

**ANEXO D**  
**HIDROGEOLOGIA**



## **MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA**

# **SIMULAÇÕES DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA EM CENÁRIOS DE LAVRA PRÉ-DEFINIDOS**

**ATUALIZAÇÃO 2021**

**OUTUBRO DE 2021**

## ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

<b>Título do Projeto:</b>	Atualização do modelo hidrogeológico numérico do Complexo Minerador de Tapira e simulações de rebaixamento do nível d'água em cenários de lavra pré-definidos – Atualização 2021
<b>Contrato:</b>	Nº 5300002063
<b>Vigência:</b>	05/04/21 a 31/06/21
<b>Centro de Custo:</b>	1230

## DADOS DA CONTRATANTE

<b>Contratante:</b>	Mosaic Fertilizantes
<b>CNPJ:</b>	33.931.486/0020-01
<b>Endereço:</b>	Rodovia MG-146 – km 196,25 - Zona Rural, CEP 38185-000, Tapira - MG.
<b>Gestor do Contrato:</b>	Michelle Cintra Abud Mariano
<b>Contato:</b>	(34) 3669-5218 / michelle.abud@mosaicco.com

## RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO PROJETO

<b>Razão Social:</b>	MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente Ltda
<b>CNPJ:</b>	38.625.927/0001-90
<b>Responsável Técnico:</b>	Mateus Alfenas De Filippo – CREA MG 81049 (projeto)
<b>Contato:</b>	Rua Santa Bárbara, 162 - Sagrada Família Belo Horizonte - MG, 31035-390
<b>Anotação Resp. Técnica-ART:</b>	MG20210391264

## EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

NOME	FUNÇÃO	ATIVIDADE
Mateus A. De Filippo (MDF)	Hidrogeólogo Sênior	Coordenação, elaboração e revisão do relatório
Pedro Mendes Xavier (PMX)	Analisa de Hidrogeologia	Compilação de dados, modelo numérico e relatório

## REVISÃO DO RELATÓRIO

REVISÃO	DATA	ELAB.	APROV.	FINALIDADE
V01	08/10/2021	PMX		Versão inicial

### **Isenção de Responsabilidade:**

Este documento foi preparado pela MDGEO com observância das normas técnicas recomendáveis e em estrita obediência aos termos do pedido e contrato firmado com o cliente. Em razão disto, a MDGEO isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado.

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente ou da MDGEO.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS ANTERIORES</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>14</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	14
3.2	CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	16
3.2.1	<i>Geologia regional</i> .....	16
3.2.2	<i>Geologia local</i> .....	16
3.3	INVENTÁRIOS DE PONTOS D'ÁGUA.....	19
<b>4</b>	<b>COMPILAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO</b> .....	<b>21</b>
4.1	PLUVIOMETRIA.....	23
4.2	NÍVEIS D'ÁGUA.....	28
4.2.1	<i>Níveis de água - Bigorna</i> .....	28
4.2.2	<i>Níveis de água – Frente 4 e Frente 5</i> .....	37
4.2.3	<i>Cava Leste</i> .....	41
4.2.4	<i>Níveis de água – Depósitos/pilhas de estéril</i> .....	46
4.2.5	<i>Níveis de água – entorno das frentes de lavra</i> .....	50
4.2.6	<i>Drenos verticais</i> .....	55
4.3	VAZÕES NOS CURSOS D'ÁGUA.....	57
4.3.1	<i>Vertedouros</i> .....	57
4.3.2	<i>Estação fluviométrica</i> .....	62
4.3.3	<i>Calhas Parshall</i> .....	64
4.3.4	<i>Medição de vazão com micromolinete</i> .....	66
4.4	VAZÕES DE BOMBEAMENTO DOS POÇOS TUBULARES.....	71
<b>5</b>	<b>MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL</b> .....	<b>76</b>
5.1	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	76
5.1.1	<i>Aloterita</i> .....	79
5.1.2	<i>Isalterita</i> .....	80
5.1.3	<i>Rocha alterada</i> .....	81
5.1.4	<i>Rocha fresca</i> .....	81
5.1.5	<i>Rochas Encaixantes</i> .....	82
5.2	PARÂMETROS HIDRÁULICOS.....	83
5.2.1	<i>Ensaio de permeabilidade – Água Consultores 2001</i> .....	83
5.2.2	<i>Ensaio de bombeamento expeditos nos poços de observação – MDGEO 2005</i> .....	83
5.2.3	<i>Ensaio de bombeamento do poço tubular PB01-06 – MDGEO 2006</i> .....	84
5.2.4	<i>Resultados de calibrações do primeiro modelo numérico – MDGEO 2008</i> .....	85
5.2.5	<i>Resultados de calibrações dos modelos numéricos anteriores – MDGEO 2012 e 2014</i> .....	86
5.2.6	<i>Resultados de calibrações dos modelos numéricos anteriores – MDGEO 2016</i> .....	87
5.3	MAPA POTENCIOMÉTRICO E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRANEA.....	88
<b>6</b>	<b>MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO</b> .....	<b>92</b>
6.1	METODOLOGIA E ETAPAS.....	92
6.2	DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO.....	94
6.2.1	<i>Bases cartográficas</i> .....	94
6.2.2	<i>Limites do modelo e malha (grid)</i> .....	95
6.2.3	<i>Períodos de tempo (Time stress)</i> .....	97
6.2.4	<i>Condições de contorno (boundaries)</i> .....	100
6.2.5	<i>Unidades hidrogeológicas (Properties)</i> .....	104
6.2.6	<i>Instrumentos de monitoramento do nível d'água (Head Observation)</i> .....	108
6.2.7	<i>Zonas de balanço (Zone Budget)</i> .....	108
6.3	CALIBRAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO.....	112



6.3.1	<i>Calibração em regime de escoamento permanente</i> .....	112
6.3.2	<i>Calibração em regime de escoamento transiente</i> .....	124
6.3.3	<i>Entrada de dados (input) e resultados (output)</i> .....	124
<b>7</b>	<b>SIMULAÇÕES DO AVANÇO DA LAVRA E DO REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA</b>	<b>158</b>
7.1	CENÁRIOS SIMULADOS .....	159
7.2	PERÍODOS DE TEMPO SIMULADOS .....	165
7.3	INPUT DE DADOS .....	165
7.3.1	<i>Carga hidráulica inicial</i> .....	165
7.3.2	<i>Recarga</i> .....	165
7.3.3	<i>Poços tubulares existentes</i> .....	166
7.3.4	<i>Estruturas de drenagem da cava</i> .....	167
7.3.5	<i>Zonas de balanço (Vazões dos avanços de lavra)</i> .....	168
7.4	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO .....	169
7.4.1	<i>Cava de 2021</i> .....	169
7.4.2	<i>Cava de 2022</i> .....	172
7.4.3	<i>Cava de 2023</i> .....	174
7.4.4	<i>Cava de 2024</i> .....	177
7.4.5	<i>Cava de 2025</i> .....	179
7.4.6	<i>Cava de 2030</i> .....	181
7.4.7	<i>Cava de 2040</i> .....	184
7.4.8	<i>Cava de 2053</i> .....	186
7.5	VAZÃO DE PRODUÇÃO DO SISTEMA DE REBAIXAMENTO .....	188
7.6	ANÁLISE DE IMPACTOS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA .....	192
7.6.1	<i>Impacto do rebaixamento do nível d'água nas nascentes do entorno do empreendimento</i> .....	201
7.6.2	<i>Impactos qualitativos e plano de contenção de sedimentos</i> .....	202
7.6.3	<i>Mitigação dos impactos na disponibilidade hídrica</i> .....	206
7.7	ARQUIVOS DIGITAIS FINAIS DAS ETAPAS DO MODELAMENTO NUMÉRICO .....	208
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>209</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>215</b>

## TABELAS

<i>Tabela 4.1: Rede de monitoramento hidrogeológico do CMT – agosto/2021 .....</i>	21
<i>Tabela 4.2: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento pluviométrico .....</i>	23
<i>Tabela 4.3: Histórico de precipitação para o Complexo Minerário de Tapira, segregado por mês, período de chuva e ano hidrológico. ....</i>	25
<i>Tabela 4.4: Dados cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água – Bigorna.....</i>	29
<i>Tabela 4.5: informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água localizados nas Frentes 4 e 5. ....</i>	37
<i>Tabela 4.6: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos na Cava Leste. ....</i>	41
<i>Tabela 4.7: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos pelos Depósitos de estéril. ....</i>	47
<i>Tabela 4.8: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos externamente ao CMT.....</i>	50
<i>Tabela 4.9: Drenos verticais do CMT.....</i>	55
<i>Tabela 4.10: Informações cadastrais dos vertedores. ....</i>	57
<i>Tabela 4.11: Dados cadastrais dos pontos de medição de vazão por Micromolinete no contexto do CMT.....</i>	66
<i>Tabela 4.12: Informações cadastrais do conjunto de poços responsáveis pelo rebaixamento do nível d'água na região do CMT.....</i>	71
<i>Tabela 5.1. Valores de condutividade hidráulica (m/dia), armazenamento e porosidade obtidos na primeira calibração do modelo em 2008.....</i>	85
<i>Tabela 5.2. Valores de condutividade hidráulica (m/dia), armazenamento e porosidade obtidos nas calibrações anteriores (2012 a 2014).....</i>	86
<i>Tabela 5.3. Valores de condutividade hidráulica (m/dia) e armazenamentos obtidos na calibração anterior (2016).....</i>	87
<i>Tabela 6.1: Layers do modelo, com cotas de topo e base e espessura, em metros .....</i>	97
<i>Tabela 6.2: Períodos de tempo utilizados na calibração em regime transiente. ....</i>	98
<i>Tabela 6.3. Propriedades hidráulicas discretizadas modelo numérico.....</i>	106
<i>Tabela 6.4. Zonas de balanço aplicadas ao modelo para calibração de vazões. ....</i>	109
<i>Tabela 6.5: Valores de recarga obtidos na etapa de calibração em permanente do modelo. ....</i>	113
<i>Tabela 6.6: Valores de condutividade hidráulica e anisotropia resultantes da calibração em regime permanente (m/dia). ....</i>	114
<i>Tabela 6.7: Instrumentos de monitoramento do nível d'água e cotas do NA utilizadas na calibração em regime permanente (data base: maio de 2007).....</i>	115
<i>Tabela 6.8: Instrumentos externos à chaminé alcalina considerados na calibração em regime permanente. ....</i>	116
<i>Tabela 6.9: Nascentes externas à chaminé alcalina consideradas na calibração em regime permanente. ....</i>	117
<i>Tabela 6.10: Comparação entre as vazões monitoradas em maio de 2007 e calculadas nas zonas de balanço do modelo - calibração em regime permanente (em m<sup>3</sup>/h). ....</i>	122
<i>Tabela 6.11: Valores de recarga utilizados na recalibração do modelo em regime transiente. ....</i>	126
<i>Tabela 6.12. Valores de condutividade hidráulica resultantes da calibração do modelo (m/dia).....</i>	128
<i>Tabela 6.13: Valores de armazenamento finais da calibração em regime transiente. ....</i>	129
<i>Tabela 6.14: Setorização em grupos dos instrumentos de monitoramento de nível de água presentes no modelo numérico. ....</i>	132
<i>Tabela 6.15: Zonas de Balanço Ativas - Comparação numérica de vazões observadas (monitoradas) X calculadas (calibradas) para o final de setembro de 2020. ....</i>	155
<i>Tabela 7.1: Vazões de partida utilizados para a simulação da operação dos poços de bombeamento (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	166
<i>Tabela 7.2: Novas zonas de balanço aplicadas sobre os drenos para quantificação das vazões produzidas nos avanços de lavra simulados. ....</i>	168
<i>Tabela 7.3: Vazões dos cursos d'água monitorados (atual e simulados), considerando o mês de setembro de cada ano como data base da análise. ....</i>	198
<i>Tabela 7.4: Comparação entre as vazões calculadas para setembro de 2020 e setembro de 2053. ....</i>	199
<i>Tabela 7.5: Vazões mínimas estimadas para os cursos de água presentes no entorno da mina. ....</i>	206

## FIGURAS

<i>Figura 3.1: Localização e acesso ao Complexo Mineral de Tapira, com destaque para o limite do modelo hidrogeológico em vermelho.</i>	14
<i>Figura 3.2: Frentes de lavra do complexo Mineral de Tapira.</i>	15
<i>Figura 3.3: Inventários de pontos d'água realizados na região do CMT – 2014, 2015 e 2017 (Fonte: MDGEO, 2017).</i>	20
<i>Figura 4.1: Localização dos instrumentos de monitoramento - Contexto do CMT.</i>	22
<i>Figura 4.2: Correlação dos dados monitorados nos dois pluviômetros durante o período de sobreposição (em 2011 e 2012).</i>	24
<i>Figura 4.3: Médias, máximos e mínimos mensais da pluviometria monitorada no Complexo Minerário de Tapira.</i>	26
<i>Figura 4.4: Precipitação por ano hidrológico - Complexo Minerário de Tapira.</i>	27
<i>Figura 4.5: Localização e status de atividade dos instrumentos de monitoramento de nível de água presentes na região da Bigorna.</i>	31
<i>Figura 4.6: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna.</i>	32
<i>Figura 4.7: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna. Intervalo A.</i>	33
<i>Figura 4.8: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna. Intervalo B.</i>	34
<i>Figura 4.9: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna que apresentam maior série histórica entre 2011 e 2021 (Intervalo A).</i>	35
<i>Figura 4.10: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna que apresentam maior série histórica entre 2011 e 2020. Intervalo B.</i>	36
<i>Figura 4.11: Localização e status de funcionamento dos instrumentos de monitoramento de nível d'água – Frente 4.</i>	38
<i>Figura 4.12: Localização e status de funcionamento dos instrumentos de monitoramento de nível d'água – Frente 5.</i>	38
<i>Figura 4.13: Evolução da cota do nível d'água na região da Frente 4.</i>	39
<i>Figura 4.14: Evolução da cota do nível d'água na região das Frentes 5.</i>	40
<i>Figura 4.15: Localização e atividade dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos na Cava Leste.</i>	42
<i>Figura 4.16: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Cava Leste. Intervalo A.</i>	43
<i>Figura 4.17: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Cava Leste. Intervalo B.</i>	44
<i>Figura 4.18: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da cava Leste. Intervalo B.</i>	45
<i>Figura 4.19: Localização dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos nos depósitos de estéril.</i>	48
<i>Figura 4.20: Evolução do comportamento da cota do nível d'água para os INA's pertencentes aos Depósitos de Estéril.</i>	49
<i>Figura 4.21: Localização dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos regionalmente e no entorno das frentes de lavra mina.</i>	52
<i>Figura 4.22: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos externos ao CMT.</i>	53
<i>Figura 4.23: Evolução da cota do nível d'água do instrumento PZ-06, ponto externo ao CMT.</i>	54
<i>Figura 4.24: Evolução da cota do nível d'água dos INA's externos ao CMT.</i>	54
<i>Figura 4.25: Evolução do nível d'água nos drenos verticais das frentes F2 e F4 entre 2005 e 2012.</i>	56
<i>Figura 4.26: Mapa de localização dos vertedores.</i>	58
<i>Figura 4.27: Evolução temporal das vazões monitoradas no vertedores.</i>	59
<i>Figura 4.28: Vertedores que monitoram a bacia do Córrego da Mata.</i>	60
<i>Figura 4.29: Evolução das vazões monitoradas nos vertedores VT-19, VT-20 e VT-221.</i>	61
<i>Figura 4.30: Vazão média mensal monitorada na estação fluviométrica EF-01 entre 2002 e 2011.</i>	62
<i>Figura 4.31: Vazões produzidas na mina, monitoradas nas Calhas Parshall entre 2007 e 2014.</i>	65
<i>Figura 4.32: Localização dos pontos de monitoramento de vazão por Micromolinete - CMT.</i>	67
<i>Figura 4.33: Evolução temporal dos valores de vazões monitorados nos pontos de medição por Micromolinete.</i>	68
<i>Figura 4.34: Evolução temporal dos valores de vazões monitoradas nos canais dos Extravadores das barragens – CMT.</i>	69

<i>Figura 4.35: Evolução temporal dos valores de vazões monitoradas nos córregos e nascentes, presentes no CMT.</i>	70
<i>Figura 4.36: Localização e status de funcionamento dos poços de bombeamento no contexto do CMT.</i>	72
<i>Figura 4.37: Volume total bombeado mensalmente no CMT (m<sup>3</sup>).</i>	73
<i>Figura 4.38: Evolução da vazão média bombeada mensalmente pelo conjunto de poços de rebaixamento do CMT (m<sup>3</sup>/h).</i>	74
<i>Figura 4.39: Evolução das vazões médias bombeadas por cada poço de rebaixamento presente no contexto do CMT desde o ano de 2010.</i>	75
<i>Figura 5.1: Perfil esquemático da classificação intempérica dos litotipos do CMT</i>	78
<i>Figura 5.2: Equipotenciais do nível de água e direção de fluxo de água subterrânea na região definida para o modelo.</i>	89
<i>Figura 5.3: Equipotenciais do nível de água e direção de fluxo de água subterrânea no entorno da mina.</i>	90
<i>Figura 6.1: Vista em planta da área modelada no Visual MODFLOW, exibindo o refinamento do grid na região da Bigorna.</i>	96
<i>Figura 6.2: Distribuição de células inativas e ativas – vista tridimensional em perspectiva. O limite da chaminé alcalina está representado de preto (exagero vertical de 3x)</i>	101
<i>Figura 6.3: Potenciais Especificados nas barragens BL e BR.</i>	103
<i>Figura 6.4: Drenos aplicados ao modelo (visão tridimensional da superfície do modelo com exagero vertical de 5x)</i>	104
<i>Figura 6.5: Distribuição das propriedades hidrodinâmicas – vista tridimensional</i>	106
<i>Figura 6.6: Distribuição das propriedades hidrodinâmicas na camada 6 – vista planta.</i>	107
<i>Figura 6.7: Distribuição das propriedades hidrodinâmicas na Linha 63 – vista em perfil (Exagero vertical de 8x).</i>	107
<i>Figura 6.8: Zonas de balanço discretizadas no modelo numérico (projeção em planta única).</i>	111
<i>Figura 6.9: Retas de calibração dos níveis d'água em regime permanente com os valores observados (eixo x) e calculados (eixo y) em cada instrumento.</i>	119
<i>Figura 6.10: Isolinhas equipotenciais e sentido do fluxo de d'água subterrâneo – resultado calibração em regime permanente, layer 10.</i>	120
<i>Figura 6.11: Comparação entre as vazões monitoradas em maio de 2007 e calculadas nas zonas de balanço - calibração em regime permanente.</i>	122
<i>Figura 6.12: Zonas de recarga aplicadas ao modelo.</i>	126
<i>Figura 6.13: Calibração das vazões trimestrais bombeadas pela bateria de poços de rebaixamento (valores monitorados e calculados pelo modelo, em m<sup>3</sup>/dia).</i>	130
<i>Figura 6.14: Retas de calibração em regime transiente com os valores observados (eixo x) e calculados (eixo y) em cada instrumento (Time – 122 dias).</i>	131
<i>Figura 6.15: Retas de calibração em regime transiente com os valores observados (eixo x) e calculados (eixo y) em cada instrumento no último período de calibração (dia – 5206).</i>	132
<i>Figura 6.16: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo A: Bigorna Sul.</i>	134
<i>Figura 6.17: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo B: Bigorna Oeste</i>	134
<i>Figura 6.18: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo C: Bigorna Centro.</i>	135
<i>Figura 6.19: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo D: Bigorna Norte.</i>	135
<i>Figura 6.20: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo E: Bigorna Leste.</i>	136
<i>Figura 6.21: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo F: Frentes 4, 5 e 6.</i>	136
<i>Figura 6.22: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo G: Cava Leste.</i>	137
<i>Figura 6.23: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo H: Externos 1 (Externos as cavas).</i>	137
<i>Figura 6.24: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo I: Externos 2 (Instrumentos Regionais).</i>	138
<i>Figura 6.25: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo J: Instrumentos Anômalos.</i>	138



<i>Figura 6.26: Comparação dos níveis d'água observados e calculados nos instrumentos PZ_F1_01, PZ_F2_01 e PZ_F2_06 (Grupo B).....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 6.27: Comparação dos níveis d'água observados e calculados nos instrumentos INA-613, INA-115 e INA-228 (Grupo F).....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 6.28: Erro médio normalizado - RMS ao longo de todos os períodos da calibração .....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 6.29: Isolinhas equipotenciais do nível d'água de 10 em 10 m ao final da calibração - agosto de 2021 (período 57 - 5206 dias) – layer20. ....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 6.30: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 2. ....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 6.31: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 3. ....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 6.32: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 5. ....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 6.33: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 6. ....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 6.34: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 7. ....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 6.35: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 11. ....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 6.36: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 18. ....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 6.37: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 19. ....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 6.38: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 20. ....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 6.39: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 21. ....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 6.40: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 22. ....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 6.41: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 23. ....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 6.42: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 24. ....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 6.43: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 25. ....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 6.44: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 26. ....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 6.45: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 27. ....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 6.46: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z_bud 10 (Calhas TC-03 e F5-6). ....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 6.47: Zonas de Balanço Ativas – Comparação gráfica de vazões observadas (monitoradas) X calculadas (calibradas) para o final de setembro de 2020. ....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 6.48: Ilustração das localizações das zonas de balanço aplicadas sobre os drenos que representam os cursos d'água monitorados. ....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 7.1: Cava atual. ....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 7.2: Representação dos avanços de lavra referentes aos anos de 2021, 2022, 2023, 2024 e 2025. ....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 7.3: Representação dos avanços referentes a cava do ano de 2030 em relação ao cenário de 2025. ....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 7.4: Representação dos avanços referentes a cava do ano de 2040 em relação ao cenário de 2030. ....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 7.5: Representação dos avanços referentes a cava do ano de 2053 em relação ao cenário de 2040. ....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 7.6: Drenos aplicados para promover desaguamento - cava leste (Layer 5). ....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 7.7: Zonas de balanço aplicadas sobre os drenos para quantificação das vazões produzidas nos avanços de lavra simulados (2021 a 2053) – Layer 6. ....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 7.8: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA- Cava de 2021 (layer 7, stress period 2: 122 dias). ....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 7.9: Vista em seção vertical (A-A') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias). ....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 7.10: Vista em seção vertical (B-B') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias). ....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 7.11: Vista em seção vertical (C-C') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias). ....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 7.12: Vista em seção vertical (D-D') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias). ....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 7.13: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA- Cava de 2022 (layer 7, stress period 6: 487 dias). ....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 7.14: Vista em seção vertical (E-E') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2022 (stress period 6: 487 dias). ....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 7.15: Vista em seção vertical (F-F') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2022 (stress period 6: 487 dias). ....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 7.16: Vista em seção vertical (G-G') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2022 (stress period 6: 487 dias). ....</i>	<i>173</i>

<i>Figura 7.17: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2023 (layer 7, stress period 10: 852 dias).</i>	174
<i>Figura 7.18: Vista em seção vertical (H-H') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).</i>	175
<i>Figura 7.19: Vista em seção vertical (I-I') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).</i>	175
<i>Figura 7.20: Vista em seção vertical (J-J') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).</i>	175
<i>Figura 7.21: Vista em seção vertical (K-K') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).</i>	176
<i>Figura 7.22: Vista em seção vertical (L-L') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).</i>	176
<i>Figura 7.23: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2024 (layer 7, stress period 14: 1218 dias).</i>	177
<i>Figura 7.24: Vista em seção vertical (M-M') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).</i>	177
<i>Figura 7.25: Vista em seção vertical (N-N') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).</i>	178
<i>Figura 7.26: Vista em seção vertical (O-O') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).</i>	178
<i>Figura 7.27: Vista em seção vertical (P-P') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).</i>	178
<i>Figura 7.28: Vista em seção vertical (Q-Q') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).</i>	178
<i>Figura 7.29: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2025 (layer 7, stress period 18: 1583 dias).</i>	179
<i>Figura 7.30: Vista em seção vertical (R-R') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).</i>	179
<i>Figura 7.31: Vista em seção vertical (S-S') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).</i>	180
<i>Figura 7.32: Vista em seção vertical (T-T') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).</i>	180
<i>Figura 7.33: Vista em seção vertical (U-U') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).</i>	180
<i>Figura 7.34: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2030 (layer 7, stress period 38: 3409 dias).</i>	181
<i>Figura 7.35: Vista em seção vertical (V-V') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	182
<i>Figura 7.36: Vista em seção vertical (W-W') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	182
<i>Figura 7.37: Vista em seção vertical (X-X') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	182
<i>Figura 7.38: Vista em seção vertical (Y-Y') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	183
<i>Figura 7.39: Vista em seção vertical (V-V') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	183
<i>Figura 7.40: Vista em seção vertical (V-V') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	183
<i>Figura 7.41: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2040 (layer 10, stress period 78: 7062 dias).</i>	184
<i>Figura 7.42: Vista em seção vertical (A-B) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	185
<i>Figura 7.43: Vista em seção vertical (C-D) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	185
<i>Figura 7.44: Vista em seção vertical (E-F) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	185
<i>Figura 7.45: Vista em seção vertical (G-H) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).</i>	185
<i>Figura 7.46: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2053 em ROSA (layer 10, stress period 130: 11810 dias).</i>	186

<i>Figura 7.47: Vista em seção vertical (I-J) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2053 (stress period 130: 11810 dias).....</i>	187
<i>Figura 7.48: Vista em seção vertical (K-L) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2053 (stress period 130: 11810 dias).....</i>	187
<i>Figura 7.49: Vista em seção vertical (M-N) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2053 (stress period 130: 11810 dias).....</i>	187
<i>Figura 7.50: Vazão para o sistema de desaguamento das cavas (2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2030, 2040 e 2053), com produção dos poços existentes. ....</i>	189
<i>Figura 7.52: Evolução da vazão monitorada no VT-01 (Córrego da Mata - Montante) – Zbud 02 – calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	192
<i>Figura 7.53: Evolução da vazão monitorada no VT-03 (Córrego da Mata - jusante) – Zbud 03 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	193
<i>Figura 7.54: Evolução da vazão monitorada no VT-04 (Córrego da Cachoeira) – Zbud 05 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia).....</i>	193
<i>Figura 7.55: Evolução da vazão monitorada no VT-05 (Córrego dos Pilões) – Zbud 06 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	193
<i>Figura 7.56: Evolução da vazão monitorada no VT-06 (Córrego Canjerana) – Zbud 07 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	194
<i>Figura 7.57: Evolução da vazão monitorada no VT-19 (Córrego Canoas) – Zbud 11 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	194
<i>Figura 7.58: Evolução da vazão monitorada no VT-20 (Córrego Bálsamo) – Zbud 18 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	194
<i>Figura 7.59: Evolução da vazão monitorada no VT-221 (Afluente Córrego Capão Escuro) – Zbud 19 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	195
<i>Figura 7.60: Evolução da vazão monitorada no VHM_CESCUROM (Córrego Capão Escuro - Montante) – Zbud 20 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	195
<i>Figura 7.61: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Capão Escuro – Zbud 21 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	195
<i>Figura 7.62: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Bom Jardim 1 – Zbud 22 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	196
<i>Figura 7.63: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Bom Jardim 2 – Zbud 23 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	196
<i>Figura 7.64: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Barcelos – Zbud 24 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	196
<i>Figura 7.65: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Areias – Zbud 25 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	197
<i>Figura 7.66: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Antas – Zbud 26 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	197
<i>Figura 7.67: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Fruteiras – Zbud 27 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia). ....</i>	197
<i>Figura 7.68: Exemplo de sistema composto por bacias de contenção. (Fonte: MAM, 2012). ....</i>	203
<i>Figura 7.69: Exemplo sistema de contenção via paliçadas. (Fonte: MAM, 2012). ....</i>	203
<i>Figura 7.70: Exemplo sistema de contenção via gabião. (Fonte: MAM, 2012). ....</i>	204

## ANEXOS

**ANEXO 1 – Identificação, localização, status em 2021 e etapa de calibração do modelo em que foi utilizado cada instrumento de monitoramento do nível d'água e nascente**

**ANEXO 2 – Períodos de stress, intervalos de tempo para a cava final, ano de 2053**

**ANEXO 3 – Tabela de input das recargas atribuídas na etapa de simulação**

**ANEXO 4 – Vazões atribuídas a cada poço durante a etapa de simulação do modelo**

**ANEXO 5 – Vazões de produção de água subterrânea calculadas na simulação do rebaixamento do nível d'água entre 2021 e 2053**

**ANEXO 6 – Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)**

## 1 INTRODUÇÃO

---

O presente estudo apresenta o modelo hidrogeológico numérico estendido a uma área além dos limites da Chaminé Alcalina, contexto geológico onde a mina de fosfato do Complexo Mineral de Tapira – CMT está inserida. Este novo modelo visa uma atualização dos dados a partir dos modelos apresentados nos anos de 2016 e 2018, entretanto, englobando uma área mais extensa, conforme acordado com o contratante.

A área modelada possui aproximadamente 162 km<sup>2</sup> e abrange, além de toda a Chaminé Alcalina de Tapira (“domo”), uma grande área externa, incluindo a bacia do Córrego da Mata e outras sub-bacias da região, até a mancha urbana do município de Tapira.

O trabalho aqui apresentado contempla a caracterização do meio físico da área, a compilação dos dados de monitoramento hídrico, a apresentação do inventário de nascentes consolidado até o momento (com as nascentes cadastradas nas campanhas de 2014, 2015 e 2017) e, conseqüentemente, a atualização do modelo hidrogeológico conceitual e numérico, a luz dos dados atuais.

O modelamento numérico do fluxo d'água subterrâneo do CMT foi elaborado através do programa *Visual MODFLOW*, contendo as etapas de calibração do modelo em regimes de escoamento permanente e transiente, além de simulações de cenários de cavas planejadas para os anos de 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2030, 2040 e 2053 (cava final), com subsequente avaliação de impactos do rebaixamento na disponibilidade de água subterrânea nos córregos do entorno do Complexo Minerador de Tapira.



## 2 ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS ANTERIORES

Os primeiros estudos hidrogeológicos no CMT disponíveis foram realizados pela Água Consultores Associados Ltda. no ano de 2001, intitulado “Estudo Hidrológico e Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Córrego da Mata”. Durante 4 anos (2001 a 2004) foram realizados diversos levantamentos de campo, apresentados em relatórios parciais de andamento (RT1 a RT6) e em relatório conclusivo RT7.

A MDGEO vem desenvolvendo estudos hidrogeológicos no CMT desde o ano de 2003, para as então empresas FOSFÉRITIL, VALEFERT E MOSAIC, sendo produzido os seguintes relatórios:

- 2004 – Inventário de pontos d'água na mina de Tapira e região da Bigorna, maio de 2004 (REL\_FOSF\_CMT\_001\_04);
- 2005 – Projeto de rede de monitoramento e estruturas de drenagem para o rebaixamento do nível d'água da Mina de Tapira, fevereiro de 2005 (REL\_FOSF\_CMT\_002\_05);
- 2006 – Dimensionamento das condições de exploração do poço tubular pioneiro da área da Bigorna, fevereiro de 2006 (REL\_FOSF\_CMT\_005\_06);
- 2007 – Avaliação e consolidação dos dados da rede de monitoramento hidrogeológica, novembro de 2007 (REL\_FOSF\_CMT\_012\_07);
- 2008 – Primeiro modelo hidrogeológico numérico do fluxo de água subterrânea do CMT e projeto preliminar de rebaixamento do nível d'água da região da bigorna (REL\_FOSF\_CMT\_015\_08).
- 2012 – Atualização do modelo hidrogeológico conceitual e numérico e projeto conceitual do rebaixamento do nível d'água do CMT - 2012 para atendimento do planejamento de lavra e outorga do sistema RNA (REL\_CMT\_RNA\_2012\_R4\_V39).
- 2014 – Atualização do modelo hidrogeológico conceitual e numérico - condicionante de outorga do sistema de RNA (R\_VALEFERT\_CMT\_475\_MN\_V03).
- 2015 - Estudos hidrogeológicos complementares para EIA do alteamento da barragem BL-01 - Modelo numérico (R\_VALEFERT\_CMT\_615\_BL01\_R2)
- 2015 - Atualização do Modelo do Complexo de Mineração de Tapira Valefert – Recalibração 2015 (R\_VALEFERT\_CMT\_633\_MN\_DOMO\_R3)

 <b>MDGEO</b>		<b>RELATÓRIO MDGEO Nº</b>
		R_1230_MDL_MOSAIC_TAPIRA_2021_V01
<b>ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021</b>		

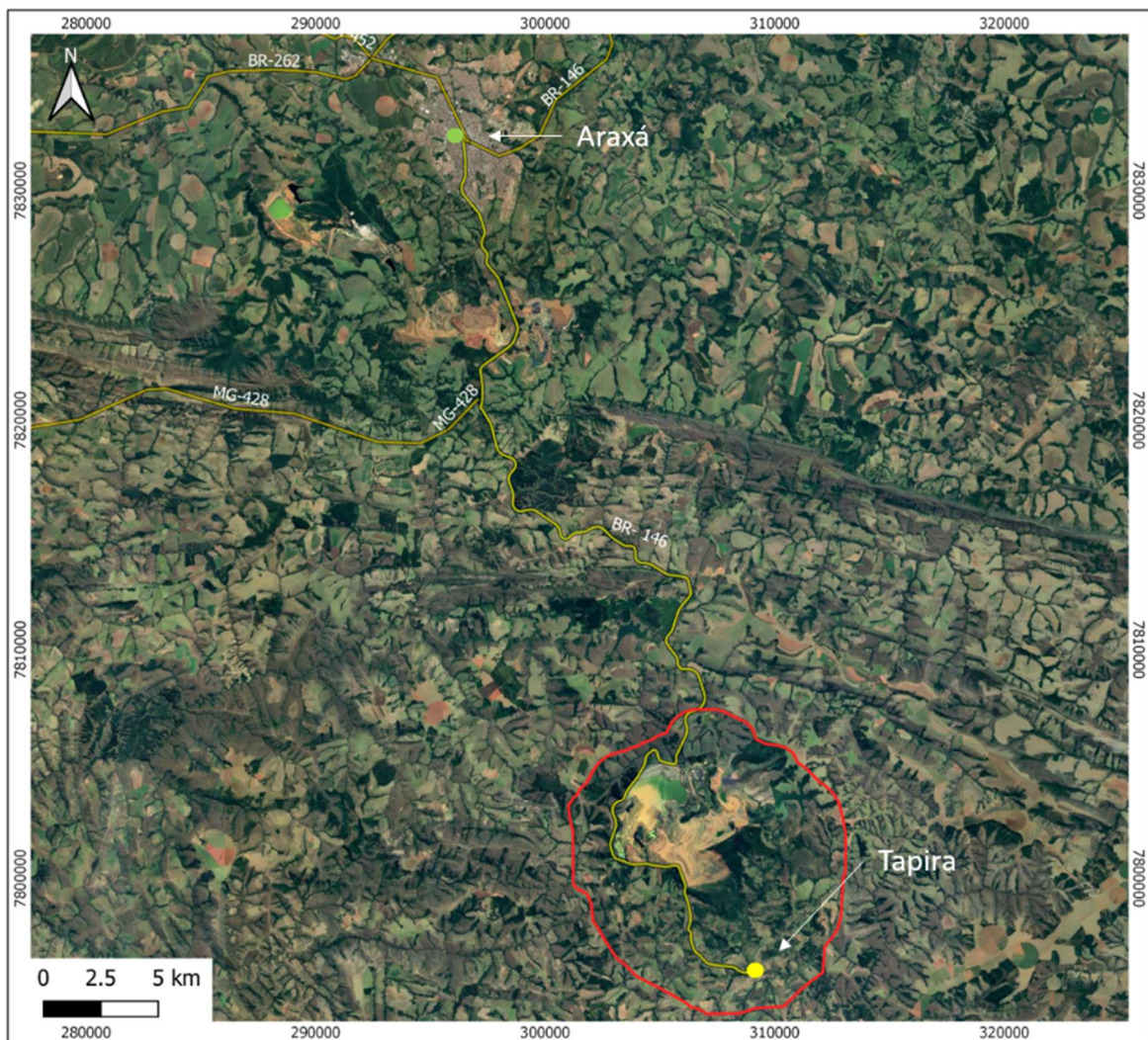
- 2016 – Atualização do Modelo Hidrogeológico da Mina de Tapira - CMT - Recalibração 2016 (R\_VALEFERT\_CMT\_702\_MN\_DOMO\_R03\_RF)
- 2017 - Diagnóstico e Prognóstico das vazões mínimas das bacias do entorno do Complexo Mineração Tapira Valefert (R\_VALEFERT703\_01\_VZMN\_R2)
- 2017 - Inventário de pontos d'água complementar no entorno Do Complexo De Mineração De Tapira (R\_VALEFERT766\_01\_INV\_RF)
- 2017 - Cadastro complementar de usuários de água no entorno do Complexo de Mineração de Tapira - Campanha 2017 (R\_VALEFERT805\_01\_USU\_R01)
- 2018 - Modelo hidrogeológico do complexo de mineração de Tapira – Elaborado por Luiz Carlos M. Ferrari (R\_MOSAIC\_CMT\_845\_MN\_EXP\_2018)
- 2020 – Atualização do Modelo Hidrogeológico da Mina de Tapira - CMT Modelo Numérico Expandido além dos Limites da Chaminé Alcalina (R\_1112\_MDL\_MOSAIC\_TAPIRA\_2020\_RF)

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O município de Tapira fica localizado no sudoeste do estado de Minas Gerais, a aproximadamente 420 quilômetros de Belo Horizonte.

Partindo de Belo Horizonte, o deslocamento ocorre pela BR-262 até a cidade de Araxá, para acessar a rodovia MG-428 que liga Araxá à Sacramento. Percorre-se então cerca de 18 quilômetros na MG-428 até o trevo que dá acesso para Tapira, a partir desse ponto são 26 quilômetros na MG-341 (trecho da BR-146) até o Complexo de Mineração de Tapira – CMT (Figura 3.1).



**Figura 3.1: Localização e acesso ao Complexo Mineral de Tapira, com destaque para o limite do modelo hidrogeológico em vermelho.**



Embora as atividades de lavra, atualmente, estejam concentradas na região da Frente F2/Bigorna, planeja-se o avanço na lavra até o ano de 2053, sobretudo na direção leste (Cava Leste – F2/CL), o que será discutido posteriormente.

A Figura 3.2 ilustra as frentes de lavra presentes no contexto do CMT e o limite planejado para a cava final (ano de 2053).

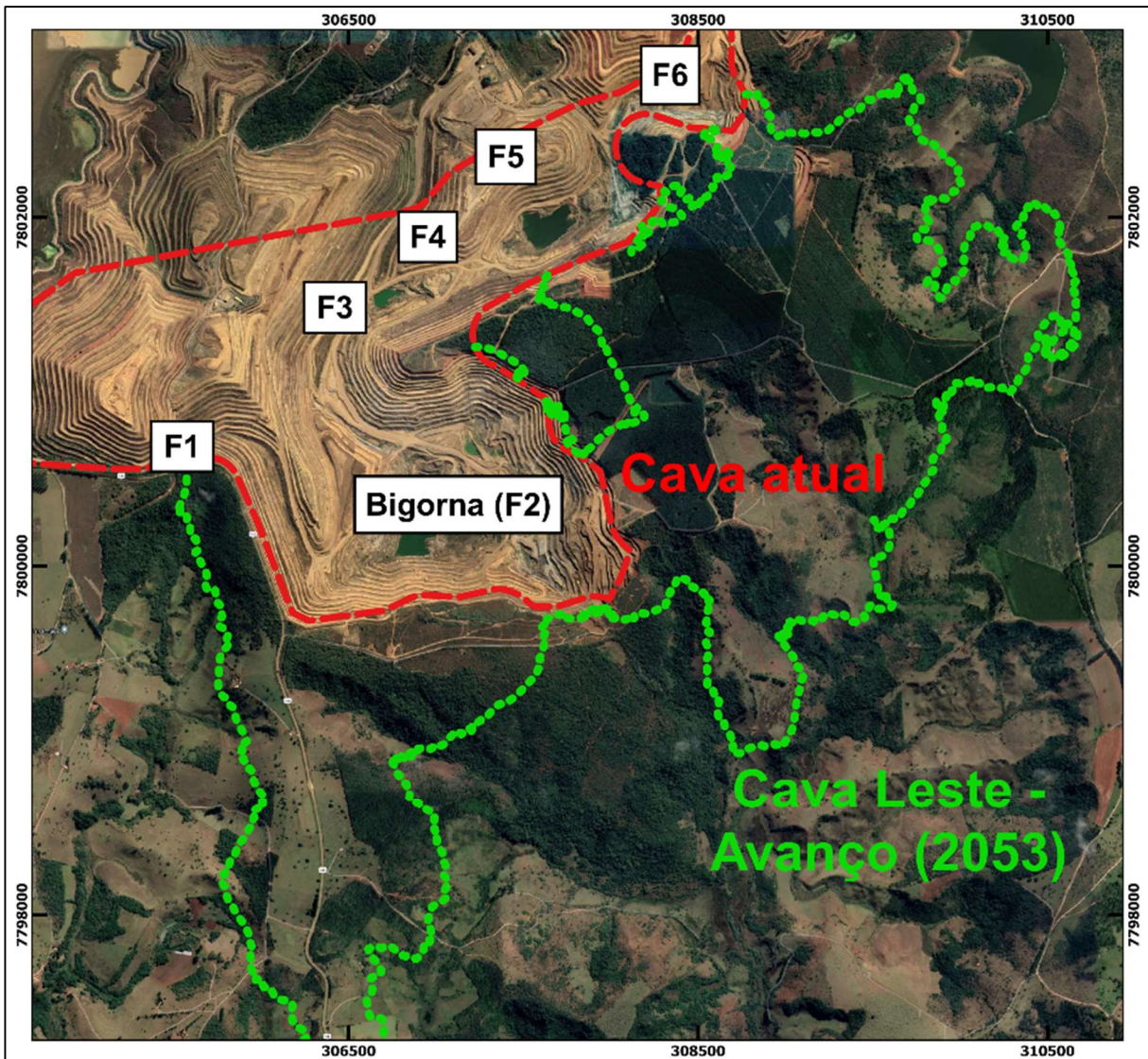


Figura 3.2: Frentes de lavra do complexo Mineral de Tapira.

## 3.2 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

### 3.2.1 Geologia regional

Os complexos alcalinos brasileiros são agrupados em cinco províncias geográficas: Amazônica, Alto Araguaia, Alto Paranaíba, Sudeste e Sul. Economicamente, a mais importante é a província do Alto Paranaíba, que contém as minas de fosfato da Mosaic Fertilizantes, antiga Vale Fertilizantes SA, Fosfértil, Ultrafértil e Bunge.

Os complexos alcalinos do Alto Paranaíba são representados por cinco estruturas no estado de Minas Gerais (Barreiro, Tapira, Serra Negra e Salitre I e II) e duas estruturas no estado de Goiás (Catalão I e II). Regionalmente, estes complexos estão intrudidos nas rochas metamórficas que compõem a Faixa Brasília, além das rochas que compõem parte dos limites nordeste da Bacia do Paraná e sudoeste do Cráton São Francisco.

A morfologia desses complexos caracteriza por um núcleo de rochas ígneas (flogopititos, piroxenitos, dunitos, foscoritos, bebedouritos e carbonatitos) em formato semicircular (domos), com diâmetro médio entre 5 e 10 km, envoltos por rochas metassedimentares arqueadas pela intrusão. Estas rochas estão associadas a um intenso magmatismo ultra potássico que atingiu esta região durante o Cretáceo Superior, com idades obtidas entre 85 e 120 milhões de anos (Bizzi et al., 1994, Gibson et al., 1995, in MDGEO, 2009).

### 3.2.2 Geologia local

O Complexo Mineral de Tapira - CMT está inserido em uma intrusão ultramáfica-alcalina carbonatítica denominada chaminé alcalina de Tapira, de forma aproximadamente circular com cerca de 6 km de diâmetro, intrudida nos xistos e quartzitos pré-cambrianos do Grupo Canastra.

A gênese do depósito mineral é consequência do enriquecimento supergênico de rochas ultrabásicas originalmente ricas em titânio e fósforo. A jazida é tipicamente residual, resultante da lixiviação e solubilização parcial dos constituintes das rochas originais, gerando o enriquecimento de minerais originalmente mais estáveis como apatita e magnetita.

De uma maneira global, o manto de alteração residual que compreende o principal minério explorado na mina é composto por horizontes físico-quimicamente distintos, com o topo composto por solos ricos em matéria orgânica, seguido por um horizonte bastante alterado e rico em magnetita, contendo mais de 10% de  $TiO_2$  e menos de 5% de  $P_2O_5$  denominado de “titânio”. Mais abaixo, encontra-se o horizonte de fosfato em contato gradacional, contendo teores de  $P_2O_5$  maiores que 5 %, rico em apatita. Abaixo desse perfil de alteração ocorrem rochas fosfáticas semi-compactas e compactas.

Em 2010, foi concebido o modelo geológico do CMT, a partir de campanhas de sondagem e da interpretação de seções verticais, cortando toda a Chaminé Alcalina de Tapira (NE-SW e E-W). As rochas do depósito foram classificadas em dois modelos distintos, chamados de geológico e tipológico (ou de intemperismo), apresentados posteriormente em relatórios da MDGEO (2012 e 2014).

A classificação geológica leva em consideração as características genéticas e geoquímicas das rochas, separando-as nas seguintes litologias:

- Capeamento
- Bebedourito
- Foscorito
- Carbonatito
- Sienito
- Dunito
- Silexito
- Fenito
- Encaixante

A classificação tipológica (ou intempérica) individualiza os litotipos de acordo com o grau de alteração do perfil de intemperismo das rochas acima descritas, delimitando os seguintes horizontes com diferentes gradientes de alteração intempérica:

- Aloterita
- Isalterita
- Rocha alterada

- Rocha fresca
- Isalterito (titânio-magnetita)

As rochas encaixantes, situadas no entorno da chaminé alcalina, não contempladas nos modelos numéricos realizados até 2016, no atual estudo são incluídos para a elaboração do modelo, e corresponde aos xistos e sua cobertura residual.

Em termos hidrogeológicos, a classificação intempérica é mais importante do que a classificação geológica propriamente dita, em função das propriedades hidrodinâmicas associadas a cada horizonte. Desta maneira, conforme a evolução e atualizações dos estudos, o modelo numérico atual utiliza como base a classificação intempérica para a determinação das propriedades hidrodinâmicas.

Para elaboração do modelo numérico foi utilizado o modelo geológico disponibilizado pela Mosaic em sessões horizontais nas cotas 920 m a 1320 m, em que o domínio Isalterita é subdividido na região da mina em outras sete litologias (bebedourito, foscorito, carbonatito, sienito, silexito, fenito, flogoptito), de acordo com a rocha fonte do produto de intemperismo. O refinamento das litologias dentro da chaminé alcalina, sobretudo do domínio Isalterita, é considerado no modelo numérico com o objetivo de realizar a representação computacional mais aproximada do que se é observado em campo.

### 3.3 INVENTÁRIOS DE PONTOS D'ÁGUA

O Inventário de Pontos d'água é parte integrante dos estudos auxiliares para atualização do modelo hidrogeológico do Complexo de Mineração de Tapira, sendo o alicerce de qualquer estudo hidrogeológico. Durante o inventário são cadastrados pontos de nascentes d'água, estruturas de captação, pontos de controle e drenagens secas.

A região do Complexo Minerário de Tapira já possui um consistente banco de dados sobre os pontos d'água existentes na região, com informações provenientes de pelo menos 3 campanhas de cadastramento de pontos d'água (realizadas pela MDGEO em 2014, 2015 e 2017), bem como o cadastramento de usuários de água na região. O inventário realizado em 2014 teve como foco a região entre o CMT e o município de Tapira, o de 2015 englobou o entorno das barragens BR-01 e BL-01. Já no inventário 2017, mais atual até o presente momento do estudo, realizou-se uma expansão do cadastramento de nascentes para as regiões sul e oeste do CMT e no entorno do município de Tapira, com levantamento de 51 nascentes, 1 drenagem seca e 17 pontos de controle.

A Figura 3.3 demonstra a localização das nascentes e pontos de controle das 3 campanhas realizadas, percebe-se um número elevado de registros e um preenchimento considerável da área de estudo.



ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021

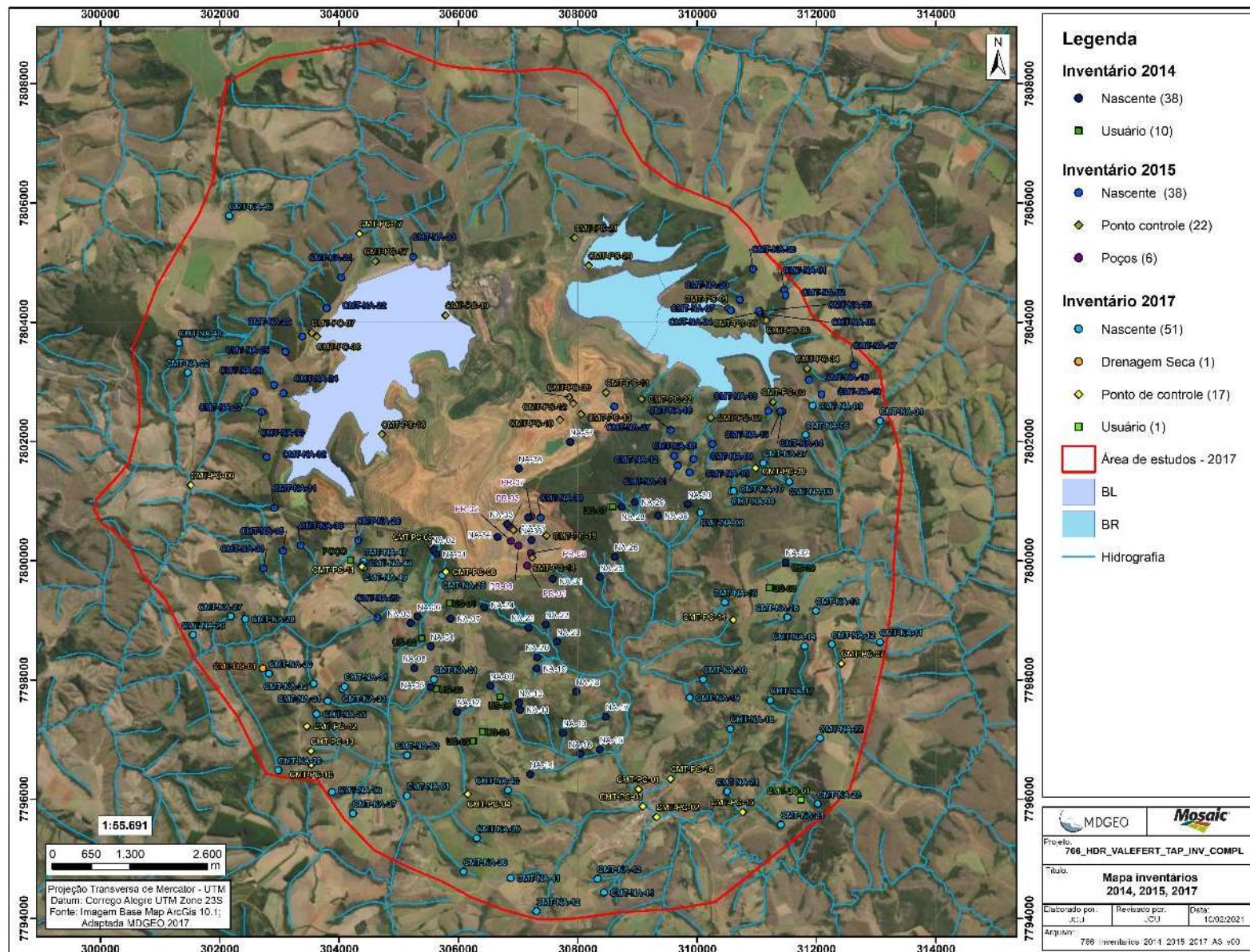


Figura 3.3: Inventários de pontos d'água realizados na região do CMT – 2014, 2015 e 2017 (Fonte: MDGEO, 2017).

## 4 COMPILAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO

As informações apresentadas neste capítulo correspondem aos dados integrados do monitoramento hidrogeológico do Complexo Mineral de Tapira (CMT), contemplando o monitoramento da pluviometria (1987 a 2021), nível d'água subterrâneo (2001 a 2021), vazões em cursos d'água (2002 a 2021) e vazões dos poços de bombeamento (2010 a 2021). Os dados coletados dos instrumentos de monitoramento foram tratados em planilhas de Excel com intuito de balizar a atualização do modelo hidrogeológico conceitual e numérico do CMT.

A Tabela 4.1 informa quantitativamente a relação de instrumentos que compõe a rede de monitoramento hidrogeológico no CMT, evidenciando a periodicidade das leituras e o status de funcionamento de cada instrumento. Ressalta-se que foram considerados como instrumentos ativos aqueles que apresentam registros no ano de 2021.

**Tabela 4.1: Rede de monitoramento hidrogeológico do CMT – agosto/2021**

<b>INSTRUMENTOS MONITORADOS</b>	<b>TOTAL</b>	<b>ATIVOS</b>	<b>PERIODICIDADE</b>
<b>Pluviômetro (CMT e Tapira)</b>	2	1	diário
<b>PZ's</b>	46	25	semanal/ mensal
<b>INA's</b>	173	62	semanal/quinzenal
<b>Vertedouro</b>	27	8	semanal/mensal
<b>Estação Fluviométrica</b>	1	0	diário
<b>Calhas Parshall</b>	2	0	semanal
<b>Micromolinete</b>	12	11	mensal
<b>Extravasores</b>	3	2	mensal
<b>DHP's</b>	16	8	mensal
<b>Poços de bombeamento (NA)</b>	8	8	semanal/mensal (variável)
<b>Poços de bombeamento (vazão)</b>	16	8	diário



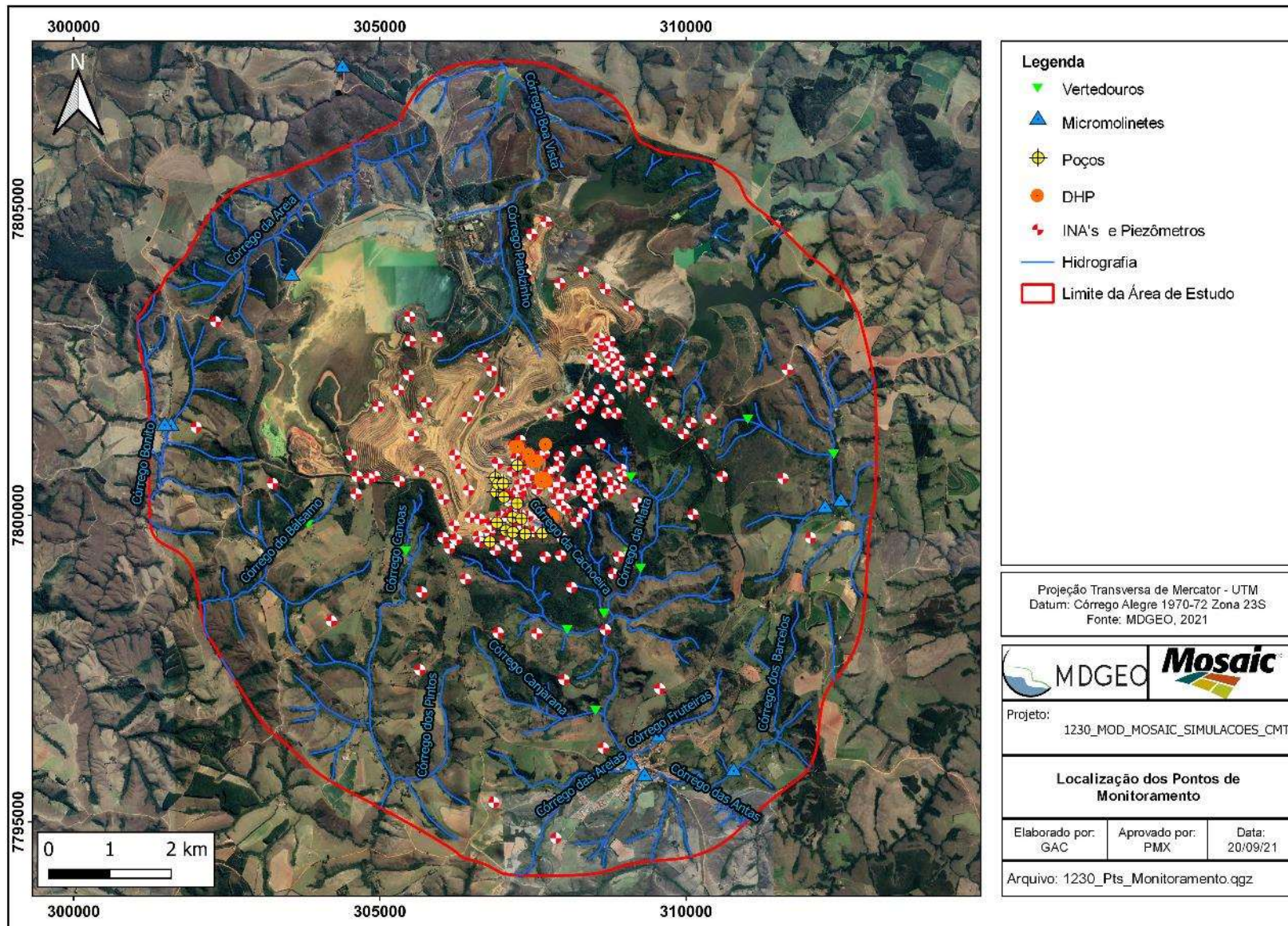


Figura 4.1: Localização dos instrumentos de monitoramento - Contexto do CMT.

#### 4.1 PLUVIOMETRIA

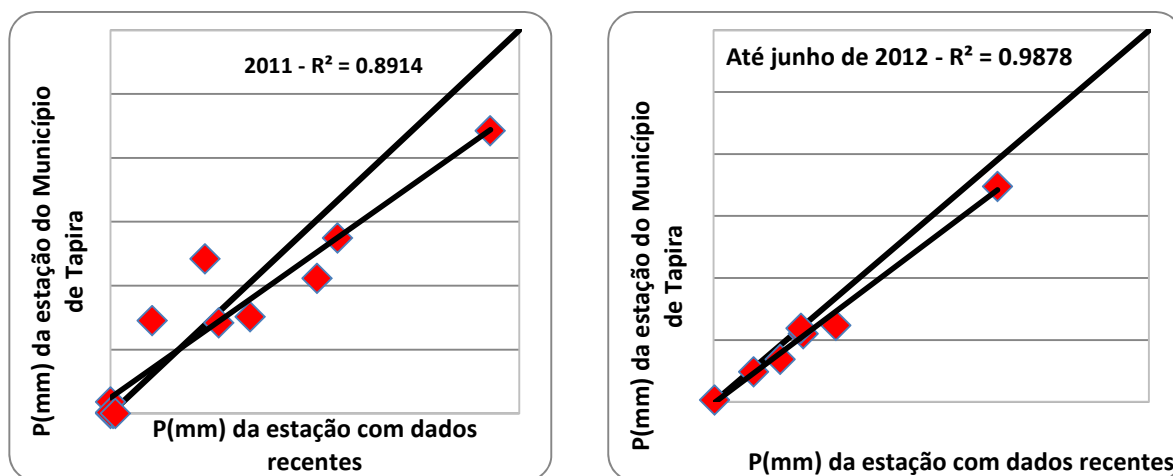
A pluviometria consiste no registro da altura em milímetros, da água de chuva (precipitação) acumulada em um pluviômetro. O índice pluviométrico em milímetros indica o volume em litros de água incidente em um metro quadrado de área, ou seja, um mm de precipitação equivale a 1 litro de água por metro quadrado. Os registros pluviométricos são essenciais para os estudos hidrogeológicos, tanto para fundamentar os resultados obtidos em pontos de monitoramento de nível d'água e vazões (superficiais e subterrâneas), como para estimar a recarga dos aquíferos.

A série histórica dos dados de pluviometria para região do Complexo Minerário de Tapira, foi obtida através de dois pluviômetros, um localizado no Município de Tapira (monitorado pela VALEFERT entre janeiro de 1987 a julho de 2012), e outro mais recente, pertencente as instalações do CMT, com monitoramento iniciado em janeiro de 2011 e realizado até os dias atuais. As informações cadastrais desses instrumentos estão apresentadas na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento pluviométrico.**

Instrumento	Localização	Coordenadas		Período monitorado
		x	y	
<b>Pluv-01</b>	Município de Tapira - MG.	307324	7802310	Jan/1987 a Jul/2012
<b>Pluv-02</b>	Complexo Minerário de Tapira	307213	7799956	Jan/2011 a Ago/2021

Destaca-se que os dois pluviômetros possuem um período de monitoramento concomitante de 15 meses, entre janeiro de 2011 e julho de 2012. Para avaliar qual fonte de dados utilizar nesse período, correlacionou-se os dados de ambos os instrumentos, para os anos de 2011 e 2012 (somente até julho). A Figura 4.2 apresenta o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para os dois anos. Nota-se que em 2011 a correlação foi de aproximadamente 90% e para 2012 de 98%. Sendo assim, optou-se por utilizar os dados provenientes do pluviômetro do município de Tapira até julho de 2012, e a partir desta data complementar a série histórica com registros do pluviômetro do Complexo Minerário de Tapira.



**Figura 4.2. Correlação dos dados monitorados nos dois pluviômetros durante o período de sobreposição (em 2011 e 2012)**

Ressalta-se que o mais adequado para retratar a série histórica da pluviometria seria à continuidade do monitoramento pelo pluviômetro de Tapira, devido aos seus 25 anos de registros. Porém, como se trata da precipitação de uma mesma região, com distância relativamente pequena entre os dois instrumentos e boa correlação de dados para o período concomitante de monitoramento, a continuidade da série histórica, a título de interesse do modelo hidrogeológico, não será prejudicada.

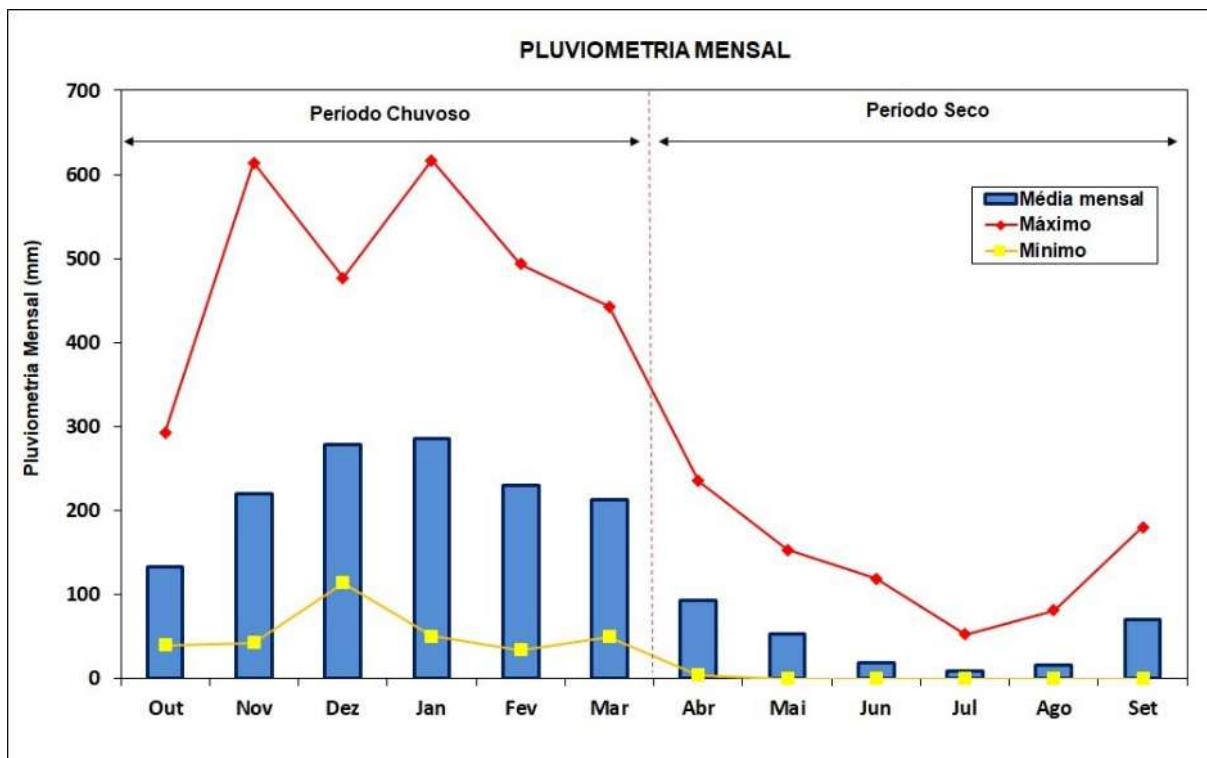
Os valores de pluviometria mensal para todo o período considerado (jan/87 a jul/20), estão apresentados na Tabela 4.3, segregados por ano hidrológico e evidenciando ainda, o total precipitado em cada período (seco e chuvoso). Por fim, apresenta-se análises estatísticas das precipitações mínimas, máximas e médias, para cada mês, período e ano hidrológico.

