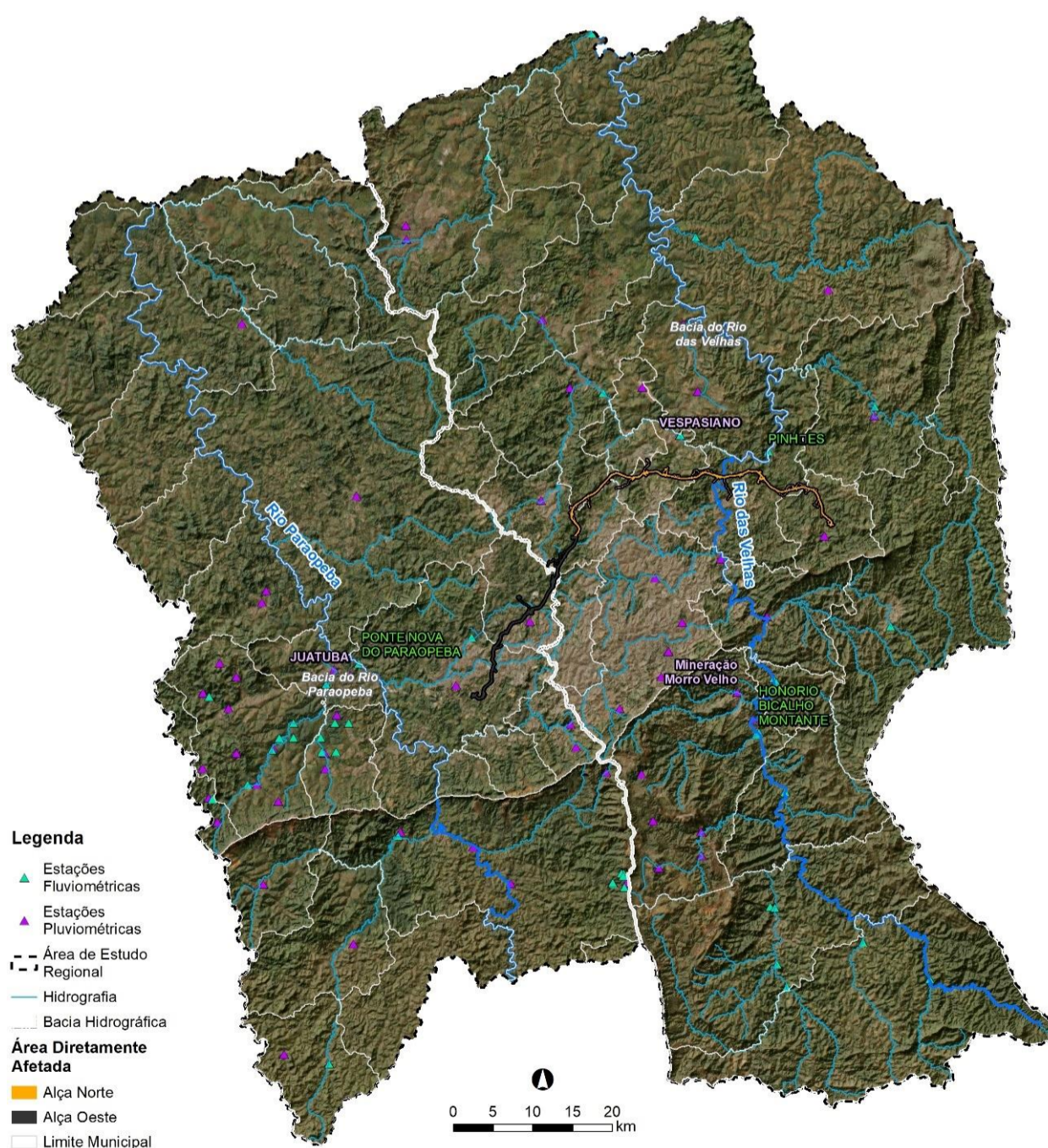


Figura 10.10-3 – Distribuição espacial da rede hidrométrica da Área de Estudo Regional do empreendimento.
Fonte: ANA, 2023.

Após análise das séries, foram utilizados os dados de três estações fluviométricas: Ponte Nova do Paraopeba (40800001), Honório Bicalho Montante (41199998) e Pinhões (41260000). De forma a associar o regime de vazões ao regime pluviométrico da região, analogamente foi realizado o levantamento de estações pluviométricas na região próxima a Área de Estudo e foram selecionadas as estações pluviométricas Juatuba (01944027), Mineração Morro Velho (1943000) e Vespasiano (01943009), respectivamente próximas as estações fluviométricas selecionadas. O critério de escolha das estações selecionadas fundamentou-se na

localização em relação aos rios principais, na disponibilidade de registros suficientes para caracterização, na qualidade dos dados da estação, na proximidade com o empreendimento, dentre outros aspectos. As estações foram selecionadas com a finalidade de se levantar dados para subsidiar a estimativa da série de vazões e precipitações médias mensais, bem como subsidiar a análise de dados extremos (máximos e mínimos).

As estações fluviométricas selecionadas estão dispostas no **Quadro 10.10-2**.

Quadro 10.10-2 – Lista das estações fluviométricas utilizadas para a caracterização da região do empreendimento.

ESTAÇÃO	RIO	LAT.	LON.	MUNICÍPIO	ÁREA DE DRENAGEM (km ²)	PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS	ENTIDADE RESPONSÁVEL
Ponte Nova do Paraopeba (Cód. 40800001)	Rio Paraopeba	- 19,949	-44,305	Betim	5680	1938 a 2022	ANA
Honório Bicalho Montante (Cód. 41199998)	Rio das Velhas	-20,024	-43,824	Nova Lima	1550	1972 a 2021	ANA
Pinhões (Cód. 41260000)	Rio das Velhas	-19,705	-43,815	Santa Luzia	3928	1976 a 2018	ANA

Fonte: ANA, 2023.

As estações pluviométricas selecionadas estão dispostas no **Quadro 10.10-3**.

Quadro 10.10-3 – Lista das estações pluviométricas utilizadas para a caracterização da região do empreendimento.

ESTAÇÃO	LAT.	LON.	MUNICÍPIO	ALTITUDE (m)	PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS	ENTIDADE RESPONSÁVEL
Juatuba (Cód. 01944027)	-19,956	-44,334	Mateus Leme	716	1971 a 2022	ANA
Mineração Morro Velho (Cód. 1943000)	-19,979	-43,85	Nova Lima	770	1942 a 2018	ANA
Vespasiano (Cód. 01943009)	-19,687	-43,921	Vespasiano	676	1942 a 2022	ANA

Fonte: ANA, 2023.

Da **Figura 10.10-4** a **Figura 10.10-6** estão plotadas a análise das vazões e precipitações médias mensais, máximas e mínimas para as estações supracitadas, ao passo que do **Quadro 10.10-4** ao **Quadro 10.10-6** encontra-se tabulada a magnitude destes valores.

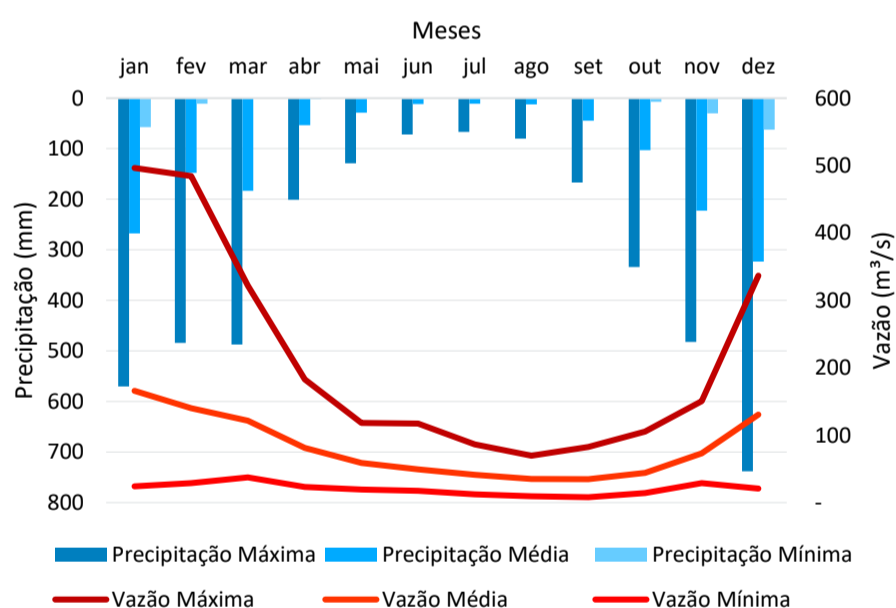


Figura 10.10-4 – Vazões e precipitações mensais máxima, média e mínima para série histórica da estação fluviométrica Ponte Nova do Paraopeba (40800001) e estação pluviométrica Juatuba (01944027).

Fonte: Dados extraídos da plataforma HIDROWEB, 2023.

Quadro 10.10-4 – Resumo dos valores médios mensais de pluviometria e fluviometria das estações Juatuba (01944027) e Ponte Nova do Paraopeba (40800001), respectivamente.

		MÊS	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
PRECIPITAÇÃO (mm)	MÁXIMA		570	484	487	201	129	72	67	80	167	334	482	738
	MÉDIA		268	148	183	54	29	12	11	13	45	103	222	323
	MÍNIMA		58	11	0	2	0	0	0	0	0	7	30	63
VAZÃO (m³/s)	MÁXIMA		496,4	484,4	321,8	182,6	118,3	117,1	86,3	69,6	82,6	105,4	150,4	336,8
	MÉDIA		165,8	139,9	121,5	81,2	58,7	49,1	41,3	35,0	34,8	44,3	73,2	130,4
	MÍNIMA		24,4	29,1	37,4	23,2	19,6	17,7	12,4	9,3	8,0	14,1	28,9	20,8

Na **Figura 10.10-4** estão plotadas as vazões médias mensais da estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001) em conjunto com as precipitações acumuladas mensais da estação pluviométrica Juatuba (01944027). Tais estações estão inscritas na bacia do rio Paraopeba.

Analisando a **Figura 10.10-4** e o **Quadro 10.10-4**, observa-se que a tendência dos dados de vazão se comporta de forma semelhante aos dados de precipitação, apresentando período de cheia e estiagem bem definidos, demonstrando a consistência dos dados. Janeiro mostra-se como o mês mais caudaloso, registrando vazões médias mensais de cerca de 165,8 m³/s ao passo que setembro se apresenta como mês mais seco, com vazões médias de 34,8 m³/s. Adicionalmente, nota-se variabilidade mensal expressiva na magnitude das vazões, atestada pelas vazões mínimas e médias, principalmente nos meses de cheia.

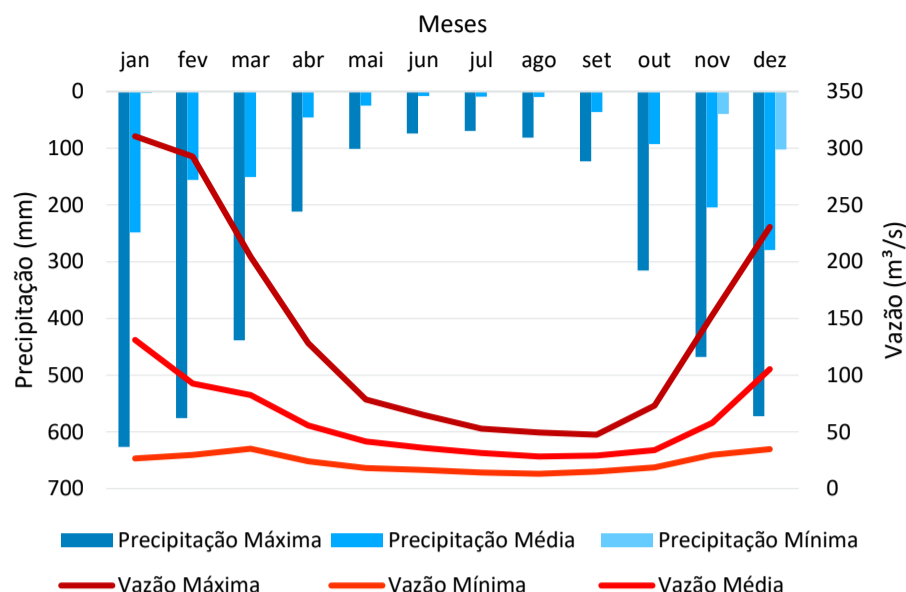


Figura 10.10-5 – Vazões e precipitações mensais máxima, média e mínima para série histórica da estação fluviométrica Pinhões e estação pluviométrica Vespasiano.

Fonte: Dados extraídos da plataforma HIDROWEB, 2023.

Quadro 10.10-5 – Resumo dos valores médios mensais de pluviometria e fluviometria das estações Vespasiano (01943009) e Pinhões (41260000), respectivamente.

MÊS		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
PRECIPI- PITAÇÃO (mm)	MÁXIMA	626,2	575,4	413,2	211,4	99,6	29,4	69,2	81,5	116,5	315,7	433,3	526,0
	MÉDIA	270,1	148,7	142,0	44,9	23,1	5,0	9,9	8,8	37,1	90,7	211,1	277,9
	MÍNIMA	35,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,2	102,3
VAZÃO (m³/s)	MÁXIMA	1.051	698,0	549,7	205,0	118,6	114,4	89,6	80,3	234,5	263,2	544,8	890,3
	MÉDIA	55,8	45,8	60,1	43,4	22,8	20,8	18,2	16,9	19,8	28,4	54,8	54,0
	MÍNIMA	131,1	92,6	82,4	55,7	41,5	35,8	31,3	28,3	29,2	33,9	57,9	105,5

Na Figura 10.10-5 estão plotadas as vazões médias mensais da estação Pinhões (41260000) em conjunto com as precipitações acumuladas mensais da estação pluviométrica Vespasiano (01943009). Ambas as estações estão situadas na bacia do rio das Velhas. Esses dados também são observáveis no Quadro 10.10-5. Tal como observado na estação Ponte Nova do Paraopeba, a tendência dos dados de vazão se comporta de forma semelhante aos dados de precipitação, apresentando períodos de cheia e estiagem bem definidos, demonstrando um comportamento consistente regionalmente.

O mês de março mostra-se como o mês com maiores volumes de vazão, sendo que as vazões médias mensais se situam em torno de 60,1 m³/s. Em contrapartida, agosto se apresenta como o mês mais seco, com vazões médias de 16,9 m³/s. Ao longo do período de monitoramento da estação, observa-se grande variabilidade mensal na magnitude das vazões, sendo que esse comportamento é atestado pela amplitude das vazões mínimas e médias observadas.

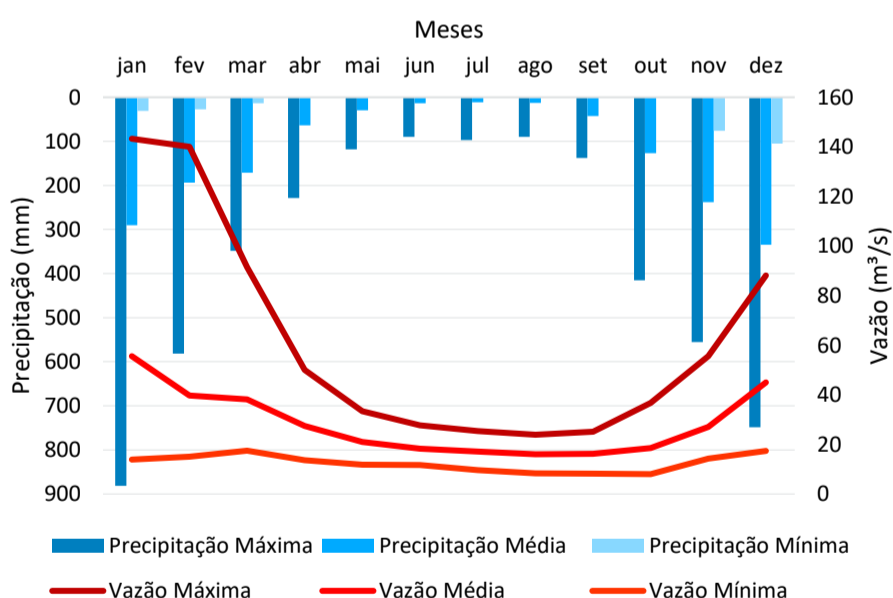


Figura 10.10-6 – Vazões e precipitações mensais máxima, média e mínima para série histórica da estação fluviométrica Honório Bicalho Montante e estação pluviométrica Mineração Morro Velho.

Fonte: Dados extraídos da plataforma HIDROWEB, 2023.

Quadro 10.10-6 – Resumo dos valores médios mensais de pluviometria e fluviometria das estações Mineração Morro Velho (1943000) e Honório Bicalho Montante (41199998), respectivamente.

MÊS		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
PRECI- PITAÇÃO (mm)	MÁXIMA	881	581	348	229	118	90	97	90	138	415	555	748
	MÉDIA	290	194	171	64	30	14	11	13	43	127	238	334
	MÍNIMA	31	27	14	0	0	0	0	0	0	0	76	105
VAZÃO (m³/s)	MÁXIMA	143,3	140,0	91,5	50,1	33,4	27,7	25,4	23,9	25,2	36,7	55,6	88,1
	MÉDIA	55,6	39,8	38,2	27,4	21,0	18,3	17,0	16,0	16,2	18,5	27,1	45,0
	MÍNIMA	13,9	15,0	17,5	13,6	11,8	11,7	9,6	8,4	8,3	8,0	14,3	17,3

Por fim, a **Figura 10.10-6** e o **Quadro 10.10-6** demonstram as vazões médias mensais da estação Honório Bicalho (41199998) em conjunto com as precipitações acumuladas mensais da estação pluviométrica Mineração Morro Velho (01943000). Ambas as estações estão situadas na bacia do rio das Velhas.

O comportamento dos dados dessas estações fluviométrica e pluviométrica são semelhantes aos observados nas demais estações analisadas, sendo que o comportamento dos dados de precipitação se conforma aos dados de vazão, resultando em períodos de cheia e estiagem bem definidos. Novamente, tem-se janeiro como o mês mais caudaloso, registrando vazões médias mensais de cerca de 55,6 m³/s ao passo que agosto se apresenta como o mês mais seco, com vazões médias de 16,0 m³/s.

10.10.3.3 Permanência de Vazões

A construção da curva de permanência para cada posto fluviométrico envolve a organização de todos os registros de vazão diária em ordem decrescente. Isso permite calcular a probabilidade de o valor máximo de vazão ser igualado ou superado, correspondendo ao inverso do número de registros. A cada registro é então atribuída uma probabilidade de excedência, resultando na formação da curva de permanência.

Estas curvas relacionam a vazão com a porcentagem de tempo em que ela é igualada ou superada. A Q_{90%} representa uma vazão de permanência, ou seja, reflete a vazão que é igualada ou superada durante 90% do tempo. Para determinar as vazões de permanência, é essencial utilizar registros de vazão diária de uma série histórica representativa com a menor quantidade possível de falhas.

O mesmo conceito se aplica à Q_{95%}, que, juntamente com a Q_{90%} são comumente usadas na prática hidrológica como vazões de referência de estiagem.

Da **Figura 10.10-7** a **Figura 10.10-9** são apresentadas, respectivamente as curvas de permanência das estações Ponte Nova do Paraopeba, Pinhões e Honório Bicalho Montante, com destaque à Q_{90%} e à Q_{95%}.

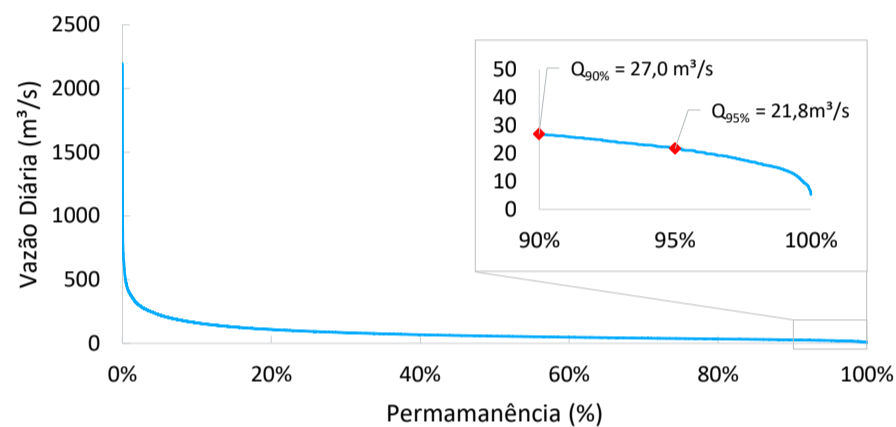


Figura 10.10-7 – Curva de permanência da estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001).

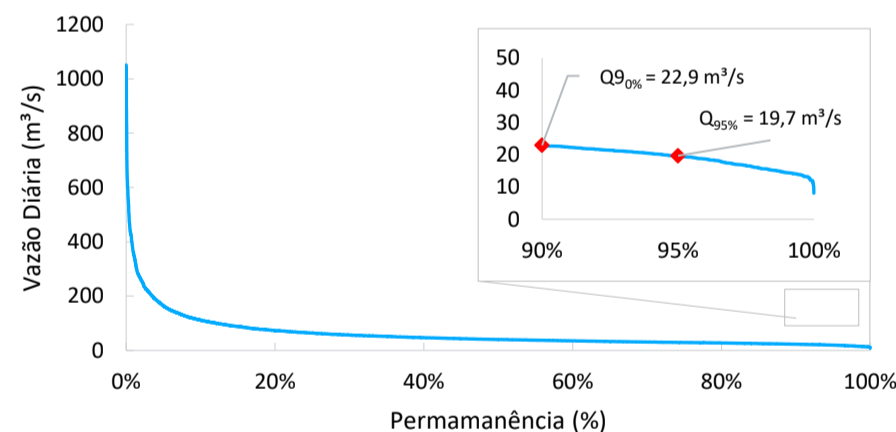


Figura 10.10-8 – Curva de permanência da estação Pinhões (41260000).

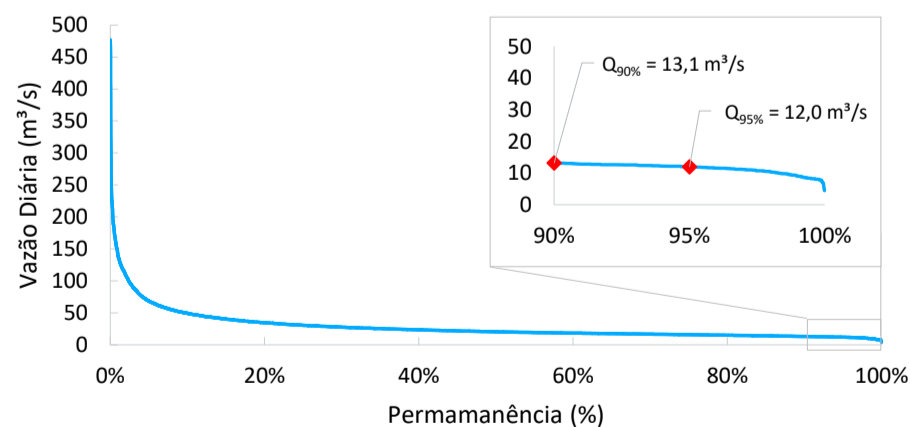


Figura 10.10-9 – Curva de permanência da estação Honório Bicalho (41199998).

O **Quadro 10.10-7** resume as vazões de referência para as permanências de 90% e 95% nas estações analisadas. Em decorrência de sua maior área de drenagem, a estação Ponte Nova do Paraopeba apresenta os maiores valores de Q_{90%} e Q_{95%}, cerca de 27,0m³/s e 21,8 m³/s, respectivamente. Em contrapartida, ao analisar as vazões específicas, nota-se que a estação Honório Bicalho Montante apresenta uma produção maior de vazão por área, aproximadamente 8,5 l/s.km⁻² e 7,7 l/s.km⁻², sendo esses valores correspondentes à Q_{90%} e Q_{95%}.

Quadro 10.10-7 – Vazões de referência de acordo com a permanência no tempo.

ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA	Q _{90%} (m ³ /s)	Q _{90%} (l/s.km ²)	Q _{95%} (m ³ /s)	Q _{95%} (l/s.km ²)
Ponte Nova do Paraopeba	27,0	4,7	21,8	3,8
Pinhões	22,9	5,8	19,7	5,0
Honório Bicalho Montante	13,1	8,5	12,0	7,7

10.10.3.4 Hidrossedimentologia

O transporte de sedimentos em um curso d'água é um fenômeno complexo que não depende somente da energia do escoamento, mas de processos erosivos que ocorrem por toda a extensão de uma bacia hidrográfica. Os processos erosivos e de agradação de sedimentos em cursos d'água implicam diretamente nos aspectos geomorfológicos de uma bacia hidrográfica e de seus cursos d'água, sendo um importante indutor da alteração da paisagem natural.

Em empreendimentos rodoviários, atividades de remoção da cobertura do solo, obras de terraplanagem (corte e aterro), de retificação de cursos d'água, implantação de fundações de obras de artes especiais (OEAs) e restituição de vazões advindas da drenagem superficial, podem gerar um acréscimo de sedimentos aos cursos d'água, resultando em assoreamento desses cursos, e/ou de processos erosivos de suas margens devido ao aumento da velocidade e do fluxo decorrentes da impermeabilização do solo e de implantação de bueiros subdimensionados.

De forma a avaliar no futuro um possível efeito sobre o transporte de sedimentos nos principais cursos d'água cortados pelo empreendimento, é necessário realizar uma caracterização, em escala regional, das cargas médias de sedimentos transportados por esses cursos. Tal como ocorrido na caracterização hidrológica, estações sedimentométricas são escassas na AER, porém, a extensão das séries de dados disponíveis nessas estações permite se estabelecer um panorama regional acerca das cargas médias mensais transportadas, além de se avaliar temporalmente mudanças nas cargas decorrentes de variações sazonais de vazão.

Das estações fluviométricas previamente analisadas, somente as estações Ponte Nova do Paraopeba (40800001) e Honório Bicalho Montante (41199998) contam com medições de descargas sólidas. Essas medições começaram a ser executadas posteriormente ao início das descargas líquidas, logo, os períodos aqui analisados diferem dos períodos de análise estabelecidos para as descargas líquidas nos **itens 10.10.3.2 e 10.10.3.3**. O **Quadro 10.10-8** resume as principais informações das estações sedimentométricas utilizadas no presente item.

Quadro 10.10-8 – Lista das estações sedimentométricas utilizadas para a caracterização da região do empreendimento.

ESTAÇÃO	RIO	LAT.	LON.	MUNICÍPIO	ÁREA DE DRENAGEM (km ²)	PERÍODO DE DADOS UTILIZADOS	RESPON-SÁVEL
Ponte Nova do Paraopeba (Cód. 40800001)	Rio Paraopeba	-19.9489	-44.3053	Betim	5680	1975 a 2022	ANA
Honório Bicalho Montante (Cód. 41199998)	Rio das Velhas	-20.0247	-43.8239	Nova Lima	1550	1981 a 2021	ANA

Fonte: ANA, 2023.

Visto na plataforma Hidroweb não são informadas as séries de descargas sólidas, foi necessário ajustar as curvas de descargas sólidas, do tipo potência, para ambas as estações. A **Figura 10.10-10** e a **Figura 10.10-11** ilustram esses ajustes.

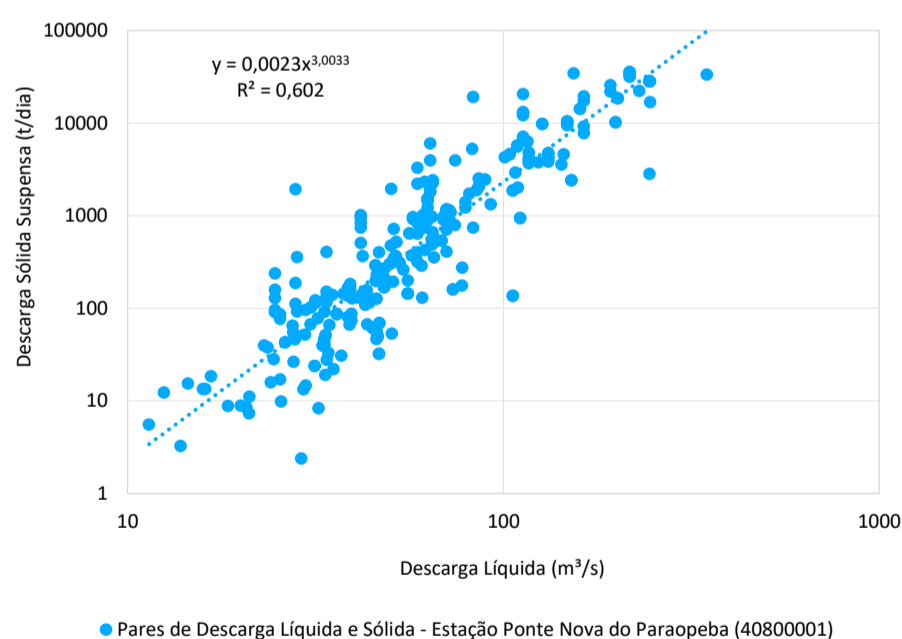


Figura 10.10-10 – Curva de descarga sólida suspensa na estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001).

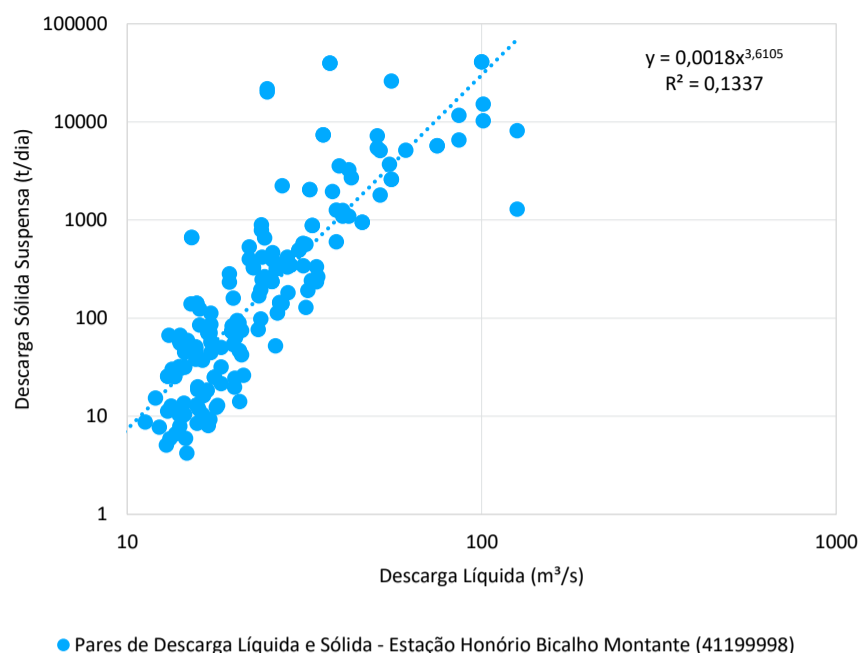


Figura 10.10-11 – Curva de descarga sólida suspensa na estação Honório Bicalho (40800001).

O ajuste da equação potencial tende a ser ideal para a dispersão dos pares de dados de descargas líquidas e sólidas suspensas. Logaritmando os eixos das abscissas e ordenadas, nota-se que essa dispersão tende a apresentar um comportamento linear, tal como a própria equação ajustada. Apesar desse comportamento mais ordenado, propiciado por essa forma de apresentação dos dados, o coeficiente de determinação (R^2) é baixo, cerca de 0,602 para a estação Ponte Nova do Paraopeba e de 0,1337 para a estação Honório Bicalho Montante. No entanto, medições de sedimentos suspensos tendem a ser muito dispersas, logo, o resultado dos ajustes é considerável satisfatório.

Aplicando as equações dos ajustes apresentados na **Figura 10.10-10** e na **Figura 10.10-11**, às séries de descargas líquidas de ambas as estações analisadas geram as séries de descargas sólidas. A variação dos resultados, em termos médios diários, é apresentada mês a mês na **Figura 10.10-12** e **Quadro 10.10-9**, para a estação Ponte Nova do Paraopeba, e na **Figura 10.10-13** e no **Quadro 10.10-10** para a estação Honório Bicalho Montante.

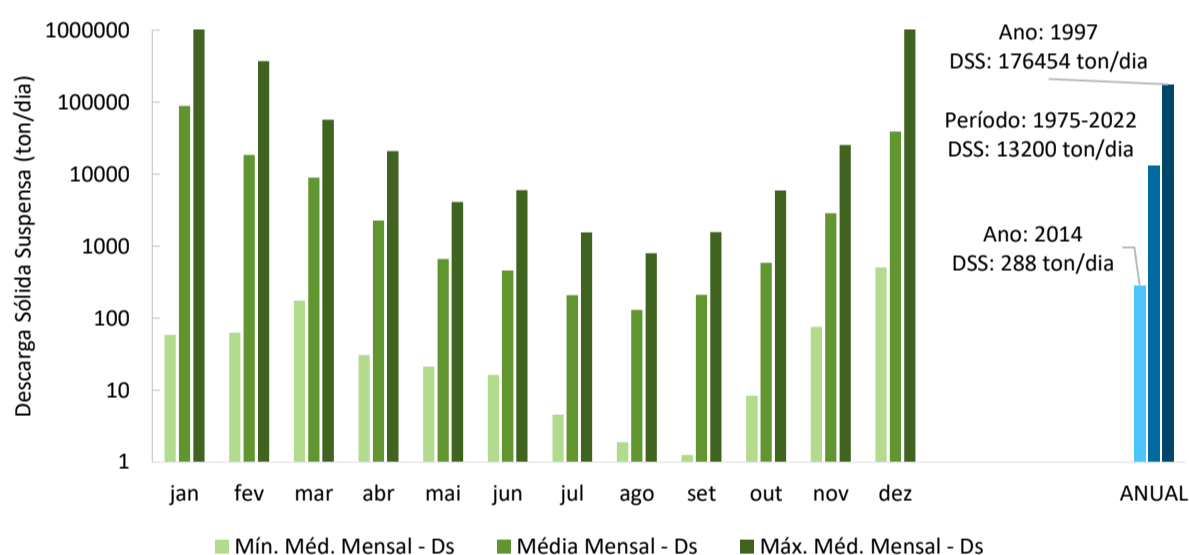


Figura 10.10-12 – Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001). Período de análise (1975-2022).

Fonte: Dados extraídos da plataforma HIDROWEB, 2023.

Quadro 10.10-9 - Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001). Período de análise (1975-2022).

MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Mín. Média Mensal (ton/dia)	58,5	62,8	175,9	30,7	21,3	16,4	4,6	1,9	1,3	8,4	75,8	508,4	288
Média Mensal (1.000 ton/dia)	88,7	18,6	8,9	2,3	0,7	0,5	0,2	0,1	0,2	0,6	2,9	38,9	13,2
Máx. Média Mensal (1.000 ton/dia)	2046,9	370,9	57,2	20,8	4,1	6,0	1,5	0,8	1,6	5,9	25,4	1136,5	176,5

Analisando os resultados da estação Ponte Nova do Paraopeba, referente ao rio Paraopeba, observa-se que o transporte de sedimentos segue um padrão sazonal similar ao de vazões médias mensais e da precipitação (ver **item 10.10.3.2**), visto que essas variáveis são as principais forçantes na geração de sedimento suspenso em corpos d'água. Janeiro é o mês em que se registra a maior média diária mensal, cerca de 88.700 ton/dia, podendo chegar a 2.046.900 ton/dia em anos excepcionais. Os meses de julho a setembro apresentam as menores taxas de transporte de sedimentos, variando entre 100 e 200 ton/dia em média.

Em termos anuais, o rio Paraopeba transporta em média 13.200 ton/dia de sedimentos suspensos. Em 2014, ano de notória escassez hídrica, o rio Paraopeba apresentou a sua menor taxa média anual de produção de sedimentos suspensos, cerca de 288 ton/dia. Em contrapartida, 1997 foi o ano com maior produção de sedimentos, cerca de 176.500 ton/dia.

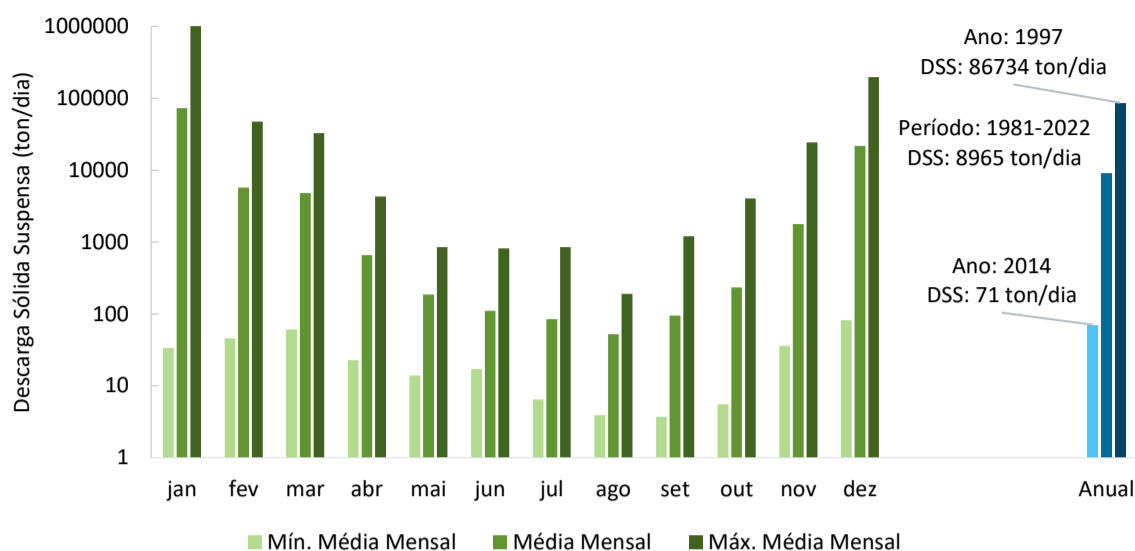


Figura 10.10-13 – Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Honório Bicalho Montante (41199998). Período de análise (1981-2022).

Fonte: Dados extraídos da plataforma HIDROWEB, 2023.

Quadro 10.10-10 – Variação mensal e anual das descargas sólidas suspensas médias diárias na estação Honório Bicalho Montante (40800001). Período de análise (1981-2022).

MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Mín. Média Mensal (ton/dia)	34	46	61	23	14	17	6	4	4	6	36	82	71
Média Mensal (1.000 ton/dia)	73,1	5,7	4,8	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1,8	21,7	9,0
Máx. Média Mensal (1.000 ton/dia)	1009,4	47,5	32,7	4,3	0,8	0,8	0,8	0,2	1,2	4,0	24,3	196,5	86,7

A estação Honório Bicalho Montante, cujos resultados encontram-se na **Figura 10.10-13** e no **Quadro 10.10-10**, apresentam comportamento semelhante, entretanto, as taxas de sedimentos suspensos são inferiores em decorrência da diferença da área de drenagem entre ambas as estações. Ao passo que Honório Bicalho Montante possui uma área de drenagem de 1550 km², Ponte Nova do Paraopeba possui 5680 km², o que lhe confere maiores incrementos de vazão e, conseqüentemente, maior transporte de sedimentos.

Tal como ocorre em Ponte Nova do Paraopeba, janeiro é o mês em que se registra a maior média diária mensal, cerca de 73.100 ton/dia, podendo a chegar a 1.009.400 ton/dia em anos excepcionais no rio das Velhas na seção de monitoramento Honório Bicalho Montante. Os meses de junho a setembro apresentam as menores taxas de transporte de sedimentos, situando-se, em média, em cerca de 100 ton/dia.

Em termos anuais, o rio das Velhas transporta em média 9.000 ton/dia de sedimentos suspensos. Novamente em 2014, ano de notória escassez hídrica, o rio das Velhas apresentou a sua menor taxa média anual de produção de sedimento suspenso, cerca de 71 ton/dia. Em contrapartida, 1997 foi também o ano com maior produção de sedimentos, cerca de 86.700 ton/dia.

Comparando os resultados de ambas as estações é possível inferir que a bacia do rio das Velhas produz uma quantidade maior de sedimentos que bacia do rio Paraopeba. Tendo por base os valores médios anuais, e fazendo uma análise da produção específica de sedimentos, ou seja, dividindo as taxas pela área de drenagem de cada uma das estações, tem-se os valores de 2,32 ton/dia.km² na bacia do rio Paraopeba e de 5,78 ton/dia.km² no rio das Velhas.

10.10.3.5 Demandas de Água

Para a caracterização dos usos múltiplos da água das bacias hidrográficas inseridas na AER do empreendimento, em conformidade com a Política Estadual de Recursos Hídricos, nos termos da Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, foram utilizados os Planos Diretores de Recursos Hídricos dessas bacias.

Em relação à demanda hídrica superficial da bacia do rio Paraopeba, o maior percentual de uso da água se refere ao setor industrial, com 45,4% do total captado, seguido do setor de extração mineral e abastecimento público, com 21,8% e 21,6% do total, respectivamente, conforme pode ser observado no **Quadro 10.10-11** (COBRAPE, 2020).

Quadro 10.10-11 – Usos da água na bacia do rio Paraopeba.

SETOR USUÁRIO	DEMANDA	PORCENTAGEM
Abastecimento público	13.902,08 L/s	21,6%
Setor industrial	29.261,20 L/s	45,4%
Setor pecuário	237,72 L/s	0,4%
Setor agrícola	7.037,43 L/s	10,9%
Setor de extração mineral	14.063,69 L/s	21,8%
TOTAL	64.502,12 L/s	100,0%

Fonte: adaptado de COBRAPE, 2020.

Já em relação à bacia do rio das Velhas, conforme pode ser observado no **Quadro 10.10-12**, a demanda hídrica superficial apresenta maior percentual de captação para os setores de abastecimento humano (urbano), com 36,2% da demanda total, e irrigação, com 32,9% (CBH RIO DAS VELHAS, 2015).

Quadro 10.10-12 – Usos da água na bacia do rio das Velhas.

SETOR USUÁRIO	DEMANDA	PORCENTAGEM
Abastecimento humano (urbano)	8.773,40 L/s	36,2%
Abastecimento humano (rural)	165,40 L/s	0,7%
Abastecimento industrial	3.361,70 L/s	13,9%
Dessedentação Animal	439,90 L/s	1,8%

SETOR USUÁRIO	DEMANDA	PORCENTAGEM
Irrigação	7.957,90 L/s	32,9%
Mineração	3.507,90 L/s	14,5%
TOTAL	20.698,30 L/s	100,0%

Fonte: adaptado de CBH RIO DAS VELHAS, 2015.

10.10.4 Caracterização Geral dos Recursos Hídricos na AEL

As análises apresentadas acerca dos recursos hídricos na AER são essenciais para compreender o comportamento médio de vazões e sedimentos a um nível regional, propiciado pela disponibilidade de dados hidrossedimentométricos provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional (Hidroweb). No entanto, para obter uma visão mais precisa e aprofundada da complexa rede fluvial que ao qual tem interface com o projeto do Rodoanel Metropolitano BH, é necessário reduzir a escala de análise e focar em sub-bacias que compõem parte da AER e que originam a AEL.

Nesse sentido, são discorridos aqui as principais características fisiográficas dessas sub-bacias, com destaque aos principais cursos d'água que percorrem cada uma dessas unidades hidrográficas.

Características fisiográficas tais como: áreas de drenagem, comprimento do talvegue principal, relevo, declividade, uso e ocupação do solo, são essenciais para a compreensão dinâmica e a resposta hidrológica local e os seus implicativos para as vazões de referência, tais como vazões médias e as vazões de estiagem. A caracterização dessas vazões tem como base os estudos de regionalização de vazões realizados pela UFV e pelo IGAM. As principais sub-bacias, foco das análises aqui elaboradas, encontram-se ilustradas na **Figura 10.10-14**.

O **Quadro 10.10-13** dispõe as principais sub-bacias que constituem a AEL. Lembra-se que a AEL foi delimitada a partir de bacias ottocodificadas nível 7, provenientes da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), bem como de ottobacias elementares codificadas a partir de ottotrechos, cuja base está presente na plataforma do IDE-SISEMA. Essa codificação gera trechos incrementais de bacias, cujo início e fim são delimitados a partir da confluência com outros cursos d'água. Essas bacias incrementais ocorrem no curso principal do rio das Velhas e no rio Betim e são aqui denominadas a partir do acrônimo INC.

No **Quadro 10.10-13** observa-se um identificador elaborado para cada uma dessas sub-bacias (ID-EIA), com o intuito de facilitar o referenciamento dessas sub-bacias ao longo do texto e de figuras. Para as sub-bacias do rio das Velhas, adotou-se o acrônimo VLH, ao passo que para as sub-bacias do rio Paraopeba foi adotado o acrônimo PRB.

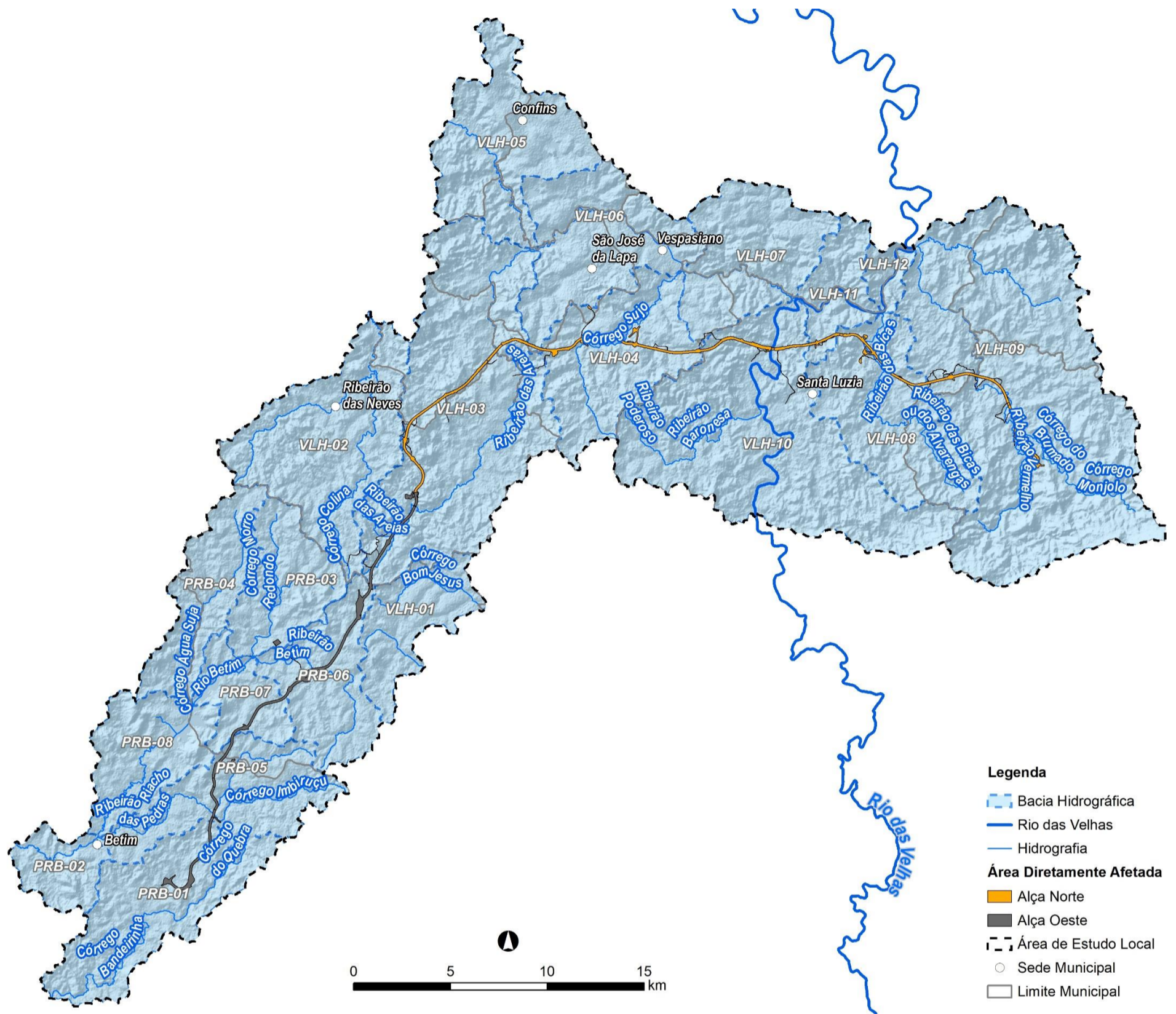


Figura 10.10-14 – Principais sub-bacias das AEL.

Quadro 10.10-13 – Denominação dos principais cursos d'água/sub-bacias e codificação adotada.

NOME DO CURSO D'ÁGUA/SUB-BACIA	ID SUB-BACIAS - EIA	BACIA
SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO DA ONÇA		
Ribeirão Cabral e Córrego Bom Jesus	VLH-01	Alto Velhas
SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO DA MATA		
Ribeirão das Neves	VLH-02	Médio Alto Velhas
Ribeirão das Areias	VLH-03	
Córrego Sujo	VLH-04	
Ribeirão da Mata - INC 01	VLH-05	
Ribeirão da Mata - INC 02	VLH-06	
Ribeirão da Mata - INC 03	VLH-07	
SUB-BACIA DO RIBEIRÃO DAS BICAS		
Ribeirão das Bicas	VLH-08	Médio Alto Velhas
SUB-BACIA DO RIBEIRÃO VERMELHO		
Ribeirão Vermelho	VLH-09	Médio Alto Velhas
SUB-BACIAS DO RIO DAS VELHAS		
Rio das Velhas - INC 01	VLH-10	Médio Alto Velhas
Rio das Velhas - INC 02	VLH-11	
Rio das Velhas - INC 03	VLH-12	
SUB-BACIA DO CÓRREGO BANDEIRINHA		
Córrego Bandeirinha	PRB-01	Médio Paraopeba
SUB-BACIAS DO RIO BETIM		
Córrego Morro Redondo	PRB-02	Médio Paraopeba
Córrego Água Suja	PRB-03	
Ribeirão Riacho das Pedras	PRB-04	
Ribeirão Betim	PRB-05	
Rio Betim - INC 01	PRB-06	
Rio Betim - INC 02	PRB-07	
Rio Betim - INC 03	PRB-08	

De forma complementar, nos próximos subitens são apresentados também os principais usos consuntivos e não consuntivos de recursos hídricos superficiais, tendo por base os cadastros de outorga e de usos insignificantes disponibilizados na plataforma IDE-SISEMA, sendo discutidos os implicativos desses usos sobre a disponibilidade hídrica superficial na AEL. Adicionalmente, também é dada atenção em relação à ocorrência de nascentes de água, tendo como base dados cadastrais disponibilizados pela prefeitura de Contagem (região de Vargem das Flores), cadastros de outorga e usos insignificantes com captação em surgências e a partir da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) do estado de Minas Gerais.

10.10.4.1 Vazões de Referência

Sob demanda do Instituto Mineiro de Águas (IGAM), o Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa foi comissionado de realizar os estudos de regionalização de vazões de referência nas diversas circunscrições hidrográficas (CHs) do estado de Minas Gerais, de forma a munir o instituto estadual de meios para aprimorar o processo de outorga dentro do estado (IGAM, 2012).

O estudo em tela fez uso de variáveis físicas mais relevantes, como vazões mínimas ($Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$) e vazão média de longo termo (Q_{MLT}), além de restrições para estimar vazões em áreas onde as equações padrão não se aplicam. Para as equações de regionalização, foi incorporada uma variável que considera a precipitação menos a evapotranspiração, pois apenas uma parte da precipitação contribui para o fluxo de água. De acordo com o estudo, essa consideração teórica resulta em melhores ajustes nas equações de regionalização. Além disso, o conceito do equacionamento elaborado pela UFV impõe limites físicos para evitar superestimação das vazões em regiões de extrapolação das curvas de regionalização. Os resultados do estudo encontram-se disponíveis na plataforma IDE-SISEMA, onde as vazões objeto de regionalização estão especializadas para cada ottotrecho da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) do estado de Minas Geais.

O **Quadro 10.10-14** sumaria as vazões de referência Q_{MLT} , $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ no exutório das sub-bacias que compõem a AEL.

Quadro 10.10-14 – Resumo das vazões de referência no executório das principais sub-bacias da AEL.

ID - EIA	CURSO D'ÁGUA	Q_{MLT} (m ³ /s)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$Q_{90\%}$ (m ³ /s)	$Q_{95\%}$ (m ³ /s)	ÁREA DE DRENAGEM A MONTANTE (km ²)
SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO DA ONÇA						
VLH-01	Ribeirão Cabral e Córrego Bom Jesus	0,38	0,03	0,07	0,05	8,71
SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO DA MATA						
VLH-02	Ribeirão das Neves	0,86	0,08	0,17	0,13	62,30
VLH-03	Ribeirão das Areias	1,50	0,14	0,30	0,24	111,48
VLH-04	Córrego Sujo	0,58	0,05	0,10	0,08	45,23
VLH-05	Ribeirão da Mata - INC 01	7,31	0,86	1,64	1,34	536,45
VLH-06	Ribeirão da Mata - INC 02	9,42	1,16	2,17	1,79	696,93
VLH-07	Ribeirão da Mata - INC 03	10,58	1,33	2,46	2,03	788,77
SUB-BACIA DO RIBEIRÃO DAS BICAS						
VLH-08	Ribeirão das Bicas	0,63	0,05	0,12	0,09	46,81
SUB-BACIA DO RIBEIRÃO VERMELHO						
VLH-08	Ribeirão Vermelho	1,73	0,17	0,35	0,28	128,17
SUB-BACIAS DO RIO DAS VELHAS						
VLH-10	Rio das Velhas - INC 01	42,05	7,92	13,13	11,18	2850,97
VLH-11	Rio das Velhas - INC 02	52,87	10,01	16,35	13,97	3663,89
VLH-12	Rio das Velhas - INC 03	53,57	10,16	16,57	14,17	3717,37
SUB-BACIA DO CÓRREGO BANDEIRINHA						
PRB-01	Córrego Bandeirinha	0,99	0,15	0,34	0,27	49,71
SUB-BACIAS DO RIO BETIM						
PRB-02	Córrego Morro Redondo	0,55	0,08	0,18	0,15	27,52
PRB-03	Córrego Água Suja	0,62	0,09	0,21	0,17	31,56
PRB-04	Ribeirão Riacho das Pedras	0,77	0,11	0,26	0,21	38,82
PRB-05	Ribeirão Betim	0,64	0,09	0,21	0,17	32,49
PRB-06	Rio Betim - INC 01	1,59	0,23	0,51	0,41	80,20
PRB-07	Rio Betim - INC 02	2,75	0,41	0,87	0,71	139,53
PRB-08	Rio Betim - INC 03	3,93	0,59	1,22	1,00	199,94

Observa-se que as sub-bacias do ribeirão da Mata, rio das Velhas (sub-bacias incrementais), ribeirão Sarzedo e rio Betim são as mais significativas em termos volumétricos. Conforme esperado, as sub-bacias

incrementais do rio das Velhas apresentam as maiores vazões de longo termo em suas principais seções de escoamento, o rio das Velhas. Essas vazões variam entre 42,05 m³/s e 53,57 m³/s nas suas sub-bacias incrementais.

A vazão $Q_{7,10}$, por sua vez, tem uma variação de 7,92 m³/s a 10,16 m³/s nas referida sub-bacias. A $Q_{7,10}$ corresponde a vazão de mínima com média de 7 dias e 10 anos de período de retorno, a qual é referência de vazão de estiagem no estado de Minas de Gérias, bem como um instrumento importante para avaliação de disponibilidade hídrica e concessão de direito de outorgas de captação superficial. Cabe pontuar que as vazões dispostas no quadro anterior se referem às vazões que drenam para o exutório dessas sub-bacias, logo, não são as vazões estimadas nas seções de escoamento interceptadas pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH.

A **Figura 10.10-15** ilustra a espacialização das vazões médias de longo termo de forma a auxiliar a compreensão a magnitude de vazões na AEL, onde observa-se o incremento de vazões de acordo com os incrementos de área das sub-bacias. Nota-se também que o traçado do Rodoanel Metropolitano BH intercepta poucos corpos hídricos de vazão expressiva, sendo o mais significativo nesses termos o rio das Velhas.

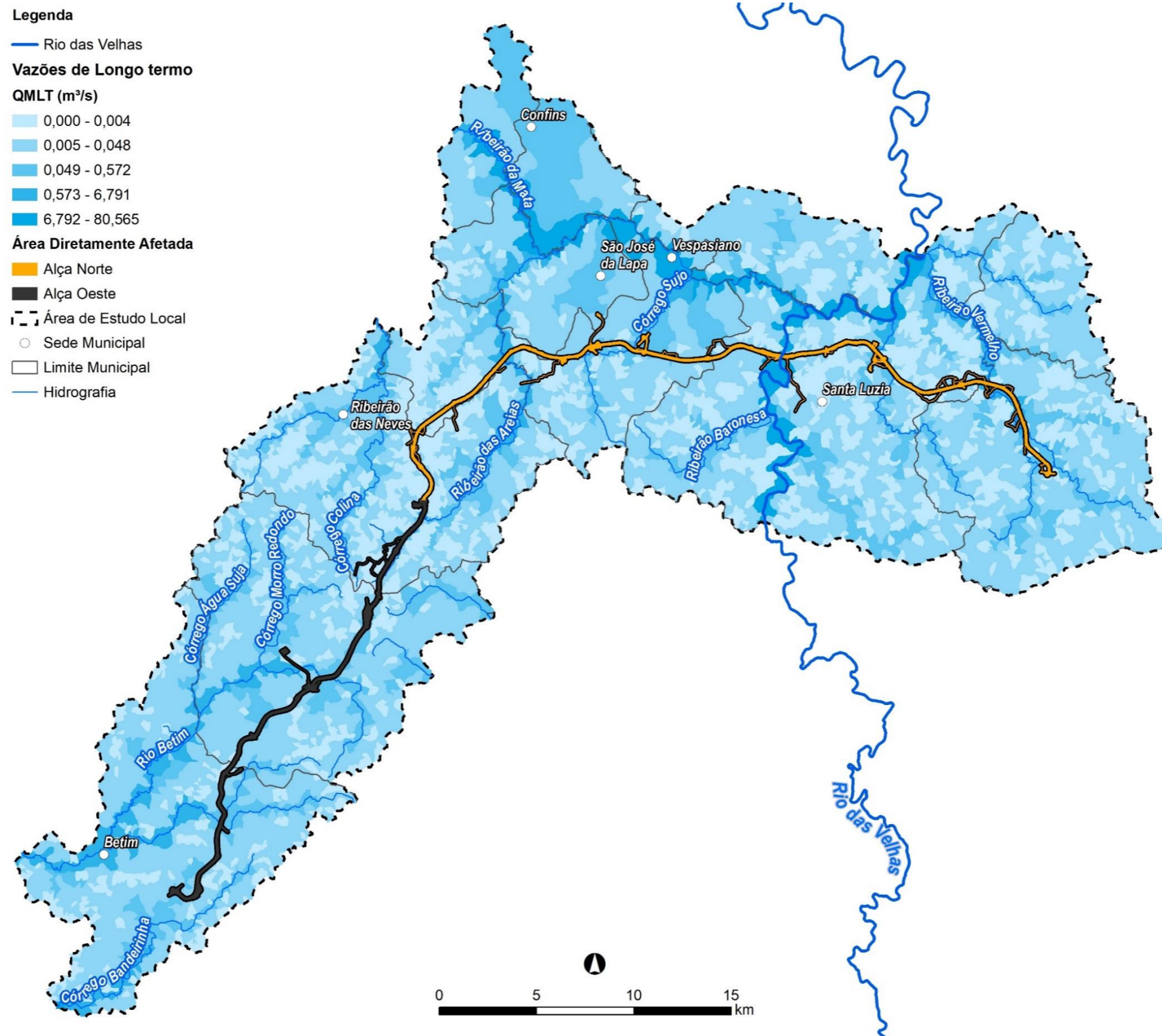


Figura 10.10-15 – Vazões de longo termo na AEL.
Fonte: UFV/IGAM (2012). Disponível em IDE-SISEMA.

De maneira análoga a Q_{MLT} , a **Figura 10.10-16** ilustra a espacialização das vazões $Q_{7,10}$. Conforme dito anteriormente, a $Q_{7,10}$ é uma vazão de referência de estiagem e ditam a disponibilidade hídrica para a concessão de outorgas. Visto o Rodoanel Metropolitano BH intercepta, em sua maioria, corpos hídricos de baixa vazão, algumas frentes de obra não teriam disponibilidade hídrica superficial suficiente para suprir atividades de umectação do solo para compactação de leito, sub-leito e aterros, sendo necessário recorrer a poços subterrâneos ou caminhões pipa advindos de localidades com maior disponibilidade hídrica.

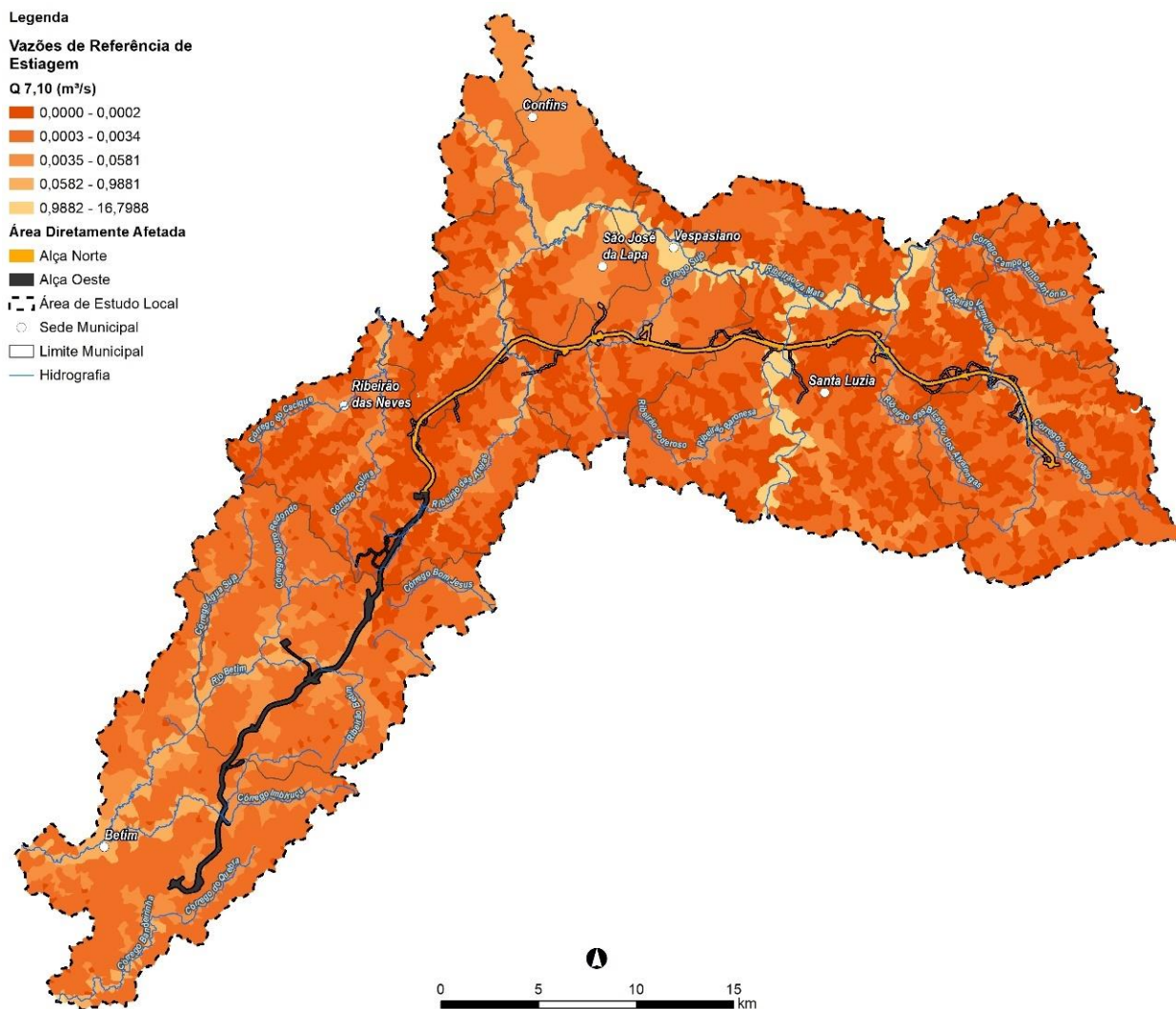


Figura 10.10-16 – Vazões $Q_{7,10}$ na AEL.

Fonte: UFV/IGAM (2012). Disponível em IDE-SISEMA.

10.10.4.2 Nascentes

De acordo com o Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012, Artigo 3º, XVII, nascente é um “*aflorento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água*”.

Para AEL estão disponíveis diversas bases de dados com a localização de nascentes, estando essas geoespacializadas na Figura 10.10-17.

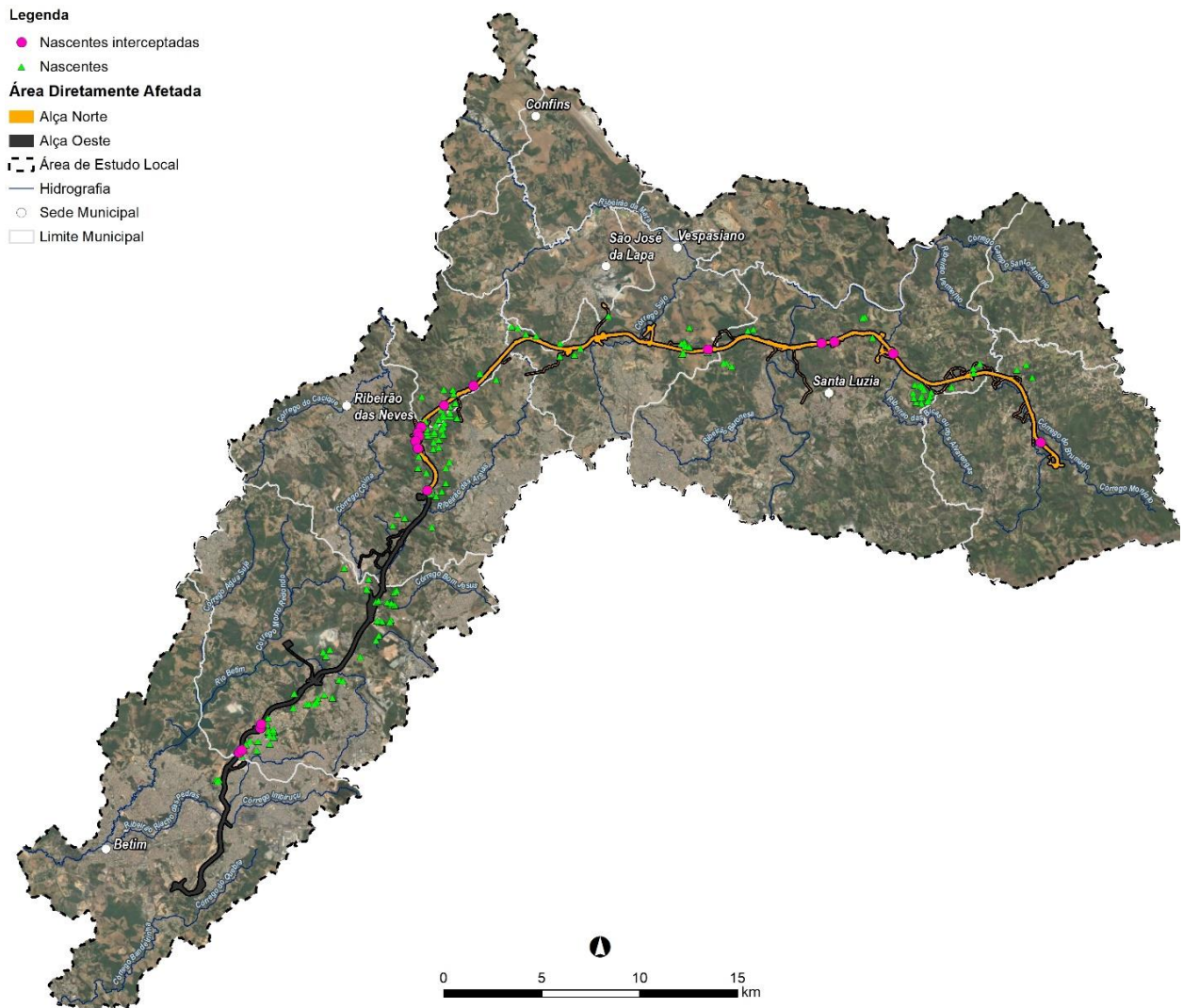


Figura 10.10-17 – Nascentes na AEL.

As fontes de dados que compõem a Figura 10.10-17 advêm de:

- Levantamentos cadastrais de nascentes:
 - Projeto “Contagem das Nascentes” criado pela Prefeitura de Contagem/MG em conjunto com a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAD, objetiva o cadastro de todas as nascentes da cidade, de forma a possibilitar um planejamento para a recuperação e conservação das águas. O projeto está em andamento e seus dados coletados até junho/2023;
 - Nascentes cadastradas pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, cuja delimitação estão presentes em diagnósticos realizados pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana, formulados com periodicidade bienal. A última atualização foi em abril/2022;
 - Nascentes cadastradas nas bacias do ribeirão da Mata e ribeirão Arrudas no âmbito do PDRH rio das Velhas e disponibilizado via portal SIGA rio das Velhas, mantido pelo CBH rio das Velhas;

- Outorgas e usos insignificantes cujos modos de uso se configuram como captação em surgência (nascentes). Esses dados estão disponíveis geoespecializados na plataforma IDE-SISEMA;
- Nascentes cadastradas no SICAR (Sistema Nacional de Cadastro Rural);
- Nascentes encontradas em campo pela equipe do EIA.

Sobrepondo o traçado do Rodoanel Metropolitano BH às diversas fontes de dados de nascentes, tem-se a interceptação das nascentes listadas no **Quadro 10.10-15**.

Quadro 10.10-15 – Nascentes identificadas e interceptadas pela ADA do Rodoanel Metropolitano de BH.

ID NASCENTE EIA	ID BACIA EIA	CURSO PRINCIPAL DA BACIA	ALÇA	MUNICÍPIO	FONTE	UTM X	UTM Y							
NAS002	VLH-09	Ribeirão Vermelho	Norte	Sabará	EIA	631274,1	7812642							
NAS027	VLH-08	Ribeirão das Bicas		Santa Luzia		EIA	623751,1	7817176						
NAS031	VLH-11	Rio das Velhas - INC 02					Rio das Velhas - INC 01	EIA	620761,8	7817794				
NAS032	VLH-10	Rio das Velhas - INC 01							Vespasiano	EIA	620092,7	7817717		
NAS040	VLH-04	Córrego Sujo					Pedro Leopoldo				SICAR	614294,8	7817401	
NAS066	VLH-03	Ribeirão das Areias		Ribeirão das Neves	SICAR				602324,5			7815546		
NAS079						PDRH rio das Velhas	SICAR		600841,5			7814536		
NAS104								PDRH rio das Velhas	PDRH rio das Velhas			599968,9	7810201	
NAS111										PDRH rio das Velhas		PDRH rio das Velhas	599674,5	7813425
NAS113											PDRH rio das Velhas		PDRH rio das Velhas	599645,5
NAS115					PDRH rio das Velhas									PDRH rio das Velhas
NAS118						PDRH rio das Velhas	PDRH rio das Velhas							
NAS119								PDRH rio das Velhas	PDRH rio das Velhas					
NAS120										PDRH rio das Velhas		PDRH rio das Velhas		
NAS211											PRB-05		Ribeirão Betim	
NAS212	GeoContagem	591463,5	7798091											
NAS213		GeoContagem	591463,5	7798091										
NAS214			GeoContagem	591456,3	7798088									
NAS215				GeoContagem	591456,3	7798088								
NAS216					GeoContagem	591451,8	7798090							
NAS217						GeoContagem	591451,8	7798090						
NAS224							PRB-04	Ribeirão Riacho das Pedras	Oeste	Contagem		EIA		590503,4
NAS225							PRB-04	Ribeirão Riacho das Pedras			EIA	590357,8	7796827	

Em atendimento às recomendações exaradas no documento Anexo 13 - Diretrizes Ambientais (SEINFRA, 2022) referente à documentação da Concorrência Internacional nº 001/2022 do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, foi realizada visita ao bairro Sapucaia II, no município de Contagem com o intuito de verificar nascentes na área do Clube Coimbra Sports. Essas nascentes alimentam lagoas artificiais com fins paisagísticos, não sendo detectada nenhuma outorga para fins de consumo dessas estruturas. As nascentes identificadas no local são mostradas na **Figura 10.10-18**.

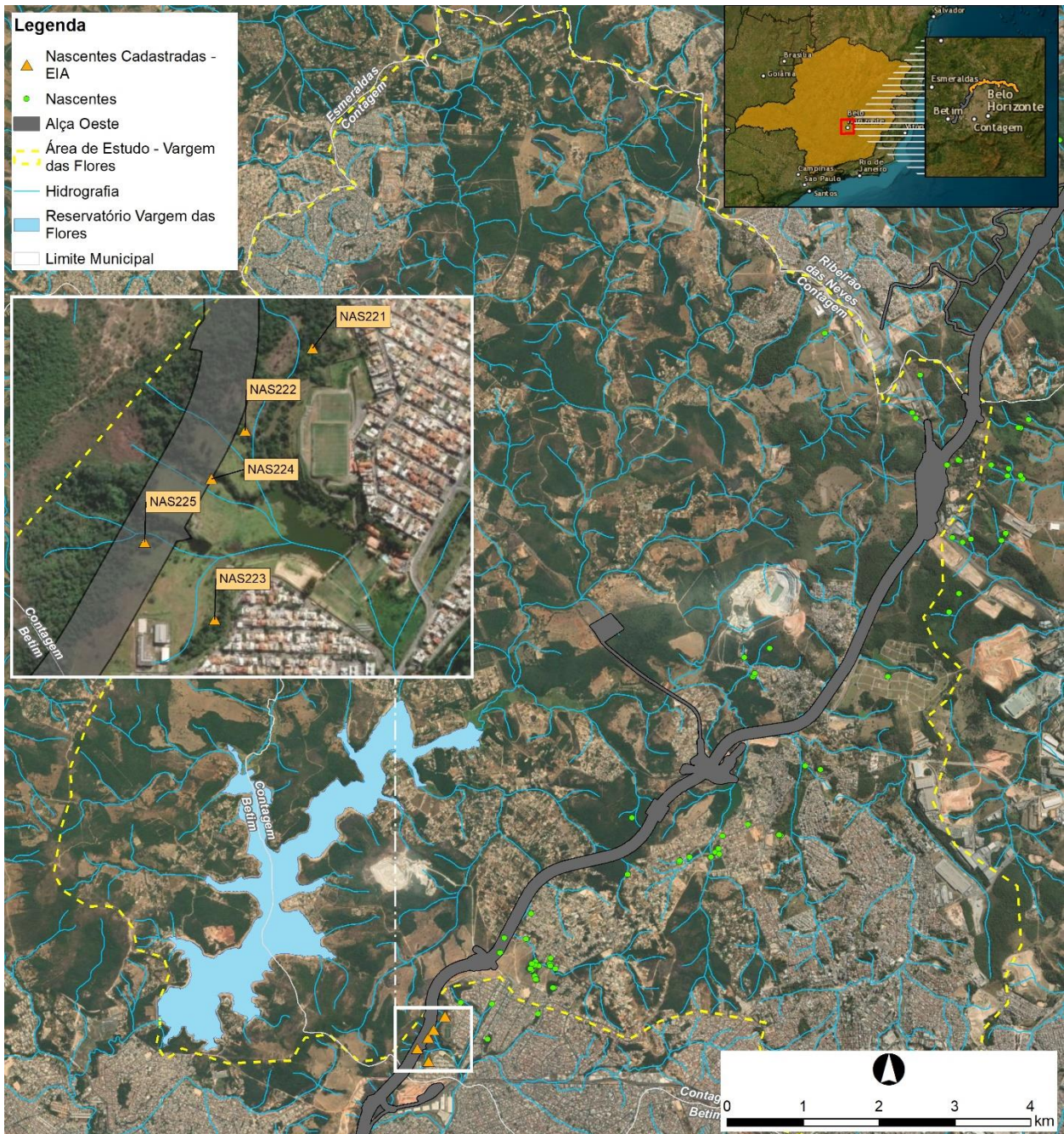


Figura 10.10-18 – Nascentes identificadas dentro da propriedade do Clube Coimbra Sports.

O relato fotográfico da identificação dessas nascentes é mostrado da **Figura 10.5-20** a **Figura 10.10-23**.

Conforme explicitado no **Quadro 10.10-15** as nascentes NAS224 e NAS225 deverão ser interceptadas pelo traçado. Durante as obras do empreendimento, essas deverão ser protegidas por meio de filtros internos aos aterros de forma a permitir que essas continuem vertendo normalmente.



Figura 10.10-19 – Nascente cadastrada em campo NAS223.



Figura 10.10-20 – Nascente cadastrada em campo NAS225.



Figura 10.10-21 – Nascente cadastrada em campo NAS224.



Figura 10.10-22 – Nascente cadastrada em campo NAS222.



Figura 10.10-23 – Nascente cadastrada em campo NAS221

10.10.4.3 APA da cachoeira da Lajinha

Em visita de campo a APA da Cachoeira da Lajinha, foram identificados córregos, nascentes e quedas d'água que demonstram o grau de preservação dos recursos hídricos da área. A disposição espacial dos pontos visitados pode ser observada na **Figura 10.10-24**. Apesar da visita ter sido realizada em plena época de seca (21/08/2023), observou-se que grande parte das drenagens eram intermitentes e apresentavam surgências d'água em diversos pontos ao longo do córrego Serrote, principal córrego da APA, percorrendo-a no sentido norte-sul até desembocar, já a oeste, no ribeirão das Areias.

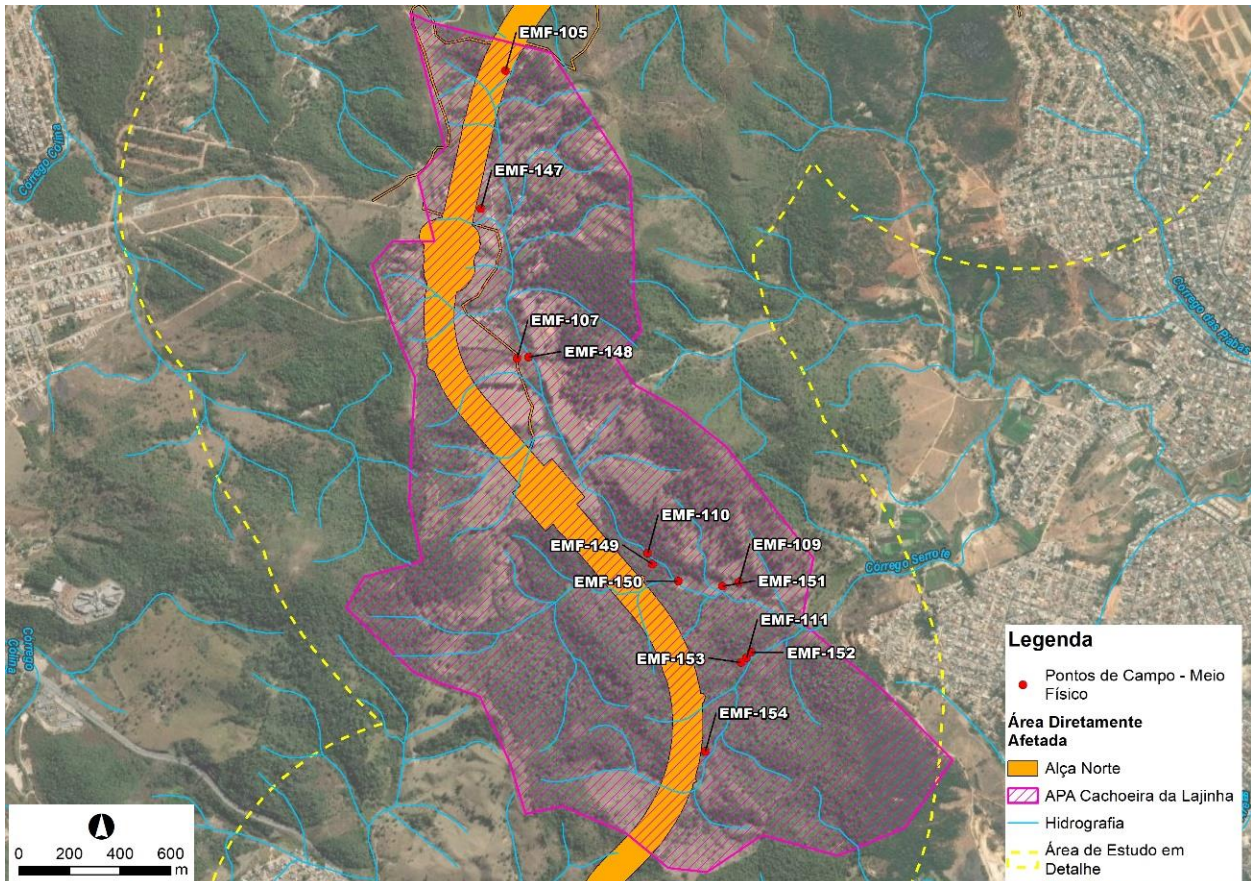


Figura 10.10-24 – Pontos da temática recursos hídricos visitados em campo na APA da Cachoeira da Lajinha.

Da **Figura 10.10-24** a **Figura 10.10-38** podem ser observados as imagens feitas em campo dos recursos hídricos presentes na APA.

Dentre os atributos naturais, sob a ótica dos recursos hídricos, que mais se destaca na região é a cachoeira da Lajinha, no córrego do Serrote (Ponto EMF 110 – **Figura 10.10-28**). Essa se situa em uma região de vale íngreme e de acesso limitado, estando a cerca 87 metros da ADA e 147 metros do eixo do Rodoanel Metropolitano BH.



Figura 10.10-25 – Drenagem efêmera em região de mata semidecidual. Ponto Amostral EMF - 105.



Figura 10.10-26 – Lago de dessedentação animal. Ponto Amostral EMF - 107.



Figura 10.10-27 – Nascente canalizada. Ponto Amostral EMF – 109.



Figura 10.10-28 – Cachoeira da Lajinha no córrego do Serrote. Ponto Amostral EMF - 110



Figura 10.10-29 – Cachoeira em córrego perene sem nome. Ponto Amostral EMF – 111.



Figura 10.10-30 – Brejo/açude de dessedentação animal. Ponto Amostral EMF – 147.



Figura 10.10-31 – Passo molhado sobre o córrego Serrote. Intermitente. Ponto Amostral EMF – 148.



Figura 10.10-32 – Nascente intermitente canalizada. Ponto Amostral EMF – 149.



Figura 10.10-33 – Nascente perene. Ponto Amostral EMF – 150.



Figura 10.10-34 – Nascente perene. Ponto Amostral EMF – 151.



Figura 10.10-35 – Córrego sem nome. Perene. Ponto Amostral EMF – 152.

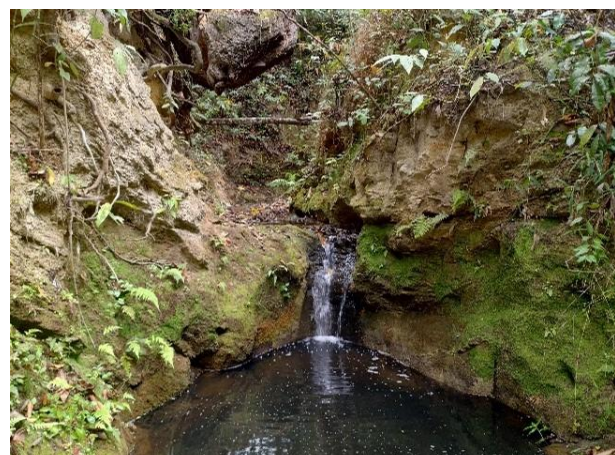


Figura 10.10-36 – Cachoeira em córrego perene sem nome. Ponto Amostral EMF – 153.



Figura 10.10-37 – Córrego sem nome. Perene. Vista de jusante. Ponto Amostral EMF – 154.



Figura 10.10-38 – Córrego sem nome. Perene. Vista de montante. Ponto Amostral EMF – 154.

Nesse sentido, cabe pontuar que o Decreto nº 119, de dezembro de 2016, o qual dispõe sobre a criação da área de proteção ambiental - APA da Cachoeira da Lajinha, no município de Ribeirão das Neves-MG, estabelece em seu artigo 5º que:

Art. 5º Ficam proibidas ou restringidas na "APA da Cachoeira da Lajinha" quaisquer atividades que possam colocar em risco:

- I - a conservação dos ecossistemas e sua evolução natural;
- II - a proteção especial às espécies da biota;
- III - o patrimônio paisagístico;
- IV - a conservação e proteção das nascentes perenes.
- V - a implantação de atividades industriais potencialmente poluidoras capazes de afetar mananciais de água;
- VI - a realização de obras de terraplenagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas importarem em sensível alteração das condições ecológicas locais, principalmente das Zonas de Vida Silvestre, onde a biota será protegida com mais rigor;
- VII - o exercício de atividades capazes de provocar aceleração da erosão das terras ou acentuar assoreamento das coleções hídricas;
- VIII - o uso de biocidas, quando indiscriminado ou em desacordo com as normas ou recomendações técnicas oficiais;

Apesar do exposto, o inciso 1º do referido artigo explicita que:

§ 1º A abertura de vias de comunicação, de canais, e a implantação de projeto de urbanização, sempre que importar na realização de obras de terraplenagem, bem como a realização de grandes escavações e obras que causem alterações ambientais dependerão da autorização prévia da SMMA, que somente poderá concedê-la:

- I - após a realização de estudo do projeto e exame das alternativas possíveis;
- II - após a realização de estudos das consequências ambientais, e da ocorrência de deslizamento do solo e outros processos erosivos provocados pelas obras;
- III - mediante a indicação das restrições e medidas consideradas necessárias à salvaguarda dos ecossistemas atingidos.

Dessa forma, entende-se que as intervenções na APA da Cachoeira da Lajinha não são proibitivas, cabendo ao presente estudo apresentar as consequências e as medidas necessárias para diminuir os possíveis impactos e salvaguardar seus atributos naturais.

10.10.4.4 Outorgas e Usos Insignificantes Superficiais

Para a realização deste diagnóstico, foi efetuada a distinção entre os usos que exigem a captação direta de água dos corpos hídricos, conhecidos como usos consuntivos, e aqueles nos quais essa necessidade não é observada, denominados usos não consuntivos.

De acordo com o Manual Outorga do IGAM (2010), considera-se como usos consuntivos os usos que demandam a captação direta no curso de água toda retirada ou aproveitamento de água proveniente de qualquer corpo hídrico superficial, destinada a diversas finalidades como, por exemplo, o abastecimento doméstico, a irrigação de culturas, o uso industrial etc.

As portarias de outorga vigente ou em processo de renovação no estado de Minas Gerais são disponibilizadas na plataforma IDE-SISEMA para livre consulta pública, sendo informado, a partir de dados compilados da entidade outorgante, a localização, modo e finalidade de uso, vazão outorgada e demais informações dos diversos usuários, aos quais foi concedido o direito de uso de recursos hídricos. De acordo com a Deliberação Normativa CERH - MG nº 09/2004, captações e derivações de águas superficiais menores ou iguais a 1 litro/segundo, bem como acumulações superficiais com volume máximo de 5.000 m³ são consideradas como usos insignificantes tanto na bacia do rio Paraopeba quanto na bacia do rio das Velhas.

O Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019, estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do estado de Minas Gerais, onde determina que em seu Art. 2º que *“estão sujeitas à outorga de direito de uso pelo Poder Público, independentemente da natureza pública ou privada dos usuários, as intervenções que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade dos recursos hídricos, a montante ou a jusante do ponto de interferência”*.

Os itens a seguir discorrem acerca dos usos consuntivos e não consuntivos identificados na AEL, sejam esses usos sujeitos à outorga ou classificados como usos insignificantes.

10.10.4.4.1 Usos Consuntivos

A **Figura 10.10-39** ilustra a distribuição espacial dos usos consuntivos identificados na AEL, diferenciando-os por cadastros de uso insignificante e outorgas de direito de uso.

Na AEL foram identificadas as seguintes finalidades de uso:

- Abastecimento Público;
- Aquicultura;
- Consumo humano;
- Consumo Industrial/Agroindustrial;
- Dessedentação animal;
- Extração Mineral;

- Irrigação;
- Outros;
- Sem informação;
- Não consta.

Legenda

Usos Consuntivos Superficiais

■ Cadastro de Uso Insignificante

■ Outorgas - Usos Consuntivos

□ Sub-bacias - AEL

▭ Área de Estudo Local

Área Diretamente Afetada

■ Alça Norte

■ Alça Oeste

○ Sede Municipal

— Hidrografia

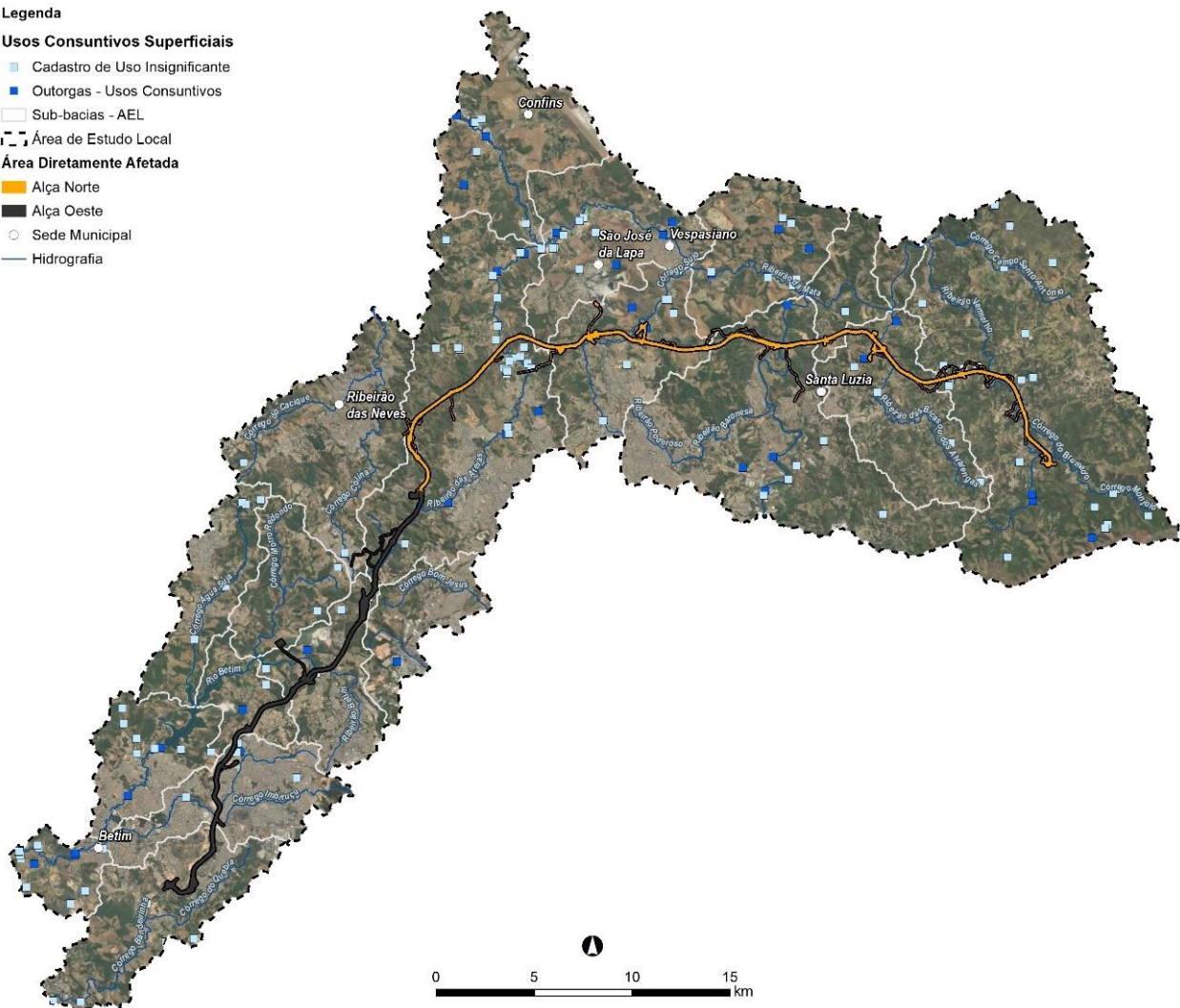


Figura 10.10-39 – Usos consuntivos superficiais na AEL (outorgas de direito de uso e cadastros de usos insignificantes).

Fonte: IDE-SISEMA, 2023.

A **Figura 10.10-40** e **Quadro 10.10-16** resumem os dados de vazões outorgadas e cadastradas como uso insignificantes, discretizados por finalidade de uso.

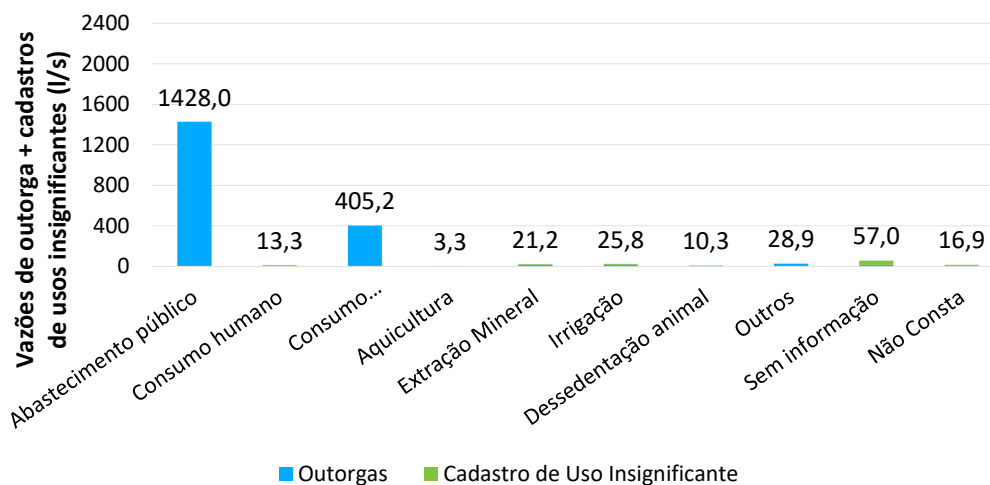


Figura 10.10-40 – Resumo das vazões outorgadas e autorizadas como usos insignificantes na AEL. Categorização por finalidade de uso

Quadro 10.10-16 – Resumo das vazões outorgadas e de uso insignificante na AEL

FINALIDADE DE USO	OUTORGAS		CADASTRO DE USO INSIGNIFICANTE		TOTAL DE USUÁRIOS	VAZÃO TOTAL (m³/s)
	Nº DE USUÁRIOS	VAZÕES OUTORGADAS (l/s)	Nº DE USUÁRIOS	VAZÕES CADASTRADAS (l/s)		
Abastecimento público	3	1428,0	0	0,0	3	1428,0
Consumo humano	0	0,0	17	13,3	17	13,3
Consumo Industrial/Agroindustrial	12	402,0	4	3,2	16	405,2
Aquicultura	1	1,2	3	2,1	4	3,3
Extração Mineral	4	14,4	10	6,8	14	21,2
Irrigação	7	15,0	14	10,8	21	25,8
Dessedentação animal	1	4,0	9	6,3	10	10,3
Outros	7	25,9	3	3,0	10	28,9
Sem informação	7	14,7	55	42,4	62	57,0
Não Consta	0	0	19	16,9	19	16,9
TOTAL	42	1905,16	134	104,70	176	2009,9

Quanto aos usos consuntivos, a AEL conta com 42 usos outorgados e 134 usuários cadastrados por uso insignificante, totalizando até 2009,9 l/s de água bruta passíveis de retirada. Acerca das finalidades de uso identificados na figura e quadro acima, pode-se discorrer:

Abastecimento Público

Foram identificadas três portarias de outorga na AEL cuja finalidade de uso é o abastecimento público, sendo todas essas atribuídas a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. As vazões superficiais passíveis de captação totalizam 1.428 l/s, sendo que, somente, a vazão outorgada ao Sistema Vargem das Flores corresponde a 1.390 l/s desse total, ou 97,34% em termos percentuais. Essa captação está situada a cerca de 3,05 km da Área Diretamente Afetada da Alça Oeste do empreendimento.

O **Quadro 10.10-17** sumariza as principais informações dessas portarias identificadas na base do IDE-SISEMA.

Quadro 10.10-17 – Portarias de outorga para abastecimento público com captação superficial na AEL.

Nº PORTARIA	MUNICÍPIO	CURSO D'ÁGUA	VAZÃO (m³/s)	SUB-BACIAS AEL	CIRCUNSCRIÇÃO HIDROGRÁFICA	DISTÂNCIA DA ADA (km)
1200/2014	Betim	Rio Betim	1,39	Rio Betim	Rio Paraopeba	3,05
350/2005	Sabará	Córrego da Praia	0,015	Ribeirão Vermelho	Rio das Velhas	1,90
351/2005		Córrego Santo Antônio	0,023		Rio das Velhas	1,61

Por fim, destaca-se captações da COPASA em Sabará nos córregos Praia e Santo Antônio, cujos totais outorgados somam 38 l/s. De acordo com o Atlas de Abastecimento de Água (ANA, 2010), o sistema Isolado Sabará – Córrego Santo Antônio é responsável por 2% do abastecimento do município de Sabará. As captações estão situadas a 1,90 e 1,61 km da Área Diretamente Afetada da Alça Norte do empreendimento.

Consumo humano

Na AEL não foi identificada nenhuma outorga de direito de uso com finalidade de uso para consumo humano. Em contrapartida, em toda a extensão da AEL foram identificados 17 cadastros de usos insignificantes para consumo em pequenas propriedades rurais e condomínios, que resultam em uma vazão cadastrada de captação de 13,3 l/s. Esses usuários se situam em regiões de pouca ou nenhuma urbanização, com maior concentração nas bacias do córrego Água Suja - região da Alça Oeste e da APA Vargem das Flores - e em afluentes do ribeirão da Mata.

Consumo Industrial/Agroindustrial

As outorgas para atendimento de consumos industriais / agroindustriais para a fabricação de produtos cerâmicos, plásticos, cimentícios, ferro gusa, embalagens e bebidas. Essas indústrias se localizam sobretudo nos municípios de Vespasiano, Pedro Leopoldo, Betim, Belo Horizonte, Santa Luzia e Contagem. As vazões outorgas ou autorizadas por meio de mecanismo de dispensa de outorga totalizam 405,2 l/s.

Aquicultura

Aquicultura define-se pela atividade de produção de pescados em cativeiro. Na AEL, foi identificado o registro de uma outorga e 3 (três) cadastros de uso insignificantes de com finalidade de uso em aquicultura, totalizando uma vazão de captação de 3,3 l/s.

Dessedentação animal

Foi contabilizada uma outorga e nove cadastros de uso insignificantes, totalizando 10,3 l/s de vazões de captação com fins de dessedentação animal.

Extração Mineral

O consumo de água pela atividade de mineração na AEL está ligado fundamentalmente à extração de areia, cascalho, pedregulho e argila, sendo identificados 10 usos insignificantes e 4 com direito de outorga, o que resulta em vazões passíveis de consumo de até 21,2 l/s.

Irrigação

A agricultura é uma atividade de notável expressão dentro dos domínios da AEL. No total, tem-se direito de uso de cerca de 25,8 l/s, divididos em 14 usos insignificantes e sete direitos de outorga.

Outros

Inclui as finalidades de uso de lavagem de veículos, recirculação de água, aspersão de vias e caminhão pipa, obras de infraestrutura e lavagem de saibro. Foram contabilizados sete outorgas e três usos insignificantes declarados com tais finalidades de uso, as quais somam vazões autorizadas para captação de até 28,9 l/s. Pela declaração dos empreendedores nas portarias de outorga, nota-se que a maioria são empresas de construção civil ou de mineração de matérias não-metálicas destinados à construção civil, tais como brita e cal.

Sem informação

Foram identificadas sete outorgas e 55 usos insignificantes, os quais não declararam a finalidade de uso., somando 57,0 l/s em vazões de captação autorizadas e outorgadas. Apesar dessa ausência de informações, pelos nomes atribuídos aos empreendedores verifica-se que a maior parte dos usuários são condomínios residenciais, loteamentos, mineração de areia, indústria de embalagem e propriedades rurais com provável finalidade de consumo humano, dessedentação animal e irrigação. A finalidade de uso “Sem informação” é atribuída às portarias de outorgas pelo próprio IGAM, cujos dados são disponibilizados via IDE-SISEMA.

Não consta:

Corresponde somente a usos insignificante cuja finalidade não consta nenhuma inscrição na base de dados do IDE-SISEMA. Essas vazões totalizam 16,9 l/s distribuídos em 19 usuários identificados.

10.10.4.4.2 Usos Não Consuntivos

Conforme relatado anteriormente, usos não consuntivos não envolvem o consumo direto da água, no entanto, dependem da manutenção de condições naturais do corpo hídrico ou de operação da infraestrutura hídrica.

A **Figura 10.10-41** mostra espacialmente os usos não-consuntivos identificados na AEL.

Legenda

Usos Não Consuntivos

- ▲ Outorgas
- ▲ Uso Insignificante

Área Diretamente Afetada

- Alça Norte
- Alça Oeste
- Sede Municipal
- Limite Municipal
- Hidrografia

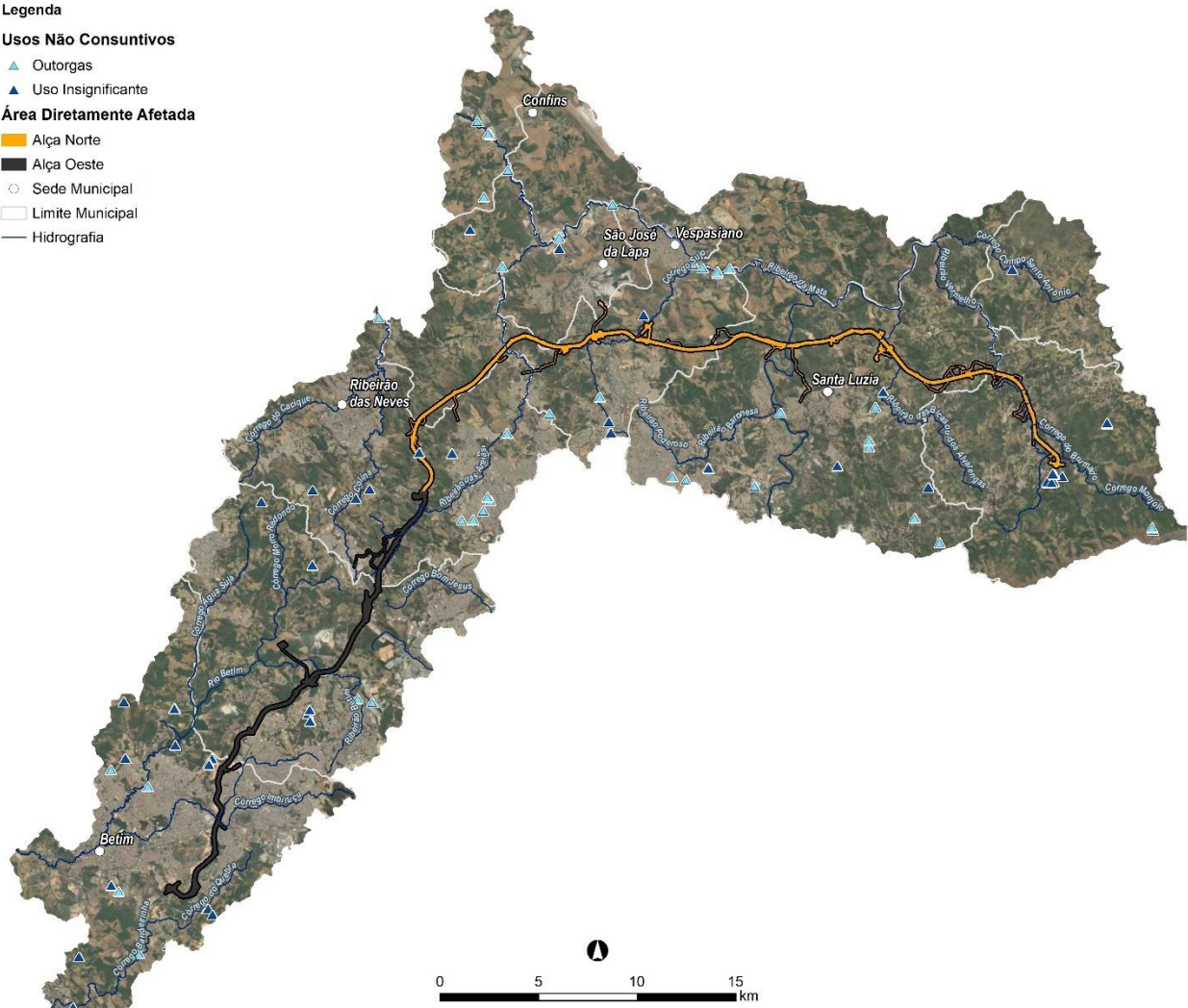


Figura 10.10-41 – Usos não-consuntivos superficiais na AEL (outorgas de direito de uso e cadastros de usos insignificantes).

Fonte: IDE-SISEMA.

Na **Figura 10.10-42** e **Quadro 10.10-18** encontram-se resumidos os quantitativos dos principais modos de uso identificados na AEL. Observa-se que as informações ali contidas estão discretizadas por usos sujeitos a outorga e usos insignificantes, sujeitos a cadastro. Dentre os usos outorgados, a predominância é de lançamento de efluentes, totalizando 19 pontos de lançamento de efluentes oriundos de atividades de fabricação de argamassa e rejuntas, bebidas, maquinário industrial, mineração de calcário, frigorífica, serviços públicos de tratamento de esgotamento sanitário (COPASA). Em seguida, tem-se obras de canalização e/ou retificação como a segundo maior parcela de usos não consuntivos, totalizando nove outorgas.

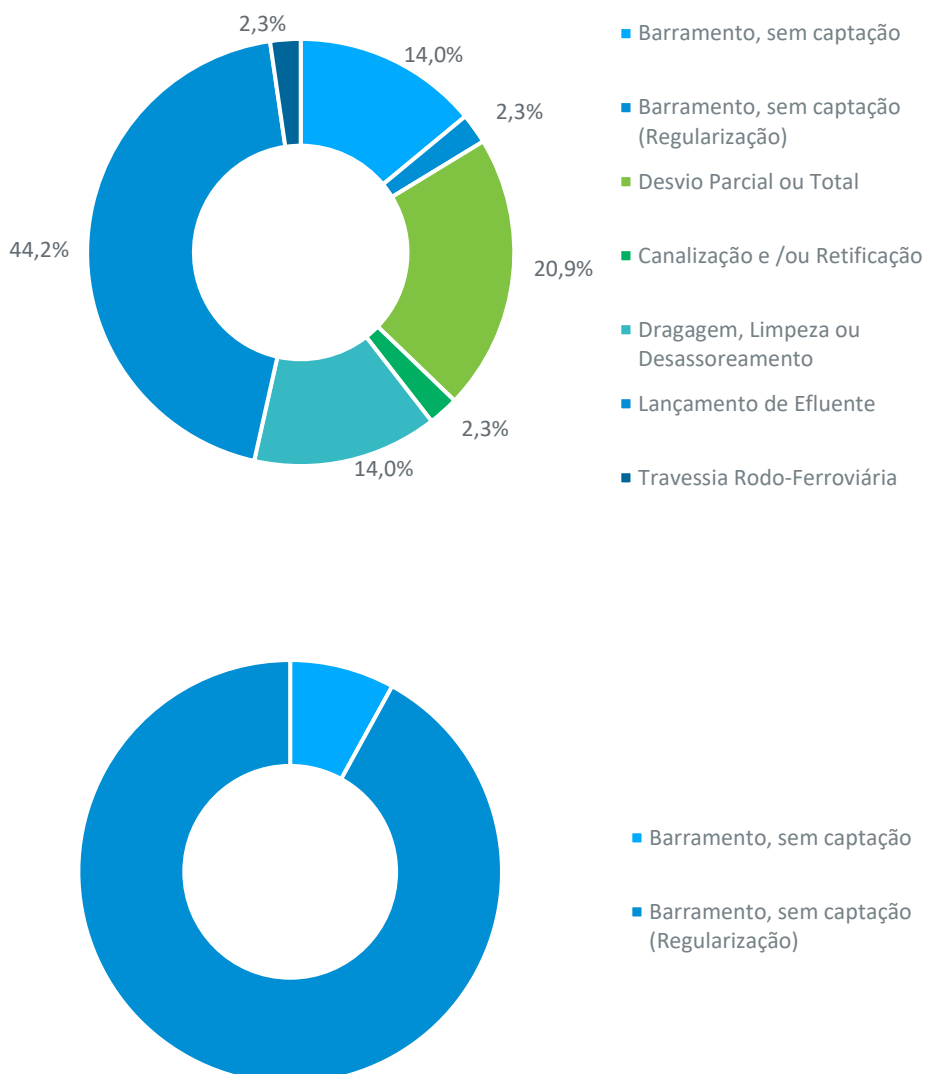


Figura 10.10-42 – Percentual dos modos de usos não consuntivos encontrados na AEL, em termos de outorgas de direito de uso (*acima*) e de cadastros de usos insignificantes (*abaixo*).