A Figura 4.3 apresenta graficamente as estatísticas supracitadas. Nota-se que a chuva na região se concentra entre os meses de outubro a março, período chuvoso, com picos nos meses de janeiro (617 mm) e novembro (614 mm). O mês de janeiro também apresenta a maior média, atingindo 289 mm por ano hidrológico. O período seco é definido pelos meses de abril a setembro, os quais possuem baixos índices pluviométricos, sendo o mês de julho o mais seco do período, dispendo de valores nulos em alguns anos hidrológicos e média igual a 9 mm.



**Tabela 4.3: Histórico de precipitação para o Complexo Minerário de Tapira, segregado por mês, período de chuva e ano hidrológico.**

Histórico de precipitação (mm) - Complexo Minerário de Tapira															
ANO HIDROLÓGICO	Período Chuvoso (mm)						Período Seco (mm)						Total anual	Total Per. Seco	Total Per. Chuvoso
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			
<b>1986/1987*</b>				340	144	177	156	32	21	0	4	114	<b>988</b>	<b>327</b>	<b>662</b>
1987/1988	94	194	178	227	312	102	174	43	18	0	0	25	1366	259	1107
1988/1989	205	113	211	201	233	133	104	56	11	37	82	114	1499	404	1095
1989/1990	59	191	314	164	90	239	133	69	0	27	52	59	1399	342	1057
1990/1991	154	130	210	542	204	414	236	36	0	0	0	37	1962	308	1654
1991/1992	186	70	183	564	385	178	188	61	0	3	18	175	2011	445	1566
1992/1993	182	81	268	112	352	185	202	18	65	0	39	106	1608	428	1179
1993/1994	155	130	267	402	79	280	93	101	21	6	0	11	1545	232	1313
1994/1995	132	235	374	265	494	197	87	55	1	0	0	84	1924	227	1697
1995/1996	107	64	325	233	124	118	81	31	0	2	28	180	1292	323	969
1996/1997	146	290	301	617	146	183	85	25	104	5	0	57	1958	276	1683
1997/1998	145	43	302	178	227	115	77	73	3	0	67	14	1244	234	1010
1998/1999	214	233	225	162	223	302	25	0	19	0	0	75	1477	118	1358
1999/2000	107	241	218	521	401	344	31	0	0	4	6	132	2003	173	1831
2000/2001	59	219	114	124	56	189	29	85	2	34	27	44	982	221	761
2001/2002	54	223	422	208	313	162	34	38	0	22	2	56	1534	151	1383
2002/2003	111	205	287	526	207	250	80	74	0	20	10	76	1846	260	1586
2003/2004	80	311	218	368	454	359	111	68	17	41	3	13	2043	254	1789
2004/2005	140	138	388	197	169	200	67	121	8	7	0	146	1582	349	1232
2005/2006	109	329	294	144	253	231	20	37	27	4	41	96	1586	226	1360
2006/2007	229	126	291	423	149	50	104	18	0	19	0	14	1423	155	1268
2007/2008	73	218	362	292	220	233	106	23	5	0	28	74	1634	236	1398
2008/2009	69	214	445	397	154	291	75	57	34	6	71	106	1918	349	1569
2009/2010	133	127	254	181	183	176	29	29	10	2	0	114	1239	185	1054
2010/2011	160	383	196	242	145	442	142	0	18	0	2	0	1730	161	1568
2011/2012	212	151	275	348	69	110	124	49	119	3	0	28	1487	322	1164
2012/2013	68	236	134	367	169	393	45	145	19	3	17	75	1670	304	1367
2013/2014	182	313	224	51	35	128	125	25	3	53	0	15	1151	220	932
2014/2015	66	402	191	146	294	161	83	62	10	0	0	61	1476	216	1260
2015/2016	40	262	159	230	172	281	4	13	91	0	34	10	1296	152	1144
2016/2017	191	304	361	268	179	193	122	153	14	0	0	30	1814	319	1496
2017/2018	161	272	477	347	306	197	89	108	0	0	47	163	2166	407	1759
2018/2019	293	614	297	136	351	266	149	41	2	3	3	84	2238	282	1956
2019/2020	62	265	396	323	445	111	21	87	1	0	0	10	1722	119	1604
<b>2020/2021*</b>	129	144	305	150	309	84	9	49	6	0	0	-	1184	64	1120
A partir de Jul/2012 os valores correspondem ao Pluviômetro localizado no CMT (Pluv.02).												* Ano hidrológico incompleto.			
Média mensal	132	220	278	286	230	214	92	54	19	9	17	71	1631	264	1369
Máximo	293	614	477	617	494	442	236	153	119	53	82	180	2238	445	1956
Mínimo	40	43	114	51	35	50	4	0	0	0	0	0	982	118	761



**Figura 4.3: Médias, máximos e mínimos mensais da pluviometria monitorada no Complexo Minerário de Tapira.**

A Figura 4.4 evidencia a precipitação em cada ano hidrológico desde 1987, individualizando a contribuição dos períodos secos e chuvosos. A média plurianual de precipitação nesses 34 anos hidrológicos foi de 1631 mm/ano. A média para o período chuvoso alcançou 1369 mm/ano, enquanto para o período seco 264 mm/ano. Ressalta-se que para o cálculo desses valores, utilizou-se apenas os anos hidrológicos com série de dados completa.

O ano hidrológico mais chuvoso corresponde a 2018-2019 quando foi registrado um total anual de 2238 mm precipitados, sendo 1956 mm correspondentes ao período chuvoso e 282 mm ao período seco. Já o ano hidrológico mais seco da série foi o de 2000-2001 com precipitação total anual de 982 mm, sendo 761 mm no período chuvoso e 221 mm no período seco.

Interessante notar que o ano hidrológico atual, 2020/2021, apresenta uma precipitação muito inferior à média plurianual, fato que pode corroborar para uma menor recarga nos aquíferos superficiais da região.

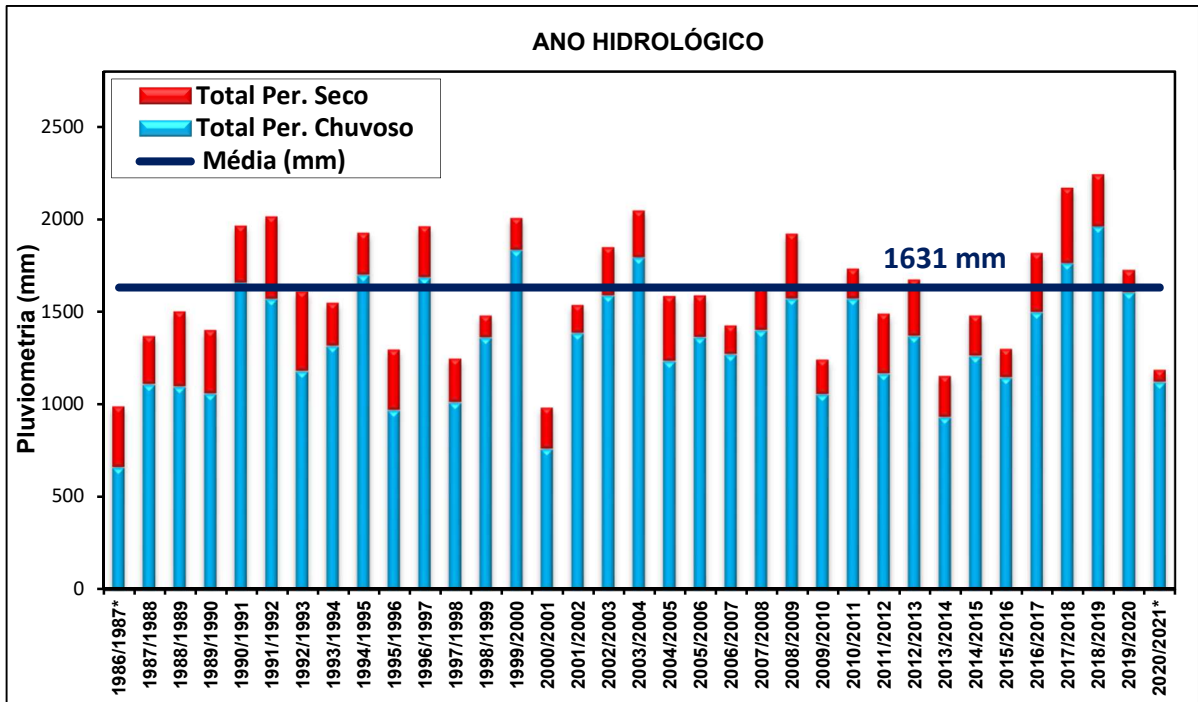


Figura 4.4: Precipitação por ano hidrológico - Complexo Minerário de Tapira.



## 4.2 NÍVEIS D'ÁGUA

O monitoramento do nível d'água no Complexo Minerário de Tapira é realizado através de piezômetros (PZ's) e indicadores do nível d'água (INA's), que são monitorados constantemente, com intuito de mensurar a variação do nível de água subterrânea ao longo do tempo. Esse monitoramento é realizado no CMT desde janeiro de 2001, quando os instrumentos pioneiros (PZ-01) e (PZTI-02) foram instalados na região da Bigorna. Ressalta-se que o período de monitoramento considerado vai até agosto de 2021, último mês com dados de monitoramento completos apresentados pelo cliente.

Para melhor visualização e interpretação dos dados de níveis de água, optou-se por apresentá-los segregados por setores, sendo esses: Bigorna, Frentes 5 e 6 (agrupadas pela proximidade), Depósitos, Externos e Cava Leste, seguindo a divisão já considerada pela equipe de monitoramento da MOSAIC.

### 4.2.1 Níveis de água - Bigorna

O monitoramento do nível d'água na região da Bigorna possui ao todo 82 instrumentos instalados ao longo do tempo (2001 - 2021). Atualmente, apenas 23 instrumentos são considerados ativos, sendo que três desses não estão com acesso adequado para a equipe de monitoramento transitar e permanecem sem dados. Destaca-se ainda que, 10 INA's novos foram perfurados nos últimos meses, mas ainda não começaram suas atividades na Bigorna.

A Tabela 4.4 traz um resumo das informações cadastrais dos instrumentos presentes na região da Bigorna, enquanto, a localização espacial desses é apresentada pelo mapa da Figura 4.5, discretizando o status de atividade para cada instrumento. Os instrumentos classificados como inativos são aqueles entupidos, destruídos ou lavrados pelo avanço da Mina.

**Tabela 4.4: Dados cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água – Bigorna**

Instrumento	Coordenadas		Cota do terreno	Localização	Início do monitoramento	Status (2021)	Última leitura
	x	y					
INA 07 F2	307561	7800415	1304,40	Bigorna (F2)	nov-13	Inativo	jun-14
INA 11 F2	307238	7800106	1263,39	Bigorna (F2)	ago-13	Inativo	mai-14
INA 26 F2	307607	7800955	1322,73	Bigorna (F2)	jan-14	Inativo	nov-17
INA 27 F2	307064	7800002	1253,02	Bigorna (F2)	jul-12	Inativo	mai-14
INA 28 F2	306970	7799971	1252,44	Bigorna (F2)	jul-12	Inativo	abr-16
INA 30 F2	307246	7800263	1278,62	Bigorna (F2)	set-12	Inativo	jan-14
INA 31 F2	307102	7800221	1273,22	Bigorna (F2)	set-12	Inativo	nov-13
INA 32 F2	307280	7800326	1286,18	Bigorna (F2)	set-12	Inativo	nov-13
INA 33 F2	307398	7800670	1313,45	Bigorna (F2)	set-12	Inativo	abr-13
INA 34 F2	307377	7800516	1302,38	Bigorna (F2)	fev-13	Inativo	set-13
INA 35 F2	307447	7800640	1309,01	Bigorna (F2)	set-12	Inativo	set-13
INA 45 F2	307306	7800388	1292,69	Bigorna (F2)	mar-13	Inativo	ago-13
INA 62 F2	307057	7800361	1287,26	Bigorna (F2)	jan-11	Inativo	jul-12
INA 68 F2	307121	7800334	1287,09	Bigorna (F2)	jan-11	Inativo	jul-13
INA 70 F2	307148	7800232	1274,62	Bigorna (F2)	jan-11	Inativo	out-13
INA 72 F2	307223	7800360	1291,52	Bigorna (F2)	jan-11	Inativo	jul-13
INA 73 F2	307176	7800299	1283,08	Bigorna (F2)	jan-11	Inativo	jun-13
INA 74 F2	307204	7800235	1332,45	Bigorna (F2)	mar-13	Inativo	jan-14
INA 75 F2	307278	7800487	1304,92	Bigorna (F2)	jan-11	Inativo	abr-13
INA 76 F2	307162	7800033	1255,91	Bigorna (F2)	jan-11	Inativo	mai-14
INA 145-F2	308008	7800340	1322,76	Bigorna (F2)	jul-14	Inativo	ago-16
INA 174 F2	306601	7799645	1284,40	Bigorna (F2)	jun-14	Ativo	ago-21
CC-01	306232	7799600	1319,49	Bigorna (F2)	jul-19	Ativo	ago-21
INA 260 F2	307081	7799950	1250,54	Bigorna (F2)	dez-14	Inativo	abr-16
INA 279-F2	307710	7800617	1319,18	Bigorna (F2)	mar-15	Inativo	jan-16
INA 281-F2	307822	7800440	1321,50	Bigorna (F2)	mar-15	Inativo	fev-16
INA 299-F2	306823	7799822	1255,43	Bigorna (F2)	mai-15	Inativo	ago-17
INA 310-F2	307314	7799866	1250,00	Bigorna (F2)	ago-15	Inativo	jun-16
INA 324-F2	307391	7800976	1320,02	Bigorna (F2)	ago-15	Inativo	mai-17
INA 326-F2	307576	7800883	1318,02	Bigorna (F2)	jul-15	Inativo	mai-17
INA 355-F2	307879	7800251	1319,78	Bigorna (F2)	ago-15	Inativo	jun-16
INA 356-F2	307588	7800008	-	Bigorna (F2)	ago-15	Inativo	jun-16
INA 441 F-2	308029	7800089	1308,00	Bigorna (F2)	mai-17	Ativo	abr-20
INA 456-S	307560	7798057	1183,10	Bigorna (F2)	fev-18	Ativo	ago-21
INA-512	307945	7800535	1312,52	Bigorna (F2)	jul-19	Ativo	mar-21
INA-521	306907	7800845	1228,87	Bigorna (F2)	jul-19	Ativo	ago-21
INA-540	307516	7799721	1244,06	Bigorna (F2)	jul-19	Ativo	ago-21
INA-542	307039	7799573	1267,72	Bigorna (F2)	jul-19	Ativo	ago-21
INA-565	306878	7799418	1279,19	Bigorna (F2)	jul-19	Ativo	ago-21

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

<b>INA-641(T0)</b>	307291	7801207	1316,73	Bigorna (F2)	nov-19	Ativo	ago-21
<b>INA-643(T0)</b>	307686	7800987	1304,98	Bigorna (F2)	dez-19	Ativo	ago-21
<b>INA-644(T0)</b>	307772	7800694	1303,52	Bigorna (F2)	dez-19	Ativo	mar-21
<b>INA-646(T0)</b>	306791	7799702	1262,57	Bigorna (F2)	dez-19	Ativo	ago-21
<b>INA-655-F2</b>	307166	7799507	1272,26	Bigorna (F2)	jul-20	Ativo	ago-21
<b>INA-656-F2</b>	306627	7799550	1280,15	Bigorna (F2)	jul-20	Ativo	ago-21
<b>PCP-035</b>	307234	7799789	1247,65	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-077</b>	307225	7799317	1277,32	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-243</b>	306248	7799588	1316,51	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-414</b>	306135	7799446	1320,99	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-177</b>	307922	7800946	1326,27	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-231</b>	307919	7800788	1323,45	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-346</b>	308208	7801034	1315,57	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-389</b>	307699	7799307	1269,67	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-393</b>	307951	7799332	1246,29	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>PRA-413</b>	308313	7800020	1269,27	Bigorna (F2)	INA-Novo	Inativo	Sem dados
<b>INA Big 01</b>	307295	7799996	1188,03	Bigorna (F2)	out-17	Inativo	seco
<b>INA Big 02</b>	307107	7799945	1186,67	Bigorna (F2)	out-17	Inativo	seco
<b>INA Big 03</b>	307221	7800917	1236,80	Bigorna (F2)	nov-17	Inativo	out-19
<b>INA Big 04</b>	307330	7800889	1236,16	Bigorna (F2)	nov-17	Inativo	jun-18
<b>PZ-01</b>	307171	7799988	-	Bigorna (F2)	jan/01	Inativo	2006
<b>PZTI-01</b>	307171	7799984	-	Bigorna (F2)	jun/07	Inativo	2016
<b>PZ-02</b>	-	-	-	Bigorna (F2)	-	Inativo	Inativo (desde a perfuração)
<b>PZTI-02</b>	307158	7800702	-	Bigorna (F2)	jan/01	Inativo	2012
<b>PZ-03</b>	306964	7800579	-	Bigorna (F2)	fev/03	Inativo	2009
<b>PZ-04</b>	306469	7799951	-	Bigorna (F2)	fev/03	Inativo	2008
<b>216 CAV006</b>	307957	7800142	1313,81	Bigorna (F2)	nov/13	Ativo	ago-20
<b>PZ-F1-01</b>	305636	7800705	-	Bigorna (F2)	fev/13	Inativo	2014
<b>PZ-F2-01</b>	305927	7800503	-	Bigorna (F2)	nov/11	Inativo	2014
<b>PZ-F2-02</b>	305926	7800505	-	Bigorna (F2)	nov/11	Inativo	2014
<b>PZ-F2-04</b>	306041	7800244	-	Bigorna (F2)	nov/11	Inativo	2014
<b>PZ-F2-06</b>	306209	7799817	-	Bigorna (F2)	nov/11	Inativo	2014
<b>PZ BIG 02</b>	306922	7800826	1218,91	Bigorna (F2)	fev/18	ativo	seco
<b>PZ BIG 01</b>	306922	7800826	1219,05	Bigorna (F2)	nov/19	Ativo	jun-20
<b>PZ BIG 03</b>	307650	7800608	1252,88	Bigorna (F2)	jul/19	ativo	Sem dados
<b>PZ BIG 05</b>	306625	7799923	1197,41	Bigorna (F2)	fev/18	Inativo	Sem dados
<b>PZ BIG 06</b>	306790	7799860	1218,02	Bigorna (F2)	fev/18	ativo	jun-20
<b>PZ BIG 07</b>	307533	7800001	1239,13	Bigorna (F2)	jul/19	ativo	seco
<b>PZ-09</b>	307419	7799971	1219,04	Bigorna (F2)	jul/19	ativo	Sem dados
<b>PZ-13</b>	307175	7801123	1286,59	Bigorna (F2)	jul/19	Inativo	Lavrado
<b>PZ-16</b>	307608	7800002	1258,58	Bigorna (F2)	jul/19	Inativo	Lavrado
<b>PZ-17</b>	307740	7800659	1282,02	Bigorna (F2)	set/19	Inativo	Lavrado
<b>PZ-05</b>	307982	7799607	1232,83	Bigorna (F2)	fev/03	ativo	ago-21



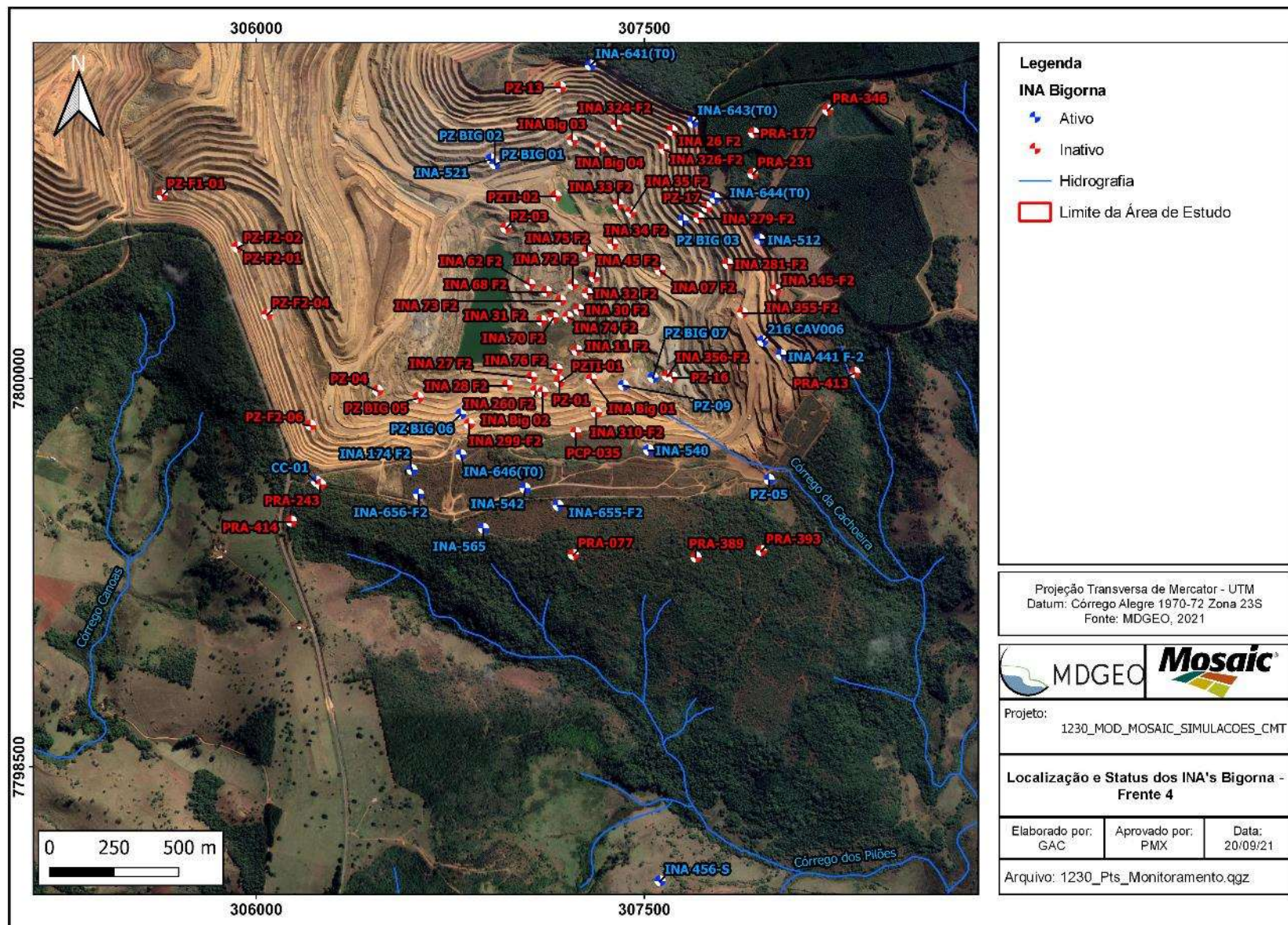
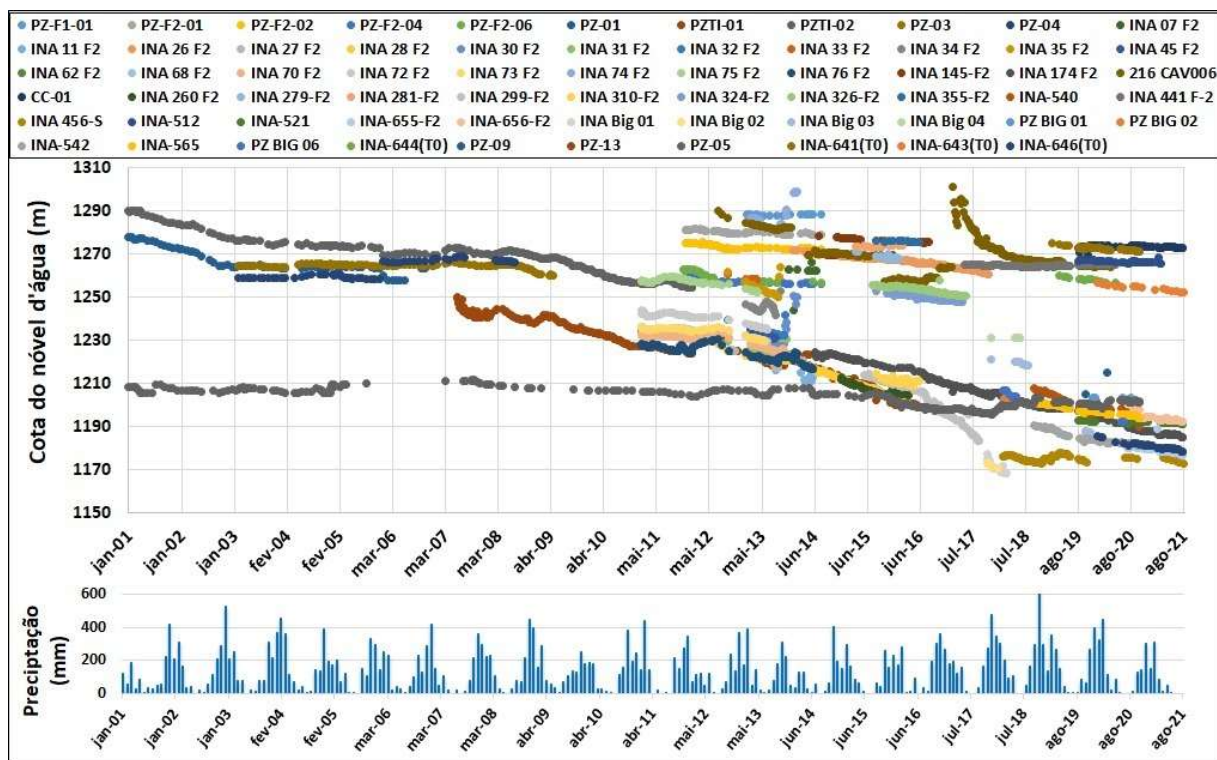


Figura 4.5: Localização e status de atividade dos instrumentos de monitoramento de nível de água presentes na região da Bigorna.

A evolução das cotas de níveis d'água dos instrumentos de monitoramento localizados na região da Bigorna pode ser observada na Figura 4.6, que possui carga hidráulica variando entre 1168 (INA-BIG-01) e 1301 (216-CAV006), resultando assim em um gradiente hidráulico aproximado de 133 metros.

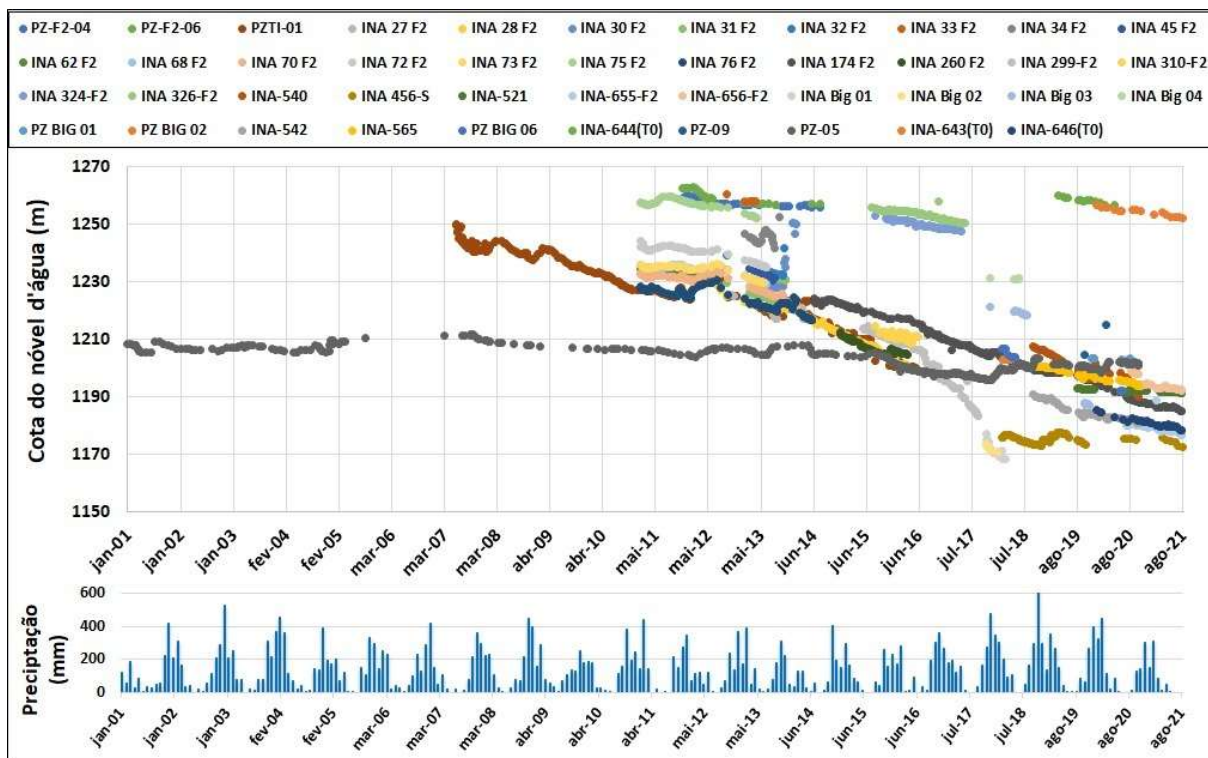


**Figura 4.6: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna.**

Percebe-se que os instrumentos pertencentes a região da Bigorna, em geral, possui um rebaixamento acentuado, impulsionado pela própria lavra na cava, que atua como estrutura de drenagem. Além disso, praticamente todos os poços de bombeamento instalados no CMT estão localizados nessa região, ou bem próximos a ela, e interferem diretamente no rebaixamento dos instrumentos de monitoramento do nível d'água. Nota-se ainda, que vários instrumentos foram desativados ao longo dos anos, justamente pelo avanço da lavra.

Para melhor entendimento e visualização do comportamento do nível d'água na região da Bigorna, apresentado na Figura 4.6, separou-se os instrumentos em dois intervalos distintos (A e B). O intervalo "A" abrange valores de cota de nível d'água entre 1150 e 1270 metros (Figura 4.7), enquanto o intervalo "B" vai de 1240 a 1310 metros (Figura 4.8).

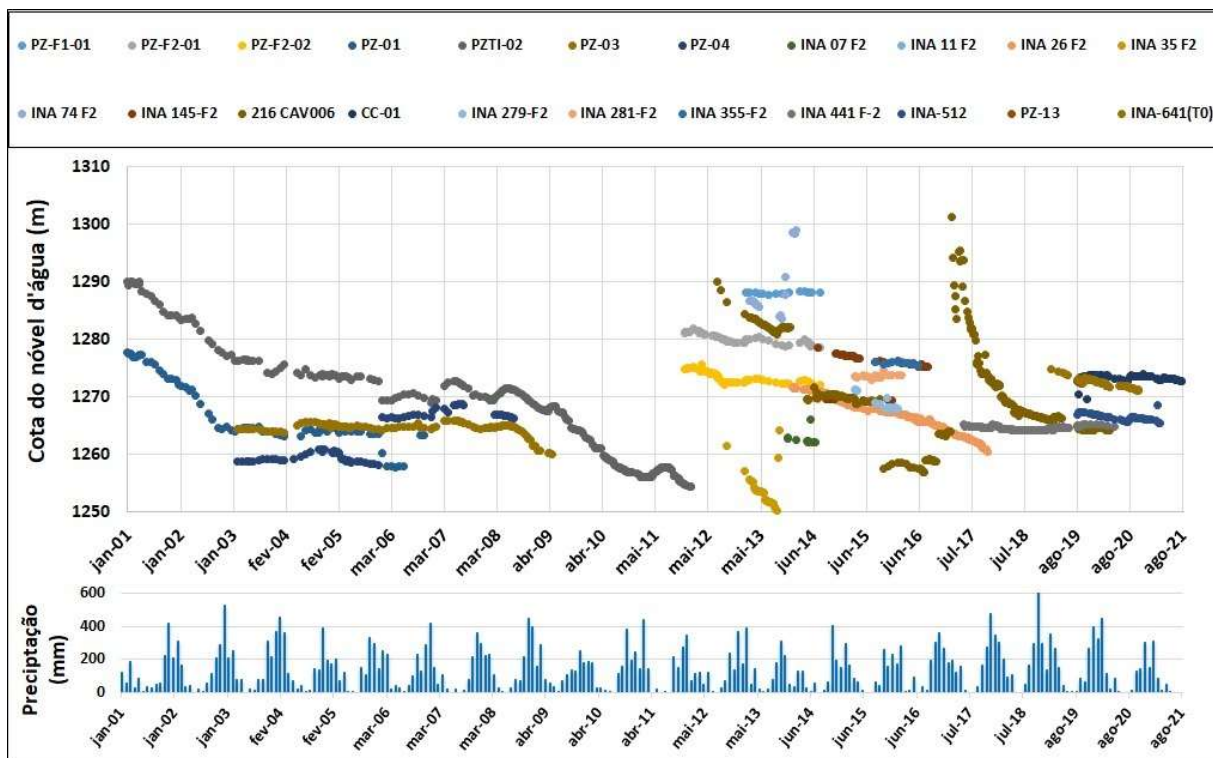




**Figura 4.7: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna. Intervalo A.**

Em relação aos instrumentos mais antigos, verifica-se um rebaixamento significativo do nível de água, após a instalação do poço de rebaixamento PR-01, que começou a operar em junho de 2007. Isso pode ser observado, por exemplo, no instrumento PZTI-01 (Intervalo A), que começou a ser monitorado na mesma época. Esse instrumento apresenta 391 leituras e um rebaixamento acumulado de aproximadamente 51 metros em 10 anos de registros (2007 a 2016).

O instrumento PZTI-02 (Intervalo B), instalado no início de 2001, teve um rebaixamento significativo nos primeiros anos (2001 a 2004), cerca de 16 metros, provavelmente, pelo rápido avanço da lavra. Após o ano de 2004, percebe-se uma estabilidade no nível de água desse instrumento, com variação apenas sazonal se mantendo até meados de 2010, ano em que os poços PR-02, 03, 04 e 05 começaram a bombear, fato que intensificou novamente o rebaixamento desse ponto. Ao todo, o PZTI-02 possui 11 anos de monitoramento com 247 registros, e um rebaixamento total no período de aproximadamente 36 metros.



**Figura 4.8: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna. Intervalo B.**

Percebe-se que após o início do ano de 2011 vários novos instrumentos começaram a ser monitorados, principalmente INA's. Para aprimorar a análise desses pontos, priorizou-se os instrumentos que possuem maior série histórica entre o período de 2011 a 2021, mantendo-se os dois intervalos de cotas (A e B) pré-definidos. O gráfico da Figura 4.9 apresenta os instrumentos com maior série histórica após 2011, que se encaixam no intervalo de cotas A (1150 a 1270), enquanto o gráfico da Figura 4.10 apresenta aqueles pertencentes ao intervalo de cotas B (1250 a 1310).

Ao analisar a Figura 4.9 nota-se que, de janeiro de 2011 a julho de 2012, a variação observada nos instrumentos é sazonal. Após esse período, pode-se observar uma ausência nos dados até o início de 2013, devido a uma paralisação temporária das leituras, ocasionada pelo avanço da lavra no local.

Os INA's 28, 174 e 299 são os que apresentam os maiores rebaixamentos nesse recorte. O INA 28 foi monitorado entre julho de 2012 e abril de 2016, com um rebaixamento total de 29 metros, tendo seu nível caindo da cota 1229 para cota 1200, o que resulta em uma taxa de rebaixamento de aproximadamente 7.17 metros por ano. Esse rebaixamento possivelmente foi agravado pelo início de funcionamento do poço PR-08 (novembro/2013), que se localiza nas proximidades do INA-28.

Já o INA-174 apresenta um rebaixamento maior, cerca de 9.86 metros por ano. Ressalta-se que esse instrumento possui um histórico de 226 registros, monitorado desde junho de 2014 e permanece ativo até os dias atuais.

A maior taxa de rebaixamento nesse cenário (Figura 4.9) foi do INA-299, que atingiu 10.35 metros rebaixados a cada ano (de 2015 a 2017). Pelo gráfico, percebe-se que o rebaixamento desse instrumento foi intensificado a partir de agosto de 2016, mesmo período em que o poço PR-11 começou a bombear. Destaca-se que esse INA e o poço são muito próximos, explicando assim o maior grau de rebaixamento do INA-299 após ativação do PR-11.

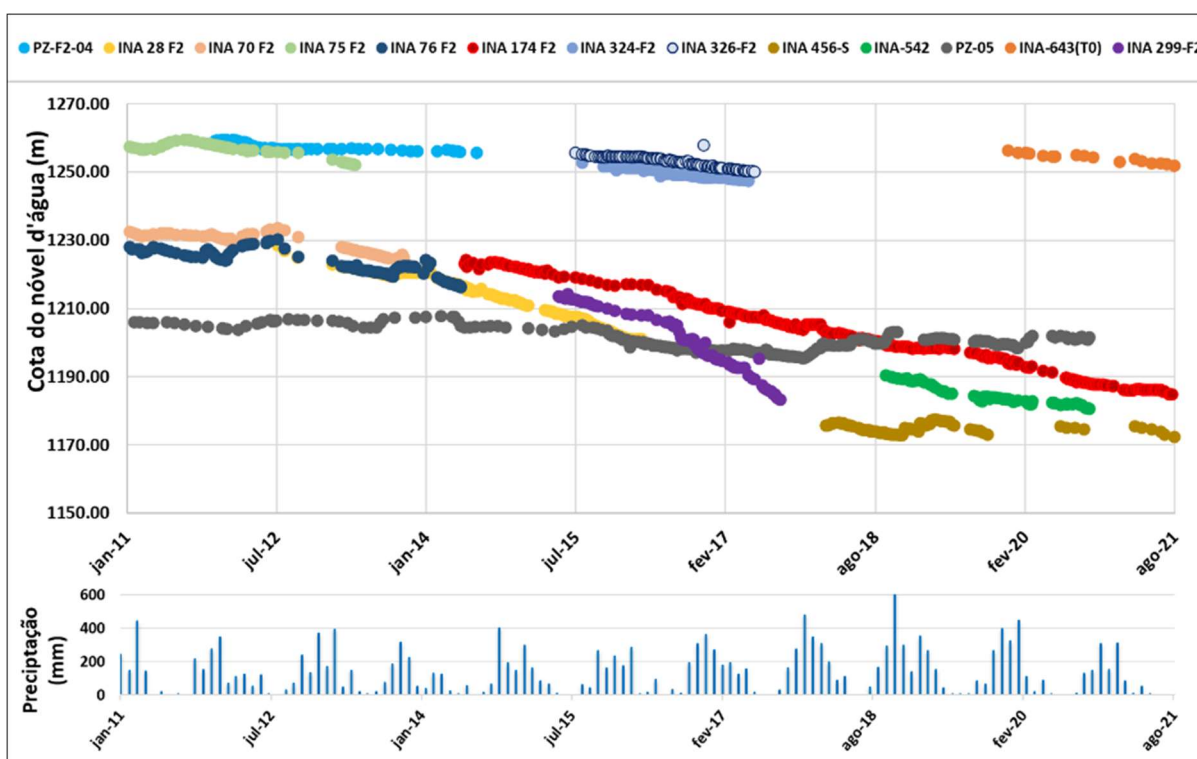


Figura 4.9: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna que apresentam maior série histórica entre 2011 e 2021 (Intervalo A).

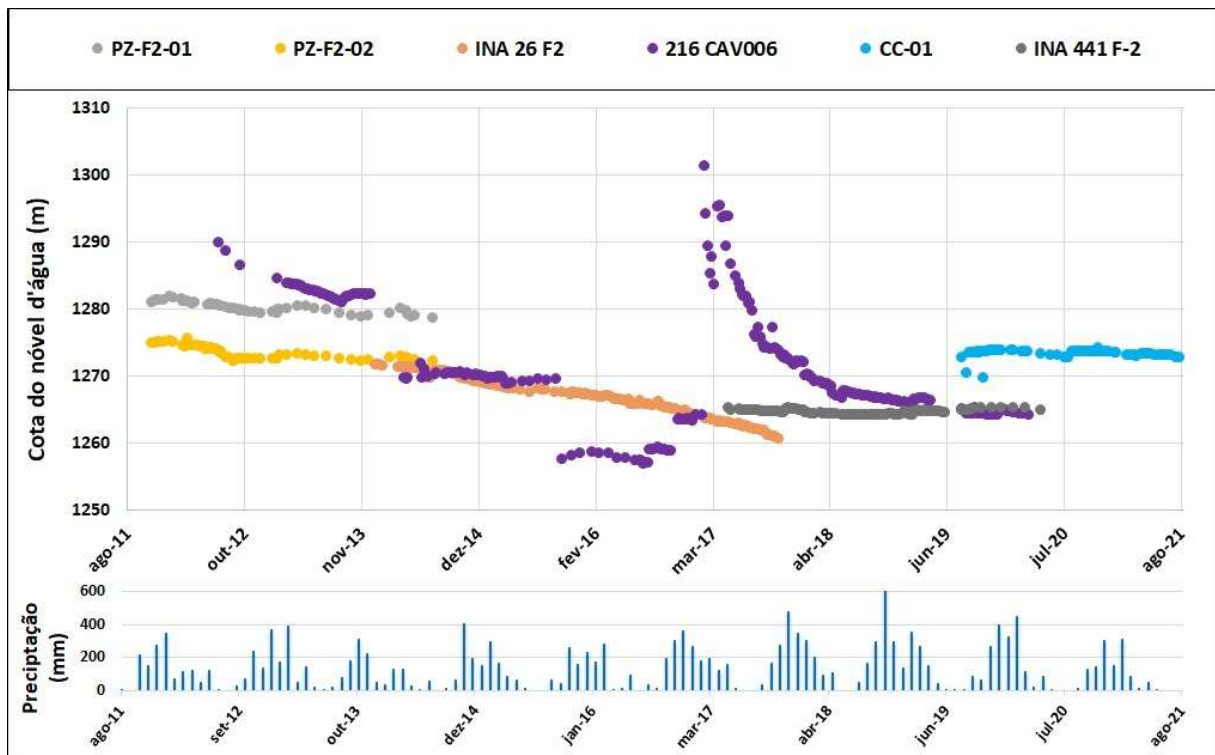
Na Figura 4.10 o que chama atenção é o comportamento anômalo do instrumento CAV006, que após um longo período de dados picados, com tendência de rebaixamento, apresenta um pico de recuperação, para depois rebaixar de novo em uma velocidade de decaimento do nível de água muito intensificada. Esse comportamento não era esperado, principalmente pelo fato deste instrumento se localizar no exterior da cava e distante dos poços de bombeamento.

O INA 441 F-2, não apresenta um rebaixamento significativo, tendo seu nível de água permanecido praticamente inalterado desde maio de 2017, mês em que esse



instrumento começou a ser monitorado. Nota-se que o INA 441 localiza-se nas proximidades do CAV006, mais um fator que indica anomalia nos dados do segundo instrumento, que deveria ter um comportamento parecido com o primeiro.

O instrumento INA-26 demonstra um rebaixamento lento e gradual ao longo do tempo, com taxa de rebaixamento igual a 2.8 metros por ano. Nota-se que esse ponto se localiza nas proximidades do PR-10, poço de bombeamento que nunca entrou em funcionamento.



**Figura 4.10: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Bigorna que apresentam maior série histórica entre 2011 e 2020. Intervalo B.**

#### 4.2.2 Níveis de água – Frente 4 e Frente 5

No contexto da região das Frentes 4 e 5 existem 29 instrumentos cadastrados (27 INA's e 2 PZ's) para acompanhamento da variação do nível d'água. Dentre esses, apenas 10 instrumentos são considerados ativos, ou seja, com monitoramento realizado em 2021, sendo cinco pertencentes à Frente 4 e cinco à frente 5.

A Tabela 4.5 apresenta informações cadastrais dos instrumentos localizados nas Frentes 5 e 6. O mapa da Figura 4.11 indica a distribuição espacial dos pontos situados na frente 4, enquanto a Figura 4.12, apresenta a localização dos instrumentos pertencentes a frente 5, ambas destacando o status de funcionamento de cada instrumento para o ano de 2021.

**Tabela 4.5: informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água localizados nas Frentes 4 e 5.**

Instrumento	Coordenadas		Cota do terreno	Localização	Status (2021)	Início do monitoramento	Última leitura
	x	y					
INA 55 F4	307.811	7.801.645	1330,76	Frente 4	Inativo	nov-13	mai-18
INA 71 F4	308.251	7.801.930	1332,68	Frente 4	Inativo	jan-11	abr-12
INA 74 F4	308.130	7.801.789	1332,45	Frente 4	Inativo	jan-11	mai-19
INA 87 F4	308.579	7.802.400	1328,46	Frente 4	Inativo	jan-14	jun-14
INA 92 F4	308.778	7.802.410	1326,04	Frente 4	Inativo	jan-14	dez-17
INA 213 F4	308.284	7.801.473	1319,28	Frente 4	Ativo	nov-14	ago-21
INA 228 F4	308.857	7.801.652	1332,91	Frente 4	Ativo	nov-14	ago-21
INA-530	308.580	7.802.038	1329,83	Frente 4	Inativo	-	Sem dados
INA-613-F4	308.733	7.801.879	1331,00	Frente 4	Ativo	jul-19	jun-21
INA-615	308.479	7.801.851	1331,00	Frente 4	Inativo	ago-19	mar-20
INA-618-F4	308.414	7.801.726	1328,35	Frente 4	Ativo	set-19	jul-21
INA-709-F4	308.695	7.801.652	1330,90	Frente 4	Ativo	mar-21	ago-21
INA 060-F5	308.372	7.801.770	1332,98	Frente 5	Inativo	abr-14	out-15
63-F5	308.563	7.802.764	1324,40	Frente 5	Inativo	jan-11	ago-11
67-F5	308.582	7.802.878	1284,84	Frente 5	Inativo	jan-11	set-11
69-F5	308.472	7.802.534	1319,00	Frente 5	Inativo	ago-13	dez-13
INA 78 - F5	308.872	7.802.285	1326,49	Frente 5	Inativo	jan-14	dez-18
INA 83-F6	308.909	7.802.511	1311,99	Frente 5	Inativo	jan-14	abr-18
INA 93-F5	308.756	7.802.821	1311,93	Frente 5	Inativo	jan-14	jan-14
INA 95-F5	308.816	7.802.633	1312,77	Frente 5	Inativo	jan-14	jun-14
INA 104-F5	308.708	7.802.649	1323,05	Frente 5	Inativo	jan-14	abr-14
INA 111-F5	308.906	7.802.344	1325,42	Frente 5	Inativo	jan-14	jan-19
INA 115-F5	309.416	7.802.554	1305,17	Frente 5	Ativo	nov-14	ago-21
INA-548	308.931	7.802.087	1345,00	Frente 5	Inativo	jul-19	jan-20
INA-662-F5	309.152	7.802.215	1330,05	Frente 5	Inativo	ago-20	out-20
INA-664-F5	309.376	7.802.338	1321,78	Frente 5	Ativo	ago-20	ago-20
INA-670-F5	309.244	7.802.086	1329,62	Frente 5	Ativo	mar-21	ago-21
PZ 19	308.731	7.802.660	-	Frente 5	Ativo	jul-19	ago-21
PZ 20	308.762	7.802.549	-	Frente 5	Ativo	jul-19	ago-21



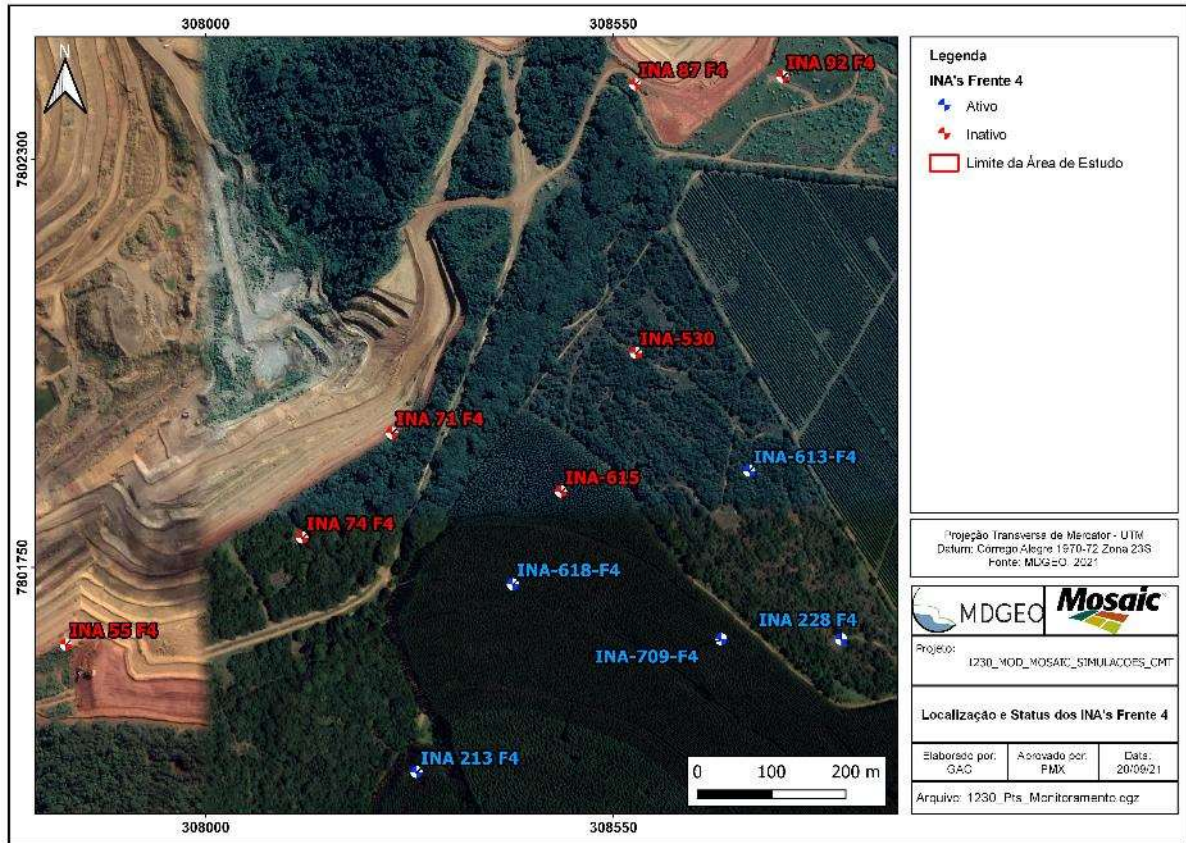


Figura 4.11: Localização e status de funcionamento dos instrumentos de monitoramento de nível d'água – Frente 4.

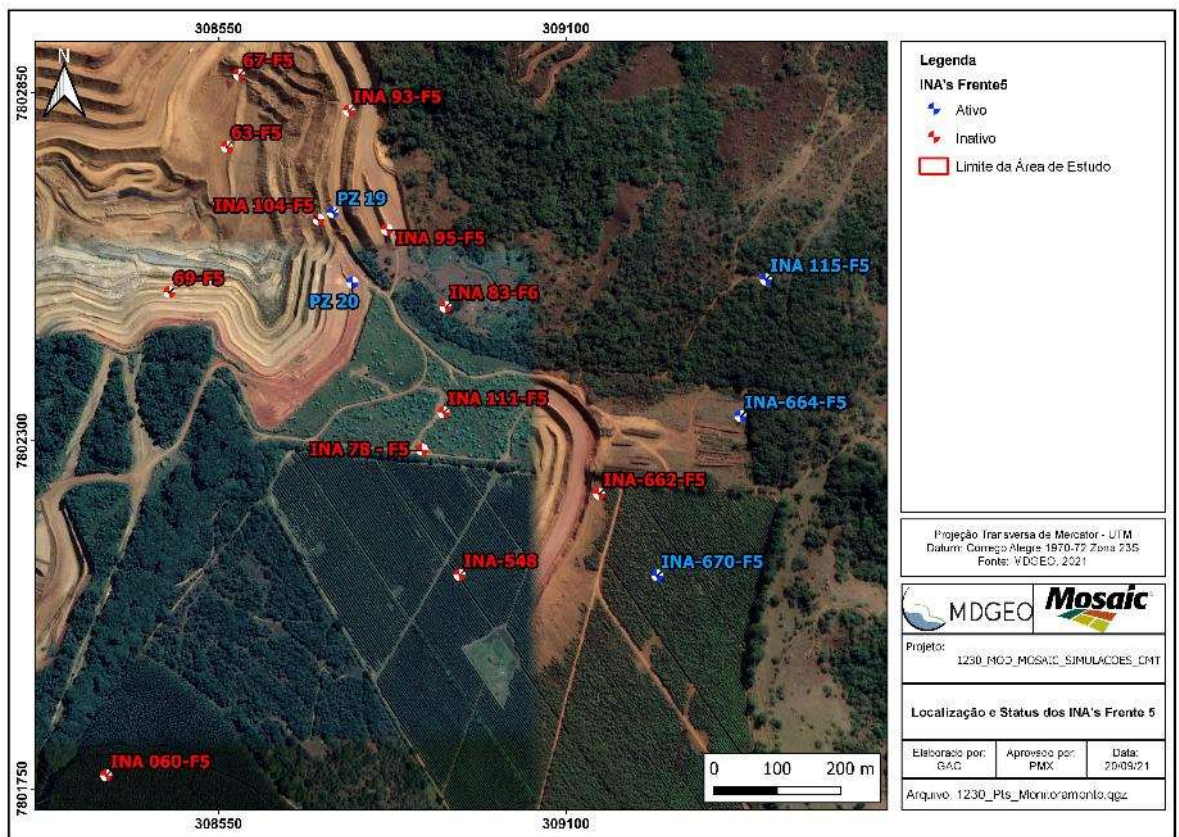


Figura 4.12: Localização e status de funcionamento dos instrumentos de monitoramento de nível d'água – Frente 5.

A evolução das cotas de níveis d'água dos instrumentos localizados nas Frentes 4 e 5 estão apresentadas nas Figura 4.13 e Figura 4.14, respectivamente. O gradiente hidráulico observado na frente 4 é aproximadamente 57 metros, com cotas variando entre 1253 (INA-55) e 1310 metros (INA-618). Já para na frente 5, as cotas variam de 1247 (INA-67) a 1309 metros (INA-83), resultando em um gradiente de 62 metros.

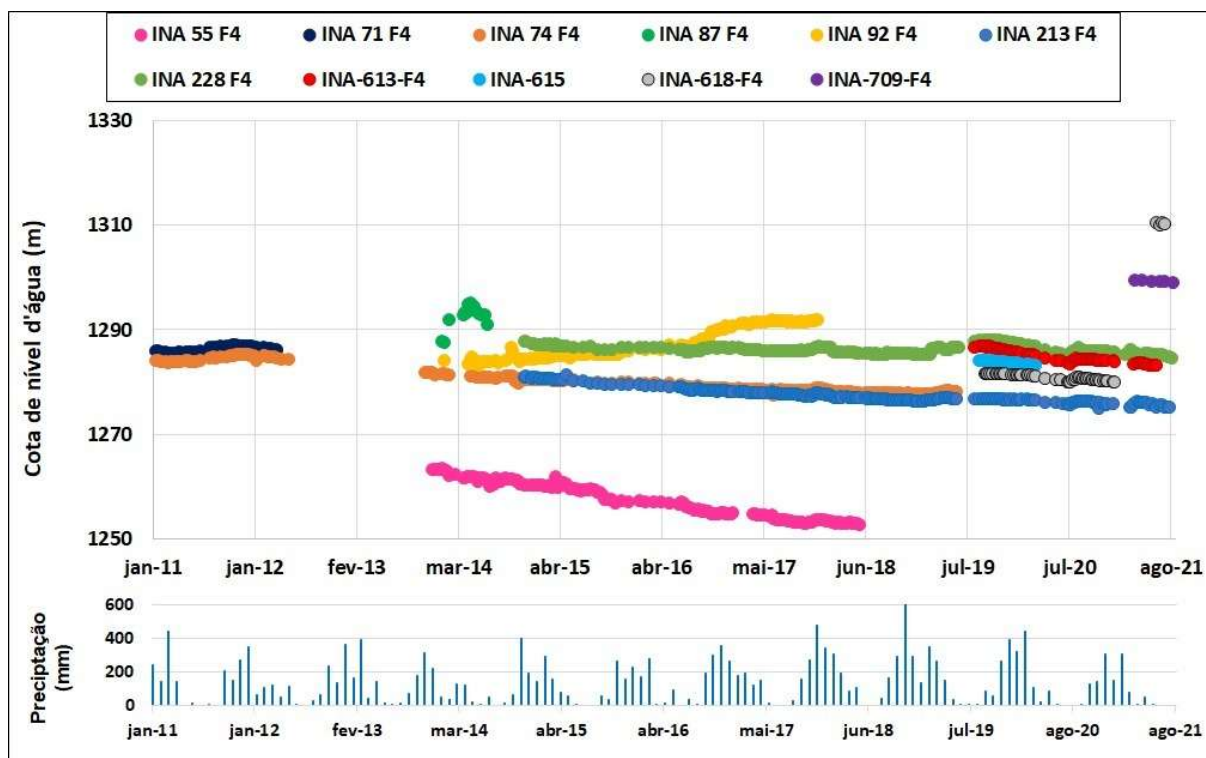


Figura 4.13: Evolução da cota do nível d'água na região da Frente 4.

Para a Frente 4, Figura 4.13, percebe-se que a maior taxa de rebaixamento é observada no INA-55, que ao início de seu monitoramento (novembro de 2013) apresentava um nível de água em torno de 1263 metros, e em maio de 2018 atingiu a cota de 1253 metros, um rebaixamento de 10 metros em 4 anos e meia, o que resulta em uma taxa de 2.22 metros rebaixados a cada ano.

Os INA'S 74, 213 e 228 apresentam um comportamento semelhante, com um rebaixamento lento e gradual ao longo dos anos, e registros de aumento de nível d'água em períodos chuvosos. O INA-74 é o instrumento pertencente à Frente 4 com maior número de registros, 246 leituras, e tem um rebaixamento acumulado em torno de 7.8 metros. O INA-228 apresenta uma recuperação do nível de água ao final do período chuvoso do ano hidrológico de 2018/2019, ano com maior índice pluviométrico



na região desde que se iniciou o monitoramento das chuvas, em 1987, o que pode indicar uma maior recarga do aquífero nessa época.

O INA-71 apresenta um breve histórico de dados, com monitoramento entre os anos de 2011 e 2012, e nível d'água variando diretamente com os índices pluviométricos. Os INAs 618 e 709 foram instalados recentemente, e possuem poucos registros até o momento.

Já o INA-92 apresenta uma elevação constante em seu nível de água, fato também observado no INA-87. Ambos se encontram bem próximos da região da Frente 5, e por isso, seguem a mesma tendência dos instrumentos lá instalados, que em geral, apresentam aumento gradativo dos níveis de água monitorados.



Figura 4.14: Evolução da cota do nível d'água na região das Frentes 5.

Os instrumentos pertencentes a Frente 5, Figura 4.14, não apresentam grandes variações no nível de água monitorado ao longo dos anos, pois encontram-se distantes da lavra principal e também dos poços de rebaixamento perfurados no CMT. O INA-115 é o que apresenta o maior número de registros com 236 dados, monitorados entre os anos de 2014 e 2021, e um rebaixamento acumulado no período de 2 metros.



### 4.2.3 Cava Leste

A região denominada de Cava Leste, área em que se planeja a maior expansão da lavra nos próximos anos, possui 17 instrumentos cadastrados, sendo 13 ativos, 3 inativos e 1 implantado recentemente, ainda sem registros. A Tabela 4.6 mostra as informações cadastrais desses instrumentos, já a localização espacial dos instrumentos é apresentada pelo mapa da Figura 4.15.

**Tabela 4.6: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos na Cava Leste.**

Instrumento	Coordenadas		Cota do terreno	Status (2021)	Início do monitoramento	Última leitura
	x	y				
INA-284-CL	308.201	7.800.398	1322,80	Ativo	ago-15	ago-21
INA 314-CL	307.745	7.800.001	1290,32	Inativo	ago-15	abr-19
INA 334-CL	308.930	7.800.416	1273,09	Ativo	ago-15	ago-21
INA-425-CL	309.234	7.800.100	1254,02	Inativo	set-16	set-16
INA-426 CL	308.204	7.799.878	1253,98	Inativo	set-16	set-16
INA-557-CL	308.324	7.800.493	1321,79	Ativo	ago-19	ago-21
INA-560-CL	308.450	7.800.428	1322,30	Ativo	ago-19	ago-21
INA-561-CL	308.385	7.800.304	1323,51	Ativo	ago-19	ago-21
INA-566-CL	308.294	7.800.589	1318,00	Ativo	ago-19	ago-20
INA-567-CL	308.360	7.800.715	1318,00	Ativo	ago-19	ago-21
INA-594-CL	309.072	7.799.399	1278,36	Ativo	ago-19	ago-21
INA-595-CL	309.204	7.800.189	1255,89	Ativo	ago-19	ago-21
INA-658-CL	308.899	7.799.312	1234,03	Ativo	ago-20	ago-21
INA-661-CL	308.592	7.801.154	1300,06	Ativo	ago-20	ago-21
INA-706-CL	308.482	7.800.175	1318,26	Ativo	nov-20	ago-21
INA-713-CL	308.452	7.800.587	1320,30	Ativo	mar-21	ago-21
INA-715-CL	-	-	-	INA - NOVO	Sem dados	Sem dados

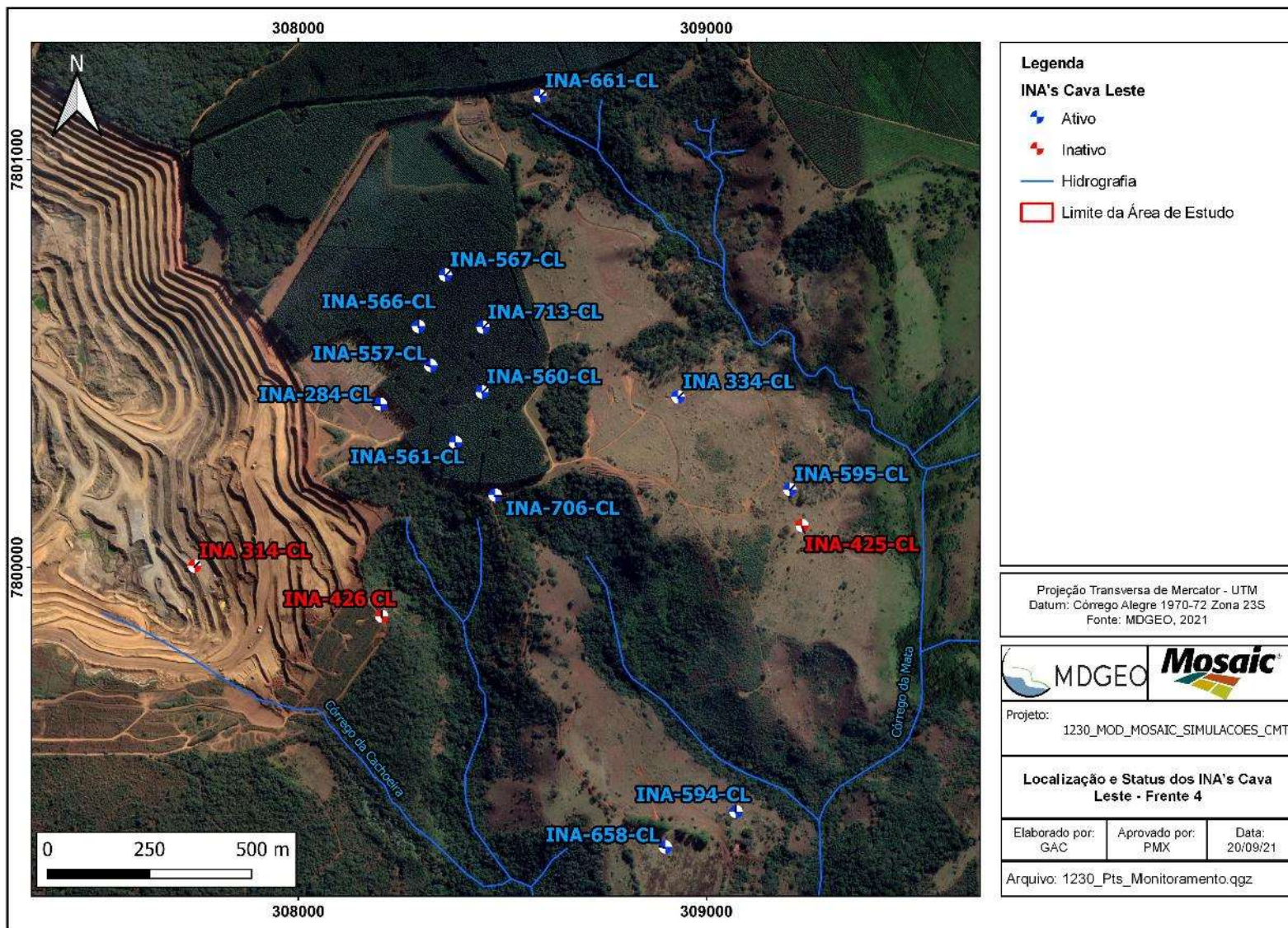


Figura 4.15: Localização e atividade dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos na Cava Leste.

A Figura 4.16 apresenta os dados de monitoramento do nível d'água dos instrumentos pertencentes a Cava Leste, entre agosto de 2015 e agosto de 2021. Para melhor entendimento e visualização do comportamento do nível d'água nesse setor, separou-se os instrumentos em dois intervalos distintos (A e B). O intervalo "A" abrange valores de cota de nível d'água entre 1160 e 1260 metros (Figura 4.17), enquanto o intervalo "B" vai de 1260 a 1280 metros (Figura 4.18).