Quadro 10.10-18 – Resumo dos modos de usos não consuntivos encontrados na AEL, em termos de outorgas de direito de uso (*acima*) e de cadastros de usos insignificantes (*abaixo*).

OUTORGAS – USOS NÃO CONSUNTIVOS		
MODO DE USO	QUANTIDADE	PERCENTUAL
Barramento, sem captação	6	14,0%
Barramento, sem Captação (Regularização)	1	2,3%
Canalização e/ou Retificação	9	20,9%
Desvio Parcial ou Total	1	2,3%
Dragagem, Limpeza ou Desassoreamento	6	14,0%
Lançamento de Efluente	19	44,2%
Travessia Rodo-Ferrovária (Pontes e Bueiros)	1	2,3%

OUTORGAS – USOS NÃO CONSUNTIVOS		
MODO DE USO	QUANTIDADE	PERCENTUAL
TOTAL	43	100%
CADASTRO DE USOS INSGINIFICANTES – USOS NÃO CONSUNTIVOS		
MODO DE USO	QUANTIDADE	PERCENTUAL
Barramento, sem captação	46	92,0%
Barramento, sem captação (Regularização)	4	8,0%
TOTAL	50	100%

Ao que concerne aos usos insignificantes, foram identificados 46 cadastros de barramentos sem captação e quatro de barramentos com capacidade de regularização na AEL. Cabe pontuar que, segundo a DN CERH - MG nº 09/2004, que esses barramentos devem ter até 5.000 m³ para serem considerados usos insignificantes.

10.10.4.4.3 Usuários de águas superficiais interceptados pelo empreendimento

Tendo por base os dados de usuários com outorga ou cadastro de usos insignificantes disponibilizados na plataforma IDE-SISEMA, foram identificados ao longo da Área de Influência Direta do empreendimento cinco usuários de águas superficiais (quatro categorizados por usos insignificantes e um com outorga) que deverão ser interceptados pelo traçado principal do Rodoanel Metropolitano BH e seus acessos secundários. A **Figura 10.10-43** mostra a localização desses usuários de águas superficiais interceptados, ao passo que o **Quadro 10.10-19** resume as principais informações desses.

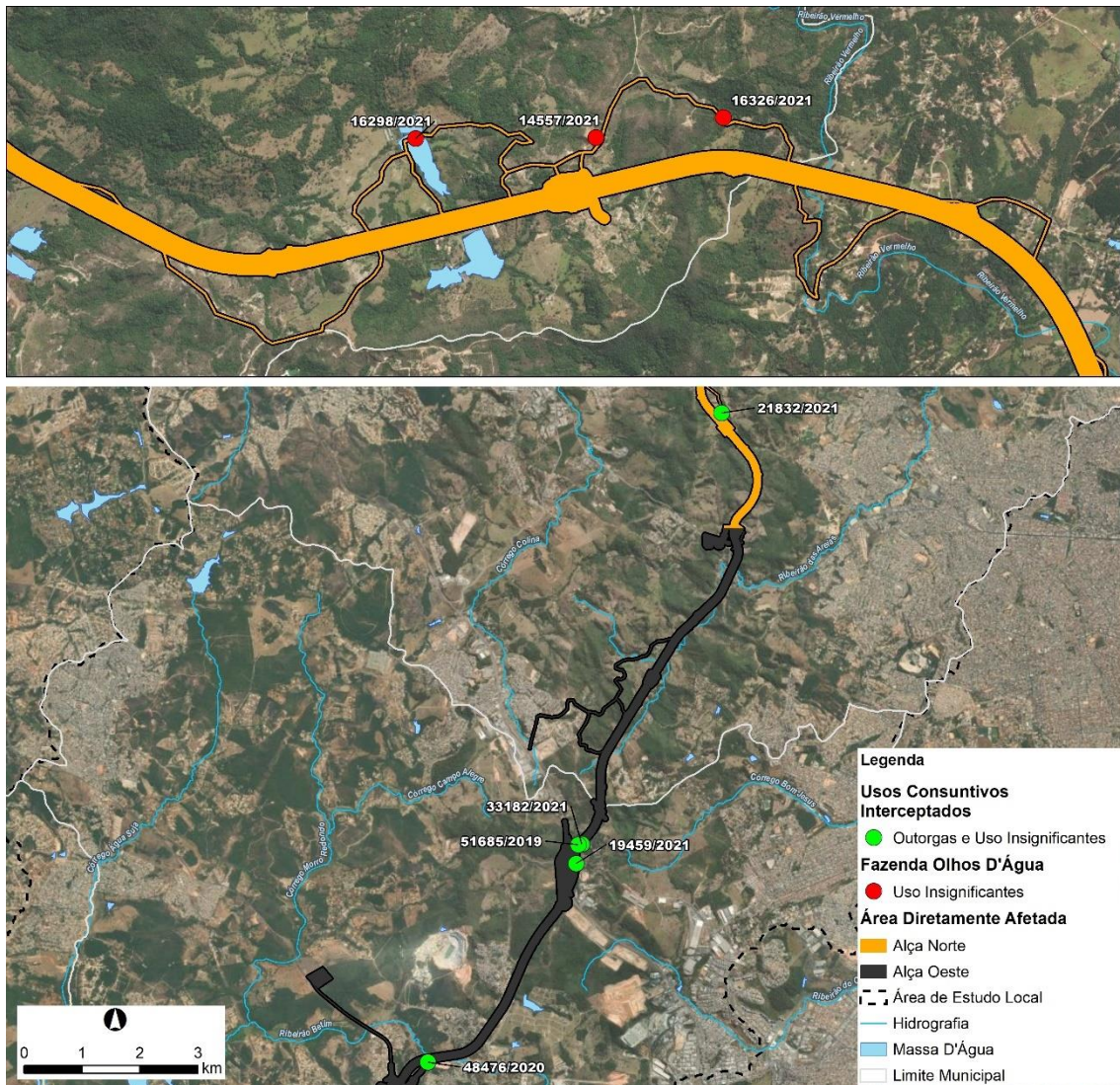


Figura 10.10-43 – Detalhe dos usuários de recursos hídricos interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH.

Quadro 10.10-19 – Resumo dos usuários de recursos hídricos superficiais interceptados pelo empreendimento.

Nº PORTARIA	ALÇA	NOME DO EMPREEN- DIMENTO	MUNICÍPIO	MODO DE USO	X UTM	Y UTM	FINALIDADE DE USO
51685/2019	Oeste	Não Consta	Contagem	Captação em corpo d'água (rios, lagoas naturais, etc)	597319	7804665	Outros
48476/2020	Oeste	Dei Falci Ltda	Contagem	Captação em barramento, sem regularização	594724	7800919	Irrigação
19459/2021	Oeste	Fazenda Campestre	Contagem	Captação em corpo d'água (rios, lagoas naturais, etc)	599792	7812105	Sem informação
33182/2021	Oeste	Sítio	Contagem	Captação em corpo d'água (rios, lagoas naturais, etc)	597380	7804675	Sem Informação
21832/2021*	Norte	Fazenda Lajinha	Ribeirão das Neves	Barramento em curso d'água, sem captação	597280	7804344	Dessedentação Animal

*Cadastro de uso insignificante relativo a usos não consuntivos. Demais usuários correspondem a usos consuntivos.

Pela referida figura nota-se portarias de dispensa de outorga (portarias 16298/2021, 14557/2021, 16326/2021), associadas ao empreendimento Fazenda Olhos d'água (painel superior da Figura), referenciadas espacialmente de forma em que essas se situam próximas a acessos secundários do Rodoanel Metropolitano BH (bolinhas vermelhas indicadas na **Figura 10.10-43**). Esses acessos deverão ser utilizados na fase de construção do empreendimento.

Nesse sentido, poderia se entender que o empreendimento não afetaria esse usuário de forma intensiva, visto que intervenções aconteceriam de forma pontual e junto aos acessos. Entretanto, as portarias de dispensa associadas a esse usuário são relativas três barramentos, sendo essas estruturas ilustradas pelas massas d'água presentes no painel superior da **Figura 10.10-43**. Logo, entende-se que as coordenadas das portarias estão incorretas na base do IGAM e as barramentos estão situados, na verdade, ao longo ou adjacentes ao traçado do Rodoanel Metropolitano BH em si, o que demandaria uma avaliação detalhada quando da concepção do projeto executivo.

10.10.4.4.4 Exploração Potencial da Água Superficial e a Disponibilidade Hídrica na AEL

De formar a compreender a exploração da água superficial na AEL e a sua implicação sobre a disponibilidade hídrica superficial foi realizada uma análise de balanço hídrico simplificado, fundamentando-se na utilização das vazões passíveis de captação autorizadas por meio de outorgas e usos insignificantes (usos consuntivos) e uma vazão de referência de estiagem, tendo essa a função de representar a disponibilidade hídrica superficial. Calculando o quociente entre essas duas variáveis, tem-se um valor adimensional que traduz a pressão exercida sobre os recursos hídricos, um indicador, aqui denominado Nível de Exploração Potencial da Água Superficial.

O fato de o índice aqui proposto carregar em seu nome a denominação 'potencial' é justificado pela utilização de vazões de outorgas e de usos insignificantes em seu cômputo. Essas representam as vazões máximas que os usuários, os quais foram concedidos o direito de uso, podem captar e não o que é de fato retirado no dia a dia, onde o consumo real tende a oscilar.

O índice proposto toma por base a concepção do Indicador 6.4.2, que vem sendo aplicado desde 2018 pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO da sigla em inglês) para determinar o nível de estresse hídrico nos Estados-membros da organização, como forma de acompanhamento das ações dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) (FAO, 2021). Esse indicador expressa a razão entre as demandas hídricas e a disponibilidade hídrica descontada das demandas ecossistêmicas (vazão ecológico). O que diferencia o indicador aqui utilizado em relação ao indicador 6.4.2, é o fato do primeiro utilizar as vazões outorgadas, enquanto o segundo utiliza as demandas hídricas (vazões efetivamente retiradas do corpo hídricos).

Para o cômputo desse índice, considerou-se como vazões de referência hidrológica as vazões $Q_{7,10}$. A Portaria IGAM nº 23, de 31 de maio de 2023, estabelece que o limite máximo de captações nas Circunscrições Hidrográficas (CHs) dos rios Paraopeba e das Velhas de 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$, logo, tal percentual de vazão foi utilizado para se estabelecer a disponibilidade hídrica efetiva no exutório das sub-bacias da AEL. Os 70% restantes devem permanecer para atender demandas ecológicas.

Os usos consuntivos necessários para se estimar a pressão exercida pelas captações devem considerar todos os usuários a montante do exutório da bacia avaliada. No item anterior é feita uma avaliação dos usuários inscritos na AEL, desconsiderando as outorgas nas bacias a montante. Para a avaliação das sub-bacias do ribeirão da Mata e do rio das Velhas, por exemplo, deve-se considerar os demais usuários situados a montante das sub-bacias Ribeirão da Mata - INC 01 (VLH-07) e Rio das Velhas - INC 01 (VLH-12) (ver e **Quadro 10.10-13**).

Em vista do discutido, foi realizado o somatório de todos os usos a montante de cada uma das sub-bacias, abrangendo dados além dos limites da AEL. A **Figura 10.10-44** e o **Quadro 10.10-20** apresentam o resumo das vazões consuntivas superficiais (outorga e usos insignificantes) acumulados a montante até o exutório das sub-bacias da AEL.

Observa-se pela **Figura 10.10-44** e pelo **Quadro 10.10-20** que as vazões acumuladas aos usos a montante das sub-bacias são mais expressivas quanto comparados aos que efetivamente ocorrem nas sub-bacias em questão. Esse efeito é notório nas sub-bacias incrementais do rio das Velhas (VLH-10, VLH-11 e VLH-12), onde as vazões acumuladas contabilizam 12.815 l/s. Esse valor elevado deve-se a vazão autorizada para captação da Estação de Tratamento de Água Bela Fama da COPASA, situada no curso principal do rio das Velhas, no município de Nova Lima. Informa-se que a Portaria de Outorga 2203/2013 concede a companhia o direito de captar até 8.771 l/s.

A **Figura 10.10-45** apresenta o resultado do Índice de Exploração Potencial da Água Superficial nas sub-bacias das AEL, calculado pela razão entre os somatórios das vazões outorgadas e autorizadas e vazão de referência de estiagem (30% da $Q_{7,10}$), conforme vazões apresentadas na **Figura 10.10-16**.

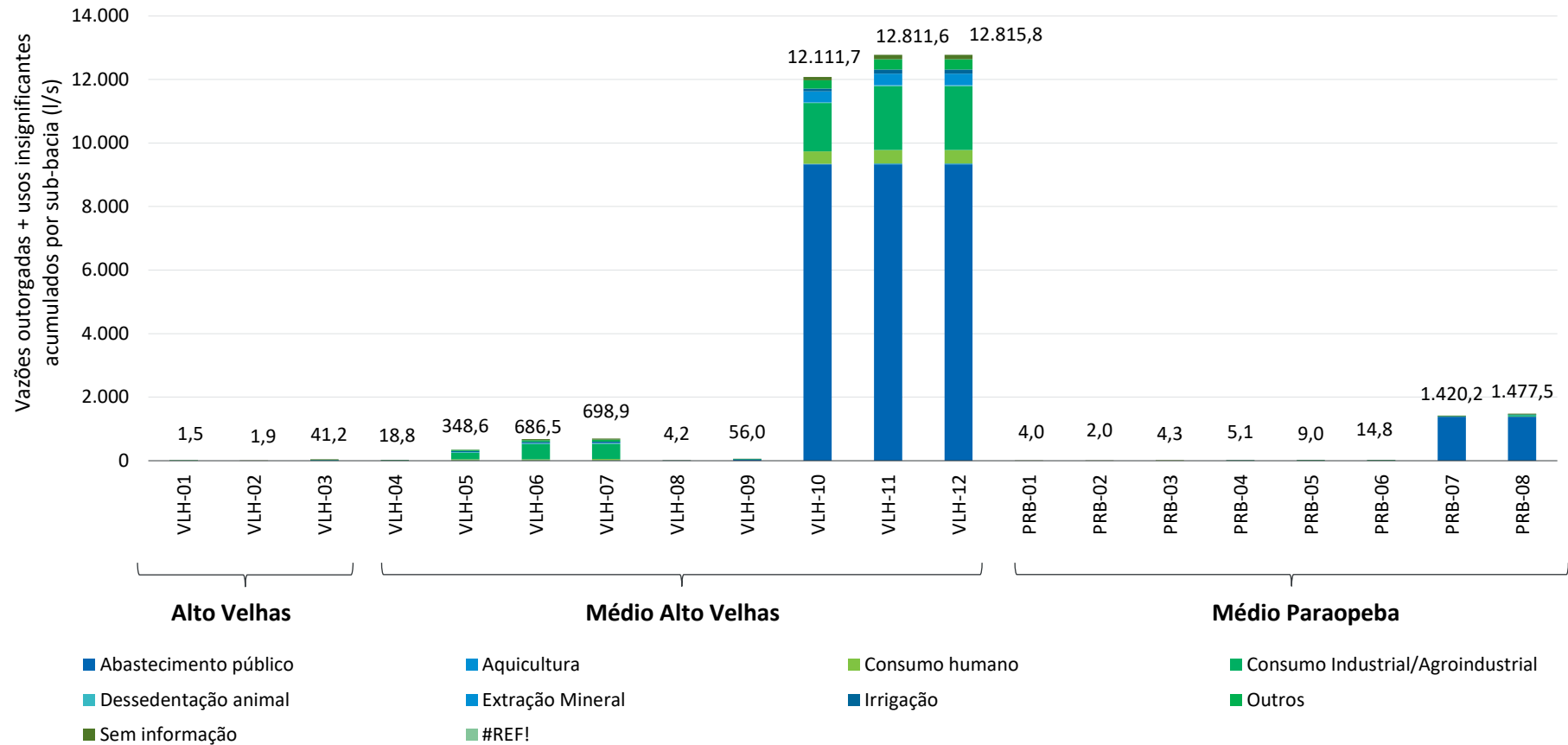


Figura 10.10-44 – Resumo das vazões de outorgas e usos insignificantes acumuladas de acordo com os usos a montante de cada sub-bacia.

Quadro 10.10-20 – Resumo das vazões de outorgas e usos insignificantes acumuladas de acordo com os usos a montante de cada sub-bacia.

SUB-BACIA	ABASTECIMENTO PÚBLICO (l/s)	AQUICULTURA (l/s)	CONSUMO HUMANO (l/s)	CONSUMO INDUSTRIAL/AGRO-INDUSTRIAL (l/s)	DESSEDENTAÇÃO ANIMAL (l/s)	EXTRAÇÃO MINERAL (l/s)	IRRIGAÇÃO (l/s)	OUTROS (l/s)	SEM INFORMAÇÃO (l/s)	NÃO CONSTA (l/s)	TOTAL (l/s)
VLH-01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	1,5
VLH-02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9	1,9
VLH-03	0,0	0,0	0,0	0,4	2,3	6,6	6,5	8,3	7,6	9,5	41,2
VLH-04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,0	11,0	2,8	18,8
VLH-05	0,0	9,6	36,9	211,3	13,3	1,3	31,9	33,0	7,7	3,6	348,6
VLH-06	0,0	9,6	36,9	472,9	16,4	7,9	40,4	55,4	27,2	19,7	686,5
VLH-07	0,0	10,8	37,8	475,4	16,4	8,9	43,7	56,4	27,2	22,2	698,9
VLH-08	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	2,9	0,5	4,2
VLH-09	38,0	0,0	5,2	0,0	1,6	1,0	2,4	1,0	6,1	0,8	56,0
VLH-10	9.329,6	13,6	390,3	1.528,4	13,9	347,5	85,6	268,3	100,5	33,9	12.111,7
VLH-11	9.329,6	24,4	429,0	2.003,8	30,3	356,4	129,4	324,8	127,7	56,1	12.811,6
VLH-12	9.329,6	24,4	429,0	2.003,8	30,3	356,4	130,2	324,8	130,6	56,6	12.815,8
PRB-01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	4,0
PRB-02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0
PRB-03	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	4,3
PRB-04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	2,0	1,6	5,1
PRB-05	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	1,0	2,0	1,1	2,9	9,0
PRB-06	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,9	4,9	14,8
PRB-07	1.390,0	0,0	2,3	4,0	0,0	0,0	3,3	2,0	5,8	12,8	1.420,2
PRB-08	1.390,0	0,0	2,3	46,0	0,5	5,2	3,3	2,0	9,2	19,0	1.477,5

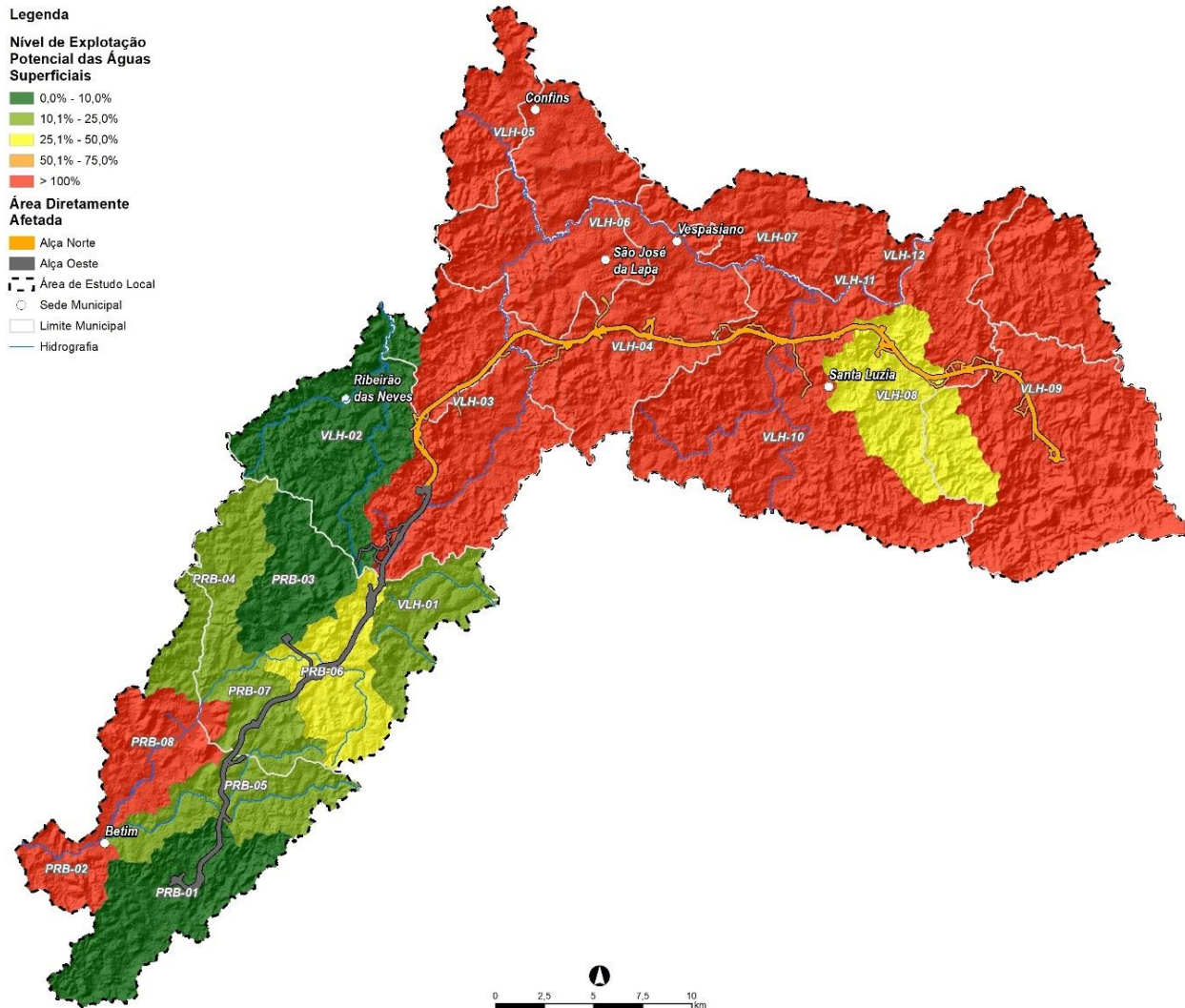


Figura 10.10-45 – Balanço Hídrico quantitativo na AEL expresso pelos Níveis de Exploração Potencial da Água Superficial.

A **Figura 10.10-45** mostra nove sub-bacias do rio das Velhas e duas do rio Paraopeba que foram classificadas com um Nível de Exploração das Águas Superficiais acima de 100% (cor vermelha), denotando uma grande pressão sobre os recursos hídricos superficiais em decorrência de exploração excessiva dessas águas para captação.

Cabe pontuar que esses níveis elevados de exploração devem-se em parte às captações da COPASA que, segundo o Manual Técnico e Administrativo de Outorgas do IGAM, pode utilizar o trabalho de regionalização de vazões $Q_{7,10}$ realizado por Souza (1993) para estimar a disponibilidade hídrica local. Esse estudo acarreta vazões superiores às computadas pelo estudo da UFV/IGAM (2012), logo, as vazões outorgadas a companhia tendem a ser mais permissivas quando comparadas as vazões concedidas aos demais usuários.

Ao longo do traçado do Rodoanel Metropolitano BH, a sub-bacia com maior disponibilidade é a PRB-01, córrego Bandeirinha, com níveis de exploração inferiores a 25%, que é cortada pelo traçado da Alça Oeste. A sub-bacias VLH-02, ribeirão das Neves, e PRB-02, córrego Morro Redondo apresentam condições similares, no entanto, não são diretamente interceptadas pelo traçado do empreendimento.

10.10.5 Caracterização dos Recursos Hídricos na AED

10.10.5.1 Hidrografia e Regime de Fluxo dos Corpos Hídricos na AED

A representação da hidrografia nas áreas de estudo deste diagnóstico do meio físico, utilizou a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) do Rio São Francisco, derivada de base cartográfica na escala 1:100.000 e 1:50.000. As áreas de contribuição hidrográfica foram obtidas a partir do Modelo Digital de Elevação hidrologicamente consistente derivado dos dados do Projeto SRTM (acrônimo em inglês SRTM - Shuttle Radar Topography Mission) com pixel de 30m. Essa base é disponibilizada pela ANA, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), e pela SEMAD, por meio IDE-SISEMA, incorporando a esta dados de disponibilidade hídrica dos cursos d'água, associando dados tabulares aos elementos espaciais, tais como os dados de vazão média de longa duração (Q_{mid}), vazão de estiagem de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), classe de enquadramento de rios, ordem de Strahler, nomes de topomínias identificadas, o sistema de codificação de bacias proposto por Otto Pfafstetter.

Essa base é amplamente utilizada em diagnósticos de recursos hídricos e cumpre com o seu papel permitindo a devida caracterização hidrográfica, associadas a informações hidrológicas e qualimétricas. Entretanto, verificou-se que a BHO apresenta inconsistências e imprecisões em relação à hidrografia real observada por imagens de satélite e ortofotos, devido a sua escala de mapeamento, que poderia comprometer atividades com fins de cômputo de Áreas de Proteção Permanente e interceptação de corpos d'água. Esse último por exemplo, deverá subsidiar pedidos de outorga de direito de uso de recursos hídricos do Rodoanel Metropolitano BH, tais como canalização e retificação de corpos hídricos e travessas rodoviárias, tais como os termos definidos pela Portaria IGAM Nº 23, de 31 de maio de 2023.

Nesse sentido, se preferiu realizar um refinamento manual da hidrografia da BHO e, assim, evitar o uso de ferramentas automáticas de geração de hidrografia, como as disponíveis no ArcGIS e no QGIS. Para isso, utilizou-se as seguintes etapas:

- Análise de imagens de ortofotos e Modelo Digital de Terreno (MDT) com 10cm de resolução, delimitados por buffer de cerca de 200 metros em relação ao eixo do empreendimento, de forma a melhor delinear a hidrografia e deixá-la o mais fidedigna possível à hidrografia real;
- Refinamento manual e visual da hidrografia, movendo os vértices dos ototrechos da BHO que formam a rede hidrográfica, de modo a ajustá-los às imagens de referência;
- Preservação dos atributos originais da hidrografia do IDE-Sisema,

A **Figura 10.10-46** ilustra o processo de refinamento da BHO, conforme as etapas listadas acima.

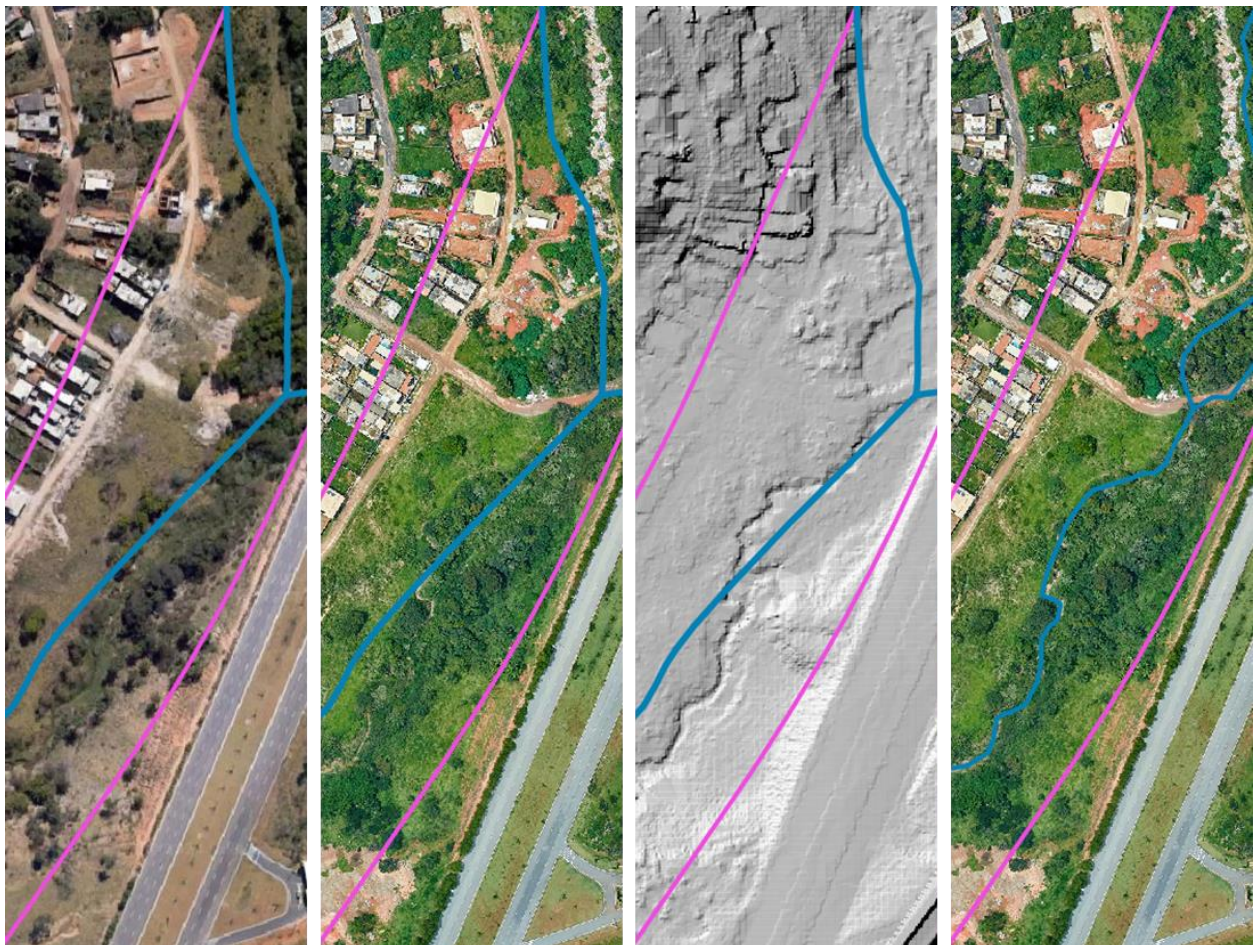


Figura 10.10-46 – Representação do processo de refinamento da BHO para o córrego das Abóboras, na região de Contagem: hidrografia original (a); sobreposição de ortofoto (b) e modelo digital de terreno (MDT) (c) e refinamento visual da hidrografia (d).

Além do refinamento da hidrografia, foi realizada também a caracterização do regime de fluxo dos cursos d'água, classificando-os em perenes, intermitentes ou efêmeros. Para isso, foram utilizados os seguintes critérios:

- Análise de ortofotos para identificação de rios com fluxo de água visível nas imagens;
- Consulta à base de dados de nascentes cadastradas, verificando-se a existência de nascentes a montante dos cursos d'água, o que indicaria um regime perene ou intermitente (ver item **10.10.4.2**);
- Visitas de campo para verificação da presença de fluxo nos trechos da hidrografia.

10.10.5.2 Ottotuchos Interceptados pelo Empreendimento

A quantificação dos ottotuchos interceptados pelo empreendimento foi executada por meio da superposição da hidrografia do estado de Minas Gerais, disponível na plataforma IDE-SISEMA, com o traçado do eixo do empreendimento (rodovia, alças de saída e caminhos de serviço). Uma aferição visual do resultado foi realizada no intuito de remover pontos de interceptação redundantes, bem como divergências entre a base hidrográfica oficial e imagens de satélites disponíveis.

Nesse sentido, foram identificados 220 pontos de interceptação do empreendimento em 166 ottotrechos diferentes, podendo esses serem visualizados no **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pontos Interceptação Da Hidrografia**. Essa diferenciação entre o número de pontos de interceptações e o de ottotrechos efetivamente interceptados deve-se ao fato que esse último pode ser interceptado concomitante pelo traçado principal do Rodoanel Metropolitano BH, suas alças e por caminhos de serviço.

Os dados dessas interceptações, divididos por alças, estão sumariados no **Quadro 10.10-21**.

Quadro 10.10-21 - Resumo dos pontos de interceptação estimados.

	CAMINHOS DE SERVIÇO	EIXO DO TRAÇADO DO RODOANEL	ALÇA DE SAÍDA DO RODOANEL	TOTAIS
Alça Oeste	13	59	11	83
Alça Norte	42	72	21	135
TOTAL	55	131	36	222

Observa-se que a Alça Norte possui o maior número de interceptações, um total de 135 pontos, devendo-se isso à extensão do traçado da alça e, conseqüentemente, da maior necessidade de caminhos de serviços para a sua implementação. Cabe destacar que esse último corresponde a 42 pontos de interceptação, porém, a maior parte desses caminhos de serviços são estradas vicinais já existentes e que deverão ter a sua geometria e greide readequados de forma a facilitar o transporte dos materiais da obra. Nesse sentido, não se espera intervenções significativas sobre os recursos hídricos.

De maneira oposta, as interceptações ao longo do eixo principal e das alças de acesso demandarão intervenções diretas sobre os recursos hídricos superficiais, tais como canalizações para a acomodação de obras de arte corrente (OACs), possíveis interferência de fundações de obra de artes especiais (OAEs), áreas de corte e aterro próximas, retaludamento e proteção de encostas.

Cabe pontuar que nem todos ottotrechos interceptados são drenagens perenes ou intermitentes, sendo que 138 dos 166 ottotrechos se enquadram nessa condição. O **Quadro 10.10-22** sumaria esses dados, separando ottotrechos por regime de fluxo e alça do Rodoanel Metropolitano BH.

Quadro 10.10-22 – Resumo dos ottotrechos interceptados pelos elementos que compõem o traçado do Rodoanel Metropolitano BH.

	Nº OTTOTRECHOS PERENES OU INTERMITENTES	EFÊMERO	TOTAIS
Alça Norte	86	18	104
Alça Oeste	52	10	62
TOTAL	138	28	166

No caso dos 166 ottotrechos efetivamente interceptados, o **Quadro 10.10-23** resume as suas principais características hidrológicas (Q_{MLT} e $Q_{7,10}$) e fisiográficas em termos de percentis de ocorrência. Observa-se que uma porção representativa dos ottotrechos, caracterizado pelo percentil de 75%, possui vazões médias de longo termo iguais ou inferiores a 25,86 l/s e drenam bacias com áreas de drenagem iguais ou inferiores a 1,83 km². Nessa condição, essas drenagens não tendem a passar de córregos com classe de Strahler igual ou inferior a 2.

Em contraponto ao apresentado, o rio das Velhas configura-se como o curso d'água de maior significância volumétrica dentre os ottotrechos interceptados, possuindo uma vazão de cerca de 42 m³/s e uma área de drenagem de 2.845,39 km², sendo o trecho interceptado classificado como classe de Strahler 7.

Os cursos d'água Ribeirão das Bicas, Ribeirão Betim, Ribeirão das Areias e Ribeirão Vermelho também possuem significância em termos de área de drenagem e apresentado vazões médias que variam entre 608,8 e 1.229,1 l/s. Depois o rio das Velhas, esses são os corpos hídricos interceptados pelo empreendimento de maior importância do ponto de vista de disponibilidade hídrica.

Quadro 10.10-23 – Principais percentis de ocorrência dos atributos hidrológicos e fisiográficos entre os ottotrechos interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH.

PERCENTIL	Q _{MLT} (l/s)	Q _{7,10} (l/s)	CLASSE DE STRAHLER	ÁREA DE DRENAGEM A MONTANTE (km ²)
5%	0,81	0,02	1	0,04
25%	1,97	0,06	1	0,12
50%	5,83	0,33	2	0,35
75%	25,86	1,83	3	1,83
95%	518,15	48,47	5	34,02
98%	1.089,33	98,96	5	79,63
Ribeirão das Bicas	608,8	49,6	5	45,3
Ribeirão Betim	642,2	90,8	5	32,5
Ribeirão das Areias	986,4	88,1	6	72,0
Ribeirão Vermelho	1.229,1	113,8	5	90,0
Rio das Velhas*	41.981,99	7.910,47	7	2.845,39

*Imediatamente a jusante da confluência com o córrego do Inferno, próximo à estaca 895 do projeto da rodovia.

10.11 Qualidade das Águas Superficiais

A avaliação da qualidade dos corpos hídricos superficiais existentes na região do empreendimento tem como objetivo avaliar as condições atuais dos cursos d'água previamente à implantação do empreendimento, de forma a identificar possíveis alterações físico-químicas e hidrobiológicas da água.

10.11.1 Metodologia

Para o diagnóstico da Qualidade das Águas Superficiais foram utilizados os dados das estações qualimétricas disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), bem como informações coletadas no documento Anexo 13 - Diretrizes Ambientais (SEINFRA, 2022), Planos Diretores de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas inseridas na AER, boletins de monitoramento de qualidade das águas do IGAM, dentre outros. Além disso, foi realizada a caracterização da qualidade da água por meio de dados primários coletados no período seco e chuvoso.

10.11.2 Qualidade das Águas Superficiais da Área de Estudo Regional

O monitoramento da qualidade das águas no estado de Minas Gerais é uma atividade desenvolvida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas desde 1997, por meio do Projeto Águas de Minas (IGAM, 2023). O objetivo do programa é fornecer informações sobre alterações nas características físico-químicas e hidrobiológicas da água, baseando-se no levantamento sistemático de dados em pontos de amostragem selecionados. Desse modo, é possível acompanhar a evolução das condições de qualidade da água ao longo do tempo, fornecendo séries temporais de dados como forma de subsidiar as decisões da gestão de recursos hídricos.

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é adotado pelo Projeto Águas de Minas como indicador para definir a situação ambiental dos corpos hídricos, refletindo a contaminação por esgotos sanitários, outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos.

Para o cálculo do IQA são considerados os seguintes parâmetros:

- Oxigênio Dissolvido (OD);
- Coliformes fecais;
- pH;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Nitratos;
- Fosfatos;
- Temperatura da água;
- Turbidez;
- Sólidos totais.

Esses parâmetros geram um índice que varia de 0 a 100, que corresponde aos seguintes níveis de qualidade da água (**Quadro 10.11-1**):

Quadro 10.11-1 – Classificação do Índice de Qualidade das Águas (IQA).

VALOR DO IQA	CLASSES
90 a 100	Excelente
70 a 90	Bom
50 a 70	Médio
25 a 50	Ruim
0 a 25	Muito Ruim

Fonte: adaptado de IGAM, 2023.

Para a análise da qualidade da água da região, foi realizado um levantamento das estações qualimétricas localizadas na AEL, operadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, disponibilizadas na plataforma IDE-SISEMA (2023). As 85 estações levantadas na região (bacias dos rios Paraopeba e das Velhas) e podem ser observadas na **Figura 10.11-1**, enquanto o **Quadro 10.11-2** apresenta os dados das estações e os resultados de IQA dos últimos 10 anos analisados, compreendidos entre 2011 e 2021.

Segundo o IGAM (2023), o IQA anual é dado pela média dos IQAs trimestrais, que são medidos em campanhas realizadas quatro vezes ao ano para a maioria das estações de monitoramento, ocorrendo a realização de campanha mensal para algumas estações, inclusive do rio das Velhas. O IGAM elabora a cada ano, o produto “Relatório Anual de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais”, no qual podem ser consultados mais detalhes.

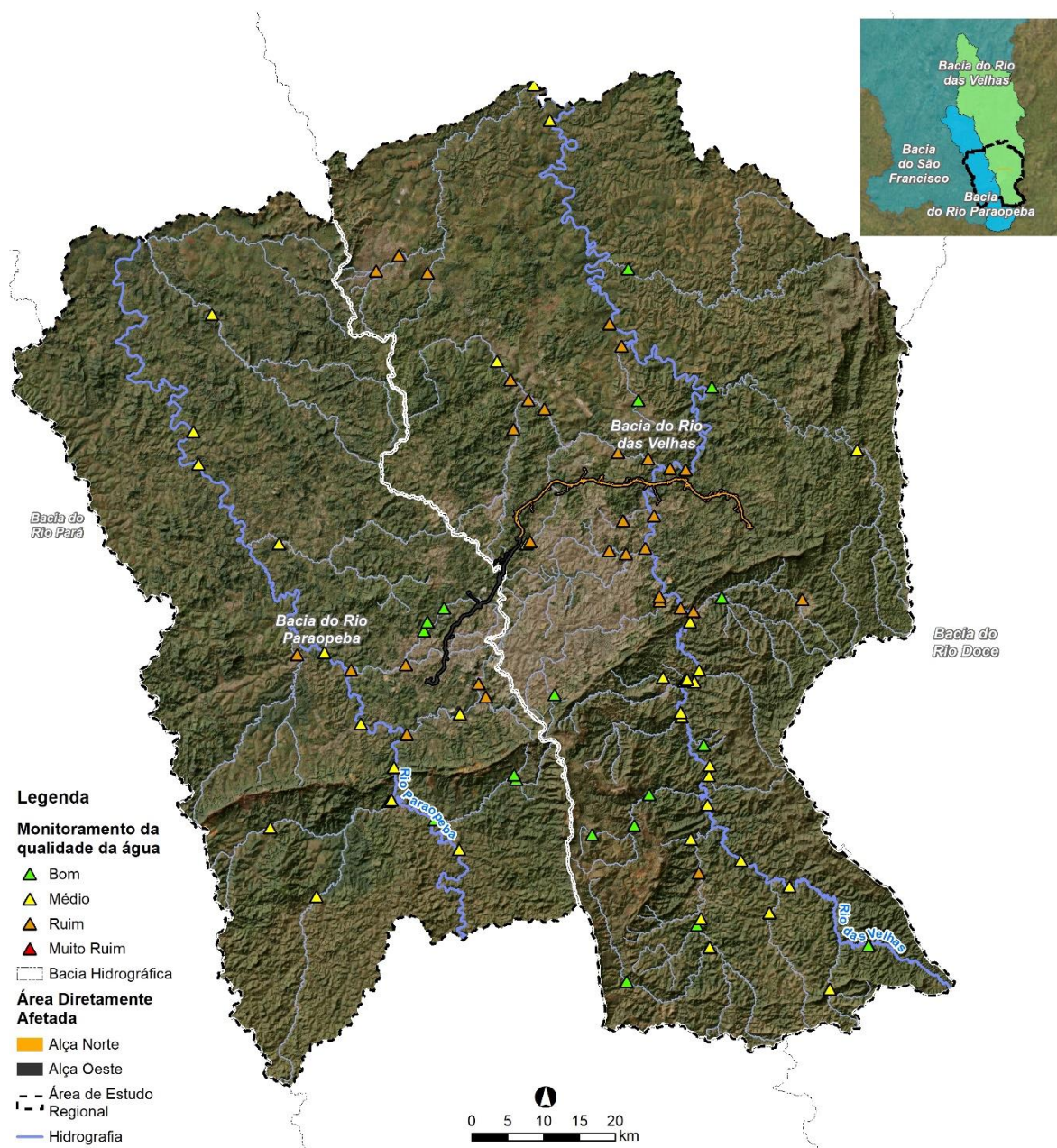


Figura 10.11-1 – Índice de Qualidade das Águas 2021 das estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Regional do empreendimento.

Quadro 10.11-2 – Série histórica de IQA, entre 2011 e 2021, das estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Regional.

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	DESCRIÇÃO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
BACIA DO RIO DAS VELHAS																		
AV007	Ribeirão Funil	Ribeirão Funil a montante do rio das Velhas	Classe 1	Ouro Preto	-20,37	-43,63	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	
AV050	Ribeirão do Silva	Ribeirão do Silva a montante do córrego das Almas	Classe 2	Itabirito	-20,36	-43,90	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Bom	
AV070	Ribeirão Mata Porcos	Ribeirão Mata Porcos próximo de sua confluência com o Ribeirão Sardinha	Classe 2	Itabirito	-20,32	-43,79	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Médio	
BV001	Rio das Velhas	Rio das Velhas próximo a sua nascente	Classe Especial	Ouro Preto	-20,31	-43,58	NR	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	
AV060	Ribeirão Carioca	Ribeirão Carioca a montante de sua confluência com o ribeirão Mata Porcos	Classe 2	Itabirito	-20,29	-43,81	Médio	Bom	Médio	Bom	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Bom	
AV080	Ribeirão Mata Porcos	Ribeirão Mata Porcos a montante de Itabirito	Classe 2	Itabirito	-20,28	-43,80	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Bom	Médio	
AV020	Rio Maracujá	Rio Maracujá a montante da confluência do Córrego dos Padres	Classe 2	Itabirito	-20,27	-43,71	Ruim	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Ruim	Médio
AV010	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão do Funil	Classe 1	Ouro Preto	-20,24	-43,68	Médio	Médio	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Médio	Médio
BV035	Rio Itabirito	Rio Itabirito a jusante da cidade de Itabirito	Classe 2	Itabirito	-20,22	-43,80	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Médio	Ruim	Médio	Médio	Ruim	Ruim	
BV013	Rio das Velhas	Rio das Velhas a montante da foz do Rio Itabirito	Classe 2	Itabirito	-20,21	-43,75	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio	
AV120	Córrego Luzia dos Santos ou Moleque	Córrego Luzia dos Santos ou Moleque a montante do rio Itabirito	Classe 2	Itabirito	-20,18	-43,81	Médio	Bom	Médio	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Médio
AV160	Córrego Lagoa Grande	Lagoa dos Ingleses ou Represa Lagoa Grande	Classe 2	Nova Lima	-20,18	-43,95	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Excelente	Bom	Bom	Bom	Bom
AV180	Ribeirão dos Marinheiros	Represa Codorna	Classe 2	Nova Lima	-20,17	-43,89	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Excelente	Bom
BV037	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante da foz do Rio Itabirito	Classe 2	Rio Acima	-20,14	-43,79	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
AV200	Rio do Peixe	Rio do Peixe a montante do Rio das Velhas	Classe 2	Nova Lima	-20,13	-43,87	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
BV041	Córrego Cortesia	Córrego Cortesia a montante de Rio Acima	Classe 1	Rio Acima	-20,10	-43,79	NR	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Bom	Médio	
AV210	Rio das Velhas	Rio das Velhas na cidade de Rio Acima	Classe 2	Rio Acima	-20,09	-43,79	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	
BV042	Córrego do Vilela	Córrego do Vilela a jusante do dique da Mina Engenho d'água da Mundo Mineração	Classe 2	Rio Acima	-20,06	-43,80	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Médio	Bom	Bom
AV250	Ribeirão dos Macacos	Ribeirão dos Macacos a montante do Rio das Velhas	Classe 1	Nova Lima	-20,03	-43,83	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BV139	Rio das Velhas	Rio das Velhas a montante da ETA/COPASA, em Bela Fama	Classe 2	Rio Acima	-20,02	-43,83	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	DESCRIÇÃO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BV081	Córrego do Barreiro	Córrego do Barreiro no Parque Roberto Burle Marx	Classe Especial	Belo Horizonte	-20,00	-44,00	NR	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
BV063	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão Água Suja	Classe 2	Nova Lima, Raposos	-19,98	-43,81	Médio	Médio	Médio	Médio	Ruim	Médio	Ruim	Médio	Médio	Médio	Médio
BV062	Ribeirão Água Suja	Ribeirão Água Suja próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 2	Nova Lima	-19,98	-43,83	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
AV320	Córrego da Mina d'água	Córrego da Represa Mina D'água a montante do Rio das Velhas	Classe 2	Raposos	-19,98	-43,82	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Médio	Médio	Médio
AV300	Córrego do Cardoso	Córrego do Cardoso em Nova Lima	Classe 2	Nova Lima	-19,98	-43,85	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Médio
AV340	Ribeirão da Prata	Ribeirão da Prata. a montante do Rio das Velhas	Classe 1	Raposos	-19,97	-43,81	Ruim	Médio	Ruim	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Médio	Médio	Médio
BV067	Rio das Velhas	Rio das Velhas a montante do ribeirão Sabará	Classe 2	Sabará	-19,91	-43,82	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BV076	Ribeirão Sabará	Ribeirão Sabará próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 3	Sabará	-19,89	-43,81	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV080	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão Sabará	Classe 3	Sabará	-19,89	-43,83	NR	Médio	Médio	Médio	Ruim	Médio	Ruim	Médio	Médio	Médio	Ruim
BV155	Ribeirão Arrudas	Ribeirão Arrudas próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 3	Sabará	-19,88	-43,86	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC03	Córrego Caeté	Córrego Caeté	Classe 2	Caeté	-19,88	-43,67	Ruim	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV070	Carrego do Galinha	Córrego do Galinha a montante do Ribeirão do Gaia	Classe 2	Sabará	-19,88	-43,78	NR	Médio	Médio	Bom	Bom	Médio	Médio	Médio	Bom	Bom	Bom
BV083	Rio das Velhas	Rio das Velhas logo a jusante do Ribeirão Arrudas	Classe 3	Sabará	-19,88	-43,86	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC10	Córrego do Isodoro	Ribeirão do Onça a montante da ETE Onça	Classe 3	Santa Luzia	-19,82	-43,90	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV085	Córrego do Isodoro	Córrego do Isodoro próximo a foz no ribeirão do Onça	Classe 3	Belo Horizonte	-19,82	-43,93	NR	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV154	Ribeirão do Onça	Ribeirão do Onça próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 3	Santa Luzia	-19,82	-43,88	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV105	Rio das Velhas	Rio das Velhas logo a jusante do Ribeirão do Onça	Classe 3	Santa Luzia	-19,77	-43,87	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC12	Ribeirão das Areias	Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves	Classe 2	Ribeirão Das Neves	-19,81	-44,04	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
SC13	Ribeirão das Areias	Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves	Classe 2	Ribeirão Das Neves	-19,81	-44,03	Ruim	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC14	Ribeirão Baronesa	Ribeirão Poderoso a jusante da ETE Cristina em Santa Luzia	Classe 2	Santa Luzia	-19,78	-43,91	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	DESCRIÇÃO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
SC16	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do aterro sanitário de Santa Luzia	Classe 3	Santa Luzia	-19,72	-43,82	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV153	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão da Mata	Classe 3	Santa Luzia	-19,71	-43,85	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV130	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 2	Vespasiano	-19,70	-43,88	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC17	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano	Classe 2	Vespasiano	-19,69	-43,92	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV133	Rio Vermelho	Rio Vermelho a jusante da cidade de Nova União	Classe 1	Nova União	-19,69	-43,60	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
SC19	Ribeirão das Neves	Ribeirão das Neves a montante do aterro sanitário de Pedro Leopoldo	Classe 2	Pedro Leopoldo	-19,67	-44,05	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC21	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves	Classe 2	Pedro Leopoldo	-19,64	-44,01	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV160	Ribeirão das Neves	Ribeirão das Neves próximo de sua foz no Ribeirão da Mata	Classe 2	Pedro Leopoldo	-19,63	-44,03	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV131	Lagoa Central Lagoa Santa	Corpo da Lagoa Central de Lagoa Santa próximo ao vertedouro	Classe 1	Lagoa Santa	-19,63	-43,89	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Bom	Bom
BV135	Rio Taquaraçu	Rio Taquaraçu próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 1	Jaboticatubas, Santa Luzia	-19,61	-43,79	Médio	Médio	Bom	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Bom	Médio	Bom
SC23	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata a jusante da ETE Matozinhos	Classe 2	Pedro Leopoldo	-19,60	-44,06	Médio	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC22	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata a montante da ETE Matozinhos	Classe 2	Matozinhos	-19,58	-44,08	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BV137	Rio das Velhas	Rio das Velhas na Ponte Raul Soares, em Lagoa Santa	Classe 3	Lagoa Santa	-19,56	-43,91	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Ruim	Ruim
BV138	Rio das Velhas	Rio das Velhas no Parque do Sumidouro em Lagoa Santa	Classe 3	Lagoa Santa	-19,53	-43,93	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Ruim	Ruim
SC24	Ribeirão Jequitibá	Ribeirão Jequitibá a Jusante da ETE Prudente de Moraes	Classe 2	Prudente De Moraes	-19,47	-44,17	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
SC25		Córrego do Diogo em Sete Lagoas	Classe 2	Sete Lagoas	-19,47	-44,24	Ruim	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV136	Rio Jaboticatubas	Rio Jaboticatubas a jusante da cidade de Jaboticatubas	Classe 1	Jaboticatubas	-19,46	-43,90	Médio	Bom	Médio	Bom	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Médio	Bom
SC26	Ribeirão do Matadouro	Ribeirão do Matadouro a jusante dos lançamentos de esgoto de Sete Lagoas	Classe 2	Sete Lagoas	-19,45	-44,21	Ruim	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BV156	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do Rio Jaboticatubas	Classe 2	Baldim	-19,28	-44,01	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Ruim	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Médio

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	DESCRIÇÃO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BV140	Ribeirão Jequitibá	Ribeirão Jequitibá próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 2	Jequitibá	-19,23	-44,03	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BACIA DO RIO PARAPEBA																	
BP067	Rio Manso	Rio Manso na cidade de rio Manso a montante do reservatório	Classe 1	Rio Manso	-20,26	-44,31	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Médio	Médio
BP036	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco	Classe 2	Brumadinho	-20,20	-44,12	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio	Médio
BP066	Rio Veloso	Rio Veloso a jusante de Itatiaiuçu	Classe 2	Itatiaiuçu	-20,17	-44,38	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BP093	Ribeirão Casa Branca	Ribeirão Casa Branca a Jusante do lançamento da ETAF 1 e próximo de sua foz no Rio Paraopeba	Classe 2	Brumadinho	-20,16	-44,16	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Bom	Bom	Bom
BP096	Rio Manso	Rio Manso próximo de sua confluência com o rio Paraopeba em Brumadinho	Classe 2	Brumadinho	-20,14	-44,22	Médio	Médio	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Ruim	Médio	Médio
BPE2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba na captação da COPASA	Classe 2	Brumadinho	-20,13	-44,21	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Ruim	Médio	Médio
BP094	Ribeirão Catarina	Ribeirão Catarina a montante da confluência com o Ribeirão Casa Branca em Casa Branca (Brumadinho)	Classe 1	Brumadinho	-20,11	-44,05	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
BP092	Ribeirão Casa Branca	Ribeirão Casa Branca a montante da confluência com o Ribeirão Catarina em Casa Branca (Brumadinho)	Classe 1	Brumadinho	-20,10	-44,05	Médio	Bom	Bom	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
BP068	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba no local denominado Fecho do Funil	Classe 2	Mário Campos, São Joaquim de Bicas	-20,09	-44,21	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BP086	Ribeirão Sarzedo	Ribeirão Sarzedo próximo de sua foz no Rio Paraopeba em Mário Campos	Classe 2	Betim, Mário Campos	-20,05	-44,19	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BP070	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a jusante da foz do Ribeirão Sarzedo, próximo a cidade de São Joaquim de Bicas	Classe 2	Betim	-20,04	-44,26	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BP085	Ribeirão Ibirité	Ribeirão Ibirité a jusante da Represa de Ibirité	Classe 2	Ibirité	-20,03	-44,12	NR	NR	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BP081	Ribeirão Ibirité	Ribeirão Ibirité a jusante do município de Ibirité	Classe 2	Ibirité	-20,00	-44,09	NR	NR	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BP075	Córrego Pintado	Córrego Pintado a jusante da REGAP	Classe 2	Ibirité	-19,99	-44,10	NR	NR	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BP071	Rio Betim	Rio Betim próximo de sua foz no Rio Paraopeba, em Betim	Classe 3	Betim, Juatuba	-19,97	-44,27	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
BP073	Ribeirão Riacho das Pedras	Riacho das Pedras em Betim, a montante de sua foz no rio Betim	Classe 2	Betim	-19,96	-44,20	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	DESCRIÇÃO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BP069	Ribeirão Serra Azul	Ribeirão Serra Azul em Juatuba	Classe 1	Juatuba	-19,95	-44,34	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Médio	Médio	Ruim	Médio	Ruim
BP072	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba	Classe 2	Betim	-19,95	-44,31	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BP088	Rio Betim	Rio Betim a jusante do Reservatório de Vargem das Flores em Betim	Classe 1	Betim	-19,92	-44,17	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
BP063	Represa Várzea das Flores	Corpo da represa de Várzea das Flores próximo a entrada da ETA COPASA	Classe 1	Betim	-19,91	-44,17	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Bom	Bom
BP064	Represa Várzea das Flores	corpo da represa de Várzea das Flores próximo N Ilha das Gaivotas	Classe 1	Contagem	-19,89	-44,15	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Bom	Bom
BP090	Ribeirão Grande	Ribeirão Grande a montante de sua foz no rio Paraopeba em Esmeraldas	Classe 2	Esmeraldas	-19,81	-44,37	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BPE3	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a montante da captação de Pará de Minas	Classe 2	Para de Minas	-19,71	-44,47	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Médio	Médio	Médio
BP082	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba na localidade de São José, em Esmeraldas	Classe 2	Esmeraldas, São José da Varginha	-19,67	-44,48	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
BP074	Ribeirão dos Macacos	Ribeirão Macacos na cidade de Cachoeira da Prata a montante de sua foz no rio Paraopeba	Classe 1	Cachoeira da Prata	-19,52	-44,46	Médio	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Ruim	Médio	Médio	Médio	Médio

Fonte: IGAM, 2023.