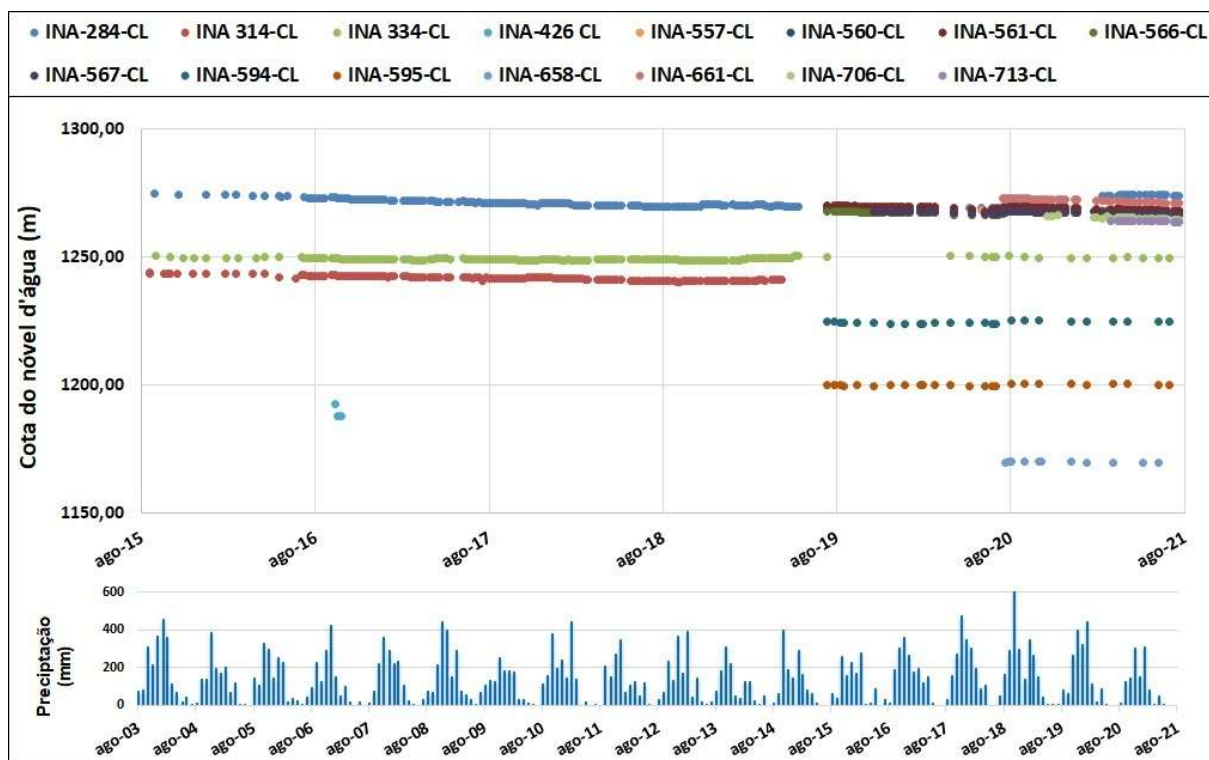


Figura 4.16: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Cava Leste.

Observa-se que os instrumentos pertencentes ao intervalo A não apresentam interferência nos níveis d'água monitorados, com variações praticamente imperceptíveis e relacionadas a sazonalidade.

Por outro lado, percebe-se que os instrumentos presentes no intervalo B apresentam variações mais significativas, sendo o INA-284 o instrumento mais afetado. Esse ponto apresenta um rebaixamento acumulado de 5.27 metros entre agosto de 2015 e julho de 2019, resultando em uma taxa de rebaixamento de 1.32 metros a cada ano. Após esse período, observa-se uma lacuna nos dados desse instrumento até maio de 2020, período em que o INA-284 começa a apresentar uma



recuperação em seu nível d'água monitorado. Destaca-se que esse comportamento de recuperação do nível não é observado nos instrumentos próximos ao INA-284.

Ressalta-se que os instrumentos INA-557, INA-560, INA-566 e INA-567 estão localizados bem próximos um do outro e apresentam um comportamento muito similar, rebaixando gradualmente ao longo do tempo, com pequenas recuperações de níveis em períodos de maior precipitação.

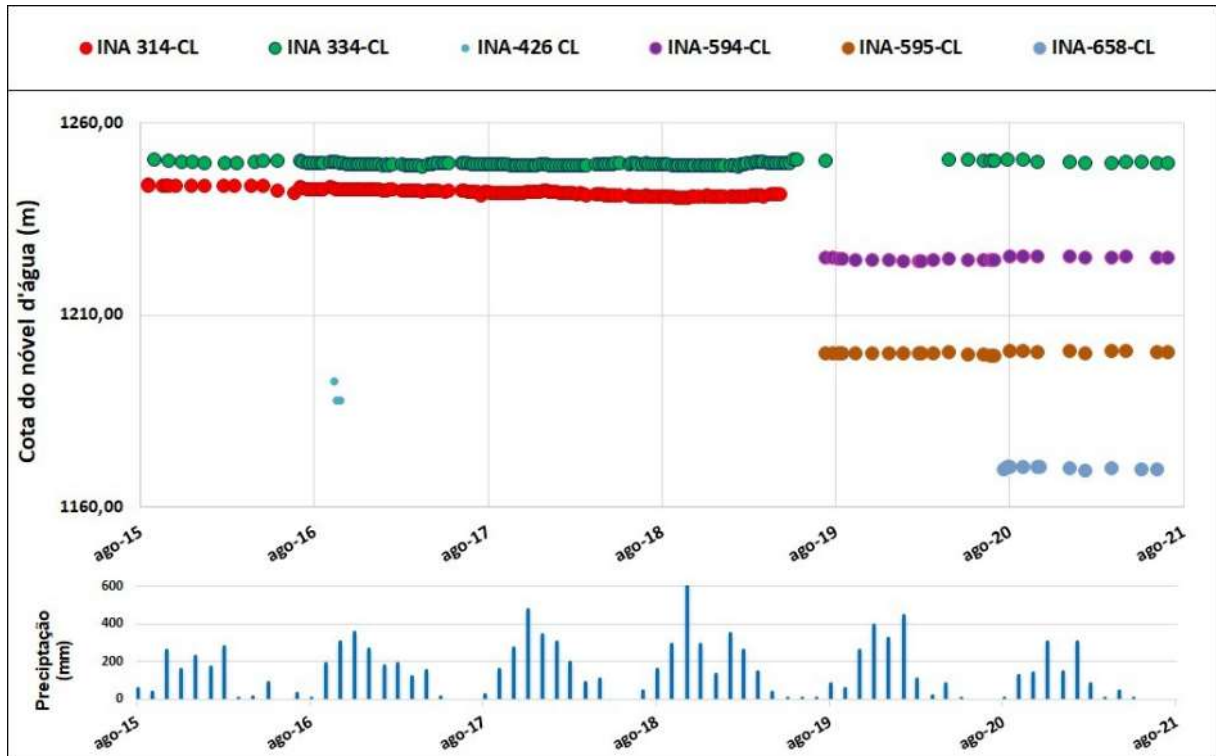


Figura 4.17: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da Cava Leste. Intervalo A.



Figura 4.18: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos localizados na região da cava Leste. Intervalo B.



#### 4.2.4 Níveis de água – Depósitos/pilhas de estéril

O setor denominado “depósitos de estéril” é dividido em várias pilhas espalhadas por todo o Complexo Minerário de Tapira. Nesses locais são depositados os materiais não aproveitáveis economicamente (estéril), cuja remoção se torna necessária para o avanço da lavra do minério. Atualmente, existem 8 regiões denominadas de Depósito (E1, E2, E3, E8, E9, T1, T2 e T4), com 28 INA's e 3PZ' s distribuídos ao longo desses subsetores. Esses instrumentos começaram a ser acompanhados em julho de 2019, sendo ainda muito recentes e apresentando um histórico pequeno de registros. Nota-se que quatro instrumentos não possuem dados e o INA-E2-06 não foi encontrado pela equipe de monitoramento.

Por se tratar de instrumentos de monitoramento predominantemente na zona não saturada (pilhas acima do nível d'água subterrâneo), são considerados a parte e por esse motivo não serão utilizados posteriormente para calibração do nível d'água subterrâneo do modelo numérico.

A Tabela 4.7 apresenta as informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível de água distribuídos pelos Depósitos de estéril. Já a Figura 4.19 exibe um mapa de localização espacial desses pontos.

**Tabela 4.7: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos pelos Depósitos de estéril.**

Instrumento	Coordenadas		Cota do terreno	Localização	Status (2021)	Início do monitoramento	Última leitura
	x	y					
INA-E1-01	304.912	7.800.626	1313,70	Deposito E1	Inativo	jul-19	jul-19
INA-E1-02	305.551	7.801.280	1360,82	Deposito E1	Ativo	jul-19	ago-21
INA-E1-03	304.533	7.800.967	1254,92	Deposito E1	Ativo	jul-19	ago-21
INA-E1-04	309.059	7.803.404	1250,84	Deposito E1	Ativo	set-19	ago-21
INA-E1-04A	304.973	7.801.759	1250,84	Deposito E1	Inativo	set-19	jul-20
INA-E2-04	309.059	7.803.404	1236,43	Deposito E2	Ativo	jul-19	ago-21
INA-E2-05	308.325	7.803.951	1242,06	Deposito E2	Ativo	jul-19	ago-21
INA-E2-06	307.936	7.803.769	1239,00	Deposito E2	Inativo	Sem dados de monitoramento	-
INA-E2-07	308.678	7.803.680	1238,00	Deposito E2	Ativo	jul-19	ago-21
INA-E3-01	307.713	7.804.773	1233,72	Deposito E3	Inativo	Sem dados de monitoramento	-
INA-E3-02	307.475	7.804.569	1235,32	Deposito E3	Inativo	abr-20	nov-20
INA-E3-03	307.303	7.804.177	1217,51	Deposito E3	Inativo	abr-20	jul-20
INA-E3-04	307.387	7.803.902	1240,08	Deposito E3	Inativo	Sem dados de monitoramento	-
PZ-E3-01	307.478	7.804.572	-	Deposito E3	Ativo	jun-20	fev-21
PZ-E3-02	307.303	7.804.181	-	Deposito E3	Inativo	mar-20	mar-20
PZ-E3-03	307.383	7.803.904	-	Deposito E3	Inativo	Sem dados de monitoramento	-
INA-E8-01	306.316	7.800.741	1225,98	Deposito E8	Inativo	jul-19	set-20
INA-E8-02	306.446	7.800.392	1227,73	Deposito E8	Inativo	jul-19	jul-20
INA-E8-05	306.217	7.800.967	1239,12	Deposito E8	Inativo	jul-19	nov-20
INA-E9-01	306.950	7.801.997	1221,00	Deposito E9	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T1-01	305.486	7.803.223	1251,01	Deposito T1	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T1-02	305.931	7.802.894	1287,64	Deposito T1	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T1-03	305.493	7.802.826	1274,42	Deposito T1	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T2-01	305.304	7.802.030	1316,01	Deposito T2	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T2-02	305.760	7.801.828	1361,41	Deposito T2	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T2-02(2012)	305.467	7.802.274	1319,82	Deposito T2	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T2-03	305.594	7.801.583	-	Deposito T2	Inativo	jul-19	-
INA-T4-01	306.677	7.802.560	1221,93	Deposito T4	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T4-02	306.822	7.802.336	1236,93	Deposito T4	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T4-03	306.619	7.801.935	1240,91	Deposito T4	Inativo	jul-19	jul-20
INA-T4-04	306.419	7.801.589	1245,91	Deposito T4	Inativo	jul-19	jul-20

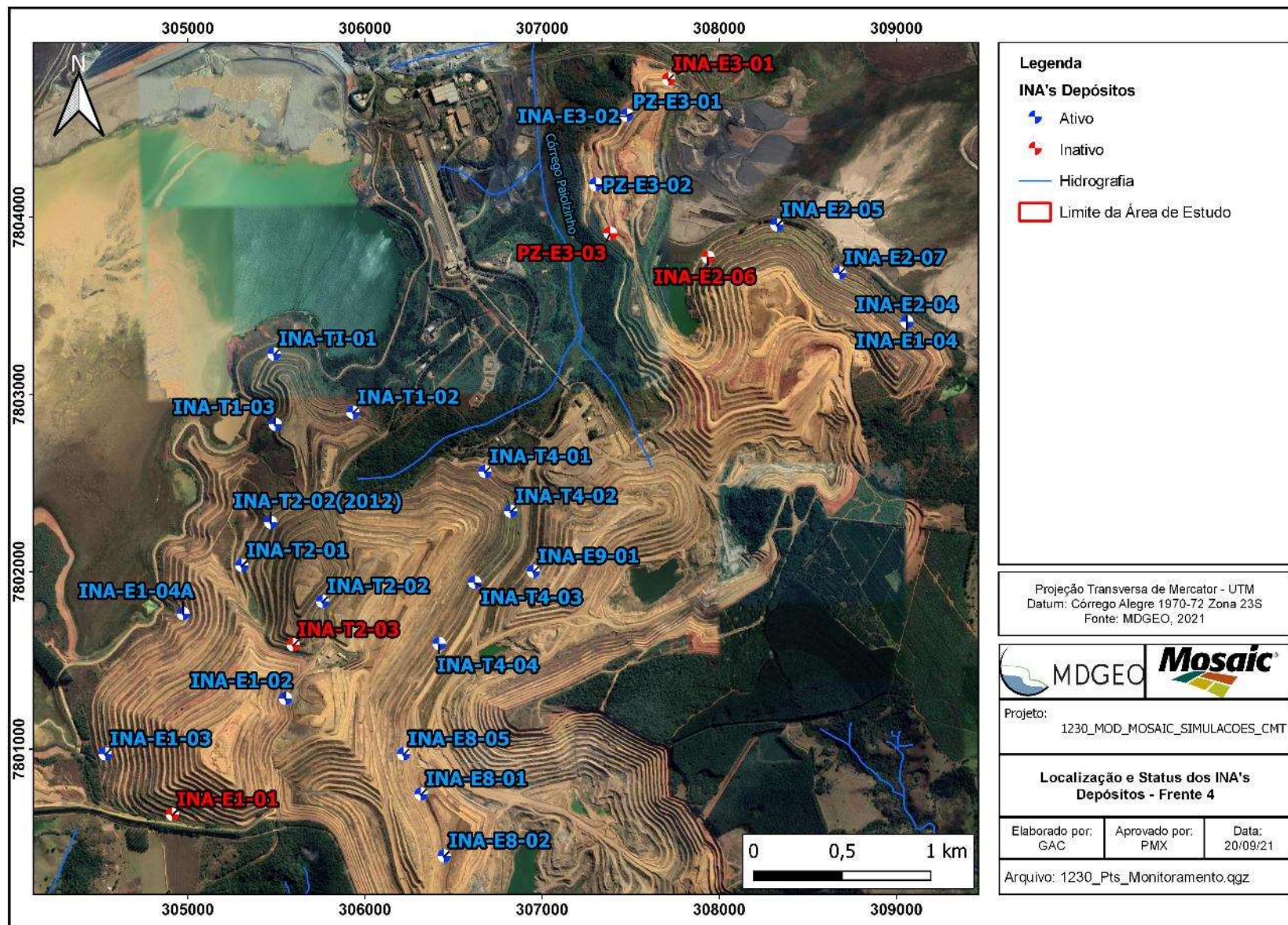
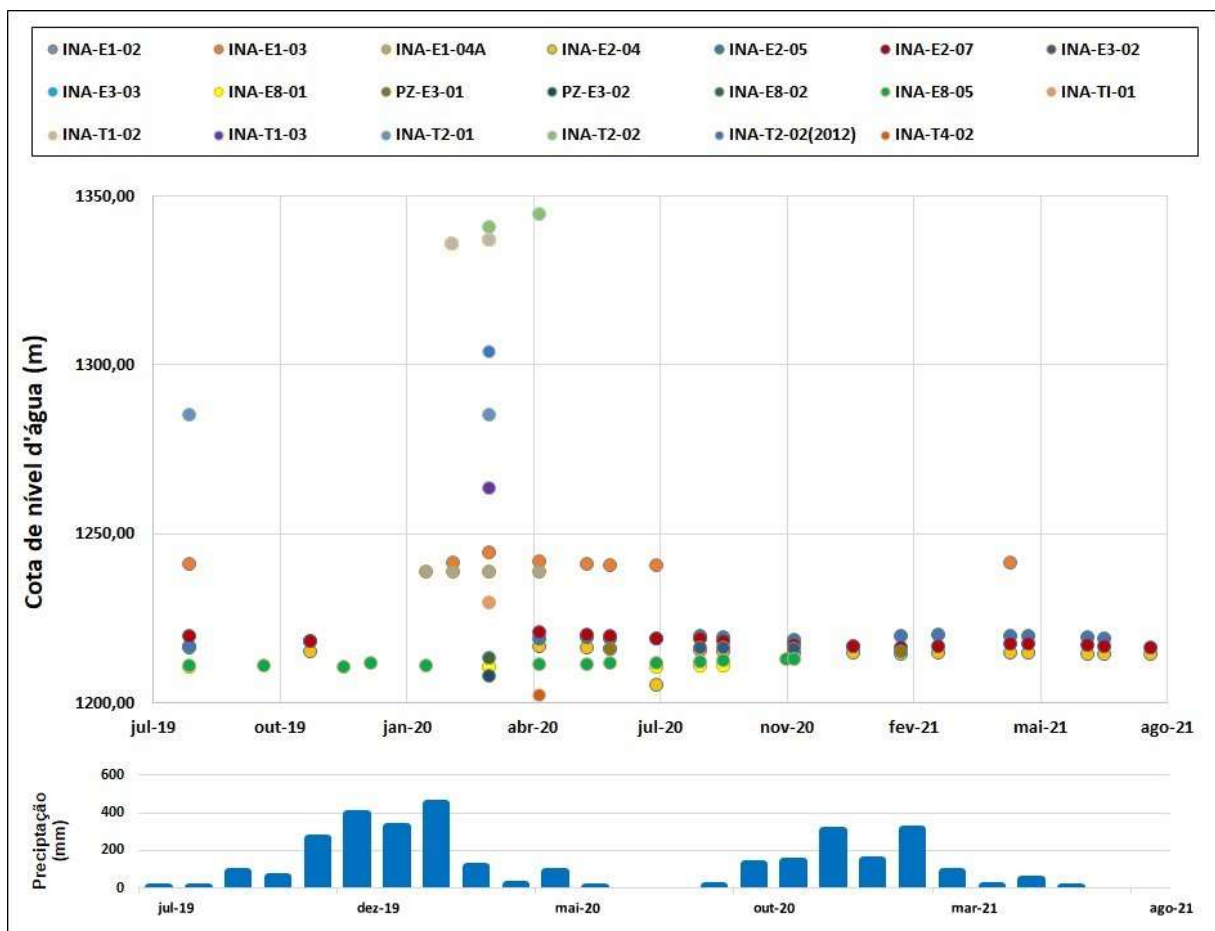


Figura 4.19: Localização dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos nos depósitos de estéril.



A Figura 4.20 expõe a evolução do monitoramento da cota do nível de água para todos os instrumentos distribuídos pelos depósitos. Percebe-se que esses instrumentos não possuem variação significativa em seus níveis de água monitorados, e grande maioria dos registros indicam que os instrumentos estão secos. Esse cenário já era esperado, afinal, os depósitos de estéril devem ser construídos com dispositivos de drenagem interna, de forma a não permitir que haja acumulação de água na pilha.

O período com o maior número de dados de nível de água foi março de 2020, justamente o mês que marca o final do período chuvoso. O instrumento com maior número de registros não seco (9 registros) é o INA-E8-05, que apresenta uma variação de nível monitorado de 1,9 metros entre julho de 2019 e novembro de 2020.



**Figura 4.20: Evolução do comportamento da cota do nível d'água para os INA's pertencentes aos Depósitos de Estéril.**



#### 4.2.5 Níveis de água – entorno das frentes de lavra

No contexto externo da cava (pontos regionais e externos às frentes de lavra) do Complexo Minerário de Tapira existem 60 instrumentos cadastrados (59 INA's e 1 PZ), sendo 34 ativos, 20 INA's novos (ainda sem dados de monitoramento) e o restante inativo ou destruído. A Tabela 4.8 mostra as informações cadastrais desses instrumentos. A localização espacial desses instrumentos é apresentada pelo mapa das Figura 4.21.

**Tabela 4.8: Informações cadastrais dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos externamente ao CMT.**

Instrumento	Coordenadas		Cota do terreno	Localização	Status (2021)	Início do monitoramento	Última leitura
	x	y					
INA-146 (INA-456-AS)	305.680	7.798.735	1183,00	Externo	Ativo	fev-18	ago-21
INA-149 (INA-457-AS)	305.649	7.797.467	1245,60	Externo	Ativo	fev-18	ago-21
INA-152 (INA-459-AS)	306.928	7.798.072	1241,10	Externo	Inativo	Sem dados de monitoramento	-
INA-457	308.003	7.797.307	1245,60	Externo	Ativo	fev-18	ago-21
INA-459	306.928	7.798.072		Externo	Ativo	fev-18	ago-21
INA-537	307.329	7.799.819	1246,29	Externo	Inativo	jul-19	jan-20
INA-622 (T20)	308.129	7.798.811	1210,75	Externo	Ativo	jul-19	fev-21
INA-623 (T13)	308.808	7.799.034	1200,71	Externo	Ativo	jul-19	ago-21
INA-624(T18)	310.272	7.801.153	1318,87	Externo	Ativo	jul-19	ago-21
INA-625 (T21)	310.109	7.800.001	1289,64	Externo	Inativo	jul-19	ago-20
INA-626	311.581	7.800.586	1222,92	Externo	Ativo	jul-19	ago-21
INA-627(T19)	311.651	7.802.364	1249,36	Externo	Ativo	jan-20	ago-21
INA-629(T11)	309.567	7.797.160	1238,41	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-630(T03)	303.246	7.800.506	1272,45	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-631(T01)	302.316	7.803.144	1221,46	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-632(T0)	301.999	7.801.422	1191,19	Externo	Ativo	ago-21	ago-21
INA-633(T0)	304.607	7.800.336	1266,79	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-634(T0)	304.207	7.798.262	1240,32	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-635(T0)	306.856	7.795.306	1182,70	Externo	Ativo	dez-19	ago-20
INA-636(T0)	306.029	7.799.625	1328,63	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-637(T0)	308.648	7.796.192	1099,59	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-647(T09)	307.870	7.794.723	1154,80	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-648(T16)	312.028	7.799.620	1202,34	Externo	Ativo	dez-19	ago-21
INA-424-ABJ	306.395	7.798.949	1302,73	Externo	Inativo	jul-19	jul-20
INA-CB01	304.624	7.800.621	1280,00	Externo	Inativo	jul-19	set-19
INA-CB02	304.820	7.800.587	1297,89	Externo	Ativo	set-19	ago-21
INA-CB03	305.317	7.800.538	1347,56	Externo	Ativo	jul-19	mar-20
INA-352-E10	309.691	7.802.334	1285,02	Externo	Ativo	ago-15	ago-21
INA-394-E10	309.430	7.801.829	1322,66	Externo	Ativo	ago-16	ago-21
INA-402-E10	309.954	7.801.314	1328,06	Externo	Ativo	ago-16	ago-21
INA-427-E10	310.590	7.800.619	1329,79	Externo	Ativo	mai-17	ago-21
INA-697-E10	309.690	7.801.494	1313,72	Externo	Ativo	mar-21	ago-21
INA-698	310.079	7.801.494	1332,32	Externo	Ativo	mar-21	ago-21
INA-701-E06	310.402	7.801.554	1294,06	Externo	Inativo	Sem dados	-
PBR-01	308.940	7.800.737	1245,95	Externo	Ativo	jul-21	ago-21
PBR-02	308.802	7.800.474	1277,86	Externo	Ativo	mar-21	ago-21
PBR-03	308.964	7.800.621	1242,79	Externo	Ativo	ago-20	ago-21
PBR-04	308.707	7.800.610	1310,99	Externo	Ativo	ago-20	ago-21
PBR-05	308.724	7.800.353	1311,34	Externo	Ativo	ago-20	ago-21
PZ-06	308.680	7.798.122		Externo	Ativo	fev-03	ago-21
PRA-008	308.021	7.799.616	1230,54	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-013	309.786	7.801.520	1293,56	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-085	308.058	7.801.355	1327,24	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-197	308.380	7.800.144	1291,37	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-250	308.514	7.800.553	1319,48	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-367	308.726	7.801.561	1329,10	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Instrumento	Coordenadas		Cota do terreno	Localização	Status (2021)	Início do monitoramento	Última leitura
	x	y					
PRA-368	310.181	7.801.436	1313,62	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-376	309.150	7.800.699	1257,86	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-437	308.215	7.799.835	1286,32	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-568	308.408	7.800.050	1268,63	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-584	308.537	7.800.142	1286,94	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-609	308.345	7.799.924	1231,53	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
F02-009	305.818	7.800.136	1338,15	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
F02-011	305.875	7.799.945	1335,08	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
F02-013	305.937	7.799.756	1323,43	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-379	305.757	7.800.325	1308,14	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-380	305.697	7.800.524	1344,66	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
PRA-293	309.436	7.802.146	1324,23	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
INA_T_12	310.659	7.798.025	1275,91	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-
INA_T_15	310.740	7.799.621	1323,31	Externo	INA - NOVO	Sem dados	-

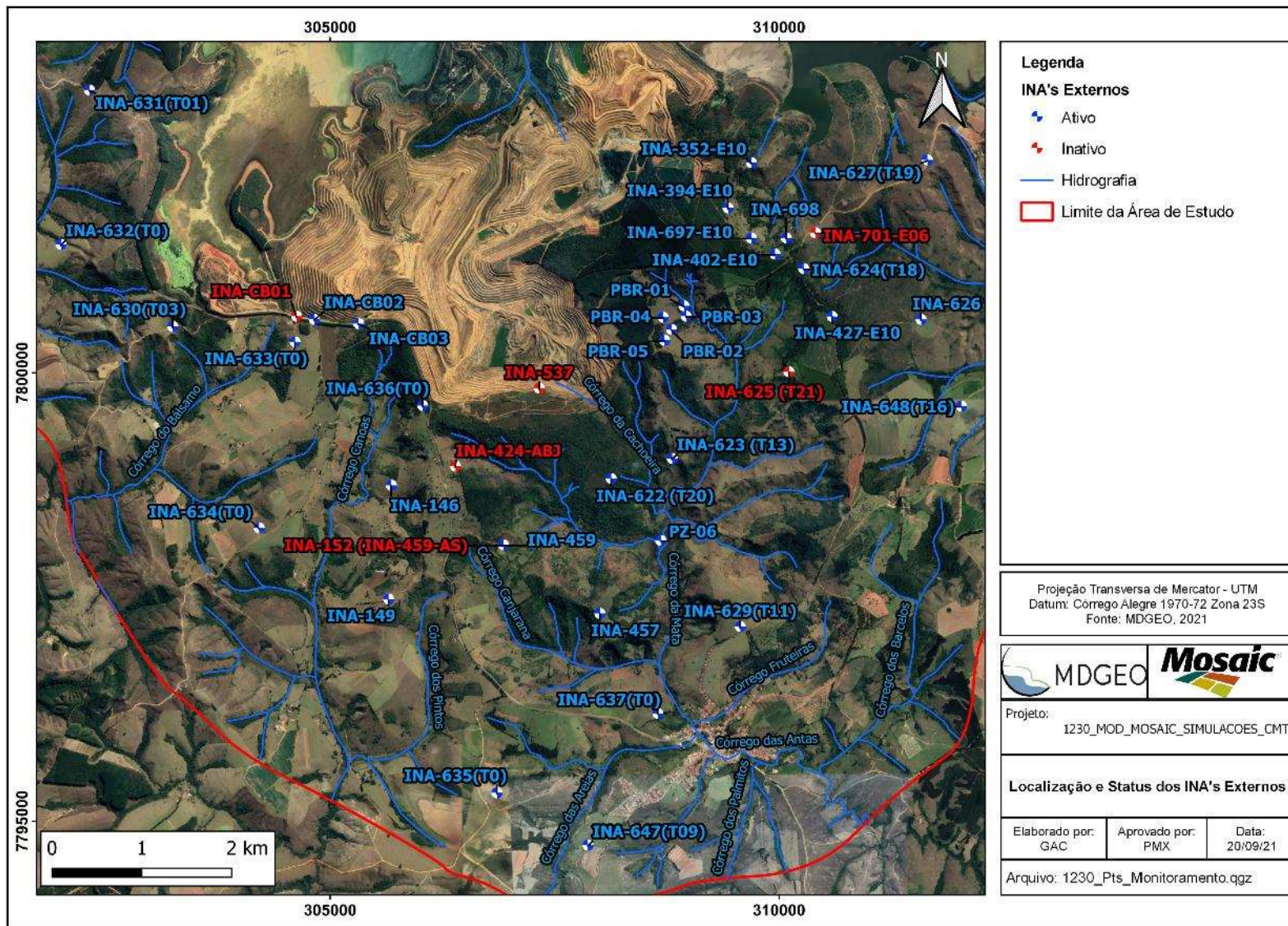


Figura 4.21: Localização dos instrumentos de monitoramento de nível d'água distribuídos regionalmente e no entorno das frentes de lavra mina.



A evolução das cotas de níveis d'água de todos os instrumentos monitorados externamente ao CMT pode ser observada no gráfico da Figura 4.22. Percebe-se que, como o piezômetro PZ-06 possui um histórico muito maior de registros, desde fevereiro de 2003, que acaba por distorcer o gráfico, dificultando a análise. Por isso, separou-se o piezômetro (Figura 4.23) e os indicadores de nível de água (Figura 4.24) em dois gráficos distintos.

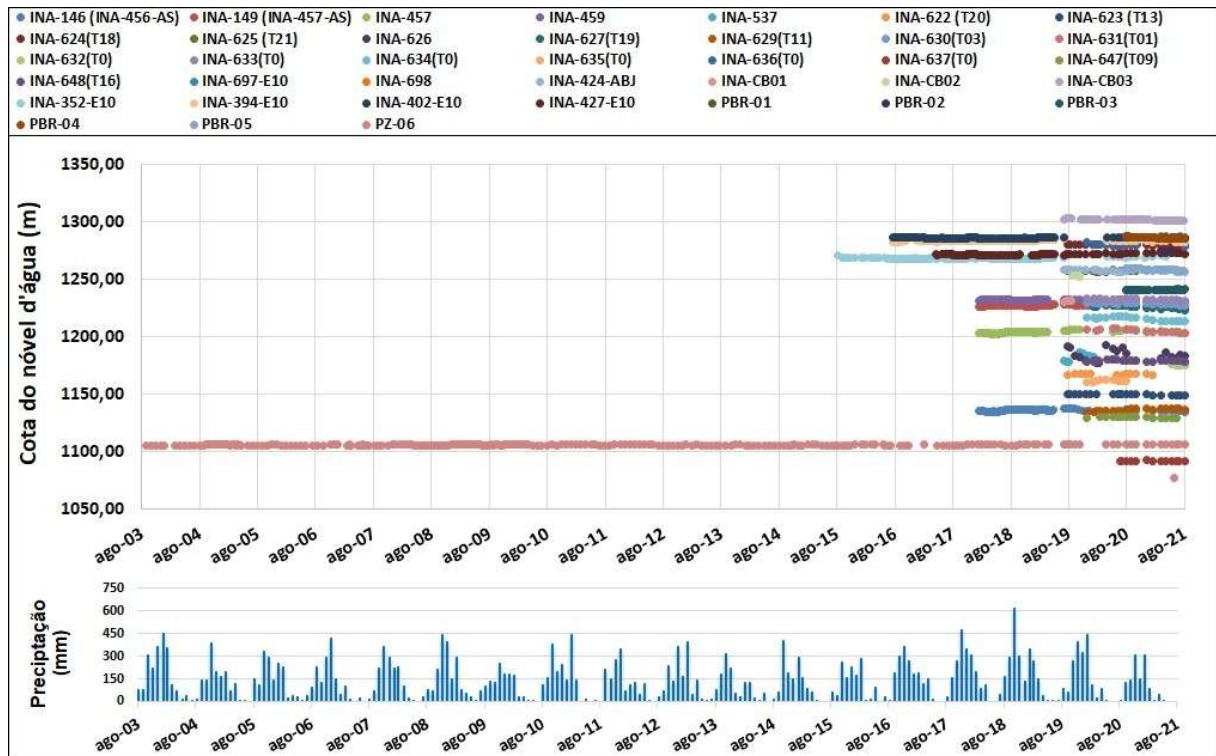


Figura 4.22: Evolução da cota do nível d'água dos instrumentos externos ao CMT.

Pela Figura 4.23 nota-se que o PZ-06 praticamente não sofre alteração ao longo de toda sua série histórica (2003-2021). Esse ponto apresenta um total de 268 registros de monitoramento, com cota máxima em 1106.4 metros (junho de 2007) e mínima em 1105,33 (maio de 2017). Essa pequena variação observada indica que o PZ-06 não sofre influência do rebaixamento do nível de água realizado no CMT. O piezômetro ficou sem ser monitorado entre março de 2018 e julho de 2019, não apresentando registros nesse período.



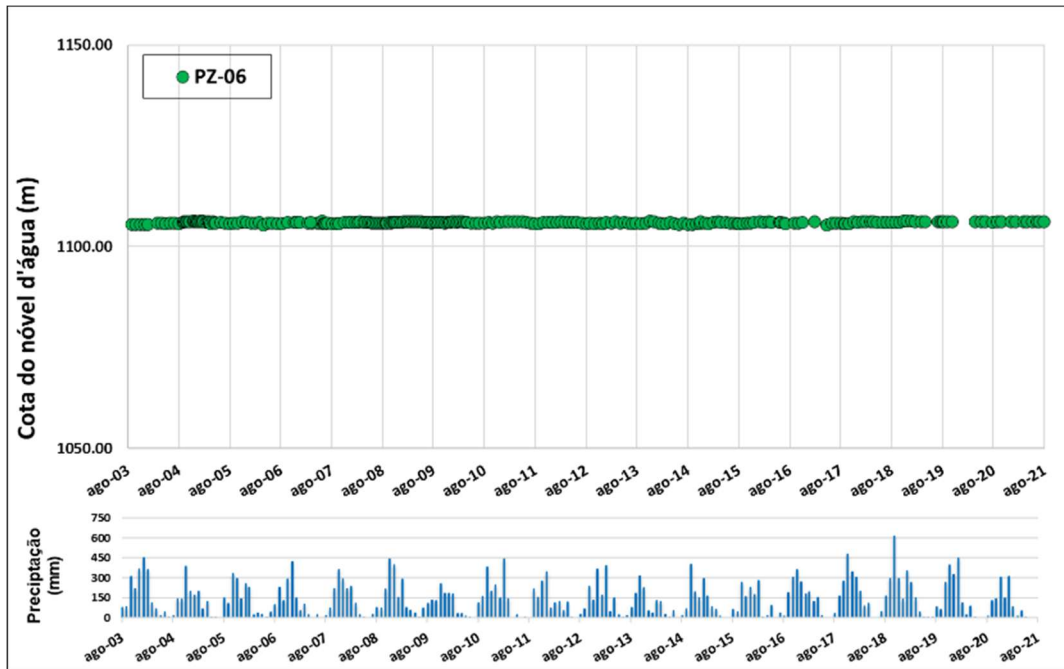


Figura 4.23: Evolução da cota do nível d'água do instrumento PZ-06, ponto externo ao CMT.

Os INA's externos ao CMT, Figura 4.24, começaram a ser monitorados em agosto de 2015, sendo o INA 352 o pioneiro dessa rede de monitoramento, com 163 registro, até agosto de 2021. Esses instrumentos não apresenta uma variação significativa no nível de água monitorado ao longo dos anos, apresentando apenas variações relacionadas a pluviometria.

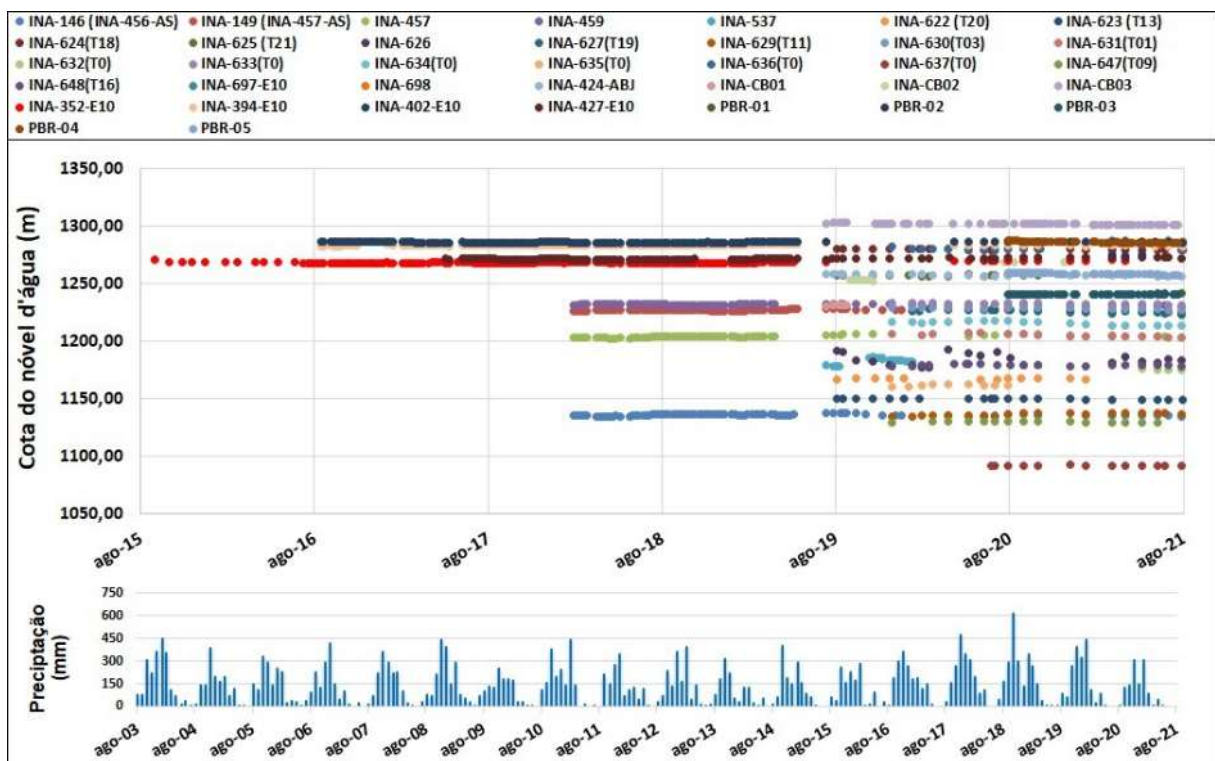


Figura 4.24: Evolução da cota do nível d'água dos INA's externos ao CMT.

#### 4.2.6 Drenos verticais

Além dos piezômetros e indicadores de nível d'água, a cava do CMT possuía no passado 14 drenos verticais (DV's) cujo nível d'água foi monitorado até a lavra das bancadas nas frentes F2 e F4, destruindo-os. Esses drenos foram perfurados em 2005 com o intuito de facilitar a drenagem dos taludes da cava, porém, também eram utilizados para o monitoramento do nível d'água nessas frentes.

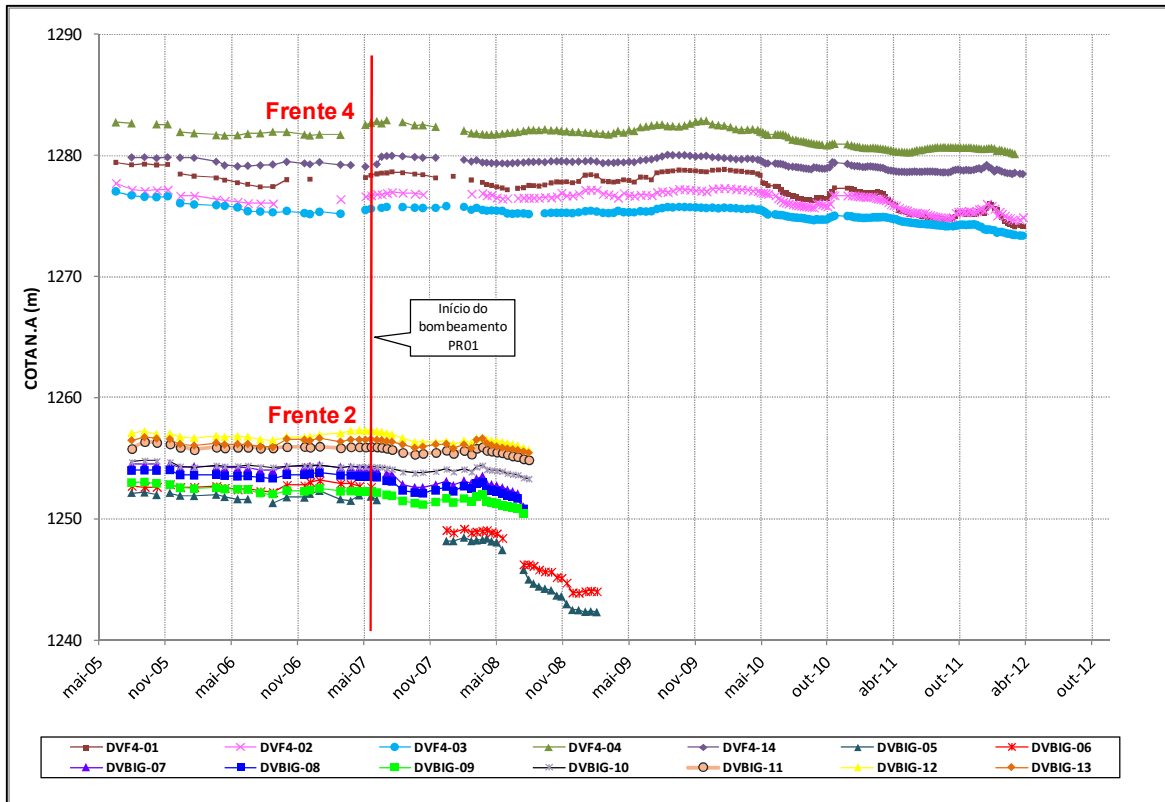
Cinco drenos foram instalados na Frente 4 (DVF4-01 a 04 e DVF4-14) com leituras até abril de 2012, os outros nove drenos estavam localizados na Frente 2 (DVBIG-05 a 13), com monitoramento finalizado em 2009, conforme ilustrado a seguir.

Portanto, por terem sido destruídos pelo avanço de lavra, esses instrumentos deixaram de monitorar o nível d'água desde abril de 2012 e não serão mais considerados na calibração em transiente do modelo numérico.

Os dados cadastrais desses instrumentos estão apresentados na Tabela 4.9, enquanto a Figura 4.25 traz o histórico de operação desses instrumentos, apresentando a evolução da cota do nível d'água nos drenos verticais localizados nas frentes de lavra F2 e F4, entre os anos de 2005 e 2012.

**Tabela 4.9: Drenos verticais do CMT**

PONTO	ID	LOCAL	INÍCIO	STATUS
DV01	DVF4-01	F4	Jul/05	Inativo desde abr/12
DV02	DVF4-02	F4	Jul/05	Inativo desde abr/12
DV03	DVF4-03	F4	Jul/05	Inativo desde abr/12
DV04	DVF4-04	F4	Jul/05	Inativo desde abr/12
DV05	DVBIG-05	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde fev/09
DV06	DVBIG-06	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde fev/09
DV07	DVBIG-07	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde jul/08
DV08	DVBIG-08	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde jul/08
DV09	DVBIG-09	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde jul/08
DV10	DVBIG-10	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde ago/08
DV11	DVBIG-11	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde ago/08
DV12	DVBIG-12	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde ago/08
DV13	DVBIG-13	F2-bigorna	Ago/05	Inativo desde ago/08
DV14	DVF4-14	F4	Ago/05	Inativo desde abr/12



**Figura 4.25. Evolução do nível d'água nos drenos verticais das frentes F2 e F4 entre 2005 e 2012**

Na análise dos dados monitorados observa-se que o nível d'água original da Frente 4 no início da medição (julho/05), situava-se em cotas mais elevadas, entre 1277 e 1283 metros. Na Frente dois - F2, o nível d'água estava entre as cotas 1252 e 1257 metros.

Percebe-se que o padrão evolutivo do nível d'água foi mantido durante todo período de monitoramento dos drenos, com um rebaixamento discreto de poucos metros durante os cinco anos de operação. Uma variação significativa foi observada apenas nos drenos DVBIG 05 e 06 (em dezembro de 2007 e julho de 2008), mas decorrente do avanço da lavra e consequente corte da boca do tubo (e não registrado no banco de dados).

Na Frente 4, em uma análise refinada dos dados, observa-se uma tendência de rebaixamento discreto a partir do final de 2009/início de 2010, possivelmente relacionado à própria drenagem proporcionada pela cava.

### 4.3 VAZÕES NOS CURSOS D'ÁGUA

A finalidade de se medir a vazão nos córregos é monitorar as descargas superficiais e, conseqüentemente, possíveis impactos provocados pelo empreendimento na disponibilidade hídrica da região. Em períodos de estiagem, as vazões mínimas podem ser correlacionadas às descargas de água subterrânea. Esse monitoramento está concentrado na Bacia do Córrego da Mata, sendo realizado através de vertedouros, uma estação fluviométrica, duas calhas Parshall e pontos de medição de vazão por micromolinete.

#### 4.3.1 Vertedouros

No contexto do CMT existem 27 vertedouros para monitoramento, sendo 10 dentro dos limites da chaminé alcalina, que monitoram os principais cursos d'água da área de estudo, relevantes para este trabalho. A Tabela 4.10 apresenta as informações cadastrais desses instrumentos, indicando sua localização, geometria construtiva e status de funcionamento em 2020. O monitoramento das vazões nos vertedouros teve início em outubro de 2002, permanecendo até os dias atuais, com periodicidade semanal/mensal. A distribuição especial desses vertedouros é apresentada no mapa da Figura 4.26.

**Tabela 4.10: Informações cadastrais dos vertedouros.**

Instrumento	Coordenadas		Localização	Geometria	Status 2021
	X	Y			
VT - 01	309072	7800602	Córr. da Mata	Trapezoidal	Ativo
VT - 02	309038	7799370	Córr. da Mata	Triangular	Inativo
VT - 03	309232	7799114	Córr. da Mata confluência	Trapezoidal	Ativo
VT - 04	308635	7798379	Córr. da Cachoeira	Trapezoidal	Ativo
VT - 05	308034	7798115	Córr. Pilões	Trapezoidal	Ativo
VT - 06	308496	7796796	Córr. Canjerana	Trapezoidal	Ativo
VT - 19	305397	7799397	Córrego Canoas	Trapezoidal	Ativo
VT - 20	303803	7799833	Córr. Balsamo	Trapezoidal	Ativo
VHM-CESCUROM	312384	7800978	Córrego Capão Escuro (Montante)	Trapezoidal	Inativo
VT-221	310983	7801545	fora do domo	Triangular	Ativo



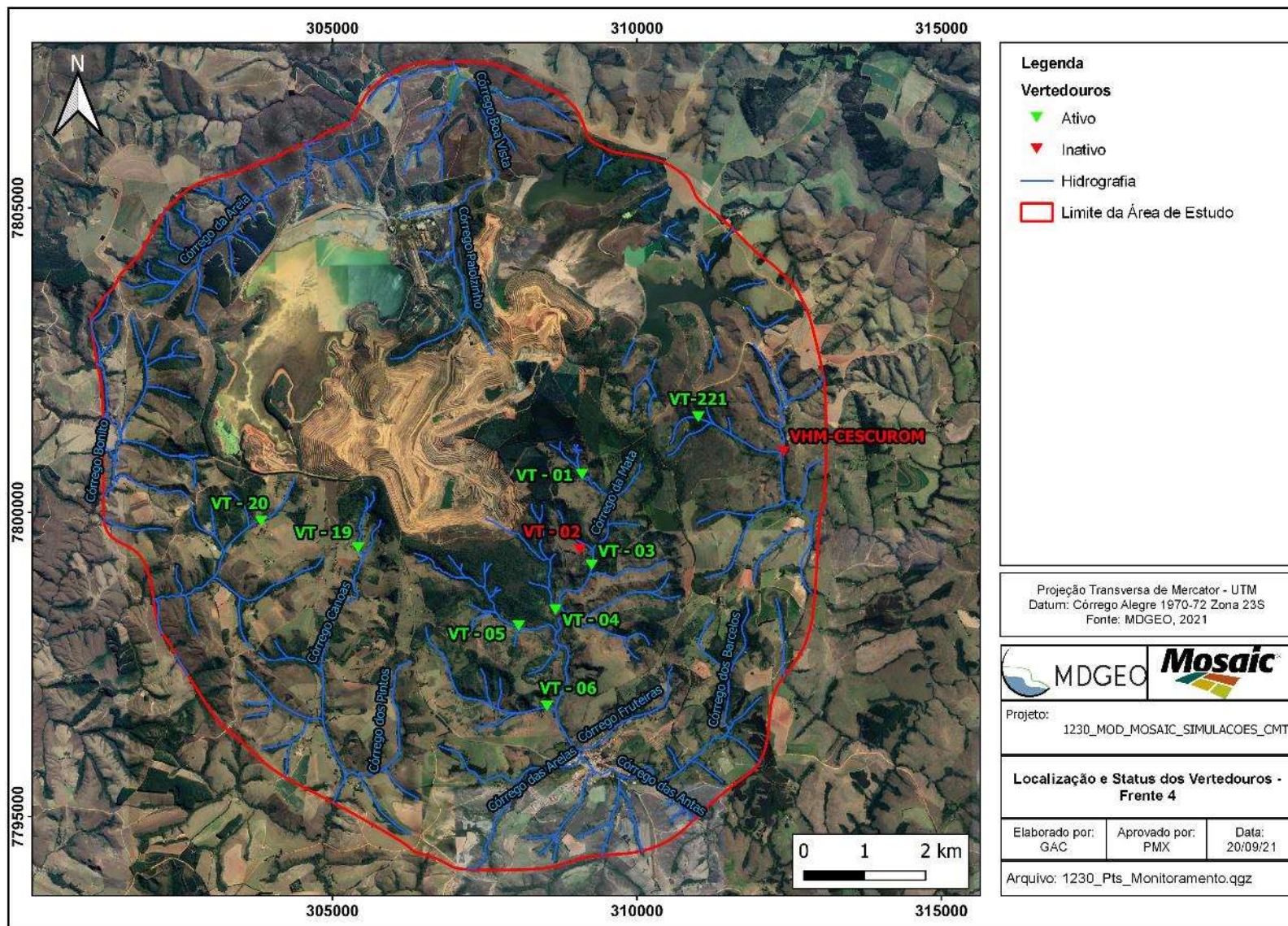


Figura 4.26: Mapa de localização dos vertedouros.

O gráfico da Figura 4.27 demonstra a evolução temporal das vazões monitoradas nos vertedores. Observa-se que as maiores vazões são registradas no vertedor VHM-CESCUROM, responsável pelo monitoramento do Córrego Capão Escuro, em um ponto a montante da captação da Copasa. Os picos de vazão ocorrem em maio de 2017, atingindo cerca de 792 m<sup>3</sup>/h. Por outro lado, as menores vazões são registradas se dão no VT-02, um dos instrumentos que monitora o Córrego da Mata, e no VT-19, localizado no Córrego Canoas.

Nota-se que todos os pontos possuem um regime sazonal, com vazões que acompanham a pluviometria, maiores em períodos chuvosos e menores em épocas de estiagem. Reforça-se que as vazões observadas no período seco são denominadas de escoamento de base do curso d'água, ou seja, são compostas basicamente pelo escoamento subterrâneo.

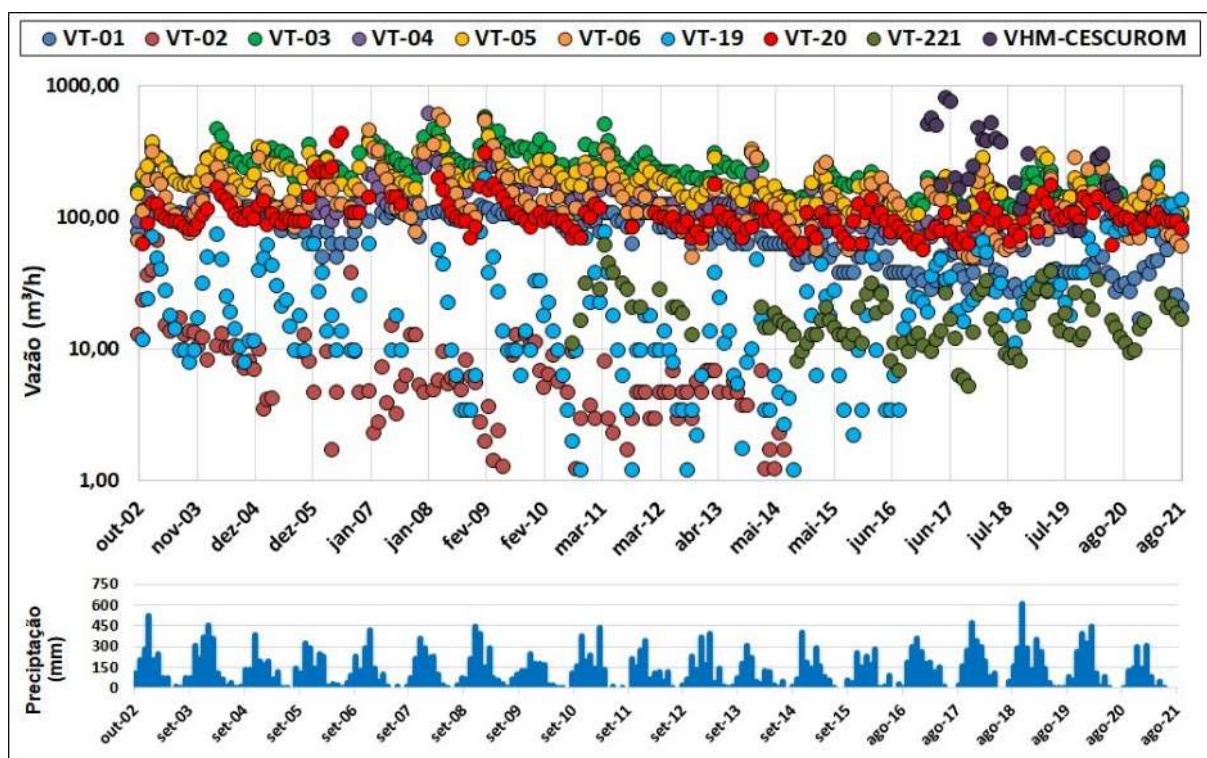


Figura 4.27: Evolução temporal das vazões monitoradas no vertedores

O principal curso d'água presente na região do CMT, Córrego da Mata, é monitorado diretamente pelos VT-01, VT-02 e VT-03, e indiretamente, através de seus afluentes, pelos VT-04 (monitora o córrego da cachoeira), VT-05 (Córrego Pilões) e VT-06 (Córrego Canjarana). A Figura 4.28 apresenta todos os vertedores envolvidos no monitoramento da bacia do Córrego da Mata.



Percebe-se que, além de uma variação sazonal, as vazões monitoradas possuem uma tendência de queda, com picos cada vez menores e mínimos recordes a cada ano, como exemplificado no VT-02, que apresenta um decréscimo de vazão ao longo do tempo, até secar em meados de 2014.

Destaca-se que essa redução nas vazões precedem o início de operação dos poços de bombeamento do CMT, indicando que, provavelmente, esse contexto está associado à diminuição do regime de chuvas e não diretamente à operação dos poços de bombeamento. Ademais, observa-se que os últimos dados de vazões monitoradas (2017 a 2021) apresentam uma possível recuperação, justamente no período em que se registra os anos hidrológicos mais chuvosos (2017/2018 e 2018/2019) de todo o histórico de precipitação do CMT.

O VT-06 é ponto com maior volume de dados de monitoramento, com 222 registros, entre outubro de 2002 e agosto de 2021. Esse ponto possui vazão média em torno de 138 m<sup>3</sup>/h e mínimas próximas a 50 m<sup>3</sup>/h.

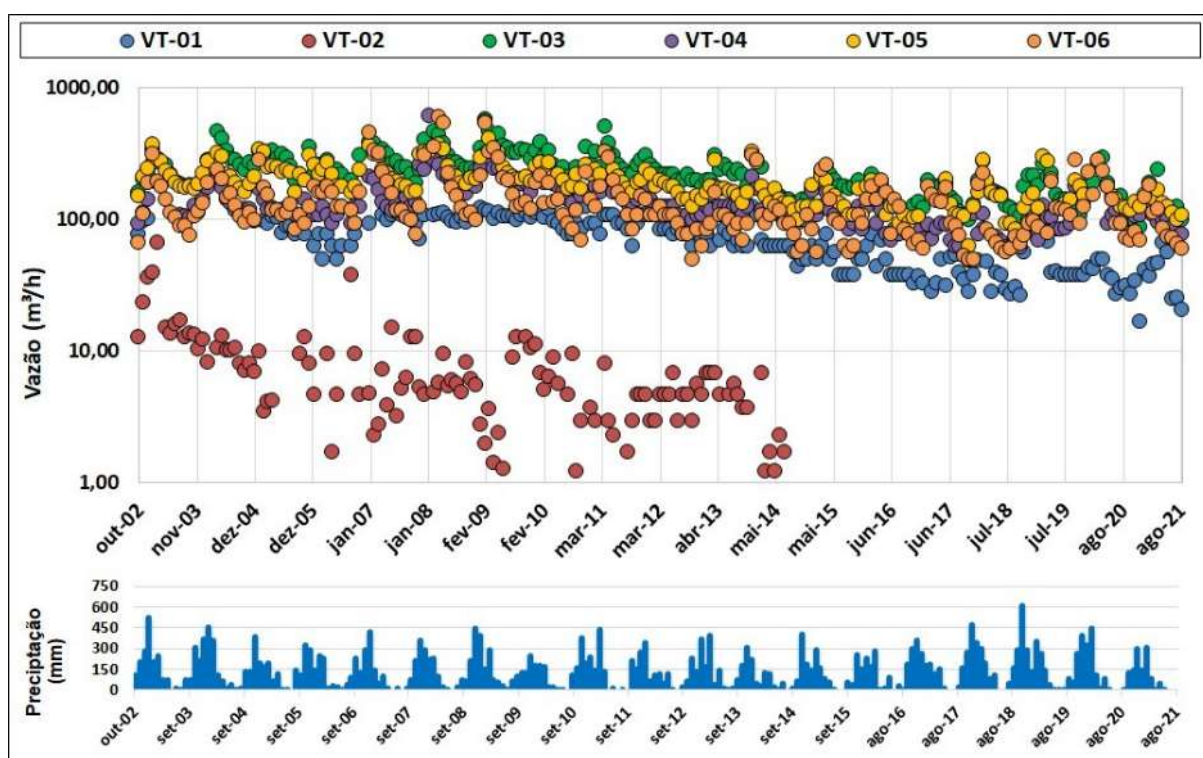


Figura 4.28: Vertedores que monitoram a bacia do Córrego da Mata.

Evolução das vazões monitoradas nos vertedores VT-19, VT-20 e VT-221, está exibida na Figura 4.29. Nota-se que os pontos VT-20 e VT-221 seguem o regime pluviométrico, não apresentando grandes variações. Já o VT-19, instrumento que monitora o Córrego Canoas, apresenta um decréscimo significativo em suas mínimas, entre junho de 2010 e julho de 2016, com os valores caindo cerca de 10 vezes, de 10 m<sup>3</sup>/h para 1 m<sup>3</sup>/h. Destaca-se que em 2010 os poços PR-02, 03, 04, 05 e 06 iniciaram seu bombeamento, fato que pode estar relacionado a essa queda nos valores das vazões mínimas registradas no VT-19. A partir de 2016 a Mosaic Fertilizantes iniciou a reposição no córrego, porém de acordo com a empresa, cabe pontuar que a captação diretamente no ponto de reposição do córrego também aumentou por parte da comunidade.

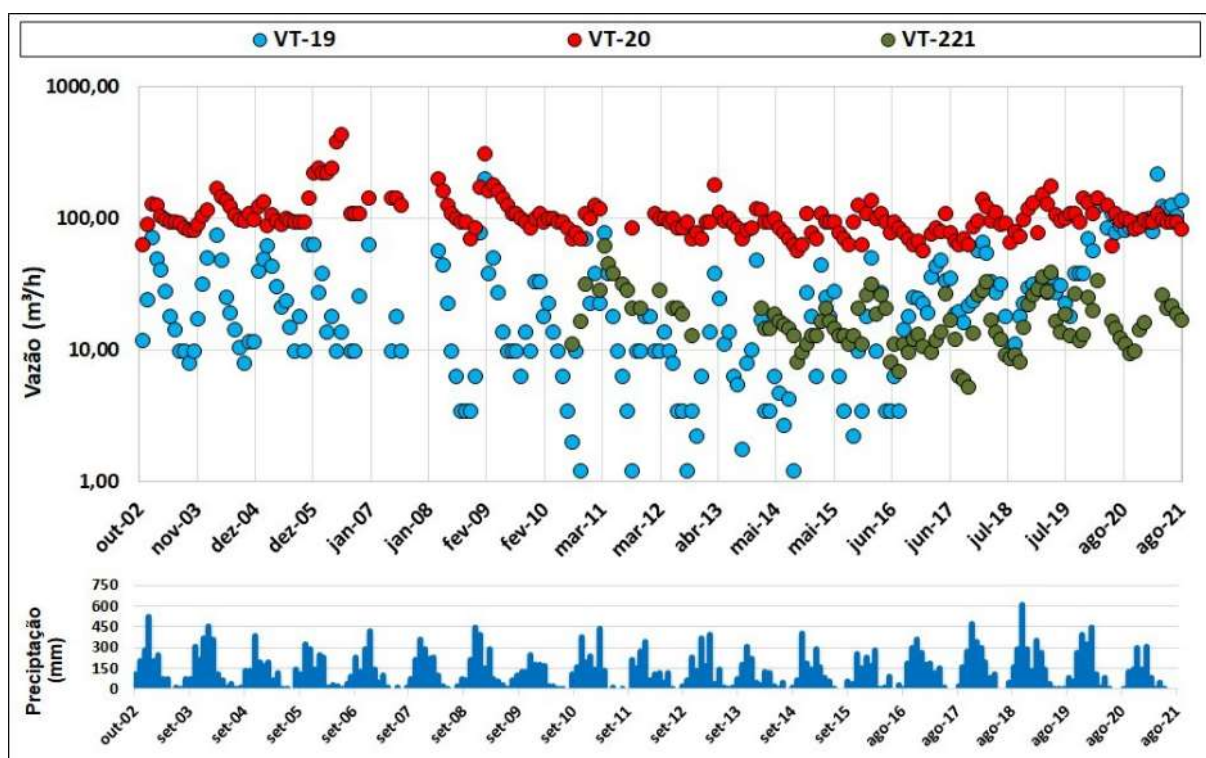


Figura 4.29: Evolução das vazões monitoradas nos vertedores VT-19, VT-20 e VT-221.



### 4.3.2 Estação fluviométrica

A estação fluviométrica EF-01 (82) encontra-se desativada. A estação situava-se no Córrego Cachoeira, na saída da chaminé alcalina, próximo (a montante) ao município de Tapira. Essa estação monitorou adequadamente toda água produzida na região da Bigorna e praticamente toda a água produzida na Chaminé Alcalina de Tapira nos períodos de setembro de 2002 a junho de 2007.

Os dados recebidos correspondem ao monitoramento executado de setembro de 2002 a junho de 2011, com periodicidade predominantemente diária. No período de julho de 2007 até abril de 2008 não possui dados, pois o sistema de medição automática (*datalogger*) apresentou problema. O gráfico da Figura 4.30 apresenta os valores médios mensais das vazões monitoradas, em escala logarítmica, em  $\text{m}^3/\text{h}$ .