Observação: NR = coleta não realizada.

Foram identificadas 60 estações de monitoramento da qualidade da água inseridas na bacia do rio das Velhas. Analisando o histórico de IQA das estações levantadas na bacia do rio das Velhas, pode-se observar a predominância do IQA Ruim, durante todo o período de 2011 a 2021, para todas as estações, seguido do IQA Médio e Bom, respectivamente, conforme pode ser observado na **Figura 10.11-2**.

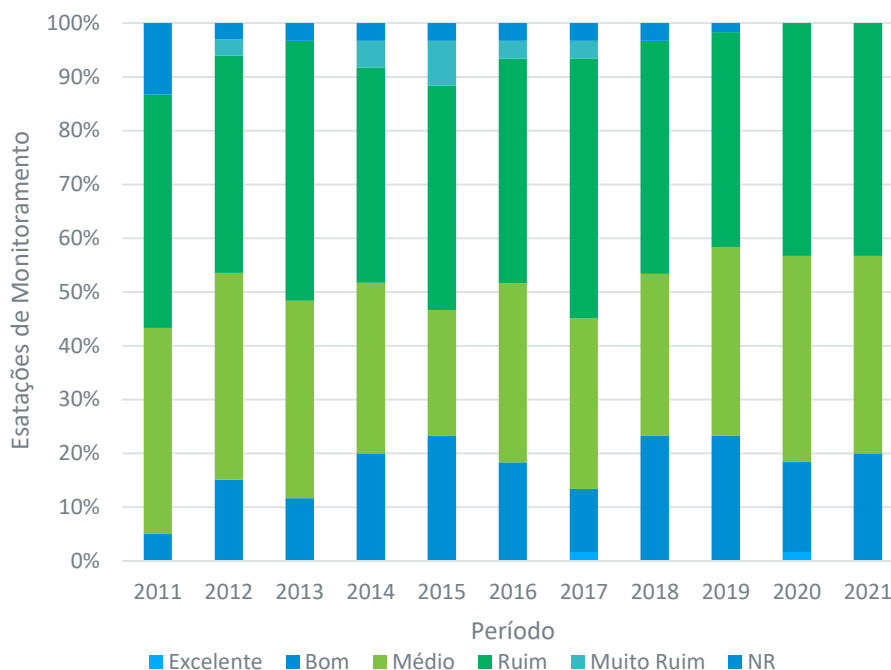


Figura 10.11-2 – Percentual de IQA durante o período de 2011 a 2021 nas estações de monitoramento da bacia do rio da Velhas.

Fonte: Adaptado de IDE-SISEMA, 2023.

Dentre as estações, observa-se no último ano, 2021, que a maioria foi classificada com índice ruim (26 estações), seguidas pelo médio (22 estações) e bom (12 estações), conforme observado no **Quadro 10.11-2**.

De acordo com o Boletim Anual da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas de 2021, os resultados de IQA observados refletem os impactos dos lançamentos de esgotos domésticos e de efluentes industriais, principalmente da Região Metropolitana de Belo Horizonte e das atividades minerárias, inseridas no alto curso da bacia do rio das Velhas, bem como das atividades agropecuárias concentradas no médio curso. Essas atividades demandam para o seu funcionamento grande remoção de cobertura vegetal, o que contribui com o desenvolvimento de processos erosivos que, com a ação do escoamento pluvial, acarreta o carreamento de componentes dos solos expostos para dentro dos ambientes aquáticos (IGAM, 2022).

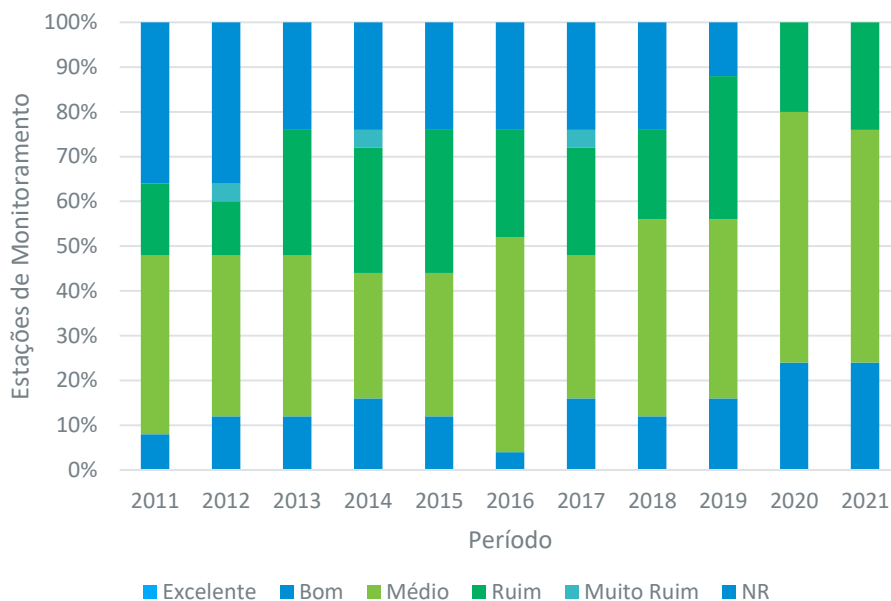


Figura 10.11-3 – Percentual de IQA durante o período de 2011 a 2021 nas estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba.

Fonte: Adaptado de IDE-SISEMA, 2023.

Na bacia do rio Paraopeba foram identificadas 25 estações de monitoramento da qualidade da água. A análise do histórico de IQA dessas estações indicou a predominância do IQA Médio, durante o período de 2011 a 2021 para todas as estações, seguido do IQA Ruim e Bom, respectivamente, conforme pode ser observado na **Figura 10.11-3**. Ressalta-se a grande quantidade de estações com coleta não realizada (NR) nos anos anteriores a 2020.

Durante o ano de 2021, observa-se que a maioria foi classificada com índice médio (13 estações), seguidas pelo bom (seis estações) e ruim (seis estações), conforme observado no **Quadro 10.11-2**.

De acordo com o Boletim Anual da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio das Paraopebas de 2021, os resultados verificados estão associados aos lançamentos de esgotos sanitários e às atividades de agropecuária, sobretudo dos municípios de Betim, Brumadinho, Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Ibirité e Cachoeira da Prata. A qualidade das águas pode ter sido agravada também pelas atividades industriais desenvolvidas, principalmente, indústrias de abatedouro, de extração de areia, mineração de minerais metálicos, de automóveis, de cerâmica, laticínio, metalúrgica, siderurgia e de produtos de limpeza. Além disso, as cargas difusas, os processos erosivos e o assoreamento também contribuem para a degradação das mesmas (IGAM, 2022).

10.11.2.1 Panorama da Qualidade da Água

O IGAM apresenta, anualmente, o Boletim Anual da Qualidade das Águas das bacias hidrográficas localizadas no estado de Minas Gerais, que contém, além da análise da série histórica de IQA, o panorama da qualidade da água. O panorama é resultado da avaliação de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, verificados a partir de quatro medições realizadas anualmente.

Após o monitoramento, os resultados das análises são comparados aos limites definidos para cada classe de enquadramento dos corpos d'água, com base na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº

01/2008 (atualizado pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022), que estava vigente no momento das análises.

O resultado que abrange três tipos de indicativo de contaminação:

- Indicativo de enriquecimento orgânico, avaliado pelos parâmetros Fósforo total, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrato e Nitrogênio amoniacal total;
- Indicativo de contaminação fecal, avaliado pelo parâmetro *Escherichia coli*;
- Indicativo de contaminação por substâncias tóxicas, avaliado pelos parâmetros Arsênio total, Cianeto livre, Chumbo total, Cobre dissolvido, Zinco total, Cromo total, Cádmio total, Mercúrio e Fenóis totais.

Destaca-se que, para esses indicativos, foi considerado que se pelo menos uma medição de determinado parâmetro estivesse em desacordo com os limites da legislação supracitada, tal indicativo seria considerado em desconformidade.

Os resultados foram avaliados considerando o ano de 2021, sendo que o panorama da qualidade das águas superficiais pode ser observado na **Figura 10.11-4**.

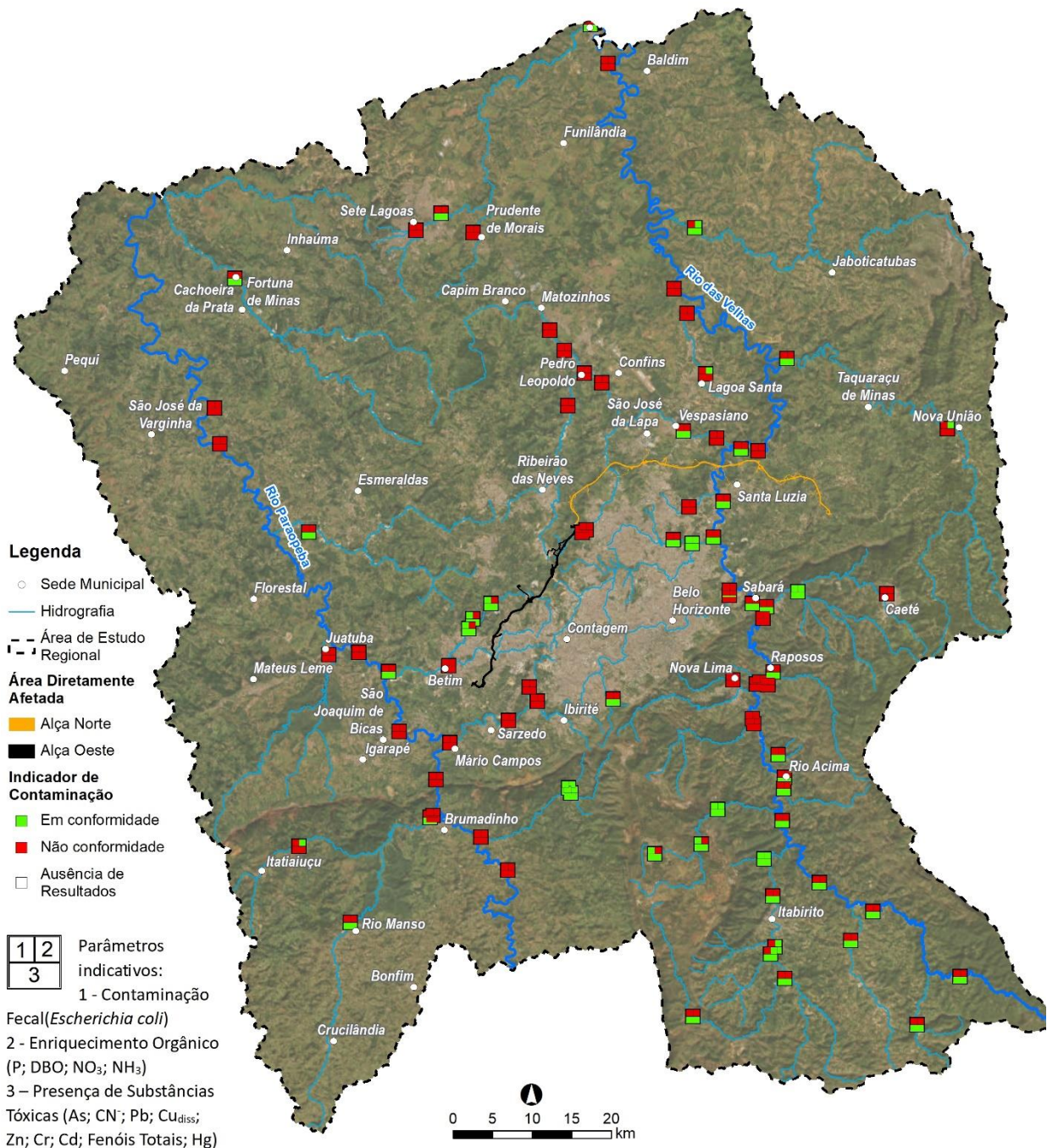


Figura 10.11-4 – Panorama da qualidade das águas superficiais na Área de Estudo Regional em 2021.
Fonte: IGAM, 2022.

Nas sub-bacias do alto e médio rio da Velhas, delimitadas pela Área de Estudo Regional, foi realizado o monitoramento de 60 estações de amostragem durante o ano de 2021. A **Figura 10.11-5** apresenta as porcentagens de estações de monitoramento dos indicadores de contaminação em desconformidade com a DN Conjunta CPAM/CERH nº01/2008 (atualizado pela DN COPAM/CERH-MG nº 08/2022). Nota-se que, em 90% das estações foi verificado o indicativo de contaminação fecal, em 85% foi verificado o enriquecimento orgânico e em 45% a presença de substâncias tóxicas, indicando que pelo menos um dos

parâmetros avaliados para cada indicador estava em não conformidade com a referida legislação nas análises realizadas em 2021.

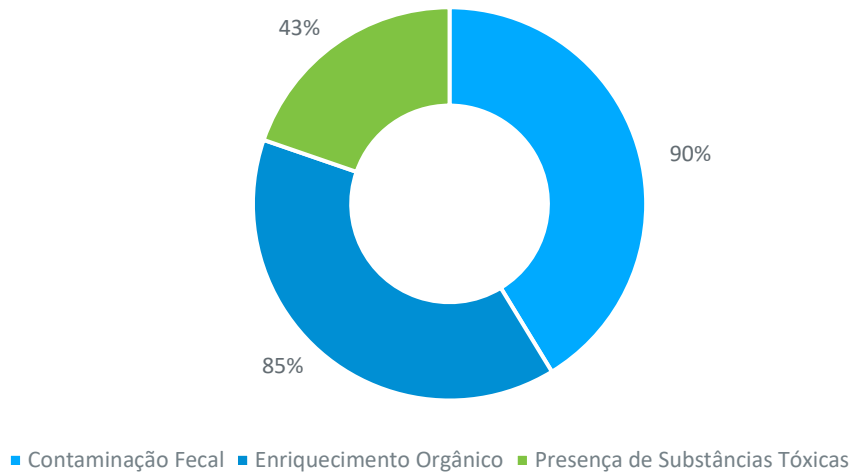


Figura 10.11-5 – Indicadores de contaminação em desconformidade na sub-bacia do rio das Velhas, delimitada pela área de estudo regional.

Fonte: IGAM, 2022.

Na sub-bacia do médio rio Paraopeba, que integra a Área de Estudo Regional, foi realizado o monitoramento em 25 estações de amostragem. A **Figura 10.11-6** mostra as porcentagens de estações de monitoramento que apresentaram indicadores de contaminação em desconformidade com a legislação supracitada. Verifica-se que em 88% das estações, o indicativo de enriquecimento orgânico, em 80% a contaminação fecal e em 60% a presença de substâncias tóxicas, indicando que pelo menos um dos parâmetros avaliados para cada indicador estava em não conformidade com a referida legislação nas análises realizadas no período.

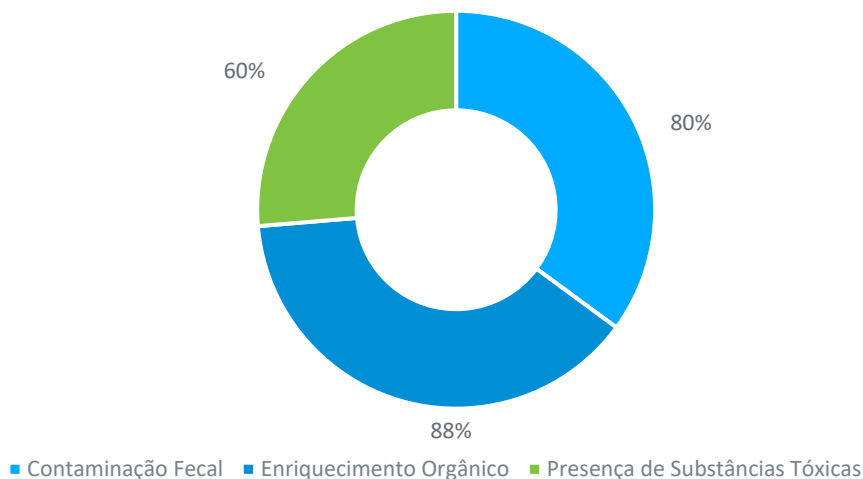


Figura 10.11-6 – Indicadores de contaminação na sub-bacia do rio Paraopeba, delimitada pela área de estudo regional.

Fonte: IGAM, 2022.

Os corpos hídricos são suscetíveis à contaminação fecal de uma variedade de fontes pontuais e difusas, como animais selvagens e domesticados e/ou humanos. Conforme Fernandes (2015), no Brasil, tal contaminação comumente se dá pela falta de infraestrutura e sistemas de saneamento básico nos meios

urbano e rural, tanto pelo lançamento indiscriminado de esgotos e poluentes, quanto pela disposição ambientalmente inadequada de resíduos sólidos, bem como pelas atividades antrópicas, como a pecuária com a criação de bovinos e suínos. Assim, surgem as doenças de veiculação hídrica nas águas destinadas ao consumo humano e à recreação, o que representa um grande problema de saúde pública, principalmente em regiões onde o acesso aos serviços de saneamento é precário.

Nos casos em que é observado o enriquecimento orgânico, ocasionado principalmente pelo aporte de nutrientes e matéria orgânica em um corpo d'água, pode-se verificar sua eutrofização, uma vez que tais compostos atuam como nutrientes para processos biológicos e crescimento descontrolado de algas. Dessa forma, há uma grande demanda de oxigênio por tais seres vivos, a qual pode provocar a morte de animais aquáticos e a proliferação de organismos anaeróbicos (SARAIVA, 2012). Tal enriquecimento pode se dar tanto por processos naturais, quanto por processos antrópicos, devido ao uso do solo na bacia, como atividades agropecuárias, despejos de efluentes domésticos e industriais, entre outros.

Por fim, as substâncias tóxicas podem acontecer de forma natural nas águas, pela presença natural dos compostos nas rochas ou no solo (OMS, 2000), porém, quando em altas concentrações, sua ocorrência está associada a atividades industriais, uso e disposição inadequada de fertilizantes, entre outras atividades antrópicas, podendo ocasionar problemas ao meio ambiente e à saúde humana.

Avaliando-se o contexto geral das bacias inseridas na Área de Estudo Regional, pode-se observar que a contaminação fecal e o enriquecimento orgânico representam os maiores percentuais nas estações analisadas, indicando precariedade ou ausência de tratamento dos efluentes domésticos e industriais na bacia.

10.11.3 Qualidade das Águas Superficiais da Área de Estudo Local

10.11.3.1 Travessias e Enquadramento dos Corpos d'água

O enquadramento em classes, segundo os usos preponderantes da água, é o estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo de água ao longo do tempo, para garantir aos usuários a qualidade necessária ao atendimento de seus usos.

O enquadramento dos corpos d'água objetiva assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Como previsto na Política Nacional (Lei nº 9.433/1997) e Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 13.199/1999), o enquadramento dos corpos de água é muito mais que uma simples classificação, é um instrumento fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos e no planejamento ambiental. As metas de qualidade de água definidas no Plano de Bacia buscam a melhoria do nível de qualidade do corpo hídrico, superficial ou subterrâneo, num prazo definido pelo Comitê.

A gestão dos recursos hídricos prevê os usos múltiplos das águas, pressupondo para cada tipo de uso uma maior ou menor exigência de qualidade da água. As classes de enquadramento dos corpos hídricos superficiais são definidas pela Resolução CONAMA nº 375/2005, possuindo destinação de uso distintas, conforme pode ser observado no **Quadro 10.11-3**

Quadro 10.11-3 – Classes de enquadramento dos cursos d’água, segundo os usos a que se destinam.

USOS DA ÁGUA	CLASSES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D’ÁGUA				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Classe mandatória em Unidades de Conservação e Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para o consumo humano	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional avançado	
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção da película	Hortaliças, frutíferas, parques, jardins, capôs de esporte e lazer	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Fonte: ANA, 2019.

Ressalta-se que o enquadramento corresponde à qualidade da água pretendida, não representando a qualidade atual do curso d'água. Em Minas Gerais, os mecanismos e critérios de enquadramento devem ser estabelecidos por deliberação específica pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) em conjunto com o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), sob a coordenação da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), conforme estabelecido pela Política Estadual de Recursos Hídricos.

O enquadramento dos corpos d'água consiste em um dos instrumentos da gestão de recursos hídricos, tendo interface com a gestão ambiental, com as políticas de uso e ocupação do solo, e as de saneamento, uma vez que possibilita a checagem da compatibilidade entre atividades antrópicas com a qualidade estabelecida como meta de enquadramento. Dessa forma, observa-se que o enquadramento atua indiretamente como um mecanismo de controle do uso e ocupação do solo e no controle dos níveis de poluição nos corpos d'água (ANA, 2020).

As classes de enquadramento dos corpos d'água inseridos na bacia hidrográfica do rio Paraopeba foram definidas pela Deliberação Normativa COPAM nº 14/1995, enquanto a Deliberação Normativa COPAM nº 20/1997 define o enquadramento para os corpos d'água da bacia do rio das Velhas.

Para a Área de Estudo Local, pode-se observar, na **Figura 10.11-7**, os cursos d'água inseridos nessa região e suas respectivas classes de enquadramento, bem como as Unidades de Conservação e as outorgas de abastecimento público, apresentados nos subitens a seguir. O **Quadro 10.11-4** apresenta, especificamente, as classes de enquadramento dos cursos d'água interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH, totalizando 138 ottotrechos perenes ou intermitentes. Cabe ressaltar que a classificação aqui realizada está em consonância com o refinamento da hidrografia e a caracterização do regime de fluxo discutidas nos itens **10.10.5.1** e **10.10.5.2**.

Quadro 10.11-4 – Cursos d'água interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH e suas respectivas classes de enquadramento.

ALÇA NORTE		
CURSO D'ÁGUA	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	NÚMERO DE OTTOTRECHOS INTERCEPTADOS
Córrego Barreiro	2	2
Córrego Bombinha	3	1
Córrego Carrancas	2	1
Córrego das Lajes	3	1
Córrego das Piabas	2	1
Córrego do Angico	2	2
Córrego do Brumado	1	1
Córrego do Inferno	3	3
Córrego Santiago	1	2
Córrego Serrote	2	2
Córrego Sujo	2	2
Ribeirão das Areias	2	1
Ribeirão das Bicas	2	3
Ribeirão Vermelho	1	6
Rio das Velhas	3	1
Sem Nome	1	13
Sem Nome	2	34
Sem Nome	3	10
SUBTOTAL		86 interseções

ALÇA OESTE		
CURSO D'ÁGUA	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	NÚMERO DE OTTOTRECHOS INTERCEPTADOS
Córrego Barreiro	2	2
Córrego Colina	2	1
Córrego da Lagoa	1	1
Córrego das Abóboras	1	7
Córrego Santo Antônio	2	3
Ribeirão Betim	1	2
Ribeirão das Areias	2	4
Ribeirão Riacho das Pedras	2	2
Sem Nome	1	10
Sem Nome	2	20
SUBTOTAL	52 interseções	
TOTAL	138 interseções	

Fonte: adaptado de IDE SISEMA, 2023.

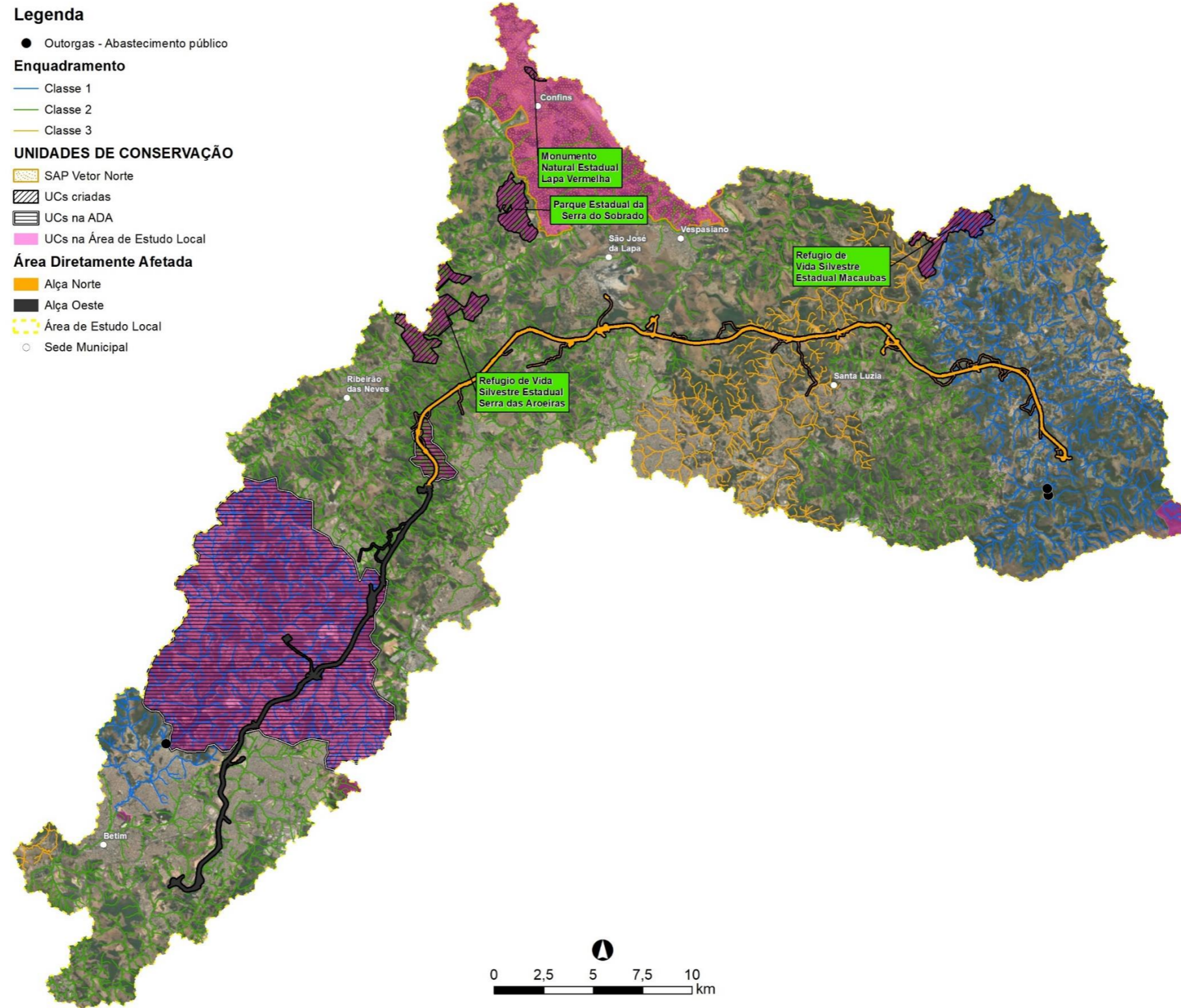


Figura 10.11-7 – Unidades de conservação, outorgas de abastecimento público e classe de enquadramento dos cursos d’água inseridos na Área de Estudo Local.

A Classe Especial é aquela que se destina aos usos que requerem o melhor nível de qualidade de água e é a mais restritiva a atividades humanas que possam interferir em sua qualidade, não sendo permitido o lançamento de efluentes, mesmo tratados (ANA, 2019). Na AEL do empreendimento em questão, destaca-se que não foram identificados cursos d'água enquadrados como Classe Especial.

Ressalta-se que a base de dados utilizada para o enquadramento dos cursos d'água é oriunda do IDE-SISEMA, que apresentou alguns *gaps* nas informações do enquadramento de alguns cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (alguns trechos dos cursos d'água se encontravam sem classificação e outros com classificação distinta da estabelecida pela DN COPAM nº 14/1995). Dessa forma, foram realizados ajustes, considerando a deliberação que define o enquadramento dos corpos d'água pertencentes a essa bacia.

Os trechos de corpos hídricos que não estavam em consonância com a DN COPAM nº 14/1995 foram ajustados, sendo eles pertencentes ao Ribeirão Riacho das Pedras (Art. 2º – os cursos d'água da Bacia do Rio Paraopeba não mencionados nesta Deliberação recebem o enquadramento correspondente ao do trecho onde deságuam).

Ademais, abaixo segue uma descrição dos corpos hídricos em destaque, a serem interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH (**Figura 10.11-8**) e apresentados detalhadamente no **ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pontos Interceptação Da Hidrografia**.

- O rio das Velhas, interceptado em Santa Luzia, é o maior afluente da bacia do rio São Francisco, com 801 km de extensão. Aproximadamente, um quarto dos habitantes de Minas Gerais mora dentro da bacia hidrográfica do rio das Velhas, tornando-o um curso d'água de suma importância ao desenvolvimento do estado. A RMBH concentra 70% da população da bacia e contribui para a poluição das águas do rio das Velhas, pelos processos de urbanização avançada e forte presença industrial;
- O ribeirão Betim, de Classe 1, que juntamente com o córrego Água Suja, seu afluente pela margem esquerda, constituem os principais mananciais formadores da represa de Vargem das Flores (manancial de abastecimento público da RMBH);
- O córrego das Abóboras, Classe 1, afluente do ribeirão Betim, o qual acompanha o traçado por aproximadamente três quilômetros, atravessando-o em 10 pontos, sempre dentro da bacia de Vargem das Flores em Contagem;
- O ribeirão das Areias, tributário do ribeirão da Mata, que por sua vez é afluente do rio das Velhas. O empreendimento acompanha o ribeirão das Areias por cinco quilômetros e atravessa-o cinco vezes, após o cruzamento com a BR-040, em Ribeirão das Neves e em Areias/Pedro Leopoldo. Análises demonstraram que a qualidade do rio se encontra degradada pelos processos de urbanização da área, especialmente durante o período de seca (CARVALHO et al., 2008).

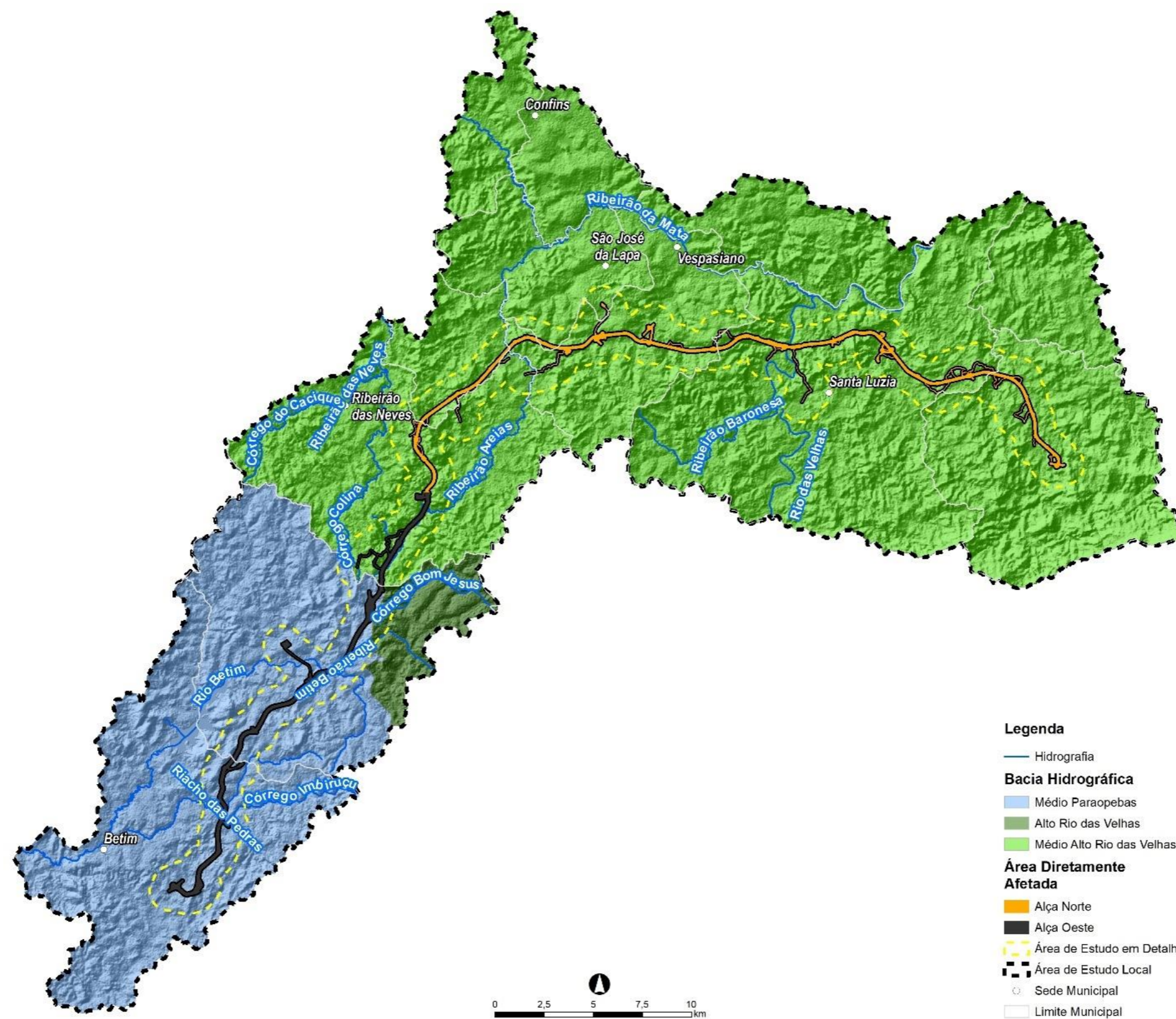


Figura 10.11-8 – Principais corpos hídricos a serem interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH.

10.11.3.1.1 Outorgas de Abastecimento Público

Em Minas Gerais, o Decreto Estadual nº 47.705/2019, conforme mencionado no **item 10.10.2.4**, estabelece as normas e procedimentos para os usos dos recursos hídricos, além de definir no seu Art. 2º as intervenções sujeitas a outorga:

- Captação ou derivação em um corpo de água;
- Exploração de água subterrânea;
- Construção de barramento ou açude;
- Construção de dique ou desvio em corpo de água;
- Rebaixamento de nível de água;
- Construção de estrutura de transposição de nível;
- Construção de travessia rodoferroviária;
- Lançamento de efluentes em corpo de água;
- Retificação, canalização ou obras de drenagem;
- Transposição de bacias;
- Aproveitamento de potencial hidroelétrico;
- Sistema de remediação para águas subterrâneas contaminadas;
- Dragagem em cava aluvionar;
- Dragagem em corpo de água para fins de extração mineral; e
- Outras intervenções que alterem regime, quantidade ou qualidade dos corpos de água.

As bacias dos rios das Velhas e Paraopeba são de domínio estadual, portanto, a captação para abastecimento público dependerá de concessão de outorga de direito de uso, obtida junto ao IGAM, nos termos do Artigo 14 da Lei Federal nº 9.433/1997, e Artigo 18 da Lei Estadual nº 13.199/1999.

Em relação às outorgas, destacam-se as de abastecimento público, tendo em vista sua importância referente à necessidade de preservação dos mananciais utilizados para este fim durante a implantação e operação do empreendimento, já que este uso, juntamente com a dessedentação de animais, é prioritário em situações de escassez, conforme preconiza a Lei nº 9.433/1997.

O **Quadro 10.11-5** apresenta os dados consolidados das outorgas concedidas ao abastecimento público, que também pode ser observado na **Figura 10.11-7**, apresentada anteriormente, obtidos através da plataforma IDE-Sisema (acesso em agosto de 2023), para a Área de Estudo Local.

Quadro 10.11-5 – Outorgas de abastecimento público cadastradas na AEL do Rodoanel Metropolitano BH.

IDENTIFICADOR MAPA	Nº PORTARIA	MODO DE USO	EMPRESA	CURSO D'ÁGUA	CIRCUNSCRIÇÃO HIDROGRÁFICA	VAZÃO MÉDIA (m³/s)	TEMPO DE CAPTAÇÃO (h)
1	350/2005	Captação em barramento em curso de água, c/ regularização de vazão (área máx menor ou igual 5,00 ha)	COPASA - Sabará	Córrego da Praia	Rio das Velhas	0,3220	24
2	351/2005	Captação em barramento em curso de água, c/ regularização de vazão (área máx menor ou igual 5,00 ha)	COPASA - Sabará	Córrego Santo Antônio	Rio das Velhas	0,0720	16
3	1200/2014	Captação em corpo de água (rios, lagoas naturais etc.)	COPASA - SAA integrado Paraopeba - RMBH	Rio Betim	Rio Paraopeba	0,0230	24

Conforme apresentado no **Quadro 10.11-5**, foram concedidas três outorgas de abastecimento público à COPASA, estando duas na bacia do rio das Velhas e uma na bacia do rio Paraopeba. Durante o ano de 2022, verificou-se a vazão média outorgada de 0,0230 m³/s na bacia do rio Paraopeba e vazão de 0,0720 a 0,3220 m³/s na bacia do rio das Velhas. Pode-se observar, ainda, que as outorgas de abastecimento público estão localizadas em cursos d'água de Classe 1, evidenciando ainda mais a necessidade de proteção destes mananciais.

10.11.3.1.2 Unidades de Conservação

A Lei nº 9.985/2000 institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que define as Unidades de Conservação, que são divididas em dois grupos, sendo eles Proteção Integral e Uso Sustentável. As UCs de Proteção Integral visam a preservação da natureza, protegendo-as da interferência antrópica e admitindo somente o uso indireto dos recursos naturais. Já as UCs de Uso Sustentável são aquelas que visam conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte de seus recursos naturais renováveis, dentre eles, o uso das águas superficiais.

A **Figura 10.11-7** apresentada anteriormente indica as UCs inseridas na Área de Estudo Local e o **Quadro 10.11-6** abaixo apresenta a porcentagem de abrangência das UCs na área.

Quadro 10.11-6 – Unidades de Conservação e porcentagem de ocorrência na AEL.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	TIPO	% DA UC NA AEL
Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade	Proteção Integral	11,53
Monumento Natural Estadual Lapa Vermelha	Proteção Integral	94,24
Parque Estadual da Serra do Sobrado	Proteção Integral	100,00
Parque Estadual Serra Verde	Proteção Integral	0,06
Parque Municipal Natural Felisberto Neves	Proteção Integral	99,99
Refúgio de Vida Silvestre Estadual Macaúbas	Proteção Integral	18,41
Refúgio de Vida Silvestre Estadual Serra das Aroeiras	Proteção Integral	67,64
APA Carste Lagoa Santa	Uso Sustentável	13,42
APA Estadual de Vargem das Flores	Uso Sustentável	99,61
APA Municipal Água da Serra da Piedade	Uso Sustentável	0,18
APA Parque Fernão Dias	Uso Sustentável	91,38
APA Cachoeira da Lajinha	Uso Sustentável	100,00

Fonte: IDE SISEMA, 2023.

Abaixo, são descritas as Unidades de Conservação apresentadas no **Quadro 10.11-6**.

Unidades de Conservação de Proteção Integral

- Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade;
- Monumento Natural Estadual Lapa Vermelha;
- Parque Estadual da Serra do Sobrado;
- Parque Estadual Serra Verde;
- Parque Municipal Natural Felisberto Neves;
- Refúgio de Vida Silvestre Estadual Macaúbas;

- Refúgio de Vida Silvestre Estadual Serra das Aroeiras.

Unidades de Conservação de Uso Sustentável

- Área de Preservação Ambiental (APA) Vargem das Flores;
- APA Federal Carste Lagoa Santa;
- APA Parque Fernão Dias;
- APA Municipal Água da Serra da Piedade;
- APA Cachoeira da Lajinha.

A caracterização das Unidades de Conservação é apresentada no **VOLUME 3 - MEIO BIÓTICO – FLORA**.

10.11.3.2 Índice de Qualidade das Águas

Para a avaliação da qualidade da água na Área de Estudo Local, foram selecionadas as estações qualimétricas do IGAM localizadas nesta região, bem como a localização das outorgas de lançamento de efluentes na área. O **Quadro 10.11-7** apresenta a listagem das 13 estações localizadas na AEL, cuja distribuição espacial pode ser observada na **Figura 10.11-10**.

Quadro 10.11-7 - Estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Local.

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	DESCRIÇÃO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO
BP086	Ribeirão Sarzedo	Ribeirão Sarzedo próximo de sua foz no Rio Paraopeba em Mário Campos	Classe 2	Mário Campos
BP085	Ribeirão Ibirité	Ribeirão Ibirité a jusante da Represa de Ibirité.	Classe 2	Sarzedo
BP081	Ribeirão Ibirité	Ribeirão Ibirité a jusante do município de Ibirité.	Classe 2	Ibirité
BV081	Córrego do Barreiro	Córrego do Barreiro no Parque Roberto Burle Marx	Classe Especial	Belo Horizonte
BP075	Córrego Pintado	Córrego Pintado a jusante da REGAP.	Classe 2	Ibirité
BP073	Ribeirão Riacho das Pedras	Riacho das Pedras em Betim, a montante de sua foz no rio Betim	Classe 2	Betim
BP088	Rio Betim	Rio Betim a jusante do Reservatório de Vargem das Flores em Betim	Classe 1	Betim
BP063	Represa Várzea das Flores	Corpo da represa de Várzea das Flores próximo a entrada da ETA COPASA	Classe 1	Betim
BP064	Represa Várzea das Flores	corpo da represa de Várzea das Flores próximo à Ilha das Gaivotas	Classe 1	Contagem
BV105	Rio das Velhas	Rio das Velhas logo a jusante do Ribeirão do Onça	Classe 3	Santa Luzia
SC12	Ribeirão Areias ou Ribeirão das Areias	Ribeirão das Areias a montante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves	Classe 2	Ribeirão das Neves

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	DESCRIÇÃO	CLASSE DE ENQUADRAMENTO	MUNICÍPIO
SC13	Ribeirão Areias ou Ribeirão das Areias	Ribeirão das Areias a jusante do aterro sanitário de Ribeirão das Neves	Classe 2	Ribeirão das Neves
SC14	Ribeirão Poderoso	Ribeirão Poderoso a jusante da ETE Cristina em Santa Luzia	Classe 2	Santa Luzia
SC16	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do aterro sanitário de Santa Luzia	Classe 3	Santa Luzia
BV153	Rio das Velhas	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão da Mata	Classe 3	Lagoa Santa
BV130	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata próximo de sua foz no Rio das Velhas	Classe 2	Santa Luzia
SC17	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata a montante da ETE Vespasiano	Classe 2	Vespasiano
SC21	Ribeirão da Mata	Ribeirão da Mata a jusante da confluência com Ribeirão das Neves	Classe 2	Pedro Leopoldo

Fonte: IDE SISEMA, 2023.

Pode-se observar, conforme **Figura 10.11-9**, a predominância de IQA Ruim em nove estações, seguido de Bom em três estações e Médio em uma estação.

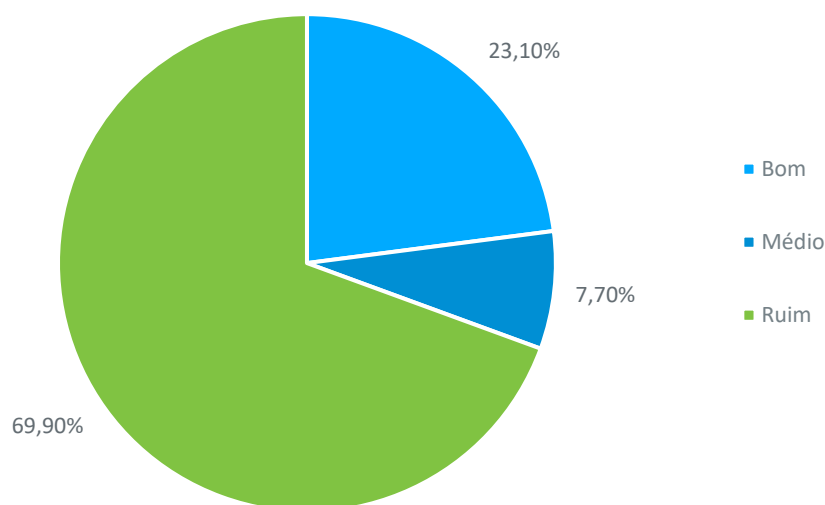


Figura 10.11-9 – IQA médio das 13 estações localizadas na AEL avaliados em 2021.

Os resultados de IQA Bom referem-se às seguintes estações:

- BP063 e BP064, localizadas na Barragem Vargem das Flores, enquadradas em Classe 1 e, também, utilizadas para captação de água pela COPASA para abastecimento público;
- BP088, localizada no Rio Betim, à jusante da barragem, também enquadrado em Classe 1.

Destaca-se a importância da preservação desses mananciais, principalmente por se enquadrarem em Classe Especial e Classe 1, que são mais restritivas quanto aos seus usos, e por serem utilizados para abastecimento público.

Além das estações de qualidade da água do IGAM, foram analisados os dados de outorga de lançamento de efluente em corpo d'água, também apresentados na **Figura 10.11-10**, bem como no **Quadro 10.11-8**.

Quadro 10.11-8 – Outorgas de lançamento de efluentes em corpos d'água inseridas na Área de Estudo Local.

PORTARIA	EMPRESA RESPONSÁVEL	VAZÃO MÉDIA ANUAL (m³/s)	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE
3067/2009	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - ETE Justinópolis	0,3220	Ribeirão Das Neves	-19,78	-44,01
1302995/2019	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - ETE Nova Pampulha	0,0720	Vespasiano	-19,76	-43,96
56/2018	COPASA - ETE Santinho - SES de Ribeirão das Neves	0,1411	Ribeirão Das Neves	-19,72	-44,07
306473/2021	Belgo Mineira Bekaert Artefatos de Arame Ltda	0,0100	Vespasiano	-19,70	-43,90
306476/2021	Belgo Mineira Bekaert Artefatos de Arame Ltda	0,0001	Vespasiano	-19,70	-43,90
0306473/2021	Belgo Mineira Bekaert Artefatos de Arame Ltda	0,0100	Vespasiano	-19,70	-43,90
1305526/2020	COPASA - Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Inácia de Carvalho	0,0052	São José Da Lapa	-19,70	-44,01
307993/2020	Delp Engenharia Mecânica S/A	0,0011	Vespasiano	-19,70	-43,91
1493/2018	Stepan Química Ltda	0,0001	Vespasiano	-19,70	-43,90
2268/2011	COPASA Estação de Tratamento de Esgotos - ETE Vespasiano	0,0230	Vespasiano	-19,70	-43,92
306329/2020	Mineração Lapa Vermelha Ltda	0,1080	Confins	-19,69	-43,98
541/2011	COPASA - Estação de Tratamento de Esgotos - ETE São José da Lapa	0,0404	São José Da Lapa	-19,67	-43,95
1370/2017	Frigovitor Ltda - Fazenda Rancho Fundo	0,0005	Pedro Leopoldo	-19,67	-44,02
288/2010	COPASA - ETE Sistema Integrado Pedro Leopoldo/Confins	0,1911	Pedro Leopoldo	-19,66	-44,01
0304566/2021	DVG Industrial S.A.	1,4400	Pedro Leopoldo	-19,64	-44,01
0304565/2021	DVG Industrial S.A.	1,0080	Pedro Leopoldo	-19,64	-44,02
304565/2021	DVG Industrial S.A.	1,0080	Pedro Leopoldo	-19,64	-44,02
1107110/2021	HNK BR Indústria de Bebidas Ltda	0,0670	Pedro Leopoldo	-19,63	-44,02

Fonte: IDE SISEMA, 2023.

Conforme pode ser observado no **Quadro 10.11-8**, das 18 outorgas de lançamento de efluentes, sete pertencem às estações de tratamento de efluentes da COPASA, somando uma vazão média anual de

0,7947 m³/s, e o restante refere-se a indústrias e mineração, somando uma vazão significativamente maior, de 3,6528 m³/s.

Ressalta-se que tais outorgas estão localizadas na região da Alça Norte do Rodoanel Metropolitano BH, à jusante da Região Metropolitana de Belo Horizonte, onde também se pode observar os piores índices de Qualidade da Água, indicando a interferência do lançamento de na qualidade desses mananciais.

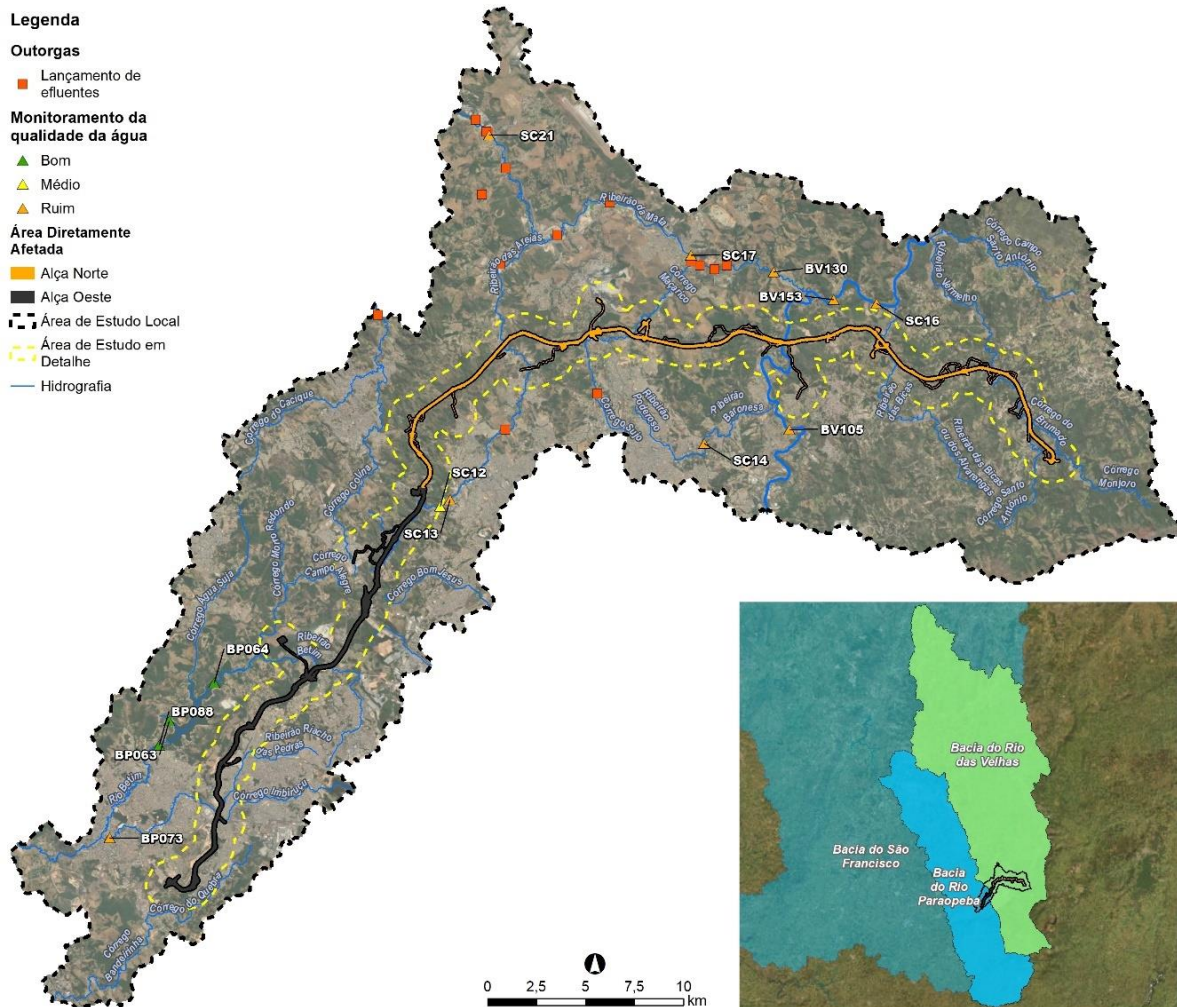


Figura 10.11-10 – Índice de Qualidade das Águas 2021 das estações qualimétricas do IGAM inseridas na Área de Estudo Local do empreendimento.

10.11.3.3 Levantamento de Campo

Para o levantamento de dados primários foram elencados seis pontos de coleta água superficial, amostrados nos corpos hídricos representativos a serem interceptados pelo traçado proposto para o empreendimento, e considerando a AEL, tendo em vista o atendimento ao Termo de Referência para Elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para Licenciamento Prévio do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte (2023).

Para o diagnóstico de qualidade de águas e sedimentos nos corpos hídricos, foram programadas duas campanhas, sendo a primeira, realizada entre os meses de junho e agosto de 2023, caracterizando o

período de seca, e a segunda campanha, programada para ser realizada entre novembro e dezembro de 2023, de forma a caracterizar o período chuvoso.

Nas estações de amostragem selecionadas foram realizados ensaios físicos e químicos nas amostras de água e sedimentos:

- Superficial: densidade de cianobactérias, *Escherichia coli*, coliformes termotolerantes, clorofila a, óleos e graxas, materiais flutuantes, oxigênio dissolvido, turbidez, pH, cor verdadeira, sólidos em suspensão totais, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, cromo e alumínio dissolvidos, antimônio, bário, berílio, boro, cobalto ferro, lítio, manganês, mercúrio, níquel, cloreto, fluoreto, fósforo total, antimônio, selênio e sulfato totais; cromo dissolvido, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e sulfeto.
- Sedimentos: granulometria, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio total, nitrato, nitrito, alumínio, mercúrio, antimônio, bário, fósforo, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, mercúrio, níquel, prata e zinco.

Adicionalmente, no presente documento, serão considerados os resultados levantados no contexto do licenciamento de sistema de abastecimento da barragem Vargem das Flores, que se encontra, em fase de elaboração, onde as coletas de amostras de água e sedimentos foram realizadas nos meses de março e maio de 2023, em cinco pontos de coleta, localizados na bacia do rio Paraopeba, caracterizando os períodos de chuva e estiagem. Foram realizados os ensaios em amostras de água superficial de densidade de cianobactérias, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), alumínio, cobre e ferro dissolvidos, bário, berílio, cádmio, chumbo, cromo, lítio, mercúrio, níquel, vanádio, zinco, fósforo e nitrogênio totais, carbono orgânico dissolvido, cálcio, potássio, magnésio, molibdênio, sódio, estrôncio, titânio, turbidez e pH e para sedimentos os metais, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, níquel e zinco

Com isto, a malha amostral avaliada contempla 11 estações amostrais, distribuídas em corpos hídricos das bacias do rio das Velhas e Paraopeba, sendo apresentadas as comparações das concentrações dos parâmetros avaliados em comum.

Os procedimentos de coleta e análises atenderam os requisitos e orientações de referência, como o Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (CETESB, 2011).

Os parâmetros avaliados foram referenciados e comparados com base no enquadramento das águas superficiais indicados na Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG Nº 8, de 21 de novembro de 2022.

O **Quadro 10.11-9**, **Figura 10.11-11** e **Figura 10.11-12** a apresentam as coordenadas, identificação das estações de amostragem e enquadramento dos corpos hídricos de acordo com o IDE-SISEMA, bem como a localização dos locais amostrados com referência ao traçado do empreendimento.

Quadro 10.11-9 - Coordenadas geográficas das estações de amostragem de água superficial e sedimentos e seus respectivos enquadramentos.

CÓDIGO PONTO	DESCRIÇÃO	SIRGAS 2000 UTM 23S		ENQUADRAMENTO
		UTM N	UTM E	
EAA01	Ribeirão Vermelho	629037	7816389,87	Classe 1
EAA02	Ribeirão das Bicas	623598	7818015,97	Classe 2
EAA03	Rio das Velhas	618551	7817875,79	Classe 3
EAA04	Ribeirão das Areias 01	604021	7817749,63	Classe 2
EAA05	Ribeirão das Areias 02	600417	7809155,54	Classe 2
EAA06	Ribeirão Betim	594256	7801642,98	Classe 1
QA01	Foz do córrego Água Suja, no reservatório Vargem das Flores.	588052	7800634,77	Classe 1
QA02	Córrego Bela Vista, à montante do reservatório Vargem das Flores, em área urbana.	591282	7800234,65	Classe 1
QA03	Foz do córrego Olaria, à montante do reservatório Vargem das Flores, em área urbana.	590059	7801415,16	Classe 1
QA04	Reservatório Vargem das Flores, próximo à barragem da COPASA.	587565	7797525,36	Classe 1
QA05	Reservatório Vargem das Flores, região média do reservatório.	588563	7798072,73	Classe 1

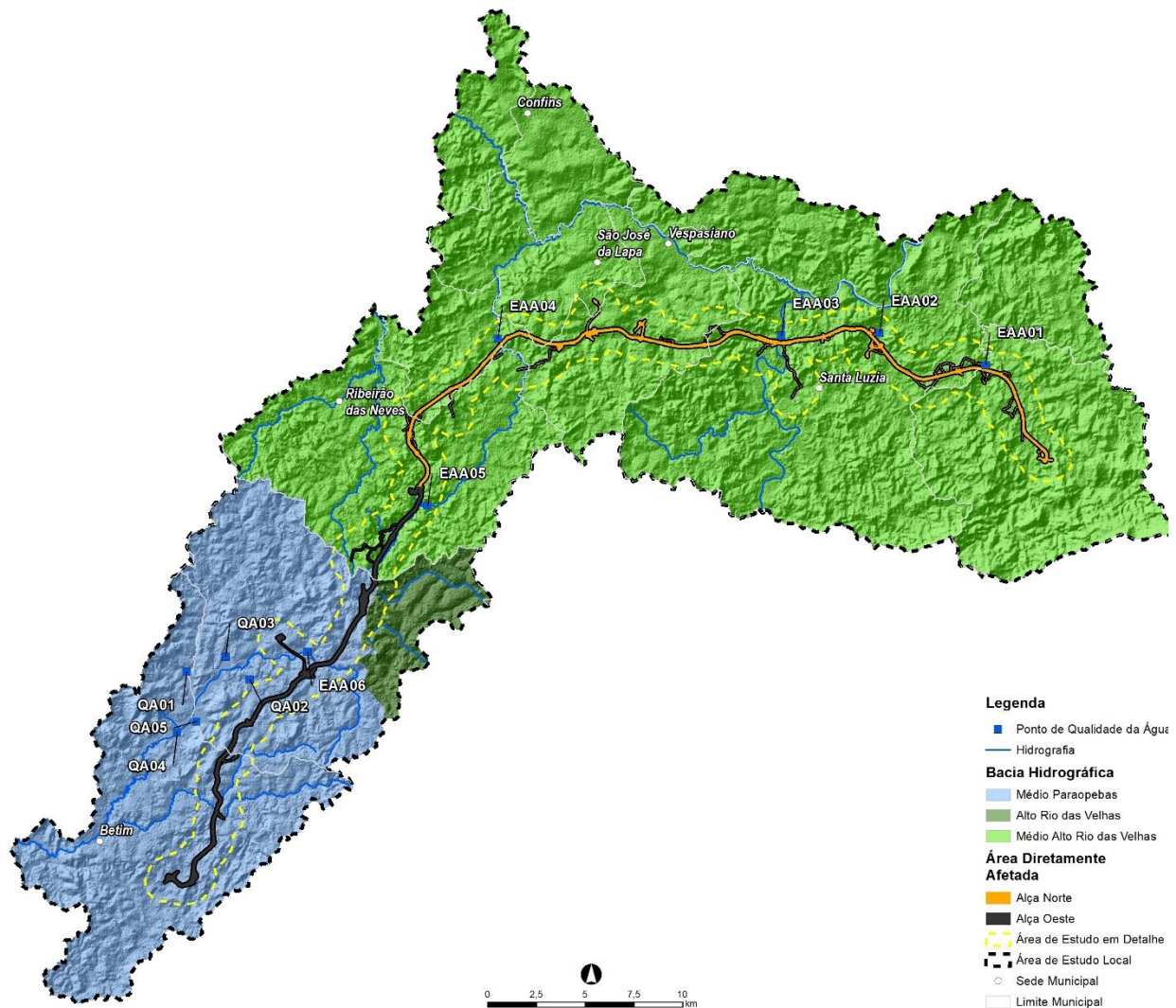


Figura 10.11-11 – Mapa de localização das estações de amostragem de água superficial e sedimentos dos corpos hídricos a serem interceptados pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH.



Figura 10.11-12 – Foto da EAA01, ribeirão Vermelho.



Figura 10.11-13 – Foto da EAA02, ribeirão das Bicas.



Figura 10.11-14 – Foto da EAA03, rio das Velhas.



Figura 10.11-15 – Foto da EAA04, ribeirão das Areias 1.



Figura 10.11-16 – Foto da EAA05, ribeirão das Areias 2.



Figura 10.11-17 – Foto da EAA06, ribeirão Betim.



Figura 10.11-18 – Foto da estação QA01, foz do córrego Água Suja.



Figura 10.11-19 – Foto da estação QA02, córrego Bela Vista.



Figura 10.11-20 – Foto da estação QA03, córrego Olaria.



Figura 10.11-21 – Foto da estação QA04, reservatório Vargem das Flores, próximo à barragem da COPASA.



Figura 10.11-22 – Foto da estação QA05, reservatório Vargem das Flores, região média do reservatório.

As principais características ambientais das estações amostradas são descritas de forma a validarem características da qualidade das águas e sedimentos amostrados.

O ribeirão Vermelho (EAA01), possui região marginal composta em sua maioria por vegetação ripária, composta por árvores esparsadas, arbustos e gramíneas não lenhosos. O corpo d'água possui largura média entre 1,0 e 5,0 metros, com turvação média, de cor aparente forte. Nas redondezas, foi possível constatar a presença de áreas de pasto, trânsito paralelo e solo exposto, além de trechos de mata secundária e árvores esparsas com sub-bosque composto por arbustos menores. No período seco amostrado, o ribeirão Vermelho não apresentava fluxo, além de baixa profundidade, além de baixa profundidade.

O ponto EAA02, localizado no ribeirão das Bicas, possui largura média entre 1,0 e 5,0 metros, com profundidade inferior a 1,0 metro. Apresenta escoamento turbulento, ainda que a correnteza seja fraca. O corpo d'água apresenta sinais de lançamento de efluentes domésticos com base no odor característico notado em campo, apresentando turvação fraca e presença de espuma em baixa quantidade. Em relação as regiões marginais, nota-se que a vegetação ripária causa sombreamento expressivo no curso d'água. O sub-bosque é composto principalmente por arbustos e gramíneas. O ponto coletado se encontra em área de fazendas, com uso do solo diversos, como pasto, com moderado a alto nível de antropização. Em seu trecho imediatamente a montante, o ribeirão das Bicas passa pela rodovia MG 020.

O ponto localizado no rio das Velhas (EAA03), está situado na cidade de Lagoa Santa, e o trecho amostrado possui largura média entre 10,0 e 25,0 metros com profundidade estimada entre 1,0 e 2,0 metros. Seu fluxo é rápido, com presença de correnteza normal. As características visuais de coloração verde e presença de espuma indicam presença de efluentes domésticos, constatado também devido ao odor da água. A zona ripária deste corpo d'água é composta principalmente por arbustos, pasto e campo, com presença de gramíneas (capim). Alguns fatores de potencial alteração da paisagem foram observados, como atividade de dragagem a montante, presença de lixo nas margens e despejo de efluentes domésticos a montante.

Os pontos amostrados no ribeirão das Areias (EAA04 e EAA05) situam-se entre os municípios de Ribeirão das Neves e Betim. O corpo d'água possui largura média entre 1,0 e 5,0 metros, com profundidade local inferior a 0,5 metro. Possui fluxo normal, sendo a coloração, odor e turvação ausentes, assim como a ausência de espuma. Seu substrato é composto predominantemente por areia, sendo secundária a presença de folhas e cascalho grosso. Observa-se alguns bancos de areia ao longo do ponto, associada a baixa profundidade, indicando áreas de assoreamento do ponto. Em relação as áreas marginais, observa-se vegetação anfíbia e arbustos lenhosos, com árvores esparsadas, ocasionando em erosão marginal de porções de solo exposto. Análises demonstraram que a qualidade do rio se encontra degradada pelos processos de urbanização da área, especialmente durante o período de seca (CARVALHO et al., 2008).

O ribeirão Betim (EAA06) constitui principal tributário formador da represa Vargem das Flores. Este corpo hídrico apresenta indícios de lançamento de efluentes domésticos, com grande presença de entulho em suas margens, em trecho com alto grau de assoreamento e desmatadas. Apresentava fluxo, com aspecto e odor característicos de recebimento de efluentes. Boa parte do seu curso, passa pela cidade de Betim, cortando estradas e rodovias como a LMG 808. O seu enquadramento está como águas de Classe 1, o que indica uma qualidade superior à sua condição atual.

A foz do córrego água Suja (QA01), localiza-se no reservatório de abastecimento Vargem das Flores. Parte do trecho deste córrego está atravessa trecho urbano do município de Betim, tendo indícios de recebimento pontual de efluentes domésticos. Margens antropizadas, com vegetação marginal degradada.

O córrego Bela Vista (QA02), foi amostrado em seu trecho mais à jusante, próximo ao reservatório de Vargem das Flores, em área urbana residencial do município de Betim. Suas margens encontram-se em variável estado de conservação, entre trechos preservados ou com avançado estágio de alteração da mata ciliar. Verifica-se também, ao longo do seu curso, pequenas barragens de água.

O córrego Olaria (QA03), outro tributário de reservatório Vargem das Flores, apresenta melhor estágio de preservação de sua vegetação marginal, porém verifica-se ao longo do trecho avaliado, ocupação próxima as suas margens e com potencial recebimento de efluentes domésticos.

Por fim, os pontos QA04 e QA05, localizados em trechos final e médio respectivamente, do reservatório Vargem das Flores, foram amostrados, de forma a se avaliar alterações entre os pontos, das qualidades de água e sedimentos.

A avaliação de qualidade das águas dos corpos hídricos a serem interceptados pelo Rodoanel Metropolitano BH, tem como objetivo, fornecer um panorama das condições atuais destes córregos e rios avaliados, sobretudo pelo fato de que na extensão do traçado proposto há inúmeros pontos de captação de outorga, permitindo identificar os possíveis riscos de contaminação destas águas, durante as fases de instalação e operação. Além disto, estão presentes pontos de captação de água para abastecimento público nas proximidades com o reservatório de Vargem das Flores, na Alça Oeste.

Os resultados aqui apresentados se referem às duas campanhas realizadas, caracterizando os períodos de seca e de chuva, sendo discutidos e comparados conforme os valores definidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG Nº 8, de 21 de novembro de 2022.

O **Quadro 10.11-10** apresenta os resultados referentes à campanha de seca dos corpos hídricos avaliados. Complementarmente, o **Quadro 10.11-11**, apresenta os resultados avaliados para os corpos hídricos localizadas na bacia do rio Paraopeba e amostrados no EIA de Vargem das Flores, e aqui incorporados para comparações dos parâmetros avaliados em comum entre os dois estudos.

O **ANEXO 14 – Laudos Qualidade Água e Sedimentos** contém os laudos laboratoriais das primeira e segunda campanhas de amostragem.

Quadro 10.11-10 – Resultados de qualidade de água superficial das estações de amostragem (EAA) nos períodos de seca e chuva de 2023.

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	EAA-01	EAA-02	EAA-03	EAA-04	EAA-05	EAA-06
			Rib. Vermelho	Rib. das Bicas	Rio das Velhas	Rib. das Areias 01	Rib. das Areias 02	Rib. Betim
Alumínio dissolvido	Seca	mg/L	0,0622	0,0744	< 0,0250	0,134	< 0,0250	< 0,0250
	Chuva		0,0626	0,0544	0,0834	0,390	0,0364	0,132
Antimônio (Sb)	Seca	mg/L	< 0,00050	< 0,00050	1	0,00168	< 0,00050	< 0,00050
	Chuva		< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050	0,00282	< 0,00050	< 0,00050
Berílio (Be)	Seca	mg/L	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00050	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200
	Chuva		< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200
Boro (B)	Seca	mg/L	< 0,250	< 0,250	< 0,00200	< 0,250	< 0,250	< 0,250
	Chuva		< 0,250	< 0,250	< 0,250	< 0,250	< 0,250	< 0,250
Cloreto	Seca	-	3,8	16	20	41	28	23
	Chuva		3,8	16	20	41	28	23
Clorofila-a	Seca	µg/L	< 0,750	< 0,750	< 0,750	< 0,750	< 0,750	< 0,750
	Chuva		< 0,750	< 0,750	< 0,750	< 0,750	< 0,750	2,22
Cobalto (Co)	Seca	mg/L	< 0,00050	< 0,00050	< 0,250	0,00119	0,00134	0,0147
	Chuva		< 0,00050	0,00053	0,00218	0,00468	< 0,00050	0,00237
Coliformes Termotolerantes (Fecais)	Seca	NMP/100 mL	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4
	Chuva		> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4
Cor Verdadeira	Seca	mg Pt/L	16	11	9,4	19	8,6	32
	Chuva		48	25	29	35	37	41
Cromo (Cr)	Seca	mg/L	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	0,0283
	Chuva		< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	0,0135	< 0,0050	< 0,0050
Cromo dissolvido (Cr)	Seca	mg/L	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
	Chuva		< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio	Seca	mg/L	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00
	Chuva		< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Densidade de cianobactérias	Seca	cel/mL	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	Chuva		2000	< 1	3426	< 1	< 1	< 1
DQO - Demanda Química de Oxigênio	Seca	-	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0
	Chuva		< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0
<i>Escherichia coli</i>	Seca	NMP/100 mL	< 1,8E+1	3,30E+02	2,80E+03	> 1,6E+4	> 1,6E+4	1,10E+03
	Chuva		1,1E+3	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4	> 1,6E+4
Ferro (Fe)	Seca	mg/L	1	1,2	0,00134	2,6	1,2	37
	Chuva		0,976	1,2	1,5	10	0,453	3,9
Fluoreto	Seca	-	0,041	0,116	0,208	0,329	0,238	0,256
	Chuva		0,031	0,187	0,212	0,231	0,157	0,188
Fósforo (P)	Seca	mg/L	0,102	< 0,0075	0,943	1,8	1	1,1
	Chuva		0,0692	0,0883	0,834	1,3	0,0693	0,231
Lítio (Li)	Seca	mg/L	< 0,0050	< 0,0050	0,0085	0,0073	0,0141	0,0162
	Chuva		< 0,0050	0,0054	0,0398	< 0,0050	< 0,0050	0,0095
Manganês (Mn)	Seca	mg/L	0,0389	0,242	0,297	0,213	0,298	0,723
	Chuva		0,0573	0,117	0,343	0,281	0,0557	0,110
Materiais Flutuantes	Seca	-	Ausência	Ausência	Ausência	Presença	Ausência	Ausência
	Chuva		Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	EAA-01	EAA-02	EAA-03	EAA-04	EAA-05	EAA-06
			Rib. Vermelho	Rib. das Bicas	Rio das Velhas	Rib. das Areias 01	Rib. das Areias 02	Rib. Betim
Mercúrio (Hg)	Seca	-	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
	Chuva		< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
Níquel (Ni)	Seca	mg/L	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	0,0085
	Chuva		< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Nitrato como N	Seca	-	1,5	1,8	< 0,11	0,76	1,1	< 0,11
	Chuva		1,5	0,65	0,87	0,38	0,20	0,17
Nitrito como N	Seca	-	0,006	0,009	0,007	< 0,006	0,247	< 0,006
	Chuva		0,015	0,040	0,757	0,441	< 0,006	0,089
Nitrogênio Amoniacal	Seca	-	< 0,05	0,15	< 0,05	0,12	< 0,05	< 0,05
	Chuva		< 0,05	< 0,05	2,59	5,69	< 0,05	0,77
Nitrogênio Total	Seca	-	4,7	1,8	0,66	5,2	1,1	0,84
	Chuva		3,4	2,0	10	12	< 0,50	2,9
Óleos e Graxas Visíveis	Seca	-	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
	Chuva		Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Oxigênio Dissolvido	Seca	-	8,5	6,04	1,62	5,14	2,56	4,68
	Chuva		3,69	5,43	5,88	3,88	5,64	3,56
pH	Seca	-	7,37	7,79	4,95	7,98	5,03	6,17
	Chuva		7,70	7,50	7,63	7,71	7,56	7,52
Prata (Ag)	Seca	mg/L	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250
	Chuva		< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250
Selênio (Se)	Seca	mg/L	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	0,00217
	Chuva		< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	0,00109	< 0,000050	< 0,000050
Sólidos Suspensos Totais	Seca	mg/L	11	7	32	77	19	2076
	Chuva		6,0	97	33	474	5,0	115
Sulfato	Seca	-	1,6	< 0,50	8,1	< 0,50	19	10
	Chuva		2,2	3,4	26	19	0,73	19
Sulfeto	Seca	mg/L	< 0,005	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	Chuva		< 0,005	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Turbidez	Seca	UNT	8,3	21,4	10,9	59,4	14,5	1275
	Chuva		12,60	22,70	25,10	373,00	22,80	126,00

Quadro 10.11-11 – Resultados de qualidade de água superficial das estações de amostragem (QA) avaliadas no contexto EIA Vargem das Flores, nos períodos de seca e chuva de 2023.

Parâmetro	Unidade	Período de coleta	QA01	QA02	QA03	QA04	QA05
			Cór.Água Suja	Cór. Bela Vista	Cór. Olaria	Res. Vargem das Flores - porção média	Res. Vargem das Flores, próximo à barragem.
Coliformes Termotolerante	NMP/100 mL	chuva	700,00	> 1,6E+4	40,00	< 1,8E+1	45,00
		seca	700,00	16000,00	16000,00	9200,00	2200,00
DBO	mgO2/L	chuva	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00
		seca	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Alumínio Dissolvido	mg/L	chuva	0,174	0,14	0,106	0,104	0,0986
		seca	0,11	0,0455	0,371	0,0963	0,046
Arsênio	mg/L	chuva	0,00056	< 0,00050	0,00061	< 00050	< 0,00050
		seca	< 0,00050	< 0,00050	0,00092	0,00095	0,00092
Bário	mg/L	chuva	0,0653	0,0737	0,0589	0,0567	0,0503
		seca	0,0583	0,0901	0,0502	0,0575	0,0564
Berílio	mg/L	chuva	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200
		seca	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200	< 0,00200
Cádmio	mg/L	chuva	< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050
		seca	< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050	< 0,00050
Chumbo	mg/L	chuva	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
		seca	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Cobre Dissolvido	mg/L	chuva	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250
		seca	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250	< 0,00250
Cromo	mg/L	chuva	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
		seca	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Ferro Dissolvido	mg/L	chuva	0,38	2,4	0,192	0,071	0,099
		seca	0,202	1,6	0,46	0,351	0,239
Lítio	mg/L	chuva	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
		seca	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Manganês	mg/L	chuva	0,0503	0,143	0,053	0,0308	0,0258
		seca	0,0312	0,177	0,0537	0,192	0,0913
Mercúrio	mg/L	chuva	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050	< 0,000050
		seca	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005
Níquel	mg/L	chuva	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
		seca	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Vanádio	mg/L	chuva	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500
		seca	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500
Zinco	mg/L	chuva	0,0077	0,0108	0,0148	0,0112	0,0088
		seca	0,0109	0,0211	0,0453	0,0218	0,031
Fósforo	mg/L	chuva	< 0,0075	0,0116	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075
		seca	0,0209	0,0293	< 0,0075	< 0,0075	< 0,0075
Nitrogênio Total	mg/L	seca	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
		chuva	0,78	< 0,50	3,2	0,69	0,98
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/L	seca	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		chuva	3,7	< 2,0	3,1	2,9	3,6
Cálcio	mg/L	seca	18	17	19	18	16
		chuva	19	21	16	17	18
Potássio	mg/L	seca	3,8	2,3	3,7	3,7	3,2
		chuva	3,5	2,3	3	3,3	3,5
Magnésio	mg/L	seca	2,2	2,2	2,3	2,1	1,8
		chuva	2	2,6	1,8	2	2,1
Molibdênio	mg/L	seca	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
		chuva	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Sódio	mg/L	seca	12	8,8	10	10	8,7
		chuva	9,8	13	9,2	9,4	10
Estrôncio	mg/L	seca	0,131	0,143	0,134	0,129	0,113
		chuva	0,14	0,173	0,11	0,121	0,128
Titânio	mg/L	seca	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
		chuva	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Turbidez	NTU	seca	7,4	15	3,5	3,1	2,6
		chuva	7,5	12	5,6	5,5	7,9
pH	-	seca	7,4	7,2	7,8	7,9	8,2
		chuva	7,2	6,8	7,6	7,5	7,5

Os gráficos apresentados abaixo apresentam os parâmetros onde foram identificados valores e concentrações que estiveram acima dos valores permitidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02 de 08 de setembro de 2010.

Os valores de pH das águas superficiais amostradas foram caracterizados com valores em torno de 7,0, caracterizando águas neutras. As violações à legislação foram identificadas nos pontos EAA03 e EAA05 (rio das Velhas e ribeirão Areias 2), ambos no período seco, cujos valores estiveram abaixo de pH 6,0 (**Figura 10.11-23**).

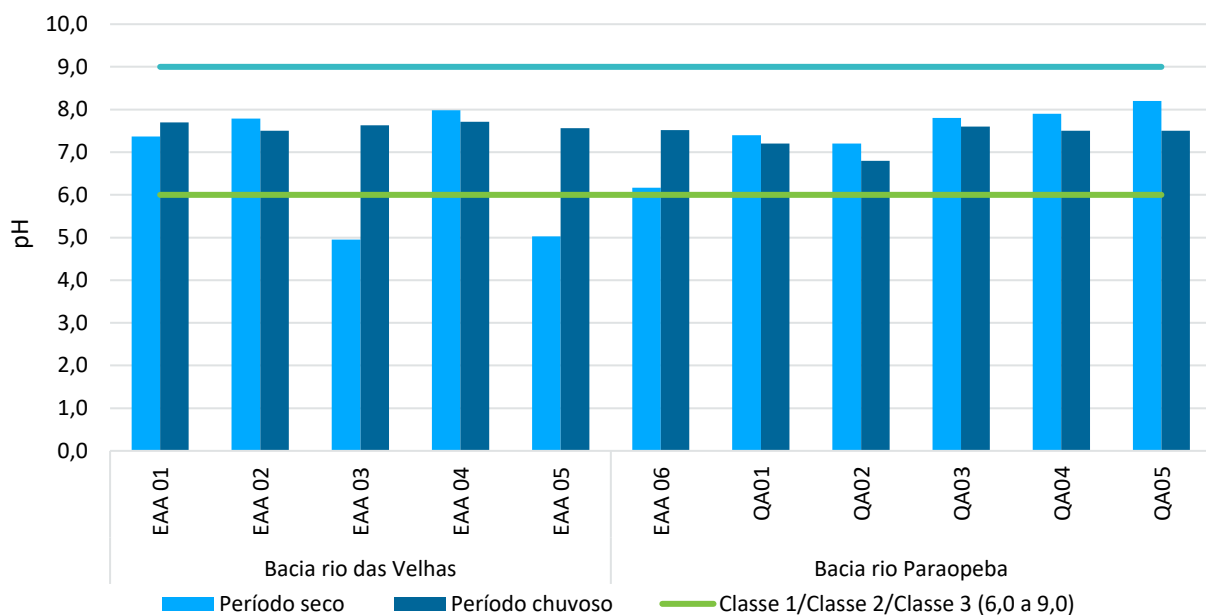


Figura 10.11-23 – Valores de pH de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

No que concerne às concentrações de alumínio dissolvido, verificam-se que os valores obtidos nos ensaios foram superiores aos limites estabelecidos nos pontos localizados no ribeirão Areias 01 (EAA 04) enquadrado como Classe 2, ribeirão Betim (EAA06), córregos Água Suja (QA01), Bela Vista (QA02) e Olaria (QA03), enquadrados como Classe 1 (**Figura 10.11-24**). Verifica-se que no período chuvoso, o ponto EAA04 apresentou concentração de alumínio dissolvido de 0,39 mg/L, comprometendo a qualidade da água.

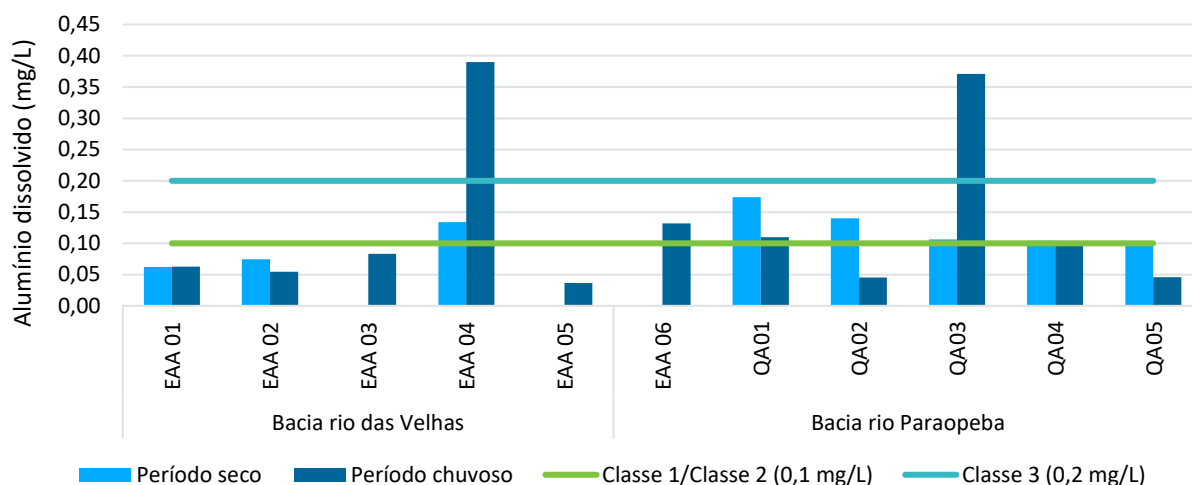


Figura 10.11-24 – Concentrações de alumínio dissolvido em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

Em relação as concentrações de manganês total, verificaram-se valores superiores nos pontos EAA02, EAA04, EAA05, EAA06, QA02, e QA04 (**Figura 10.11-25**). Destaca-se o pico na concentração de manganês total no ponto localizado no ribeirão Betim (EAA06), durante o período seco, corpo hídrico este, que passa por áreas urbanizadas do município de mesmo nome, sendo possível contribuição, efluentes lançados irregularmente ao longo do seu percurso.

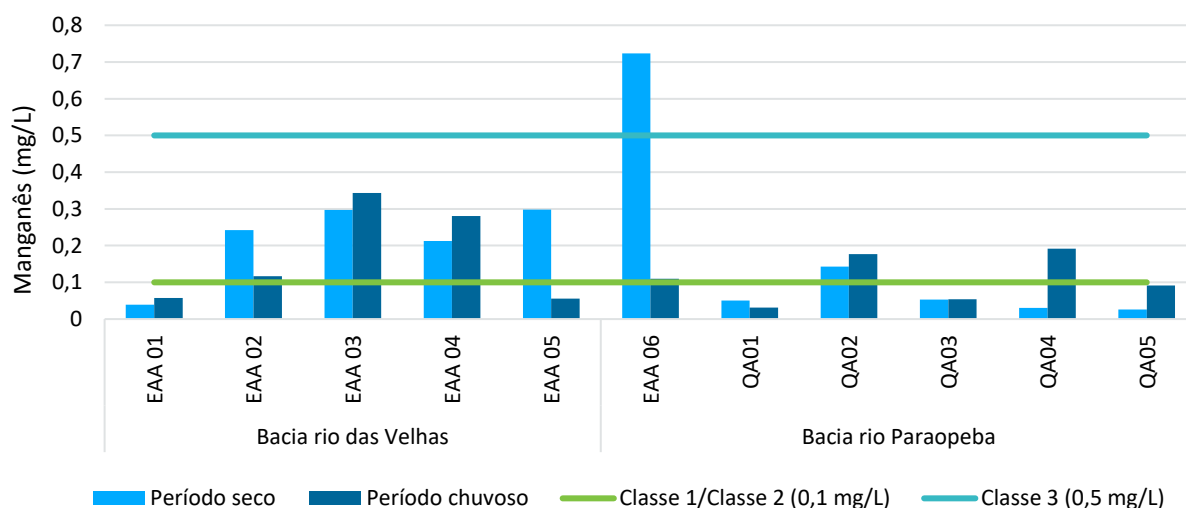


Figura 10.11-25 – Concentrações de manganês total em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

O fósforo total, parâmetro indicativo de poluição dos corpos hídricos quando em concentrações anômalas, foi verificado nos pontos EAA01, EAA02, EAA03, EAA04, EAA05 e EAA06. As concentrações permitidas pela legislação são de 0,1 mg/L para águas de Classe 1 e 0,75 para águas de Classe 2 e 3. Foram observados picos de concentração nos pontos EAA03, localizado no rio das Velhas e enquadrado como Classe 3, EAA04, ribeirão das Areias 01, Classe 2, EAA05, ribeirão das Areias 02, Classe 2, e EAA06, ribeirão Betim, Classe 1 (**Figura 10.11-26**). Destaca-se que o fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó

empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais (CETESB, 2016).

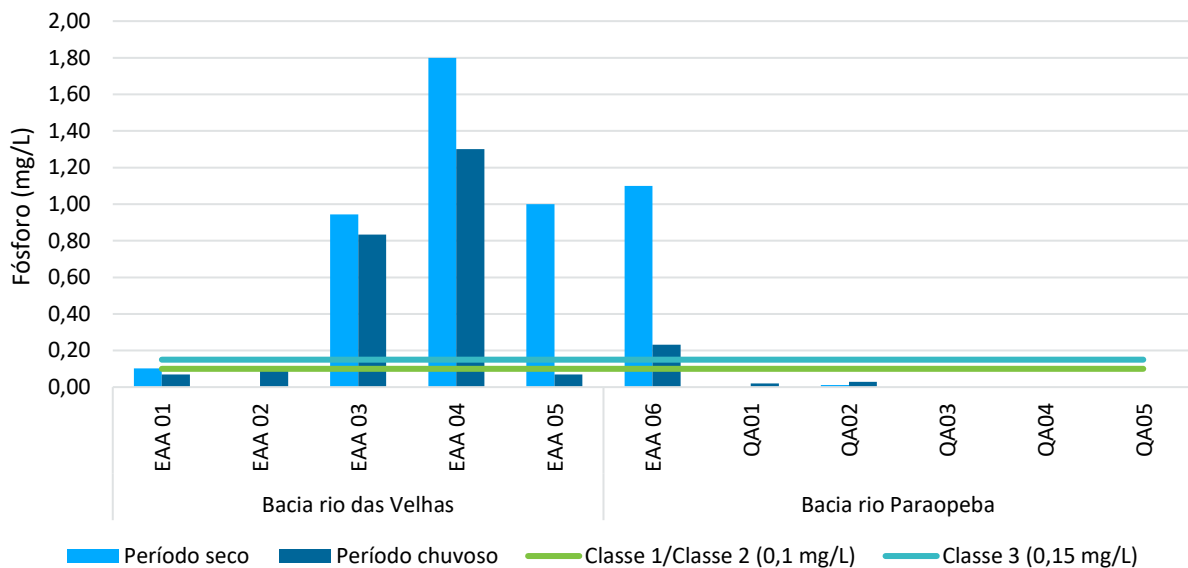


Figura 10.11-26 – Concentrações de fósforo total em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

O parâmetro turbidez, para os períodos avaliados, extrapolou os limites no ponto EAA04, no ribeirão das Areias 01, corpo hídrico Classe 2, com valor de 373 UNT durante o período chuvoso, e no ponto EAA06, no ribeirão Betim, corpo hídrico de Classe 1, este com o maior valor durante o período seco, 1275 UNT, e 126 UNT durante o período chuvoso (**Figura 10.11-27**). Todos os demais pontos apresentaram turbidez abaixo dos respectivos limites estabelecidos às suas classes. Ressalta-se que os pontos em questão – ribeirões das Areias e Betim, encontram-se sob influência de atividades antrópicas intensas, com lançamentos de efluentes domésticos de forma irregular bem como avançado estado de degradação das suas margens, como pontos de erosão e leitos assoreados, o que contribuem para elevados valores de turbidez, dentre outros parâmetros.

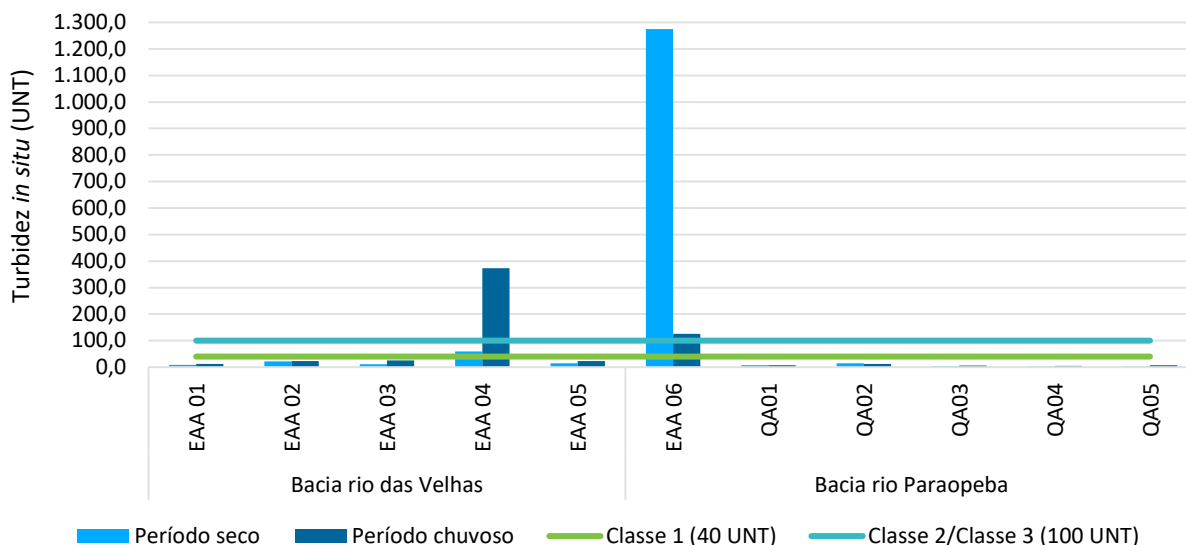


Figura 10.11-27 – Valores de turbidez em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

Em relação aos valores de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (Figura 10.11-28) não possuem delimitação específica em suas concentrações, salvo os coliformes termotolerantes, cujo valor de referência é o preconizado pela Resolução Conama nº 274, de 2000, para o uso de recreação de contato primário, sendo 200 NMP/100 mL para águas de Classe Especial. Todos os pontos apresentaram concentrações de coliformes termotolerantes > 1,6+4NMP/100 mL.

A bactéria *Escherichia coli*, presente em intestinos de animais homeotérmicos, como aves e gado, por exemplo, foram verificados nas estações de amostragem no ribeirão Vermelho, ribeirão das Bicas, rio das Velhas e ribeirão Betim (EAA 01, EAA02, EAA03 e EAA06, respectivamente). Ressalta-se o que o maior valor encontrado no rio das Velhas, durante o período seco, atingiu uma concentração de 2750 NMP/100 mL da amostra avaliada no ponto EAA03, indicando contaminação por efluentes domésticos e/ou criação de animais.

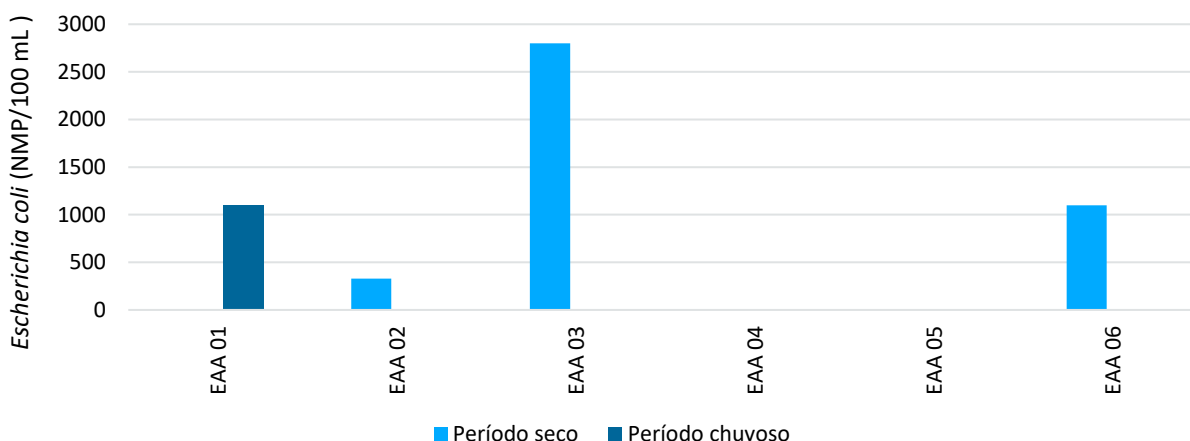


Figura 10.11-28 – Concentrações de *E. coli* em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

As concentrações de oxigênio dissolvido na água oscilaram entre 1,62 mg/L no ponto EAA03, no rio das Velhas, a 8,5 mg/L no ponto EAA01, ribeirão Vermelho. Os pontos que apresentaram concentrações inferiores aos limites estabelecidos pela legislação, conforme os enquadramentos foram EAA 01 no período chuvoso (Classe 1), EAA03 no período seco (Classe 3), EAA04 no período chuvoso (Classe 2), EAA05 no período seco (Classe 2) e EAA06 nos períodos seco e chuvoso (Classe 1) (**Figura 10.11-29**).

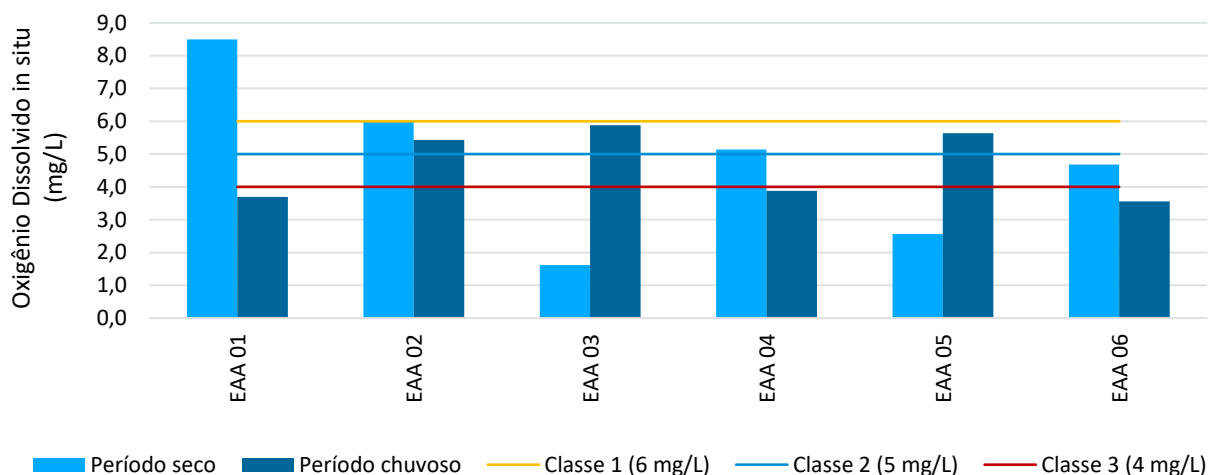


Figura 10.11-29 – Concentrações de oxigênio dissolvido de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

A concentração de ferro total apresentou valor máximo 37 mg/L durante o período seco, no ponto EAA06, localizado no ribeirão Betim (**Figura 10.11-30**), estando acima do limite de 0,3 mg/L definido pela legislação para cursos d'água enquadrados como classe 1. Ademais, no período chuvoso o ribeirão Areia 01 (EAA04) apresentou concentração de 10 mg/L, também acima do limite de 0,3 mg/L definido para Classe 2. Concentrações menores, foram verificados nos pontos EAA01, EAA02, EAA03 e EAA05. Ressalta-se que o ribeirão Betim, é um tributário do reservatório Vargem das Flores, e que recebe efluentes domésticos ao longo do seu curso, no município de Betim, se destacando entre os demais avaliados, na concentração de ferro total. Tendo em vista a concentração discrepante deste elemento em relação aos demais corpos hídricos avaliados, tal concentração mais elevada, pode ser oriunda de fonte antrópica, sobretudo pela condição de ocupação de suas margens e deposição irregular de entulhos, dentre outros resíduos de diversas composições.

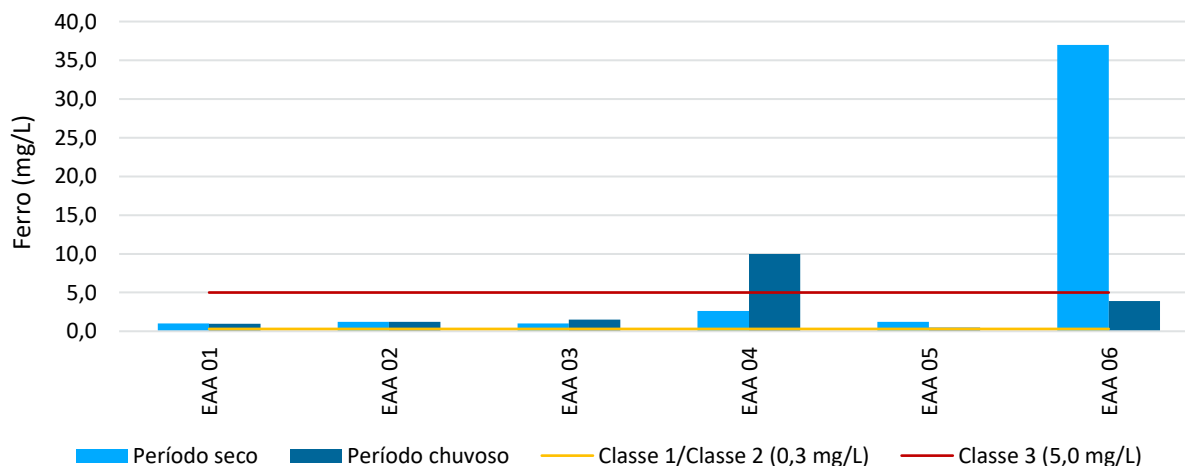


Figura 10.11-30 – Concentrações de ferro em amostras de água superficial nas estações de amostragem avaliadas.

O **Quadro 10.11-12** apresenta os resultados das avaliações realizadas nas matrizes de sedimentos dos corpos hídricos amostrados na campanha de seca do Rodoanel Metropolitano BH. Complementarmente, o **Quadro 10.11-13**, apresenta os resultados avaliados para os sedimentos dos corpos hídricos localizados na bacia do rio Paraopeba e amostrados no EIA de Vargem das Flores, e aqui incorporados para comparações dos parâmetros avaliados em comum entre os dois estudos.

Quadro 10.11-12 – Resultados dos parâmetros avaliados em sedimentos nas estações amostradas (EAA).

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	EAA 01	EAA 02	EAA 03	EAA 04	EAA 05	EAA 06
			Rib. Vermelho	Rib. das Bicas	Rio das Velhas	Rib. das Areias 01	Rib. das Areias 02	Rib. Betim
Alumínio (Al)	Seca	mg/kg	77	7329	4054	34769	12838	9163
	Chuva		1588	1188	6653	1901	1857	12270
Antimônio (Sb)	Seca	mg/kg	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,38	< 0,25	< 0,25
	Chuva		< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Arsênio (As)	Seca	mg/kg	16	6,9	89	6,8	458	6,7
	Chuva		3	2,1	70	2,3	2,6	9,6
Bário (Ba)	Seca	mg/kg	9,8	105	27	77	115	69
	Chuva		15	13	39	15	16	57
Cádmio (Cd)	Seca	mg/kg	12	< 0,25	< 0,25	< 0,38	< 0,25	< 0,25
	Chuva		< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Chumbo (Pb)	Seca	mg/kg	34	13	8,1	21	24	85
	Chuva		4,9	2,3	9,6	3,9	2,1	17
Cobalto (Co)	Seca	mg/kg	182	5,2	8	7,8	12	58
	Chuva		2,2	1,3	11	0,96	1,4	5,9
Cobre (Cu)	Seca	mg/kg	< 0,50	4,8	13	40	54	49
	Chuva		3,5	1,8	23	1,8	< 1,5	16
Cromo (Cr)	Seca	mg/kg	14	41	35	74	50	82
	Chuva		13	3,1	50	4,2	4,2	16
Fósforo (P)	Seca	mg/kg	< 0,25	157	252	1360	2233	240
	Chuva		50	73	519	61	34	994
Mercúrio (Hg)	Seca	mg/kg	5,4	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,14	< 0,10
	Chuva		< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Molibdênio (Mo)	Seca	mg/kg	22	< 0,50	< 0,50	1	0,7	0,54
	Chuva		< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Níquel (Ni)	Seca	mg/kg	3,8	19	15	16	23	56

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	EAA 01	EAA 02	EAA 03	EAA 04	EAA 05	EAA 06
			Rib. Vermelho	Rib. das Bicas	Rio das Velhas	Rib. das Areias 01	Rib. das Areias 02	Rib. Betim
	Chuva		4,1	0,9	20	1,3	1,6	5,7
Nitrato como N	Seca	mg/kg	-	-	-	-	-	-
	Chuva		84	< 4,0	< 4,8	40	13	31
Nitrito como N	Seca	mg/kg	225	< 1,9	< 2,0	0,76	1,1	< 2,1
	Chuva		< 1,8	3,9	35	< 1,9	< 2,0	< 2,2
Nitrogênio Total	Seca	mg/kg	0,006	874,9	216,5	2680,9	4560,4	595,8
	Chuva		167,3	122,7	926	107,4	143,5	348
NKT - Nitrogênio Kjeldahl Total	Seca	mg/kg	< 2,3	874,9	216,5	2680,9	4560,4	595,8
	Chuva		83,3	118,8	891	67,4	130,5	317
Prata (Ag)	Seca	mg/kg	0,041	0,37	< 0,25	< 0,38	0,62	< 0,25
	Chuva		< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Zinco (Zn)	Seca	mg/kg	< 4,6	30	30	74	151	40
	Chuva		7,9	6,2	58	9,6	9,4	59

Quadro 10.11-13 – Resultados dos parâmetros avaliados em sedimentos nas estações amostradas (QA), nos apontos amostrados no EIA Vargem das Flores, na bacia do rio Paraopeba.

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	QA 01	QA 03	QA 04	QA 05	QA 06
			Córrego Água Suja	Córrego Bela Vista	Córrego Olaria	Res. Vargem das Flores - porção média	Res. Vargem das Flores - próx. Barragem
Arsênio (As)	Seca	mg/kg	<1,5	<1,5	3,4	<1,5	1,8
	Chuva		<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
Cádmio (Cd)	Seca	mg/kg	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
	Chuva		< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Chumbo (Pb)	Seca	mg/kg	2,3	1,9	6,9	5,3	8,5
	Chuva		3,1	5,3	5,1	3	1,4
Cobre (Cu)	Seca	mg/kg	2,6	<1,5	3,9	2,1	4,9
	Chuva		2,3	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
Mercúrio (Hg)	Seca	mg/kg	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
	Chuva		< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Níquel (Ni)	Seca	mg/kg	1,6	0,77	3	0,67	1,7
	Chuva		1	0,66	1,2	0,69	<0,5
Zinco (Zn)	Seca	mg/kg	55,6	7,8	22	19	24
	Chuva		8,5	3,9	4,9	6,8	<2,5

As figuras a seguir apresentam os gráficos dos parâmetros onde foram verificadas concentrações mais elevadas de algumas substâncias avaliadas. Na ausência de legislação específica aplicável aos sedimentos dos ambientes aquáticos, é utilizada, a título de referência, a Resolução CONAMA 454 de 2012, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, classificando as concentrações dos elementos em: Nível 1- limite abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota e Nível 2, limite acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

As concentrações de arsênio nos sedimentos apresentaram picos somente em duas estações, EAA03, no rio das Velhas com 89 mg/kg no período seco e 70 mg/kg no período chuvoso, e no ponto EAA05, no ribeirão Areias 02, com 458 mg/kg (**Figura 10.11-31**). O arsênio, pode ocorrer de forma natural no meio ambiente e também como fonte de contaminação, pois o elemento é utilizado na produção de ligas não-ferrosas e outros compostos para fabricação de semicondutores, incluindo diodos de emissão de luz, lasers, circuitos integrados e células solares (CETESB, 2016).

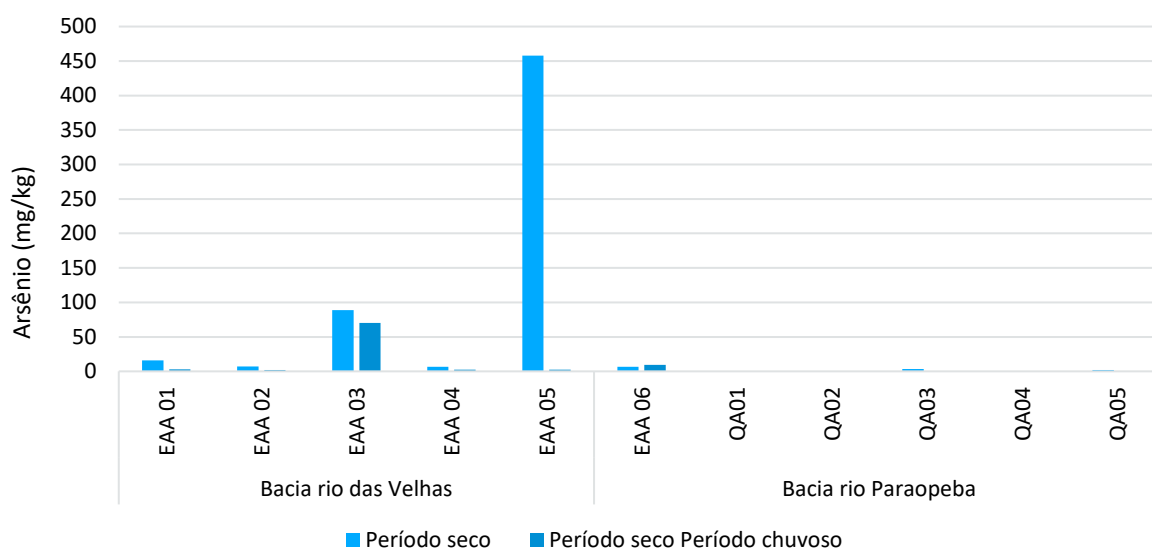


Figura 10.11-31 – Concentrações de arsênio em amostras de sedimentos nas estações coletadas.

Para chumbo, o valor de referência pela Resolução CONAMA 454/2012, é de 35 mg/kg, para o Nível 1, que é o limite do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota, ou seja, acima desta concentração aumenta-se o risco do elemento para a biota. Neste sentido somente o ponto EAA6, ribeirão Betim, apresentou concentração superior, sendo esta igual a 85 mg/kg, possivelmente oriundo, do elevado grau de degradação do corpo hídrico, incluindo o depósito irregular de materiais inservíveis ao longo de suas margens (**Figura 10.11-32**).