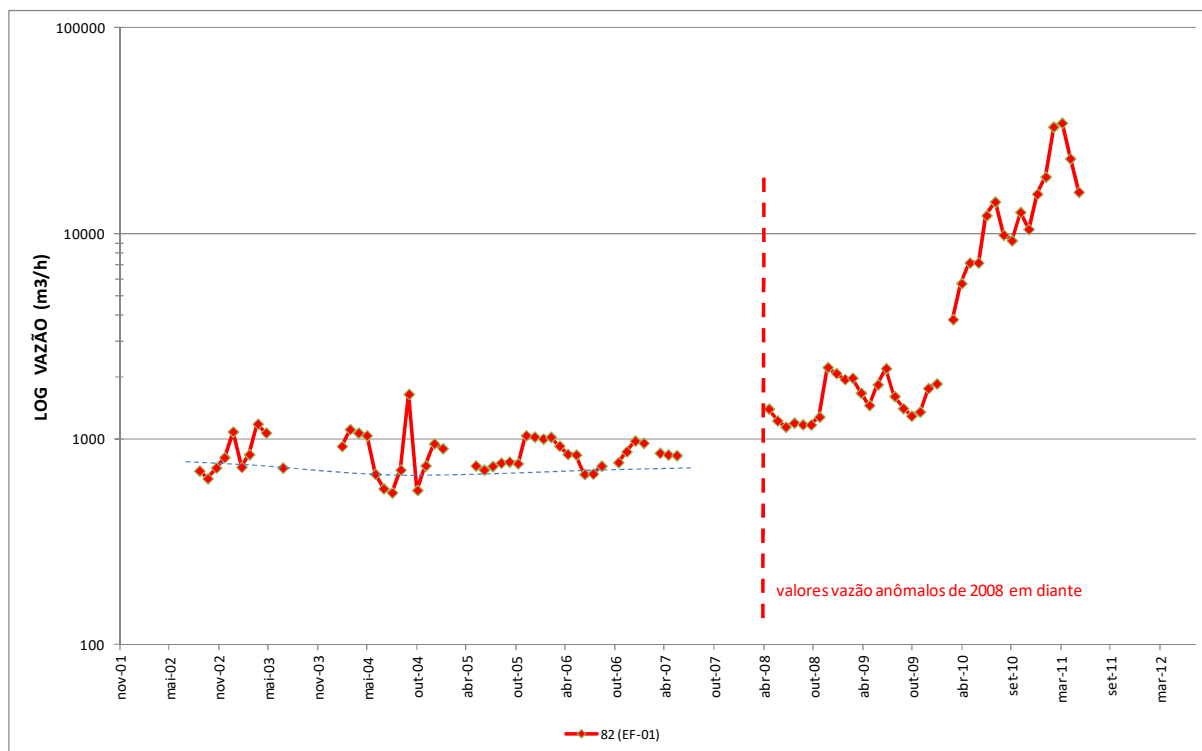


Figura 4.30. Vazão média mensal monitorada na estação fluviométrica EF-01 entre 2002 e 2011.

No gráfico acima (mesmo apresentado no trabalho anterior) é possível observar um grande aumento da vazão a partir do ano de 2008 (após período em que a estação ficou paralisada por problemas técnicos). Os valores médios mensais, que variavam em um patamar inferior a  $1100 \text{ m}^3/\text{h}$  de setembro de 2002 até junho de 2007 “saltaram” para patamares de dezenas de  $\text{m}^3/\text{h}$  (2 mil a  $30 \text{ mil m}^3/\text{h}$ ) a partir de maio de 2008, comprovado como problemas no sistema de leitura automática nesta estação.

 <b>MDGEO</b>		<b>RELATÓRIO MDGEO Nº</b>
		R_1230_MDL_MOSAIC_TAPIRA_2021_V01
<b>ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021</b>		

A comparação dos valores elevados registrados a partir de 2008 com o somatório das vazões monitoradas em todos os córregos que compõem essa bacia (média plurianual mensal entre os anos de 2002 e 2012 da ordem de 900 m<sup>3</sup>/h) e máxima plurianual mensal da ordem de 1600 m<sup>3</sup>/h, comprovam o erro no monitoramento desta estação a partir de 2008.

Salienta-se que, caso a Mosaic Fertilizantes tenha interesse na reativação do monitoramento nessa estação, deverá se atentar quanto ao sistema de leitura automática (datalogger) para evitar possíveis anomalias e recomenda-se que seja realizada uma avaliação nas réguas linimétricas, leito do córrego e nova curva chave.

### 4.3.3 Calhas Parshall

O monitoramento da vazão produzida no interior da cava da mina iniciou-se em outubro de 2007, após a construção de duas calhas do tipo *Parshall* (ou “garganta cortada”) na porção norte da mina, próximas às instalações industriais.

Esses instrumentos são informalmente denominados “Calha TC03” (ponto 150) e “Calha F5-6” (ponto 156) e tinham como objetivo monitorar as vazões produzidas nas frentes de lavra da mina, que vertem através das canaletas de drenagem ao longo do antigo leito do Córrego Paiolzinho, em direção à barragem de rejeitos BD2, ao norte da cava.

A calha F5-6 (156) mais a leste, monitorava a drenagem dos taludes das frentes F5, F6 e parte da F4. A calha 150, mais a oeste, monitorava as águas da drenagem dos taludes das frentes F1, F2 e F3, que escoam dos taludes e convergem para uma canaleta principal no fundo da cava até o local da calha, próximo à unidade industrial denominada TC03.

O monitoramento da calha F5-6 (156) foi paralisado em outubro de 2011 devido ao assoreamento da mesma e está inativo desde então. A calha TC-03 (150) foi desativada em outubro de 2010 também devido a assoreamento. Porém, houve a limpeza desta, bem como liberação do seu acesso em novembro de 2012, com retomada do monitoramento contínuo a partir de março de 2013, entretanto, esta voltou a se assorear no final do ano de 2015 e encontra-se inativa, como ilustrado no histórico do monitoramento da Figura 4.31.

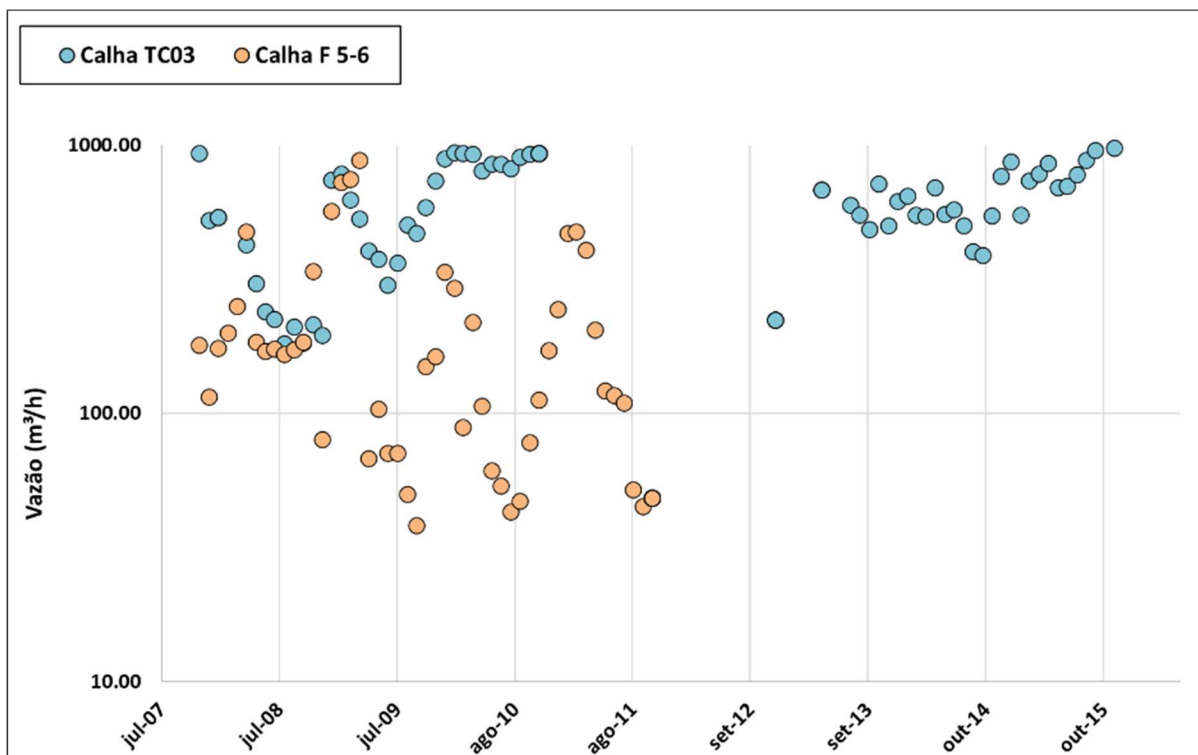


Figura 4.31. Vazões produzidas na mina, monitoradas nas Calhas Parshall entre 2007 e 2014

Ao analisar os dados do monitoramento das calhas, é possível perceber que a vazão média produzida nas frentes F1, F2 e F3 no período (monitoradas na calha TC-03) variou aproximadamente entre 150 e 1000 m<sup>3</sup>/h, enquanto nas frentes F4, F5 e F6, monitoradas na calha F5-6 (156), essa média mensal variou entre cerca de 50 e 500 m<sup>3</sup>/h. Em praticamente todas as leituras, a vazão na calha TC-03 (150) superou a vazão na calha F5-6 (156).

Somando-se a vazão média produzida em ambas as calhas ao longo desses anos, chega-se a valores médios que poderiam variar da ordem de 300 a 1300 m<sup>3</sup>/h (considerando água subterrânea e superficial), em função de período de chuvas ou estiagem.

Considerando apenas a contribuição de água subterrânea, nos períodos de estiagem, as frentes F1, F2 e F3 (calha F5-6) produziram vazões da ordem da ordem de 40 a 100 m<sup>3</sup>/h. E calha TC-03, da ordem de 125 a 500 m<sup>3</sup>/h.



#### 4.3.4 Medição de vazão com micromolinete

A série histórica de medição de vazão por equipamento de micromolinete no Complexo Mineral de Tapira contempla um total de 12 pontos, os quais possuem dados compilados a partir de outubro de 2009 até agosto de 2021. Os dados cadastrais desses instrumentos estão apresentados na Tabela 4.11. Percebe-se que o único ponto desativado ao longo dos anos foi o monitorado na galeria externa do extravasor BL-1, que possui registro até dezembro de 2016. Além do próprio local de instalação da EF-01, que até o presente momento, não dispõe de dados de monitoramento por Micromolinete. O mapa da Figura 4.32 apresenta a localização dos pontos de monitoramento supracitados.

**Tabela 4.11: Dados cadastrais dos pontos de medição de vazão por Micromolinete no contexto do CMT.**

Instrumento	Coordenadas		Localização	Status 2021
	x	y		
<b>Cór. Capão Escuro</b>	312527	7800177	Cór. Capão Escuro	Ativo
<b>Extravasor BL-1</b>	303557	7803858	Galeria Externa Extravasor BL-1	Inativo
<b>EXTR BR</b>	307882	7805684	Canal Extravasor BR - Barragem de rejeito	Ativo
<b>Extravasor BA3</b>	304384	7807251	Canal Extravasor BA-3	Ativo
<b>Córrego Bom Jardim 1</b>	301585,84	7801404,9	Córrego Bom Jardim 01 norte	Ativo
<b>Córrego Bom Jardim 2</b>	301480,76	7801411,3	Córrego Bom Jardim 02 oeste	Ativo
<b>Córrego Antas</b>	309318,07	7795696,6	Córrego Antas, CTAP	Ativo
<b>Córrego Areias</b>	309095,51	7795885,8	Córrego Areias	Ativo
<b>Nascente 1</b>	312265,6	7800068,4	Córrego Capão Escuro, Nascente 1 (E 6)	Ativo
<b>Nascente 2</b>	312522,72	7800177	Córrego Capão Escuro, Nascente 2, Faz. Anézio do beco	Ativo
<b>Córrego Barcelos</b>	310771,02	7795774,6	Córrego Barcelos	Ativo
<b>Córrego Fruteiras</b>	309551,75	7796338,8	Córrego Fruteiras, Captação Copasa	Ativo

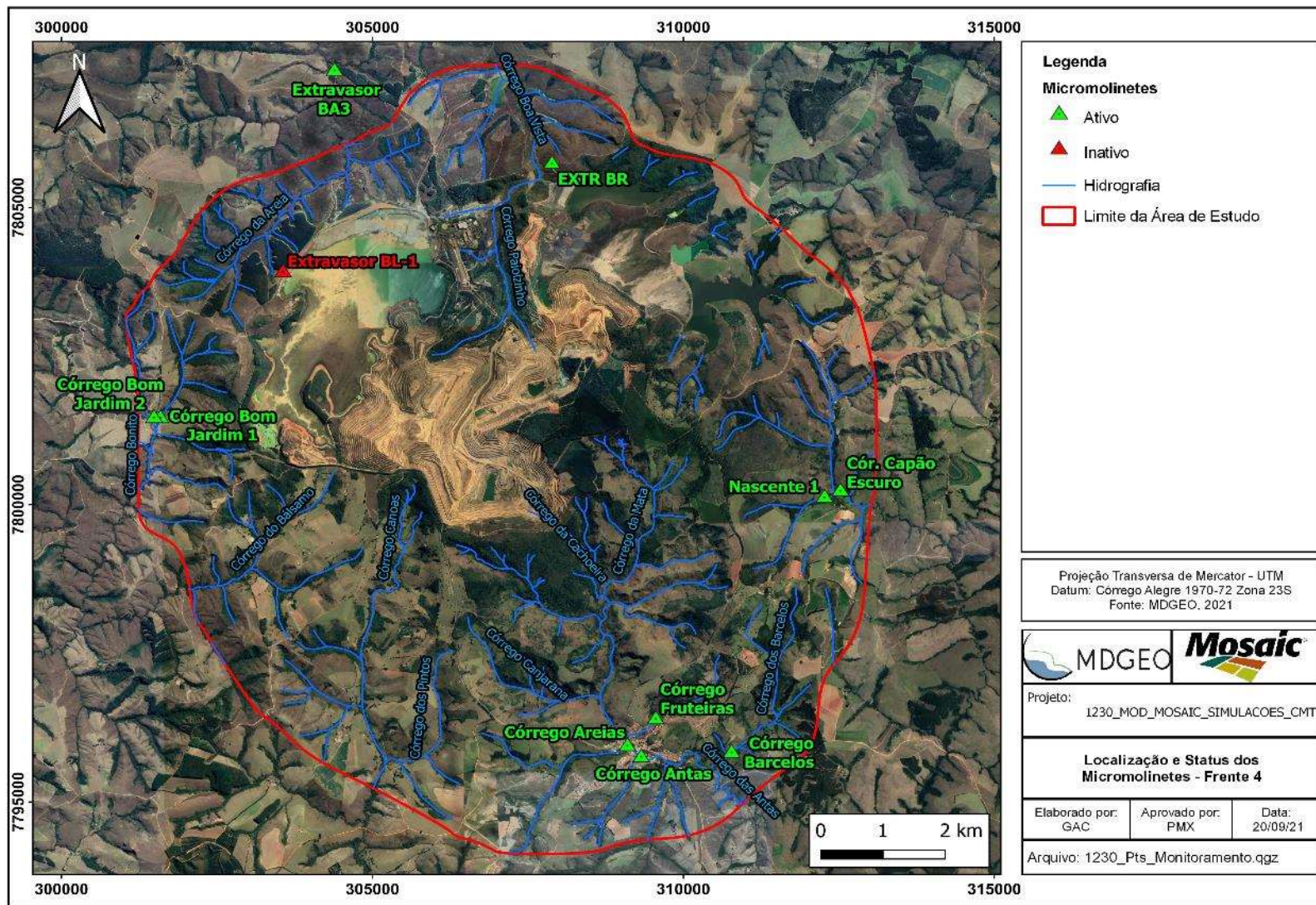
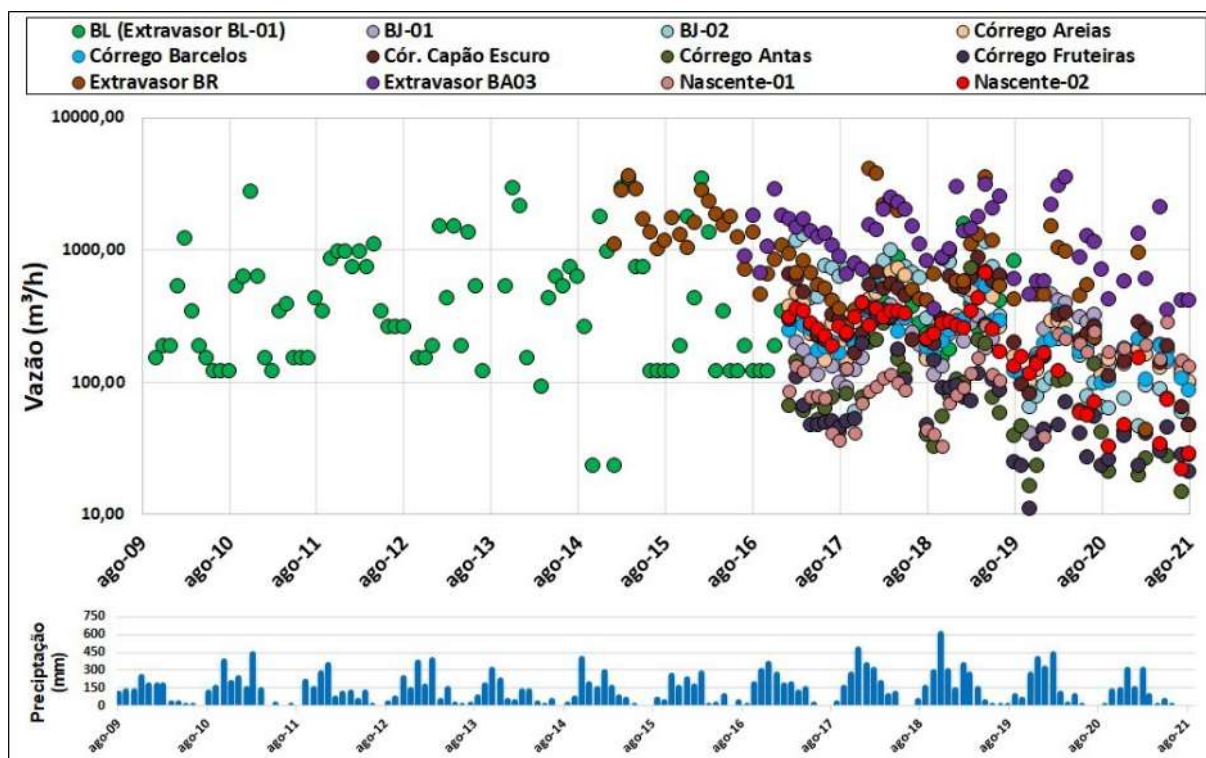


Figura 4.32: Localização dos pontos de monitoramento de vazão por Micromolinetes - CMT.

O gráfico da Figura 4.33 demonstra a evolução temporal dos valores de vazões monitorados nos pontos de medição por micromolinete.

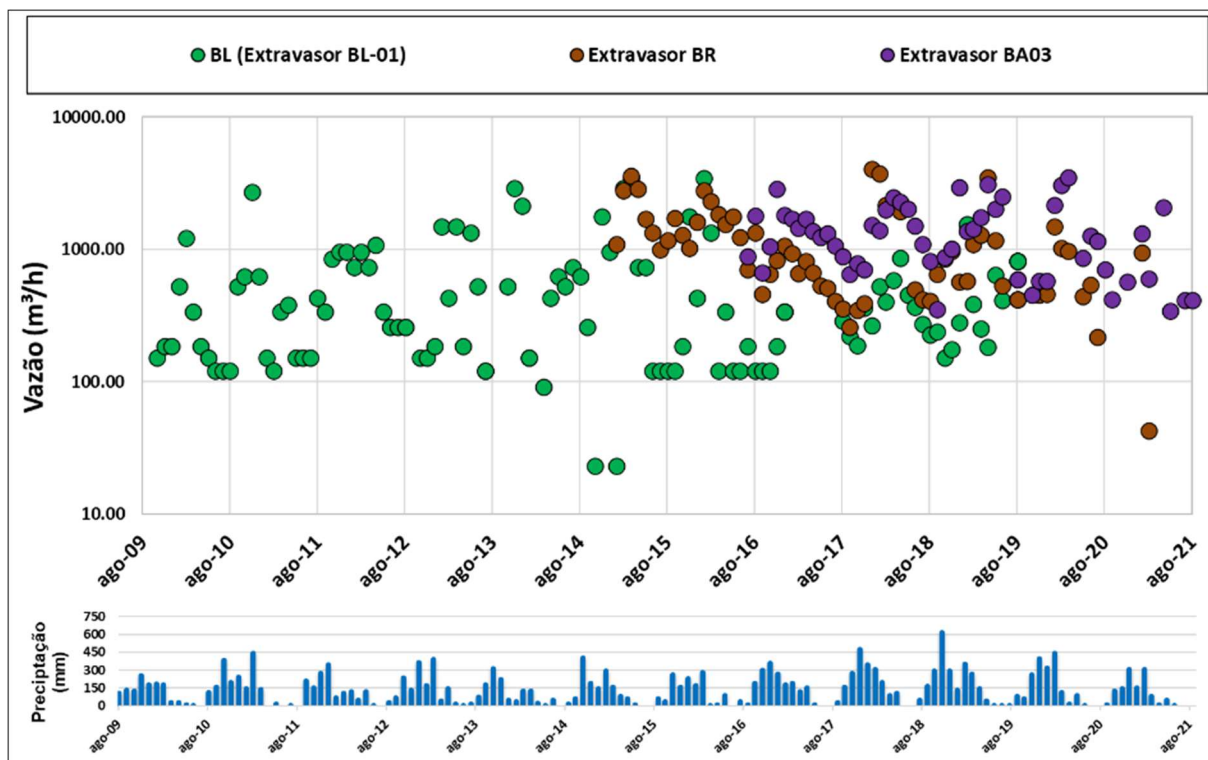


**Figura 4.33: Evolução temporal dos valores de vazões monitorados nos pontos de medição por Micromolinete.**

Para melhorar a visualização separou-se os pontos em dois agrupamentos distintos, o primeiro incluindo apenas os canais dos extravasores das barragens (Figura 4.34) e o segundo com todos os pontos de medição nos córregos e nascentes (Figura 4.35).

O canal do Extravasador BL-01 apresenta a maior série de dados com 107 registros e uma vazão média que gira em torno de 585 m³/h. Esse ponto não apresenta variações significativas em suas vazões monitoradas ao longo dos anos, com mínimos sempre próximos a 120 m³/h e máximas, normalmente, acima de 2000 m³/h. Os Extravasores BR e BA03 apresentam valores maiores em relação ao anterior, com média respectivas de 1208 m³/h e 1370 m³/h.





**Figura 4.34: Evolução temporal dos valores de vazões monitoradas nos canais dos Extravassores das barragens – CMT.**

Os córregos monitorados via micromolinetes são: Córrego Bom Jardim (com dois locais de monitoramento, BJ-01 e BJ-02), Córrego Areias, Córrego Barcelos, Córrego Capão Escuro, Córrego Antas e Córrego Fruteiras (Captação da Copasa). Além desses pontos, no Córrego Capão Escuro monitora-se duas nascentes (Nascente-01 e Nascente-02). Todos os pontos de monitoramento exibidos pela Figura 4.35 seguem uma variação sazonal ao longo dos anos.

O ponto Bom Jardim-02 é o que apresenta a maior vazão média, 439 m³/h, tendo sua máxima observada em março de 2017, com 1289 m³/h de vazão e mínima registrada em outubro do mesmo ano, cerca de 59 m³/h. Nota-se que no período seco do ano de 2019, as vazões monitoradas apresentam uma redução significativa nos valores medidos, com mínimos abaixo do padrão histórico. A vazão mínima mais acentuada foi observada no Córrego Fruteiras, 10.90 m³/h, registrada em outubro de 2019.



ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021

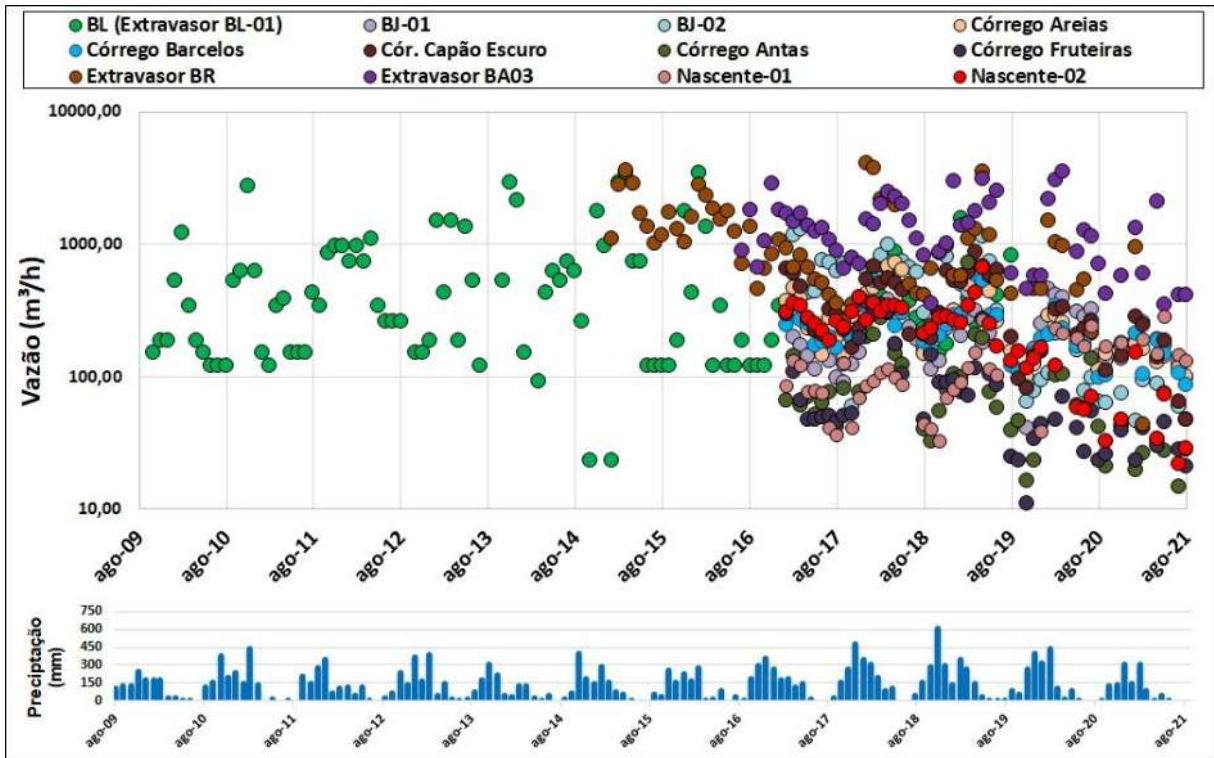


Figura 4.35: Evolução temporal dos valores de vazões monitoradas nos córregos e nascentes, presentes no CMT.

#### 4.4 VAZÕES DE BOMBEAMENTO DOS POÇOS TUBULARES

O sistema de rebaixamento do nível d'água da cava do Complexo Minerário de Tapira é composto por uma bateria de 16 poços tubulares, com série de dados compilados entre maio de 2010 a agosto de 2021. Os dados cadastrais desses instrumentos estão apresentados na Tabela 4.12. O monitoramento de vazão nesses poços é realizado com periodicidade diária (não constante), com eventuais leituras dos níveis dinâmico (nível com poço em operação) e estático (nível com poço paralisado), quando possível.

Verifica-se que, pelos registros de monitoramento do CMT, em sua maioria, as paralisações no bombeamento ocorrem por problemas na rede elétrica, e manutenção do poço ou do conjunto bombeador.

**Tabela 4.12: Informações cadastrais do conjunto de poços responsáveis pelo rebaixamento do nível d'água na região do CMT.**

POÇO	LOCAL	INÍCIO OPERAÇÃO	COTA	Perfuração	COORDENADAS		STATUS 2021
					X	Y	
PR-01	Bigorna	jun-07	1186	out-06	307163	7799934	ATIVO
PR-02	Bigorna	mai-10	1145	fev-10	306891	7800346	DESATIVADO
PR-03	Bigorna	jun-10	1166	dez-09	306875	7800582	ATIVO
PR-04	Bigorna	jun-10	1145	nov-09	306922	7800478	DESATIVADO
PR-05	Bigorna	mai-10	1149	nov-09	307005	7800483	DESATIVADO
PR-06	Bigorna	mai-10	1159	set-09	307018	7800266	DESATIVADO
PR-07	Bigorna	nov-13	1190	out-13	307240	7800781	DESATIVADO
PR-08	Bigorna	nov-13	1153	out-13	307235	7800159	DESATIVADO
PR-09	Bigorna	jul-16	1251	dez-14	306902	7799847	DESATIVADO
PR-11	Bigorna	ago-16	1219	ago-14	307304	7799911	ATIVO
PR-10	Bigorna	-	-	-	-	-	-
PR-12	Bigorna	jan-18	1260	nov-17	307051	7799718	ATIVO
PR-13	Bigorna	mai-19	1273	dez-17	306787	7799535	ATIVO
PR-14	Bigorna	mai-19	1248	dez-18	307165	7799688	ATIVO
PR-15	Bigorna	mai-19	1246	dez-18	307364	7799663	ATIVO
PR-16	Bigorna	mai-19	1243	dez-18	307644	7799672	ATIVO

O mapa da Figura 4.36 apresenta a distribuição espacial e status de funcionamento dos poços de bombeamento supracitados. Nota-se que todos esses instrumentos estão localizados na região da Bigorna, cava principal.

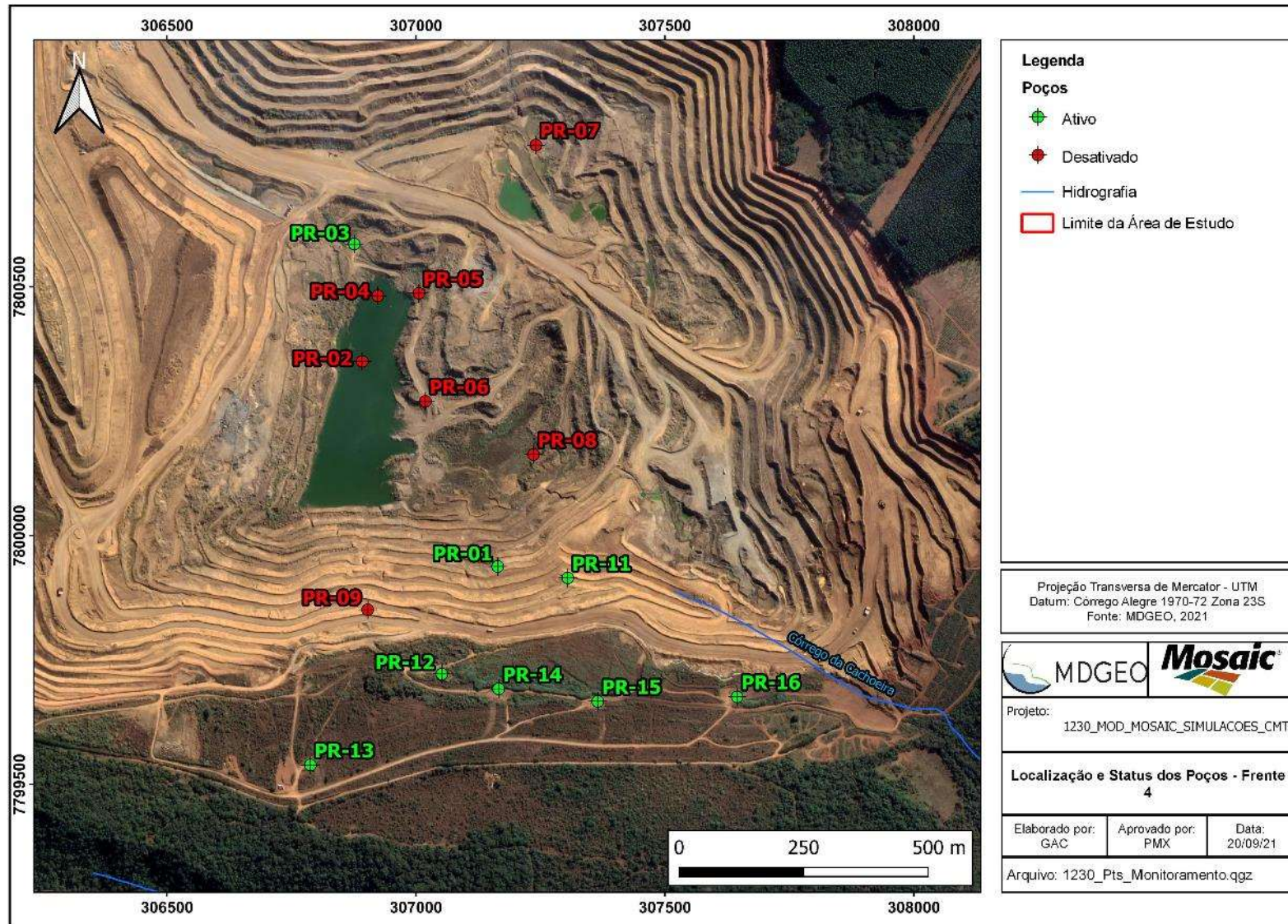


Figura 4.36: Localização e status de funcionamento dos poços de bombeamento no contexto do CMT.



A Figura 4.37 apresenta o volume total bombeado mensalmente pelo conjunto de poços de rebaixamento do CMT. O pico de volume se deu em junho de 2011, período em que os poços PR-01, 02, 03, 04, 05 e 06 estavam funcionando concomitantemente, com 139.838 m<sup>3</sup> bombeados. Já o volume mínimo ocorreu em junho de 2012, com apenas 2.299 m<sup>3</sup>. Destaca-se que em junho de 2012 somente o PR-03 estava em operação, os demais poços estavam desligados nesse mês.

Evolução da vazão média bombeada mensalmente pelo conjunto de poços de rebaixamento do CMT, está exibida na Figura 4.38. A vazão média bombeada por mês em todo o período de monitoramento (maio 2010 a agosto 2021) está em torno de 136 m<sup>3</sup>/h. Ressalta-se que não houve um aumento nas vazões bombeadas ao longo do tempo.

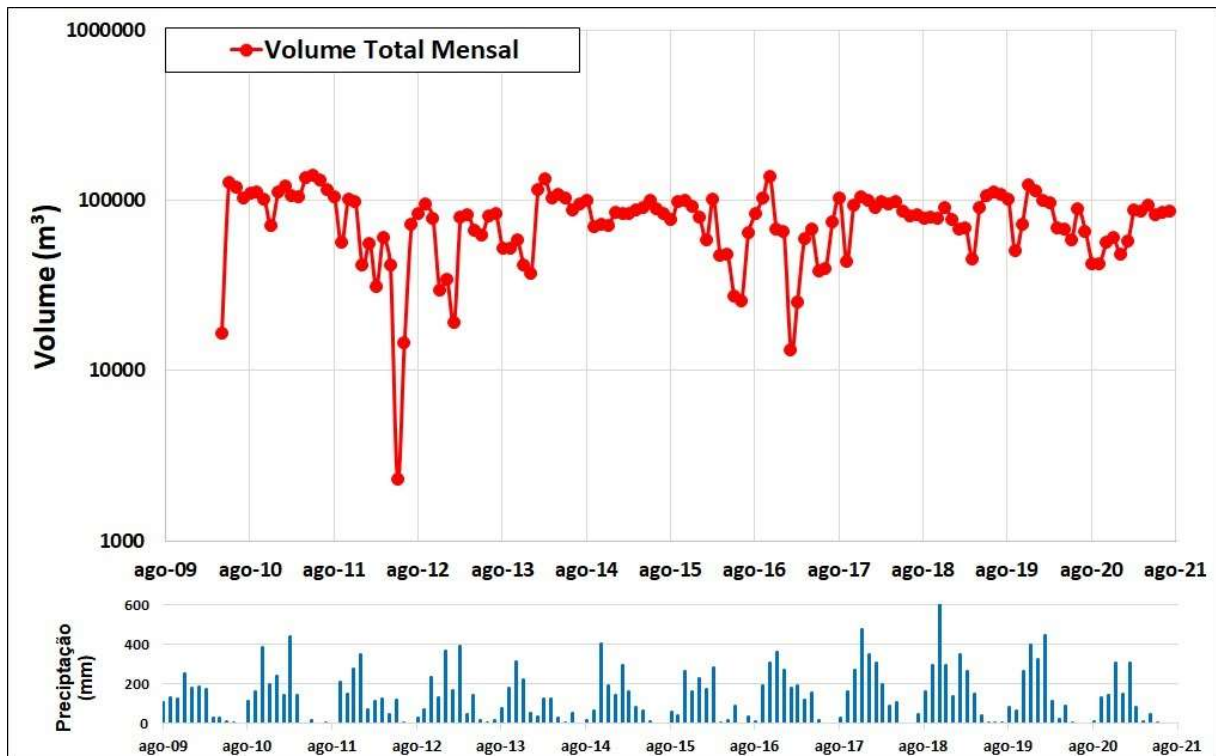
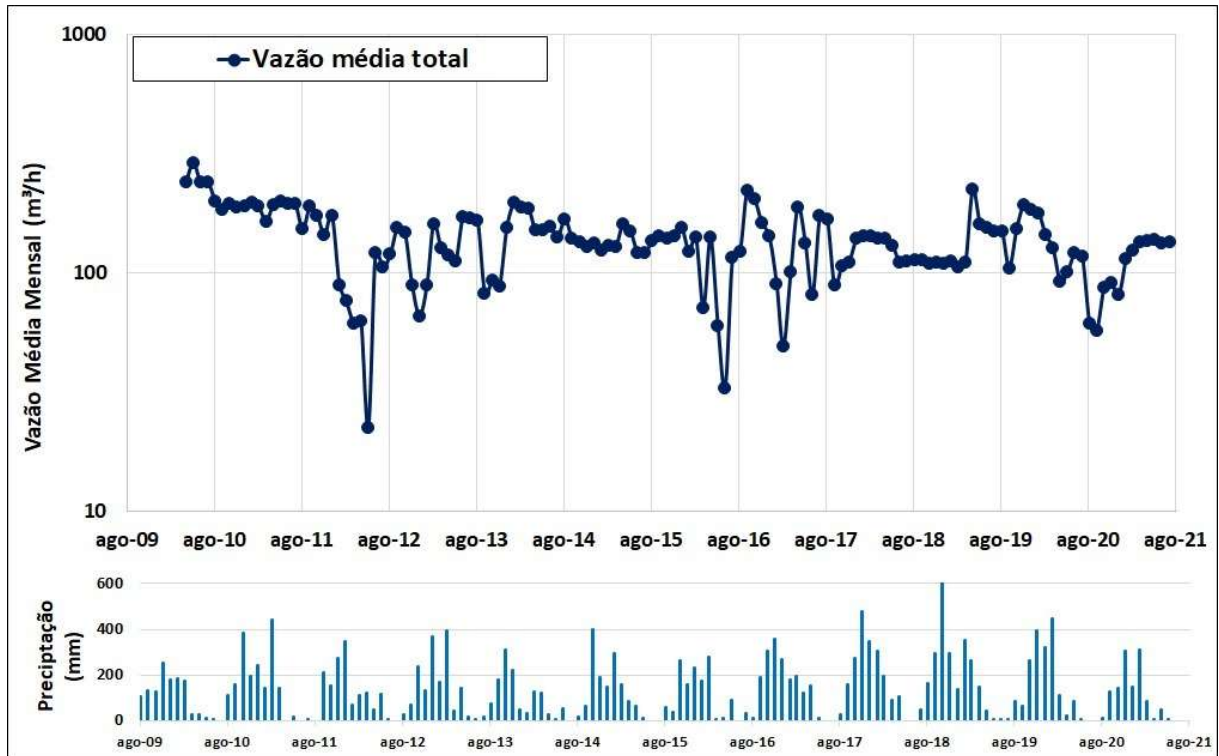


Figura 4.37: Volume total bombeado mensalmente no CMT (m<sup>3</sup>).





**Figura 4.38: Evolução da vazão média bombeada mensalmente pelo conjunto de poços de rebaixamento do CMT (m³/h).**

A evolução das vazões médias bombeadas por cada um dos poços de rebaixamento presentes no contexto do CMT, está apresentada na Figura 4.39. Nota-se que ao longo dos anos as vazões bombeadas por cada instrumento tendem a diminuir, muito pela queda de eficiência na produção dos poços.

Historicamente, o poço pioneiro, PR-01, sempre apresentou as maiores vazões, principalmente nos primeiros anos, período em que a vazão bombeada mensalmente pelo conjunto era bastante sensível ao funcionamento desse poço. Entretanto, com a queda das vazões bombeadas pelo PR-01 ao longo dos anos e instalação de novos instrumentos, essa dependência diminuiu.

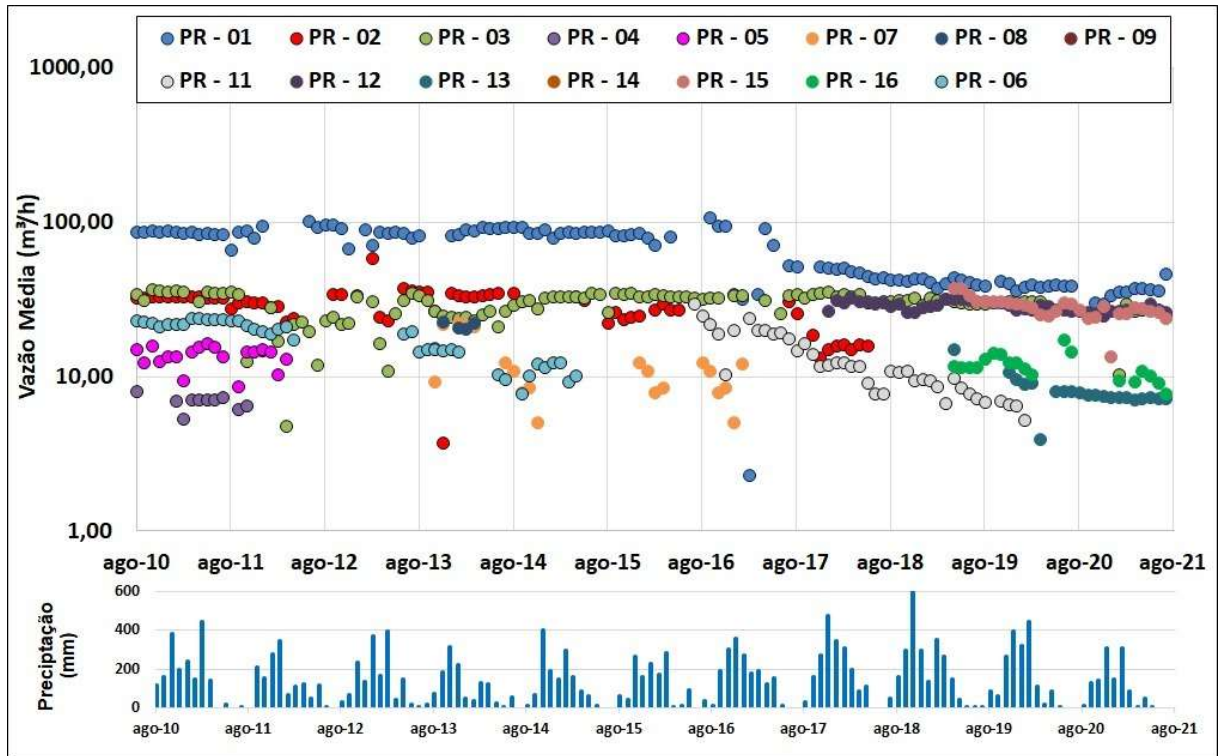


Figura 4.39: Evolução das vazões médias bombeadas por cada poço de rebaixamento presente no contexto do CMT desde o ano de 2010.

## 5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

O modelo conceitual tem por objetivos o conhecimento das unidades hidrogeológicas e o comportamento do fluxo de água subterrânea desde a infiltração no solo até sua descarga. Compreende a caracterização do meio hidrogeológico e o entendimento das condições de armazenamento e circulação da água subterrânea.

O modelo conceitual é a base para a elaboração do modelo numérico da área, a partir do qual as informações aqui apresentadas deverão de fato ser comprovadas.

### 5.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

A classificação das unidades hidrogeológicas se dá de acordo com as características hidrodinâmicas apresentadas por cada rocha. Elas podem ser classificadas como Aquíferos, Aquitardos, Aquicludes ou Aquifugos, em função de sua porosidade e permeabilidade, ou seja, da capacidade de armazenar e transmitir a água subterrânea. Baseado nas definições de Custodio & Llamas (1983) e MDGEO (2012), temos:

- **Aquífero:** formação geológica que contém água em seus poros ou fraturas e é capaz de transmiti-la, em quantidades economicamente viáveis para suprir as necessidades humanas;
- **Aquitardo:** (do latim “tardare” = retardar): formação geológica que contém água, mas a transmite lentamente;
- **Aquiclude** (do latim “Claudere” = fechar, encerrar): formação geológica que contém água, mas não é capaz de transmiti-la;
- **Aquifugo** (do latim “Fugere” = fugir): Formação que não contém água e tampouco é capaz de transmiti-la.

Quanto ao tipo de porosidade apresentada, os **aquíferos** podem ser classificados em:

- **Aquífero granular (ou poroso):** provido da chamada porosidade primária (ou intragranular), em que a água subterrânea está associada aos poros existentes entre os grãos constituintes da rocha. No CMT o aquífero granular está associado ao manto de alteração das rochas, sobretudo, no horizonte isalterita.

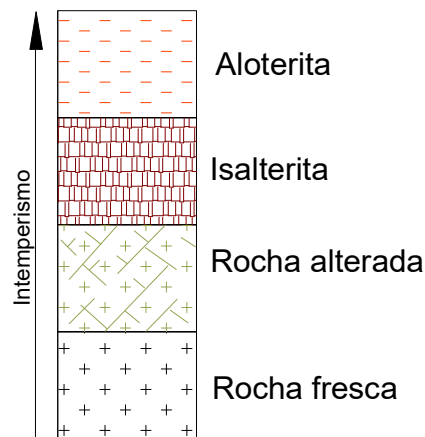
- **Aquífero fissural (ou fraturado):** provido de porosidade secundária, em que a água subterrânea está associada às descontinuidades existentes na rocha (falhas, fraturas, estruturas de dissolução). Zonas aquíferas ocorrem no CMT apenas em situações em que a rocha fresca ou alterada possua tais descontinuidades preenchidas por água e interconectadas entre si.

Portanto, a ocorrência de água subterrânea nos domínios do CMT está associada principalmente ao manto de alteração do interior do domo (minério - isalterita) que se comporta como meio poroso, enquanto na rocha fresca, sua ocorrência está vinculada a presença de descontinuidades, seja na rocha fonte da mineralização, seja nas encaixantes do Grupo Canastra. A rocha alterada em ambos os domínios pode se comportar tanto como meio poroso quanto como meio fraturado, dependendo do tipo de porosidade que apresentar em determinada porção.

As rochas encaixantes do complexo mineral (predominantemente sericita-xistos do grupo Canastra) não configuram um aquífero propriamente dito, em função da baixa permeabilidade dessas rochas, o que dificulta a circulação de água subterrânea em seus poros. Entretanto, devido à ação intempérica, a porção superficial deste domínio se comporta como um meio poroso, com certa porosidade, mas ainda com baixa permeabilidade.

Vale ressaltar que classificação intempérica do depósito é mais importante para a hidrogeologia do que a classificação geológica propriamente dita, em função das propriedades hidrodinâmicas associadas a cada horizonte da chaminé alcalina. Portanto, desde os trabalhos anteriores (MDGEO, 2012, 2014 e 2016), o modelo hidrogeológico da chaminé alcalina do CMT foi construído com base nesta classificação intempérica, cujo perfil esquemático é apresentado na Figura 5.1.





**Figura 5.1. Perfil esquemático da classificação intempérica dos litotipos do CMT**

A partir de um mapeamento detalhado na região da Bigorna, realizado em 2014, o domínio Isalterita foi subdividido em sete litologias, de acordo com a rocha fonte do produto de intemperismo, a saber:

- Bebedourito
- Foscorito
- Carbonatito
- Sienito
- Silexito
- Fenito
- Flogopitito

Esse conhecimento mais detalhado do domínio Isalterita permite separar esse domínio em porções mais ou menos porosas e permeáveis, de acordo com o tipo de rocha em que atuou o intemperismo.

Em tese, entende-se que a Isalterita proveniente das litologias Foscorito e Carbonatito são mais porosas e permeáveis em relação à Isalterita proveniente das demais litologias. Este comportamento é observado em testemunhos de sondagem na produção de poços perfurados em rochas fonte diferentes deste domínio.

Além desta subdivisão em sete domínios, outra unidade também individualizada dentro do domínio Isalterita correspondente aos chamados "Bolsões de magnetita", correspondentes a bolsões localizados (principalmente entre as cotas 1210 e 1230), grandes produtores de água na região da Bigorna. A distribuição espacial desses bolsões foi mapeada em 2015 e incorporada no presente modelo numérico.

Desta forma, conclui-se que o produto de intemperismo Isalterita pode se comportar diferentemente em relação ao armazenamento e à condutividade hidráulica, podendo, portanto, ser localmente atribuído como aquífero ou aquífero, o que é observado na prática.

Esse refinamento do domínio Isalterita também será considerado nesta nova calibração do modelo numérico, visando a representação computacional mais aproximada do que se é observado em campo.

A seguir é apresentada uma síntese dos domínios hidrogeológicos associados aos litotipos do depósito mineral do CMT (horizontes intempéricos), do topo para a base.

### **5.1.1 Aloterita**

Sobreposto ao horizonte Isalterita, ocorre o horizonte estéril denominado Aloterita, composto por um manto de alteração predominantemente argiloso e empobrecido em fosfato, decorrente de um estágio mais evoluído do intemperismo das rochas do complexo, em que até as apatitas foram lixiviadas, dando lugar às micas e aos demais minerais de granulometria argilosa.

Fora do contexto da evolução intempérica das rochas ígneas, em alguns locais podem ocorrer também sedimentos predominantemente argilosos, depositados sobre o manto de intemperismo das rochas que compõem o complexo alcalino, que no contexto de unidade hidrogeológica, pode ser englobado dentro do pacote aloterita.

Esse horizonte comumente encontra-se seco na região da cava e pode ser classificado com um aquíclode, com fraca "vocação hidrogeológica". Nos furos de sondagem representativos avaliados em 2012 este horizonte se apresenta poroso, friável a muito friável e predominantemente argiloso.

### 5.1.2 Isalterita

Domínio caracterizado por um horizonte de intemperismo predominantemente mais arenoso, poroso e permeável, correspondente a um aquífero do tipo granular. Este horizonte compreende o minério principal lavrado (minério de fosfato supergênico) e, no caso do CMT, também está aqui incluído os horizontes enriquecidos em magnetita e anatásio (minério titânio).

O horizonte isalterita é o principal produtor de água no contexto hidrogeológico do CMT e comporta-se predominantemente como aquífero poroso, podendo também ser classificado como aquífero confinado, dependendo da porosidade e permeabilidade apresentada, que por sua vez, estão relacionadas às características litológicas da rocha fonte e ao seu grau de evolução intempérica.

Geralmente as surgências de água subterrânea no interior da cava (e do complexo em geral) estão associadas a esse horizonte, sobretudo, no contato de níveis mais porosos com níveis mais argilosos e em locais onde o aquífero é exposto pela lavra.

Nesse sentido, merece destaque os bolsões de magnetita existentes nesse horizonte na região da Bigorna, que configuram excelentes aquíferos localizados, com grande produção de água subterrânea quando expostos nos taludes. Essa situação é bastante perceptível na frente F2 da Bigorna, entre os bancos 1210 e 1230 metros, em que o conjunto de surgências associadas a esse horizonte produz vazões globais da ordem de 110 m<sup>3</sup>/h (vide item 5.4.1.2).

Contudo, vale salientar que quando estas porções do aquífero se apresentam aflorantes, constituem um problema geotécnico quanto à estabilidade dos taludes das bancadas escavadas.

Nos testemunhos de sondagem representativos observados, este horizonte intempérico apresenta matriz arenosa grossa, porosa, com alguns bolsões micáceos mais argilosos. Raramente é visível alguma feição preservada da rocha original. Em um dos furos foi observado a ocorrência centimétrica do minério “titânio”, bastante friável.

### 5.1.3 Rocha alterada

Este horizonte não se apresenta de forma regular, pois está condicionado a porções da rocha sã cujo intemperismo não foi uniforme. Desta forma, ocorrem tanto blocos de rocha pouco intemperizados quanto níveis de material granular bastante intemperizados.

Ao que tudo indica, este horizonte apresenta um razoável potencial hidrogeológico e não deve diferir em muito da Isalterita, com as diferenças de descargas de águas subterrâneas condicionadas apenas pela forma como é executado o desaguamento das minas.

Nos testemunhos representativos observados, este horizonte se apresenta muito fragmentado, com textura média/grossa (CMT-0010) a fina (CMT-0017), sendo mais argilosa nesta última, devido à ocorrência maior de micas. As porções mais alteradas apresentam coloração ocre, enquanto as mais preservadas são acinzentadas.

Em termos hidrogeológicos, este domínio compreende a transição entre o aquífero granular isalterítico e o “aquífero” fissural Rocha Fresca.

Em termos de características hidrodinâmicas, é possível correlacionar este horizonte aos xistos sericíticos do domínio das rochas encaixantes (vide adiante), situados em porções mais superficiais. Abaixo deste, predominam os xistos em rocha fresca.

### 5.1.4 Rocha fresca

Domínio formado por rochas maciças desprovidas de porosidade primária, com condições de circulação de água subterrânea condicionadas a descontinuidades abertas geradas por falhamento/fraturamento e, eventualmente, dissolução de rochas carbonatadas.

Nos inventários realizados pela MDGEO nas minas de fosfato da Mosaic Fertilizantes na Província Alcalina do Alto Paranaíba, não foram observadas surgências associadas a este domínio, até porque na maioria dos casos esse horizonte ainda não foi lavrado. Entretanto, algumas evidências de água associadas a fraturas abertas e possíveis estruturas de dissolução foram identificadas em análise de testemunhos de sondagem desses depósitos.



 <b>MDGEO</b>		<b>RELATÓRIO MDGEO Nº</b>
		R_1230_MDL_MOSAIC_TAPIRA_2021_V01
<b>ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021</b>		

Embora cada unidade/depósito tenha suas peculiaridades em cada complexo alcalino, existe uma tendência dessa classificação intempérica e, conseqüentemente, hidrogeológica aqui descrita ser unificada e adotada para todas as minas de fosfato da Mosaic no triângulo mineiro.

Nos dois furos de sondagem representativos observados em 2012, este horizonte se apresenta como uma rocha cinza escura, compacta, onde foram observadas ocorrências de falhas centimétricas e fraturas fechadas, muitas delas preenchidas por carbonatos.

### **5.1.5 Rochas Encaixantes**

Domínio formado predominantemente por sericita-xistos do Grupo Canastra, com baixo potencial de circulação de água subterrânea externa à chaminé alcalina. No presente trabalho, esta unidade foi utilizada também para a elaboração do modelo.

As nascentes e pontos de controle inventariados no entorno das barragens BL-01 e BR-01 (área externa à chaminé alcalina) estão todas associadas a este domínio, principalmente em seu manto de alteração (porção superficial).

Por se tratar de rochas encaixantes da mineralização e, conseqüentemente, de rochas estéreis, não existe mapeamento e tampouco modelo geológico deste domínio. A evidência da presença dos xistos foi comprovada durante o inventário realizado no trabalho apresentado em 2015 (R\_VALEFERT\_CMT\_615\_MN\_BL01).

## 5.2 PARÂMETROS HIDRÁULICOS

A seguir é apresentada uma síntese dos resultados obtidos em trabalhos anteriores realizados no CMT (entre 2001 e 2016, em ordem cronológica) visando a obtenção de parâmetros hidráulicos dos aquíferos existentes no depósito mineral. Esses parâmetros hidráulicos foram calibrados nos modelos anteriores realizados pela MDGEO (2008, 2012, 2014 e 2016), e serviram de base para a montagem do atual modelo conceitual e numérico.

### 5.2.1 Ensaio de permeabilidade – Água Consultores 2001

No intuito de obter parâmetros hidrodinâmicos iniciais da área, foram realizados pela Água Consultores, em outubro de 2001, ensaios de permeabilidade (infiltração a carga variável) nas coberturas argilosas, turfáceas e depósitos aluviais de fundos de vales e de áreas aplainadas da região. Nesses ensaios, os valores médios de condutividade hidráulica obtida foram da ordem de 0,05 m/dia ( $10^{-5}$  cm/s) em fundos de vales e de 0,20 m/dia ( $10^{-4}$  cm/s) em cotas altas (acima de 1300 m). Esses valores tendem a refletir apenas a permeabilidade média das coberturas em diversos pontos da área (ÁGUA CONSULTORES – RT01, 2001).

### 5.2.2 Ensaio de bombeamento expeditos nos poços de observação – MDGEO 2005

Segundo os dados apresentados no relatório da MDGEO em 2005, os ensaios de bombeamento e interferência expeditos, realizados nos poços de observação da região da Bigorna apresentaram valores de capacidade específica entre 0,7 e 2,4  $m^3/h/m$  para os poços PZ-05 e PZ-01, respectivamente. A transmissividade obtida nesses ensaios apresentou valores entre 60 e 70  $m^2/dia$ .

No ensaio de interferência do PZ-01 com o PZ-02 o armazenamento obtido foi da ordem de  $10^{-3}$ , equivalente a um aquífero semiconfinado. Por outro lado, nesse ensaio o PZ-05 apresentou valores de transmissividade menor, em torno de 9  $m^2/dia$  (MDGEO, 2005).

Os dados dos ensaios dos PZ-01 e PZ-05 (PZ's parcialmente penetrantes revestidos em 4") evidenciam que a zona de maior condutividade hidráulica na região da Bigorna está associada aos aquíferos porosos superiores (manto de

intemperismo), relacionada a um sistema aquífero semiconfinado e do tipo multicamadas, com forte anisotropia vertical. O meio fraturado comporta-se como um sistema aquífero confinado, com zonas aquíferas localizadas, associadas às descontinuidades das falhas e fraturas da rocha sã e zonas aquíferas contínuas associadas ao horizonte de fosfato semi-compacto.

### **5.2.3 Ensaios de bombeamento do poço tubular PB01-06 – MDGEO 2006**

Nesse sentido, em janeiro de 2006, com o término da construção do poço tubular pioneiro PB01 (atual PR-01) pela empresa Corner, foram realizados dois ensaios de bombeamento, sendo um ensaio de aquífero e outro de produção.

O ensaio de aquífero (rebaixamento e recuperação do nível d'água) é realizado normalmente para a determinação das características hidrodinâmicas, tais como transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica do(s) aquífero(s). O ensaio de produção visa avaliar a eficiência e a capacidade de produção do poço, e, por isso, não será aqui abordado.

O ensaio de aquífero em questão foi realizado com a vazão máxima do equipamento de bombeamento (em média de 115 m<sup>3</sup>/h), teve a duração de 24 horas e atingiu um rebaixamento de 89 metros de profundidade. Ao término do ensaio foi realizado um ensaio de recuperação também com 24 horas de duração, com recuperação quase total do nível d'água. No decorrer do ensaio de aquífero foram observados os níveis do piezômetro PZTI01 (ponto 69) situado a cerca de 30 metros do poço.

A partir dos dados gerados, a interpretação do ensaio de bombeamento do poço tubular PB01, realizado pela MDGEO em 2006, revelou as seguintes características para o aquífero como um todo:

- Existe uma forte anisotropia vertical do aquífero, evidenciada pelos resultados de transmissividade do aquífero calculada no poço bombeado (27 m<sup>2</sup>/dia) e no piezômetro de observação PZTI 01 (246 m<sup>2</sup>/dia);
- A condutividade hidráulica horizontal é da ordem de 1 a 2 m/d;
- A condutividade hidráulica vertical é da ordem de 0,01 a 0,03 m/d;

- O Armazenamento obtido varia da ordem de  $10^{-2}$  a  $10^{-6}$  (análises da recuperação no poço de observação – ajustes do ascenso real com as curvas de *Neuman*)

- O meio apresenta comportamento de aquífero livre, com drenagem diferida.

Como esse poço tubular atravessou todas as unidades hidrogeológicas até o fosfato compacto, de modo geral, os dados obtidos nesse ensaio correspondem à média geométrica dos valores de condutividade hidráulica do meio aquífero como um todo, não individualizando essas unidades.

Maiores informações sobre os resultados obtidos nos ensaios de aquífero e produção do poço tubular PB01 são apresentados no relatório “Dimensionamento das Condições de Exploração do Poço Tubular Profundo da Área da Bigorna” (MDGEO, 2006).

#### 5.2.4 Resultados de calibrações do primeiro modelo numérico – MDGEO 2008

Os valores dos parâmetros hidráulicos condutividade hidráulica horizontal e vertical ( $K_h$  e  $K_v$ ), armazenamento para aquíferos confinados e livres ( $S_s$  e  $S_y$ ) e porosidade total (%) obtidos na calibração do primeiro modelo numérico elaborado (MDGEO, 2008) para as litologias adotadas a época (classificação litológica) são apresentadas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1. Valores de condutividade hidráulica (m/dia), armazenamento e porosidade obtidos na primeira calibração do modelo em 2008**

LITOLOGIA	$K_h$ ( $K_x$ e $K_v$ ) (m/dia)	$K_v$ ( $k_z$ ) (m/dia)	$S_s$ (1/m)	$S_y$ (-)	Porosidade total
Fosfato compacto	0,01	0,005	0,0005	0,005	0,05
Fosfato friável + semi-compacto (minério P2O5)	0,40	0,04	0,007	0,11	0,3
Titânio (minério - Ti)	0,75	0,075	0,008	0,13	0,3
Coberturas argilosas (vermelha, amarela e turfa)	0,15	0,015	0,002	0,002	0,4
Caulim (ocorrência restrita)	0,15	0,015	0,002	0,002	0,4



### 5.2.5 Resultados de calibrações dos modelos numéricos anteriores – MDGEO 2012 e 2014

Os valores dos parâmetros hidráulicos de condutividade hidráulica horizontal e vertical ( $K_h$  e  $K_v$ ); de armazenamento para aquíferos confinados e livres ( $S_s$  e  $S_y$ ), e de porosidade total (%) obtidos nas calibrações de modelos numéricos anteriores (MDGEO, 2012 e 2014) para os litotipos (classificação intempérica) são apresentados na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2. Valores de condutividade hidráulica (m/dia), armazenamento e porosidade obtidos nas calibrações anteriores (2012 a 2014)**

LITOTIPO	$K_h$ ( $K_x$ e $K_v$ ) (m/dia)	$K_v$ ( $k_z$ ) (m/dia)	$S_s$ (1/m)	$S_y$ (-)	Porosidade total
Rocha Fresca	0,008	0,008	0,00001	0,001	0,01
Rocha Alterada	0,3	0,2	0,0003	0,03	0,15
Isalterita	0,5	0,33	0,0011	0,11	0,35
Isalterita (bolsões magnetita)	1,5	0,75	0,0022	0,22	0,50
Aloterita	0,2	0,1	0,0004	0,04	0,25

A anisotropia adotada nestes modelos entre as direções horizontais ( $K_x$  e  $K_y$ ) e vertical ( $k_z$ ) foram da ordem de 1,5 a 2 vezes maior no eixo horizontal.

Referente ao domínio das rochas encaixantes, não se tem conhecimento de ensaios hidrodinâmicos nos xistos do Grupo Canastra, por não se tratar de depósito mineral. Entretanto, conforme mencionado no item anterior, em termos dessas propriedades ( $K$  e  $S$ ), é possível correlacionar a porção superficial desse domínio ao horizonte "Rocha alterada" e a porção inferior ao horizonte "Rocha Fresca", salvo suas particularidades.

### 5.2.6 Resultados de calibrações dos modelos numéricos anteriores – MDGEO 2016

Os valores dos parâmetros hidráulicos condutividade hidráulica horizontal e vertical ( $K_h$  e  $K_v$ ) e armazenamento para aquíferos confinados e livres ( $S_s$  e  $S_y$ ) obtidos na calibração do modelo numérico anterior (MDGEO, 2016) para os litotipos (classificação intempérica) estão apresentados na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3. Valores de condutividade hidráulica (m/dia) e armazenamentos obtidos na calibração anterior (2016)**

LITOTIPO	$K_h$ ( $K_x$ e $K_v$ ) (m/dia)	$K_v$ ( $k_z$ ) (m/dia)	$S_s$ (1/m)	$S_y$ (-)
Rocha fresca	0.008	0.008	0.00001	0.001
Rocha alterada	0.05	0.025	0.0002	0.02
Isalterita (indivisa)	0.3	0.1	0.0008	0.08
Aloterita	0.1	0.05	0.0003	0.03
Isalterita (titânio-magnetita)	1.8	0.9	0.003	0.3
Isalterita - Silexito	0.5	0.33	0.00001	0.001
Isalterita - Fenito	0.15	0.1	0.0008	0.08
Isalterita - Foscorito	1.4	1	0.0012	0.12
Isalterita - Carbonatito	1.2	0.80	0.0011	0.11

### 5.3 MAPA POTENCIOMÉTRICO E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para elaboração do mapa potenciométrico e definição do comportamento do fluxo de água subterrânea na área em estudo, utilizou-se a base topográfica do Complexo Minerário de Tapira, valores de nível d'água de piezômetros e indicadores de nível d'água existentes na área e ativos em julho de 2020, e ainda as informações obtidas pelos inventários de pontos d'água realizados na região.

Em relação ao mapa apresentado no trabalho anterior (2016), pode se observar a atualização das linhas equipotenciais nas frentes de lavra da lavra, principalmente, o avanço do rebaixamento do nível d'água na área da Bigorna/F2, em função do avanço da lavra, da operação dos poços e da inserção de novos dados de nível d'água devido a instalação de novos instrumentos.

O mapa potenciométrico para a área está ilustrado na Figura 5.3, com equipotenciais de 30 em 30 metros e setas indicando a direção do fluxo subterrâneo, além dos valores de níveis d'água monitorados nos INA's e PZ's em julho de 2020, data base para elaboração desse mapa. O mesmo também é apresentado na sequência com zoom na região do entorno da cava.

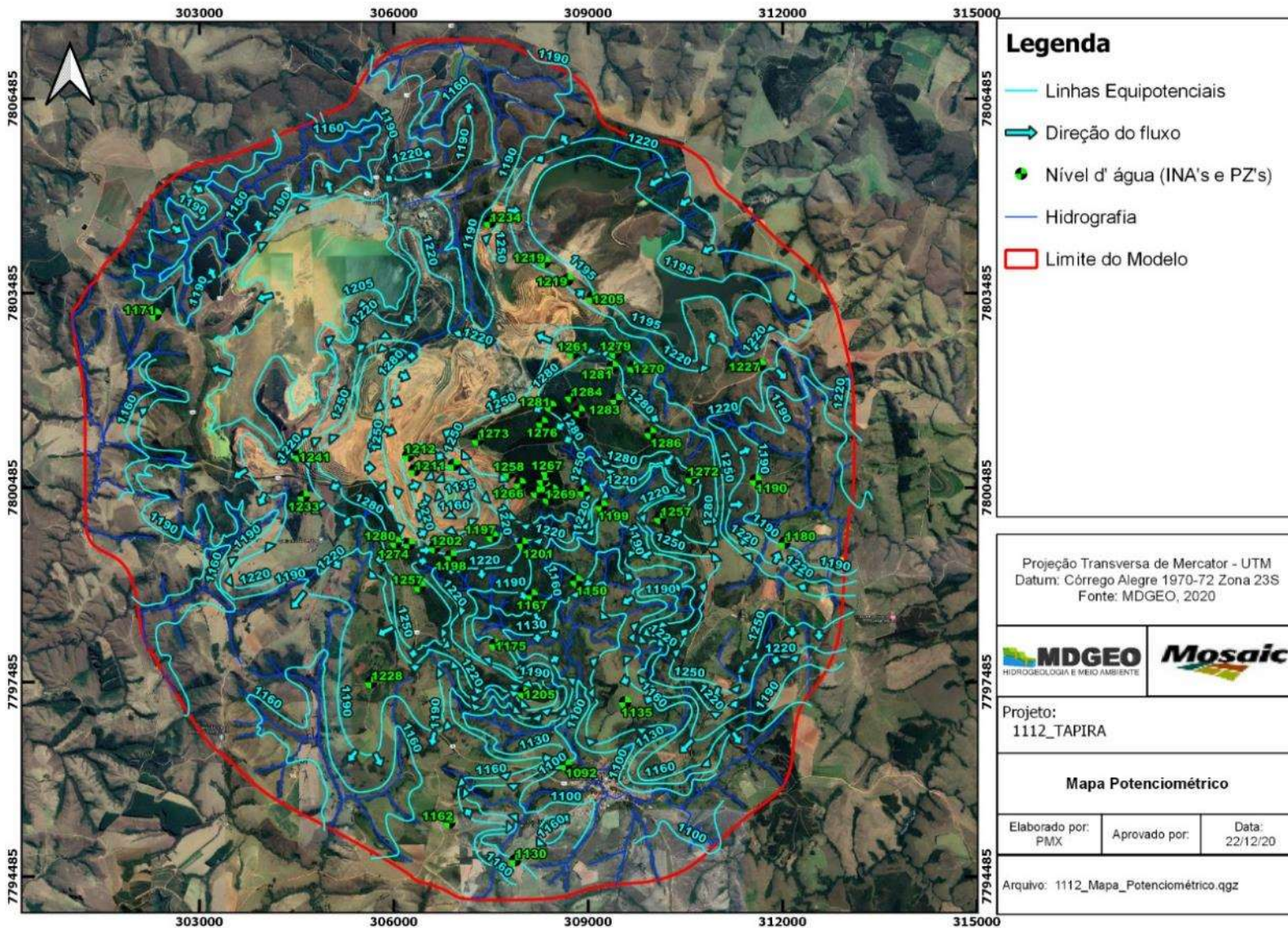


Figura 5.2: Equipotenciais do nível de água e direção de fluxo de água subterrânea na região definida para o modelo



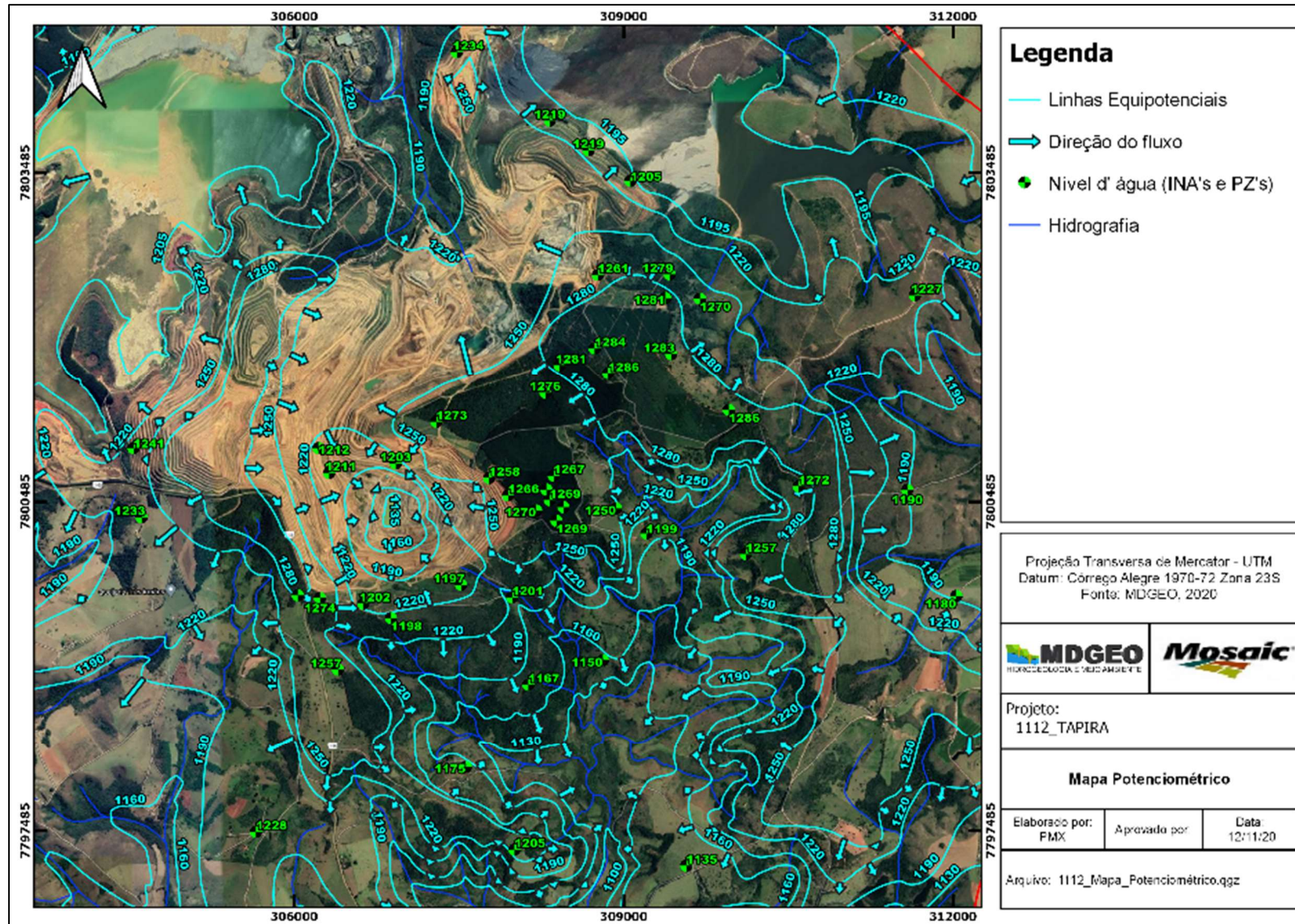


Figura 5.3: Equipotenciais do nível de água e direção de fluxo de água subterrânea no entorno da mina.

Percebe-se um padrão regional no fluxo de água subterrânea com sentido principal do fluxo para o Sul, em direção ao exutório da Bacia do Córrego da Mata (saída da chaminé alcalina). Localmente, ocorrem inversões de fluxo na porção norte (com fluxo natural no sentido Nordeste em direção à barragem de rejeito BR-01 e no setor norte da cava, onde o fluxo natural em direção ao Córrego da Mata foi invertido no sentido do Córrego Paiolzinho, devido às operações da lavra.

Na região da Frente 2/Bigorna, a cota do nível d'água atual está entre 1220 e 1135 metros (bottom pit da cava), influenciado pelo processo de rebaixamento do nível d'água (operações de lavra e bombeamento dos poços). Na região nordeste da cava, frentes 4, 5, 6, o nível d'água está predominantemente entre as cotas 1280 e 1220 metros, também influenciado pelo rebaixamento do nível d'água decorrente do próprio avanço da lavra (sem bombeamento).

Na região das barragens, o nível d'água subterrâneo e, conseqüentemente, seu fluxo é influenciado pela formação dos lagos ao longo dos canais de drenagem em que estas encontram-se encaixadas. O nível d'água da barragem de lama BL-01 está próximo a cota 1215 metros. Em seu entorno o nível varia entre as cotas 1280 e 1160 metros e as nascentes do leito original do córrego estão em sua grande maioria na região alagada. O fluxo d'água subterrâneo se dá no sentido noroeste em direção ao Córrego do Retiro.

O nível d'água da barragem de rejeito BR-01 está próximo a cota 1195 metros. No entorno dessa as nascentes inventariadas estão dentro da mesma sub-bacia do lago, com o fluxo de água subterrânea convergindo para este lago.

As informações de nível d'água externas ao domo incorporadas nessa atualização da superfície equipotencial refina o conhecimento do comportamento do nível d'água e do fluxo subterrâneo nas extremidades do modelo, além do limite da chaminé alcalina.

## 6 MODELO HIDROGEOLÓGICO NUMÉRICO

### 6.1 METODOLOGIA E ETAPAS

O modelo numérico do CMT foi desenvolvido utilizando o software "Visual MODFLOW" na versão 2011, que roda o algoritmo MODFLOW.

Já foram desenvolvidos projetos nos anos de 2014, 2016, 2018 e 2020 com o intuito de recalibrar o modelo numérico a partir da atualização dos dados de monitoramento e maior detalhamento da geologia (quando aplicável) seguida de nova calibração em regime de fluxo transiente. Dessa forma, a metodologia utilizada consistiu na integração das seguintes atividades:

- **Atualização do modelo numérico;**
- **Calibração em regime permanente.** A área modelada foi ampliada a fim de abranger as rochas encaixantes ao domo mineralizado.
- **Calibração em regime de escoamento transiente.** Período: maio de 2007 a agosto 2021.
- **Simulação do avanço de lavra** em regime de escoamento transiente, de acordo com o planejamento da MOSAIC, até o ano de 2053.
- **Avaliação de alterações na disponibilidade hídrica** nos córregos do entorno da mina, decorrente do avanço das lavras planejadas.

As etapas de montagem e calibração do modelo visam representar numericamente o modelo hidrogeológico conceitual caracterizado no capítulo anterior envolvendo a definição dos limites físicos do modelo, a definição e alocação das condições de contorno, a distribuição da geologia e respectivas propriedades hidrodinâmicas e a representação de poços tubulares e demais estruturas de drenagem da cava e monitoramento hidrogeológico.

O modelo numérico foi montado seguindo os limites pré-definidos no modelo conceitual, abrangendo a área interna à chaminé alcalina do CMT e também a região de ampliação do modelo além desses limites (rocha encaixante do complexo alcalino). Para a sua montagem e calibração, faz-se necessário utilizar as condições de contorno naturais existentes e os instrumentos de monitoramento, existentes no interior do domo.

Outra questão a se considerar é que, para representar o fluxo de água subterrânea em rocha maciça, a utilização do programa Modflow para simulação de fluxo em meios descontínuos (fraturados) deve ser encarada com muita cautela, levando em conta que se trata de uma aproximação à realidade. Em meios descontínuos (no caso a rocha maciça no domínio das encaixantes e do interior da chaminé), a água não está armazenada entre seus poros, muito menos em toda sua extensão, mas em descontinuidades locais (quando existentes). O que o modelador e o algoritmo fazem é uma representação aproximada do fluxo de água nesse meio através de um meio poroso contínuo. No entanto, quanto maior for o volume e a confiabilidade das informações disponíveis, sobretudo, monitoramento e geologia, melhores serão os resultados dessa aproximação.



## 6.2 DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

Nesse capítulo, serão apresentados os dados utilizados na montagem do modelo numérico, bem como os recursos utilizados pelo Visual MODFLOW para simular as condições naturais do meio subterrâneo na área modelada.

### 6.2.1 Bases cartográficas

O modelo compreende uma área além dos limites da cava da mina, envolvendo toda a área da Chaminé Alcalina de Tapira (domo) e os xistos encaixantes.

Os arquivos gráficos utilizados na montagem do modelo correspondem aos seguintes arquivos AutoCAD (.dwg) e ArcGis (.shp) disponibilizados pela MOSAIC:

- Base topográfica atualizada das estruturas da mina: cava; hidrografia e topografia (“*Base\_Topog\_Mina\_230920.dwg*”);
- Seções horizontais do modelo litológico e intempérico, dentro e fora do domo, em intervalos de 20 em 20 metros. Os perfis dos modelos geológico e intempérico foram divididos para melhor compreensão. O modelo litológico foi utilizado principalmente para a discretização das isalteritas. (20 seções “*L01\_IN1300 a L20\_IN920.dwg*” para os perfis intempéricos e 20 seções “*L01\_LIT1300 a L20\_LIT\_920*” referentes aos perfis litológicos).
- Novo limite do domo considerado neste modelo (“*1112\_lim\_domo\_v01.dxf* e “*1112\_lim\_mod\_2020\_v01.dxf*”), além dos limites da mina (“*tapira\_cmt\_contorno\_da\_mina\_v00*”).
- *Mapa de localização das novas litologias discretizadas com equidistância de 20m, das seções de cotas de 930 a 1310 em shapes “shp” (2014);*
- Seções horizontais atualizadas com a localização dos bolsões de titânio-magnetita região da bigorna-F2 entre as cotas 1140 e 1280 - 2015 (“*mgnt\_1140 a 1280.dwg*”) (2015).

### 6.2.2 Limites do modelo e malha (*grid*)

A área de estudo modelada possui aproximadamente 162 km<sup>2</sup>, abrangendo toda a Chaminé Alcalina de Tapira (Domo) e a bacia do Córrego da Mata, além de outras sub-bacias no entorno da chaminé.

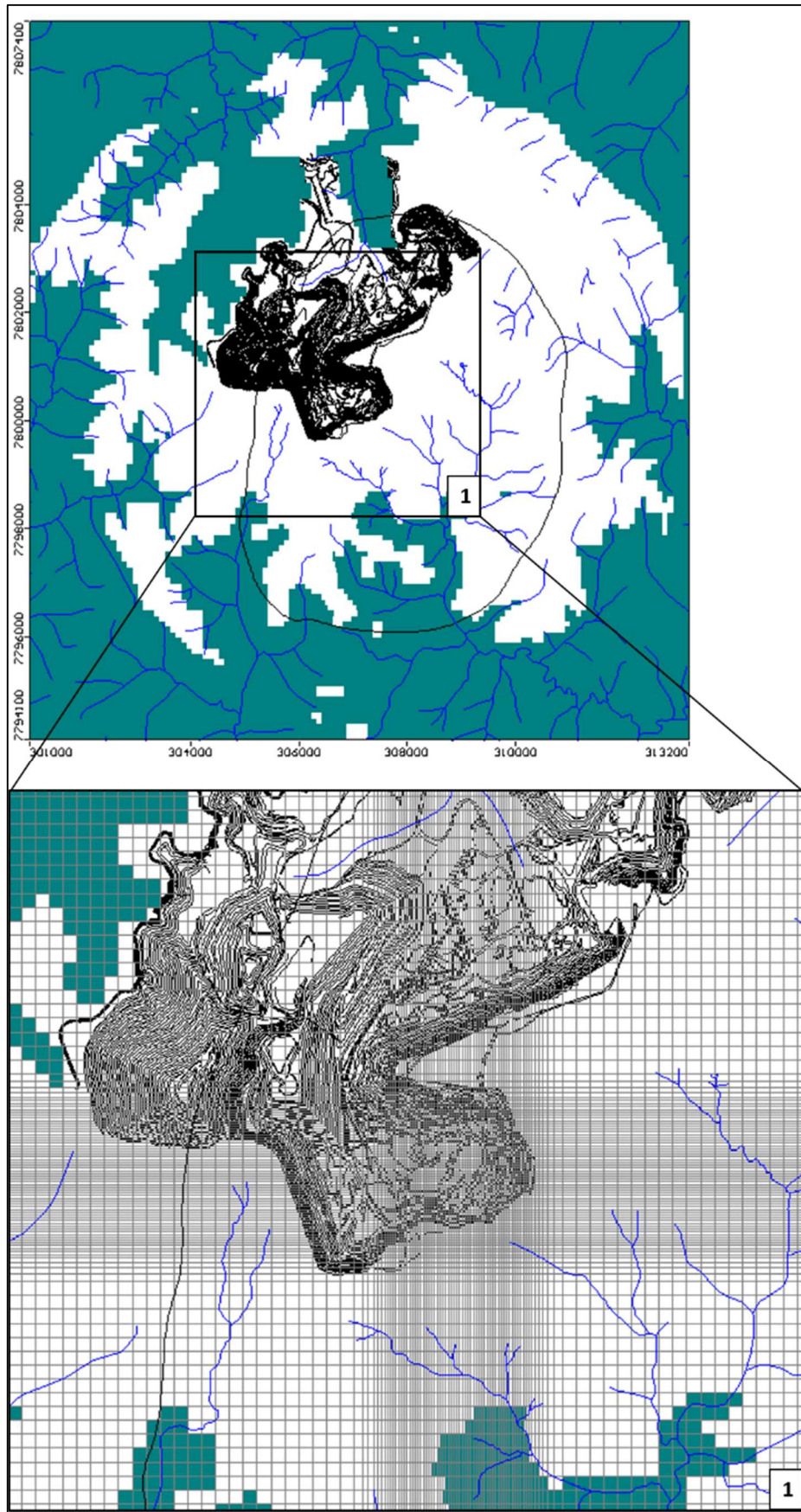
O modelo proposto abrange uma área retangular de 13.300 metros de extensão por 12.200 metros de largura e 400 metros de profundidade, construído sobre a base cartográfica UTM disponibilizada.

Inicialmente, os eixos X e Y foram divididos regularmente em linhas e colunas espaçados a cada 100 metros. Visando um detalhamento na região da Bigorna, o grid foi refinado para células de 20 x 20 metros nessa região, que corresponde à região alvo do planejamento de lavra.

O eixo vertical (Z) foi dividido em 20 layers de 20 metros de espessura, da cota 1330 a 930 metros, totalizando 400 metros de profundidade. As cotas verticais limítrofes foram estabelecidas de forma a conter o nível d'água mais elevado e o mais rebaixado em uma situação final de cava.

A configuração final do grid do modelo compreende uma malha mais aberta nas extremidades e mais fechada (detalhada) nas regiões de interesse, com 183 linhas, 172 colunas e 20 camadas

A Figura 6.1 ilustra a vista em planta da área modelada no Visual MODFLOW (layer 6), exibindo o refinamento do grid na região da Bigorna e da cava leste. As células ativas estão representadas pela cor branca e as inativas em verde.



**Figura 6.1: Vista em planta da área modelada no Visual MODFLOW, exibindo o refinamento do grid na região da Bigorna.**

A Tabela 6.1 representa os limites das layers do modelo, espaçadas de 20 em 20 metros, com as cotas de topo e base e espessura, em metros.

**Tabela 6.1: Layers do modelo, com cotas de topo e base e espessura, em metros**

Camada	Espessura (m)	Cota Topo	Cota Base
1	20	1330	1310
2	20	1310	1290
3	20	1290	1270
4	20	1270	1250
5	20	1250	1230
6	20	1230	1210
7	20	1210	1190
8	20	1190	1170
9	20	1170	1150
10	20	1150	1130
11	20	1130	1110
12	20	1110	1090
13	20	1090	1070
14	20	1070	1050
15	20	1050	1030
16	20	1030	1010
17	20	1010	990
18	20	990	970
19	20	970	950
20	20	950	930

### 6.2.3 Períodos de tempo (*Time stress*)

O modelo numérico utilizado permite representar o fluxo d'água subterrânea de duas maneiras, em regime de escoamento permanente (*Steady State*) e transiente (*Transient State*).

O regime permanente consiste na representação do fluxo d'água onde predomina uma condição estática de equilíbrio. Nesta condição não existe variações das propriedades hidrodinâmicas e condições de contorno em relação ao tempo, e por isso, o tempo não tem relevância. No regime transiente (ou transitório) simula-se o aquífero em seu estado de não equilíbrio, considerando as variações das propriedades hidrodinâmicas, condições de contorno e estruturas de descarga ou recarga do aquífero em relação ao tempo.



Para executar um modelo em regime permanente em uma área onde existem atividades antrópicas capazes de alterar o comportamento natural das águas superficiais e subterrâneas, é necessário que existam dados de monitoramento do nível d'água subterrânea e dados topográficos anteriores à instalação do empreendimento e principalmente anteriores ao processo de rebaixamento do nível d'água.

No caso do CMT a calibração foi realizada tanto no regime permanente quanto no transiente. A calibração em regime permanente foi realizada com os dados de monitoramento do mês de maio de 2007 (mantida no presente trabalho), antes da operação contínua do poço tubular pioneiro. A calibração em regime transiente foi atualizada, compreendendo o período de 14 anos, de 01 de junho de 2007 a 31 de agosto de 2021.

Como a unidade de tempo padrão do modelo é expressa em dias, a calibração em regime transiente ocorreu em um período de 5206 dias, subdivididos em 57 períodos (*stress periods*) equivalentes ao agrupamento em trimestres dos 171 meses em questão, como mostra a Tabela 6.2.

**Tabela 6.2: Períodos de tempo utilizados na calibração em regime transiente.**

PERÍODO DE STRESS	DATA		DIA DO MODELO		
	INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	Dia por Período
1	01/06/2007	30/09/2007	0	122	122
2	30/09/2007	31/12/2007	122	214	92
3	31/12/2007	31/03/2008	214	305	91
4	31/03/2008	30/06/2008	305	396	91
5	30/06/2008	30/09/2008	396	488	92
6	30/09/2008	31/12/2008	488	580	92
7	31/12/2008	31/03/2009	580	670	90
8	31/03/2009	30/06/2009	670	761	91
9	30/06/2009	30/09/2009	761	853	92
10	30/09/2009	31/12/2009	853	945	92
11	31/12/2009	31/03/2010	945	1035	90
12	31/03/2010	30/06/2010	1035	1126	91
13	30/06/2010	30/09/2010	1126	1218	92
14	30/09/2010	31/12/2010	1218	1310	92
15	31/12/2010	31/03/2011	1310	1400	90
16	31/03/2011	30/06/2011	1400	1491	91
17	30/06/2011	30/09/2011	1491	1583	92
18	30/09/2011	31/12/2011	1583	1675	92
19	31/12/2011	31/03/2012	1675	1766	91
20	31/03/2012	30/06/2012	1766	1857	91

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

PERÍODO DE STRESS	DATA		DIA DO MODELO		
	INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	Dia por Período
21	30/06/2012	30/09/2012	1857	1949	92
22	30/09/2012	31/12/2012	1949	2041	92
23	31/12/2012	31/03/2013	2041	2131	90
24	31/03/2013	30/06/2013	2131	2222	91
25	30/06/2013	30/09/2013	2222	2314	92
26	30/09/2013	31/12/2013	2314	2406	92
27	31/12/2013	31/03/2014	2406	2496	90
28	31/03/2014	30/06/2014	2496	2587	91
29	30/06/2014	30/09/2014	2587	2679	92
30	30/09/2014	31/12/2014	2679	2771	92
31	31/12/2014	31/03/2015	2771	2861	90
32	31/03/2015	30/06/2015	2861	2952	91
33	30/06/2015	30/09/2015	2952	3044	92
34	30/09/2015	31/12/2015	3044	3136	92
35	31/12/2015	31/03/2016	3136	3227	91
36	31/03/2016	30/06/2016	3227	3318	91
37	30/06/2016	30/09/2016	3318	3410	92
38	30/09/2016	31/12/2016	3410	3502	92
39	31/12/2016	31/03/2017	3502	3592	90
40	31/03/2017	30/06/2017	3592	3683	91
41	30/06/2017	30/09/2017	3683	3775	92
42	30/09/2017	31/12/2017	3775	3867	92
43	31/12/2017	31/03/2018	3867	3957	90
44	31/03/2018	30/06/2018	3957	258	91
45	30/06/2018	30/09/2018	4048	4140	92
46	30/09/2018	31/12/2018	4140	4232	92
47	31/12/2018	31/03/2019	4232	4322	90
48	31/03/2019	30/06/2019	4322	4413	91
49	30/06/2019	30/09/2019	4413	4505	92
50	30/09/2019	31/12/2019	4505	4597	92
51	31/12/2019	31/03/2020	4597	4688	91
52	31/03/2020	30/06/2020	4688	4779	91
53	30/06/2020	30/09/2020	4779	4871	92
54	30/09/2020	31/12/2020	4871	4963	92
55	31/12/2020	31/03/2021	4963	5053	90
56	31/03/2021	30/06/2021	5053	5144	91
57	30/06/2021	31/08/2021	5144	5206	62

#### 6.2.4 Condições de contorno (*boundaries*)

As condições de contorno (*boundaries*) são elementos numéricos inseridos no modelo que determinam as relações existentes entre as cargas hidráulicas e o fluxo de água subterrânea na área modelada. Estas relações podem ser de três tipos:

- Tipo 1: fluxo com carga hidráulica especificada;
- Tipo 2: fluxo especificado;
- Tipo 3: fluxo dependente da carga hidráulica.

São utilizadas para representar as entradas e saídas de água no modelo numérico, bem como seus limites físicos. Representam elementos físicos/hidrogeológicos existentes, tais como córregos, nascentes, poços, recarga, rochas impermeáveis, paredes impermeáveis, continuidade do aquífero, etc.

As condições de contorno utilizadas no modelo numérico foram:

- Fluxo nulo no entorno da área modelada e sobre a topografia original (ar), representado por células inativas (*inactive cells*);
- Recarga, representada pelo recurso recarga (*recharge*);
- Carga hidráulica especificada em superfícies d'água, em cotas baixas e invariáveis (pontualmente nas barragens BR e BL), representada pelo potencial especificado (*Constant head*);
- Cursos d'água representadas pelo recurso dreno (*drain*);
- Poços tubulares, representados pelo recurso poços (*wells*);

A seguir, as descrições e aplicações dessas condições de contorno.

### 6.2.4.1 Células inativas – fluxo nulo (Inactive Cells)

Células inativas são aquelas em que não ocorre fluxo d'água, ou seja, não entra nem sai água nestas células. Considerando a chaminé alcalina como a área de interesse do presente trabalho, nesse modelo foram inativadas as células situadas acima da superfície do terreno (ar), segundo a base topográfica adotada.

Por exemplo, na primeira camada do modelo (*layer 1*), que possui a base na cota 1300 metros, foram inativadas todas as células onde a superfície do relevo encontra-se abaixo dessa cota de base. Na prática, essas células corresponderiam ao ar, como mostrado na Figura 6.2.

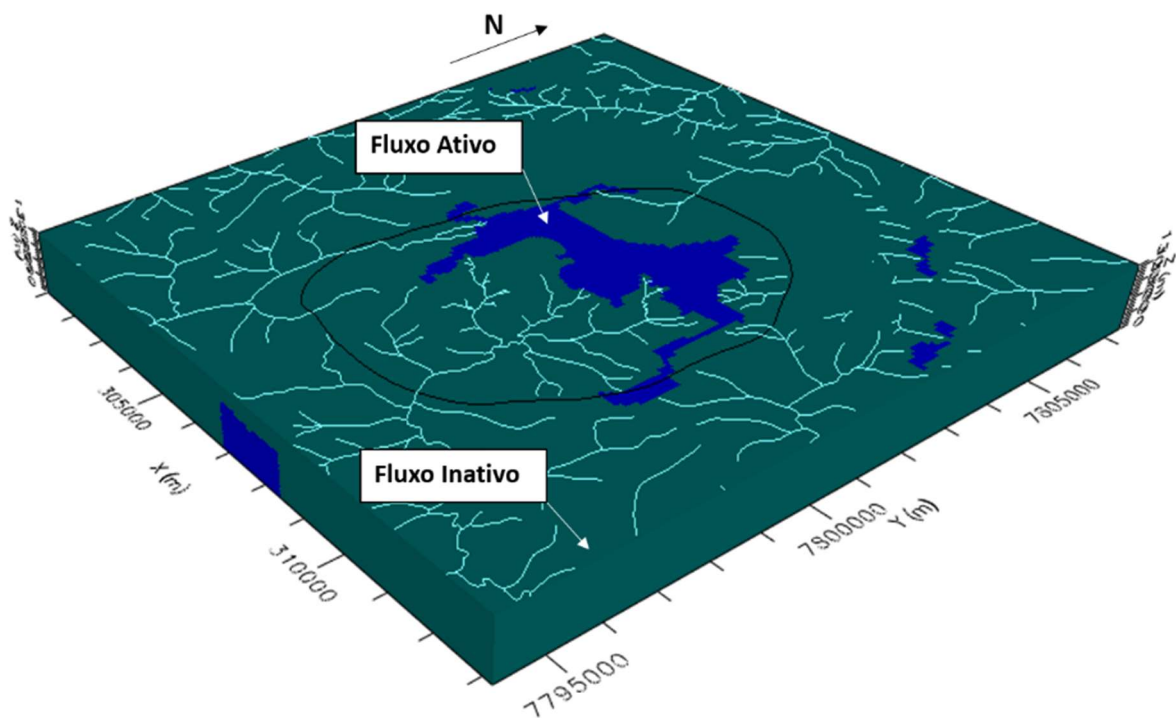


Figura 6.2. Distribuição de células inativas e ativas – vista tridimensional em perspectiva. O limite da chaminé alcalina está representado de preto (exagero vertical de 3x)



#### **6.2.4.2 Recarga (Recharge)**

Conforme exposto no **item 4.1**, a média plurianual da precipitação na região de Tapira referente aos últimos 33 anos é de 1631 mm/ano. Considerando a recarga como o percentual da precipitação que infiltra no terreno e alimenta os aquíferos, foi atribuído inicialmente uma taxa de 20% da precipitação (326 mm/ano), correspondente a um valor base adotado para recarga em terrenos cristalinos sob clima úmido (Bertachini, 1987). Nesse caso, os 80% restantes (1303 mm/ano) correspondem, principalmente, à evapotranspiração e ao escoamento superficial.

Durante as etapas de calibração, esse valor foi alterado diversas vezes até alcançar um valor que proporcione uma melhor reta de calibração do nível d'água regional. A recarga foi atribuída à célula ativa mais alta de cada coluna do modelo, de maneira que toda superfície do terreno receba recarga.

#### **6.2.4.3 Potenciais especificados (Constant Heads)**

Potenciais especificados são condições de contorno do tipo 1 (carga hidráulica conhecida) atribuídas a locais onde o nível d'água apresenta-se relativamente constante, independente de fatores naturais ou antrópicos.

Na montagem do modelo, essa condição de contorno foi aplicada nas células ativas das Barragens BL (cota 1215 m) e BR (cota 1195 m), à noroeste e nordeste do modelo, respectivamente.

A Figura 6.3 representa a localização dos respectivos potenciais especificados nas barragens BL e BR.

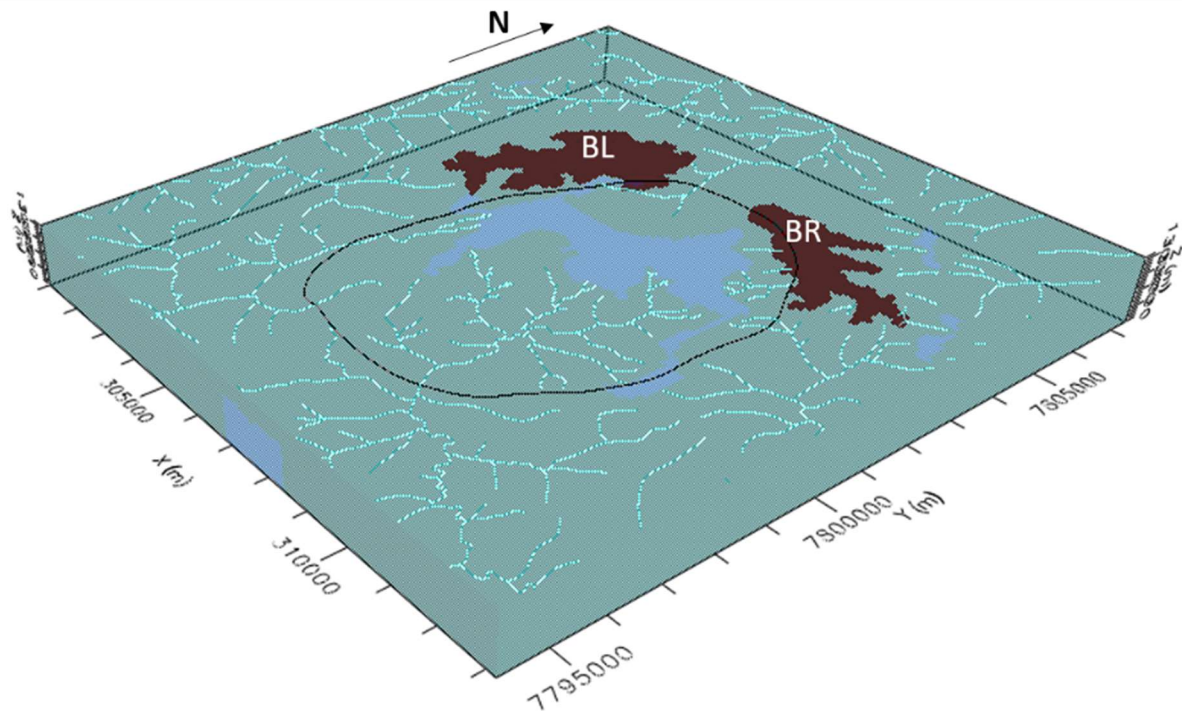


Figura 6.3. Potenciais Especificados nas barragens BL e BR

#### 6.2.4.4 Drenos (Drain)

Os drenos são condições de contorno do tipo 3 (vazão em relação à carga hidráulica) e foram aplicados aos córregos e estruturas de drenagem na cava. Esta propriedade foi atribuída às células ao longo do traçado de todos os córregos no interior do limite modelado.

A quantidade de água que escoar pela face de cada célula do dreno é determinada pela condutância dos drenos, expressa em  $m^2/dia$ . Esse parâmetro é passível de calibração nas etapas do modelo, visando alcançar a melhor aproximação entre as vazões produzidas nos drenos e as vazões monitoradas nos respectivos instrumentos (vertedouros, calhas e estação fluviométrica). Destaca-se que foram atribuídas condutâncias iniciais da ordem de  $10 m^2/dia$ .

As cotas dos córregos, tanto das nascentes quanto das confluências, foram atribuídas ao modelo com base nos inventários de pontos d'água realizados na área e pela rede hidrográfica disponibilizada pela MOSAIC.

Os drenos aplicados no trabalho anterior, sob a cava da mina, simulando as canaletas de drenagem da cava, foram mantidos no presente modelo. As surgências nos taludes e sump's representadas por drenos também foram mantidas.

A Figura 6.4 apresenta uma visão tridimensional da superfície do modelo, destacando os drenos aplicados em azul escuro.

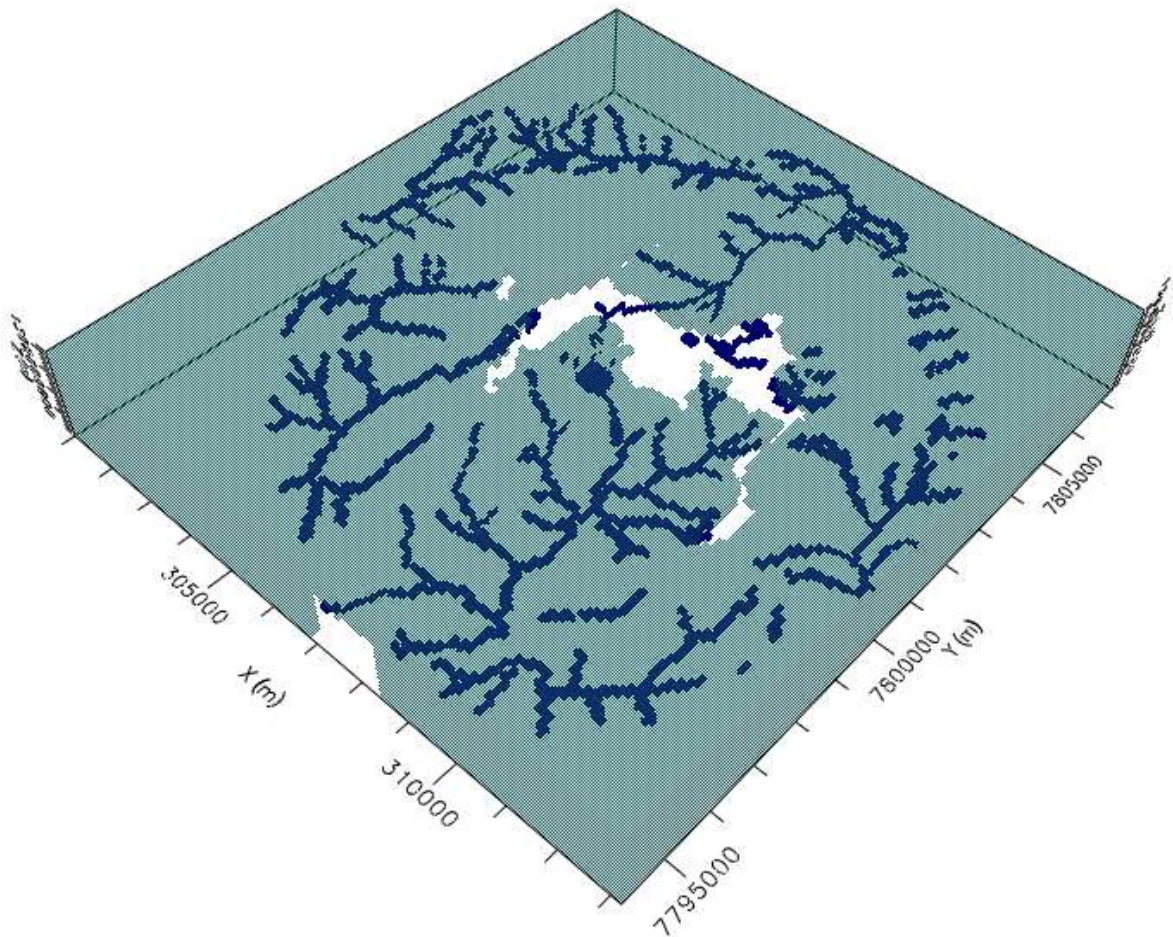


Figura 6.4: Drenos aplicados ao modelo (visão tridimensional da superfície do modelo com exagero vertical de 5x)

### 6.2.5 Unidades hidrogeológicas (*Properties*)

A descrição das unidades hidrogeológicas no modelo baseou-se essencialmente nas características lito-estruturais (físicas) de cada unidade mapeada. Como em hidrogeologia o que importa são as características hidrodinâmicas da rocha, as unidades foram divididas de acordo com o atual modelo intempérico do CMT, e não o modelo geológico (petrológico) das rochas do complexo.

A partir das seções horizontais recebidas, foram interpolados os contatos entre esses litotipos, sobre os quais foram discretizadas as unidades hidrogeológicas, condutividade hidráulica (K), armazenamento (Ss e Sy) e porosidades ( $P_{efetiva}$ ,  $P_{total}$ ).

A condutividade hidráulica é representada pela letra “K”, definida em m/dia para cada direção (Kx, Ky, Kz). O armazenamento é aplicado de forma distinta para condições de aquífero confinado (Specific Storage - Ss) e livre (Specific Yield - Sy) conforme a litologia, com maior valor para as litologias mais permeáveis.

A porosidade efetiva (Effective Porosity - Pef) e a porosidade total (Total Porosity - Pt) não interferem nos cálculos do MODFLOW, atuando somente no cálculo de transporte de cargas contaminantes (MT3D). Portanto, foram assumidos os valores de porosidade normalmente utilizados para litologias semelhantes, sem maiores preocupações.

O mapeamento detalhado na região da Bigorna subdividiu o domínio Isalterita em 7 litologias (Bebedourito, Foscorito, Carbonatito, Sienito, Silexito, Fenito, Flogopitito), discretizando esse domínio em porções mais ou menos porosas e permeáveis, de acordo com o tipo de rocha em que atuou o intemperismo.

As unidades hidrogeológicas internas ao domo já foram calibradas em modelos anteriores (MDGEO, 2016), com valores bem definidos para os parâmetros hidrodinâmicos. Nessa atualização foram realizadas alterações pontuais na espessura e no alcance de cada propriedade, com base nos dados intempéricos e litológicos mais recentes, além da adição das rochas (Xisto encaixante – Rocha sã e Cobertura acima dessa - Rocha alterada) externas ao Domo.

Para uma melhor discretização da região externa ao domo, realizou-se uma análise estatística da descrição geológica dos furos de instalação dos instrumentos de monitoramento de nível de água presentes nessa área. A cobertura média de solo adotada foi de 20 metros (uma camada), sendo o restante caracterizado como rocha sã. Ressalta-se que alguns locais foram pontualmente discretizados, por apresentar uma cobertura mais espessa.

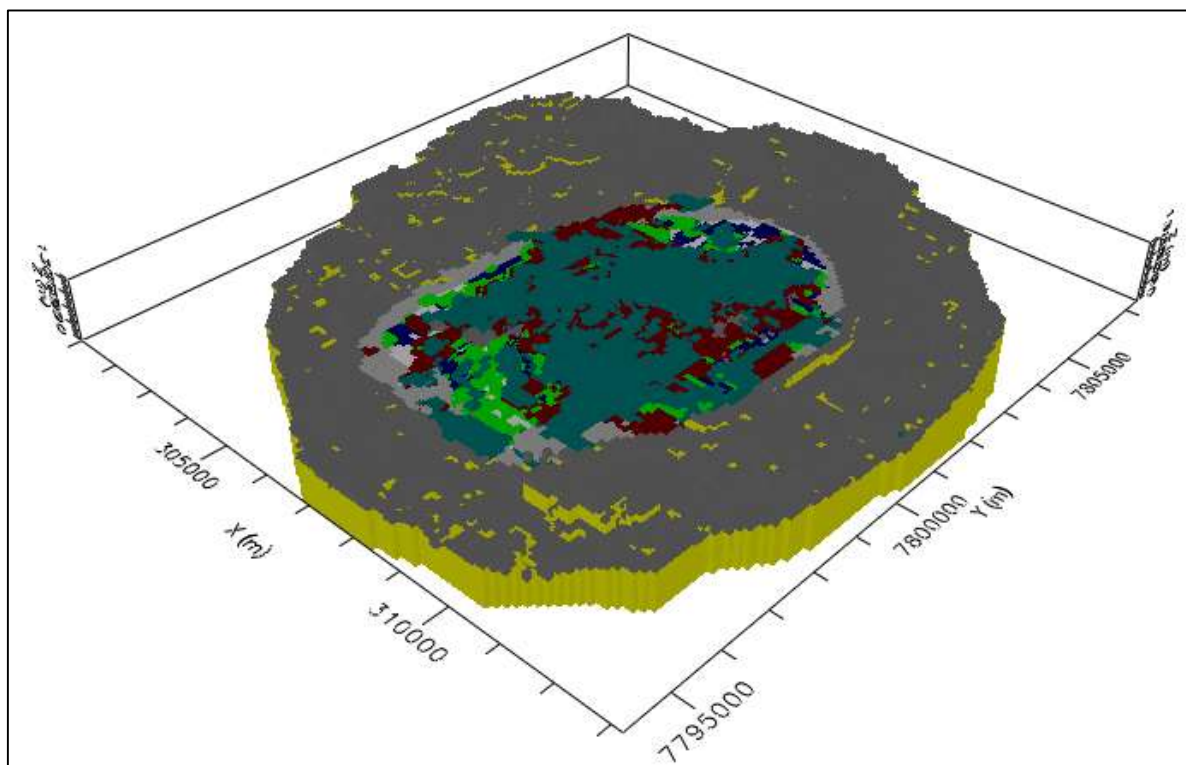
A Tabela 6.3 a seguir apresenta a distribuição das propriedades de acordo com as unidades hidrogeológicas discretizadas no modelo.



**Tabela 6.3. Propriedades hidráulicas discretizadas modelo numérico**

Propriedade	Cor	Unidades hidrogeológicas	Código modelo intempérico 2020	Código modelo litológico 2020
1		Rocha sã	RSA	RSA
2		Rocha semi-intemperizada	RSI	RSI
4		Aloterita - Cobertura	ALO	COB
5		Zona de Titânio	ISAT / ISAB	ZTI
8		Isalterita - Fenito	ISAT / ISAB	FEN
9		Isalterita - Bebedourito + Foscorito	ISAT / ISAB	BEB+FCR, BEB+FCRnorte, BEB+FCRoeste
10		Isalterita - Carbonatito	ISAT / ISAB	CBN_union
11		Isalterita - Bebedourito	ISAT / ISAB	BEB
13		Isalterita - Sienito	ISAT / ISAB	SIE, SIE_F_NE, SIE_F_NE_2, SIE_N, SIE_W
15		Xisto encaixante - rocha sã	ENC	ENC
16		Xisto encaixante - rocha alterada	ENC	ENC

As figuras a seguir representam a distribuição das propriedades do modelo numérico em visão tridimensional (Figura 6.5), em planta (Figura 6.6) e em perfil (Figura 6.7).


**Figura 6.5. Distribuição das propriedades hidrodinâmicas – vista tridimensional**

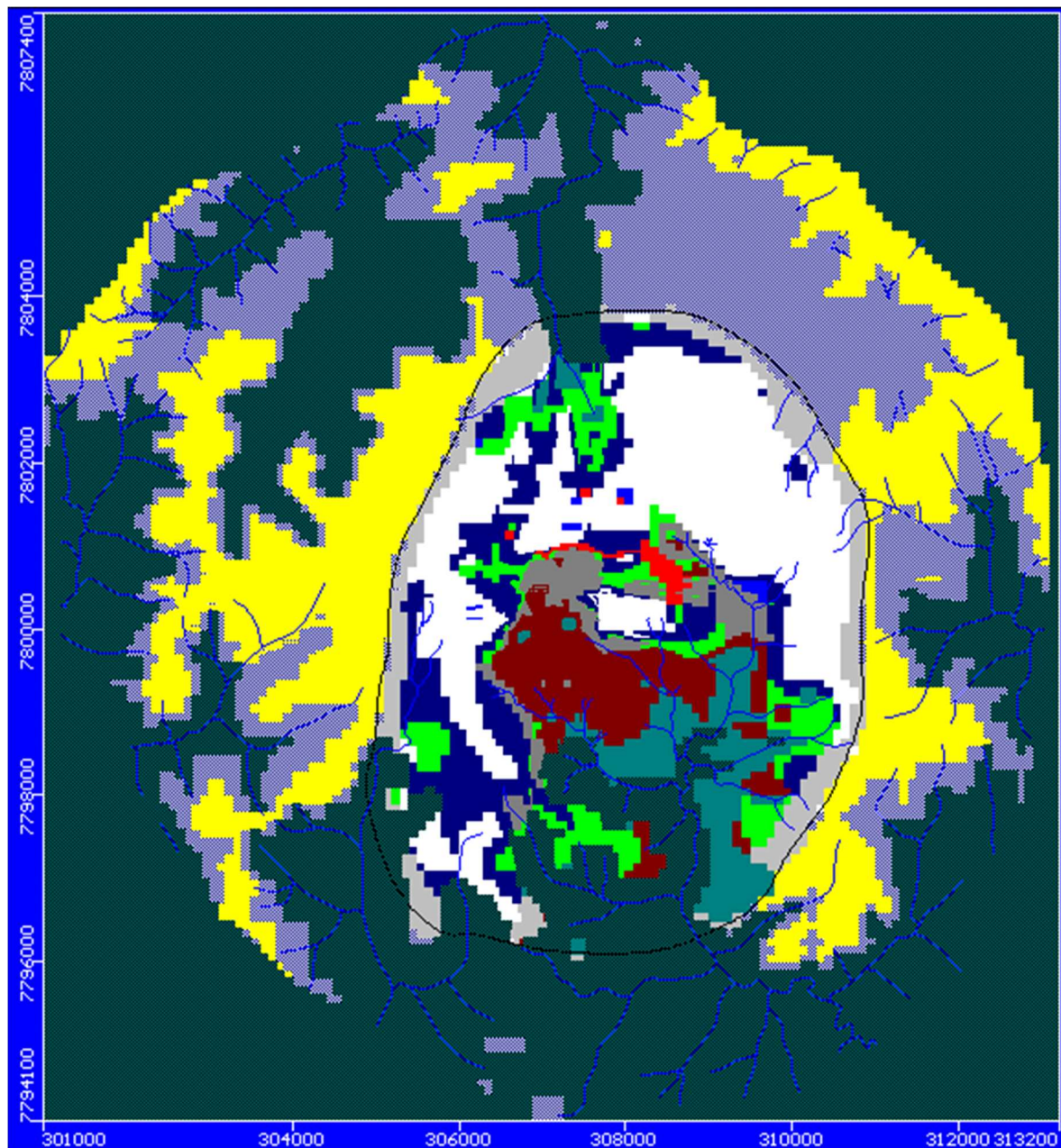


Figura 6.6. Distribuição das propriedades hidrodinâmicas na camada 6 – vista planta.

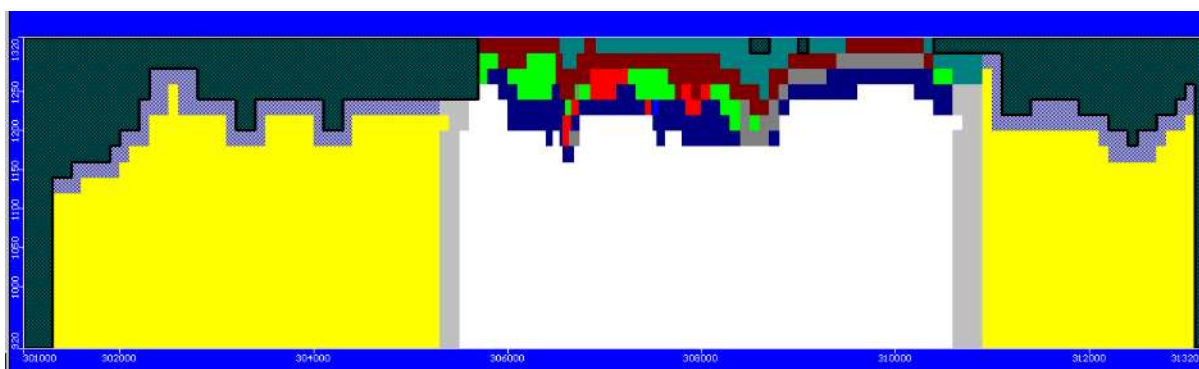


Figura 6.7. Distribuição das propriedades hidrodinâmicas na Linha 63 – vista em perfil (Exagero vertical de 8x).

### 6.2.6 Instrumentos de monitoramento do nível d'água (*Head Observation*)

Na montagem e nas etapas de calibração do modelo foram considerados os indicadores de nível d'água, piezômetros, nascentes e drenos verticais existentes na área (ativos ou inativos). O ANEXO 1 apresenta a identificação desses pontos, suas coordenadas, status em 2021 e em qual etapa de calibração do modelo eles foram utilizados.

Destaca-se que na etapa de montagem do modelo, as células filtrantes (entradas de água) desses instrumentos de monitoramento foram inseridas inicialmente em uma cota mediana ao intervalo das câmeras filtrantes, podendo ou não ser alterada nas etapas de calibração posteriores.

### 6.2.7 Zonas de balanço (*Zone Budget*)

As zonas de balanço efetuam o cálculo do balanço hídrico em células pré-determinadas, a partir do resultado das calibrações. Esse balanço corresponde ao volume d'água que entra e sai em uma célula unitária ou conjunto de células as quais foram atribuídas às zonas de balanço.

O programa que efetua o cálculo desse balanço não é o *Modflow*. Este programa (*Zone Budget*) é, juntamente com outros programas, parte integrante da interface gráfica do software *Visual Modflow*, executado ao final de cada calibração do modelo, visando calibrar as vazões do sistema.

As zonas de balanço foram atribuídas predominantemente às células ao longo dos córregos da área modelada, que receberam a propriedade de drenos e que possuem dados de monitoramento, por meio de vertedouros ou medição via equipamento de micromolinete. Além destas, também foram aplicadas zonas de balanço sobre os drenos que representam as descargas da cava.

A Tabela 6.4 a seguir apresenta as zonas de balanço aplicadas no modelo visando a calibração das vazões.



**Tabela 6.4. Zonas de balanço aplicadas ao modelo para calibração de vazões.**

Zona de balanço	Vazão monitorada	Localização	Layers
2	VT 01 – Cór. da Mata	Córrego da Mata - cabeceira	3 a 5
3	VT 03 – Cór. da Mata (confluência)	Córrego Cana do Reino	3 a 7
5	VT 04 – Cór. da Cachoeira	Córrego Cachoeira	5 a 11
6	VT 05 – Cór. Pilões	Córrego dos Pilões	4 a 9
7	VT 06 – Cór. Canjerana	Córrego Cajerana	6 a 11
9	Não monitorada	Córregos sudoeste domo	4 a 10
10	Calhas TC03 e F5-6	Drenos no fundo da cava	5 a 7
11	VT 19 – Cór. Canoas	Córrego Canoas	2 a 6
12	EF 01	Jusante bacia Córrego da Mata	3 a 12
13	drenos + poços F2	Mina maio 2015	Todas
14	Não monitorada	Bacia Córrego da Areia	3 a 11
15	VT 09, 12, 13, 14 soma	Córrego Paiolzinho	7 a 10
16	Descarga BL	Barragem BL-01	7
17	Descarga BL	Barragem BR	10
18	VT 20 – Cór. Bálamo	Córrego Bálamo - cabeceira	6 e 7
19	VT221- Afluente Cór. Capão Escuro	Córrego na região Oeste da área	4 e 5
20	VHM_CESCUROM	Córrego Capão Escuro (Montante)	3 a 8
21	Micromolinete (Capão Escuro)	Córrego Capão Escuro (Jusante)	3 a 9
22	Micromolinete (Bom Jardim 1)	Córrego Bom Jardim 1	4 a 9
23	Micromolinete (Bom Jardim 2)	Córrego Bonito	4 a 9
24	Micromolinete (Barcelos)	Córrego Barcelos	6 a 13
25	Micromolinete (Areias)	Córrego Areias	8 a 12
26	Micromolinete (Antas)	Córrego Antas	10 a 12
27	Micromolinete (Fruteiras)	Córrego Fruteiras	8 a 12



A zona de balanço 1 corresponde a toda área do modelo onde não foram aplicadas zonas (sem necessidade de comparação), não considerada nas análises. As zonas 4 e 8 não foram utilizadas em função da semelhança das cores com outras condições de contorno do modelo (células inativas e drenos). As zonas 9 e 14 foram aplicadas a córregos sem monitoramento, enquanto as zonas 15, 16 e 17 foram aplicadas às regiões de descarga das barragens (não avaliadas nesse modelo). Sendo assim, as zonas 1, 4, 8, 9, 14, 15, 16 e 17 apesar de discretizadas não foram analisadas nas calibrações.

As canaletas de drenagem da cava (antigo traçado do Córrego Paiolzinho na região da cava), monitorados pelas Calhas Parshall TC03 e F5-6, correspondentes à zona de balanço 10, foram calibradas, mas não avaliadas nesta versão do modelo, pela ausência de monitoramento na calha F 5-6 após outubro de 2011.

A zona de balanço 12 corresponde à vazão de um trecho da bacia do Córrego da Mata (monitorada pela estação fluviométrica EF01). Como o monitoramento da EF01 cessou em junho de 2011, sendo os valores a partir de 2009 anômalos, esta zona também não foi avaliada para o presente trabalho.

A zona de balanço 13 corresponde à região de avanço de lavra na frente F2 / Bigorna atualizada em julho de 2016, inserida para contabilizar a produção de água subterrânea neste avanço.

As zonas 18 (Córrego Balsamo), 19, 20 (Córrego Capão Escuro - Montante), 21 (Córrego Capão Escuro - Jusante), 22 (Córrego Bom Jardim 01) e 23 (Córrego Bom Jardim 02), são responsáveis por mensurar as vazões nos córregos que compõem a hidrografia da área externa ao Domo, adicionadas nessa atualização do modelo.

Por fim, as zonas 24 (Córregos Barcelos), 25 (Córrego Areias), 26 (Córrego Antas) e 27 (Córrego Fruteiras) monitoram os córregos ao sul da área de estudo, próximos ao município de Tapira.

A localização das zonas de balanço discretizadas para calibração de vazões aplicadas sobre os recursos hídricos da região é apresentada pela Figura 6.8.

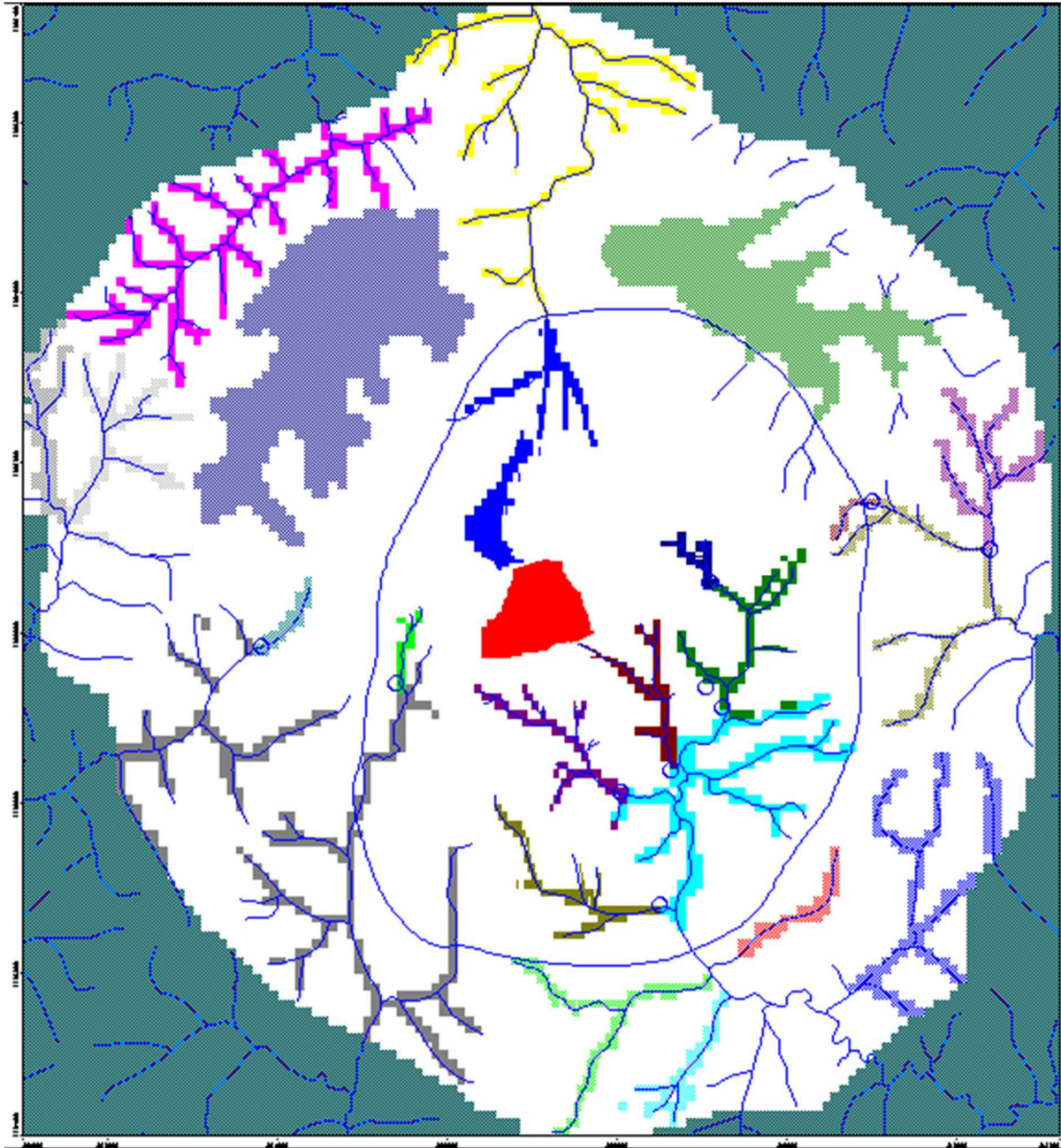


Figura 6.8: Zonas de balanço discretizadas no modelo numérico (projecção em planta única).

### 6.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

O processo de calibração deste modelo numérico seguiu as seguintes etapas:

- Atualização e Calibração do modelo em regime de escoamento permanente, com as condições de contorno originais da área, ou seja, anterior ao início do processo de rebaixamento do nível d'água. Data base: maio de 2007.
- Atualização e calibração do modelo em regime de escoamento transiente. Período: junho de 2007 a agosto de 2021.

#### 6.3.1 Calibração em regime de escoamento permanente

Na calibração em regime de escoamento permanente, a variável tempo não é considerada, refletindo uma condição estática de equilíbrio do aquífero em determinado momento, sem a influência de qualquer instrumento de rebaixamento do nível d'água.

Considerando o mês de junho de 2007 como início efetivo do bombeamento contínuo do poço piloto PR01 a sul da cava da mina, para a calibração em regime permanente foram utilizados como ponto de partida do modelo, os dados de monitoramento hidrogeológicos referentes ao mês de maio de 2007.

Esta calibração tem como objetivo gerar uma condição inicial da superfície do nível d'água (*initial head*) para etapas posteriores, bem como obter os primeiros ajustes nos valores dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, para então partir para uma calibração do modelo nas condições atuais, em regime transiente (temporal).

### 6.3.1.1 Recarga

Durante o processo de calibração em regime permanente, o percentual de recarga que proporcionou a melhor calibração do nível d'água na área interna ao Domo (terreno natural) foi de 25% da precipitação total, o que resulta em uma recarga aplicada de 407 mm/ano.

Considerando a área da cava como uma zona de alta recarga, devido principalmente a ausência de cobertura vegetal e a topografia favorável, foi necessário individualizar uma segunda zona de recarga no modelo sobre a área da cava da mina (propriedade 2). Nessa área, a taxa de recarga obtida na calibração foi de 37% da precipitação (602 mm/ano).

Outra zona de recarga foi aplicada a área externa ao Domo com valor de 13% da precipitação total. Por ser uma região com predominância de rochas encaixantes, a recarga natural é menor.

Na Tabela 6.5 abaixo são apresentados os valores de recarga aplicados a cada zona, em mm/ano.

**Tabela 6.5: Valores de recarga obtidos na etapa de calibração em permanente do modelo.**

Recarga Calibração - Permanente			
Zona	Área representada	Porcentagem	Recarga (mm/ano)
Z1	Terreno Natural - Recarga geral	25%	407
Z2	Cava da mina	37%	602
Z4	Recarga Área externa	13%	212

Destaca-se que na etapa de calibração em regime transiente o percentual de recarga será aplicado sobre o valor da precipitação trimestral, que se refere a um período de estresse no modelo.



### 6.3.1.2 Condutividade Hidráulica

Os valores de condutividade hidráulica (K) foram modificados sucessivamente até que um padrão de fluxo d'água subterrâneo compatível com as condições naturais fosse alcançado.

Visando alcançar uma melhor aproximação entre os níveis d'água observados e calculados, foi atribuída uma anisotropia nesse parâmetro, com valores de K de 1.3 a 2 vezes menores no eixo vertical Z, em relação aos eixos horizontais X e Y, simulando a anisotropia provocada pelas estruturas horizontais das rochas, que favorecem o fluxo de água no sentido horizontal.

A Tabela 6.6 apresenta o resultado obtido na retroanálise da condutividade hidráulica em regime permanente, evidenciando as condutividades e a anisotropia observada em cada unidade hidrogeológica.

**Tabela 6.6: Valores de condutividade hidráulica e anisotropia resultantes da calibração em regime permanente (m/dia).**

Prop.	Cor	Unidades hidrogeológicas	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K)			
			Kx	Ky	Kz	Anisotropia
1		Rocha sã	0.008	0.008	0.008	1.0
2		Rocha semi-intemperizada	0.05	0.05	0.025	2.0
4		Aloterita - Cobertura	0.1	0.1	0.05	2.0
5		Zona de Titânio	1.8	1.8	0.9	2.0
8		Isalterita - Fenito	0.15	0.15	0.1	1.5
9		Isalterita - Bebedourito + Foscorito	1.4	1.4	1	1.4
10		Isalterita - Carbonatito	1.2	1.2	0.8	1.5
11		Isalterita - Bebedourito	0.1	0.1	0.05	2.0
13		Isalterita - Sienito	0.12	0.12	0.08	1.5
15		Xisto encaixante - rocha sã	0.008	0.008	0.008	1.0
16		Xisto encaixante - rocha alterada	0.8	0.8	0.8	1.0

### **6.3.1.3 Nível d'água nos instrumentos de monitoramento e nascentes inventariadas**

Para a calibração em regime permanente, foram considerados os piezômetros existentes e monitorados em maio de 2007, data base da calibração em permanente.