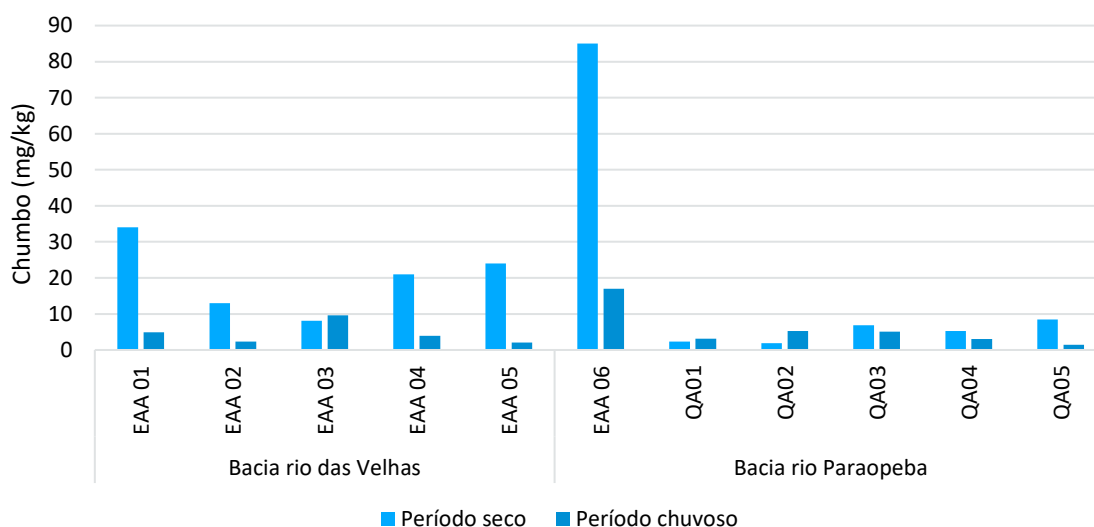


Figura 10.11-32 – Concentrações de chumbo em amostras de sedimentos nas estações coletadas.

De acordo com a CONAMA 454/2012, os valores de referência para cobre (Cu) em sedimentos são 35,7 mg/kg, e 197 mg/kg correspondentes ao Nível I e II respectivamente. Dos pontos analisados, nenhum apresentou valores acima do Nível II. As maiores concentrações foram verificadas durante o período seco nos pontos EAA04, EAA05 e EAA06 (ribeirão Areias 01, Areias 02 e Betim, respectivamente) (Figura 10.11-33). A presença de cobre nos sedimentos pode ser condição natural ou fonte externa. Um melhor entendimento destas concentrações verificadas, podem ser mais bem avaliadas, com um incremento amostral regional.

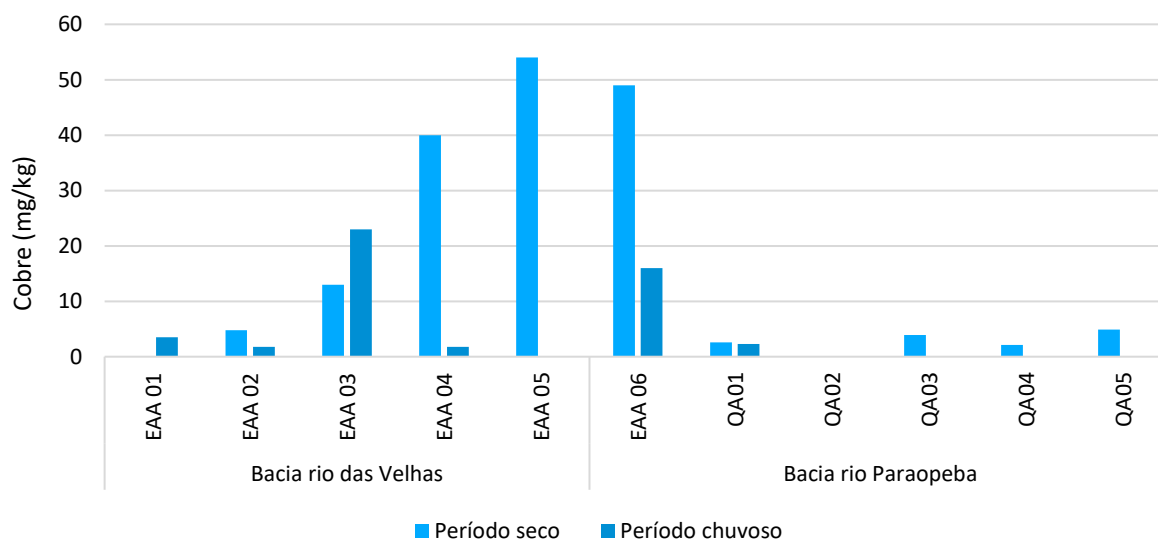


Figura 10.11-33 – Concentrações de cobre em amostras de sedimentos nas estações coletadas.

Para o zinco, apenas o ponto EAA05, no ribeirão das Areias 02 apresentou, durante o período seco, uma concentração superior ao Nível 1, de 123 mg/kg, referenciado pela legislação (Figura 10.11-34). A principal emissão natural de zinco é por erosão. As fontes antropogênicas são: mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis,

eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco. Por se tratar de um corpo hídrico com extensa influência urbana, sua elevada concentração de zinco nos sedimentos, caracteriza uma contaminação antrópica pontual.

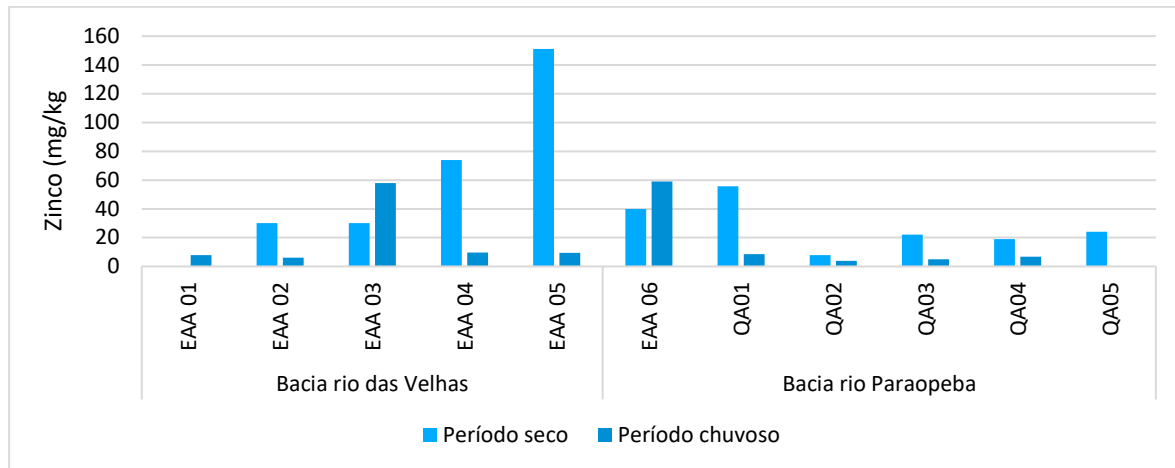


Figura 10.11-34 – Concentrações de zinco em amostras de sedimentos nas estações coletadas.

As concentrações de alguns metais em sedimentos, chamam a atenção, por, apesar de ocorrerem em todos os pontos, apresentaram picos nos ribeirões Areias 1 e 2, e Betim (pontos EAA4, EAA5 e EAA6 respectivamente). Destaca-se que estes corpos hídricos, possuem contribuições de origem antrópica, como despejos irregulares de efluentes não tratados, deposição de lixo e entulhos em suas margens, bem como longos trechos de margens alteradas, com ocorrência de erosões e assoreamentos.

De forma geral, com base na amostragem realizada nas campanhas referentes aos períodos de seca e chuva, as estações amostrais localizadas no rio das Velhas, ribeirão Areias, e ribeirão Betim apresentaram piores condições nas águas superficiais e sedimentos. Tais corpos hídricos passam por centros urbanos localizados na região metropolitana de Belo Horizonte e conforme constatado em campo, recebem contribuição de efluentes domésticos não tratados, bem como a deposição de resíduos ao longo de suas margens, que em sua maioria se encontram em avançado estado de degradação.

10.12 Recursos Hídricos Subterrâneos

10.12.1 Introdução

Nesse item, entende-se a “água subterrânea” como todo recurso hídrico que se encontra abaixo da superfície da Terra, que preenche poros ou vazios intergranulares dos sedimentos (colúvio, elúvio e aluviões), ou fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas ou de condutos na presença dos ambientes cársticos, que compreendem esses últimos a rochas do tipo calcários e dolomitos.

As águas subterrâneas cumprem com uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada que ocorre sob a superfície terrestre. Após a precipitação, parte das águas que atingem o solo se infiltra e percola no interior do subsolo. A quantidade de água infiltrada é decorrente de muitos fatores, como da porosidade do subsolo, da cobertura vegetal, da inclinação do terreno, da geomorfologia, da pedologia e da litologia locais, além dos tipos de chuva.

Já um sistema aquífero (REBOUÇAS, 1994) é um conjunto formado por uma ou mais unidades litoestratigráficas que apresentam condutividade hidráulica, características hidrodinâmicas, condições de recarga, circulação e descarga, e de qualidade das águas relativamente semelhantes.

Para que um aquífero possa armazenar volumes importantes de água, é necessário que, os valores de porosidade específica e permeabilidade sejam mais significativos, em relação ao restante dos materiais do entorno. Consequentemente, os espaços vazios interconectados devem ser suficientemente grandes, de forma que esta água armazenada também possa fluir sob a ação de uma diferença de potencial gravitacional ou potenciométrica.

Tendo-se por base as propriedades de porosidade específica e permeabilidade ou condutividade hidráulica – primária ou secundária – dos sedimentos ou rochas, estes podem ser classificados em quatro sistemas hidrogeológicos principais (GIAMPÁ & GONÇALES, 2006), a saber:

- Aquíferos: camadas de sedimentos ou corpos de rochas, que apresentam porosidade específica e permeabilidade mais importante, ou seja, contém água e permite que ela se movimente em condições naturais e em quantidades significativas;
- Aquitardes: camadas ou corpos de rochas, que apresentam porosidade específica e permeabilidade relativamente baixa, tais como sedimentos argilosos, misturas de areias, siltes e argilas em proporções variadas, rochas compactas pouco fraturadas ou intemperizadas e sistemas cársticos pouco desenvolvidos, que se apresentam semipermeáveis, com baixa capacidade de transmitir água;
- Aquicludes: camadas de sedimentos com significativa quantidade de argila ou corpos de rochas pouco fraturadas, que apresentam porosidade específica e permeabilidade praticamente nula. Podem conter água, mas não apresentam condições de movimentá-la de um lugar para outro, em condições naturais e significativas;
- Aquifuges: camadas ou corpos de rochas muito compactas que apresentam porosidade e permeabilidade praticamente nulas, tais como rochas cristalinas – magmáticas e metamórficas – do embasamento geológico, blocos de quartzitos, basaltos, diabásios e assim por diante, não fraturados ou intemperizados.

Por sua vez, os aquíferos podem ser de três tipos principais – livre, confinado e suspenso – e dois intermediários – semilivre ou semiconfinado. A **Figura 10.12-1** apresenta uma representação esquemática dos diferentes tipos de aquíferos, de acordo com o sistema de pressão de águas e com a natureza das camadas que os delimitam no topo e na base.

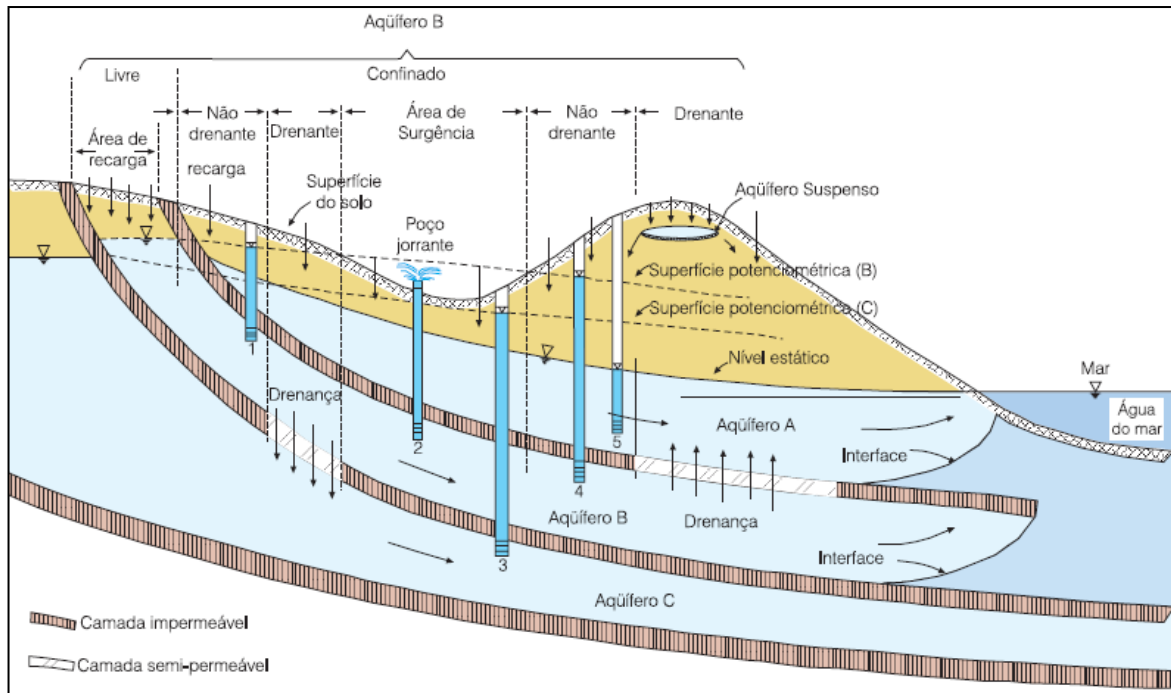


Figura 10.12-1 – Representação Esquemática dos diferentes tipos de aquíferos, de acordo com o sistema de pressão de águas e com a natureza das camadas que os delimitam no topo e na base.

Fonte: Feitosa et al., 2008.

No contexto regional do estudo de licenciamento ambiental do Rodoanel Metropolitano BH os sistemas aquíferos podem ser agrupados em três grandes sistemas hidrogeológicos de interesse, que estão relacionados às litoestratigrafias pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero, Complexo Belo Horizonte e Grupo Bambuí, conforme pode ser observado na **Figura 10.12-2**.

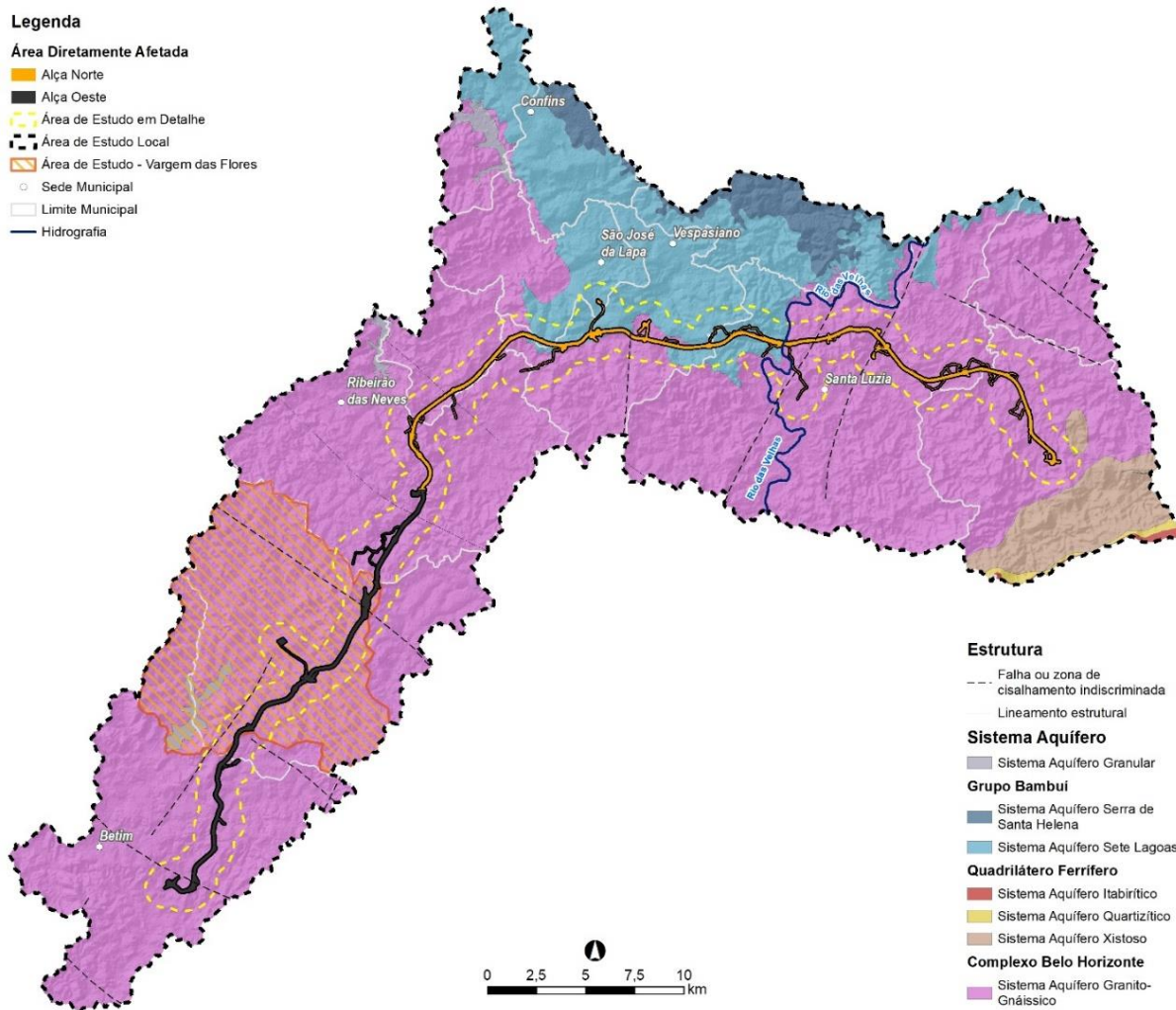


Figura 10.12-2 – Sistemas aquíferos pertinentes no Contexto da Área de Estudo Local do Rodoanel BH.
Fonte: Adaptado Fiume et al. (2022).

10.12.2 Metodologia

Para a caracterização dos recursos hídricos subterrâneos na Área de Estudo Local (AEL), foi realizada a coleta de informações por meio de pesquisa de bibliográfica sobre a região de interesse e coleta de dados secundários existentes em base de dados como Serviço Geológico do Brasil – CPRM e na plataforma IDE-SISEMA.

Esse item subsidia o diagnóstico desse atributo do meio físico e dos parâmetros hidrodinâmicos a depender de cada litologia existente, pensando na implantação do empreendimento e nos possíveis impactos ambientais associados a esse.

Foram desenvolvidos estudos específicos para bacia Vargem das Flores, por consistir em uma área prioritária sujeita aos impactos diretos sobre a água subterrânea, que estão apresentados no âmbito do **ANEXO 15 – Modelo Conceitual Vargem das Flores**. Nesse estudo tem-se a representação de sistemas aquíferos granular e fraturado de acordo com o contexto hidrográfico, geológico local e geomorfológico que estão inseridos, bem como são apresentados os parâmetros hidráulicos, dados hidrogeológicos

(fluviometria, pluviometria, piezometria), mapa potenciométrico local e pontos de água (nascentes) levantados por meio de dados secundários.

As estimativas de reservas renovável e permanente, bem como os diferentes percentuais (50%, 70% e 100%) de reserva explotável dos sistemas aquíferos pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero, Complexo Belo Horizonte e Grupo Bambuí presentes na Área de Estudo Local (AEL) não serão possíveis de serem calculados, em virtude da inexistência de dados de poços de monitoramento do empreendimento Rodoanel Metropolitano BH. Para essas estimativas seria necessário o conhecimento de dados hidrogeológicos primários como qualificação das variações de profundidades dos níveis freáticos considerando diferentes períodos seco/chuvoso, conhecimento do perfil litológico de interesse, espessura da zona saturada, bem como conhecimento de parâmetros hidráulicos como a porosidade efetiva. Em contrapartida, considera-se que estudos relacionados a estimativas de reservas para o contexto do empreendimento Rodoanel Metropolitano BH não são aplicáveis, em virtude do tipo do empreendimento, o qual não está prevista a captação de água subterrânea por meio de poços tubulares. Para as próximas fases do estudo de licenciamento de operação, esse conceito poderá ser revisto e atualizado.

10.12.3 Sistemas Aquíferos Formação Ferrífera, Carbonática, Quartizítico e Xisto

Os sistemas aquíferos presentes na região da Alça Norte do Rodoanel de Belo Horizonte, estão relacionadas às litoestratigrafias do Quadrilátero Ferrífero. A classificação das unidades hidrogeológicas foi realizada conforme trabalhos de Beato *et al.* (2005), modificado por Mourão (2007) e Castro *et al.* (2020). Estes últimos autores apresentaram o mapa hidrogeológico mais recente do Quadrilátero Ferrífero, conforme evidenciado na **Figura 10.12-3**, onde se destaca também a área interceptada pelo traçado do Rodoanel BH.

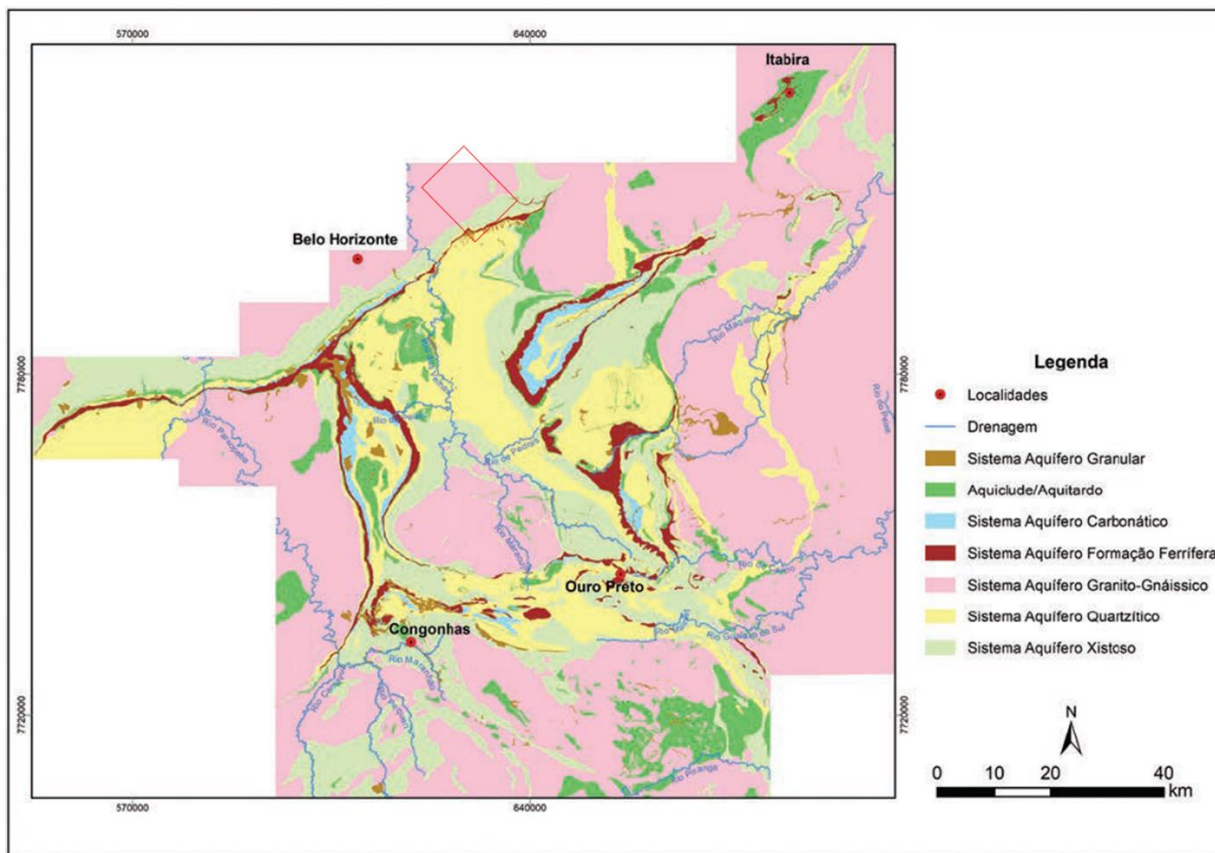


Figura 10.12-3 – Mapa hidrogeológico do Quadrilátero Ferrífero, onde se destaca em vermelho a área interceptada pelo traçado.

Fonte: CASTRO et al., 2020.

Os principais aquíferos da região são: o aquífero Xistoso, o qual abrange os Grupos Nova Lima e Sabará, constituído predominantemente por xistos metassedimentares e metavulcânicos; os aquíferos das Formações Ferríferas que estão associados a Formação Cauê que compreende, em sua maioria, itabiritos e itabiritos dolomíticos; o aquífero Carbonático associado a Formação Gandarela que consiste de mármores predominantemente dolomíticos e/ou filitos dolomíticos; e, por fim, o aquífero Quartzítico que está associado as Formações Maquiné, Moeda, Tabões, Itacolomi e Cercadinho constituídos predominantemente de litologias quartzíticas. Também estão presentes aquíferos inconsolidados, associados à depósitos eluviais, coluviais e aluviais e Cangas e Lateritas, quando presentes.

Nessa região também são observadas Unidades Confinantes que correspondem as Formações Moeda, Batatal, Fecho do Funil e Barreiro, que compreendem em barreiras hidráulicas, funcionando como compartimentadores dos fluxos de água subterrânea na região.

Os parâmetros hidrogeológicos para cada sistema aquífero são muito variáveis, dada a diversidade litológica, da complexidade estrutural e de distintas intensidades no intemperismo que ocorrem na região.

Para se ter uma estimativa da variabilidade hidrogeológica desses sistemas, é possível citar trabalhos como Mourão (2007), Beato et al. (2005), Castro et al. (2020), Fiume et al. (2022) que encontram as seguintes vazões:

- Vazões acima de 100 m³/h para o Sistema Aquífero da Formação Ferrífera;

- Vazão frequentemente acima de 100 m³/h para o Sistema Aquífero Carbonático;
- Vazões médias de nascentes na ordem de 1,1 m³/h para o Sistema Aquífero Xistoso;
- Vazões acima de 10 m³/h até 25 m³/h para o Sistema Aquífero Quartizítico;
- Nascentes associadas a aquíferos granulares têm vazão muito variável, desde inferior a 3,6 m³/h a superior a 50,4 m³/h; e
- Poços tubulares apresentam no geral vazões nulas a pequenas vazões para regiões que compreendem aquíclode/ aquíclardos.

10.12.4 Sistema Aquífero Granito-gnáissico

O aquífero Granito-gnáissico do Complexo Belo Horizonte é o de maior relevância para o traçado do Rodoanel Metropolitano BH e está presente nas duas alças que compõem o empreendimento. Corresponde à aquíferos fissurados compostos basicamente de rochas granito-gnáissicas e migmatíticas, variando de rochas bandadas foliadas a incipientes e isotrópicas. Entretanto, o complexo conta ainda com uma variedade de outros litotipos, como xisto, quartzito, mármore, além de rochas metapelíticas, vulcânicas e metavulcânicas (ANDRADE *et al.*, 2019; FIUME *et al.*, 2022).

Na parte superior, o aquífero apresenta um espesso manto de intemperismo que contribui para a recarga das fraturas na rocha sã e, também, são responsáveis pela maior parte das restituições para os cursos d'água (BEATO *et al.*, 2005).

No contexto geocronológico, o aquífero apresenta rochas arqueanas a paleoproterozóicas, além de corpos intrusivos associados às orogenias proterozóicas. Assim, pode-se dizer que as rochas deste complexo formam a base das seqüências metassedimentares do Quadrilátero Ferrífero.

O conhecimento das suas características hidráulicas vem assumindo uma relativa importância devido a crescente ocupação antrópica sobre seus domínios e, conseqüentemente, o aumento da demanda de água para abastecimento doméstico (BEATO *et al.*, 2005).

Sua produtividade é geralmente baixa, porém localmente podendo apresentar produtividade moderada, com vazões de 10 a 25 m³/h. Em menor proporção, tem-se produtividade muito baixa a localmente baixa, com vazões entre 1 e 10 m³/h. Também pode apresentar-se pouco produtivo ou não aquífero quando apresentar vazões inferiores a 1 m³/h (FIUME *et al.*, 2022).

No contexto do Estudo de Licenciamento Ambiental do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte, tem-se em destaque a região da Área de Proteção Especial (APE) da bacia Vargem das Flores, estabelecido pelo Decreto Estadual nº 22.091/1982, que conta com um reservatório de água utilizado para abastecimento hídrico da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Devido a esta particularidade, foi desenvolvido o Modelo Hidrogeológico Conceitual do Sistema Aquífero Granito-gnáissico da Região de Vargem das Flores a fim de propiciar a análise comportamental do aquífero e descrever a relação entre as águas superficiais e subterrâneas da região. O documento está apresentado no **ANEXO 15 – Modelo Conceitual Vargem das Flores**, em que são caracterizados os sistemas aquíferos, de acordo com o contexto hidrográfico, geológico local e geomorfológico que estão inseridos, bem como são apresentados os parâmetros hidráulicos, dados hidrogeológicos (fluviometria, pluviometria, piezometria), mapa potenciométrico local e pontos de água (nascentes) levantados por meio de dados secundários. Os resultados do modelo incluem uma descrição do ciclo hidrológico da região e de um esquema representativo, que avalia os caminhos

percorridos pela água desde a atmosfera, passando pela sua incidência nas superfícies dos diferentes terrenos (com escoamento superficial e infiltração), assim como pela sua interação com os diferentes tipos de solos, e por fim pela percolação através de fraturas nos maciços rochosos até alcançar novamente a superfície em córregos e áreas úmidas.

10.12.5 Sistemas Aquíferos Formação Sete Lagoas e Serra de Santa Helena

No contexto do Rodoanel de Belo Horizonte, os sistemas aquíferos da Formação Sete Lagoas e Serra de Santa Helena pertencentes ao Grupo Bambuí (item 10.5.2.3) encontram-se restritos à Alça Norte do traçado.

O sistema aquífero Formação Sete Lagoas consiste em um aquífero do tipo Fraturado Cárstico (Fr-K) composto por calcários e dolomitos com litotipos associados às variações faciológicas. Apresenta-se descontínuo, com porosidade secundária, de extensão regional limitada e com grau significativo de anisotropia (FIUME *et al.*, 2022).

Assim, este aquífero apresenta comportamento hidrogeológico cárstico-fissural, cujo fluxo é controlado por fraturas e cavidades de dissolução, de modo que as fraturas existentes nas rochas são o principal meio de transmissão de fluidos através da porosidade secundária. Além disso, podem apresentar dolinas cársticas que se intercomunicam com a subsuperfície, favorecendo a infiltração de água, com elevada produtividade. Assim, este aquífero apresenta elevado grau de carstificação que se reflete em valores de capacidade específica geralmente acima de 10 m³/h/m. A produtividade é alta, com valores de vazão entre 50 m³/h a 100 m³/h, tanto de modo aflorante, quanto subjacente. A transmissividade mostra valores entre 233 m²/dia a 7700 m²/dia e localmente o armazenamento específico é extremamente baixo (66,0 mm) (MOURÃO, 2007; (ANDRADE *et al.*, 2019; FIUME *et al.*, 2022).

Nesse contexto, para o aquífero Formação Sete Lagoas, verifica-se grande variabilidade nos padrões hidroquímicos, o que pode ser atribuída às diferenças de comportamento hidráulico e de interação com os litotipos constituintes. A condutividade elétrica e a dureza de suas águas, variam em amplo intervalo, apresentando valores médios de 427 µS/cm e 202 mg/L, respectivamente. Teores elevados em flúor são de ocorrência eventual e associam-se à presença de minerais fluoretados (apatita e/ou fluorita) (FIUME *et al.*, 2022).

Já o sistema aquífero Formação Serra de Santa Helena consiste em um aquífero do tipo essencialmente fraturado, condicionado por suas fraturas/fissuras existentes. É composto por uma sucessão de rochas sedimentares pelíticas, com predomínio de siltito laminado e argilito ardosiano. Apresenta-se livre a semiconfinado, de dupla porosidade e anisotrópico (FIUME *et al.*, 2022).

Este aquífero apresenta baixa produtividade, porém localmente moderada, com valores de vazão entre 10 m³/h a 25 m³/h. A profundidade mediana dos poços é 80 m, apresentando os mais diversos usos, mesmo que as águas tendem a apresentar dureza e condutividade elétrica mais elevadas. Os poços analisados indicaram os seguintes valores medianos de pH, dureza e condutividade elétrica: 7,4, 140 mg/L e 428 µS/cm (FIUME *et al.*, 2022).

10.12.6 Outorgas e Usos Insignificantes Subterrâneos

A **Figura 10.12-4** elaborada por meio do banco de dados disponível na plataforma IDE-SISEMA, ilustra a distribuição espacial dos usos subterrâneos identificados na AEL, diferenciando-os por cadastros de uso insignificante e outorgas de direito de uso.

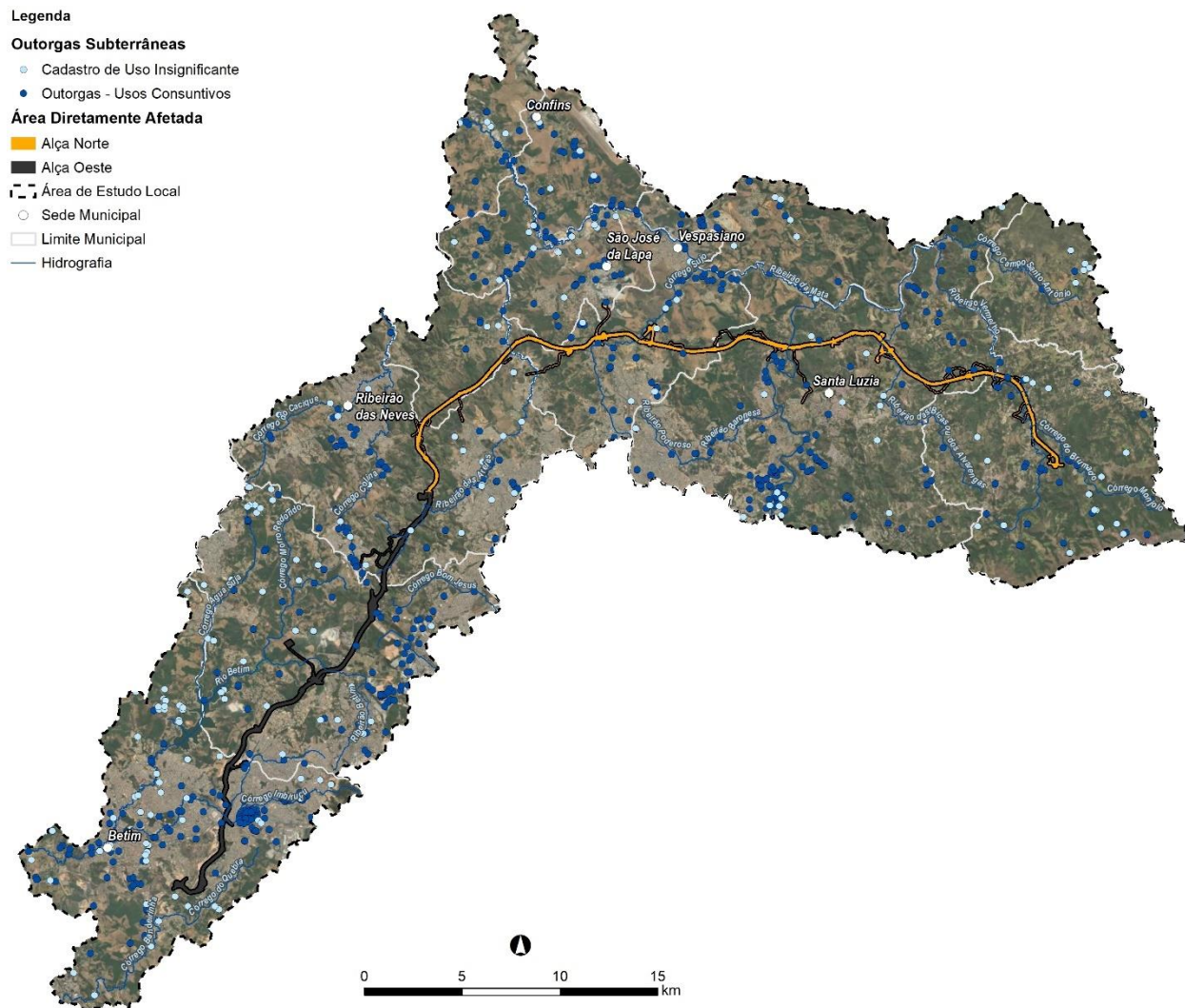


Figura 10.12-4 – Usos consuntivos subterrâneos na AEL (outorgas de direito de uso e cadastros de usos insignificantes).

Fonte: IDE-SISEMA, 2023.

Na AEL foram identificadas as seguintes finalidades de uso:

- Abastecimento Público;
- Aquicultura;
- Consumo humano;
- Consumo Industrial/Agroindustrial;

- Dessedentação animal;
- Extração Mineral;
- Irrigação;
- Pesquisa hidrogeológica;
- Remediação de áreas contaminadas;
- Outros;
- Sem informação; e
- Não consta.

A **Figura 10.12-5** e

Figura 10.12-5 – Resumo das vazões subterrâneas outorgadas e autorizadas como usos insignificantes na AEL. Categorização por finalidade de uso.

Quadro 10.12-1 resumem os dados de vazões outorgadas e cadastradas como uso insignificantes, discretizados por finalidade de uso.

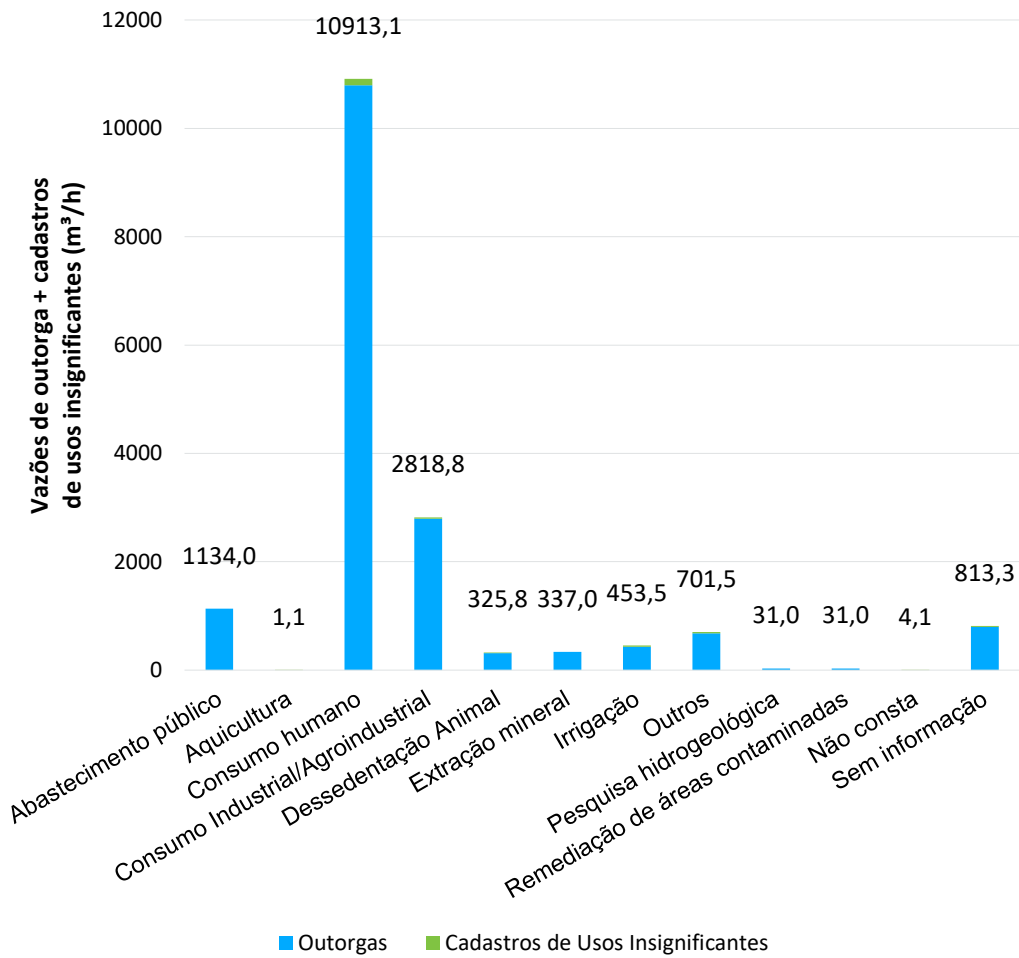


Figura 10.12-5 – Resumo das vazões subterrâneas outorgadas e autorizadas como usos insignificantes na AEL. Categorização por finalidade de uso.

Quadro 10.12-1 – Resumo das vazões subterrâneas outorgadas e de uso insignificante na AEL.

FINALIDADE DE USO	OUTORGAS		CADASTRO DE USO INSIGNIFICANTE		TOTAL DE USUÁRIOS	VAZÃO TOTAL (m³/h)
	Nº DE USUÁRIOS	VAZÕES OUTORGADAS (m³/h)	Nº DE USUÁRIOS	VAZÕES CADASTRADAS (m³/h)		
Abastecimento público	37	1.134,0	0	0,0	37	1.134,0
Aquicultura	0	0,0	2	1,1	2	1,1
Consumo humano	352	10.798,0	124	115,1	476	10.913,1
Consumo Industrial/Agroindustrial	91	2.793,0	19	25,8	110	2818,8
Dessedentação Animal	10	310,0	17	15,8	27	325,8
Extração mineral	13	337,0	0	0,0	13	337,0
Irrigação	14	434,0	19	19,5	33	453,5
Não consta	0	0,0	4	4,1	4	4,1
Outros	23	682,0	18	19,5	41	701,5
Pesquisa hidrogeológica	1	31,0	0	0,0	1	31,0
Remediação de áreas contaminadas	1	31,0	0	0,0	1	31,0
Sem informação	27	800,0	8	13,3	35	813,3
TOTAL	569	17.350	211	214,203	780	17.564,2

Quanto aos usos consuntivos, a AEL conta com 569 usos outorgados e 211 usuários cadastrados por uso insignificante, totalizando até 17.564,2 m³/h de água bruta passíveis de captação em poço subterrâneo ou em nascentes. Acerca das finalidades de uso identificados na figura e quadro acima, pode-se discernir:

Abastecimento Público

Foram identificadas 37 portarias de outorga na AEL cuja finalidade de uso é o abastecimento público, sendo apenas três dessas atribuídas a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. As demais portarias não possuem identificação do empreendedor. As vazões superficiais passíveis de captação totalizam 1.134 m³/h, sendo que as vazões atribuídas a COPASA somam 21,23 m³/h desse total.

O **Quadro 10.10-17** sumariza as principais informações das portarias atribuídas à COPASA identificadas na base do IDE-SISEMA.

Quadro 10.12-2 – Portarias de outorga para abastecimento público com captação superficial na AEL atribuídas à COPASA.

Nº PORTARIA	EMPREENDEDOR	MUNICÍPIO	MODO DE USO	VAZÃO (m³/h)
1303586/2022	Companhia De Saneamento De Minas Gerais - Copasa	Ribeirão Das Neves	Captação de água subterrânea por meio de poço tubular já existente	12
1306053/2022	Companhia De Saneamento De Minas Gerais – Copasa Mg - Escritório De Betim	Betim	Captação de água subterrânea por meio de poço tubular já existente	4,65

Nº PORTARIA	EMPREENDEDOR	MUNICÍPIO	MODO DE USO	VAZÃO (m³/h)
1306636/2022	Companhia De Saneamento De Minas Gerais - Copasa	Betim	Captação de água subterrânea por meio de poço tubular já existente	4,58

Consumo humano

Na AEL foram identificadas 352 outorgas de direito de uso com finalidade de uso para consumo humano e 124 cadastros de usos insignificantes para consumo em pequenas propriedades rurais e condomínios, que resultam em uma vazão cadastrada de captação de 10.913,10 m³/s. Esses usuários se situam em toda a região Área de Estudo Local.

Consumo Industrial/Agroindustrial

As outorgas para atendimento de consumos industriais / agroindustriais para a fabricação de produtos cerâmicos, plásticos, cimentícios, ferro gusa, embalagens e bebidas, consistem em 91 outorga de direito de uso e 19 cadastros de uso insignificante. Essas indústrias se localizam sobretudo nos municípios de Vespasiano, Pedro Leopoldo, Betim, Belo Horizonte, Santa Luzia e Contagem. A soma das vazões outorgadas e as autorizadas por meio de mecanismo de dispensa de outorga totalizam 2.818,80 m³/s.

Aquicultura e Irrigação

Aquicultura define-se pela atividade de produção de pescados em cativeiro. Na AEL, foram registrados 02 cadastros de uso insignificante de com finalidade de uso em aquicultura, totalizando uma vazão de captação de 1,10 m³/s

Dessedentação animal

Foram contabilizadas 10 outorgas e 17 cadastros de uso insignificantes, totalizando 325,80 m³/s de captação com fins de dessedentação animal.

Extração Mineral

O consumo de água pela atividade de mineração na AEL está ligado fundamentalmente à extração de areia, cascalho, pedregulho e argila, sendo identificados 10 direitos de outorga, o que resulta em vazões passíveis de consumo de até 337,0 m³/s.

Irrigação

No total para atividades relacionadas a irrigação para meios de produção agrícolas, tem-se direito de uso de cerca de 453,50 m³/s, divididos em 14 direitos de outorga e 19 cadastros de usos insignificantes.

Outros

Foram agrupadas as atividades de lavagem de veículos, recirculação de água, aspersão de vias e caminhão pipa, obras de infraestrutura e lavagem de saibro para resumir a apresentação desse item. Dessa maneira, foram contabilizadas 23 outorgas e 18 usos insignificantes declarados com tais finalidades de uso, as quais somam vazões autorizadas para captação de até 701,50 m³/s. Pela declaração dos empreendedores nas portarias de outorga, nota-se que a maioria são empresas de construção civil ou de mineração de matérias não-metálicos destinados à construção civil, tais como brita e cal.

Sem informação

Foram identificadas 27 outorgas de direito de uso e 08 cadastros de usos insignificantes, os quais não declararam a finalidade de uso, somando 813,30 m³/s em vazões de captação autorizadas e outorgadas. Apesar dessa ausência de informações, pelos nomes atribuídos aos empreendedores verifica-se que a maior parte dos usuários são condomínios residenciais, postos de gasolina, mineração, concreteiras, indústria de alimentos entre outros. A finalidade de uso “Sem informação” é atribuída às portarias de outorgas pelo próprio IGAM, cujos dados são disponibilizados via IDE-SISEMA.

Não consta:

Corresponde somente a usos insignificante cuja finalidade não consta nenhuma inscrição na base de dados do IDE-SISEMA. Essas vazões totalizam 4,10 l/s distribuídos em 04 usuários identificados.

De forma a oferecer uma percepção espacial das retiradas de recursos hídricos subterrâneos, a **Figura 10.12-5** mostra os totais outorgados e usos insignificantes conferidos aos usuários das sub-bacias que constituem a AEL (ver item 10.10.4).

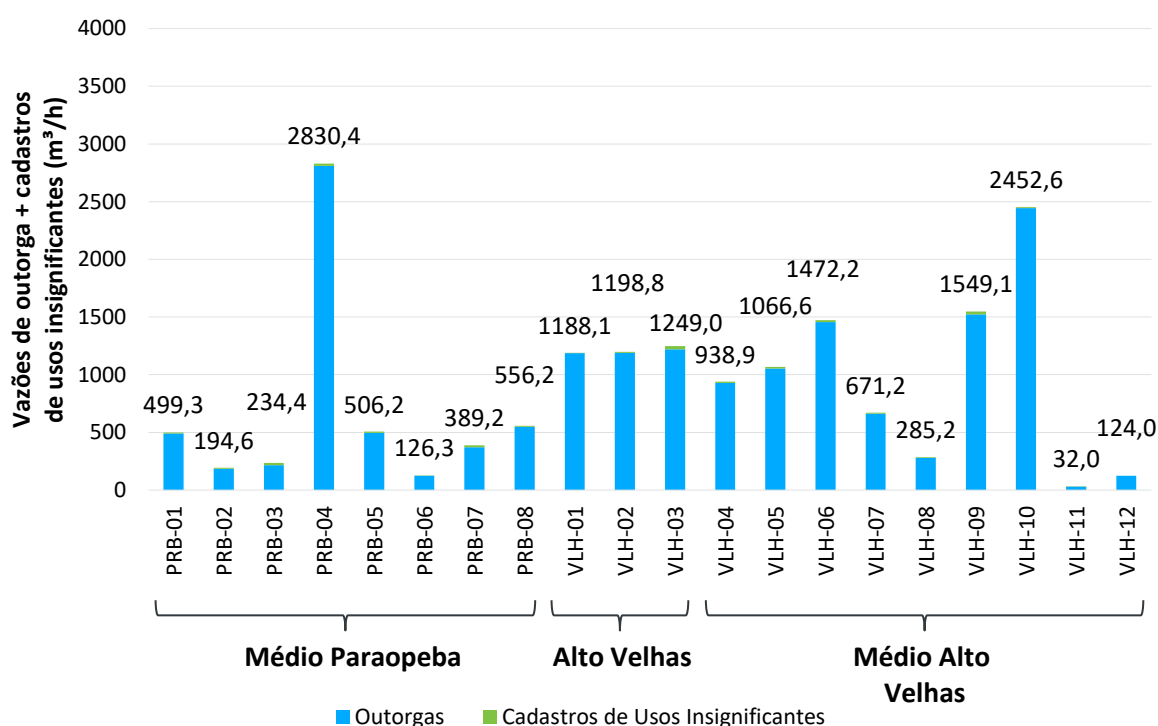


Figura 10.12-6 – Resumo das vazões subterrâneas outorgadas e autorizadas como usos insignificantes na AEL. Categorização por sub-bacia que constitui a AEL.

Observa-se que as sub-bacias PRB-04 (Ribeirão Riacho das Pedras) e VLH-10 (Rio das Velhas - INC 01) possuem as maiores vazões outorgadas ou cabíveis de dispensa de outorga, cerca de 2.830,4 m³/h e 2.452,6 m³/h, respectivamente. No caso da sub-bacia PRB-04, 1771,9 m³/h referem-se à consumo humano e 799,5 m³/h à consumo industrial/agroindustrial, ao passo que para a sub-bacia VLH-10 1422,8 m³/h cabem à consumo humano e 684,5 m³/h à consumo industrial/agroindustrial.

10.13 Qualidade das Águas Subterrâneas

10.13.1 Introdução

As características hidroquímicas das águas subterrâneas são influenciadas pela infiltração da água da chuva, através da sua interação com o solo e pelos processos geoquímicos e interações rocha-água. Em aquíferos onde o nível freático é profundo e a permeabilidade é moderada, a infiltração da água de chuva pode demorar alguns meses para atingir o aquífero, fato que atua como efeito regulador, diminuindo as variações sazonais de concentração de elementos químicos. Dessa maneira, pode se dizer que em um ponto específico, a composição química da água será influenciada tanto pela litologia local, quanto pelas litologias atravessadas por ela anteriormente (SILVA, 1984).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997, apresenta seus objetivos no Artigo 2º, onde se destaca o compromisso de “assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. Dentre seus instrumentos no Artigo 5º, destaca-se “o enquadramento dos corpos hídricos em classes, segundo os usos preponderantes das águas”. Além disso, estabelece no Artigo 9º que “o enquadramento deve assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes que se destinam”, e por fim, no Artigo 10º define que as classes desse enquadramento serão definidas por legislações ambientais.

A Lei Estadual nº 13.199/1999 estabelece que o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso, é um ato deliberativo dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Adicionalmente, as Resoluções nº 15/2001 e nº 91/2008 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), e a Deliberação Normativa Conjunta nº 06/2017, do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual De Recursos Hídricos (CERH), estabelecem que o enquadramento dos corpos d’água em classes devem seguir as características hidrogeológicas dos aquíferos, e os usos preponderantes especificamente definidos, devendo a proposta de enquadramento ser desenvolvida incluindo, preferencialmente, as etapas de diagnóstico, prognóstico e proposição de metas relativas às alternativas de enquadramento e programa de efetivação.

Ainda que o enquadramento dos corpos d’água subterrâneos seja um importante instrumento de gestão e planejamento de recursos hídricos e, apesar de existirem diretrizes e orientações supracitadas que direcionam a responsabilidade para os órgãos em âmbito nacional e estadual, até o presente momento, não foram definidas as classes de enquadramento para os aquíferos integrantes das bacias hidrográficas do rio das Velhas e Paraopeba, nas quais as áreas de estudo estão inseridas.

A Resolução CONAMA nº 396/2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. A referida resolução determina que o enquadramento das águas subterrâneas deve considerar seu uso preponderante, que pode ser consumo humano, dessedentação animal, irrigação e/ou recreação, bem como as características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas dos aquíferos.

No **item 10.12.6** é apresentada a distribuição dos usos dados às águas subterrâneas na área de estudo local (AEL) com base no cadastro de outorgas e no cadastro de uso insignificante. Tem-se que 66% dos usuários da água subterrânea, ou cerca de 12047,10 m³/h da vazão total utilizada na bacia é destinada para consumo humano e abastecimento público. Dessa forma, na ausência do enquadramento das águas subterrâneas, a caracterização da qualidade das águas tomará como base os limites de referência para o

uso consumo humano definidos pela CONAMA nº 396/2008, sendo este uso considerado como preponderante e o mais exigente/restritivo.

Ademais, a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde nº 888/2021 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Dessa forma, considerando os usos da água, é necessário que se observe ambas as regulamentações supracitadas, para as quais são definidos os padrões e os valores máximos permitidos que garantem sua segurança.

10.13.2 Metodologia

A seleção da região para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas levou em consideração as áreas interceptadas pelo traçado do empreendimento, que possuem pontos de captação para abastecimento público. Sendo assim, foi selecionada a sub-bacia Vargem da Flores definida como Área de Proteção Especial (APE) pelo Decreto Estadual nº 22.091/1982. As águas desta sub-bacia são utilizadas para o abastecimento hídrico da Região Metropolitana de Belo Horizonte e, por isso, a área é considerada como prioritária de conservação, uma vez que está susceptível à impactos advindos das atividades que envolvem a implantação e operação do empreendimento, necessitando de uma avaliação mais robusta no que concerne ao contexto hidrogeológico da região.