Além desses Piezômetros, em 2007 o CMT contava com 14 drenos verticais, sendo 5 na Frente 4 (DVF4-01 a 04 e DVF4-14) e 9 na Frente 2 (DVF2-05 a 13), também utilizados para fins de monitoramento do nível d'água. Esses drenos monitoram o nível d'água dos taludes dessas frentes de lavra desde o segundo semestre de 2005. Os drenos existentes foram agrupados por proximidade e semelhança de nível de água observado, resultando em um conjunto de 5 drenos equivalentes (5 DV's).

Outro ponto considerado foi um furo jorrante situado na cabeceira do Córrego Cana do Reino (Sub-bacia do Córrego da Mata) a leste da Bigorna, com intuito de inserir um ponto de controle do nível d'água nessa porção do modelo, carente de informações de monitoramento. Por se tratar de um nível jorrante, a cota do nível d'água considerada corresponde a cota da superfície do terreno neste ponto.

Os pontos de controle supracitados servem de referência para determinação do nível de água inicial da área interna ao Domo (Domínio antigo do Modelo – 2016). A Tabela 6.7 apresenta a relação desses instrumentos com a respectiva cota do nível d'água monitorada em maio de 2007.

**Tabela 6.7: Instrumentos de monitoramento do nível d'água e cotas do NA utilizadas na calibração em regime permanente (data base: maio de 2007)**

<b>Instrumentos</b>	<b>Cota nível d'água (maio – 2007)</b>
<b>PZ01 (68)</b>	1257.8
<b>PZTI01 (69)</b>	1250.0
<b>PZTI02 (71)</b>	1272.8
<b>PZ03 (72)</b>	1265.9
<b>PZ04 (73)</b>	1268.5
<b>PZ05 (74)</b>	1209.6

Instrumentos	Cota nível d'água (maio – 2007)
PZ06 (75)	1105.8
DV02	1276.6
DV03	1275.5
DV05	1251.9
DV07	1254.3
DV11	1255.9
Furo Jorrante	1245.0

A fim de balizar o nível de água regional, ou seja, da área externa ao Domo (Domínio da respectiva atualização do Modelo), utilizou-se instrumentos de monitoramento instalados nessa região ao longo dos anos, os quais não existiam ou não eram monitorados na data base dessa calibração.

Esses pontos foram incluídos pois não sofreram influência direta do rebaixamento de nível de água realizado no CMT (distância relativamente grande entre esses instrumentos e a cava), entendendo que os mesmos representam assim, uma boa aproximação da realidade observada em maio de 2007. Ressalta-se que instrumentos que apresentaram uma variação considerável do nível de água monitorado, mesmo estando em locais distantes da região do domo, foram desconsiderados.

A Tabela 6.8 apresenta os instrumentos externos ao Domo avaliados na calibração em regime permanente e seu respectivo nível de água equivalente. Destaca-se que para definição do nível de água equivalente, considerou-se as médias dos valores de níveis monitorados nos meses de maio em todos os anos que possuem dados.

**Tabela 6.8: Instrumentos externos à chaminé alcalina considerados na calibração em regime permanente.**

Instrumentos externos ao Domo	Cota Nível de água equivalente
INA-627(T19)	1228.0
INA-630(T03)	1229.0
INA-633(T0)	1233.0
INA-634(T0)	1218.0
INA-635(T0)	1162.0
INA-637(T0)	1092.0
INA-647(T09)	1130.0
INA-648(T16)	1180.0
INA-CB01	1231.0

Somado aos instrumentos supracitados, adicionou-se ainda à calibração em regime permanente, as cotas das nascentes localizadas na região externa ao Domo, cadastradas nos inventários de pontos de água realizados na região. Considerou-se que as nascentes localizadas na área externa, por se situarem a uma grande distância da lavra, não sofrem influência do rebaixamento de nível de água realizado na cava.

As nascentes avaliadas e suas respectivas cotas consideradas estão apresentadas na Tabela 6.9.

**Tabela 6.9: Nascentes externas à chaminé alcalina consideradas na calibração em regime permanente.**

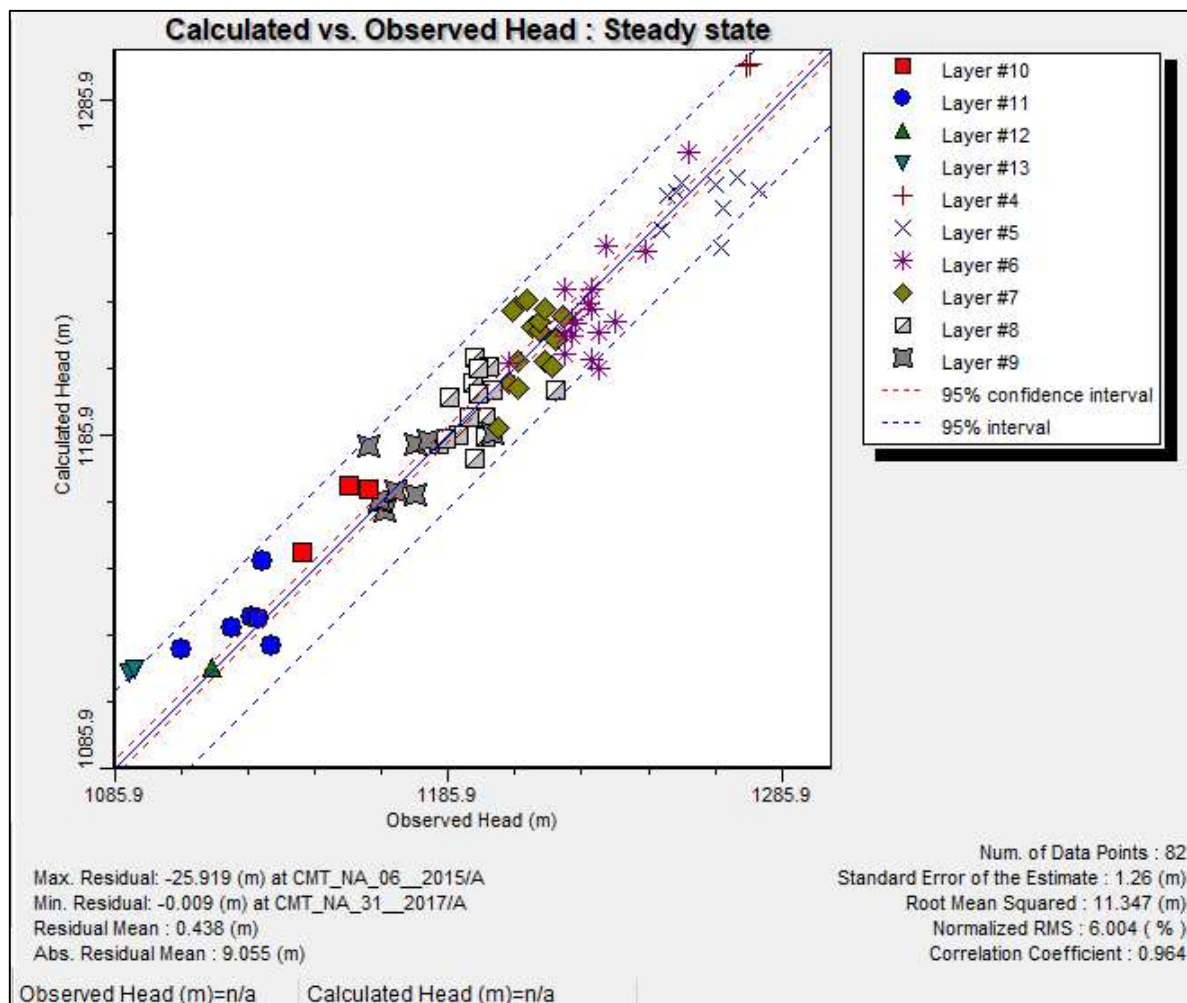
Nascentes externas ao Domo	Cota da nascente
CMT_NA_01_2015	1283
CMT_NA_02_2015	1277
CMT_NA_03_2015	1218
CMT_NA_04_2015	1223
CMT_NA_05_2015	1223
CMT_NA_06_2015	1268
CMT_NA_07_2015	1215
CMT_NA_13_2015	1221
CMT_NA_14_2015	1223
CMT_NA_15_2015	1224
CMT_NA_16_2015	1220
CMT_NA_17_2015	1279
CMT_NA_19_2015	1229
CMT_NA_20_2015	1213
CMT_NA_22_2015	1198
CMT_NA_23_2015	1193
CMT_NA_24_2015	1236
CMT_NA_25_2015	1217
CMT_NA_26_2015	1257
CMT_NA_27_2015	1221
CMT_NA_28_2015	1201
CMT_NA_29_2015	1195
CMT_NA_30_2015	1231
CMT_NA_31_2015	1231
CMT_NA_32_2015	1229
CMT_NA_34_2015	1199
CMT_NA_35_2015	1195
CMT_NA_36_2015	1213
CMT_NA_02_2017	1221
CMT_NA_03_2017	1211



Nascentes externas ao Domo	Cota da nascente
CMT_NA_05_2017	1194
CMT_NA_06_2017	1186
CMT_NA_07_2017	1221
CMT_NA_12_2017	1204
CMT_NA_13_2017	1204
CMT_NA_14_2017	1207
CMT_NA_17_2017	1167
CMT_NA_21_2017	1115
CMT_NA_22_2017	1127
CMT_NA_24_2017	1133
CMT_NA_27_2017	1189
CMT_NA_28_2017	1194
CMT_NA_30_2017	1197
CMT_NA_31_2017	1183
CMT_NA_32_2017	1197
CMT_NA_33_2017	1185
CMT_NA_34_2017	1201
CMT_NA_35_2017	1176
CMT_NA_36_2017	1207
CMT_NA_37_2017	1201
CMT_NA_38_2017	1165
CMT_NA_39_2017	1165
CMT_NA_40_2017	1176
CMT_NA_41_2017	1156
CMT_NA_42_2017	1170
CMT_NA_43_2017	1121
CMT_NA_44_2017	1129
CMT_NA_47_2017	1206
CMT_NA_48_2017	1205
CMT_NA_49_2017	1215
CMT_NA_50_2017	1162
CMT_NA_51_2017	1142

A calibração em regime permanente consiste na comparação entre os dados observados em campo (Input) e os dados calculados pelo modelo (Output), através de retroanálises sucessivas, que visam atingir a melhor aproximação possível entre modelo e realidade. Para tal, realiza-se diversas alterações nos percentuais de recarga, nos valores de condutividade hidráulica dos litotipos e de condutância dos drenos.

A reta de calibração com a melhor aproximação entre valores observados e valores calculados em cada instrumento, está apresentada pela Figura 6.9.



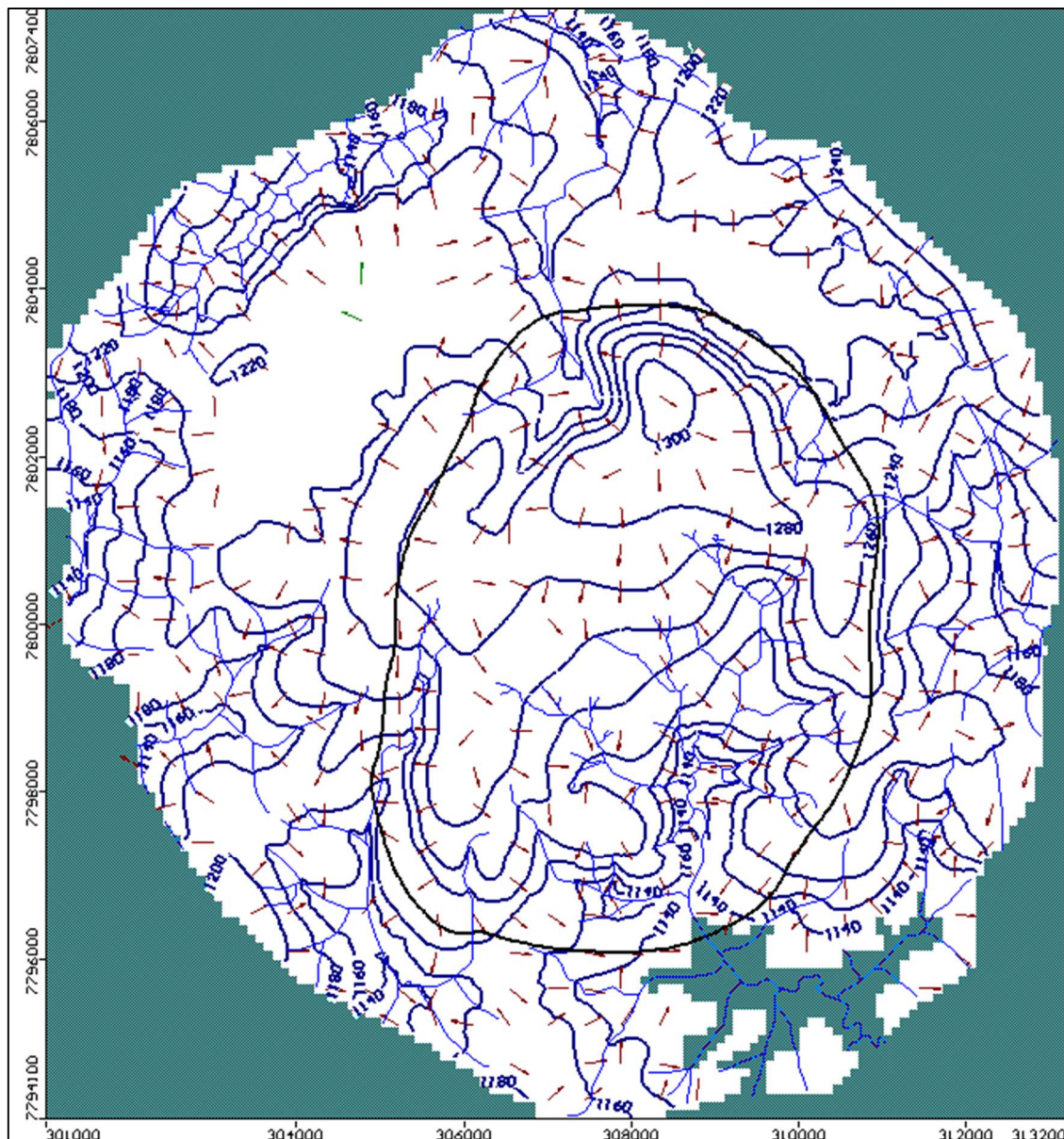
**Figura 6.9: Retas de calibração dos níveis d'água em regime permanente com os valores observados (eixo x) e calculados (eixo y) em cada instrumento.**

Analisando globalmente os instrumentos de monitoramento em questão, os níveis d'água calculados pelo modelo mostram uma boa aproximação com os níveis d'água monitorados nos instrumentos, com erro médio normalizado ("RMS") de 6.004%, considerado dentro do padrão adequado. Ressalta-se que o limite satisfatório para o erro médio normalizado (RMS) é de 10%, valor estabelecido pela EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).

O ponto que apresentou a maior discrepância entre o valor observado e monitorado foi a nascente CMT\_NA\_06\_2015 localizada na área externa do domo. Já o instrumento com a melhor aproximação entre o valor observado e o valor calculado foi o PZTI-01, localizado na região da Bigorna. Destaca-se que um erro maior na área externa já era esperado, devido às poucas informações disponíveis para região.

Outro resultado importante da calibração em permanente são as isolinhas equipotenciais do nível d'água subterrâneo obtido, e o sentido do fluxo da água subterrânea calculado pelo modelo. Esse resultado é apresentado pela Figura 6.10 com a disposição das curvas equipotenciais de 20 em 20 metros, referente a decima camada do modelo (cotas topográficas entre 1130 e 1150).

Nota-se um padrão regional do fluxo de água subterrânea com sentido principal para o Sul, em direção ao exutório da Bacia do Córrego da Mata. Ressalta-se que essa figura é meramente ilustrativa, já que a correta visualização dos níveis d'água calibrados se faz em análise tridimensional, nos planos X, Y e Z do modelo.



**Figura 6.10: Isolinhas equipotenciais e sentido do fluxo de d'água subterrâneo – resultado calibração em regime permanente, layer 10.**

#### **6.3.1.4 Vazão nos cursos d'água – Zonas de balanço**

Para análise das vazões nos cursos d'água compara-se os dados calculados em cada zona de balanço com os dados reais monitorados em campo.

A quantidade de água que escoar pela face de cada célula do dreno é determinada pela condutância, expressa em  $m^2/h$ . Nessa etapa de calibração, também foram calibradas as condutâncias dos drenos, visando alcançar a melhor aproximação entre as vazões produzidas pelos mesmos (quantificadas nas zonas de balanço) e as vazões monitoradas nos respectivos instrumentos (vertedouros, calhas, estação fluviométrica e pontos de medição via equipamento de micromolinete).

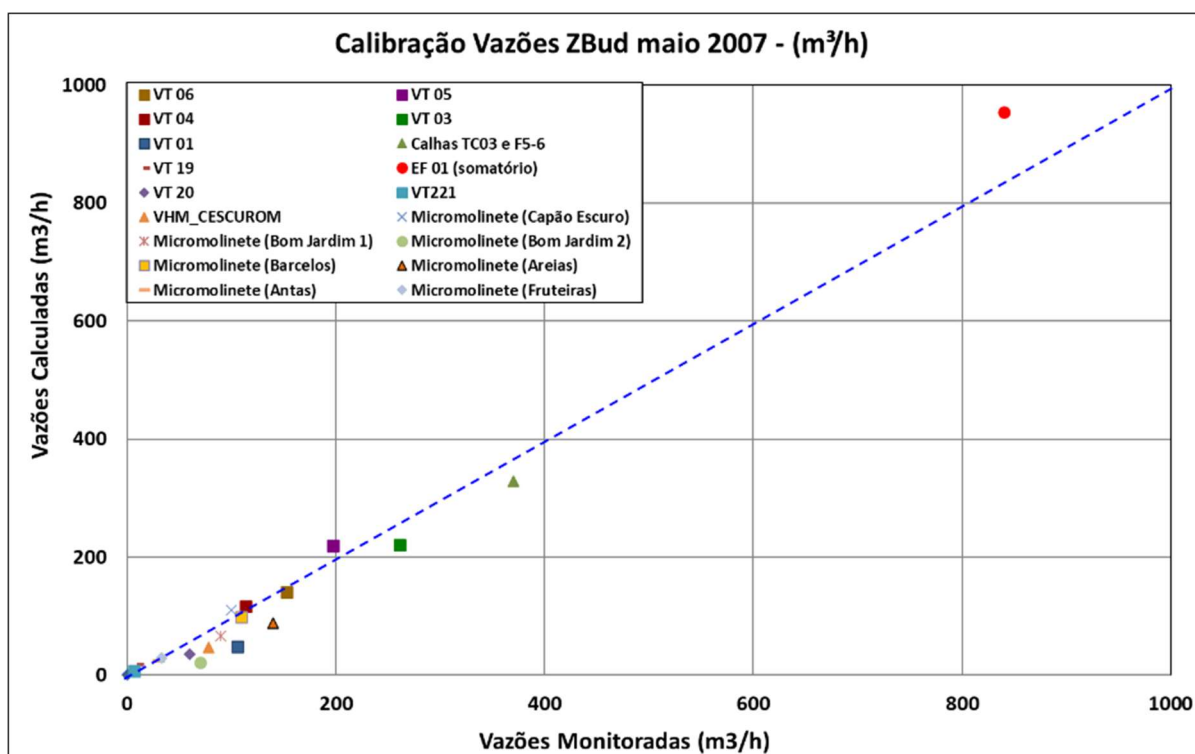
A condutância atribuída inicialmente aos drenos (da ordem de  $10 m^2/dia$ ) foi modificada sucessivamente (entre  $6$  e  $20 m^2/dia$ ) até alcançar uma calibração satisfatória para a vazão dos drenos. Aliado a calibração das demais condições de contorno, o ajuste da condutância proporciona uma melhor aproximação entre os dados monitorados e calculados pelo modelo.

A Tabela 6.10 e a Figura 6.11 seguir, apresentam os valores comparativos entre as vazões calculadas na calibração em regime permanente e as vazões observadas (monitoradas) em maio de 2007.



**Tabela 6.10: Comparação entre as vazões monitoradas em maio de 2007 e calculadas nas zonas de balanço do modelo - calibração em regime permanente (em m<sup>3</sup>/h).**

Zona de balanço	Instrumento / Local do monitoramento	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	
		Calculada (Z_bud)	Observada (Monitorada)
2	VT 01 – Cór. da Mata	48	106
3	VT 03 – Cór. da Mata (confluência)	220	261
5	VT 04 – Cór. da Cachoeira	115	114
6	VT 05 – Cór. Pilões	219	197
7	VT 06 – Cór. Canjerana	139	153
10	Calhas TC03 e F5-6	329	370
11	VT 19 – Cór. Canoas	19	9
12	EF 01 (somatório)	1008	840
18	VT 20 – Cór. Bálsamo	35	60
19	VT221 – Afluente Corr. Capão Escuro	7	7
20	VHM_CESCUROM	47	78
21	Micromolnete (Capão Escuro)	110	100
22	Micromolnete (Bom Jardim 1)	66	90
23	Micromolnete (Bom Jardim 2)	21	70
24	Micromolnete (Barcelos)	98	109
25	Micromolnete (Areias)	88	140
26	Micromolnete (Antas)	24	30
27	Micromolnete (Fruteiras)	29	33



**Figura 6.11: Comparação entre as vazões monitoradas em maio de 2007 e calculadas nas zonas de balanço - calibração em regime permanente**

Pela análise desses dados, pode-se dizer que de forma geral as vazões calculadas nas zonas de balanço do modelo apresentam valores semelhantes aos monitorados em cada instrumento no mês de maio de 2007, com as diferenças dentro de uma faixa de variação aceitável.

Ressalta-se que os córregos presentes na área interna ao Domo já eram monitorados em maio de 2007, apresentando dados de vazões para esse período. Contudo, em se tratando dos instrumentos externos ao Domo, o monitoramento iniciou-se em época posterior, sendo necessária uma adaptação nos dados monitorados, para validar a comparação entre os dados calculados pelo modelo e os dados observados na data base da calibração em permanente.

Para tal, considerou-se como valor observado para esses instrumentos as vazões mínimas monitoradas nos períodos secos.

Vale observar que esse ajuste nos dados só pode ser realizado devido à distância significativa existente entre os cursos de água externos ao Domo e a região da lavra, o que, possivelmente, garante a não existência de interferência do rebaixamento do nível de água nas vazões que escoam nesses córregos.

Nota-se ainda que as duas Calhas Parshall (TC03 e F5/F6) que monitoram as vazões produzidas pela cava da mina (pontos de confluência das canaletas de drenagem) só começaram a operar em outubro de 2007. Desta forma, para considerar esse importante ponto na calibração das vazões em regime permanente, foi necessário estimar a vazão nessas calhas para o mês de maio, o qual foi associado à média dos valores das vazões do período seco de 2008.

Na etapa posterior, de calibração em regime transiente, foram considerados os dados reais do monitoramento dessas calhas durante o período monitorado.

### **6.3.2 Calibração em regime de escoamento transiente**

Trata-se de uma calibração mais refinada, onde a variável tempo é considerada, realizada geralmente após o início do processo de rebaixamento do nível d'água de uma mina.

A calibração em transiente (ou transitório) correspondeu a um período de 14 anos, estendendo-se do dia 01 de junho de 2007, ao dia 31 de agosto de 2021, totalizando 5206 dias, divididos em 57 períodos de tempo, correspondente aos trimestres em questão (vide Tabela 6.2).

O mês de junho de 2007 foi escolhido por se tratar do primeiro mês de operação contínua do poço pioneiro PR 01. Nesta época, muitos dos instrumentos usados na calibração transiente ainda não estavam em funcionamento e por isso seus dados de monitoramento entraram em um período mais avançado da calibração.

Foram analisados todos os dados do monitoramento hidrogeológico nesse período (pluviometria, nível d'água nos instrumentos de monitoramento e nos poços, dados operacionais dos poços, vazão nos vertedouros, pontos de monitoramento por micromolinete, calhas e estação fluviométrica), com a entrada de dados seguindo a periodicidade trimestral.

Os itens adiante apresentam as características e resultados correspondentes ao processo de calibração do modelo numérico.

### **6.3.3 Entrada de dados (input) e resultados (output)**

A seguir serão apresentados em tópicos todos os atributos do modelo numérico, considerando os dados de entrada e saída (propriedades hidrogeológicas, condições de contorno e os resultados).

### 6.3.3.1 Recarga

No processo de calibração em regime transiente, também foi realizado a retroanálise desse parâmetro, com intuito de alcançar valores de recarga que condizem com a realidade observada na região.

No entanto, diferentemente da etapa anterior (permanente), como na etapa atual é considerado o tempo (em períodos trimestrais), as taxas de recarga foram aplicadas de forma diferenciada, em função da pluviometria monitorada em cada trimestre.

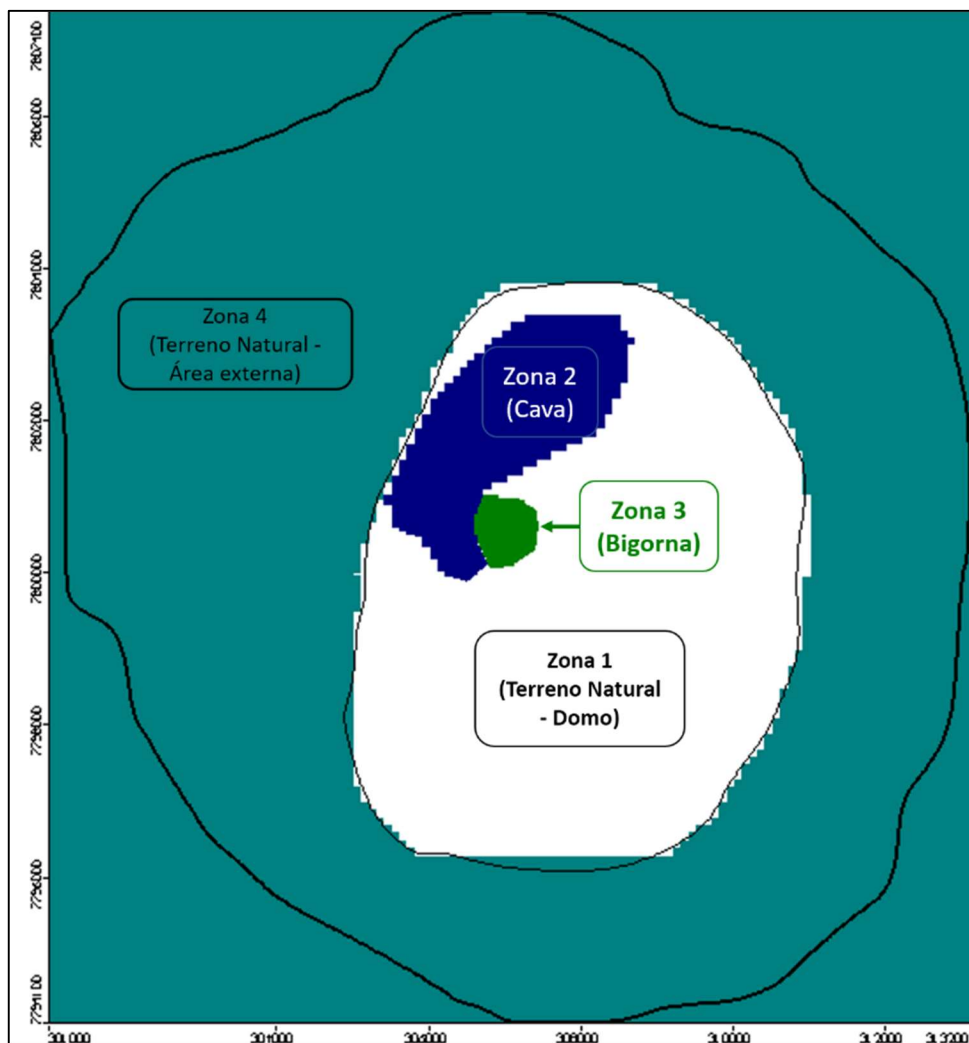
Vale observar que uma recarga diferenciada foi atribuída exclusivamente na região da Bigorna (propriedade 3), por se tratar de uma região com lavra recente em cava fechada. Entretanto, o percentual de recarga nessa propriedade foi mantido nos mesmos 32% do restante da cava, valor que proporcionou o melhor ajuste na calibração.

A Figura 6.12 ilustra a distribuição das zonas de recarga aplicadas ao modelo numérico.

Os valores de recarga aplicados (nessa etapa em m<sup>3</sup>/dia) correspondem ao percentual da precipitação que infiltra no terreno e alimenta os aquíferos, nas quatro zonas de recarga individualizadas. Esses valores de recarga correspondentes a cada zona e período de tempo são apresentados na Tabela 6.11.

Nota-se que, assim como na calibração em regime permanente, a recarga foi atribuída à primeira célula ativa de cada coluna do modelo.




**Figura 6.12: Zonas de recarga aplicadas ao modelo.**
**Tabela 6.11: Valores de recarga utilizados na recalibração do modelo em regime transiente.**

Período Stress	DATA		pluviometria		% recarga				recarga (m/dia)			
	INÍCIO	FIM	mm/dia	m/dia	Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
1	jun-07	set-07	0.27	0.000269	25%	32%	32%	13%	0.0000672	0.0000860	0.0000860	0.0000350
2	set-07	dez-07	7.10	0.007104	25%	32%	32%	13%	0.0017761	0.0022734	0.0022734	0.0009236
3	dez-07	mar-08	8.18	0.008179	25%	32%	32%	13%	0.0020448	0.0026173	0.0026173	0.0010633
4	mar-08	jun-08	1.47	0.001471	25%	32%	32%	13%	0.0003679	0.0004709	0.0004709	0.0001913
5	jun-08	set-08	1.11	0.001114	25%	32%	32%	13%	0.0002785	0.0003565	0.0003565	0.0001448
6	set-08	dez-08	7.91	0.007908	25%	32%	32%	13%	0.0019769	0.0025304	0.0025304	0.0010280
7	dez-08	mar-09	9.35	0.009349	25%	32%	32%	13%	0.0023372	0.0029916	0.0029916	0.0012154
8	mar-09	jun-09	1.81	0.001815	25%	32%	32%	13%	0.0004536	0.0005806	0.0005806	0.0002359
9	jun-09	set-09	2.00	0.001996	25%	32%	32%	13%	0.0004989	0.0006386	0.0006386	0.0002594
10	set-09	dez-09	5.58	0.005583	25%	32%	32%	13%	0.0013957	0.0017864	0.0017864	0.0007257
11	dez-09	mar-10	6.01	0.006006	25%	32%	32%	13%	0.0015014	0.0019218	0.0019218	0.0007807
12	mar-10	jun-10	0.75	0.000753	25%	32%	32%	13%	0.0001882	0.0002409	0.0002409	0.0000979
13	jun-10	set-10	1.26	0.001261	25%	32%	32%	13%	0.0003152	0.0004035	0.0004035	0.0001639
14	set-10	dez-10	8.03	0.008027	25%	32%	32%	13%	0.0020068	0.0025687	0.0025687	0.0010435
15	dez-10	mar-11	9.22	0.009222	25%	32%	32%	13%	0.0023055	0.0029510	0.0029510	0.0011989

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Período Stress	DATA		pluviometria		% recarga				recarga (m/dia)			
	INÍCIO	FIM	mm/dia	m/dia	Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
16	mar-11	jun-11	1.75	0.001754	25%	32%	32%	13%	0.0004385	0.0005613	0.0005613	0.0002280
17	jun-11	set-11	0.02	0.000016	25%	32%	32%	13%	0.0000041	0.0000052	0.0000052	0.0000021
18	set-11	dez-11	6.93	0.006931	25%	32%	32%	13%	0.0017326	0.0022178	0.0022178	0.0009010
19	dez-11	mar-12	5.79	0.005787	25%	32%	32%	13%	0.0014469	0.0018520	0.0018520	0.0007524
20	mar-12	jun-12	3.20	0.003200	25%	32%	32%	13%	0.0007999	0.0010239	0.0010239	0.0004160
21	jun-12	set-12	0.34	0.000340	25%	32%	32%	13%	0.0000849	0.0001087	0.0001087	0.0000442
22	set-12	dez-12	4.76	0.004759	25%	32%	32%	13%	0.0011897	0.0015228	0.0015228	0.0006186
23	dez-12	mar-13	10.32	0.010322	25%	32%	32%	13%	0.0025806	0.0033031	0.0033031	0.0013419
24	mar-13	jun-13	2.29	0.002294	25%	32%	32%	13%	0.0005736	0.0007342	0.0007342	0.0002983
25	jun-13	set-13	1.03	0.001030	25%	32%	32%	13%	0.0002575	0.0003296	0.0003296	0.0001339
26	set-13	dez-13	7.81	0.007810	25%	32%	32%	13%	0.0019525	0.0024992	0.0024992	0.0010153
27	dez-13	mar-14	2.37	0.002367	25%	32%	32%	13%	0.0005918	0.0007575	0.0007575	0.0003077
28	mar-14	jun-14	1.68	0.001675	25%	32%	32%	13%	0.0004188	0.0005361	0.0005361	0.0002178
29	jun-14	set-14	0.73	0.000729	25%	32%	32%	13%	0.0001823	0.0002334	0.0002334	0.0000948
30	set-14	dez-14	7.16	0.007155	25%	32%	32%	13%	0.0017888	0.0022896	0.0022896	0.0009302
31	dez-14	mar-15	6.68	0.006682	25%	32%	32%	13%	0.0016706	0.0021383	0.0021383	0.0008687
32	mar-15	jun-15	1.70	0.001703	25%	32%	32%	13%	0.0004258	0.0005451	0.0005451	0.0002214
33	jun-15	set-15	0.66	0.000663	25%	32%	32%	13%	0.0001658	0.0002122	0.0002122	0.0000862
34	set-15	dez-15	5.01	0.005011	25%	32%	32%	13%	0.0012527	0.0016035	0.0016035	0.0006514
35	dez-15	mar-16	7.51	0.007505	25%	32%	32%	13%	0.0018764	0.0024018	0.0024018	0.0009757
36	mar-16	jun-16	1.19	0.001188	25%	32%	32%	13%	0.0002971	0.0003803	0.0003803	0.0001545
37	jun-16	set-16	0.48	0.000477	25%	32%	32%	13%	0.0001193	0.0001527	0.0001527	0.0000620
38	set-16	dez-16	9.30	0.009299	25%	32%	32%	13%	0.0023247	0.0029757	0.0029757	0.0012089
39	dez-16	mar-17	7.11	0.007112	25%	32%	32%	13%	0.0017779	0.0022757	0.0022757	0.0009245
40	mar-17	jun-17	3.17	0.003175	25%	32%	32%	13%	0.0007937	0.0010159	0.0010159	0.0004127
41	jun-17	set-17	0.32	0.000323	25%	32%	32%	13%	0.0000807	0.0001033	0.0001033	0.0000420
42	set-17	dez-17	9.89	0.009886	25%	32%	32%	13%	0.0024715	0.0031635	0.0031635	0.0012852
43	dez-17	mar-18	9.44	0.009442	25%	32%	32%	13%	0.0023606	0.0030215	0.0030215	0.0012275
44	mar-18	jun-18	2.16	0.002160	25%	32%	32%	13%	0.0005401	0.0006913	0.0006913	0.0002809
45	jun-18	set-18	2.29	0.002286	25%	32%	32%	13%	0.0005715	0.0007315	0.0007315	0.0002972
46	set-18	dez-18	13.08	0.013080	25%	32%	32%	13%	0.0032701	0.0041857	0.0041857	0.0017005
47	dez-18	mar-19	8.37	0.008367	25%	32%	32%	13%	0.0020917	0.0026773	0.0026773	0.0010877
48	mar-19	jun-19	2.11	0.002113	25%	32%	32%	13%	0.0005283	0.0006762	0.0006762	0.0002747
49	jun-19	set-19	0.97	0.000970	25%	32%	32%	13%	0.0002424	0.0003103	0.0003103	0.0001260
50	set-19	dez-19	7.86	0.007864	25%	32%	32%	13%	0.0019660	0.0025165	0.0025165	0.0010223
51	dez-19	mar-20	9.67	0.009670	25%	32%	32%	13%	0.0024176	0.0030945	0.0030945	0.0012571
52	mar-20	jun-20	1.19	0.001195	25%	32%	32%	13%	0.0002986	0.0003822	0.0003822	0.0001553
53	jun-20	set-20	0.11	0.000109	25%	32%	32%	13%	0.0000272	0.0000348	0.0000348	0.0000141
54	set-20	dez-20	6.28	0.006279	25%	32%	32%	13%	0.0015698	0.0020094	0.0020094	0.0008163
55	dez-20	mar-21	6.03	0.006028	25%	32%	32%	13%	0.0015069	0.0019289	0.0019289	0.0007836
56	mar-21	jun-21	0.70	0.000698	25%	32%	32%	13%	0.0001745	0.0002233	0.0002233	0.0000907
57	jun-21	ago-21	0.00	0.000000	25%	32%	32%	13%	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

### 6.3.3.2 Condutividade hidráulica

Devido às novas variáveis consideradas (taxa de recarga ao mês, armazenamentos  $S_s$  e  $S_y$ ), pela análise mais detalhada do nível d'água por setor do

modelo, e devido a atualização geológica realizada, foi realizada uma calibração “fina” dos valores de condutividade hidráulica, a partir daqueles obtidos na calibração em regime permanente.

As modificações realizadas durante a retroanálise desse parâmetro consistem em pequenas alterações no valor de “K” e na relação de anisotropia horizontal e vertical.

A Tabela 6.12 apresenta o resultado obtido na retroanálise da condutividade hidráulica ao final da calibração em transiente.

**Tabela 6.12. Valores de condutividade hidráulica resultantes da calibração do modelo (m/dia)**

Prop	Cor	Unidades hidrogeológicas	Condutividade hidráulica (K)			
			Kx	Ky	Kz	Anisotropia
1		Rocha sã	0.008	0.008	0.008	1.0
2		Rocha semi-intemperizada	0.05	0.05	0.025	2.0
4		Aloterita - Cobertura	0.1	0.1	0.05	2.0
5		Zona de Titânio	1.8	1.8	0.9	2.0
8		Isalterita - Fenito	0.15	0.15	0.1	1.5
9		Isalterita - Bebedourito + Foscorito	1.4	1.4	1	1.4
10		Isalterita - Carbonatito	1.2	1.2	0.8	1.5
11		Isalterita - Bebedourito	0.1	0.1	0.05	2.0
13		Isalterita - Sienito	0.12	0.12	0.08	1.5
15		Xisto encaixante - rocha sã	0.008	0.008	0.008	1.0
16		Xisto encaixante - rocha alterada	0.9	0.9	0.9	1.0

### 6.3.3.3 Armazenamento

A discretização do armazenamento no modelo segue os mesmos princípios da condutividade hidráulica, sendo atribuídos valores de armazenamento e porosidade sobre cada propriedade (litotipo).

Os valores de armazenamento das rochas em questão, em condições de aquífero livre e confinado são obtidos durante o processo de calibração em regime transiente, onde a variável tempo é considerada.

Nesta etapa foram realizadas inúmeras tentativas de ajuste no armazenamento dos litotipos, no intuito de melhorar a aproximação entre o comportamento evolutivo das curvas do nível d'água calculado e observado, juntamente com a retroanálise da condutividade hidráulica.

A Tabela 6.13 apresenta os valores de armazenamento em condições de aquíferos confinados (Ss) e livres (Sy) obtidos na calibração em transiente.

**Tabela 6.13: Valores de armazenamento finais da calibração em regime transiente.**

Propriedade	Cor	Unidades hidrogeológicas	Armazenamento	
			Ss (1/m)	Sy
1		Rocha sã	0.00001	0.008
2		Rocha semi-intemperizada	0.0003	0.04
4		Aloterita - Cobertura	0.0003	0.03
5		Zona de Titânio	0.0022	0.17
8		Isalterita - Fenito	0.0001	0.001
9		Isalterita - Bebedourito + Foscorito	0.0011	0.11
10		Isalterita - Carbonatito	0.0012	0.012
11		Isalterita - Bebedourito	0.0025	0.0250
13		Isalterita - Sienito	0.001	0.05
15		Xisto encaixante - rocha sã	0.000001	0.00001
16		Xisto encaixante - rocha alterada	0.0003	0.03

#### **6.3.3.4 Poços tubulares de rebaixamento do nível d'água**

Foram atualizados os dados de monitoramento de vazão dos 15 poços tubulares de rebaixamento do nível d'água em operação na região da Bigorna (PR-01 ao PR-16, o PR-10 encontra-se inativo desde sua instalação), para fins de calibração em regime transiente.

O bombeamento contínuo do poço PR-01 iniciou-se em junho de 2007, os poços PR-02 a PR-06 iniciaram bombeamento entre maio e junho de 2010, os poços PR-07 e 08 em novembro de 2013, os poços PR-09 e PR-11 em julho e agosto de 2016, o PR-12 em janeiro de 2018 e os poços PR-13, PR-14, PR-15 e PR-16 em maio de 2019. Atualmente, encontram-se ativos (bombeando no ano de 2021) os poços PR-01, 03, 12, 13, 15 e 16.

Os valores de vazão atribuídos a cada poço correspondem as vazões médias bombeadas trimestralmente por cada instrumento, obtido através do banco de dados



da operação dos poços. Em algumas situações em que o poço operou, mas sem dados de monitoramento, as vazões consideradas foram calculadas por correlação linear dos dados.

A Figura 6.13 apresenta os valores de vazões mensais bombeadas pela bateria de poços de rebaixamento da Bigorna. Nota-se que as vazões de saída dos poços, calculadas ao final da calibração nas zonas de balanço (Output), estão de acordo com os valores observados (input), atestando uma boa calibração dessas vazões.

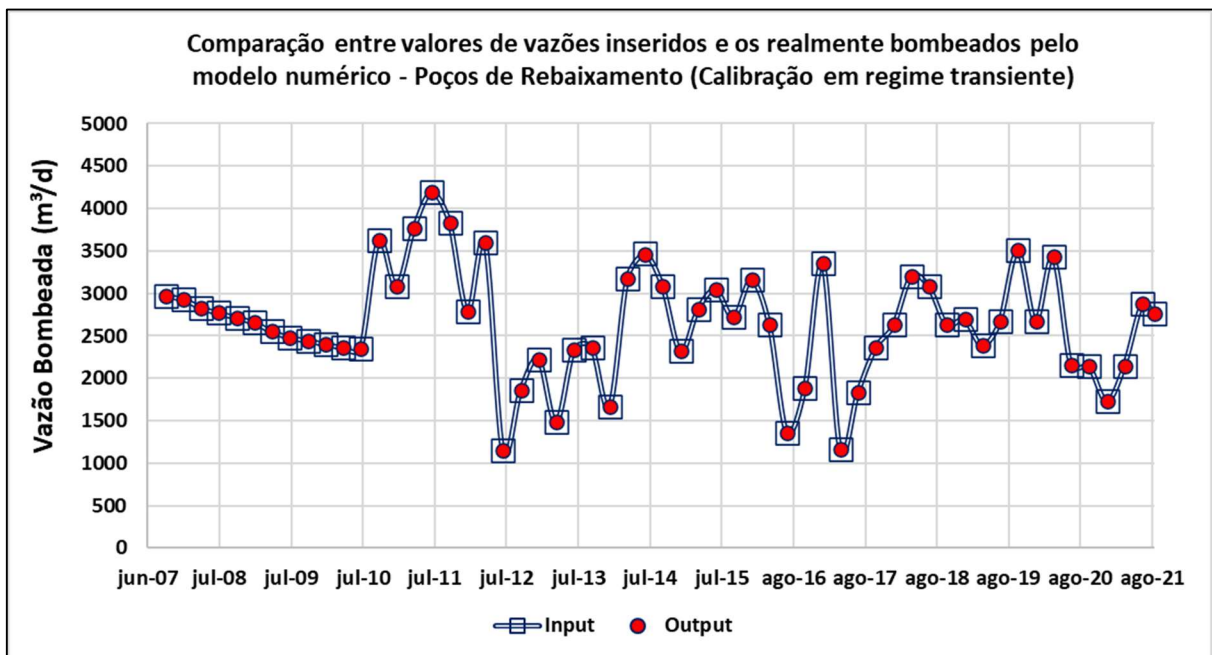


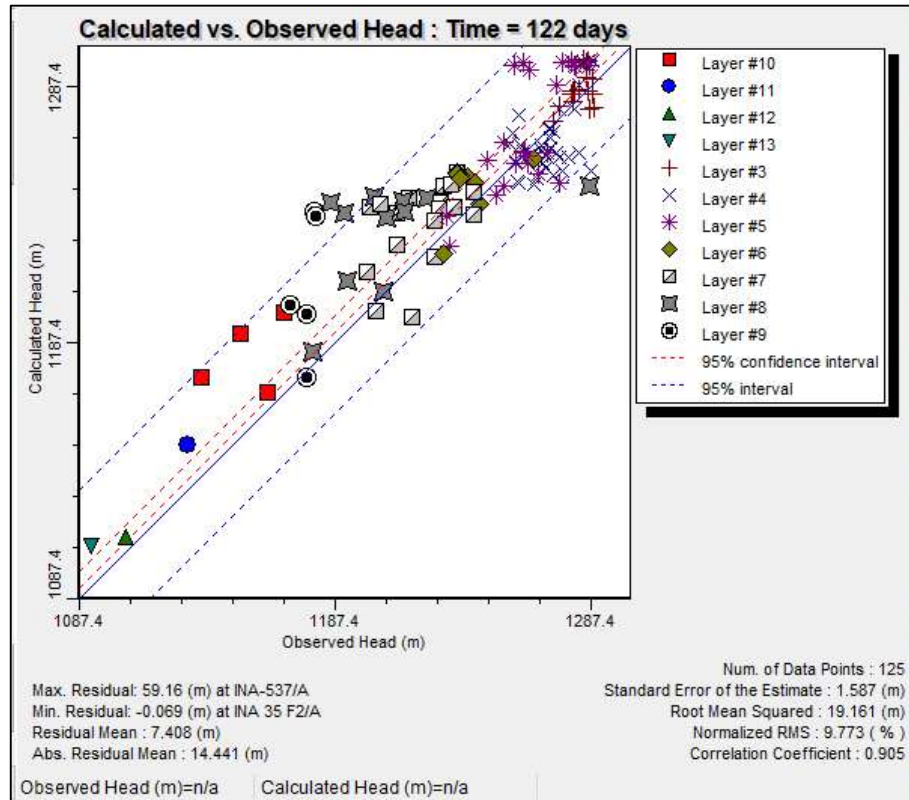
Figura 6.13: Calibração das vazões trimestrais bombeadas pela bateria de poços de rebaixamento (valores monitorados e calculados pelo modelo, em m³/dia)

### 6.3.3.5 *Nível d'água nos instrumentos de monitoramento*

Para a calibração em regime transiente, foram considerados todos os instrumentos de monitoramento de nível d'água que apresentaram leituras entre junho de 2007 e agosto de 2021.

A título ilustrativo, estão apresentadas as retas de calibração do modelo em regime transiente, com os valores observados e calculados em todos os instrumentos de monitoramento do nível d'água do CMT nos primeiros dias (Figura 6.14 e no último período de tempo (Figura 6.15 - Dia - 5206). Pela análise conjunta de todos os instrumentos de monitoramento considerados nessa calibração, percebe-se que os

níveis d'água calculados pelo modelo mostram uma boa aproximação com os níveis d'água monitorados pelos instrumentos em ambos os períodos em questão, com o RMS abaixo de 10%.



**Figura 6.14: Reta de calibração em regime transiente com os valores observados (eixo x) e calculados (eixo y) em cada instrumento (Time – 122 dias).**

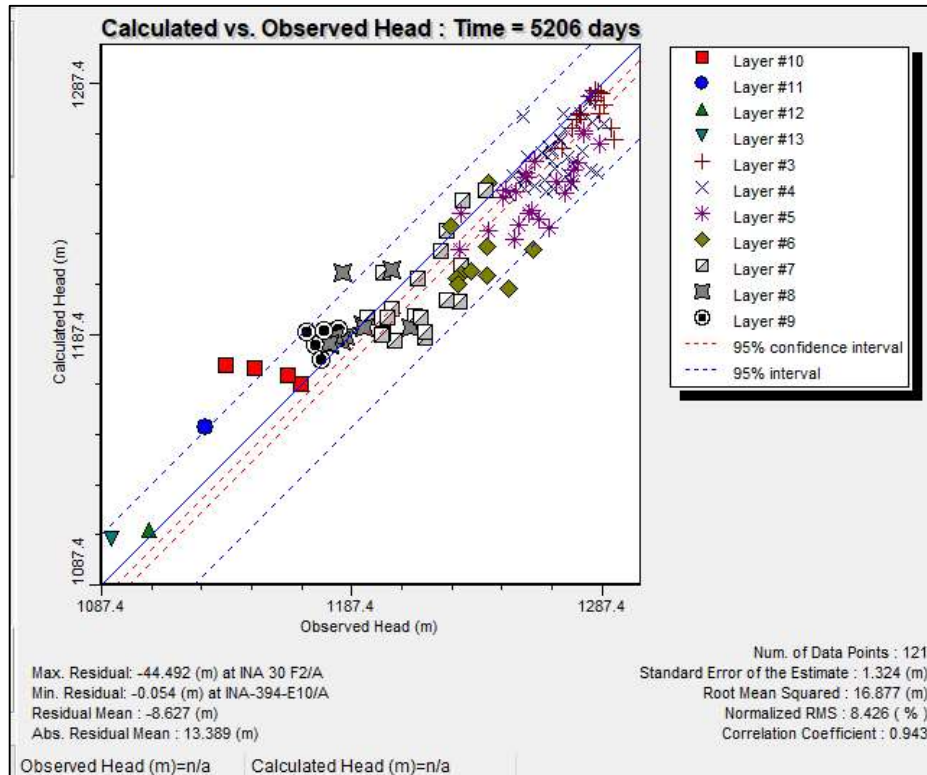


Figura 6.15: Retas de calibração em regime transiente com os valores observados (eixo x) e calculados (eixo y) em cada instrumento no último período de calibração (dia – 5206).

Todos os instrumentos foram considerados na etapa de calibração, contudo, para realização de uma melhor análise temporal da evolução dos níveis de água em regime transiente, os instrumentos foram setorizados em 10 grupos, sendo eles: Grupo A (Bigorna – Sul), Grupo B (Bigorna Oeste), Grupo C (Bigorna – Centro), Grupo D (Bigorna – Norte), Grupo E (Bigorna- Leste), Grupo F (Frentes 4, 5 e 6), Grupo G (Cava Leste), Grupo H (Externos 1 – externos as cavas), Grupo I (Externos 2 – Instrumentos Regionais) e Grupo J (Instrumentos Anômalos). A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta essa setorização.

Ressalta-se que os instrumentos que apresentam comportamento anômalo na evolução do nível de água monitorado em campo, foram descartados da reta de calibração em regime transiente (Grupo J).

Tabela 6.14: Setorização em grupos dos instrumentos de monitoramento de nível de água presentes no modelo numérico.

Grupo A: Bigorna Sul	Grupo B: Bigorna Oeste	Grupo C: Bigorna Centro	Grupo D: Bigorna Norte	Grupo E: Bigorna Leste	Grupo F: Frentes 4, 5 e 6	Grupo G: Cava Leste	Grupo H: Externos 1 (externos as cavas)	Grupo I: Externos 2 (Instrumentos Regionais)	Grupo J: Anômalos
INA 174 F2	INA 07 F2	INA 11 F2	INA 26 F2	CC-01	INA 55 F4	INA-284-CL	INA-149	INA-626	INA-74-F2
INA 299-F2	INA 33 F2	INA 27 F2	INA 324-F2	PZ-04	INA 71 F4	INA 314-CL	INA-457	INA-627(T19)	CAV 006

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

INA-542	INA 34 F2	INA 28 F2	INA 326-F2	PZ-F1-01	INA 74 F4	INA 334-CL	INA-459	INA-630(T03)	INA-30
INA-565	INA 35 F2	INA 30 F2	INA-641(T0)	PZ-F2-01	INA 87 F4	INA-426 CL	INA-537	INA-631(T01)	INA-92 F4
INA-646(T0)	INA 145-F2	INA 31 F2	INA-643(T0)	PZ-F2-02	INA 92 F4	INA-557-CL	INA-622 (T20)	INA-632(T0)	INA-78
INA-655-F2	INA 279-F2	INA 32 F2	INA Big 03	PZ-F2-04	INA 213 F4	INA-560-CL	INA-623 (T13)	INA-633(T0)	INA-111
INA-656-F2	INA 281-F2	INA 45 F2	INA Big 04	PZ-F2-06	INA 228 F4	INA-561-CL	INA-624(T18)	INA-634(T0)	-
INA Big 02	INA 310-F2	INA 62 F2	PZTI-02	-	INA-613-F4	INA-566-CL	INA-625 (T21)	INA-635(T0)	-
PZ BIG 06	INA 355-F2	INA 68 F2	PZ BIG 02	-	INA-615	INA-567-CL	INA-629(T11)	INA-637(T0)	-
-	INA 356-F2	INA 70 F2	PZ BIG 01	-	INA-618-F4	INA-594-CL	INA-636(T0)	INA-647(T09)	-
-	INA 441 F-2	INA 72 F2	PZ-13	-	INA-709-F4	INA-595-CL	INA-424-ABJ	INA-648(T16)	-
-	INA-512	INA 73 F2	-	-	INA 060-F5	INA-658-CL	INA-352-E10	INA-CB01	-
-	INA-540	INA 74 F2	-	-	63-F5	INA-661-CL	INA-394-E10	INA-CB02	-
-	INA-644(T0)	INA 75 F2	-	-	67-F5	INA-706-CL	INA-402-E10	-	-
-	PZ-05	INA 76 F2	-	-	69-F5	INA-713-CL	INA-427-E10	-	-
-	-	INA 260 F2	-	-	INA 78 - F5	-	INA-697-E10	-	-
-	-	INA Big 01	-	-	INA 83-F6	-	INA-698	-	-
-	-	INA Big 02	-	-	INA 93-F5	-	INA-701-E06	-	-
-	-	PZTI-01	-	-	INA 95-F5	-	PBR-01	-	-
-	-	PZ-03	-	-	INA 104-F5	-	PBR-02	-	-
-	-	PZ-09	-	-	INA 111-F5	-	PBR-03	-	-
-	-	-	-	-	INA 115-F5	-	PBR-04	-	-
-	-	-	-	-	INA-548	-	PBR-05	-	-
-	-	-	-	-	INA-662-F5	-	PZ-06	-	-
-	-	-	-	-	INA-664-F5	-	-	-	-
-	-	-	-	-	INA-670-F5	-	-	-	-
-	-	-	-	-	PZ 19	-	-	-	-
-	-	-	-	-	PZ 20	-	-	-	-

Em cada tentativa de calibração no regime transiente, foi verificada a relação entre os níveis d'água observados e calculados em cada setor (grupos), buscando a melhor aproximação possível através de retroanálises nos valores de armazenamento, condutividade e demais condições de contorno aplicadas.

A análise da piezometria na etapa de calibração em regime transiente é realizada por gráficos de nível d'água versus tempo, que mostra a evolução dos níveis desses instrumentos durante o período em questão (5206 dias, correspondentes aos 57 trimestres monitorados - *57 Time Steps*) e a influência do rebaixamento do nível d'água.

As comparações entre os níveis d'água calculados e observados durante todo o período modelado, para os 10 grupos supracitados, estão apresentadas nos gráficos a seguir, na mesma ordem de discretização explicitada acima (Figura 6.16, Figura 6.17, Figura 6.18, Figura 6.19, Figura 6.20, Figura 6.21, Figura 6.22 e Figura 6.23, Figura 6.24 e Figura 6.25). Cada gráfico representa a evolução do nível d'água nos instrumentos de um determinado setor.



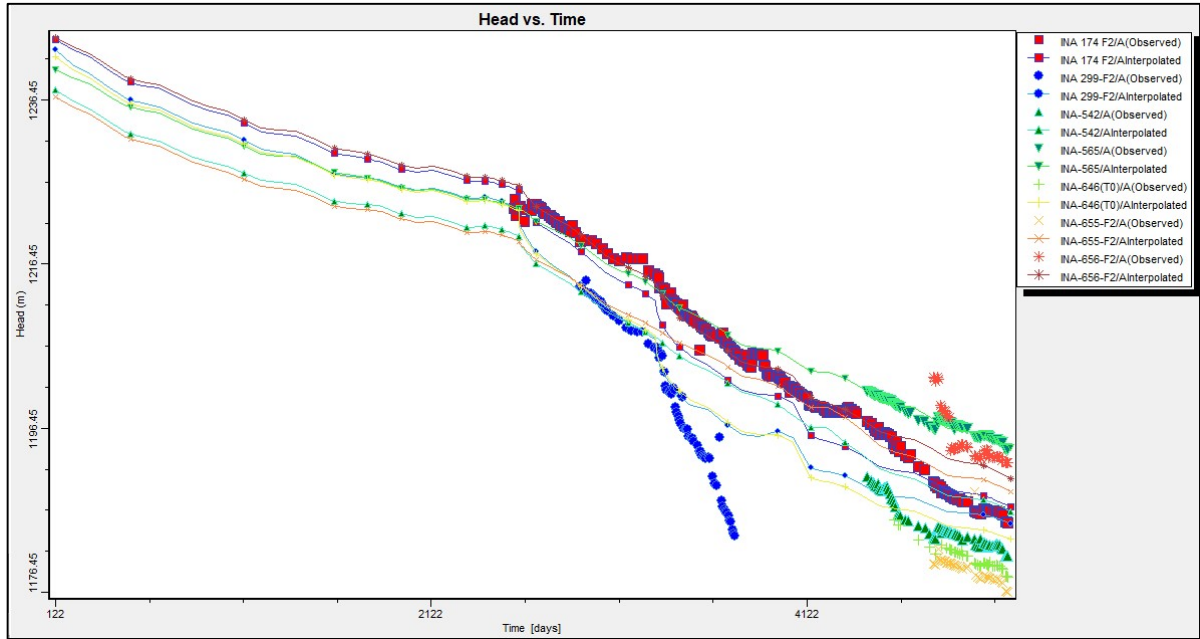


Figura 6.16: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo A: Bigorna Sul.

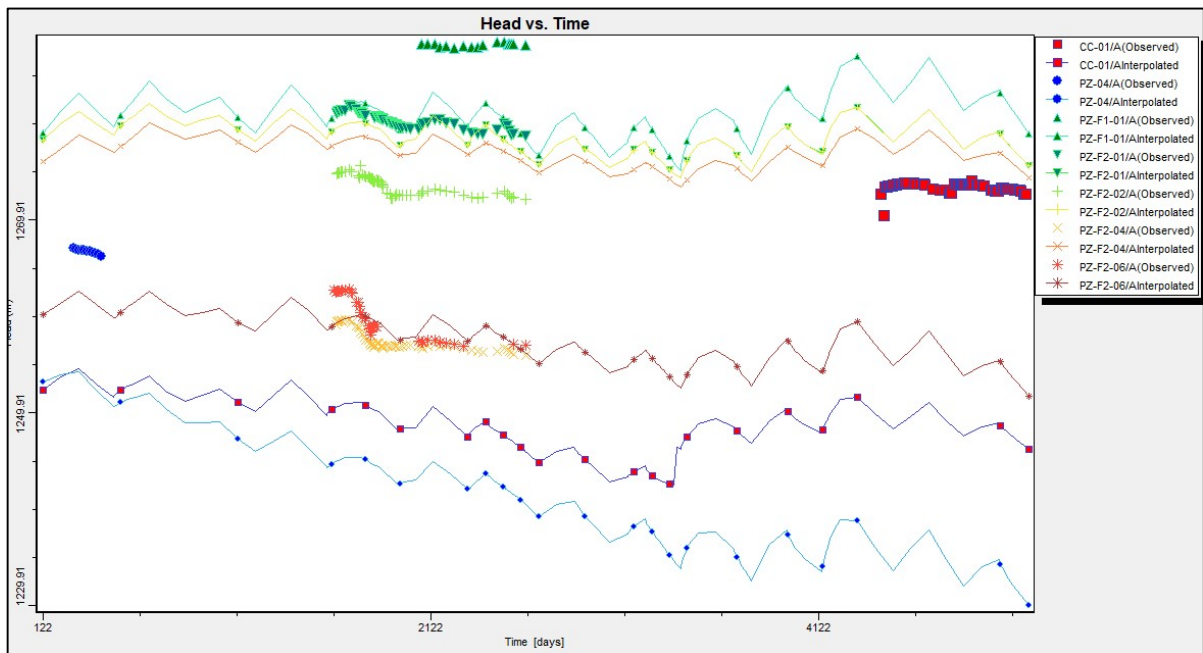


Figura 6.17: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo B: Bigorna Oeste

ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021

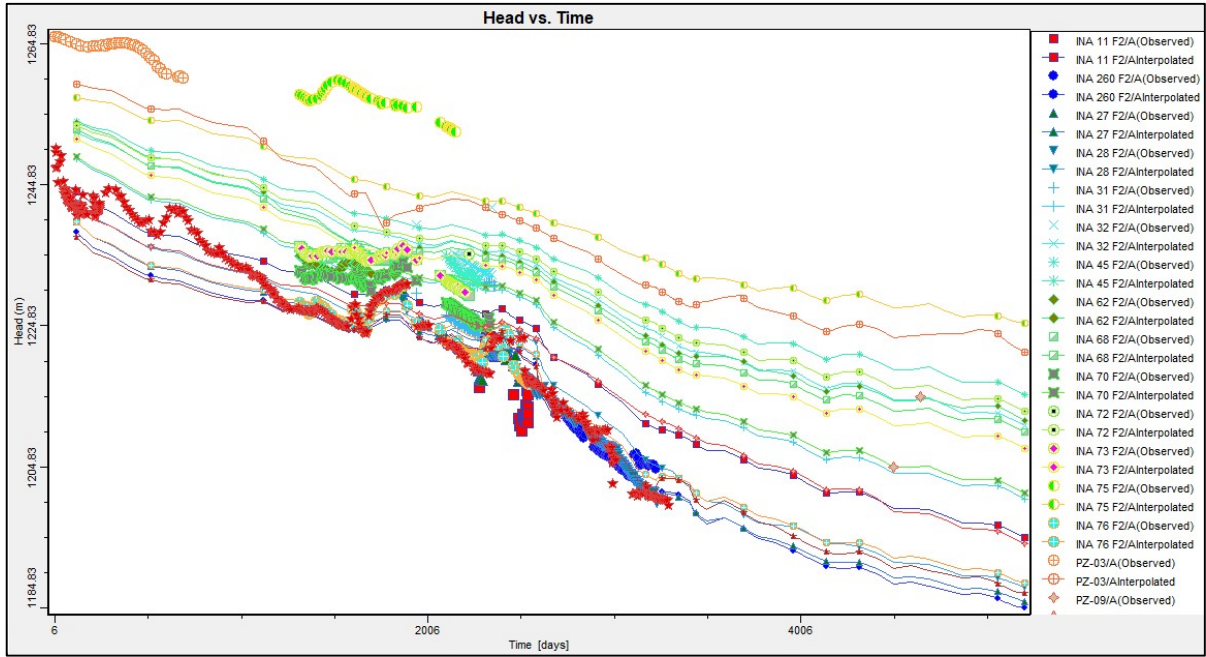


Figura 6.18: Comparação dos níveis d’água observados e calculados no período de calibração – Grupo C: Bigorna Centro.

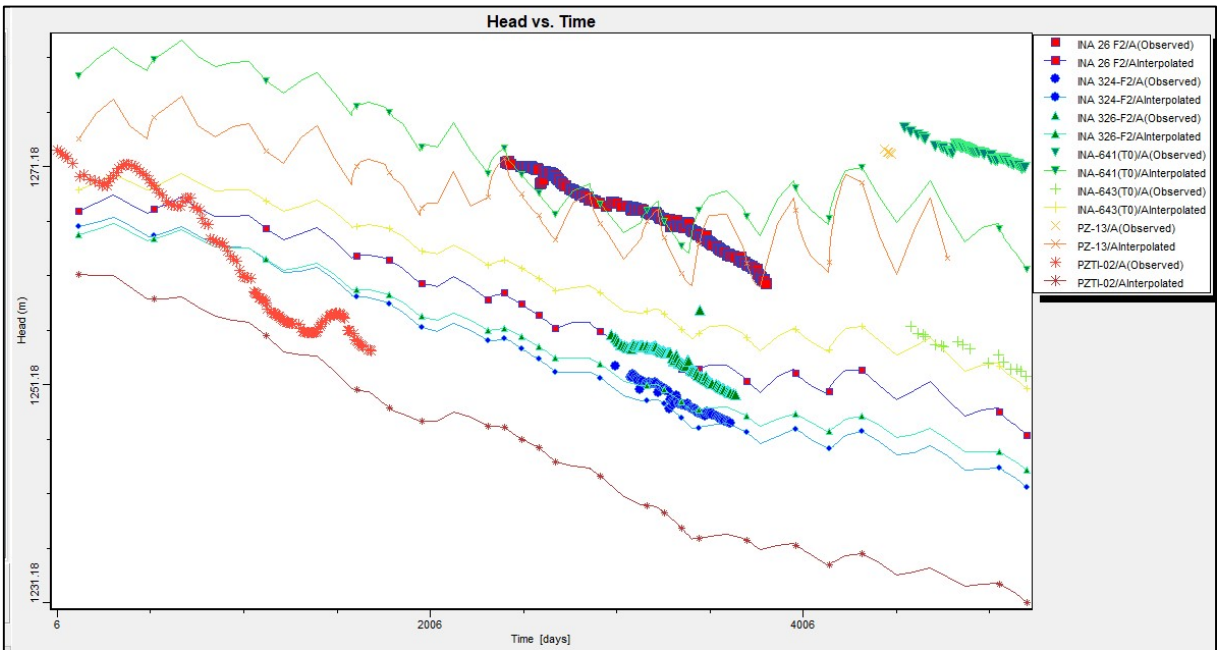


Figura 6.19: Comparação dos níveis d’água observados e calculados no período de calibração – Grupo D: Bigorna Norte.

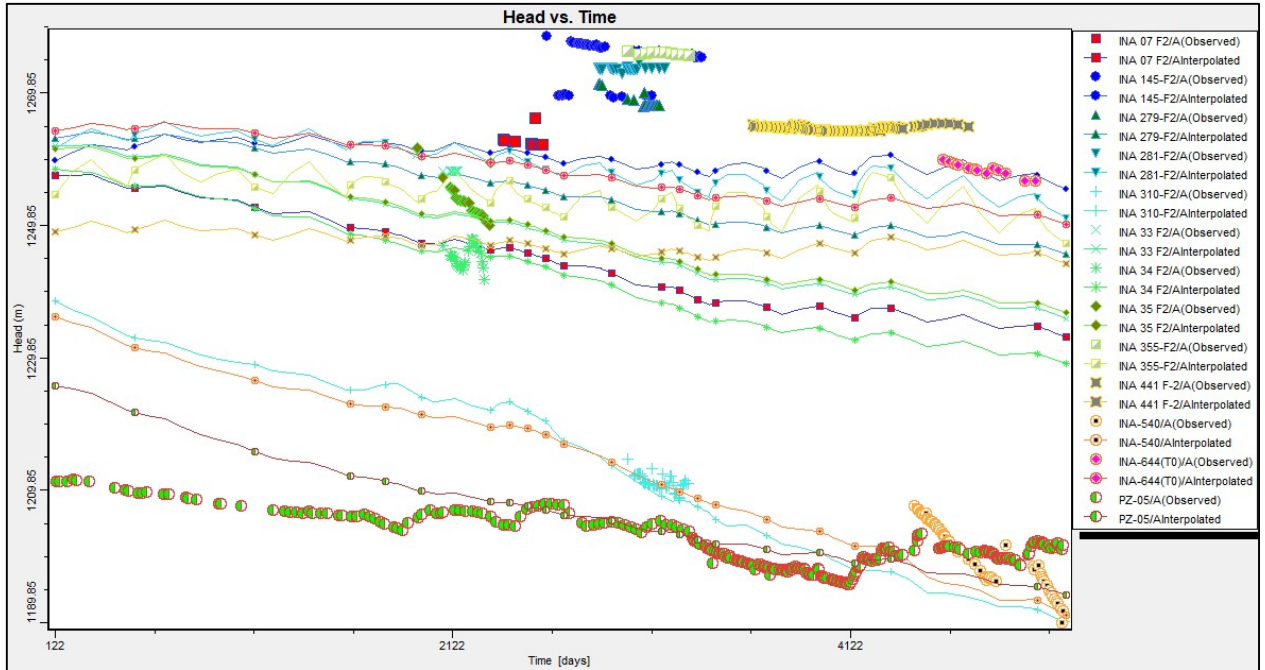


Figura 6.20: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo E: Bigorna Leste.

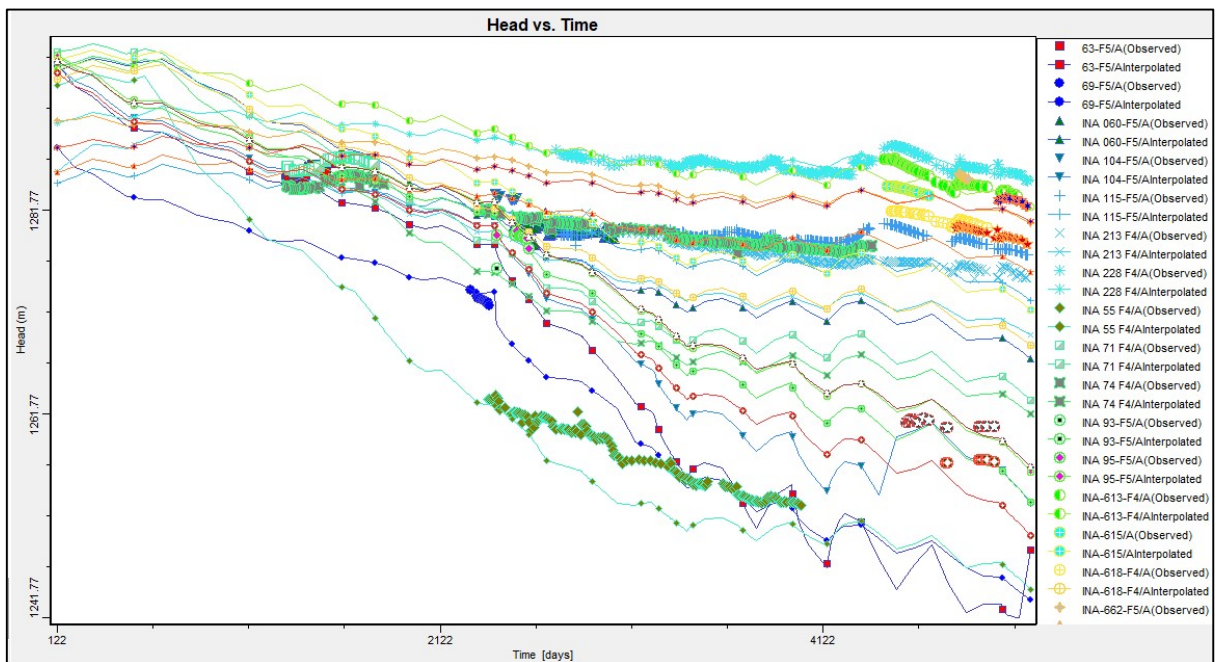


Figura 6.21: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo F: Frentes 4, 5 e 6.



ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021

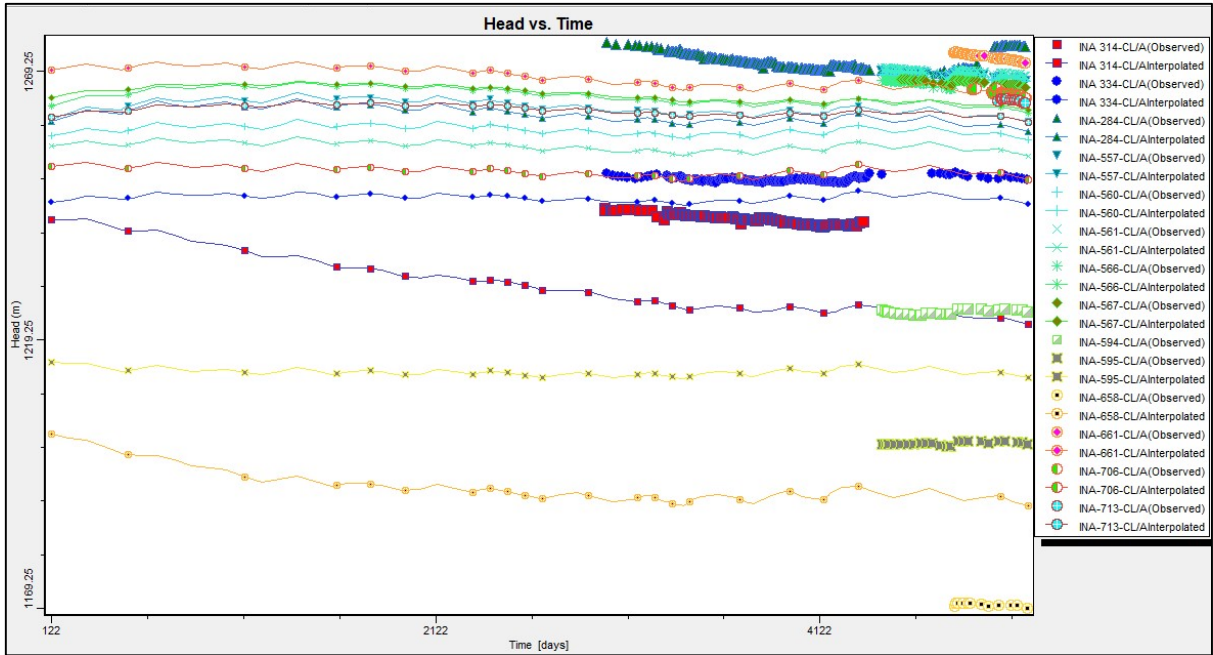


Figura 6.22: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo G: Cava Leste.

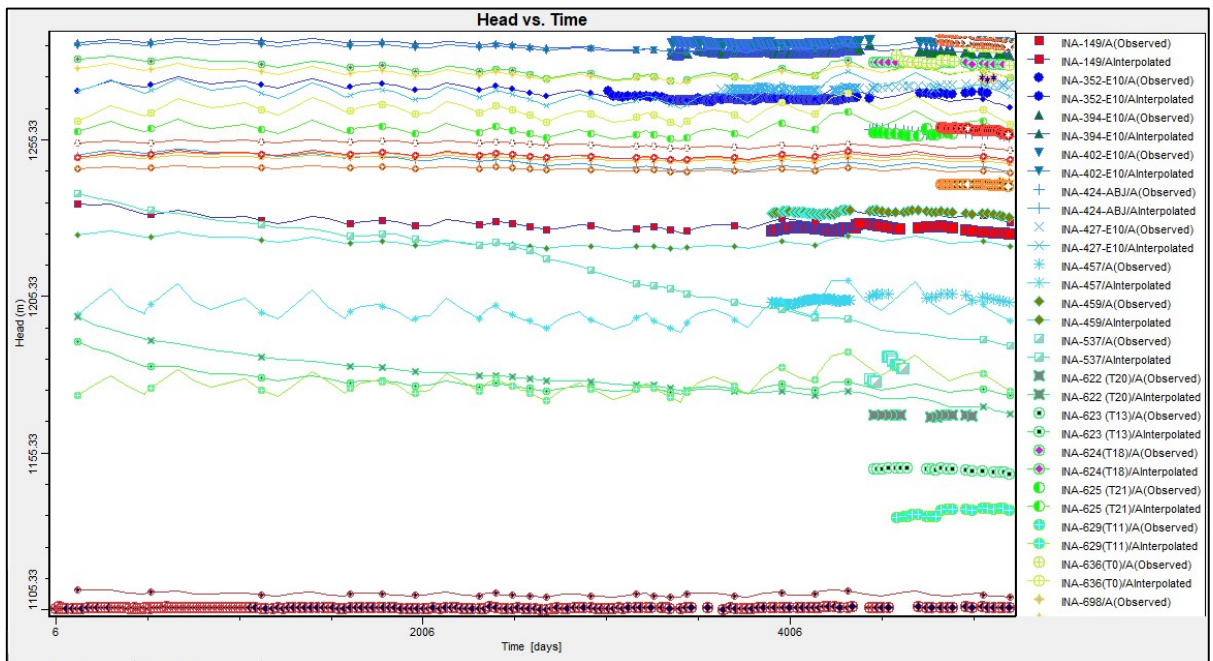


Figura 6.23: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo H: Externos 1 (Externos as cavas).



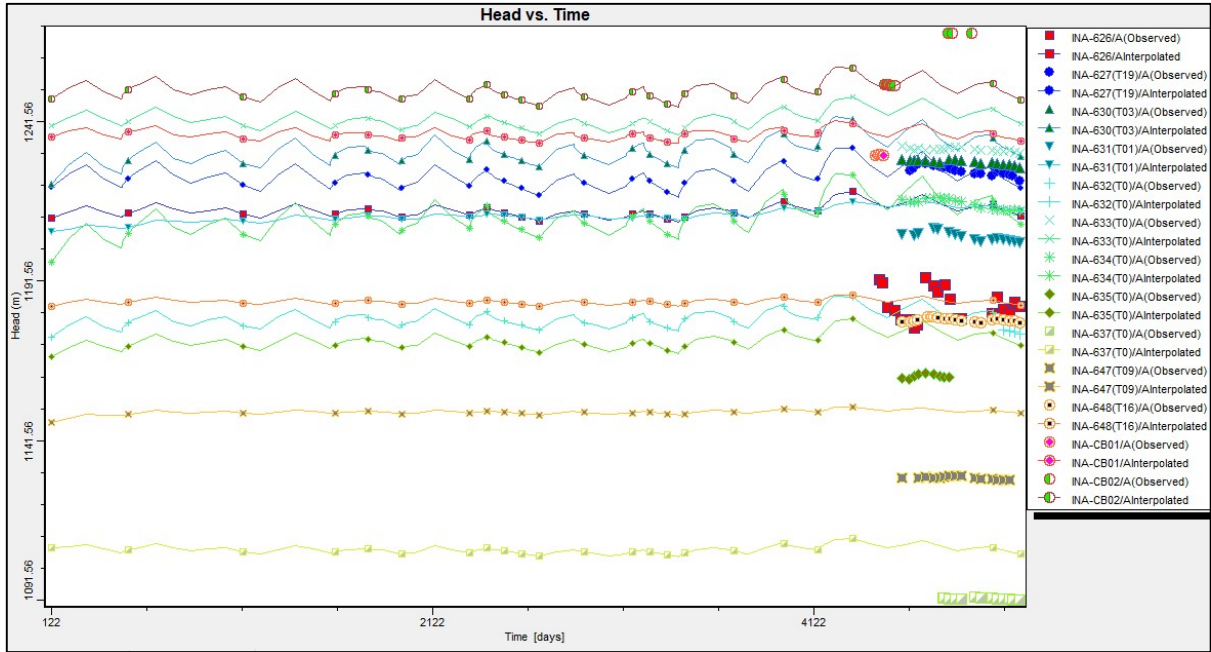


Figura 6.24: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo I: Externos 2 (Instrumentos Regionais).

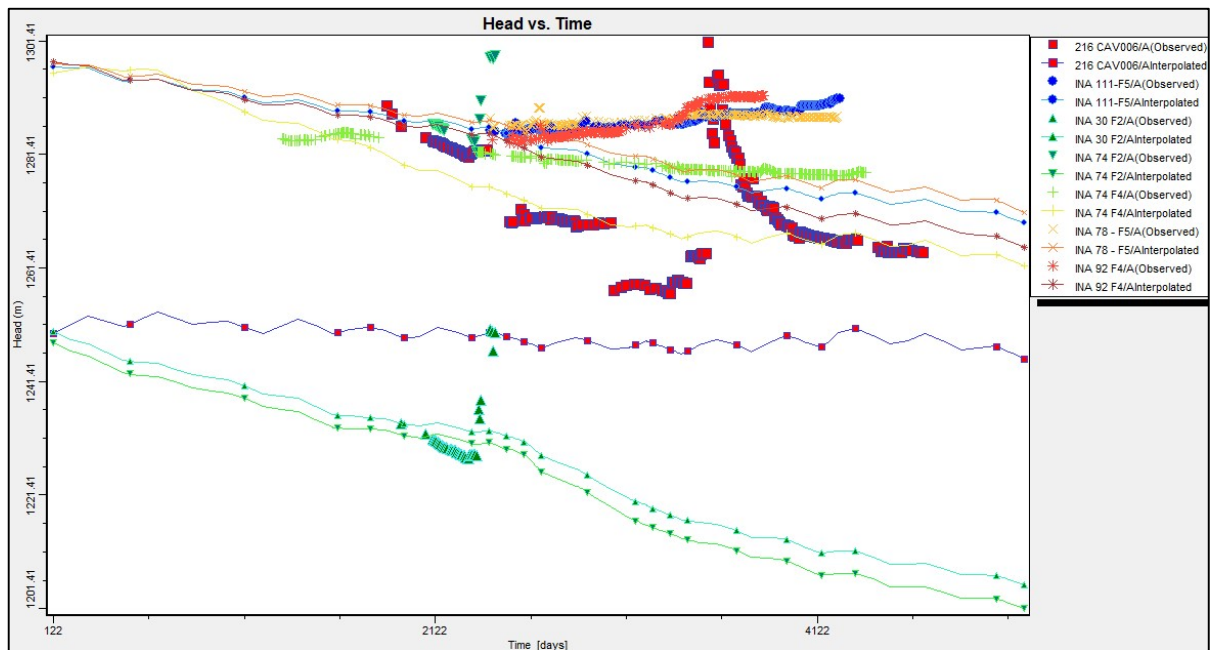


Figura 6.25: Comparação dos níveis d'água observados e calculados no período de calibração – Grupo J: Instrumentos Anômalos.

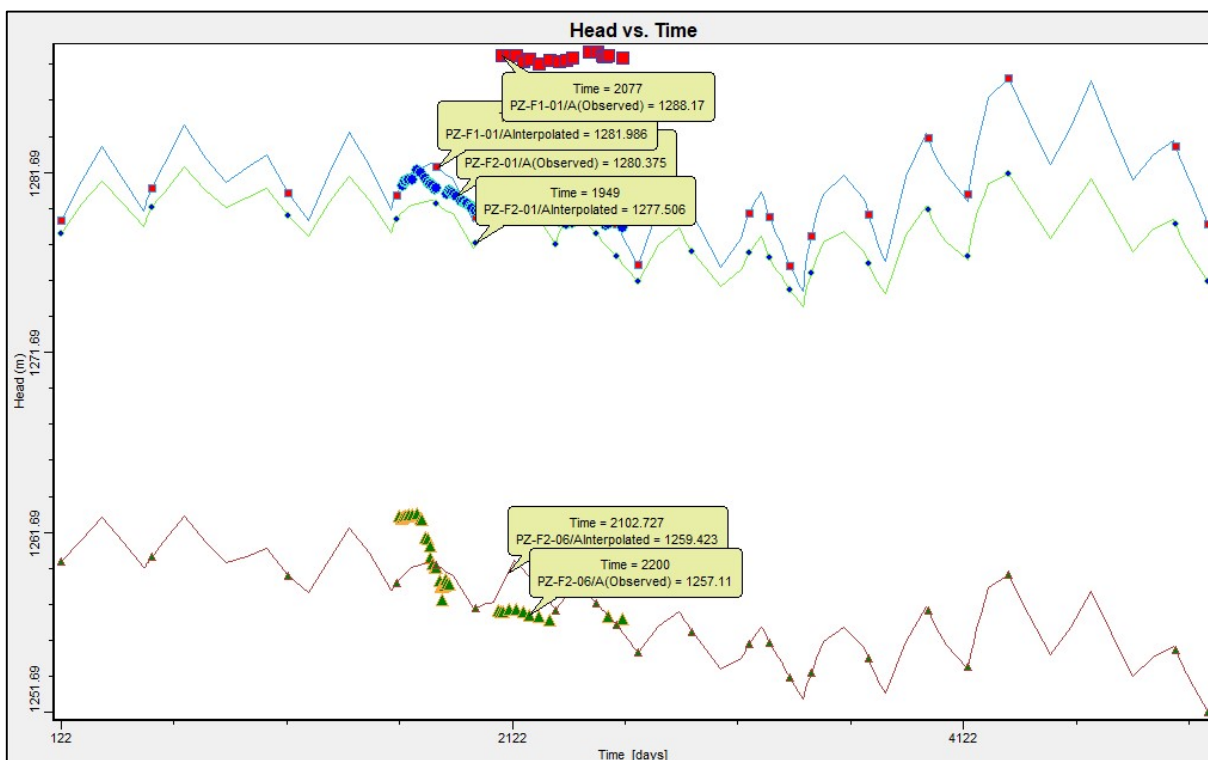
### 6.3.3.5.1 Considerações sobre a calibração do nível d'água

A seguir, algumas considerações sobre a calibração do nível d'água em regime transiente, na mesma sequência das figuras anteriores:

- Grupo A (Bigorna Sul): Essa região em geral apresentou uma calibração muito boa, com valores observados e calculados ou bastante próximos ou seguindo a mesma tendência de rebaixamento, com inclinação similar entre as curvas.

A calibração adequada desses instrumentos se faz essencial, pois são instrumentos que se localizam próximos a poços de rebaixamento, em especial ao poço pioneiro (PR-01), que permanece ativo atualmente. Nota-se que o processo de rebaixamento vinculado a esses poços foi bem calibrado nesse setor.

- Grupo B (Bigorna Oeste): Nessa região temos um bom ajuste para os instrumentos PZ\_F1\_01, PZ\_F2\_01, PZ\_F2\_02 e PZ\_F2\_06, com níveis calculados próximos aos observados em campo, como demonstrado na Figura 6.26. Os demais instrumentos dessa região (CC\_01, PZ-04 e PZ\_F2\_04) possuem uma maior divergência entre os valores calculados e monitorados, contudo, observa-se que a tendência de variação do nível d'água observada nos dados de campo é a mesma calculada pelo modelo, fato que ameniza tal situação.



**Figura 6.26: Comparação dos níveis d'água observados e calculados nos instrumentos PZ\_F1\_01, PZ\_F2\_01 e PZ\_F2\_06 (Grupo B).**

Destaca-se ainda, que os instrumentos setorizados na região oeste de Bigorna estão localizados nas proximidades das pilhas de estéril, ou seja, mais susceptíveis a alterações do nível de água devido a recarga das pilhas.

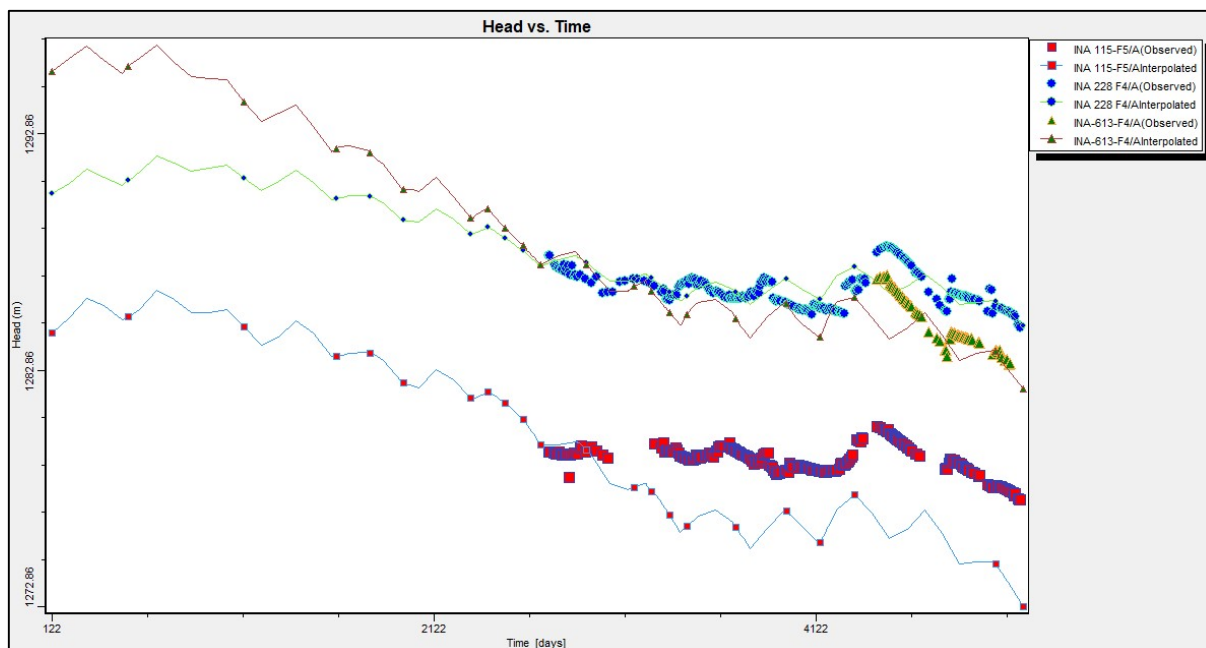
- Grupo C (Bigorna Centro): Os instrumentos pertencentes a essa região apresentam uma boa calibração, com níveis de água calculados próximos ao valor real. A exceção se dá no INA-75, que apresenta uma diferença mais significativa, com valores observados maiores em até 20 metros na comparação com os calculados.

- Grupo D (Bigorna Norte): Esse setor apresenta uma calibração satisfatória na maioria dos instrumentos, com exceção do INA-26, que apresenta dados calculados inferiores aos dados reais (em média 10 metros de diferença). Entretanto, esse instrumento apresenta uma taxa de rebaixamento calculada muito similar a real, fato que pode indicar que o erro está no valor de partida (valor inicialmente calculado).

- Grupos E e G (Bigorna Leste e Cava Leste): Os níveis de água calculados pelo modelo nessas regiões, geralmente, estão abaixo dos níveis reais monitorados em campo, indicando um subestimativa do modelo numérico na porção leste de Bigorna. Ressalta-se que instrumentos presentes nesses setores possuem dados monitorados num curto e mais recente intervalo de tempo, acarretando um desconhecimento de como os níveis d'água se comportavam no início do período contemplado na calibração, fato que, provavelmente, dificultou um melhor ajuste nesse setor. Vale destacar também que os três instrumentos com maior número de registros de nível de água real, INA-334, INA-540 e PZ-05, apresentam uma ótima calibração.

- Grupo F (Frentes 4, 5 e 6): De forma geral, nesta região os valores calculados pelo modelo estão próximos aos valores observados. Dentre os 20 instrumentos pertencentes a esse grupo, apenas 3 estão com níveis calculados muito discrepante dos monitorados (74-F4, 615 e 618).

Nota-se que os instrumentos que apresentam as maiores séries de dados dentro do Grupo F (INA-613, INA-115 e INA-228), são também os que possuem a melhor aproximação entre os valores monitorados e calculados, como evidenciado na Figura 6.27, fato que reforça o bom ajuste dos valores calculados pelo modelo nesse grupo.



**Figura 6.27: Comparação dos níveis d'água observados e calculados nos instrumentos INA-613, INA-115 e INA-228 (Grupo F).**

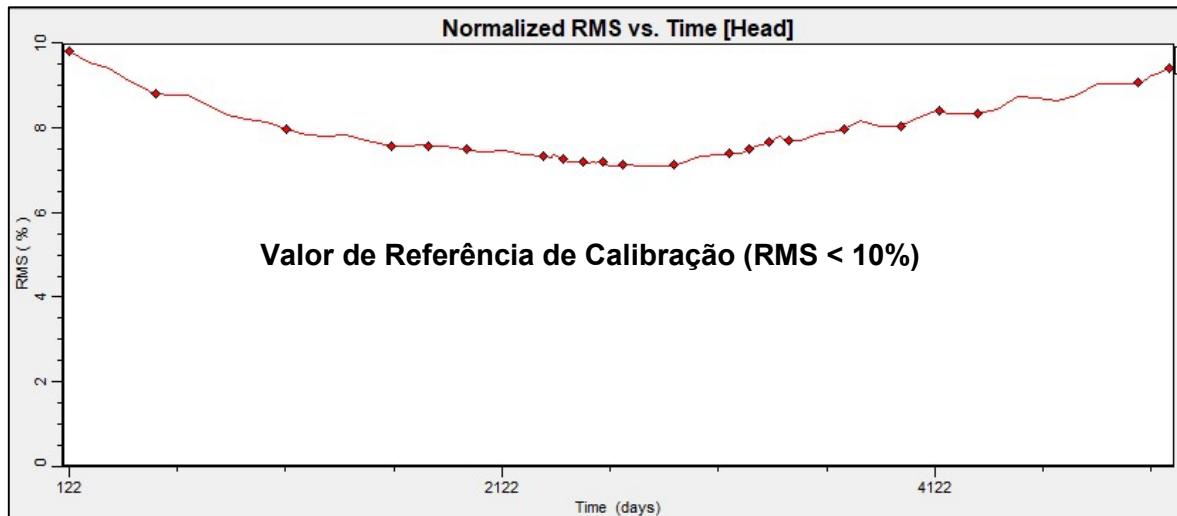
- Grupos H e I (Externos as cavas e Instrumentos regionais): Os piezômetros externos as cavas e os instrumentos regionais apresentaram calibração satisfatória, com padrão evolutivo caracterizado pela ausência da influência do rebaixamento do nível d'água. Ressalta-se que as pequenas oscilações na cota do nível d'água observadas nesses instrumentos são decorrentes do regime de precipitação sazonal.

Nota-se ainda, que alguns instrumentos externos, apesar da proximidade entre si, apresentam níveis d'água (observados) bastante diferentes, o que pode estar associado a erro de cotas topográficas, erro de leituras, ou a existência de níveis d'água suspensos. Desta forma recomenda-se que seja checada a cota de boca e as leituras desses instrumentos regionais, além de uma avaliação criteriosa de que sistemas hidrogeológicos estes monitoram.

Destaca-se que, o erro médio normalizado RMS (“erro quadrático médio normalizado”), utilizado como parâmetro de calibração global para a totalidade de instrumentos, está em, praticamente, todos os períodos de calibração (57) abaixo dos



10% estabelecidos pela EPA <sup>1</sup>, atestando a qualidade da calibração para os níveis d'água global, o que pode ser observado na Figura 6.28.



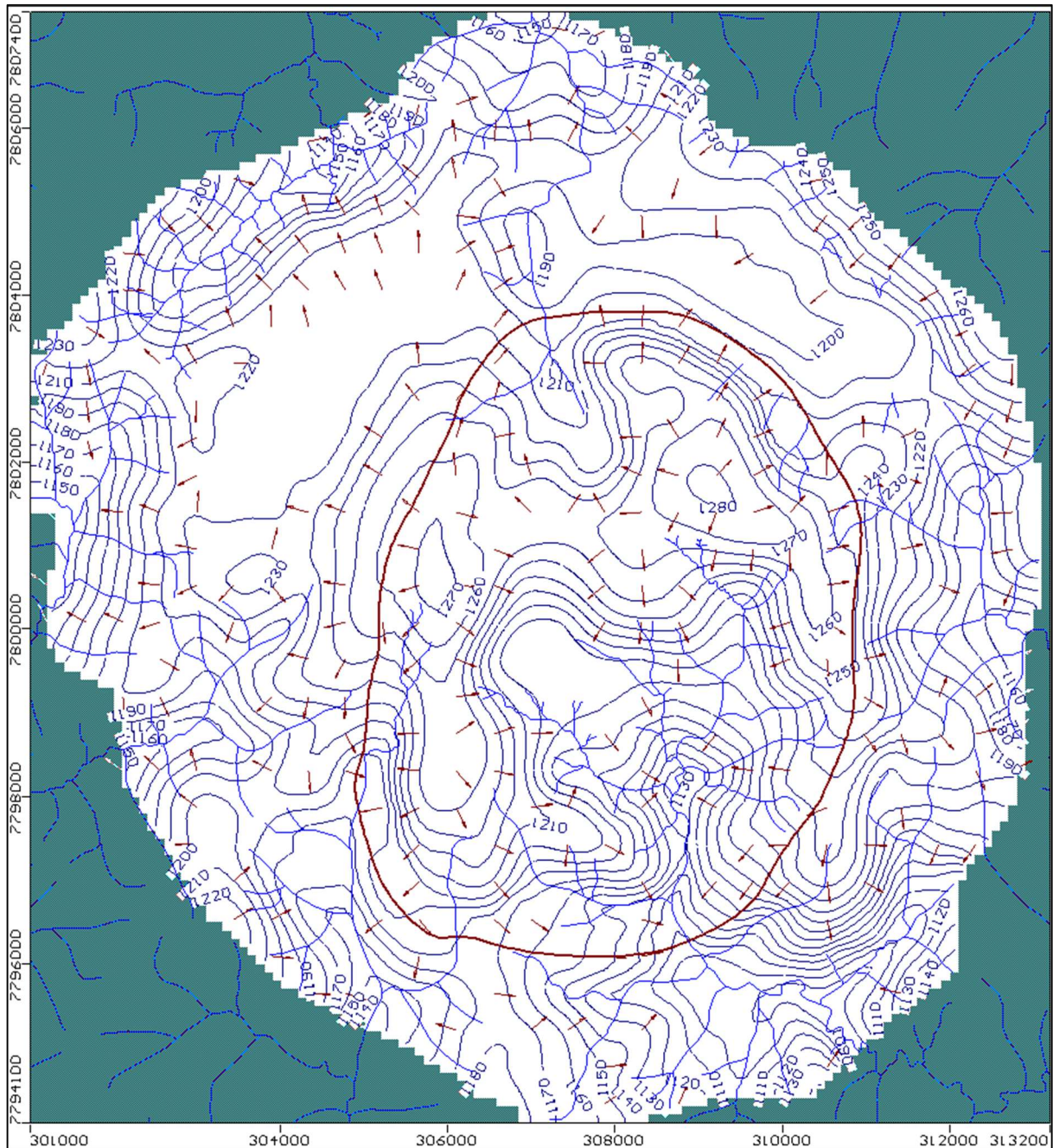
**Figura 6.28: Erro médio normalizado - RMS ao longo de todos os períodos da calibração**

Portanto, considerando-se os instrumentos e o banco de dados de nível d'água disponíveis e os resultados obtidos no modelo, pode-se afirmar que foi alcançada uma boa calibração do nível d'água subterrâneo no modelo.

A Figura 6.29 representa a superfície do nível d'água final em agosto de 2021 no modelo calibrado em regime transiente, com setas direcionais indicando a direção do fluxo de água subterrânea. As isolinhas ao final da calibração correspondem ao nível d'água atual, base para a etapa de simulação.

Ressalta-se que essa figura é meramente ilustrativa em um único plano, sendo a correta visualização dos níveis d'água calibrados realizado em análise tridimensional, nos planos X, Y e Z do modelo.

<sup>1</sup> O limite satisfatório do erro médio normalizado - RMS, estabelecido pela Environmental Protection Agency (EPA) é de 10%. Parâmetro de referência utilizado historicamente pela MDGEO em seus modelos.



**Figura 6.29: Isolinhas equipotenciais do nível d'água de 10 em 10 m ao final da calibração - agosto de 2021 (período 57 - 5206 dias) – layer20.**

### **6.3.3.6 Vazão nos córregos / pontos de medição de vazões – Zonas de balanço**

Outro critério utilizado para calibração do modelo numérico é a calibração de vazões, através do programa Zone Budget. Nesta etapa de calibração foram controladas as vazões dos córregos, drenagem das frentes de lavra da cava e drenos das barragens. Nessa análise, são comparados os dados calculados em cada zona de balanço com os dados reais monitorados em agosto de 2021.

A quantidade de água que escoar pela face de cada célula do dreno é determinada pela condutância, expressa em  $m^2/h$ . Nessa etapa de calibração, também foram calibradas as condutâncias dos drenos, visando alcançar a melhor aproximação entre as vazões produzidas pelos mesmos (quantificadas nas zonas de balanço) e as vazões monitoradas nos respectivos vertedouros.

A condutância foi modificada sucessivamente até alcançar uma calibração satisfatória para a vazão dos drenos. Os valores variaram entre 6 e 20  $m^2/dia$ . Aliado a calibração das demais condições de contorno, o ajuste da condutância proporciona uma melhor aproximação entre os dados monitorados e calculados pelo modelo, sobretudo as vazões.

Os gráficos adiante apresentam os valores comparativos entre as vazões calculadas em cada zona de balanço na calibração em regime transiente e as vazões observadas (monitoradas em campo) nos vertedouros, para todo o período entre maio de 2007 e agosto de 2021, em  $m^3/dia$ .

As zonas de balanço 2, 3, 5, 6 e 7 são responsáveis por avaliar as vazões pertencentes aos cursos de água que fazem parte da bacia do Córrego da Mata (Córrego da Mata e seus afluentes principais). Destaca-se que esses córregos foram monitorados por todo o período da calibração em transiente.

As figuras Figura 6.30 e Figura 6.31 apresentam as zonas de balanço 2 e 3, discretizadas ao longo do próprio córrego da mata, e são comparadas aos valores monitorados nos instrumentos VT-01 e VT-03, respectivamente.



A zona de balanço 5 (Figura 6.32) compara o valor calculado pelo modelo com o dado monitorado em campo no instrumento VT-04, localizado no Córrego da Cachoeira. Já as zonas de balanço 6 e 7 foram associadas no modelo às vazões observadas nos instrumentos VT-05 (Córrego dos Pilões - Figura 6.33 ) e VT-06 (Córrego Canjerana - Figura 6.34).

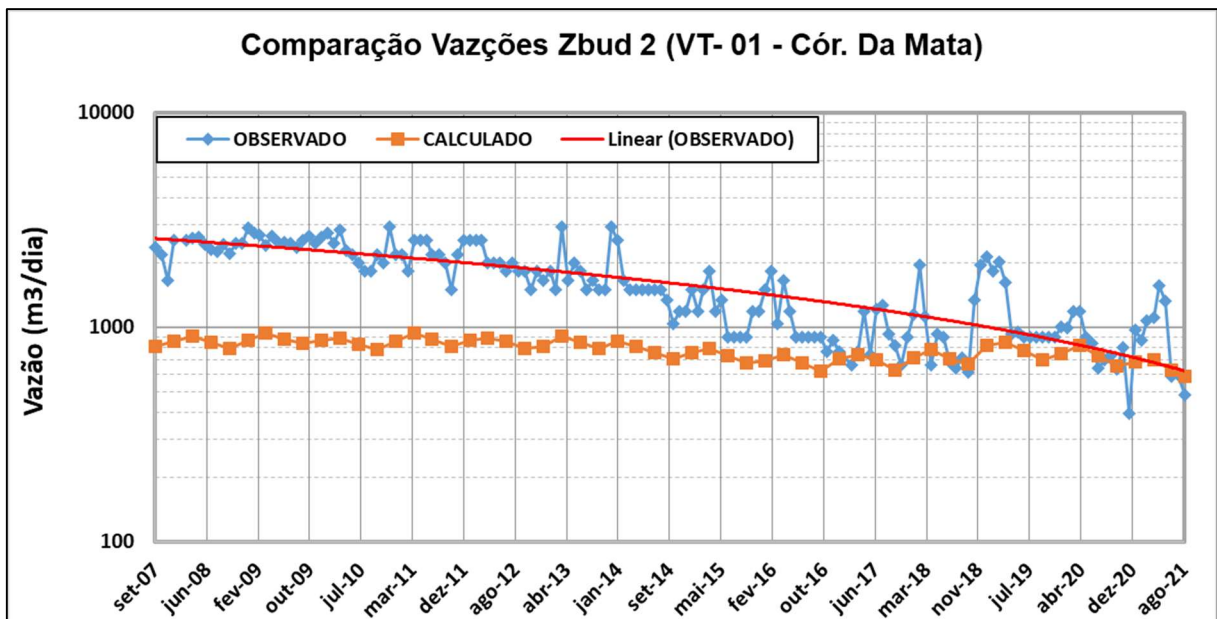


Figura 6.30: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 2.

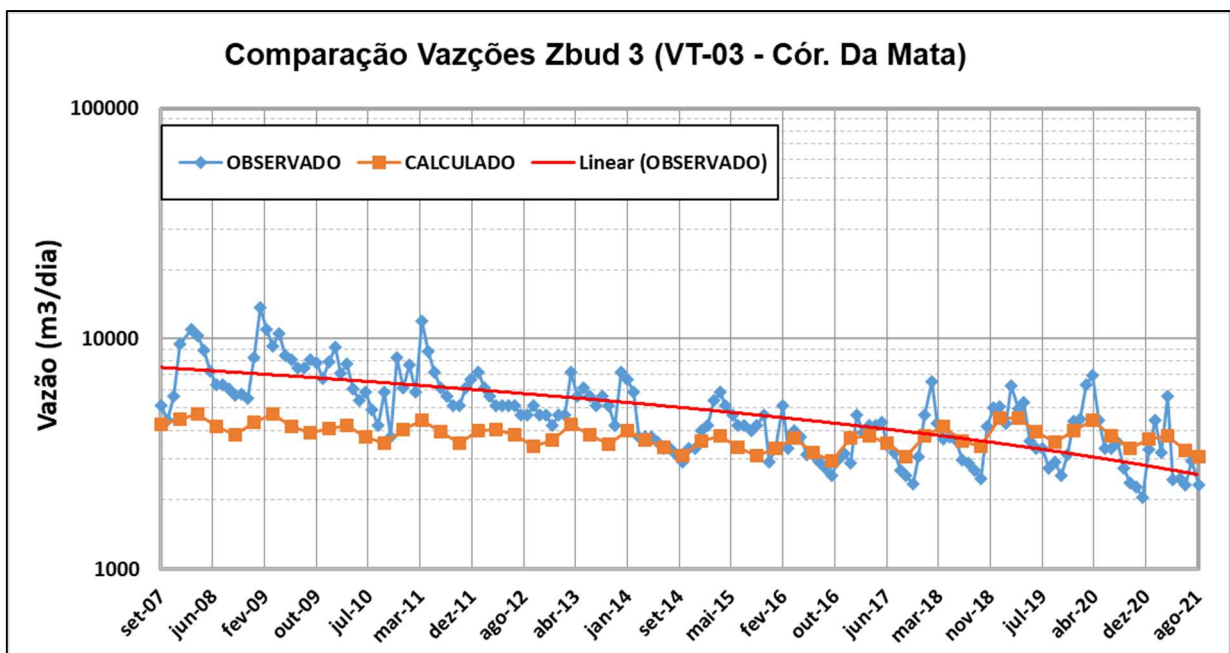


Figura 6.31: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 3.



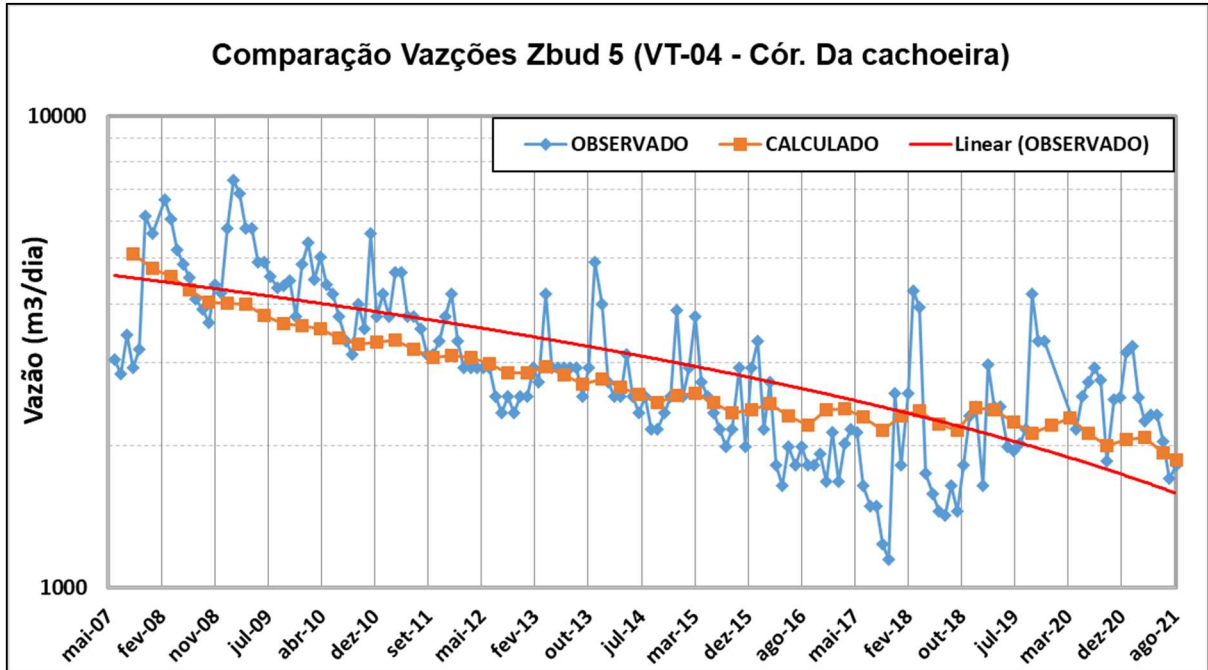


Figura 6.32: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 5.

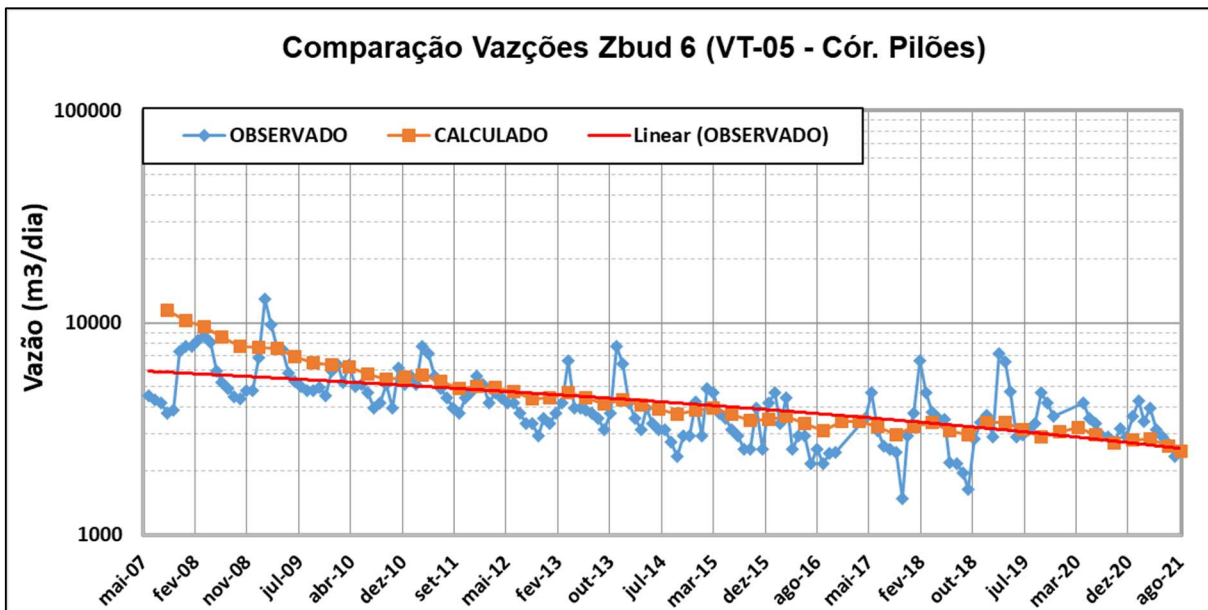


Figura 6.33: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 6.

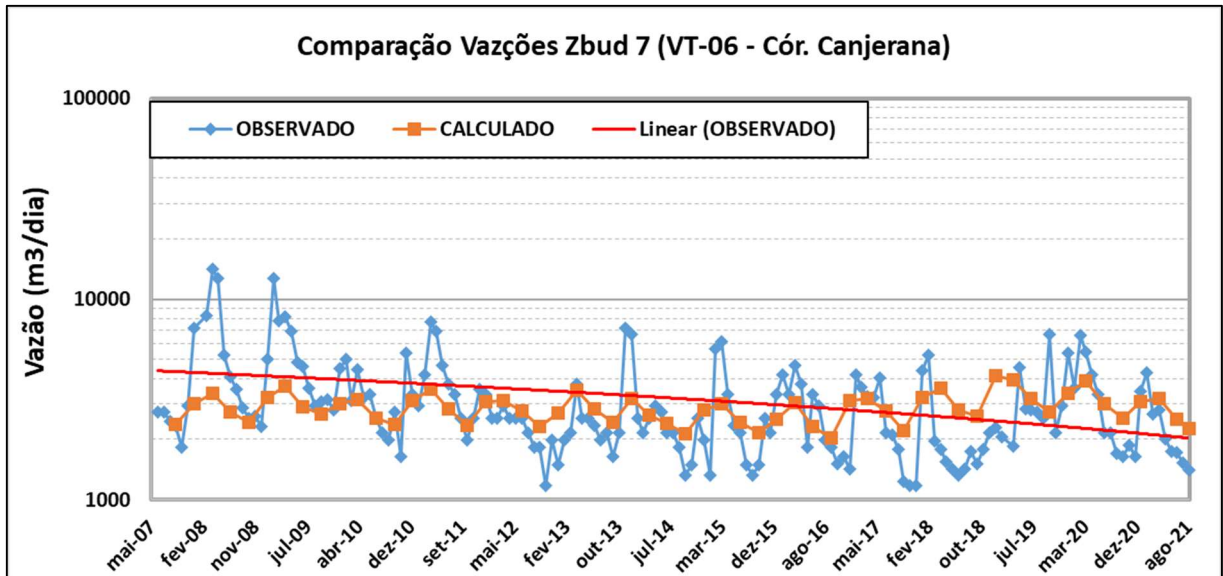


Figura 6.34: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 7.

Pela análise dos dados expostos acima, pode-se dizer que as vazões calculadas nas zonas de balanço, pertencentes à bacia do Córrego da Mata, em geral, estão bem calibradas. Nota-se que existe uma tendência de os valores calculados serem relativamente inferiores, porém da mesma ordem de grandeza, daqueles monitorados em campo. Essa tendência já era esperada, afinal, o modelo numérico de fluxo de água subterrânea não considera nos cálculos a parcela de água superficial (chuva e escoamento superficial).

Na calibração de vazões, o foco é a comparação com as vazões mínimas, que correspondem ao escoamento de base dos córregos (água subterrânea) nos períodos de estiagem, sem a influência da precipitação.

Na parte Oeste do modelo, próximo ao limite do Domo, tem-se as zonas de balanço 11 (VT-19 – Cór. Canoas) e 18 (VT – 20), apresentadas nas Figura 6.35 e Figura 6.36. Enquanto na porção leste, localizam-se as zonas 19 (VT-221 - Figura 6.37), 20 (VHM\_CESCUROM - Figura 6.38) e 21 (Cór. Capão Escuro - Figura 6.39).

As vazões calculadas nessas zonas também apresentaram ajuste satisfatório, com vazões coerentes em grande parte do período da calibração. Note-se que, nas zonas 18 e 20 as vazões calculadas pelo modelo estão levemente subestimadas.

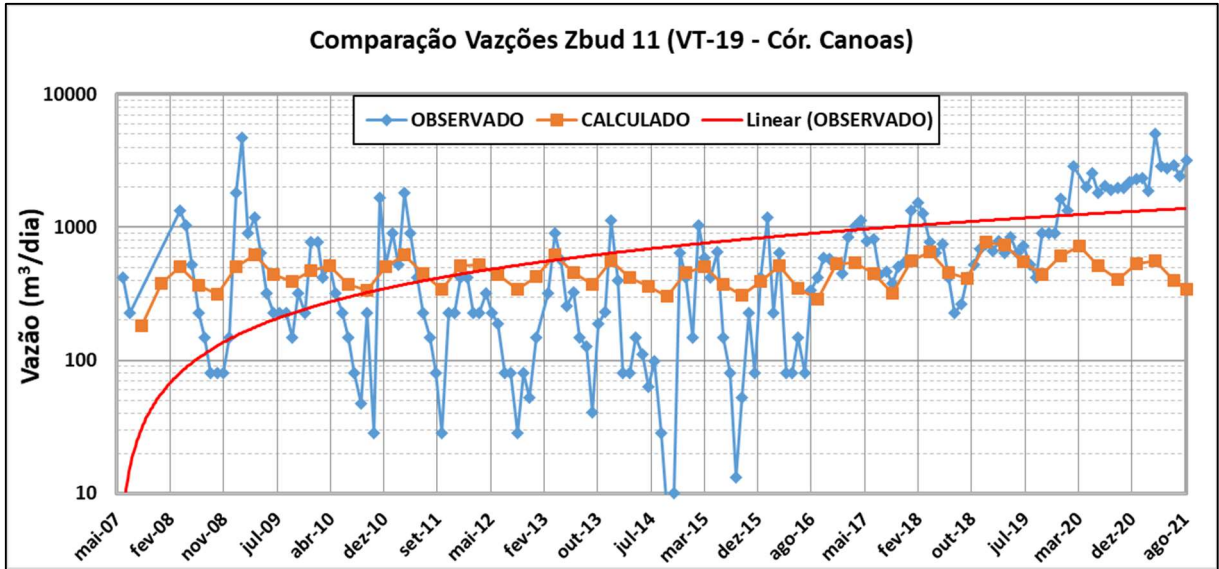


Figura 6.35: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 11.

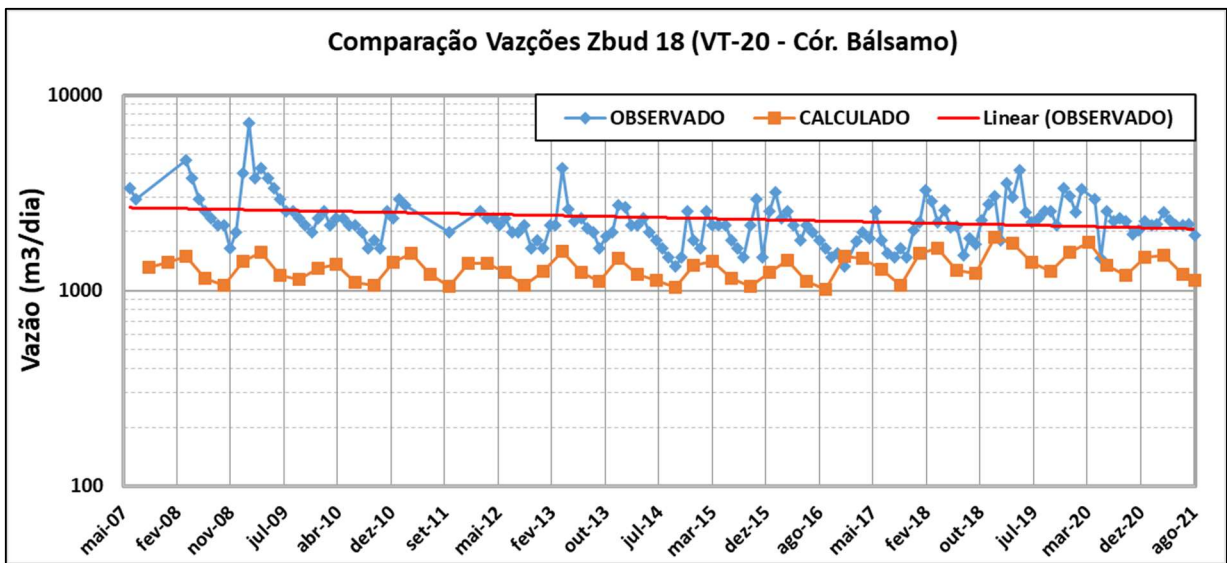


Figura 6.36: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 18.

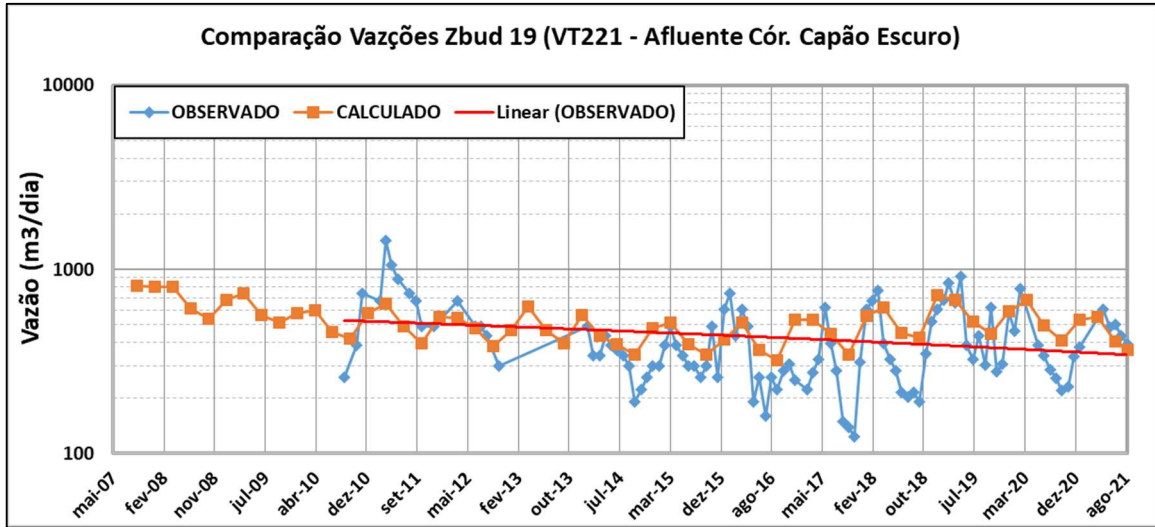


Figura 6.37: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 19.

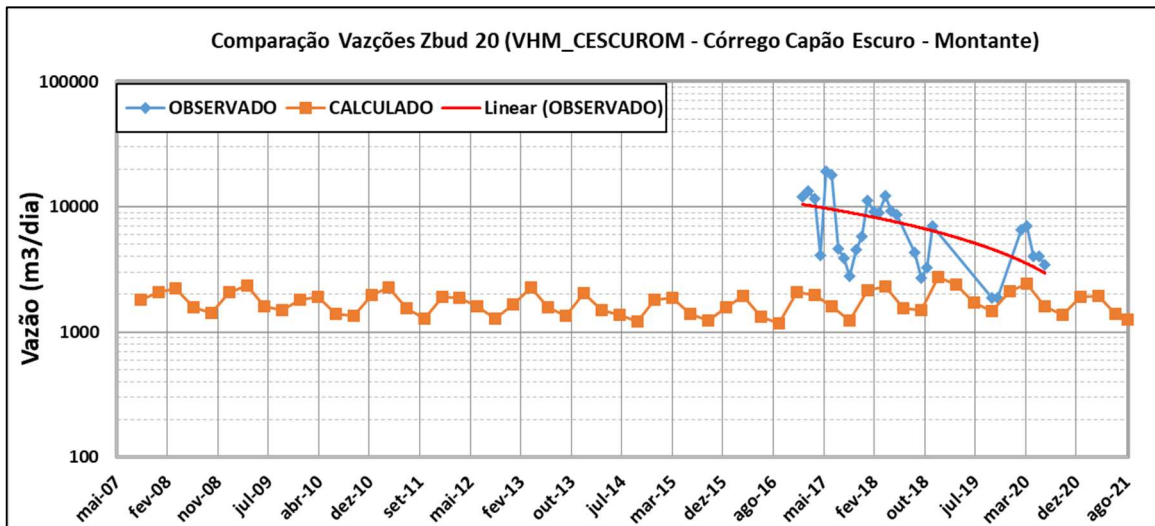


Figura 6.38: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 20.

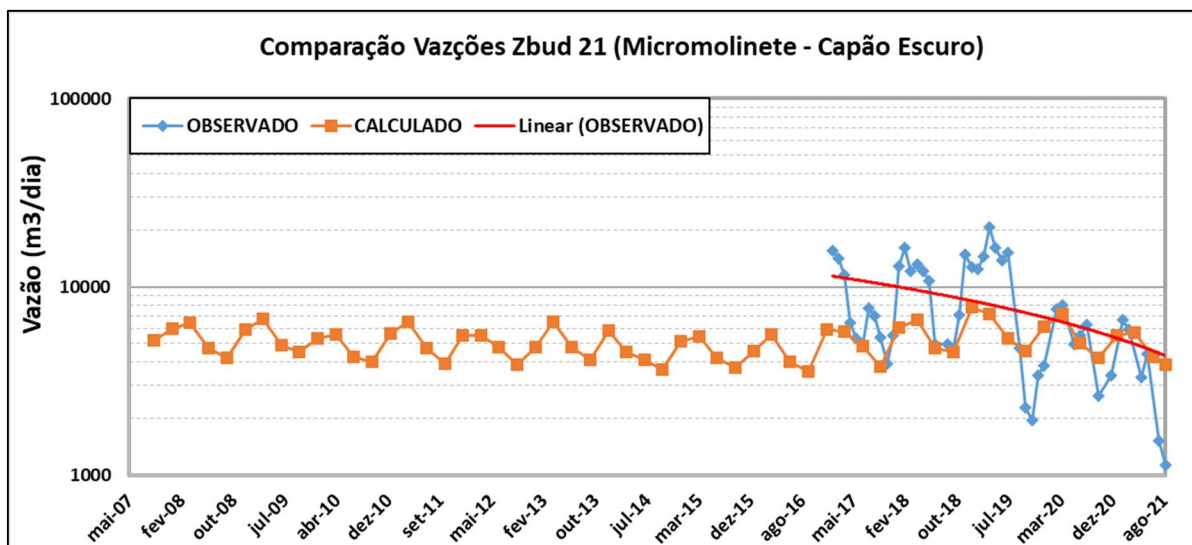


Figura 6.39: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 21.



Os córregos Bom Jardim 1 e Bom Jardim 2, localizados na parte Oeste do modelo, possuem monitoramento via micromolinete desde fevereiro de 2017, e suas vazões comparadas, observadas versus calculadas pelo modelo, estão apresentadas nas figuras a seguir (Figura 6.40 e Figura 6.41).

Nota-se que ambos os córregos estão com vazões calculadas abaixo das vazões reais, uma subestimativa do modelo nessa região. Esse cenário ocorre, provavelmente, pela pouca existência de dados hidrogeológicos disponíveis para essa área, fato que dificulta um ajuste melhor.

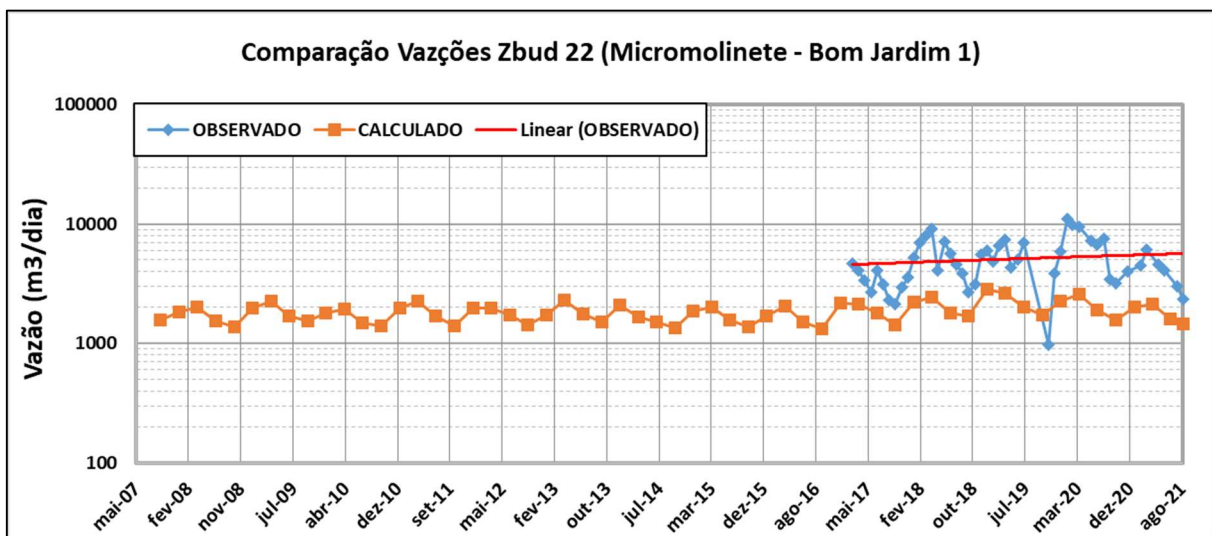


Figura 6.40: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 22.

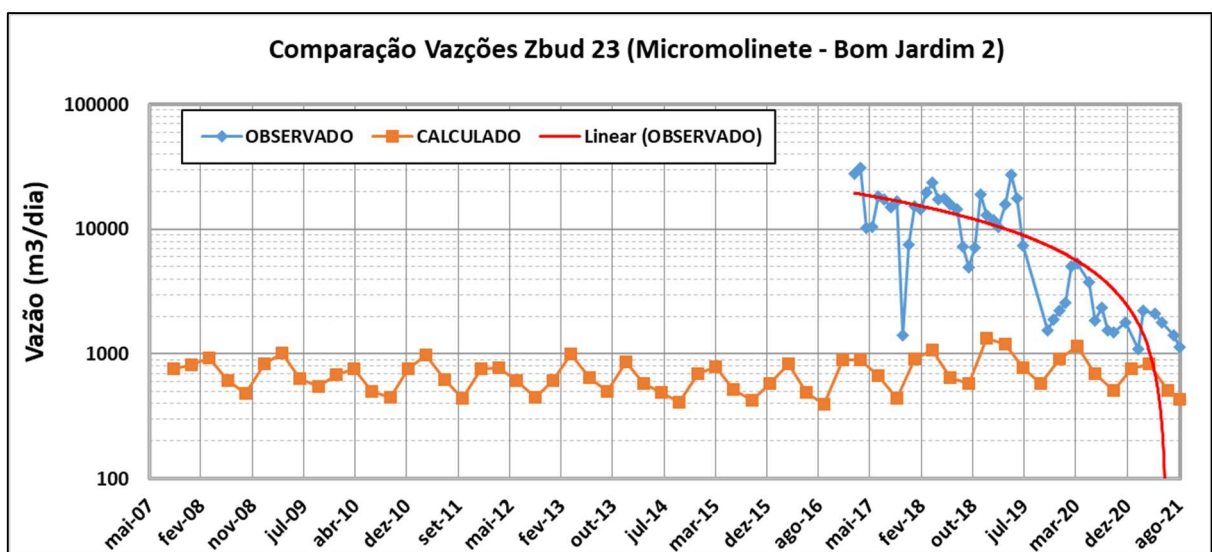


Figura 6.41: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 23.

Na região Sul do modelo, próximo ao município de Tapira, foram discretizadas zonas de balanço sobre os córregos principais, zona 24 (Córr. Barcelos), zona 25 (Córr. Areias), zona 26 (Córr. Antas) e zona 27 (Córr. Fruteiras). A comparação entre as vazões observadas e calculadas nesses locais são ilustradas pelos gráficos das figuras abaixo (Figura 6.42, Figura 6.43, Figura 6.44 e Figura 6.45).