Foram realizadas campanhas de monitoramento de campo para coleta de dados primários no período seco, que na região acontece de abril a setembro, e no período chuvoso, definido de outubro a março. Assim, a campanha correspondente ao período seco ocorreu nos meses de junho e julho de 2023, enquanto a do período chuvoso ocorreu em dezembro de 2023. Os pontos de coleta foram definidos com base nas unidades hidrológicas inseridas no limite correspondentes à bacia Vargem das Flores, considerando poços de terceiros já existentes e com coleta autorizada pelos responsáveis. A coleta de água subterrânea foi realizada por meio de captação direta nos poços, sem a necessidade de realizar método de purga, que pode ser utilizado para limpeza dos poços. O método de captação direta foi adotado, uma vez que consistem em poços de captação contínua de água.

Como as coletas de água subterrânea foram realizadas em poços de terceiros, durante as campanhas de levantamento de campo de dados primários, não foram realizados testes de bombeamento para estimar a relação entre a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos disponível.

A fim de complementar e enriquecer o estudo do comportamento da qualidade dos corpos hídricos subterrâneos, foi realizada a avaliação de dados secundários existentes obtidos a partir do cadastro de poços tubulares do Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

10.13.3 Levantamento de Dados Secundários

Para a caracterização qualitativa dos corpos hídricos subterrâneos, foi realizada a avaliação de dados secundários existentes acerca de qualidade de água subterrânea na região. Ao contrário do que se observa para os dados de águas superficiais, percebe-se a inexistência, a nível nacional e, principalmente a nível estadual, de uma base de dados consolidada de monitoramento periódico da qualidade das águas subterrâneas nas áreas de interesse.

Foram obtidos dados a partir do cadastro de poços tubulares utilizados para captação de água e poços de abastecimento na região da bacia hidrográfica Vargem das Flores, através do Projeto Rede Integrada de

Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), de responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Apesar do Projeto RIMAS não ter como objetivo específico a avaliação qualitativa da água subterrânea, nele foi concebido sistema de alerta e controle de qualidade com medições anuais da condutividade elétrica, pH, potencial de oxirredução além de atender parcialmente aos parâmetros mínimos fixados pela Resolução CONAMA nº 396/2008 para o monitoramento.

De acordo com Mourão (2009), as coletas de dados do Projeto RIMAS são realizadas no momento de instalação do poço e a cada cinco anos, ou caso se verifique variação significativa na química da água. Ressalta-se, entretanto, que na área de interesse foi observada vulnerabilidade de dados secundários, principalmente temporal, uma vez que não há constância e periodicidade na coleta e monitoramento de parâmetros físico-químicos e biológicos nos poços cadastrados, além de carências de dados do ponto de vista espacial, o que não favoreceu uma análise robusta. Assim, os resultados observados a partir dos dados secundários forneceram aspectos que podem ser considerados rasos acerca do comportamento dos parâmetros físico-químicos da água na região.

A análise da qualidade da água na sub-bacia de Vargem das Flores contou com a seleção de dados de 33 poços tubulares situados na região que compreende o aquífero Granito-gnáissico do Complexo Belo Horizonte (**item 10.12.3**), que contemplaram coletas e análises no período de 1978 a 2019.

O bicarbonato (HCO_3) é uma das substâncias iônicas que usualmente está presente nas águas subterrâneas, e segundo Santos (2008), em águas doces, suas concentrações estão entre 50 e 350 mg/L, podendo chegar a 800 mg/L. Na área de estudo, as concentrações do bicarbonato (HCO_3) indicam variações de 33,6 a 86,7 mg/L.

Em relação ao cálcio (Ca), que é um dos principais constituintes da água e o principal responsável pela sua dureza, na Área de Estudo, apresentou concentrações de 5 mg/L a 12,9 mg/L. De acordo com Santos (2008), o potássio (K), apesar de ser uma substância de grande abundância em rochas, nas águas subterrâneas ocorre em poucas quantidades devido aos processos de troca iônica e adsorção aos quais está exposto, além da sua utilização por vegetais. Já o sódio (Na) tende a sofrer aumento a partir das zonas de recarga em direção aos pontos mais confinados ou ao exultório. Na Área de Estudo, o potássio e o sódio apresentaram concentrações variando de 0,05 a 3,0 mg/L, e de 0,05 a 14,5 mg/L, respectivamente.

Os parâmetros cálcio, potássio e sódio não apresentam limite de concentração estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2011 para nenhum dos usos estabelecidos, somente é apresentado valor de referência de potabilidade para o sódio, 200 mg/L, definido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021, que indica adequação ao uso para abastecimento humano.

O cloreto (Cl) apresentou concentrações de 0,3 a 7,5 mg/L, estando adequado ao limite definido em 250 mg/L para o consumo humano pela CONAMA nº 396/2008. O magnésio (Mg) que tem ocorrência associada principalmente a rochas carbonatadas, e que assim como o cálcio, é responsável pela dureza e pelo gosto salobro nas águas, apresentou concentrações variando de 2,4 a 9,7 mg/L.

Já o sulfato (SO_4), originado da oxidação do enxofre (S) presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados, apresentou variação de 0,1 a 54 mg/L. Em termos de condutividade elétrica, que indica a facilidade de a água conduzir corrente elétrica, estando diretamente relacionada ao teor de sais dissolvidos na forma de íons, foram identificadas variações de 58,0 a 207,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo satisfatória para diversos usos.

Os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), que indicam o peso total dos constituintes minerais presentes na água, apresentaram variaram de 58,0 a 179,1 mg/L. A turbidez, definida como a dificuldade da água em

transmitir a luz em razão da presença de sólidos em suspensão, apresentou concentrações entre 1,0 e 90,7 NTU, estando acima do limite de 5 NTU definido pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde para potabilidade.

A alcalinidade total, definida como a capacidade da água neutralizar ácidos como consequência da presença e/ou ausência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, indicou variação de 0,1 a 106,0 mg/L.

Os fluoretos (F) são encontrados, geralmente, em pequenas quantidades nas águas subterrâneas. Em teores de até 1,5 mg/L o elemento tende a ser benéfico à saúde, porém, valores acima desse são prejudiciais, causando manchas nos dentes e deformações nos ossos, sendo tóxicos ao ser humano e à vegetais (SANTOS, 2008). Na região, os fluoretos encontram-se em concentrações variando de 0,03 a 0,35 mg/L, abaixo do limite de 1,5 mg/L definido pela CONAMA nº 396/2008 e Portaria de Potabilidade nº 888/2021.

O ferro (Fe) em grandes concentrações na água pode fazer com que ela apresente propriedades organolépticas, como sabor e odor. Na região de interesse, variou na faixa entre 0,05 e 11,68 mg/L, estando em desconformidade com o limite de 0,3 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde para potabilidade.

O fosfato (PO_4) apresentou concentrações variando de 0,05 mg/L a 0,07 mg/L. Já o manganês (Mn), que se assemelha quimicamente ao ferro, porém com ocorrência menos abundante, apresentou concentrações de 0,01 a 11,5 mg/L, o que indica, em alguns pontos, a não conformidade ao limite de 0,1 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde para potabilidade.

Os nitratos (NO_3), variaram de 0,05 a 10,97 mg/L estando, em algumas amostras, acima do limite de 10 mg/L definido pela Resolução CONAMA nº 396/2008 para consumo humano. O ponto de amostragem em que se verificou a não conformidade com a legislação está localizado nos arredores da Lagoa do Nado, que sofre com poluição por fontes difusas e pontuais como dispositivos de drenagem pluvial, passagem de rede de esgoto e resíduos (DEODORO, 2010), além de estar próximo da Lagoa da Pampulha, que possui água contaminadas principalmente em virtude do lançamento de esgotos (SOUZA, 2019).

Os nitritos (NO_2), quando presentes nas águas podem ser indicativo de poluições recentes, variaram de 0,001 a 0,05 mg/L, estando em conformidade com limite de 1,0 mg/L estabelecido pela CONAMA nº 396/2008. A sílica (SiO_2) apresentou concentrações variando de 16,8 mg/L a 40 mg/L. Já o pH variou de 5,8 a 8,3, indicando tendência mais ácida para as águas subterrâneas. A dureza variou entre 15,2 e 91,8 mg/L, estando em abaixo do valor limite de 300 mg/L de $CaCO_3$ definido pela Portaria de Potabilidade nº 888/2021.

De forma geral, observou-se que os resultados analíticos se encontraram de acordo com os limites e padrões estabelecidos pelas legislações vigentes supracitadas, tendo em vista o uso para consumo humano. Na sub-bacia de Vargem das Flores, as não conformidades foram verificadas para os parâmetros manganês, ferro, nitratos, turbidez, e com vistas a viabilizar a potabilidade da água, a mesma deve ser submetida a um processo de tratamento adequado, de forma a diminuir as concentrações excedentes e os riscos à saúde humana.

Ademais, é preciso destacar que devido às vulnerabilidades previamente citadas, os dados secundários não exprimem uma condição geral do aquífero, mas sim uma característica pontual em um determinado momento, que pode ser influenciada por perturbações que interferem na qualidade da água, sendo necessário o acompanhamento constante e integrado dos seus arredores, principalmente pela importância dos mananciais utilizados para abastecimento público que estão inseridos na região.

10.13.4 Levantamento de Dados Primários

Apesar de serem uma importante fonte de dados para definição e caracterização hidroquímica das águas subterrâneas, os dados secundários apresentaram diversas vulnerabilidades, como o número escasso de pontos de amostragem e a inexistência de periodicidade de coletas em um mesmo poço.

A fim de complementar e enriquecer o estudo do comportamento da qualidade dos corpos hídricos subterrâneos, foi proposta a realização de duas campanhas de campo: uma no período seco (julho/2023) e a outra no período chuvoso (dezembro/2023), na área definida pela bacia Vargem das Flores (**Quadro 10.13-1**) interceptada pelo traçado do Rodoanel Metropolitano BH, em razão da utilização das águas de seus mananciais para abastecimento público, com descrito anteriormente. Os procedimentos visaram o atendimento ao Termo de Referência para Elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para Licenciamento Prévio do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte (2023).

Para a análise na bacia Vargem das Flores, foram selecionados nove pontos de coleta de água subterrânea situados na região que compreende o aquífero Granito-gnáissico do Complexo Belo Horizonte (item 10.12.3). O **Quadro 10.13-1** e **Figura 10.13-1** a apresentam os códigos e coordenadas dos pontos selecionados na área da bacia Vargem das Flores.

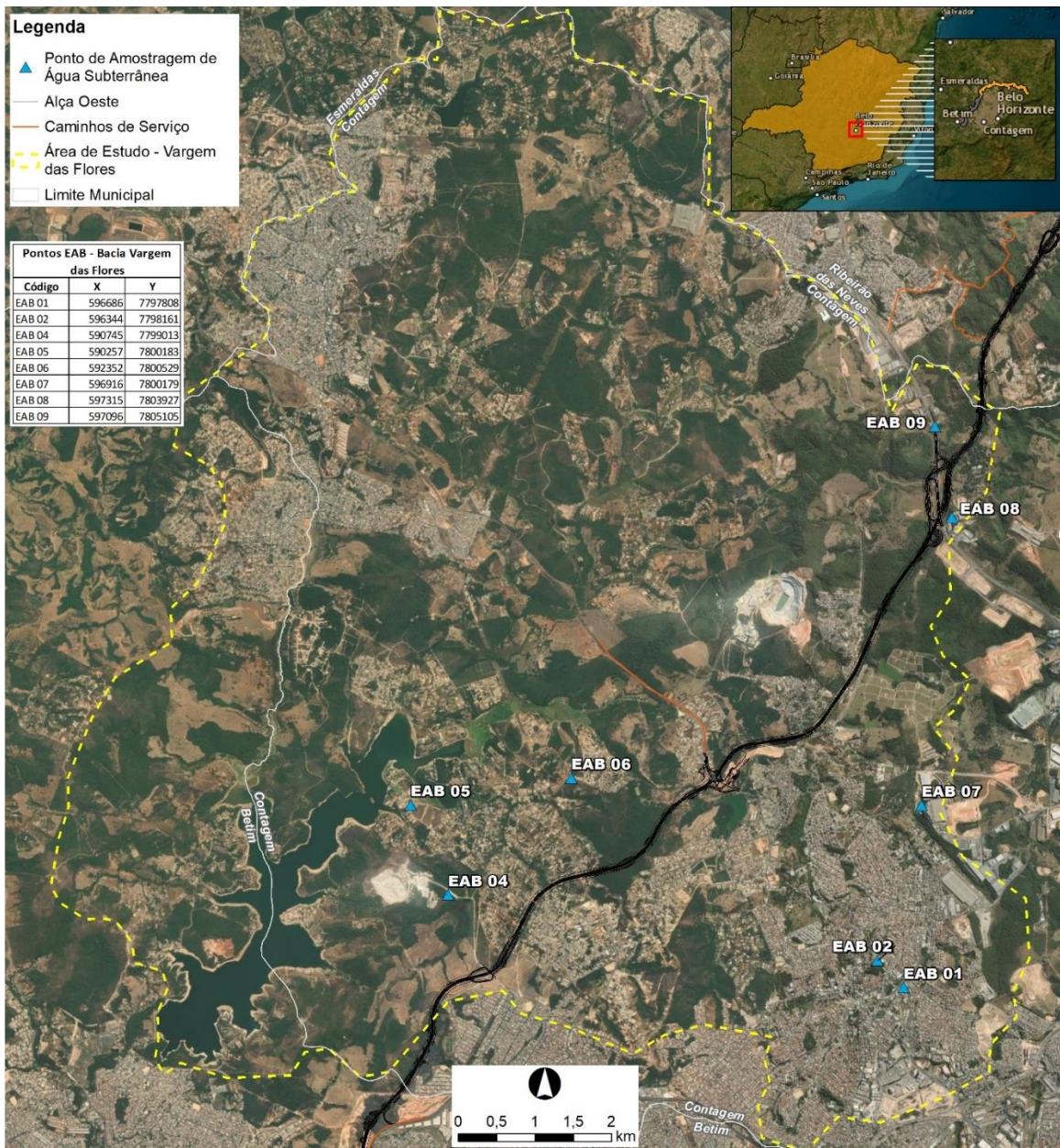


Figura 10.13-1 – Pontos de Coleta de Águas Subterrâneas na região que compreende a Área de Proteção Especial (APE) e aquífero que compreende a bacia Vargem das Flores.

Quadro 10.13-1 – Códigos, localização e coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de água subterrânea na bacia Vargem das Flores.

CÓDIGO	LOCALIDADE	UTM N	UTM E	DATA DA COLETA		NATUREZA
		SIRGAS 2000	UTM 23S	PERÍODO SECO	PERÍODO CHUVOSO	
EAB01	R. Manoel Pinheiro Diniz, 525 - Tres Barras, Contagem - MG, 32041-140	596686	7797808	20/07/2023	13/12/2023	Poço tubular
EAB02	R. Joaquim Camargos, 362 - Sede, Contagem - MG, 32041-440	596344	7798161	21/07/2023	13/12/2023	Poço tubular
EAB04	R. das Orquestras, 1 - Etn Impe Madeira, Contagem	590745	7799013	24/07/2023	13/12/2023	Poço tubular
EAB05	R. das Garças, 1220 - Solar do Madeira, Contagem - MG, 32065	590257	7800183	26/06/2023	18/12/2023	Poço tubular
EAB06	Propriedade particular no Condomínio Portal da Vila, Contagem - MG	592352	7800529	20/07/2023	18/12/2023	Poço raso
EAB07	TAMBASA, Via Manoel Jacinto Coelho Júnior, 1001 - Campina Verde, Contagem	596916	7800179	20/07/2023	13/12/2023	Poço tubular
EAB08	Rodovia da Beleza, Morro do Confisco, Belo Horizonte	597315	7803927	31/07/2023	18/12/2023	Poço tubular
EAB09	Sítio Gerizim - Rod. Pres. Juscelino Kubitschek, 1-259 - Vila Paris, Contagem	597096	7805105	24/07/2023	18/12/2023	Poço tubular

Ressalta-se que houve tentativa de amostragem de água subterrânea no ponto 3 (EAB03), que não foi bem-sucedida, pois não houve autorização da coleta pelo proprietário/responsável pelo poço. Dessa forma, optou-se por suprimir as características locais deste, uma vez que não foi encontrado outro poço disponível para realocação do ponto.

O **Quadro 10.13-2** apresenta os resultados referentes à campanha de seca e chuva dos corpos hídricos subterrâneos avaliados. Os parâmetros de amostragem foram definidos e analisados conforme os valores máximos permitidos e definidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e pela Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde nº 888/2021. Ressalta-se que as análises consideraram os usos preponderantes para consumo humano, cruzando as informações de usos do solo, quando pertinente, de forma a identificar e/ou justificar possíveis desvios dos limites físico-químicos nos corpos hídricos.

O **ANEXO 16 – Laudos Qualidade Águas Subterrâneas** contém os laudos laboratoriais com todos os parâmetros amostrados nas águas subterrâneas.

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	EAB01	EAB02	EAB04	EAB05	EAB06	EAB07	EAB08	EAB09	CONAMA nº396/2008	Portaria de Potabilidade nº 888/2021
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	Chuva		< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010		
Dibenzo[a,h]antraceno	Seca	µg/L	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	0,05	-
	Chuva		< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400	< 0,0400		
Diclorometano (Cloro de Metileno)	Seca	µg/L	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	20	20
	Chuva		< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20		
Endrin	Seca	µg/L	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	0,6	-
	Chuva		< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000		
Estireno	Seca	µg/L	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	20	-
	Chuva		< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0		
Etilbenzeno	Seca	µg/L	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	200	300
	Chuva		< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0		
Ferro (Fe)	Seca	µg/L	< 50	< 50	174,00	109,00	< 50	1230,00	89,00	163,00	300	300
	Chuva		< 50	< 50	248,00	< 50	85,00	345,00	238,00	54,00		
gama-BHC (Lindano)	Seca	µg/L	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	2	2
	Chuva		< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000	< 0,004000		
Hexaclorobenzeno	Seca	µg/L	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1	-
	Chuva		< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0		
Manganês (Mn)	Seca	µg/L	< 5,0	186,00	< 5,0	5,10	80,00	51,00	9,00	< 5,0	100	0,1

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	EAB01	EAB02	EAB04	EAB05	EAB06	EAB07	EAB08	EAB09	CONAMA nº396/2008	Portaria de Potabilidade nº 888/2021
	Chuva		< 0,5000	0,70	< 0,5000	< 0,5000	< 0,5000	< 0,5000	< 0,5000	< 3,0		
Soma de PCB's	Seca	µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,0007	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,0007	< 0,0007	0,5	-
	Chuva		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		
Temperatura Amostra in situ	Seca	°C	23,10	20,20	24,30	23,50	21,80	21,10	21,35	23,60	-	-
	Chuva		30,60	24,90	24,05	25,00	24,10	24,30	23,1	24,60		
Tetracloroeto de Carbono (Tetraclorometano)	Seca	µg/L	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	2	4
	Chuva		< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6		
Tetracloroetano (Percloroetileno/Tetracloroetileno)	Seca	µg/L	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	40	40
	Chuva		< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0		
Tolueno	Seca	µg/L	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	170	30
	Chuva		< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0		
Triclorobenzenos (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB + 1,3,5-TCB)	Seca	µg/L	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	20	-
	Chuva		< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15		
Tricloroetano (1,1,2 - Tricloroetano)	Seca	µg/L	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	70	4
	Chuva		< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0		
Turbidez in situ	Seca	NTU	1,20	1,10	0,23	1,76	0,31	0,80	0,80	0,33	-	5
	Chuva		2,87	< 0,10	10,50	0,27	0,37	3,70	0,45	0,13		
Vanádio (V)	Seca	mg/L	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	< 0,00500	0,01	50	-
	Chuva		< 0,00500	0,01	0,01	< 0,00500	0,01	0,01	0,01	0,01		
Xilenos Totais	Seca	µg/L	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	300	500
	Chuva		< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0		
Zinco (Zn)	Seca	µg/L	8,60	39,00	24,00	22,00	12,00	42,00	26,00	< 5,0	5000	5000

Parâmetro	Período de coleta	Unidade	EAB01	EAB02	EAB04	EAB05	EAB06	EAB07	EAB08	EAB09	CONAMA nº396/2008	Portaria de Potabilidade nº 888/2021
	Chuva		9,40	39,00	267,00	15,00	69,00	54,00	7,60	8,30		

O Alumínio (Al) na água subterrânea ocorre por meio do intemperismo de rochas e minerais que contém o elemento. Na Área de Estudo o alumínio apresentou picos de concentração nos pontos EAB01 e EAB06 durante o período seco, com valores de 281 e 320 µg/L, respectivamente (**Figura 10.13-2**). Tais valores se encontram acima de 200 µg/L definidos para uso da água para consumo humano, entretanto por terem sido observadas apenas durante o período seco, tais concentrações podem estar correlacionadas desvios pontuais, que não ocorrem com frequência.

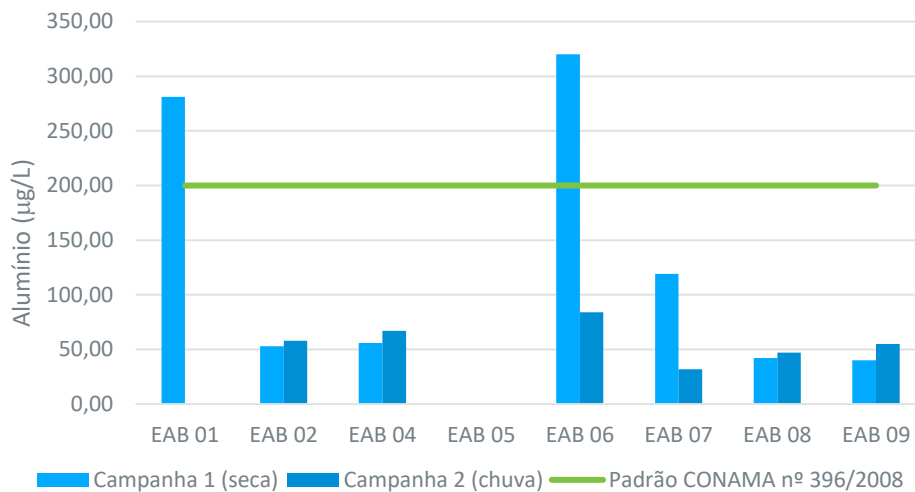


Figura 10.13-2 – Valores de alumínio em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

Santos (2008) aponta que o consumo de bário (Ba) em concentrações próximas a 600 mg é fatal ao ser humano, uma vez que seu uso excessivo causa bloqueio nervoso e/ou aumento da pressão sanguínea por vasoconstrição. As amostragens do parâmetro indicaram que a concentração variou de 14 a 459 µg/L no período seco, e de 10 a 440 µg/L no período chuvoso (**Figura 10.13-3**), bem abaixo do valor estabelecido na Resolução CONAMA n° 396/2008.

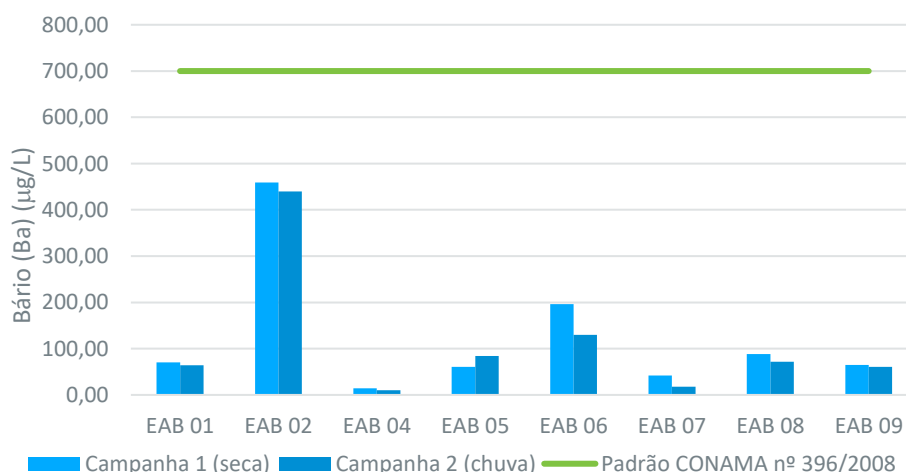


Figura 10.13-3 – Valores de bário em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

O cobre (Cu) que é essencial para plantas e animais, porém ocorre nas águas subterrâneas em teores inferiores a 1mg/L. Quase todo cobre ingerido pelo ser humano é eliminado, entretanto, em altas concentrações pode causar hemocromatose. As amostragens do parâmetro indicaram variação de 3,5 a

8,9 µg/L no período seco, e de 4,4 a 13 µg/L no período chuvoso (**Figura 10.13-4**), estando abaixo do limite definido pela legislação, que é de 200 µg/L, que por estar muito diferente do observado, não foi possível plotar no gráfico da **Figura 10.13-4**.

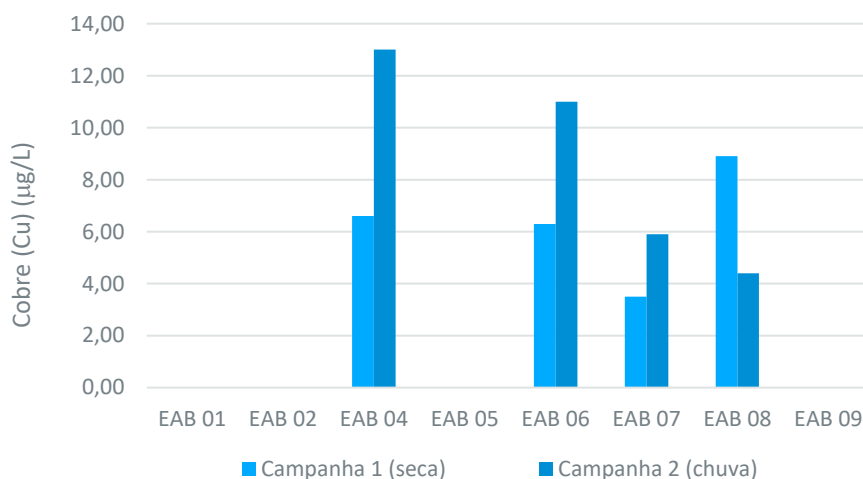


Figura 10.13-4 – Valores de cobre em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

A condutividade elétrica é um bom parâmetro para acompanhar os processos de diluição, e as relações iônicas, para caracterizar as interações com o meio (MESTRINHO, 2008). Santos (2008) descreve a condutividade como a facilidade de uma água conduzir corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. Na área, o parâmetro variou de 28,1 a 130,9 µS/cm durante o período seco, e de 94 a 157,1 µS/cm durante o período chuvoso (**Figura 10.13-5**). Vasconcelos, Cajazeiras e Souza (2019) comentam que variações temporais de condutividade elétrica podem indicar diferentes origens das águas subterrâneas e/ou indicar possíveis impurezas na coluna d'água de poços.

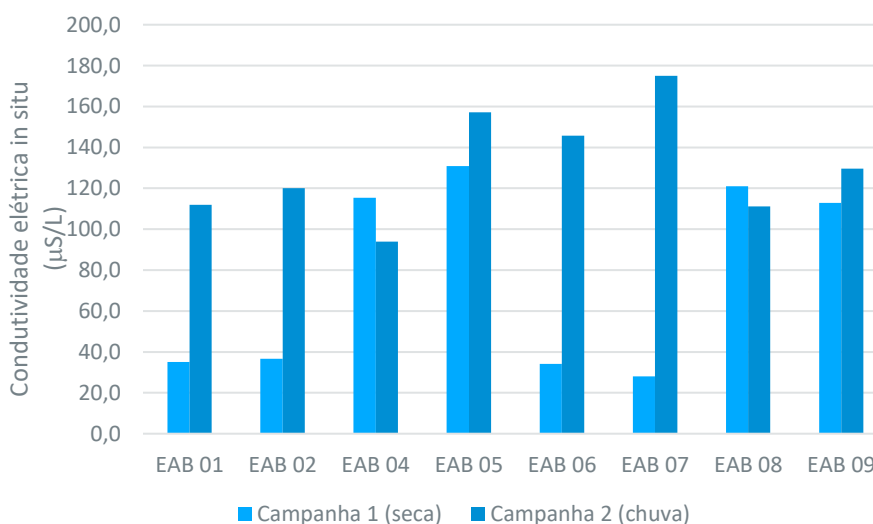


Figura 10.13-5 – Valores de condutividade elétrica em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

O ferro (Fe), segundo Von Sperling (1996) pode ter ocorrência natural, pela dissolução de compostos do solo e rochas. Santos (2008) comenta que altos teores de ferro nas águas subterrâneas podem estar associados à ferrobactérias ou mesmo à corrosão do revestimento ou filtro do poço. Na região, as

concentrações variaram entre 89 e 1.230 µg/L durante o período seco, e de 54 a 345 µg/L durante o período chuvoso (**Figura 10.13-6**). Verificou-se picos de concentração no ponto EAB07, as quais excederam em mais de três vezes os limites definidos pela Resolução Conama nº 396/2008. Essa não conformidade pode estar correlacionada as interações hidrogeoquímicas, características da região, que inclusive foi observada durante os dois períodos amostrados (seco e chuvoso).

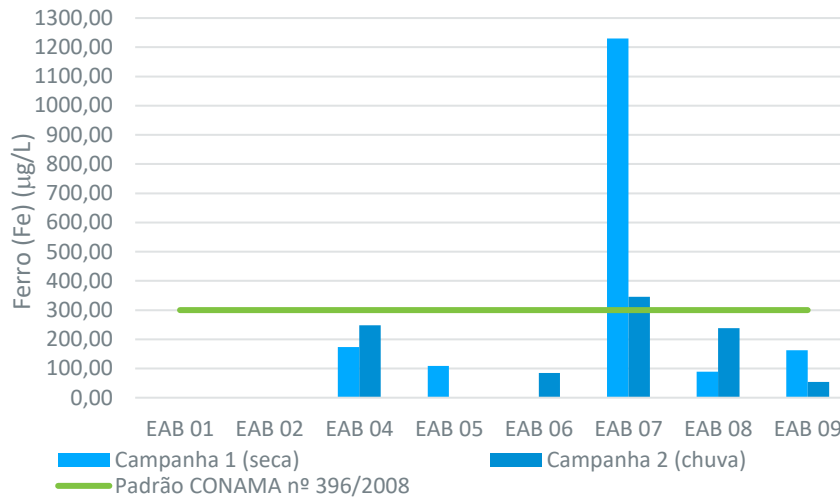


Figura 10.13-6 – Valores de ferro em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

O manganês (Mn) assemelha-se ao ferro, tanto quimicamente como em termos de ocorrência nas águas subterrâneas. O elemento pode ocorrer de forma natural no meio e, também, pela ocorrência de atividades antrópicas, como despejos industriais (VON SPERLING, 1996). Na área, apresentou concentrações variando de 5,1 a 186 µg/L durante o período seco, e de 7,9 a 86 µg/L durante o período chuvoso (**Figura 10.13-7**), com pico no ponto EAB02, com concentração de 186 µg/L. Essas concentrações elevadas podem estar correlacionadas as interações hidrogeoquímicas, características da região, nos dois períodos amostrados.

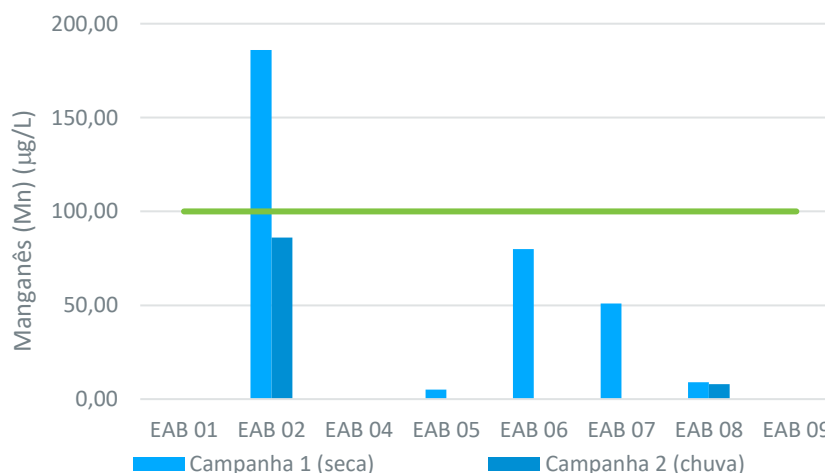


Figura 10.13-7 – Valores de manganês em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

O nitrato é muito móvel e altamente deliquescente, podendo ser removido das camadas superiores do solo para a água (BOWER, 1978). O elemento ocorre em pequenas concentrações, representando o estágio

final da oxidação da matéria orgânica, podendo teores superiores a 5 mg/L serem indicativo de contaminação por atividades antrópicas, tais como esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais etc (SANTOS, 2008). Na área de estudo foi verificado pico de concentração de nitrato no ponto EAA01 (**Figura 10.13-8**), que está localizado em uma área com considerável urbanização. Neste ponto, foi atingindo valor de 11.674 µg/L durante o período de chuva, ultrapassando o limite definido pela legislação para consumo humano.

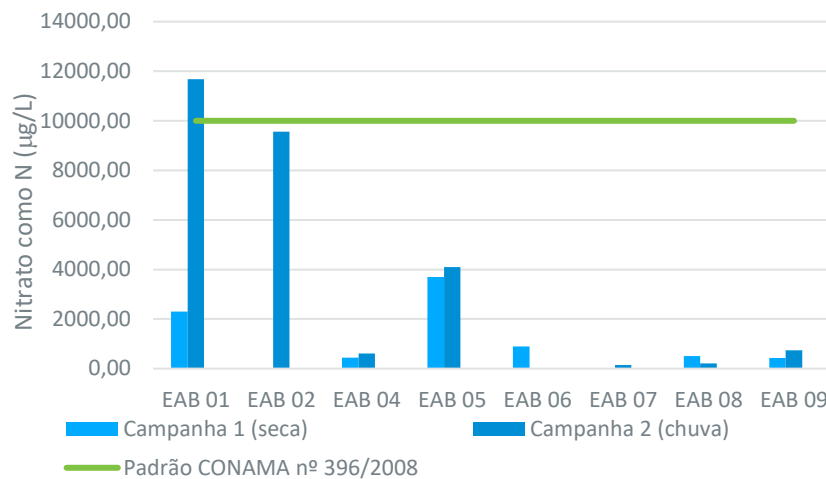


Figura 10.13-8 – Valores de nitrato em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

O oxigênio dissolvido (OD) é um indicador que em águas subterrâneas tende a apresentar pequenas concentrações, entre 0 e 5 mg/L, mas não há limite de concentração especificado pela CONAMA 396/2008. A maior parte do OD na água que infiltra no solo é consumida na oxidação da matéria orgânica durante a trajetória da água até a zona de aeração (SANTOS, 2008). O OD variou de 1,03 a 6,8 mg/L durante o período seco, e de 3,91 a 7,59 mg/L durante o período chuvoso (**Figura 10.13-9**).

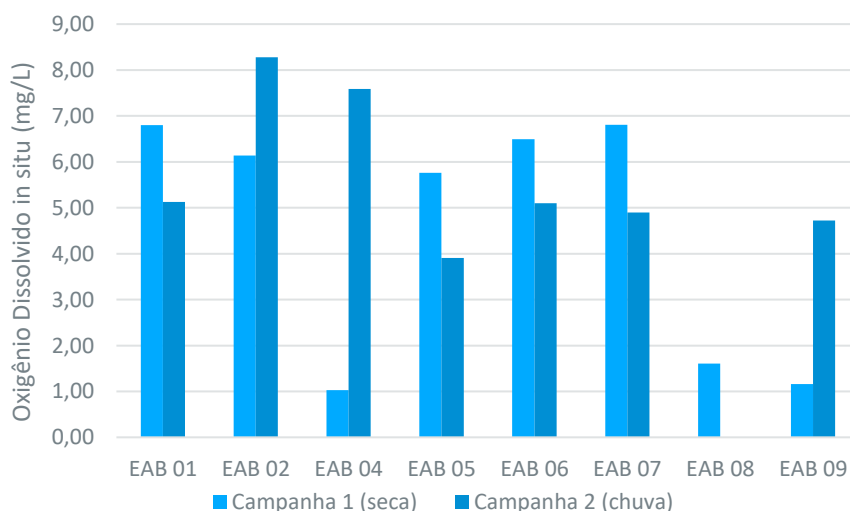


Figura 10.13-9 – Valores de oxigênio dissolvido em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio H⁺, dando uma indicação sobre a acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, na qual atinge uma faixa de 0 a 14 (VON SPERLING,

1996). Santos (2008) aponta que em águas subterrâneas, o pH tende a variar entre 5,5 e 8. Na Área de Estudo, o pH variou de 4,25 a 7,18 durante o período seco, e de 5,97 a 7,53 mg/L durante o período chuvoso (**Figura 10.13-10**).

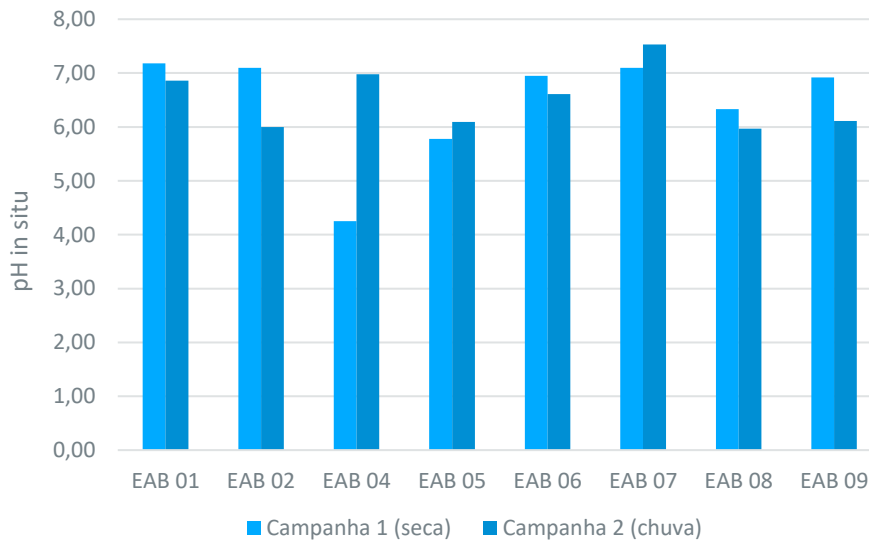


Figura 10.13-10 – Valores de pH em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, conferindo aparência turva a mesma (VON SPERLING, 1996). Segundo Santos (2008), isso se dá pela presença de sólidos em suspensão, como silte, argila, matéria orgânica, microrganismos e partículas inorgânicas. Verificou-se que na área de estudo ocorreu pico de turbidez no ponto EAB04 (**Figura 10.13-11**), que apresentou 10,5 UNT, estando acima do limite de 5 UNT definido pela Portaria de Potabilidade nº 888/2021 do Ministério da Saúde. Essa alteração pode estar correlacionada ao período chuvoso, dada a sua discrepância em relação ao período seco.

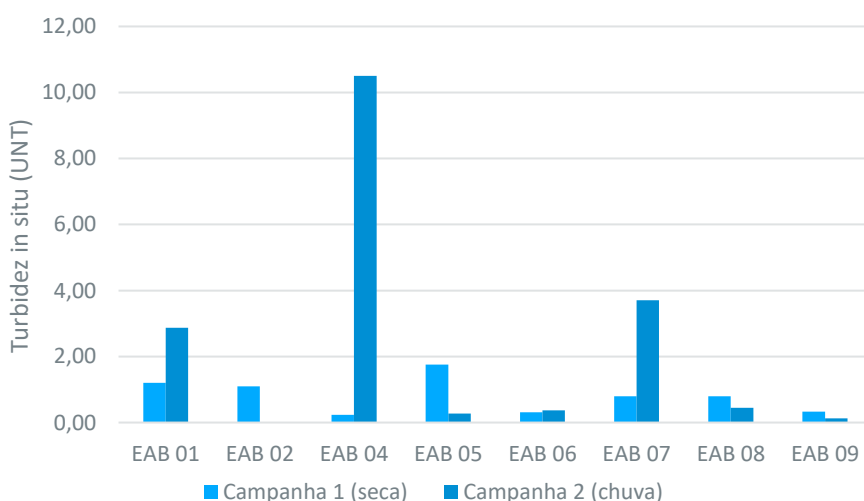


Figura 10.13-11 – Valores de turbidez em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

O zinco (Zn) é o mais solúvel dentre os metais pesados, sendo seus sais altamente resistentes na água. Em águas subterrâneas, sua concentração é geralmente inferior a 10 mg/L (MATHESS, 1973). Na Área

de Estudo, variou de 8,6 a 42,0 durante o período seco, e de 7,6 a 267 µg/L durante o período chuvoso (Figura 10.13-12).

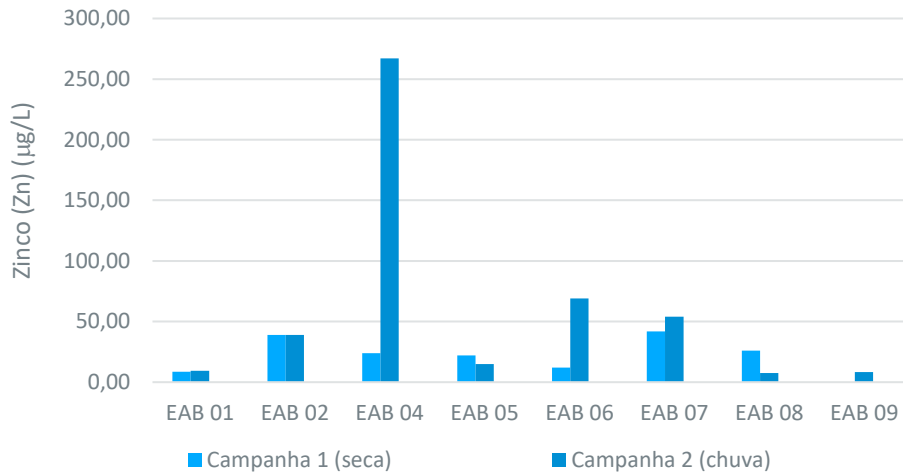


Figura 10.13-12 – Valores de zinco em água subterrânea nas estações de amostragem avaliadas.

As demais substâncias e compostos amostrados apresentaram concentrações abaixo dos limites de detecção dos respectivos aparelhos de medição, dessa forma, não foram expostos graficamente.

De forma geral, foram verificadas não conformidades com os limites definidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e pela Portaria de Potabilidade nº 888/2021 em parâmetros como alumínio, ferro, manganês, nitrogênio e turbidez, de forma similar ao que foi observado a partir dos dados secundários. Assim, os valores elevados de alumínio, ferro e manganês podem indicar o *background* geoquímico de água subterrânea da região.

10.14 Áreas Contaminadas

10.14.1 Introdução

Em 1988, a Constituição da República Federativa do Brasil, não trouxe expressamente a terminologia “Desenvolvimento Sustentável”, entretanto o Art. 225 estabeleceu este conceito:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, Art. 225).

Assim, já foi possível assimilar que o “meio ambiente ecologicamente equilibrado” estava sendo tutelado, ou seja, não se cogitava manter o meio ambiente de forma intocável, pois já era evidente a necessidade dos seres humanos de usufruir de recursos naturais para sua própria existência.

Em 2010, foi instituída a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, a qual estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. No contexto a terminologia “contaminação” foi definida como:

Art. 1 VI. 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 (DN COPAM/CERH nº 02/2010).

Segundo a U.S. Environmental Protection Agency (USEPA, 2008), a contaminação do solo pode ocorrer devido a uma variedade de atividades e eventos intencionais, acidentais ou naturais. Os tipos de áreas contaminadas podem ser categorizados de várias maneiras, muitas vezes com base no nível e tipo de contaminação e nas regulamentações sob as quais são monitorados e recuperados. Assim, áreas contaminadas incluem:

- Locais contaminados por manuseio ou descarte inadequado de materiais e resíduos tóxicos e perigosos;
- Locais onde materiais tóxicos podem ter sido depositados como resultado de desastres naturais ou atos de terror;
- Locais onde o manuseio inadequado ou acidentes resultaram em liberação de materiais tóxicos ou perigosos que não são resíduos.

10.14.2 Metodologia

Nesse item foi realizado o levantamento de áreas contaminadas por meio de base de dados secundários de domínio público e pesquisa bibliográfica pertinente. Foi levantado o cadastro de áreas contaminadas e avaliadas a potencialidade de contaminação das águas subterrâneas e dos solos, a depender da litologia associada a cada região.

10.14.3 Cadastro de Áreas Contaminadas

O cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas do IDE-SISEMA (2020) indica que na Área de Estudo Local do Rodoanel Metropolitano BH existem 71 estabelecimentos cadastrados como fontes de contaminação de água subterrânea e/ou solos. Além disso, o cadastro de Áreas Contaminadas Por Tóxicos do IDE-SISEMA (2021), indica que na AEL existem, ainda, 17 corpos hídricos cadastrados com níveis de contaminação variando de baixo, médio a alto. Ambos os dados levantados estão disponíveis no **ANEXO 17 – Quadro Áreas Contaminadas**.

10.14.4 Potencialidade de Contaminação da Água Subterrânea

No caso da implantação do empreendimento do Rodoanel Metropolitano BH, tendo como base as categorias de áreas contaminadas propostas pela USEPA (2008), pode se dizer que a Área de Estudo Local (AEL) estará suscetível à possível derramamento acidental durante a fase de construção e operação. Nesse sentido, podem ocorrer derramamentos decorrentes da operação da rodovia, tais como óleos e graxas, demais hidrocarbonetos, pesticidas, dentre outros.

Solos contaminados podem lixiviar produtos químicos tóxicos para águas subterrâneas ou superficiais próximas. Esses materiais podem ser absorvidos por plantas e animais, contaminar o abastecimento de água potável humana ou volatilizar e contaminar o ar interno em edifícios sobrejacentes. Em áreas secas, a contaminação do solo pode ser ainda mais distribuída através de poeiras transportadas pelo vento. Uma vez que a contaminação do solo migra para os cursos de água, também pode acumular-se em sedimentos, o que pode ser muito difícil de remediar e pode afetar os ecossistemas locais e a saúde humana (USEPA, 2008).

Os seres humanos podem ser prejudicados pelo contato com materiais tóxicos e perigosos em um local contaminado através da exposição a solos, ar, águas superficiais e subterrâneas contaminadas. Quando solos contaminados não são adequadamente gerenciados, os humanos e a vida selvagem podem ser expostos a contaminantes por inalação, ingestão ou contato dérmico. Os riscos da exposição humana são específicos do local e difíceis de generalizar a nível nacional. Os efeitos potenciais podem ser agudos ou crônicos (USEPA, 2008).

No contexto de implantação do empreendimento, a bacia Vargem das Flores consiste em uma região prioritária, por compreender uma Área de Proteção Especial (APE), que contém importantes mananciais, que, inclusive são utilizados para compor o sistema de abastecimento hídrico da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Portanto essa área prioritária ambientalmente, é de maior preocupação devido à sua propensão de expor, com maior facilidade, os seres humanos e/ou ao meio ambiente à impactos por ações antrópicas. Estes locais deverão ser cuidadosamente investigados e monitorados para evitar que materiais perigosos causem danos aos seres humanos, vida selvagem ou sistemas ecológicos.

Frente à sensibilidade ambiental do local e a presença do reservatório de abastecimento hídrico, foi desenvolvido o **ANEXO 18 – Transporte de Contaminantes Vargem das Flores**, com objetivo de apresentar premissas e hipóteses de possível contaminação por derramamento/ou acidente na região de interesse e a realização de modelagem matemática de transporte de contaminantes por meio do software Visual MODFLOW Flex. O transporte de contaminantes foi obtido a partir de equações de diferenças finitas de simulações hipotética de transporte de partículas e de contaminação por Benzeno, que por sua vez, está presente em combustíveis como gasolina e diesel. Ressalta-se que, o cenário hipotético de contaminação por Benzeno é considerado crítico, por tratar-se de uma substância comprovadamente

carcinogênica com padrão de potabilidade de 5 µg/l, determinado pela PORTARIA GM/MS Nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde, e por isso foi escolhido como cenário principal a ser simulado.

O **ANEXO 16 – Laudos Qualidade Águas Subterrâneas** contemplou a caracterização física e geoquímica do solo e das águas subterrâneas a partir de ensaios laboratoriais do tipo TPH Fingerprint e do estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) com base na Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011. Já os Valores de Prevenção e Investigação seguiram a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02 de 08 de setembro de 2010.

Como conclusões principais da modelagem de transporte de contaminantes da bacia Vargem das Flores (**ANEXO 18**), estima-se que a região a bacia apresenta lençol freático mais profundo a 80,0 m de profundidade nos aquíferos fraturados e, mais rasos a 10,0 m de profundidade nos aquíferos granulares, aproximadamente. Em um caso hipotético de contaminação, as plumas poderão apresentar dispersão longitudinal, avançando, em média, 50 metros a cada 5 anos na região do Canteiro de Obras. Na região do traçado, as plumas apresentaram dispersão longitudinal média de 222,00 metros em 1 ano (365 dias) com pequenas alterações para os próximos 5 anos e 10 anos modelados.

Pela evolução temporal das plumas em profundidade, concluiu-se haver elevada persistência da contaminação por Benzeno nos sistemas aquíferos granulares e fraturado, uma vez que, a concentração máxima aceitável do Benzeno de 0,005 mg/L, definida por lei, poderá alcançar até 90 metros de profundidade e, inclusive, se estender mais do que 10 anos, que foi o período proposto nesse estudo hipotético.

No transporte de partículas, observou-se que um fluxo hipotético superficial tende a chegar ao reservatório Vargem das Flores no prazo de poucas horas, a depender do local de lançamento da partícula, dada a elevada densidade de drenagem superficial existente na região. Em contrapartida, o fluxo de transporte subterrâneo apresentou uma distância, na ordem de 2,50 quilômetros, entre todas as plumas hipotéticas e o reservatório Vargem das Flores, no período de 10 anos (3650 dias), de distância. Dessa maneira, pelos resultados obtidos, não é esperado que no caso de acidentes na rodovia envolvendo produtos perigosos, o reservatório Vargem das Flores seja atingido por meio do fluxo subterrâneo de contaminantes.

10.15 Síntese Conclusiva

Diante do diagnóstico efetuado para o capítulo de Clima e Meteorologia, conclui-se para a área do empreendimento que o traçado do Rodoanel Metropolitano de Belo Horizonte está inserido na região de Clima Tropical do Brasil Central. Existem duas estações bem definidas: um período chuvoso que se estende de outubro a março e um período seco que se estende de abril a setembro. A ZCAS é responsável pelas precipitações pluviométricas mais volumosas nas regiões centro oeste e sudeste do Brasil.

Em relação aos fenômenos extremos, os órgãos competentes indicam que o fenômeno *El Niño* iniciou atividade em meados de 2023, após seis anos da última presença. Esse fenômeno causa mudanças nos padrões climáticos a partir de um aquecimento maior das águas do oceano pacífico nordeste, e dura, de acordo com a média histórica, de dois a cinco anos. Isso significa que as temperaturas irão aumentar, o que favorece o aparecimento de zonas de baixa pressão mais intensas e conseqüentemente chuvas mais fortes. O Rodoanel Metropolitano BH poderá ser afetado em sua instalação/operação pela conseqüência citada e atenção redobrada deverá ser dada ao cronograma da obra (cuidado com o verão) e aos elementos de drenagem. Chuvas fortes podem gerar mais riscos à obra e aos envolvidos na construção.

Os parâmetros meteorológicos analisados de “precipitação”, “temperatura”, “umidade relativa do ar” não apresentam grandes diferenças entre as estações ao longo da média histórica e têm valores amenos. Em relação aos “ventos”, elemento físico importante para análise da poluição atmosférica, constatou-se que em média têm baixa intensidade/velocidade na região (aproximadamente 1,5 m/s), o que significa que a dispersão atmosférica de poluentes tende a ser mais baixa na região. Por fim, os ventos analisados na estação Belo Horizonte em média são de leste (origem leste, destino oeste), o que significa que eventuais plumas de poluentes do Rodoanel Metropolitano BH tenderão a atingir municípios à esquerda do traçado, como Betim, ao menos na porção mais inferior do traçado.

Diante dos dados de Qualidade do Ar coletados no período de seca (pior qualidade do ar) a partir das informações de monitoramento coletadas em 2020, as duas estações utilizadas e localizadas em Betim e São José da Lapa apresentaram IQAr majoritariamente “bom” para os poluentes MP₁₀, MP_{2,5}, SO₂ e O₃. Em relação aos dados primários, apenas três pontos apresentaram resultados acima dos limites legais, sendo dois deles localizados em Betim (QAR-06 e QAR-07) e um em Vespasiano (QAR-03). O IQAr calculado para os pontos monitorados foi majoritariamente “moderado”, tendo sido determinado principalmente pelos poluentes MP₁₀ e MP_{2,5}, os quais apresentaram as piores concentrações. É importante salientar que o IQAr “ruim” apresenta concentração de poluente abaixo do limite legal da Resolução CONAMA e que o IQAr “muito ruim” apresenta concentração de poluente acima do limite legal, o que significa que a análise do IQAr e dos Padrões de Qualidade do Ar deve ser criteriosa e compreender a diferença entre esses dois modos de avaliação, ainda que ambos estejam interligados.

Em relação à vulnerabilidade climática dos municípios afetados, constatou-se que Vespasiano e São José da Lapa têm os maiores índices de vulnerabilidade climática dentre as localidades a serem interceptadas pelo Rodoanel Metropolitano BH (“muito alta” e “extrema”, respectivamente). Os demais municípios que interceptam o traçado apresentaram vulnerabilidade “moderada”. Ressalta-se que os municípios que possuem maior vulnerabilidade climática são mais suscetíveis aos riscos e efeitos adversos de um clima instável.

Em relação ao tema de Ruídos, a etapa que poderá gerar maiores níveis de ruído será a etapa de instalação do empreendimento, decorrente das atividades construtivas da rodovia. Na operação, a movimentação dos veículos também gerará ruídos. Considerando a análise realizada, nos 21 pontos ao longo do traçado, pode-se observar que os quatro pontos localizados em área rural apresentaram resultados acima do limite legal, tanto no período diurno quanto noturno. Além disso, na área urbana dois pontos ficaram acima do limite: RDV-01 em Sabará, e RDV-06 em Vespasiano. Segundo a norma técnica

NBR 10151:2019, os usos e ocupações de solo que apresentam os limites de ruídos mais baixos para o conforto humano são: a área de residências rurais e a área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas. Esses dois usos juntos compreendem 23,3% de toda a Área de Estudo em Detalhe. Devido à proximidade da futura fonte de ruído à população especialmente nesses trechos, sugere-se a implantação de tecnologias de contenção de ruídos nesses locais.

Em relação ao tema de vibrações, foi possível observar que os 21 pontos avaliados ficaram restritos ao limiar da percepção humana, ou seja, abaixo de 2,0 mm/s (PPV), quando poderia ser perceptível e/ou causar algum tipo de dano estrutural para ruínas e monumentos antigos. Valores de vibração pelo terreno acima de 5,0 mm/s poderia ser incomodativa e estaria no limiar de causar algum risco de danos às construções convencionais, não sendo o caso dos pontos avaliados. Entretanto, as atividades de escavação, principalmente, em rocha que podem requerer detonações com uso de explosivos devem ser devidamente avaliadas e, dependendo da sua localização, próximas a áreas urbanas densamente povoadas, devem ser utilizadas outras formas de escavação, como por exemplo, detonação de rocha a frio (por exemplo: uso de argamassa expansiva).

Em relação aos aspectos geológicos, o empreendimento está inserido na porção sudeste do Cráton do São Francisco, região de ocorrência de três domínios litoestratigráficos principais. O Complexo Belo Horizonte que se caracteriza por ortognaisses de idades Mesoarqueanas e granitoides de caráter diversos. Essa unidade aflora em cerca de 79,09% da AEL e é cortada por todas as alças. O Quadrilátero Ferrífero que representa uma importante província metalogenética, formada por sequências metassedimentares e metavulcanossedimentares de idades Paleoproterozoicas. Os litotipos da província afloram em 2,56% da AEL, no extremo leste da Alça Norte. O Grupo Bambuí que corresponde a associações pelíticas e carbonáticas de idades Neoproterozoicas. Essas rochas interceptam a porção setentrional da Alça Norte ocupando 16,63% da extensão da Área de Estudo Local. Sob o ponto de vista do potencial fossilífero, este último domínio é o único que apresenta potencial positivo para a ocorrência de fósseis.

No âmbito dos direitos minerais requeridos, foram registrados 411 processos na AEL, sendo que 113 deles estão na AED e 56 se inserem na ADA. Ressalta-se que a distribuição dos processos minerários na região em questão espelha o estágio de desenvolvimento da atividade minerária regional e as características metalogenéticas dos terrenos. Os processos requeridos para ferro, manganês e bauxita se concentram na região do Quadrilátero Ferrífero, enquanto os requeridos para calcário se associam ao Grupo Bambuí e aos granito-gnaisses que se localizam, majoritariamente, no Complexo Belo Horizonte. Os direitos minerários requeridos para areia, principal substância requerida na AEL, ocorrem associados principalmente às coberturas aluvionares.

No que concerne à verificação e caracterização dos processos minerários que tramitam na ANM e que estão contemplados na AEL, deve-se enfatizar aqueles que interferem diretamente ao longo do traçado do Rodoanel Metropolitano BH, mais especificamente na AED e ADA estabelecidas. Atenção especial se deve dar a região do empreendimento que apresenta processos minerários nas fases de Concessão de Lavra e Licenciamento que cortam diretamente o referido traçado. Tais processos minerários deverão ser alvo de acompanhamento e tratativas especiais junto aos seus titulares para se verificar e avaliar as interferências e os possíveis empecilhos para a implantação do Rodoanel Metropolitano BH.

Sob o ponto de vista da geomorfologia todas as unidades geomorfológicas que ocorrem no traçado e na AEL, estão inseridas no Domínio Morfoestrutural dos Crátons Neoproterozoicos. A Unidade Patamares de Belo Horizonte consiste em formas colinosas de declividades suaves, associadas majoritariamente aos granito-gnaisses do Complexo Belo Horizonte, ocorrendo entre a região do Quadrilátero Ferrífero e da Depressão do Alto São Francisco. Na AEL a unidade apresenta cotas entre 660 até 1210 metros e ocupam 80,73% da extensão. A Unidade Serras do Quadrilátero Ferrífero corresponde à região de ocorrência da província homônima, ocupando 6,26% da extensão total. A unidade na AEL se estende nas cristas

íngremes e assimétricas da serra do Curral e em zonas transicionais formadas por patamares e esporões. Por fim, a Depressão Alto do Rio São Francisco se associa principalmente ao Grupo Bambuí no norte da AEL. A unidade ocupa 12,60% da área, sendo formada por morros suavizados e baixas vertentes associados à Formação Sete Lagoas e, relevos fortemente ondulados a escarpados nos pelitos da Formação Serra de Santa Helena. As variações altimétricas da Depressão Alto do Rio São Francisco variam entre 670 até 890 metros.

A caracterização pedológica foi feita com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCs (EMBRAPA, 2018). Na AER foram descritos nove tipos de solo sendo que, apenas cinco, ocorrem na AEL. Os Argissolos correspondem ao principal tipo de solo na AEL, sendo dividido em duas sub-classes. Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos de textura predominante média argilosa e se desenvolvem sobre as rochas cristalinas do Complexo Belo Horizonte, correspondendo a 51,55% da área. Os Argissolos Vermelhos são solos não hidromórficos, com evolução pedogenética avançada. Na AEL ocupam cerca de 17,46% e ocorrem nas regiões do Grupo Bambuí. Os Cambissolos possuem 7,23% da AEL ocorrendo nos sopés da serra do Curral. São solos pouco espessos, silto-argilosos a silto-arenosos com cores avermelhadas. Os Latossolos Vermelhos são solos muito profundos, com 4,33% da AEL, de cores vermelhos e textura silto-argilosa. Os Neossolos Lítólicos, que corresponde a 0,40% da AEL, são solos pouco evoluídos com fragmentos de rocha e se associam às encostas íngremes da serra do Curral.

A Aptidão Agrícola foi determinada para a AEL a partir de uma análise multicritério designada como Processo Hierárquico Analítico (Analytic Hierarchy Process – AHP), adaptando a metodologia proposta por Pereira e Lombardi Neto (2004). Foram avaliados o Uso do Solo, Declividade e as Unidades Pedológicas da área, atribuindo valores de adequação para as classes desses aspectos. Foi gerada uma matriz pareada atribuindo diferentes pesos para esses aspectos, sendo o Uso do Solo mais relevante que a Declividade que, por sua vez, é mais importante que as Unidades Pedológicas. As áreas inaptas ao cultivo agrícola são 60,78% da área e correspondem, majoritariamente, às áreas urbanizadas e com vegetações preservadas. Essas áreas também se associam às regiões de relevo mais íngreme. As regiões de aptidão média a alta corresponde a 14,09% e 3,55%, respectivamente, e se associam principalmente às áreas de cultivo agrícola, a depender também, do tipo de relevo. Já as áreas de classes restrita (5,95%) e baixa (15,62%) ocorrem principalmente em regiões de pasto. Em relação à ADA, a Alça Norte apresenta uma maior porcentagem de áreas inaptas ao cultivo agrícola principalmente pela maior presença de áreas urbanizadas. Na Alça Norte as classes variam em inaptas (35,81%); restrita (12,18%); Baixa (30,08%) média (18,01%) e alta (3,93%). Na Alça Oeste as classes variam em inaptas (49,67%); restrita (5,67%); Baixa (15,62%); média (23,33%) e alta (5,72%). No âmbito da vulnerabilidade a contaminação ambiental pelo uso do solo, a AEL apresenta majoritariamente baixa vulnerabilidade devido ao predomínio dos argissolos. Nas áreas de várzea e nas regiões de ocorrência de cambissolos, a vulnerabilidade é predominantemente média. Já nas áreas onde os neossolos estão presentes a vulnerabilidade é alta, enquanto nas regiões dos latossolos, a vulnerabilidade é predominantemente muito baixa.

A susceptibilidade a processos erosivos foi determinada utilizando a metodologia de mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo. Essa ferramenta consiste em atribuir pesos a diferentes aspectos, sendo que quanto maior o peso, mais vulnerável é o fator analisado. Os parâmetros analisados foram geologia, hipsometria e declividade variando de 1 a 7, e pedologia e uso e cobertura dos solos de 0 a 7. A partir dos valores obtidos, as susceptibilidades e suas respectivas porcentagens da AEL foram determinadas, onde 13,77% da área total foi classificada como muito baixa, 51,14% como baixa, 34,53% como média e, por fim, 0,56% da área total foi classificada como alta. Destaca-se que não houve ocorrência de áreas com muito alta susceptibilidade a processos erosivos de. Em relação à ADA, a Alça Norte é mais vulnerável à ocorrência de processos erosivos com 55,70% de áreas com média suscetibilidade, 43,26% com baixa suscetibilidade e 1,04% em classes de muito baixa suscetibilidade. Já

na ADA da Alça Oeste as classes de suscetibilidade à processos erosivos variam em: 29,71% média; 55,46% baixa e 14,73% baixa.

Já a susceptibilidade a alagamentos e inundação foi determinada a partir do índice topográfico natural (TWI). Esse indicador aponta as regiões mais suscetíveis a alagamentos a partir da acumulação de fluxo e declividade, obtidos a partir do Modelo Digital de Terreno Alos Pasar. Na AEL 27,32% dos terrenos foram classificados como de suscetibilidade muito baixa a alagamentos, 37,54% como baixa, 22,75% como média, 9,00% como alta e 3,39% como muito alta. As regiões mais suscetíveis aos alagamentos se concentram nos vales profundos e talvegues encaixados e, nas planícies de inundação da área. Em relação à ADA, os valores de suscetibilidade a alagamento e assoreamento são bem próximos aos encontrados na AEL e, também não há variações significativas entre as alças.

A caracterização espeleológica do empreendimento foi feita a partir do levantamento de dados secundários e da coleta de dados primários. A consulta às cavidades da AER foi realizada baseada no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), disponibilizado pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), e no portal da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE). Em relação à AEL, foram listadas 482 cavidades nos municípios que cortam o empreendimento, sendo que apenas a Caverna do Susto e a Gruta do Descarte se inserem na AED, a 432 e 325 metros de distância em relação à ADA, respectivamente. O Mapa de Avaliação do Potencial Espeleológico aponta que a Alça Oeste está inteiramente inserida em áreas de baixo potencial, enquanto a Alça Norte apresenta 72,46% de áreas em baixo potencial e, 27,54% de regiões de muito alto potencial espeleológico associadas à ocorrência da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí. Durante as campanhas de prospecção espeleológica foram descritos 114 pontos ao longo da ADA, sendo que nenhuma cavidade, que não havia sido cadastrada pelo CECAV ou pela SBE, foi identificada. A visita a Gruta do Descarte, cavidade mais próxima ao empreendimento mostrou que a feição está em uma região antropizada e que já sofre impactos pela presença de rodovias e edificações no entorno. Além disso, a região da ADA mais próxima à gruta corresponde a um acesso secundário já existente e que não receberá um tráfego tão intenso quanto o traçado principal. Ressalta-se ainda que o caminhamento estabelecido ao longo do traçado procurou o maior adensamento possível, sendo que mesmo com a impossibilidade de acesso a algumas propriedades particulares, a avaliação espeleológica executada foi robusta e efetiva para o diagnóstico relativo a esse tema.

Ao que concerne aos recursos hídricos superficiais, avaliou-se a disponibilidade de dados fluviossedimentométricos na AER, sendo constatada a presença de poucas estações de monitoramento representativas espacial e temporalmente. Apesar disso, verificou-se que o comportamento hidrológico regional tem características sazonais marcantes, com variações expressivas da disponibilidade hídrica entre os meses de inverno e os meses de verão. Em termos espaciais, os dados de sedimentometria mostrou uma maior produção específica de sedimentos na bacia do rio das Velhas, o que denota que as hidrografias inscritas a bacia possuem uma maior tendência a carrear sedimentos, seja devido as características fisiográficas e/ou de uso e cobertura do solo.

A partir de estudos de regionalização de vazões disponíveis, via plataforma IDE-SISEMA, foi possível aferir que as sub-bacias que compõem a AEL possuem vazões médias de longo termo em seus exutórios que variam entre 0,38 m³/s (VLH-01 - Ribeirão Cabral e Córrego Bom Jesus) a 53,57 m³/s (VLH-12 - Rio das Velhas - INC 03). Frente a essa disponibilidade hídrica local, observa-se finalidades de usos consuntivos diversos, sendo que as vazões concedidas sob direito de outorga são predominantemente destinadas ao abastecimento público, sobretudo na bacia do rio Betim, onde se situa a barragem do Sistema Vargem das Flores, de propriedade da COPASA.

Uma visão mais discretizada da interferência do empreendimento sobre os recursos hídricos foi alcançada por meio de sobreposição do eixo principal da rodovia, suas alças de acessos e caminhos de serviços

junto a hidrografia otodificada do IDE-SISEMA, onde constatou-se que uma porção representativa dos cursos d'água diretamente afetados possuem vazões poucos expressivas, visto que drenam áreas inferiores a 1,83 km² (cerca de 75% das drenagens interceptadas). Essa característica deve-se ao fato de o traçado do empreendimento percorrer regiões próximas a topos de morros, onde não se cruza com drenagens de porte significativo. Em contraponto, torna-o suscetível a interceptar regiões com presença de nascentes. Essa constatação é mais sensível em áreas de proteção ambiental, como no caso da APA da Cachoeira da Lajinha, onde o empreendimento intercepta seis nascentes cadastradas no âmbito do PDRH rio das Velhas de 2015. Adicionalmente, pensando em termos de atributos naturais, verificou-se em campo que a ADA do empreendimento se assenta a menos de 100 metros da cachoeira que batiza a APA. No caso da APA Vargem das Flores, foram detectadas sete nascentes cadastradas pela prefeitura de Contagem que serão interceptadas pela ADA, porém, essas nascentes estão situadas próximas a região de densa urbanização.

O traçado do Rodoanel Metropolitano BH irá interceptar diversos cursos d'água ao longo de seu percurso, o que exigirá um monitoramento de qualidade da água, principalmente devido ao potencial de contaminação destes cursos em função da possibilidade de ocorrência de vazamento de combustíveis e/ou óleos/ graxas durante a fase de operação da rodovia. Dos cursos d'água interceptados, destaca-se o ribeirão Betim, que consiste no principal tributário do reservatório Vargem das Flores, utilizado para abastecimento de água pela COPASA.

Em relação ao Índice de Qualidade das Águas (IQA) monitorado nos cursos d'água inseridos na Área de Estudo Regional, pode-se observar que a porção pertencente à bacia hidrográfica do rio das Velhas apresentou, majoritariamente, IQA Ruim (concentrado o Médio Alto Velhas) e Médio (Concentrado no Alto Velhas). Já a porção pertencente à bacia do Paraopeba apresentou predominância de IQA Médio.

As avaliações das condições químicas e físicas das águas superficiais e sedimentos dos principais corpos hídricos a serem interceptados pelo traçado, apresentaram distintas condições, onde constatou-se alterações de origem antrópica e urbana, ocasionando alterações em determinados parâmetros indicadores das atuais condições de qualidade de água, sobretudo nos ribeirões Areias e Betim e no rio das Velhas, localizados nas Alças Norte e Oeste, e conhecidamente receptores, de forma pontual de efluentes não tratados, sobretudo de domésticos. Além disso, também é verificado o descarte irregular de material, bem como margens com vegetação marginal ou ripária alteradas, em diversos outros trechos desses ribeirões.

No que se refere à bacia do rio das Velhas, pode-se observar que as porções alta e média apresentam características diferentes em relação ao uso e ocupação do solo: enquanto a porção alta apresenta um grande contingente populacional, tendo como agentes poluidores efluentes domésticos e industriais não tratados, bem como de mineração clandestina, a porção média alta apresenta uma menor concentração populacional e predomínio de atividades agrícolas e pecuárias. Considerando a avaliação do IQA observado nesses trechos da bacia, pode-se observar os impactos das atividades supracitadas na qualidade das águas, onde ocorre uma piora nos índices a jusante da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Já em relação à porção pertencente à bacia do Paraopeba, sua principal fonte poluidora provém de efluentes domésticos e industriais, refletindo no IQA da bacia.

No contexto regional do estudo de licenciamento ambiental do Rodoanel Metropolitano BH, os sistemas aquíferos podem ser agrupados em dois grandes complexos hidrogeológicos de interesse, que estão relacionados às litoestratigrafias pertencentes ao Complexo Belo Horizonte e Grupo Bambuí. Estudo específico acerca deste tema foi desenvolvido e está apresentado no **ANEXO 15 – Modelo Conceitual Vargem das Flores**, que apresenta o Modelo Hidrogeológico Conceitual do Sistema Aquífero Granito-gnáissico da Região de Vargem das Flores, que é uma bacia interceptada pelo Rodoanel Metropolitano BH, mais especificamente situado na Alça Oeste. A região de Vargem das Flores é vista como prioritária

no contexto socioeconômico da região, uma vez que, é utilizada para abastecimento hídrico da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Este estudo tem o objetivo de subsidiar o conhecimento do comportamento das águas subterrâneas provenientes de importantes mananciais da Área de Proteção Especial (APE) da bacia Vargem das Flores, estabelecido pelo Decreto Estadual nº 22.091/1982. Neste estudo são caracterizados os sistemas aquíferos, de acordo com o contexto hidrográfico, geológico local e geomorfológico que estão inseridos, bem como são apresentados os parâmetros hidráulicos, dados hidrogeológicos (fluviometria, pluviometria, piezometria), mapa potenciométrico local e pontos de água (nascentes) levantados por meio de dados secundários. Os resultados do modelo incluem uma descrição sucinta do ciclo hidrológico de cada região e apresentam um esquema representativo para síntese da relação entre as águas superficiais e subterrâneas.

Os resultados obtidos no documento supracitado subsidiaram a elaboração do **ANEXO 18 – Transporte de Contaminantes Vargem das Flores**, que teve como objetivo o estabelecimento de premissas e hipóteses de possível contaminação por derramamento/ou acidente na região de interesse. Nesse contexto, estabeleceu-se a realização de modelagem matemática de transporte de contaminantes, frente à sensibilidade ambiental do Sistema Aquífero Granito-gnáissico da Região de Vargem das Flores e a presença do reservatório de abastecimento hídrico.

O transporte de contaminantes foi obtido a partir de equações de diferenças finitas de simulações transporte de partículas e de contaminação por Benzeno, que por sua vez, está presente em combustíveis como gasolina e diesel. Ressalta-se que, o cenário de contaminação por Benzeno foi considerado um cenário crítico, por tratar-se de uma substância comprovadamente carcinogênica com padrão de potabilidade de 5 µg/l, determinado pela PORTARIA GM/MS Nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde, e por isso foi escolhido como cenário principal a ser simulado.

Em resumo, foram simulados os meios onde esses possíveis poluentes deverão se propagar, a distribuição espacial da contaminação e os prováveis corpos receptores, sejam esses superficiais ou subterrâneos. Como conclusão principal, observou-se que, por se tratar de uma bacia que apresenta inúmeros cursos d'água significativos e o lençol freático podendo estar a pelo menos 10,0 m de profundidade, uma contaminação hipotética crítica na região da Alça Oeste do Rodoanel Metropolitano BH, poderá alcançar o reservatório Vargem das Flores em um prazo de horas a depender do local da fonte de contaminação.

Foram apresentadas normas e legislações que tratam sobre gerenciamento de áreas contaminadas. O cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas do IDE-SISEMA (2020) indica que na Área de Estudo Local do Rodoanel Metropolitano BH existem 71 estabelecimentos cadastrados como fontes de contaminação de água subterrânea e/ou solos. Além disso, o cadastro de Áreas Contaminadas Por Tóxicos do IDE-SISEMA (2021), indica que na AEL existem, ainda, 17 corpos hídricos cadastrados com níveis de contaminação variando de baixo, médio a alto. Ambos os dados levantados estão dispostos no **ANEXO 17 – Quadro Áreas Contaminadas**.

Acerca da qualidade das águas subterrâneas, foi feita uma busca do enquadramento dos corpos d'água subterrâneos para os aquíferos integrantes das bacias hidrográficas do rio das Velhas e Paraopeba, nas quais a área de estudo está inserida. Concluiu-se que, apesar de existirem diretrizes e orientações supracitadas que direcionam a responsabilidade para os órgãos em âmbito nacional e estadual, até o presente momento, não foram definidas as classes de enquadramento. Dessa forma, na ausência do enquadramento das águas subterrâneas, a caracterização da qualidade das águas subterrâneas será realizada por meio dos limites de referência para o uso de consumo humano definidos pela CONAMA nº 396/2008, sendo este uso considerado como preponderante e o mais restritivo. A seleção das regiões para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas levou em consideração as áreas interceptadas pelo traçado do empreendimento, que são utilizadas para abastecimento público. Sendo assim, mais uma vez foi selecionada a bacia Vargem da Flores definida como Área de Proteção Especial (APE), por consistir

em uma área mais sensível aos impactos advindos das atividades que envolvem a implantação e operação do empreendimento, que necessitou de uma avaliação mais robusta no que concerne ao contexto hidrogeológico da região.

Para realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para o licenciamento ambiental do Rodoanel Metropolitano BH, foi solicitada, ainda, a elaboração do **ANEXO 19 – Análise de Risco Vargem das Flores**, para região da bacia Vargem das Flores. Dessa forma, além dos aspectos relacionados aos impactos ambientais e/ou à poluição já apresentados no âmbito deste EIA, o **ANEXO 19** contempla avaliação de riscos considerando diversos cenários hipotéticos, bem como recomendações para prevenção de acidentes ou derramamentos envolvendo cargas perigosas, que possam se tornar fontes de contaminação na região que compreende importantes mananciais e o reservatório de abastecimento hídrico da região metropolitana de Belo Horizonte.

Este documento foi elaborado com base no Termo de Referência da NORMA TÉCNICA P4.261, elaborada pela CETESB (2011), que orienta na sua Parte III, a elaboração de EAR para EIA de empreendimentos (indústrias, bases, terminais, dutos, entre outros) que manipulam (produzam, armazenam, transportam) substâncias inflamáveis e/ou tóxicas, nos estados líquido ou gasoso. Além disso, também foi utilizado como referência o MANUAL DE PROCEDIMENTOS AMBIENTAIS EM EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS (DER/MG, 2008) de forma que fiquem contemplados, neste documento, todos os riscos que envolvem os bens a proteger, que são os trabalhadores, usuários da via, residentes e o meio ambiente, tanto na fase de implantação quanto na fase de operação. Os resultados foram resumidos e apresentados em uma planilha de avaliação de risco

Por fim, com base no que foi exposto, considera-se que o Diagnóstico do Meio Físico abrangeu todos os aspectos fundamentais para a caracterização física da área de estudo, propiciando que uma avaliação técnica integrada e associada possa ser realizada junto aos meios socioeconômico e biótico (fauna e flora) para definição dos possíveis impactos socioambientais inerentes à implantação e operação do Rodoanel Metropolitano BH, assim como o estabelecimento de medidas mitigadoras, corretivas e preventivas devam ser aplicadas a partir da elaboração e aplicação de programas ambientais específicos.

10.16 Referências Bibliográficas

ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 33, n. 1, p. 127-139. 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 10151:2019** Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Santa Maria, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 16313:2014** Acústica - Terminologia. Santa Maria, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 16425 - Parte 1 –Aspectos Gerais** - Acústica. Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes. Santa Maria, 2016.

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE- AGÊNCIA RMBH E INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. 2022. **Plano de Segurança Hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte – PSH-RMBH. Subprodutos 1A, 2A, 2B, 2C,2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2I, 2J, 3A, Banco de Dados (DC001), Oficinas 1 e 2.** Belo Horizonte: Profill. Disponível em: <https://www.pshrmbh.com.br/>. Acesso em: 8 de agosto de 2023. 2023

ANDRADE, I. B., BARBOSA, J. A., RIBEIRO, C. G., PAULA, R. S., VELASQUEZ, L. N. M. 2019. Relação Hidráulica Entre o Complexo Belo Horizonte e o Grupo bambuí na Porção Sul da APA Carste de Lagoa Santa, **Geonomos**, 27(1), 38-45, 2019.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Enquadramento dos corpos d'água em classes.** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília. 60 p. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte_enquadramento_conjuntura2019.pdf. Acesso em: 10 de maio de 2023. 2019.

ANEEL. **Saiba mais sobre Compensação Financeira.** Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao/compensacao-financeira/introducao>. Acesso em: 21/08/2023.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Base de Dados SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração.** Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/acesso-a-sistemas/sistema-de-informacoesgeograficas-da-mineracao-sigmine>. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2023.

BALTAZAR, O.F.; ZUCCHETTI, M. Lithofacies Associations and Structural Evolution of the Archean Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A Review of the Setting of Gold Deposits. **Ore Geology Reviews**, p.62, 2005.

BARBOSA, G.V.; RODRIGUES, D.M.S. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. **Boletim Mineiro de Geografia**, v. 10, n. 11, p. 3-35, 1965.

BEATO D.A.C.; MONSORES A.L.M.; BERTACHINI, A.C. Hidrogeologia (Hydrogeology). In: **CPRM/SEMAD/CEMIG.** Projeto APA Sul RMBH Estudos do Meio Físico: área de proteção ambiental da região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 8-A: p. 101, 2005.

BERBERT-BORN, M. Carste de Lagoa Santa, MG – Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. **CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP)**, p. 415-430. Disponível em: <https://sigep.eco.br/sitio015/sitio015.pdf>. Acesso em: 22 de agosto de 2023. 2002.

BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J.A. Physically-Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. **Hydrology Science Bulletin**, v.24, n.1, p.43-69. 1979.

BOWER, H. **Groundwater hidrology**. New York: McGraw-Hill Book Company. 480 p., 1978

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 12 de maio de 2023. 2020.

BRASIL. **Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008**. Dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1o de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, 10 de novembro de 2008. 2008.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm. Acesso em: 21 de agosto de 2023. 2000.

BRASIL. **Decreto nº 10.935, de 12 de janeiro de 2022**. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.935-de-12-de-janeiro-de-2022-373591582>. Acesso em: 12 de janeiro de 2023. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990**. Diário Oficial da União, Brasília, 2 de outubro de 1990, Seção 1. Acesso em: 12 de janeiro de 2023. 1990.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. 2012

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). **Resolução nº. 32, de 15 de outubro de 2003**. Brasília: Conselho Nacional de Recursos Hídricos 2003. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>. Acesso em: 15 outubro de 2023.

CALDERANO FILHO, B. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de regiões tropicais montanhosas com suporte de SIG. **Revista de Geografia (Recife)** V. 35, No. 3, 2018.

CARMO, F. F. Importância ambiental e estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero e proposta de áreas-alvo para a investigação e proteção da biodiversidade em Minas Gerais. Belo Horizonte, MG: Dissertação (Mestrado em Biologia). Instituto de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

CARVALHO et al., Reflexos da urbanização de Justinópolis na qualidade da água do ribeirão das Areias - Ribeirão das Neves/MG. **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Viçosa, 2008.

CARVALHO, N. O. **Hidrosedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CASTRO et al. **Mapa Hidrogeológico do Estado de Minas Gerais - Folha SE**. Escala 1:500.000. Belo Horizonte, CPRM. 2020.

CASTRO, P.d.; ENDO, I.; GANDINI, A. **Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos (Vol. I)**. 1ª ed. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://qfe2050.ufop.br/>. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2020.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CBH PARAOPEBA – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA. **Deliberação 03/2022 do CBH-Paraopeba**. Altera e estabelece o Regimento Interno do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. 2022

CBH PARAOPEBA – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA. **Deliberação Normativa nº 08/2021 do CBH Paraopeba**. Aprova os mecanismos e os valores de cobrança do CBH Paraopeba. 2021

CBH RIO DAS VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. Disponível em: <https://cbhvelhas.org.br/a-bacia-hidrografica-do-rio-das-velhas/>. Acesso em: 10 de maio de 2023. 2020.

CBH RIO DAS VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Deliberação Normativa nº 03/2020 do CBH Rio das Velhas**. Aprova a atualização monetária dos Preços Públicos Unitários (PPU) praticados na metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio das Velhas. 2020

CBH RIO DAS VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Deliberação CBH Rio das Velhas nº 05, de 02 de Agosto de 2019**. Altera e consolida o Regimento Interno do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. 2019

CBH RIO DAS VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas – Plano Diretor Consolidado: Volume 1 | Diagnóstico**. Belo Horizonte. Disponível em: https://siga.cbhvelhas.org.br/publicacoesArquivos/siplan_pubMidia_2_VOL_I_Diagnostico.pdf. Acesso em: 07 de agosto de 2023. 2015.

CBH SF – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **A Bacia**. 2022. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/#regioes-hidrograficas>. Acesso em: 10 de maio de 2023. 2022.

CECAV. – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. Relatório demonstrativo da situação atual das cavidades naturais subterrâneas – por unidade da federação - Estado de Minas Gerais. 23pp. 2008.

CECAV – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. CANIE – Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. **Base de dados**. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/ceca/canie.html>. Acesso em: 12 de maio de 2023. 2023.

CECAV – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS; ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. CECAV/ICMBIO: Brasília, 2013.

CERH-MG – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 66, de 17 de novembro de 2020**. Estabelece as Unidades Estratégicas de Gestão do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52900>. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2020.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do Ar**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>. Acesso em 01 de agosto de 2023.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar e efeitos à saúde**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/ar-padroes-efeitos-saude.pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2023. 2023.

CHEMALE JR, F.; ROSIERE, C.A.; ENDO, I. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, v. 65, n. 1-4, p. 25-54, 1994.

CLIMA GERAIS. **Plataforma Mineira para Adaptação às Mudanças Climáticas**. Disponível em: <https://clima-gerais.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 30 de maio de 2023. 2023.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001**. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/Resolucao_CNRH-15_2001.pdf. Acesso em: 24 out. 2023.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução CNRH nº 32, de 16 de outubro de 2003**. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-32-de-15-de-Outubro-de-2003-CNRH.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2003.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 05 de novembro de 2008**. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2091.pdf>. Acesso em: 24 out. 2023.

COBRAPE – COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. **Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba**. São Paulo. Disponível em: https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Resumo_Executivo.pdf. Acesso em: 07 de agosto de 2023. 2020.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 01, de 08 de março de 1990**. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/?id=94921>. Acesso em: 15 de julho de 2023. 1990.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 10 de maio de 2023.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006.** Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em:

http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=510. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2006.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-396-de-3-de-abril-de-2008/view>. Acesso em: 24 out. 2023.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 418, de 25 de novembro de 2009.** Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-418-2009_110441.html. Acesso em: 19 de maio de 2023. 2009.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=766. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2018.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Acordo de Paris sobre alterações climáticas.** Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/paris-agreement/>. Acesso em: 23 de maio de 2023. 2023.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 8 de setembro de 2010.** 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. 2010.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 06, de 14 de setembro de 2017.** Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento de corpos de água superficiais, e dá outras providências. Disponível em: <http://siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45278>. Acesso em: 24 out. 2023.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995.** Dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Minas%20Gerai%20-%20Rio%20Paraopeba%20-%20Bacia%20do%20S%20C3%A3o%20Francisco.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2023. 1995.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 20, de 24 junho de 1997.** Dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=115>. Acesso em: 10 de maio de 2023. 1997.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 116, de 27 de junho de 2008.** Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais. 2008.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011.** Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais. 2011.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 187, de 19 de setembro de 2013.** Estabelece condições e limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas e dá outras providências. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/EgBvHJfUB-NDUYjolu3AAIs4VrjnsGMQ.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2013.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 248, de 23 de novembro de 2023.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar para o Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=58282>. Acesso em: 29 de janeiro de 2024. 2023.

COSTA, M.T.; BRANCO, J.J.R. Introdução. Roteiro Para a Excursão Belo Horizonte – Brasília. SBG, **Congresso Brasileiro de Geologia**, Belo Horizonte, Anais, 15:1-119, 1961.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo Folha SF23.** Rio de Janeiro. Ministério de Minas e Energia - Secretaria de Minas e Metalurgia. 2004.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Estratigrafia, Paleontologia e Sedimentologia.** Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Estratigrafia%2C-Paleontologia-e-Sedimentologia-28>. Acesso em: 22 de agosto de 2023. 2023.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Folha SE.23-Z-C-VI – 1:100.000.** BRANDALISE, Luiz Alberto; HEINECK, Carlos Alberto (Org.). Belo Horizonte. 2000.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **GeoSGB.** Disponível em: <https://geosgb.sgb.gov.br/>. Acesso em: 22 de agosto de 2023. 2023.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH - 1:250.000.** SOTERO, Marcus Paulo; TOLENTINO, Eclison Junior Tito; OLIVEIRA, Sergio Azevedo Marques de SANT'ANA; Larissa Pinheiro (Org.). 2019.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Hidrogeológico do Estado de Minas Gerais - Folha SE.** Escala 1:500.000. Belo Horizonte, CPRM. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas.** 2023. Disponível em: https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acesso em: 16 de agosto de 2023.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: Inpe, 2001.

DA COSTA, T. Sedimentação e Orogênese da Série de Minas: Ouro Preto, SICEG. **Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos**, nº. 1, p. 55-61. 1961.

DARDENNE M. A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. 1978. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 30. Recife. Anais Recife: Sociedade Brasileira de Geologia. 1978

DARDENNE, M.A. Os Grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília. In: Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo BA, **Simpósio Cráton do São Francisco e Faixas Marginais**, 1, Salvador, Anais, p. 140-157. 1981.

DEODORO, S. C. **O uso de Macroinvertebrados Bentônicos como bioindicadores da qualidade das águas de uma lagoa artificial em parque urbano: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. Monografia de especialização. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-99WG9Z>. Acesso em: 10 nov. 2023

DIN 45669:2005 – **Mechanical Vibration and Shock Measurement**. Part. 1 (1995) and Part. 2.

DORR, J. V. N. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS Professional Paper, **U.S. Government Printing Office**, 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/pp641A>. Acesso em: 17 de maio de 2023. 1969.

DORR, J.V.N. II, GAIR, J.E., POMERENE, J.B., RYNERARSON, G.A. Revisão da Estratigrafia Pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Departamento Nacional da Produção Mineral, **Divisão de Fomento da Produção Mineral**, Avulso 81, p.31, Rio de Janeiro, 1957.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 63**. ISSN 1678-0892. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2004.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro - RJ: EMBRAPA-Solos, 2006. p.306.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA-Solos, 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-Solos, 2018. 590 p.

ENDO, I., et al. **Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. Escala 1:150.000. Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. 2019.

ENDO, I., et al. **Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. Escala 1:150.000: Uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969). Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: www.qfe2050.ufop.br. Acesso em: 17 de maio de 2023. 2019.

FAO (Food and Agriculture Organization) & UN Water. **Progress on Level of Water Stress. Global status and acceleration needs for SDG Indicator 6.4.2**. 96 p. Rome, 2021.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Boletim da qualidade do ar**. 2023. Disponível em: <http://feam.br/noticias/1/1327-boletim-qualidade-do-ar>. Acesso em: 17 de maio de 2023. 2023.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Estudo De Vulnerabilidade Regional Às Mudanças Climáticas**. Disponível em: http://feam.br/images/stories/Estudos/pemc_vulnerabilidade_regional%2021022014.pdf. Acesso em: 30 de maio de 2023. 2014.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais: Sumário Executivo (PEMC)**. Disponível em: [T8a10n47WuWW9IIFuxojZRFpfjjarTQ4.pdf](#) (meioambiente.mg.gov.br). Acesso em: 01 de junho de 2023. 2015.

FERNANDES, K. C. B. **Detecção e quantificação de contaminação fecal hospedeiro-específico em águas destinadas ao abastecimento público**. Dissertação de pós-graduação. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. 138 p. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/10283/Disserta%3%a7%a3o_Kayo_Bianco.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 04 de setembro de 2023. 2015.

FIUME, B. et al. **Mapa hidrogeológico do estado de Minas Gerais**. [S.l.]: Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 1 mapa, color. Escala 1:500.000. 2022.

FORNASARI FILHO, N. et al. **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

FREITAS, I.C. **Atributos de um Neossolo Quartzarênico da Prémazônia Sob Agrossistemas de Produção Familiar**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO – Brasil, 2013.

FREITAS, M. A. de; GOFFERMANN, M. **Rede básica nacional de monitoramento integrado das águas subterrâneas - RIMAS no estado do Rio Grande do Sul**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís, Maranhão, 2010. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/927/1/evento_PAP002944.pdf. Acesso em: 25 out. 2023.

GIAMPÁ, C.E.Q; GONÇALVES, V.G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 3, p. IV-IV, 2006.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Portaria nº 85, de 17 de outubro de 1996**. Dispõe sobre a emissão de fumaça preta em veículos movidos a óleo diesel. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/PT0085-171096.PDF>. Acesso em 01 de agosto de 2023. 1996.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro. 178 p. 2009.

ICLEI AMÉRICA DO SUL. **4º Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2022/GEE/Relat%3%B3rio_Invent%3%A1rio_MG_02092022.pdf. Acesso em: 23 de maio de 2023. 2022.

ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Portaria ICMBio nº 78, de 03 de setembro de 2009**. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2009/p_icmbio_78_2009_criarcentro_s_nacionaispesquisaconservacao.pdf. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2009.

IEMA – INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE DO ESPÍRITO SANTO. **Plataforma da qualidade do ar**. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/qualidadedoar/>. Acesso em 18 de maio de 2023. 2023.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Boletim Anual da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas de 2021**. Disponível em:

<http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/bitstream/123456789/4079/1/Boletim%20Anual%20de%20Qualidade%20das%20%C3%81guas%20na%20Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Rio%20das%20Velhas.pdf>. Acesso em: 08 de setembro de 2023. 2022.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Boletim Anual da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba de 2021.** Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/bitstream/123456789/4077/1/Boletim%20Anual%20de%20Qualidade%20das%20%C3%81guas%20na%20Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Rio%20Paraopeba.pdf>. Acesso em: 08 de setembro de 2023. 2022.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Índice de Qualidade Das Águas – IQA.** Disponível em: <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/index.php/sem-categoria/319-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa>. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2023.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Igam. 113 p. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/864>. Acesso em: 25 de agosto de 2023. 2010.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento da Qualidade das Águas.** Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/monitoramento-da-qualidade-das-aguas2>. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2023.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.** Belo Horizonte. 226 p. Disponível em: https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/files/images/arquivos/plano_diretor_completo.pdf. Acesso em: 17 de maio de 2023. 2005.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH.** Belo Horizonte. 2010. Disponível em: https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Relat%C3%B3rio_Final_Vol._1.pdf. Acesso em: 29/09/2023.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS. **Portal dos Comitês - Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba (SF3).** Disponível em: <https://comites.igam.mg.gov.br/conheca-a-bacia-sf3>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023. 2023.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil – 1991 - 2020.** Brasília. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 09 de maio de 2023. 2022.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Condições Atuais do Enos: Caracterização do El-Niño.** Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/#>. Acesso em: 21 de agosto de 2023. 2023.

JANSEN, D.C.; CAVALCANTI, L.F.; LAMBLÉM, H.S. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.00. **Revista Brasileira de Espeleologia**, V. 2, nº.1. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/RBEsp/article/view/255>. Acesso em: 12 de maio de 2023. 2012.

LEÃO, L. P.; COSTA, R. V. F.; LEITE, M. G. P. L.; JÚNIOR, H. A. N. **Mapeamento Geoquímico do Manganês e Avaliação da Qualidade de Sedimentos Fluviais e Águas Superficiais do Quadrilátero Ferrífero, Brasil.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ - ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol.

42 – 2, p. 444-455, 2019. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/12123/1/ARTIGO_MapeamentoGeoqu%c3%admicoMangan%c3%aas.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 3ª edição. Campinas: SBCS, 83 p, 1996.

LOBATO, L.M.; Ribeiro-Rodrigues, L.C., Zucchetti, M., Noce, C.M., Baltazar, O.F., Silva, L.C. & Pinto, C.P. **Brazil's premier gold province: Part I. The tectonic, magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero**. Mineralium Deposita, 36, p. 228 – 248, 2001.

MACHADO SÁ, M.F. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais Paraná**. 1. ed. Capítulo 6. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014.

MADEIRA, M.R. **Evolução Sedimentar e História Deformacional da Formação Moeda ao Longo da Junção Entre o Sinclinal da Moeda e o Homoclinal da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, MG**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/10337>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023. 2018.

MARGULIS, S. **Mudanças do clima: tudo que você queria e não queria saber**. Rio de Janeiro: Konrad Adenauer Stiftung. 180 p.; Disponível em: <https://www.mudancasdoclima.com.br/>. Acesso em: 26 de maio de 2023. 2020.

MATHESS, G. **Die Beschaffenheit des Grundwassers**. Berlin: Gebrüder Bornträger, v.2, 1973.

MESTRINHO, S. S. P. Monitoramento em água subterrânea: **Monitoramento do Estado Qualitativo**. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed, Rio de Janeiro, CPRM: LABHID, 812 p. cap. 7.2, p.673-686, 2008

MINAS GERAIS. **Decreto nº 47.705 de 04 de setembro de 2019**. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. Diário Oficial do Estado, Belo Horizonte, 2019.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 66, de 17 de novembro de 2020**. Estabelece as Unidades Estratégicas de Gestão do Estado de Minas Gerais. 2020.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 20, de 24 de junho de 1997**. Dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas. Minas Gerais, 1997.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/13199/1999/>. Acesso em: 07 de agosto de 2023.

MINAS GERAIS. **Lei nº 15.178, de 16 de junho de 2004**. Define os limites de conservação da Serra da Piedade, conforme o Art. 84, § 1º, do ato das disposições constitucionais transitórias da constituição do estado. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-15178-2004-minas-gerais-define-os-limites-de-conservacao-da-serra-da-piedade-conforme-o-art-84-1-do-ato-das-disposicoes-constitucionais-transitorias-da-constituicao-do-estado>. Acesso em: 07 de agosto de 2023. 2004.

MINAS GERAIS. **Lei nº 16.197, de 26 de junho de 2006**. Cria a área de proteção ambiental de vargem das flores, situada nos municípios de Betim e Contagem, e dá outras providências. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-16197-2006-minas-gerais-cria-a-area-de-protecao->

ambiental-de-vargem-das-flores-situada-nos-municipios-de-betim-e-contagem-e-da-outras-providencias. Acesso em: 07 de agosto de 2023. 2006.

MINAS GERAIS. Lei nº 21.079, de 27 de dezembro de 2013. **Altera a lei nº 16.197, de 26 de junho de 2006, que cria a área de proteção ambiental de vargem das flores, situada nos municípios de Betim e Contagem, e dá outras providências.** Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-21079-2013-minas-gerais-altera-a-lei-n-16197-de-26-de-junho-de-2006-que-cria-a-area-de-protecao-ambiental-de-vargem-das-flores-situada-nos-municipios-de-betim-e-contagem-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 07 de agosto de 2023. 2013.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 47.383, de 02/03/2018.** Estabelece normas para licenciamento ambiental, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades.2018.

MINAS GERAIS. **Portaria nº 23, de 31 De Maio de 2023.** Altera a Portaria Igam nº 48, de 04 de outubro de 2019, que estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerai

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, 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. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 24 out. 2023.

MINAS GERAIS. SEINFRA - Secretaria de Estado de Infraestrutura - **Concorrência Internacional nº 001/2022 – Rodoanel.** Anexo 13 - Diretrizes Ambientais. 2022. Disponível em: <http://www.infraestrutura.mg.gov.br/images/documentos/licitacoes/2022/ConcorrencialInternacional-001-2022-Rodoanel/contrato-e-anexos/Anexo13-Diretrizes-Ambientais.pdf.pdf>. Acesso em: 01 fev.2024.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar.** Secretaria de Qualidade Ambiental. Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos. – Brasília, DF: MMA, 2019.136 p.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa nº 02, de 30 de agosto de 2017.** Diário Oficial da União: Seção I, Brasília, DF, n. 169, p. 161-165, 30 ago. 2017.

MORA C.G. **Geoquímica Isotópica e Elementar dos Carbonatos da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, no Sul da Bacia do São Francisco.** Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), 131 p. DOI: 10.11606/D.44.2015.tde-27052015-091200. Acesso em: 06 de março de 2023. 2015.

MOURÃO M.A. **Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. p. 297. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-7AJNZE/1/173d.pdf>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023. 2007.

MOURÃO, M. A. A. **Projeto “Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas”.** Divisão de Hidrogeologia – DIHEXP. Serviço Geológico do Brasil. 2009. Disponível em: https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/pdf/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf. Acesso em: 24 out. 2023.

NIMER, E. Um Modelo Metodológico da Classificação de Climas. **Revista Brasileira Geografia.** Rio de Janeiro. 41: p.59-89, 1979.

NÓBREGA, M.T.; CUNHA, J.E. A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão. **Espaço Plural**, vol. XII, núm. 25, pp. 63-72 Universidade Estadual do Oeste do Paraná Marechal Cândido Rondon, Brasil. 2011.

NOCE C.M. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 129 p., 1995. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.44.2016.tde-05012016-154125>. Acesso em: 06 de março de 2023. 1995.

NOCE, C.M. et al. O Complexo Belo Horizonte e a evolução arqueana do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 38, 1994, Camboriú. Anais. Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994.

NOCE C. M., TEIXEIRA W., MACHADO N., 1997. Geoquímica dos gnaisses TTGs e granitoides neoarqueanos do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, 27(1): 25-32, 1997.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Substâncias químicas perigosas à saúde e ao ambiente**. Programa Internacional de Segurança Química. São Paulo: Cultura Acadêmica. 119 p. Disponível em: https://www2.unesp.br/Home/costsa_ses/20110610_084213.PDF. Acesso em: 04 de setembro de 2023. 2000.

PBH. **Parque Municipal Aggeo Pio Sobrinho**. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica/informacoes/parques/parque-aggeo-pio-sobrinho>. Acesso em: 07 de agosto de 2023. 2023.

PBH. **Parque Roberto Burle Marx**. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica/informacoes/parques/parque-roberto-burle-marx>. Acesso em: 07 de agosto de 2023. 2023.

PEREIRA, L.C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36

PIRES, F.R.M. **Structural Geology and Stratigraphy at the Junction of the Serra do Curral Anticline and the Moeda Syncline, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. PhD thesis, Univ. of Michigan, p.220, 1979.

PLAC. **Plano Estadual de Ação Climática - Versão Final**. Disponível em: http://feam.br/images/stories/2022/MUDANCAS_CLIMATICAS/Relat%C3%B3rio_Final_-_PLAC-MG.docx.pdf. Acesso em: 26 de maio de 2023. 2022.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 65p. 1995.

REBOUÇAS A. C. 1994. Sistema Aquífero Botucatu no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 8, Recife. Anais. Recife, ABAS/DNPM/CPRM, 1984. P. 500-509R. 1994.

REPORT ENVIRONMENT. U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460, USEPA, 2008.

RIBEIRÃO DAS NEVES. **Decreto nº 119, de 27 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre a criação da área de proteção ambiental – APA da cachoeira da lajinha, no município de Ribeirão das Neves, estado de Minas Gerais e dá outras providências. 2016

ROSIÈRE, C.A.; CHEMALE JR, F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do quadrilátero ferrífero – uma visão geral e discussão. **GEONOMOS** 8 (2): 27-43, 2000. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v8i2.155>. Acesso em: 06 de março de 2023. 2000.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-hill, 1980. 287 p.

SAATY, T. L. **The Analytical Hierarchy Process: what it is and how it is used**. **Mathematical Modelling**. v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures**. **Journal of Mathematical Psychology**. v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A. F. D.; NALINI JUNIOR, H. A.; CHEREM, L. F.; MARENT, B. R.; BRINDUSA, C. B. Estimativa das taxas de erosão das terras altas da alta bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: implicações para a evolução do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 8, n. 2, p. 1-8, 2007b.

SANTOS, A. C. Qualidade das águas subterrâneas: **Geoquímica das águas subterrâneas**. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed, Rio de Janeiro, CPRM: LABHID, 812 p. cap. 5.2, p.359-379, 2008.

SANTOS, H.G.; et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 2018.

SARAIVA, A. L. de L. **Análise dos impactos da dinâmica de sólidos e de nutrientes na qualidade da água de ambiente lêntico utilizado no abastecimento de comunidades amazônicas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. Belém. 167 p. Disponível em: <https://proderna.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Andr%C3%A9.pdf>. Acesso em: 04 de setembro de 2023. 2012.

SCHOBENHAUS C. **Geologia do Brasil**. Departamento Nacional de Produção Mineral. 1984.

SCOLFORO, J.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais – Componentes Geofísico e Biótico**. Lavras: Editora UFLA, 2008.

SEMAD – SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. IDE-SISEMA – **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 15 de maio de 2023. 2023.

SEMASA – SERVIÇOS INTELIGENTES SANTO ANDRÉ SUSTENTÁVEL. **Escala de Beaufort**. Disponível em: <https://www.semasa.sp.gov.br/velocidade-dos-ventos-2/escala-de-beaufort/>. Acesso em: 10 de maio de 2023. 2023.

SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A. Pedologia. In: **Projeto APA Sul**, RMBH: Estudos do meio físico. Belo Horizonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. v.5, Partes A-B, 53p. (Série Programa Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE, 5). 2005.

SHUQAIR, S. M. S. **Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de figueira no estado do Paraná**. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas energéticas e nucleares. Universidade de São Paulo, 1239 p., 2002.

SIGEP – COMISSÃO BRASILEIRA DE SÍTIOS GEOLÓGICOS E PALEOBIOLÓGICOS. **Glossário**. Disponível em: <https://sigep.eco.br/glossario/index.html>. Acesso em: 17 de agosto de 2023. 2023.

SIGEP – COMISSÃO BRASILEIRA DE SÍTIOS GEOLÓGICOS E PALEOBIOLÓGICOS. **Mapa Index – Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Disponível em: <https://sigep.eco.br/mapindex/mapindex.htm>. Acesso em: 22 de agosto de 2023. 2023.

SIGEP – COMISSÃO BRASILEIRA DE SÍTIOS GEOLÓGICOS E PALEOBIOLÓGICOS. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – Volume I**. Disponível em: <https://sigep.eco.br/mapindex/mapindex.htm>. Acesso em: 22 de agosto de 2023. 20002.

SIGEP – COMISSÃO BRASILEIRA DE SÍTIOS GEOLÓGICOS E PALEOBIOLÓGICOS. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – Volume II**. Disponível em: <https://sigep.eco.br/mapindex/mapindex.htm>. Acesso em: 22 de agosto de 2023. 2009.

SIGEP – COMISSÃO BRASILEIRA DE SÍTIOS GEOLÓGICOS E PALEOBIOLÓGICOS. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – Volume III**. Disponível em: <https://sigep.eco.br/mapindex/mapindex.htm>. Acesso em: 22 de agosto de 2023. 2013.

SILVA, A. B. da. **Evolução química das águas subterrâneas**. Águas Subterrâneas, [S. l.], v. 7, n. 1, 1984. DOI: 10.14295/ras.v7i1.11253. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11253>. Acesso em: 24 out. 2023.

SILVA, G.M. **Geomorfologia aplicada a caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos em Rio Preto da Eva (AM)**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas, Manaus. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8470>. Acesso em: 06 de março de 2023. 2021.

SIRTOLI, A.E; SILVEIRA, C.T; SILVA, C.R; MONTOVANI, L.E; RIBEIRO, S.R.A.; OKA-FIORI, C. **Atributos Topográficos Secundários no Mapeamento de Pedoformas**. Revista Geociências, v.27, n.1, p.63-77, 2008.

SISEMA – SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Instrução de Serviço Sisema 08/2017 – Revisão 1**. Dispõe sobre os procedimentos para a instrução dos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos efetiva ou potencialmente capazes de causar impactos sobre cavidades naturais subterrâneas e suas áreas de influência. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2018/PADRONIZA%C3%87%C3%83O_PROCEDIMENTOS/IS_08-2017_-_Cavidades_-_Revis%C3%A3o_1_-_05-10-2018.pdf. Acesso em: 11 de maio de 2023. 2017.

SOUZA, R. M. **Avaliação da qualidade microbiológica de peixes da espécie *Oreochromis Niloticus* da Lagoa da Pampulha - Belo Horizonte – MG**. Revista NBC, vol. 9, nº 18. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas-izabela/index.php/bio/article/view/1984/1099>. Acesso em: 11 nov. 2023.

TEIXEIRA, A.A.; et al. Integração e análise de dados aerogeofísicos por meio da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens e classificação não supervisionada: o exemplo do Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Brasileira de Geofísica**, 24(4): 559-572, 2006.

UFV (Universidade Federal de Viçosa) & IGAM (Instituto Mineiro de Gestão de Águas). **Estudo de Regionalização de Vazão para o Aprimoramento do Processo de Outorga no Estado de Minas Gerais**, 2012.

UHLEIN, A.; TROMPETTE R.R.; ALVARENGA C.J.S. **Neoproterozoic glacial and gravitational sedimentation on a continental rifted margin: The Jequitai-Macaúbas sequence (Minas Gerais, Brazil)**. Journal of South America Earth Science. v.12. n. 5. p. 435-451. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(99\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00032-2). Acesso em: 06 de março de 2023. 1999.

VASCONCELOS, M. B.; CAJAZEIRAS, C. C. A.; SOUSA, R. R. **Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região nordeste do Brasil**. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu, 2019. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/21644/1/aplicacao_da_condutividade_eletrica.pdf. Acesso em: 26 jan. 2024.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 243 p., 1996.

WHIFFIN & LEONARD, **Report LR418 Design Div. Transp. Road Research Lab.**, UK, 1971.

WRI. **Infraestrutura Natural para Água na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais: Soluções integrando campo e cidade e gerando benefícios para toda a sociedade**. São Paulo, Brasil: WRI Brasil e Copasa MG. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.46830/wriipt.22.00069>. Acesso em: 19 de setembro de 2023. 2023.

10.17 Anexos

- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa dos Pontos Visitados**
- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_ Mapa de Uso e Ocupação do Solo**
- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Geológico**
- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Geomorfológico**
- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pedológico.**
- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa dos Direitos Minerários da AED.**
- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pontos Prospecção Espeleológica.**
- ANEXO 1 – Caderno de Mapas_Mapa Pontos Interceptação Da Hidrografia.**
- ANEXO 10 – Quadro Descrição dos Pontos Visitados**
- ANEXO 11 – Qualidade Ar_Pressão Sonora_Vibração**
- ANEXO 12 – Quadro Direitos Minerários AEL**
- ANEXO 13 – Estudo de Avaliação do Potencial Espeleológico**
- ANEXO 14 – Laudos Qualidade Água e Sedimentos**
- ANEXO 15 – Modelo Conceitual Vargem das Flores**
- ANEXO 16 – Laudos Qualidade Águas Subterrâneas**
- ANEXO 17 – Quadro Áreas Contaminadas.**
- ANEXO 18 – Transporte de Contaminantes Vargem das Flores**
- ANEXO 19 – Análise de Risco Vargem das Flores**

Concessionária BHR S.A.
faleconosco@rodoanelbh.com.br