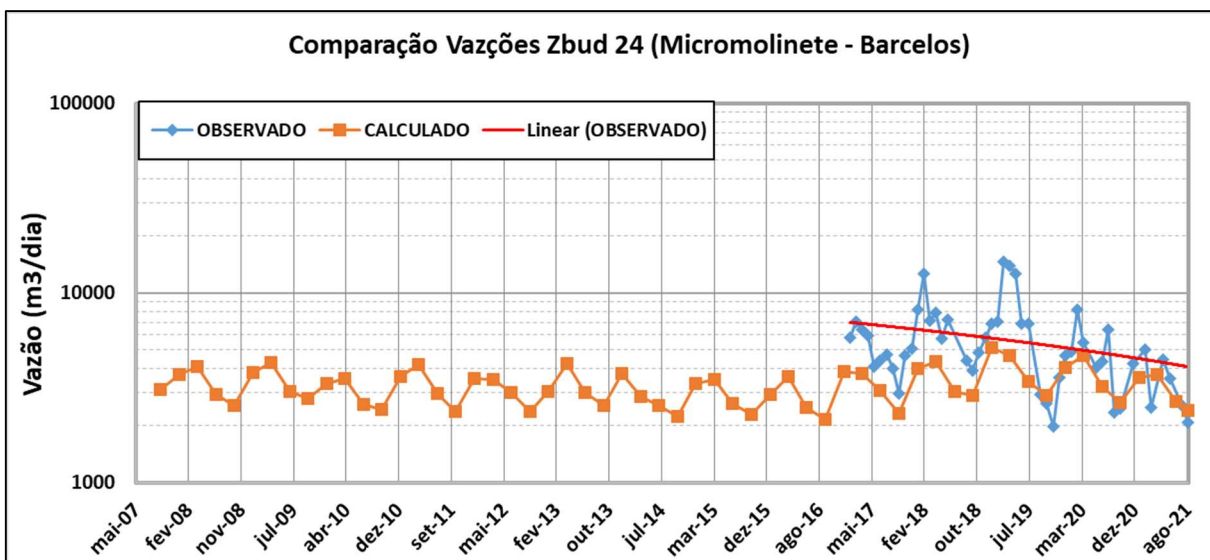


Figura 6.42: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 24.

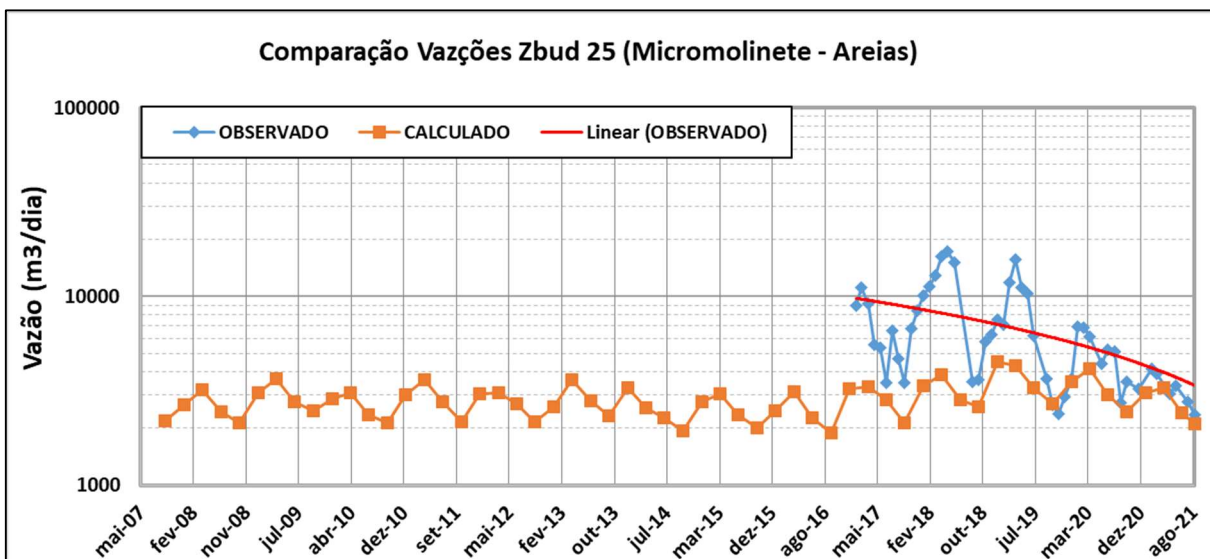


Figura 6.43: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 25.

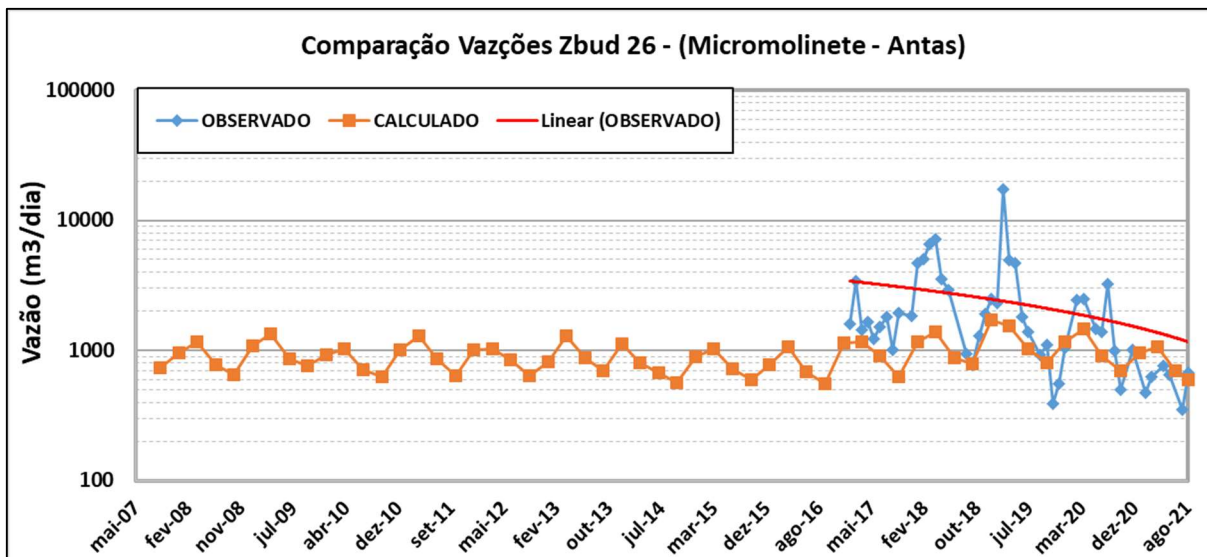


Figura 6.44: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 26.

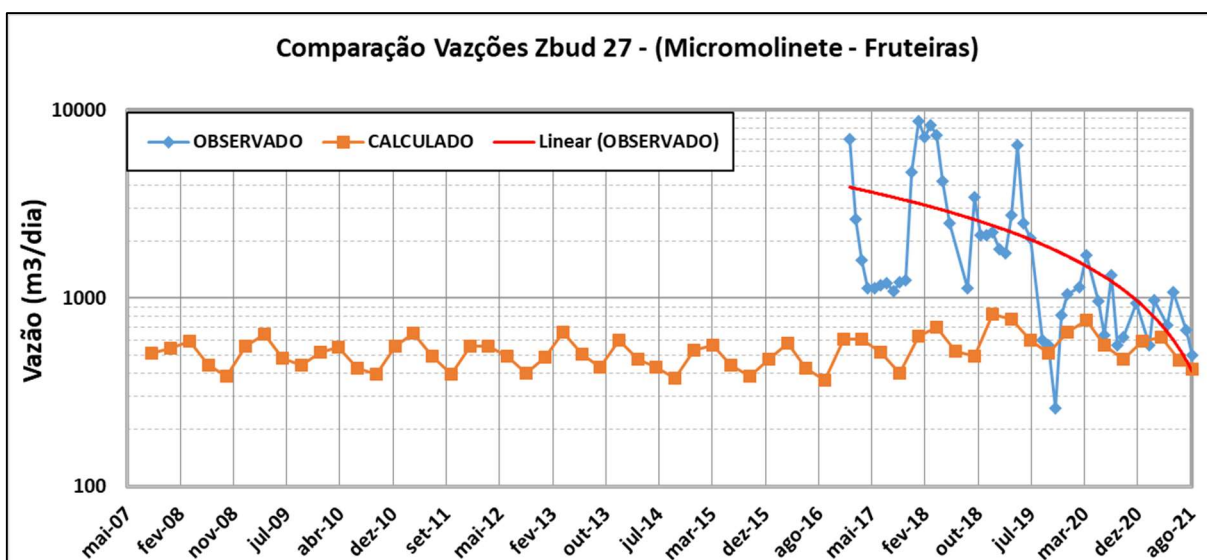


Figura 6.45: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 27.

As zonas de balanço supracitadas, apesar de exibirem pequenas séries de dados observados e grande amplitude de valores, apresentam mínimas monitoradas coerentes com as vazões calculadas pelo modelo.

Com relação às vazões monitoradas dentro da cava pelas calhas TC-03 e F5-6 (zona de balanço 10 - Figura 6.46), observa-se uma boa correlação entre os valores médios calculados pelo modelo (da ordem de 8.000 m³/dia), da mesma ordem de grandeza das vazões mínimas monitoradas nas calhas (períodos de estiagem - considerando apenas a contribuição de água subterrânea). Ressalta-se que o

monitoramento das calhas aconteceu entre os anos 2007 e 2015, contudo, em vários períodos as calhas não apresentam dados concomitantes.

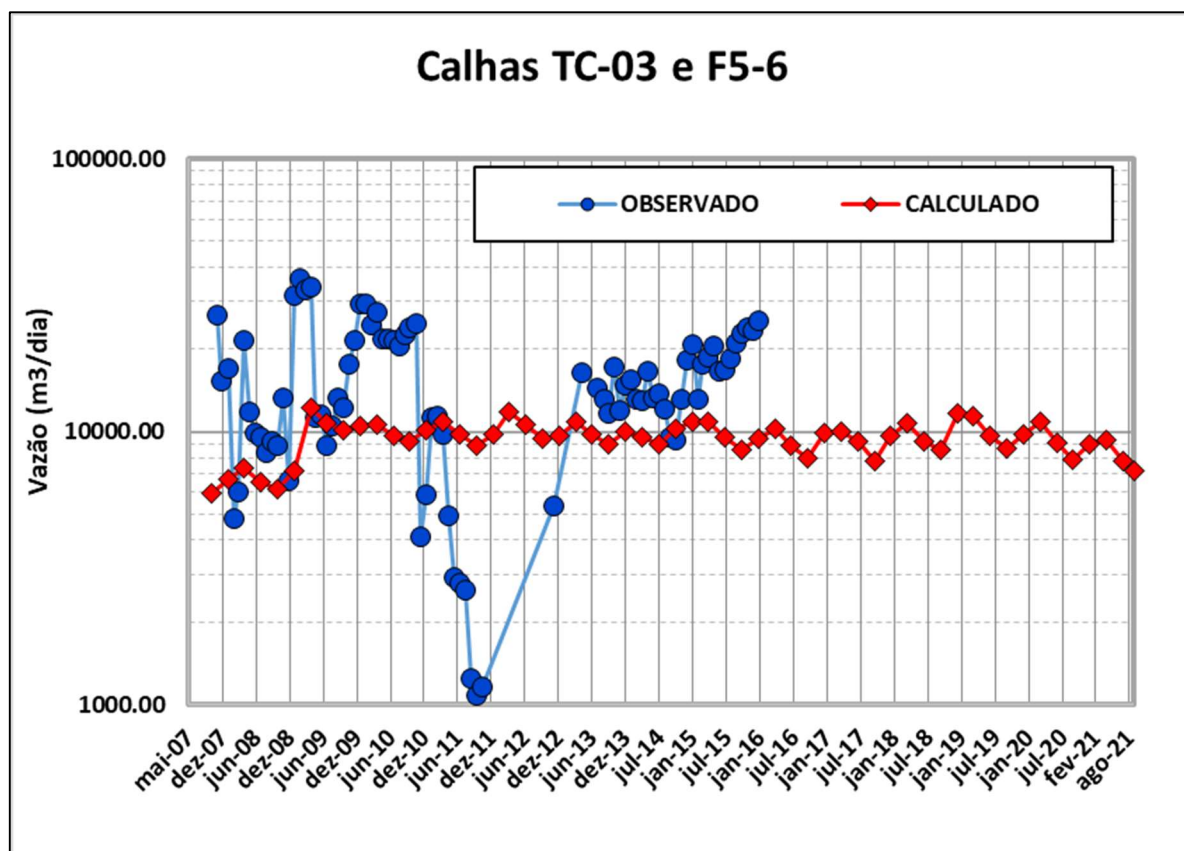


Figura 6.46: Comparação entre as vazões observadas e calculadas pelo modelo - Z\_bud 10 (Calhas TC-03 e F5-6).

As zonas de balanço ativas são aquelas nas quais os cursos de água que elas representam permanecem sendo monitorados atualmente. A Tabela 6.15 apresenta essas zonas ativas e inicia uma comparação entre os valores observados em campo (monitorados) e os valores calculados pelo modelo ao final da calibração.

Além dos gráficos anteriores, com a comparação temporal dos valores de vazões monitoradas e calculadas pelo modelo, também é apresentado a seguir uma comparação gráfica e numérica das vazões monitoradas e calculadas pelo modelo ao final do mês de setembro de 2020 (Figura 6.47). Esse mês foi considerado como base para a comparação, por corresponder ao final do período de stress do período seco de toda a calibração, uma vez que no ano de 2021, a calibração foi até o mês de agosto.

Esse período – final de setembro (de 2020 e dos anos futuros), será a base de comparação entre as vazões calculadas na etapa de calibração e nas etapas de



simulações de cenários de cavas planejadas/rebaixamento do nível d'água e, conseqüentemente, simulação de impactos nos cursos d'água a serem realizadas na próxima etapa do trabalho.

De toda forma, a título de comparação, os valores de vazão calculados pelo modelo para agosto de 2021 (último mês da calibração), também são muito semelhantes aos de setembro de 2020, o que também viabilizou tal comparação. No entanto, foram mantidos os valores calculados em setembro de 2020, de forma a possibilitar a comparação nas simulações nos anos seguintes, na próxima etapa do trabalho.

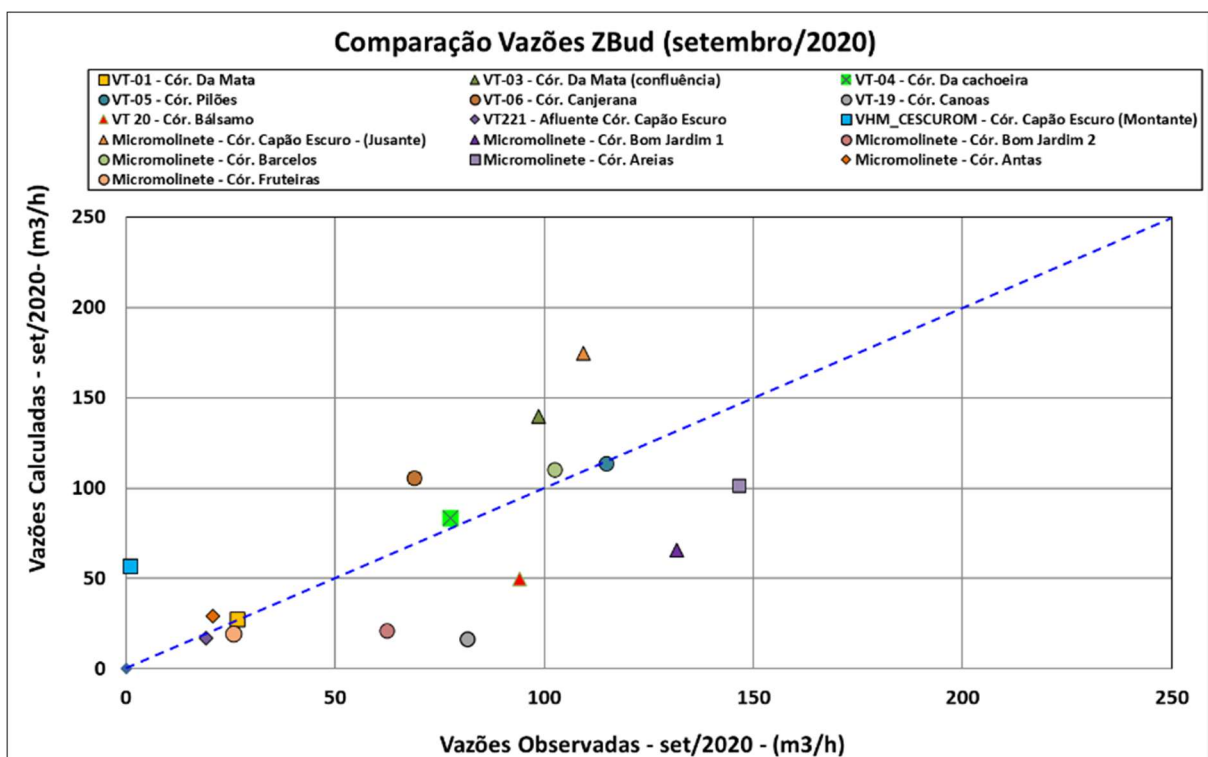
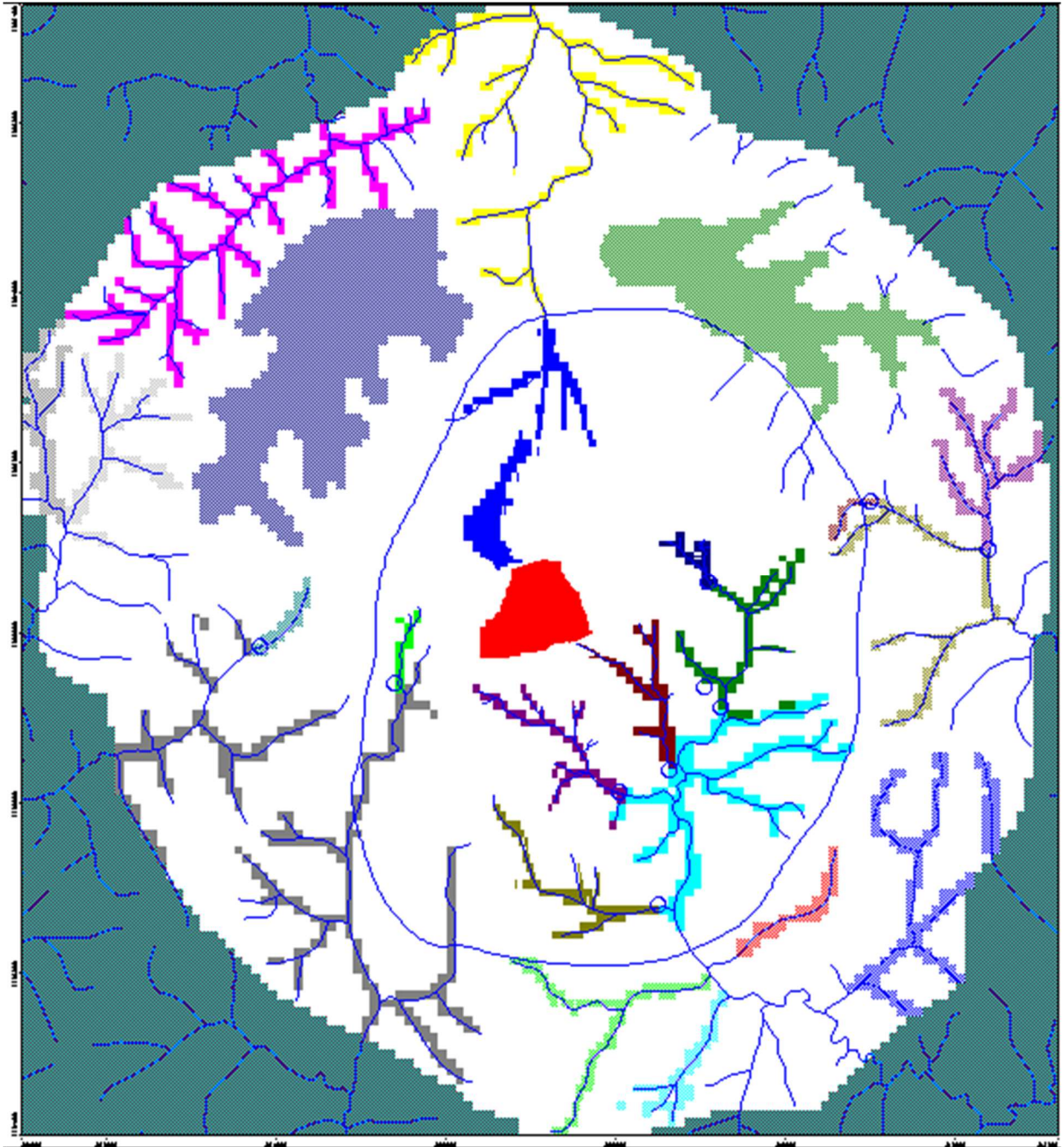


Figura 6.47: Zonas de Balanço Ativas – Comparação gráfica de vazões observadas (monitoradas) X calculadas (calibradas) para o final de setembro de 2020.

**Tabela 6.15: Zonas de Balanço Ativas - Comparação numérica de vazões observadas (monitoradas) X calculadas (calibradas) para o final de setembro de 2020.**

Zona de balanço (ATIVAS)	Local do Monitoramento	Calibração	
		Observado (setembro - 2020) - (m³/h)	Calculado (setembro - 2020) (m³/h)
2	VT-01 - Cór. Da Mata	26.6	27.39
3	VT-03 - Cór. Da Mata (confluência)	98.6	139.71
5	VT-04 - Cór. Da cachoeira	77.6	83.40
6	VT-05 - Cór. Pilões	114.8	113.66
7	VT-06 - Cór. Canjerana	68.8	105.62
11	VT-19 - Cór. Canoas	81.6	16.75
18	VT 20 - Cór. Bálsamo	94.2	49.87
19	VT221 - Afluente Cór. Capão Escuro	19.2	17.03
20	VHM_CESCUROM - Cór. Capão Escuro (Montante)	não monitorado	56.71
21	Micromolinete - Cór. Capão Escuro - (Jusante)	109.3	174.72
22	Micromolinete - Cór. Bom Jardim 1	131.7	65.93
23	Micromolinete - Cór. Bom Jardim 2	62.4	21.09
24	Micromolinete - Cór. Barcelos	102.5	110.40
25	Micromolinete - Cór. Areias	146.5	101.53
26	Micromolinete - Cór. Antas	20.7	28.98
27	Micromolinete - Cór. Fruteiras	25.7	19.62

Para facilitar a visualização, a Figura 6.48 ilustra novamente a localização das zonas de balanço aplicadas no modelo sobre os drenos que representam numericamente os cursos d'água monitorados pela MOSAIC.



**Figura 6.48: Ilustração das localizações das zonas de balanço aplicadas sobre os drenos que representam os cursos d'água monitorados.**

As vazões calculadas pelo modelo apresentam boa aproximação das vazões monitoradas no período calibrado, tanto em termos de variação/comportamento das curvas (oscilações sazonais e interferências), quanto em valores, sobretudo nos períodos secos, onde predomina o escoamento de base, ou seja, em que as vazões monitoradas são predominantemente provenientes de água subterrânea.

Numericamente, o gráfico e a tabela anteriores mostram uma boa correlação das vazões observadas (monitoradas) e calculadas pelo modelo. A comparação acima mostra que houve uma aproximação satisfatória dos valores observados e calculados para o final de setembro de 2020 (que por sua vez é semelhante a agosto de 2021). Existem diferenças em alguns pontos, sobretudo nos pontos mais distantes da mina / externos à chaminé alcalina, mas em termos geral, considera-se satisfatório o resultado de calibração das vazões, sobretudo no período seco dos últimos anos, que é o mais importante para a calibração das vazões.



## 7 SIMULAÇÕES DO AVANÇO DA LAVRA E DO REBAIXAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

---

A partir do modelo numérico recalibrado nas condições atuais até o ano de 2021 (também apresentado no relatório anterior R\_1112\_MDL\_MOSAIC\_TAPIRA\_2020\_R05), simulou-se no presente trabalho as novas cavas planejadas pela MOSAIC para os anos de **2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2030, 2040 e 2053 (cava final)**, totalizando oito cenários de simulação. Segundo informado, para fins de licenciamento todos esses avanços são englobados como Cava Leste.

O objetivo deste procedimento é introduzir numericamente estruturas de desaguamento nas novas frentes de lavra planejadas, visando atingir um nível d'água no modelo condizente com a topografia desses avanços, com as bancadas conformadas até 2053.

Em conformidade com as simulações realizadas nos modelos anteriores, as estruturas de rebaixamento utilizadas na simulação dos avanços de lavra e rebaixamento do nível d'água foram representadas pelo recurso numérico drenos (*Drains*), de maneira a alcançar uma superfície do nível d'água predominantemente abaixo das bancadas planejadas para cada ano.

A superfície do nível d'água final gerada no último período de stress da etapa de calibração do modelo em regime transiente foi utilizada como superfície inicial (*initial head*) para a etapa de simulação, que se deu de forma contínua de 2021 a 2053, em regime de escoamento transiente.

## 7.1 CENÁRIOS SIMULADOS

A simulação dos cenários foi realizada com base no planejamento de lavra, de acordo com os arquivos recebidos pela Mosaic em meio eletrônico (formato “dxf”), referentes aos avanços planejados para os anos de 2021 a 2025, 2030, 2040 e 2053.

A Figura 7.1 ilustra a conformação da cava atual considerada. Já os avanços referentes ao quinquênio 2021-2025 estão representados na Figura 7.2, com cada cor representando um avanço distinto.

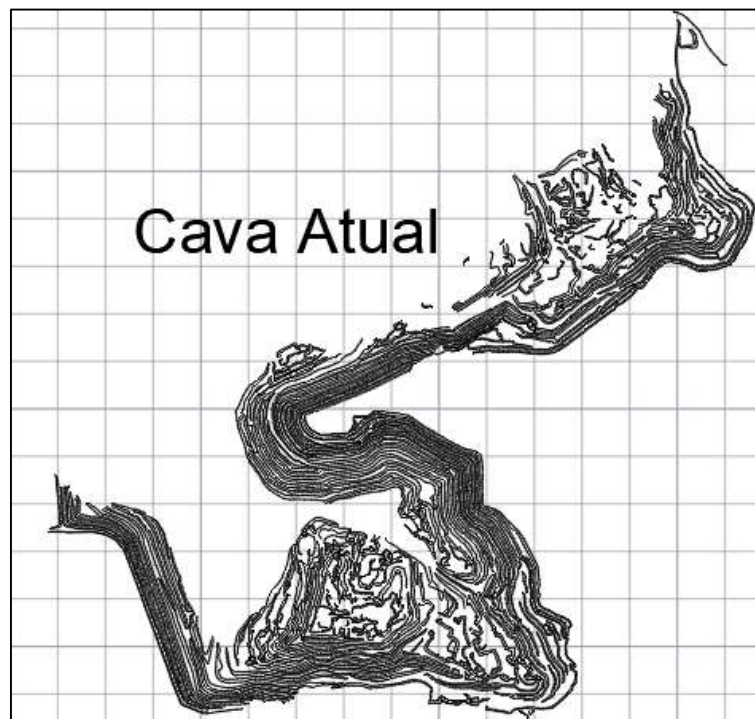


Figura 7.1: Cava atual.

Os avanços previstos para os próximos 5 anos concentram-se, na região da Bigorna, através do aprofundamento do bottom pit e uma expansão lateral das cotas superiores, nas frentes F4 e F5, com alargamento dessas frentes, e principalmente, na região denominada de cava F2/CL, através da abertura e do desenvolvimento de novas frentes de lavra na mina (avanços de 2023, 2024 e 2025).

Ao final de 2021, o plano de lavra possui bancada inferior para a cava F2/CL próxima a cota de 1300 metros. Nota-se que a expansão dessa cava começa a evoluir lateralmente a partir de 2023, com lavras em encosta seguindo a topografia do terreno, e ao final de 2025, esses avanços já se mostram bastante significativos, com várias

frentes de lavra já desenvolvidas na região leste, e cotas mínimas de 1220 metros em alguns locais.

Considerando o nível d'água máximo dessa região atualmente, por volta da cota 1290 metros (nível de água medido nos instrumentos de monitoramento mais próximos – INA-402, INA-624 e INA-394), o rebaixamento nas encostas da cava F2/CL será de aproximadamente 70 metros até o final de 2025.

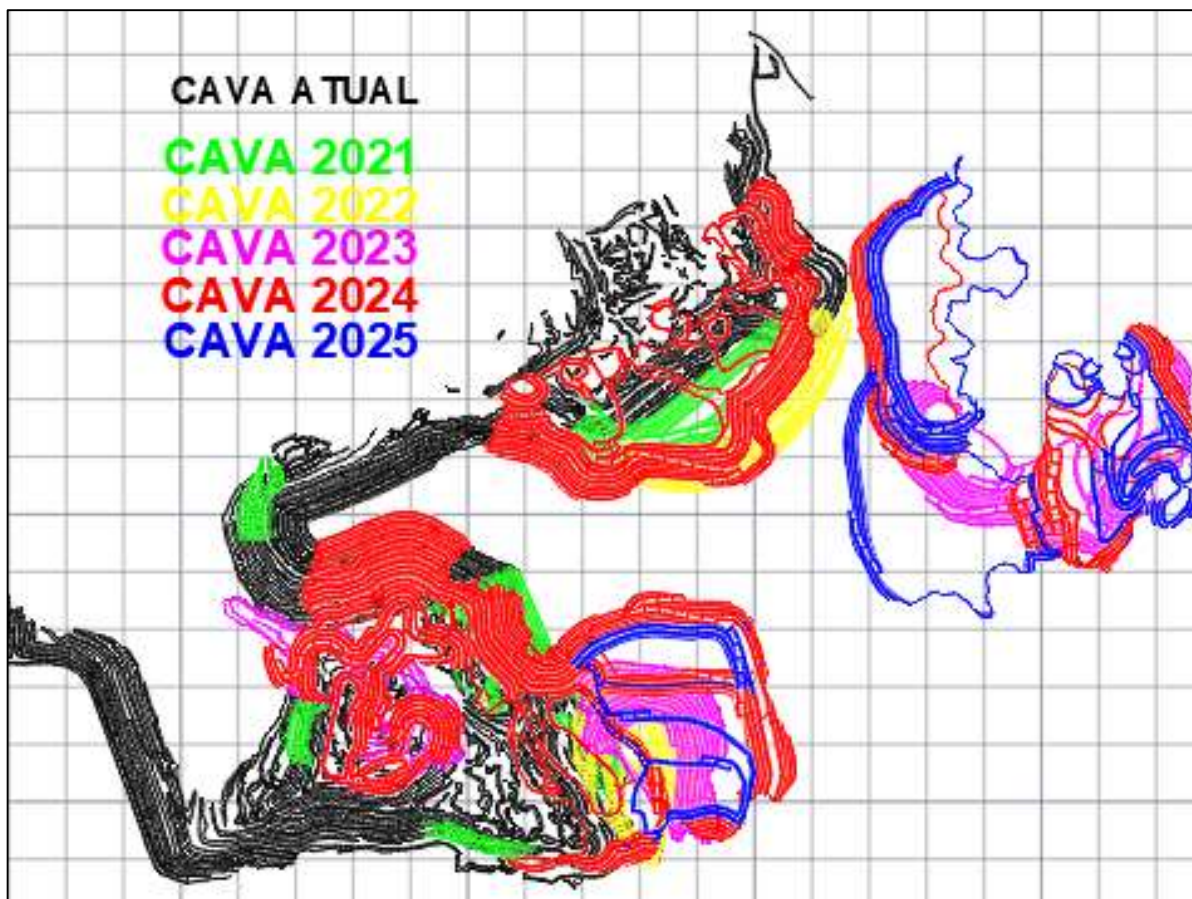
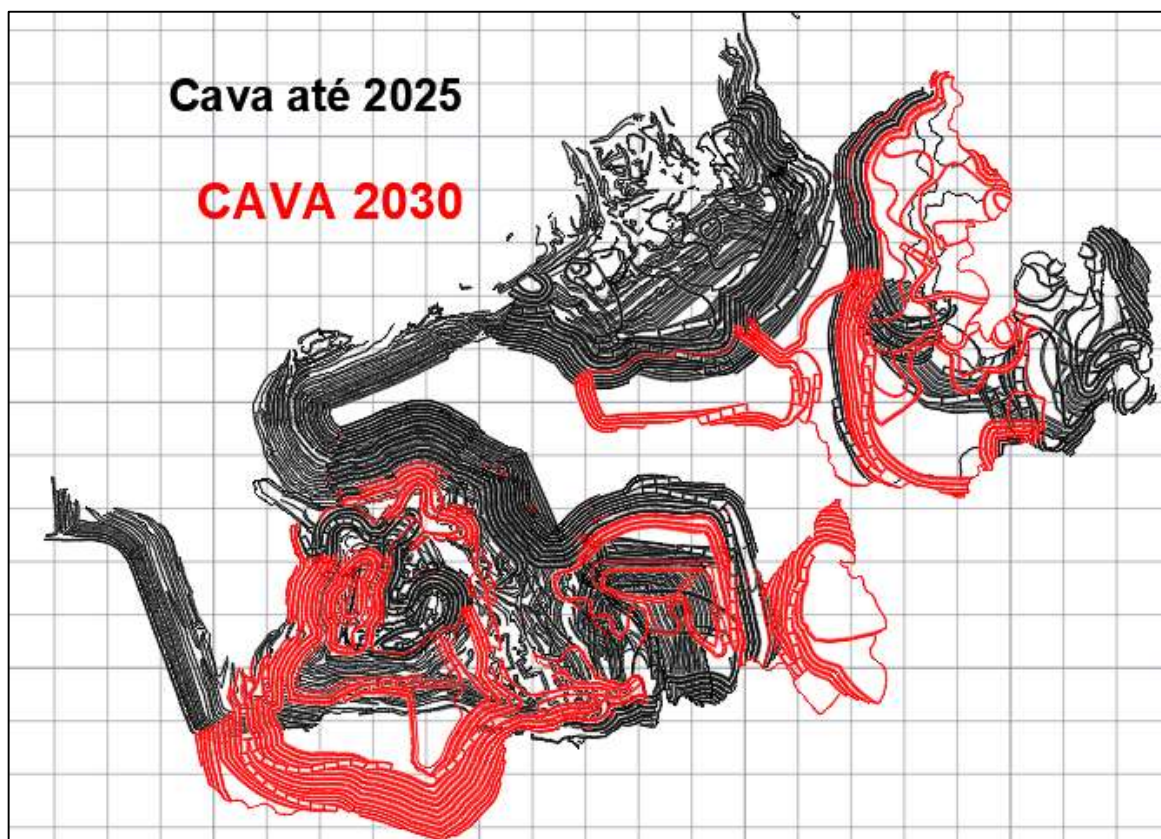


Figura 7.2: Representação dos avanços de lavra referentes aos anos de 2021, 2022, 2023, 2024 e 2025.

Os avanços da cava planejada para o ano 2030 estão representados na Figura 7.3, na qual a cava atual e os avanços referentes ao quinquênio 2021-2025 foram agrupados em um único layer (cor preta), para facilitar a visualização do avanço referente apenas ao ano de 2030 (em vermelho).



**Figura 7.3: Representação dos avanços referentes a cava do ano de 2030 em relação ao cenário de 2025.**

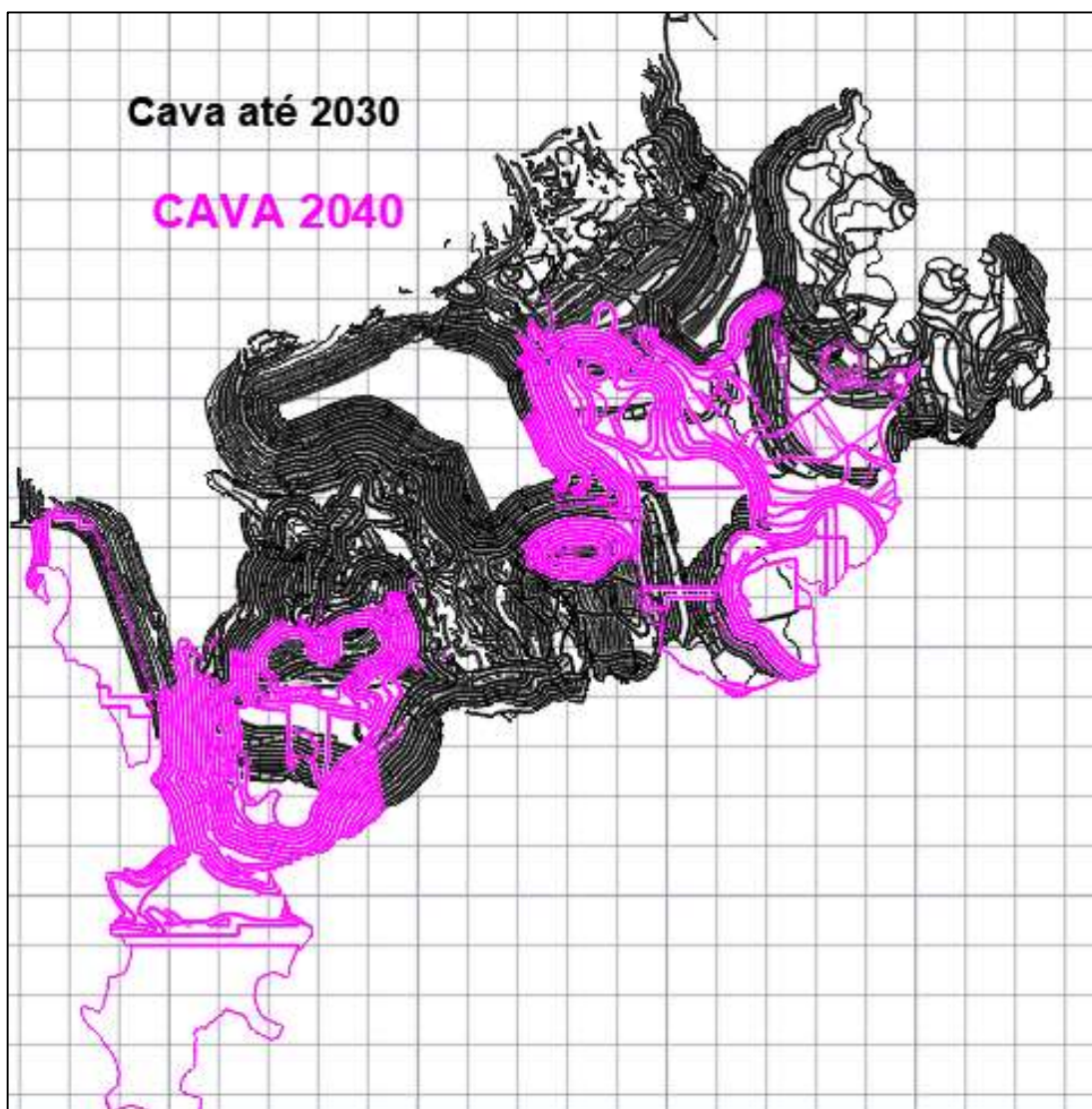
Percebe-se nesse cenário uma ampliação das cavas na região leste, com expansão e formação de novas frentes de lavra, e desenvolvimento das frentes já existentes. Em Bigorna, tem-se um alargamento dos taludes superiores (cotas 1320 a 1260), principalmente para sul.

Observa-se que um dos avanços da cava F2/CL, vizinho a bigorna, possui uma conformação em cava fechada, com bottom pit atingindo cota de 1200 metros no ano de 2030. Os demais avanços, mais a leste, tendem a seguir a topografia do terreno, com lavra em encosta, na direção das cabeceiras da bacia do córrego da Mata.



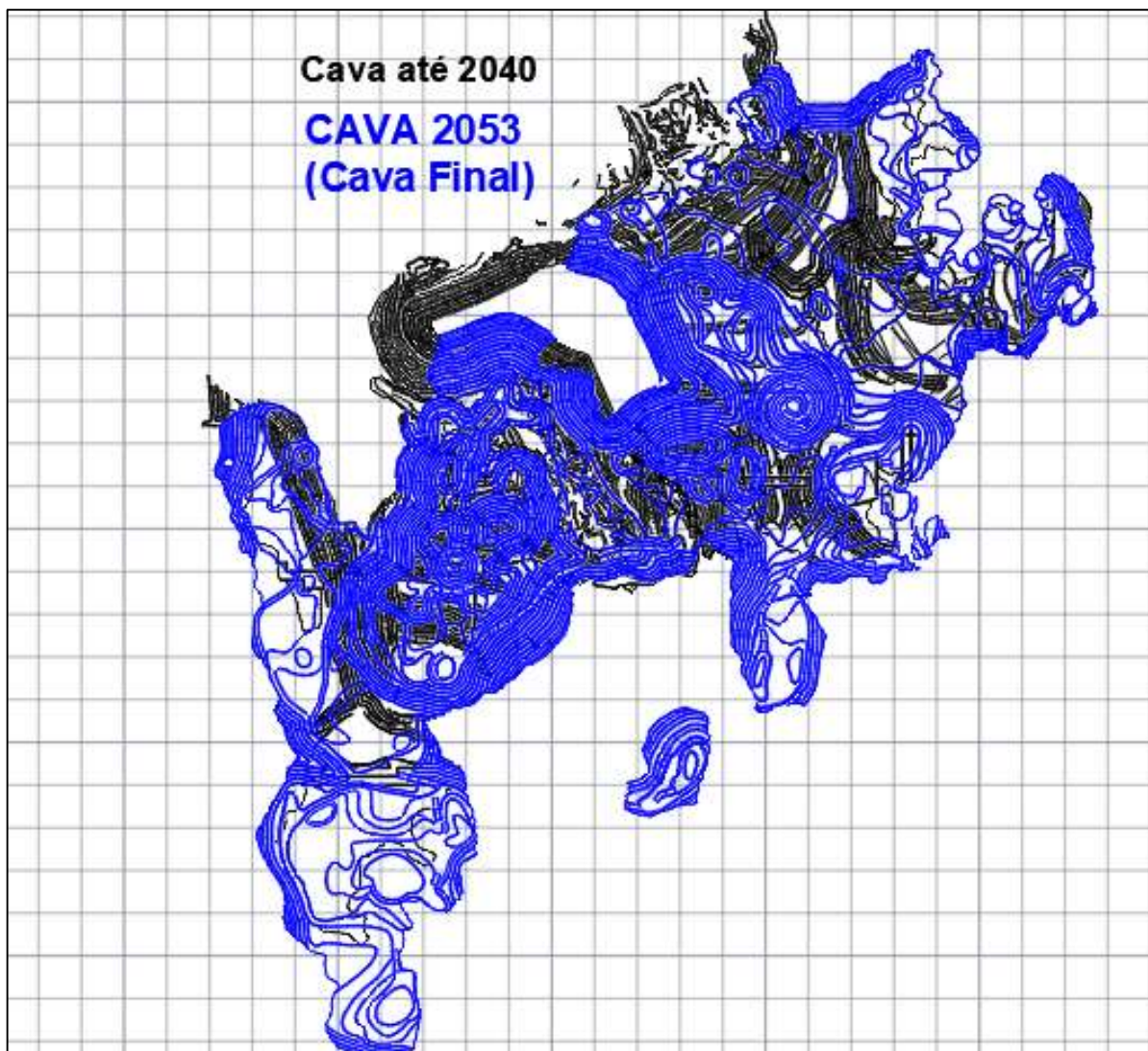
A representação dos avanços referentes aos cenários dos anos de 2040 e de 2053 (cava final), estão ilustradas, respectivamente, em Figura 7.4 e Figura 7.5 a seguir. Nota-se que o mesmo agrupamento, em um único layer (cor preta), dos cenários anteriores foi adotado para ambas as imagens, destacando com cores os avanços de lavra em cada cenário.

O avanço relativo ao ano de 2040 apresenta uma nova expansão dos taludes superiores de Bigorna, e um maior aprofundamento do bottom pit para cota de 1100 metros, aproximadamente 35 metros abaixo do bottom pit atual (1135 metros). Na região da cava F2/CL, percebe-se a conformação de novos bottoms localizados, com cotas de fundo em 1180 e 1160 metros, além de um maior desenvolvimento das lavras em encosta.



**Figura 7.4: Representação dos avanços referentes a cava do ano de 2040 em relação ao cenário de 2030.**

Para a cava final, ano de 2053, percebe-se um enorme crescimento das frentes de lavra nos sentidos leste e sul. Assim como nos avanços anteriores, o bottom pit de Bigorna também foi aprofundado nesse cenário, com cota de fundo próxima a 1060 metros, 75 metros abaixo do bottom pit atual (1135 metros). Na região da cava F2/CL os avanços atingem cota mínima de 1125 metros, aproximadamente 165 metros abaixo da cota atual.



**Figura 7.5: Representação dos avanços referentes a cava do ano de 2053 em relação ao cenário de 2040.**

Destaca-se que nos avanços que ocorrem em terreno naturalmente em encosta (cabeceiras dos cursos de água do entorno), o rebaixamento do nível d'água deverá acontecer por gravidade. Por isso, foram inseridos alguns drenos nessas regiões, de forma a rebaixar o nível d'água até próximo ao nível de cota das bancadas planejadas

para 2053. Esses drenos representam o desaguamento decorrente do próprio avanço da lavra.

Ressalta-se que os avanços planejados para a cava final atingem a cabeceira de córregos relevantes do entorno da mina, como o Córrego da Mata, Córrego da Cachoeira e o Córrego dos Pilões, fato que impactará diretamente na vazão escoada nesses cursos d'água ao longo dos anos.

## 7.2 PERÍODOS DE TEMPO SIMULADOS

A simulação do rebaixamento do nível d'água compreendeu um período de **32 anos e 4 meses, desde setembro de 2021 até dezembro de 2053**, divididos em 130 períodos de stress, totalizando 11810 dias. Nota-se que cada período de stress representa um trimestre, em conformidade com os períodos de stress da calibração em regime transiente. Esses períodos de tempo são apresentados na tabela anexa (ANEXO 2).

## 7.3 INPUT DE DADOS

### 7.3.1 Carga hidráulica inicial

Na preparação do modelo, para as simulações do rebaixamento do nível d'água, faz-se necessário a definição da carga hidráulica inicial da região (superfície do nível d'água atual), sobre a qual será realizado o rebaixamento do nível d'água. Para tal, foi utilizada como carga inicial a superfície final obtida na calibração do modelo em regime transiente, que corresponde ao nível d'água calibrado para o mês de agosto de 2021, último período da etapa de calibração.

### 7.3.2 Recarga

No processo de simulação do rebaixamento do nível d'água em regime transiente, as taxas de recargas das zonas 1, 2, 3 e 4 definidas na etapa de calibração em transiente são mantidas em 25%, 32%, 32% e 13%, respectivamente.

Entretanto, em se tratando de simulação de eventos futuros, onde não se conhece os valores de precipitação reais, foram utilizadas essas porcentagens de recarga supracitadas sobre os valores médios trimestrais da pluviometria, com base em todo o histórico plurianual da área. Trata-se da metodologia mais adequada para tal.

Ressalta-se que a delimitação dos períodos de stress estabelecidos foi mantida na aplicação da recarga, com taxa trimestral. A tabela de input da recarga utilizada nas simulações está apresentada no ANEXO 3.



### 7.3.3 Poços tubulares existentes

Para simular a continuidade da operação dos poços existentes ao longo dos 37 anos simulados, foram considerados os seguintes aspectos:

- A vazão média produzida em cada trimestre de 2021 por cada poço.
- Perda de eficiência equivalente de 5% a cada ano, por poço.

Destaca-se que todos os poços ativos em 2021 foram considerados nos cenários futuros, sendo eles PR-01, PR-03, PR-12, PR-13, PR-15 e PR-16. A perda de vazão nos mesmos vai ocorrendo gradativamente, de maneira análoga ao que ocorre na prática. Entretanto, sabe-se que, futuramente, esses poços serão destruídos pelo próprio avanço da lavra, fato que foi bem representado pelo modelo, pois a partir de 2030 (ano em que esses poços seriam lavrados pelos avanços da cava), a vazão global de desaguamento desses instrumentos tende a 0 m<sup>3</sup>/h.

De acordo com a Mosaic Fertilizantes, existe planejamento para implantação de novos poços no decorrer dos próximos anos.

A partir dos dados monitorados, tentou-se representar da melhor forma e o mais conservador possível a operação dos poços tubulares em condições futuras, cujos dados de partida são apresentados abaixo, em m<sup>3</sup>/dia, unidade de vazão utilizada no modelo.

**Tabela 7.1: Vazões de partida utilizados para a simulação da operação dos poços de bombeamento (em m<sup>3</sup>/dia).**

Poços	PR-01	PR-03	PR-12	PR-13	PR-15	PR-16
Vazão inicial considerada (simulação):	-759	-479	-527	-171	-527	-132

A partir dos dados de partida e da perda de eficiência considerada para cada poço por ano, foram calculadas as vazões atribuídas aos mesmos em cada trimestre simulado (cada período de stress), apresentadas no ANEXO 4.

### 7.3.4 Estruturas de drenagem da cava

Conforme descrito em estudos anteriores, nas simulações não é possível promover o rebaixamento do nível d'água para os cenários pretendidos utilizando apenas o recurso numérico dos Poços tubulares (*Wells*), devido a motivos tais como baixa condutividade hidráulica de rochas, espaço temporal, perdas de eficiência considerável nos poços e a necessidade de trabalhar também com *sump's* na cava.

Assim, o recurso numérico utilizado para representar a drenagem tem sido a atribuição de drenos (*drains*) sob as bancadas das cavas, nas cotas desejadas (com carga hidráulica equivalente a 10 metros abaixo das bancadas – 1 banco) para o rebaixamento do nível d'água.

No caso de lavras em encosta, esses drenos simulam, fisicamente, o rebaixamento do nível d'água pela própria lavra, por gravidade, uma vez que não há necessidade de bombeamento de *sump*. Nas cavas fechadas, o rebaixamento do nível d'água ocorre fisicamente com bombeamento através de poços tubulares e por meio de *sump's*, igualmente representado pelo recurso dreno.

A título ilustrativo, os drenos aplicados para promover o rebaixamento do nível d'água abaixo das bancadas das cavas fechadas e abertas são apresentados na Figura 7.6 a seguir, sendo a cava fechada representando o avanço a leste de Bigorna e a cava aberta a lavra em encosta a leste da anterior. Vale ressaltar que a ilustração acima corresponde a apenas uma layer do modelo, sendo que a disposição dos drenos acompanha a topografia, em várias layers, não apenas em uma.

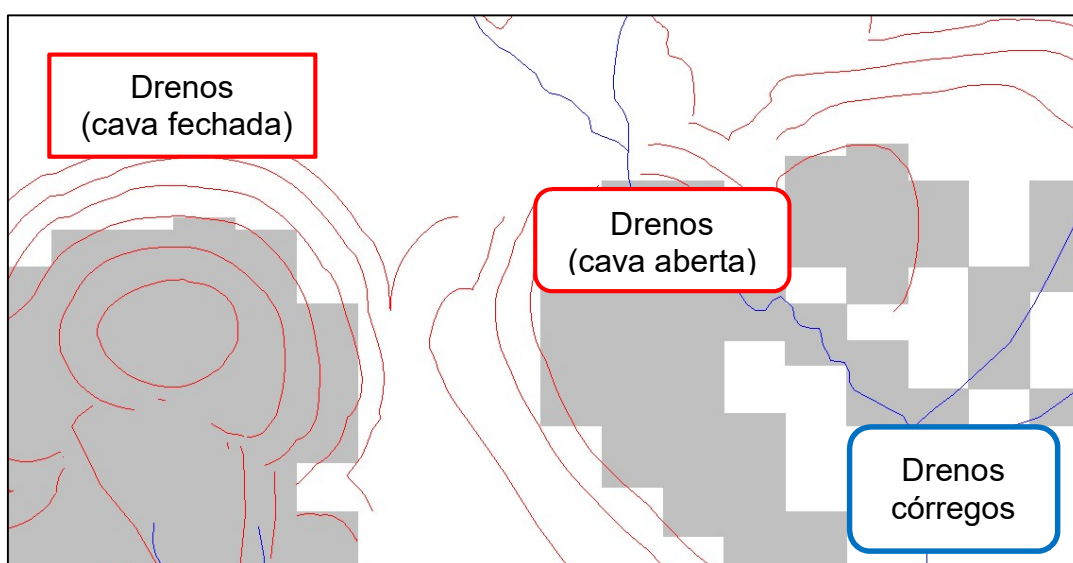


Figura 7.6: Drenos aplicados para promover desaguamento - cava leste (Layer 5).

As condutâncias aplicadas inicialmente foram de 25 m<sup>2</sup>/dia para os drenos, tendo sido modificadas até valores da ordem de 50 m<sup>2</sup>/dia para que a superfície de nível d'água obtida após a simulação atendesse às cavas em cada cenário.

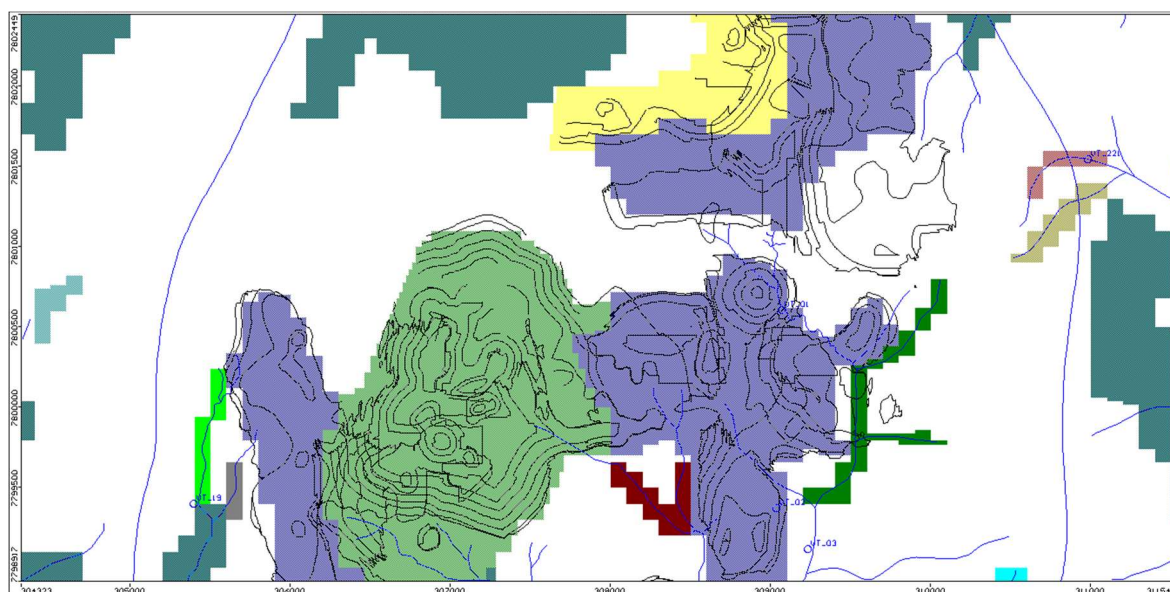
### 7.3.5 Zonas de balanço (Vazões dos avanços de lavra)

Nesta fase de simulação, foram aplicadas novas zonas de balanço (*zone budget*) nas células que receberam a bateria de drenos para desaguoamento das frentes F4 e F5, da expansão da F2/Bigorna e do avanço da Cava F2/CL (Cava Leste), todos considerados como avanço cava leste para fins de licenciamento.

O objetivo dessas zonas é quantificar a produção de água subterrânea nos cenários de cava simulados. As demais zonas de balanço aplicadas sobre os córregos da região durante a calibração foram mantidas, para a análise do impacto sobre os mesmos. As novas zonas de balanço aplicadas sobre os drenos nas cavas planejadas são apresentadas na Tabela 7.2 e ilustradas na Figura 7.7.

**Tabela 7.2: Novas zonas de balanço aplicadas sobre os drenos para quantificação das vazões produzidas nos avanços de lavra simulados.**

Zona de balanço	Localização
29	Frentes 4 e 5
30	F2/CL
31	Frente 2/Bigorna



**Figura 7.7: Zonas de balanço aplicadas sobre os drenos para quantificação das vazões produzidas nos avanços de lavra simulados (2021 a 2053) – Layer 6.**

## 7.4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

As análises do rebaixamento do nível d'água foram realizadas para todos os horizontes supracitados (2021 a 2025, 2030, 2040 e 2053). Os resultados obtidos em cada cenário serão apresentados em grupos distintos para cada um dos anos.

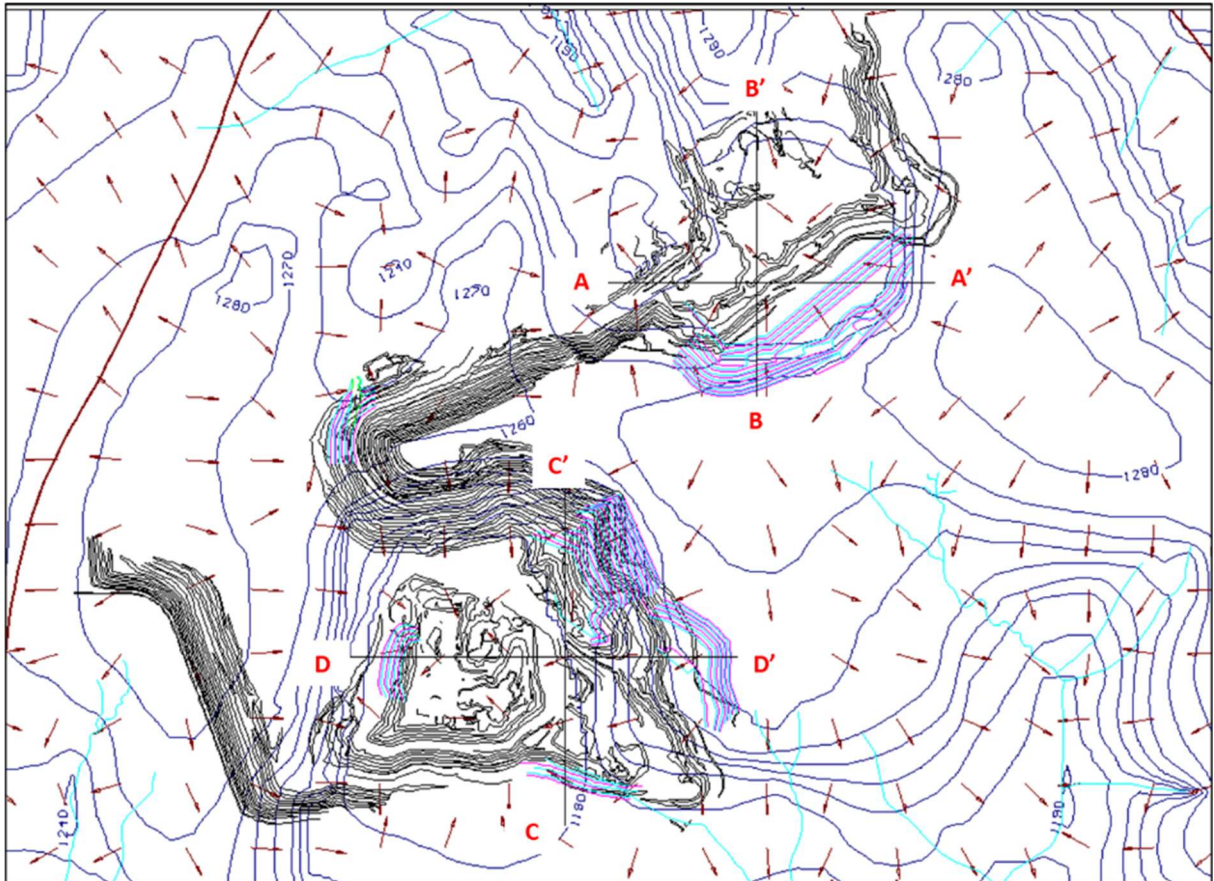
### 7.4.1 Cava de 2021.

Os resultados gerados na simulação realizada para atendimento dos avanços planejados para a cava de 2021 (dezembro de 2021) estão apresentados em planta pela Figura 7.8, ilustrando as curvas equipotenciais (de 10 em 10 metros) e o sentido do fluxo de água subterrânea na região das cavas (setas vermelhas), para a camada (layer) 7, correspondente ao plano horizontal de 1190 metros do modelo numérico. Nota-se que os avanços de interesse estão coloridos, enquanto a cava pré-existente aparece em preto.

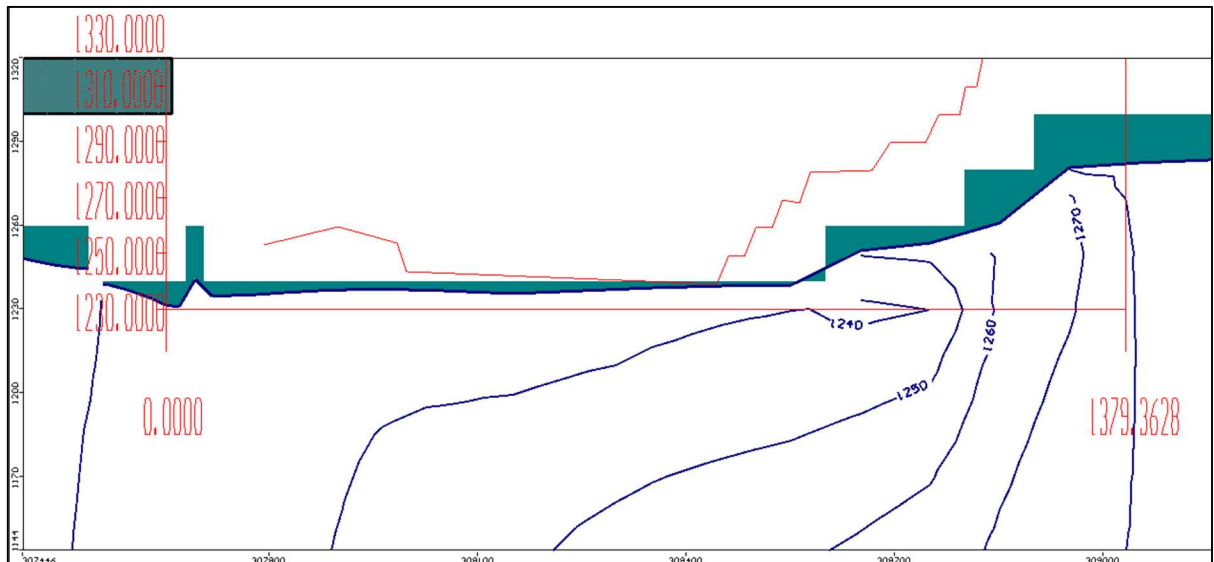
Destaca-se que quatro seções verticais foram traçadas nesse cenário (linhas pretas), sendo as seções A-A' (Figura 7.9) e B-B' (Figura 7.10) traçadas na região das frentes 4 e 5, e as seções C-C' (Figura 7.11) e D-D' (Figura 7.12) referentes a Bigorna/Avanço Cava Leste.

Percebe-se que, em geral, o nível de água simulado permanece predominantemente abaixo da cava planejada. Pontualmente, essa condição pode não estar atendida nas seções verticais, o que não implica em incapacidade de drenagem, mas geralmente, questões de escala e/ou erro de cálculo pontual do modelo numérico, devido a contrastes de permeabilidade e/ou armazenamento dos litotipos.





**Figura 7.8: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA- Cava de 2021 (layer 7, stress period 2: 122 dias).**



**Figura 7.9: Vista em seção vertical (A-A') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias).**

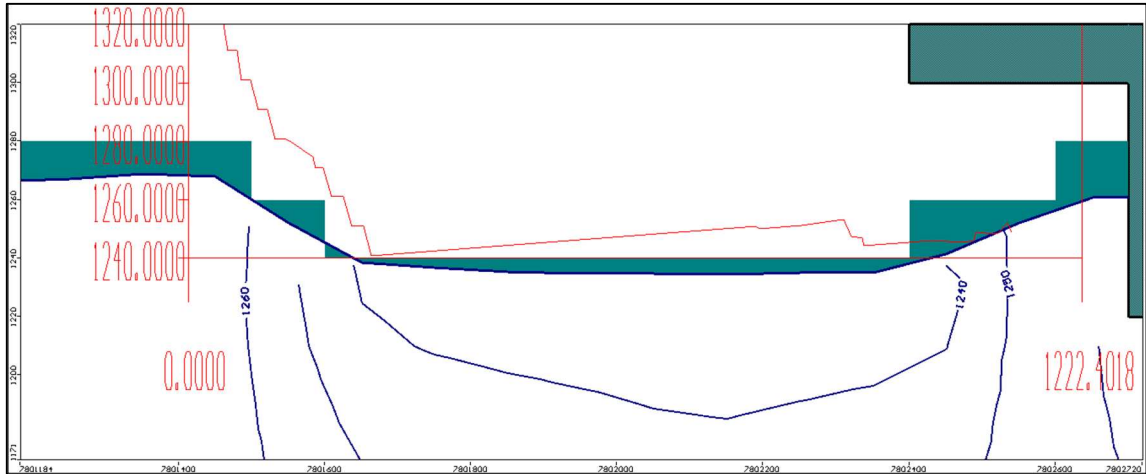


Figura 7.10: Vista em seção vertical (B-B') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo - simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias).



Figura 7.11: Vista em seção vertical (C-C') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo - simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias).

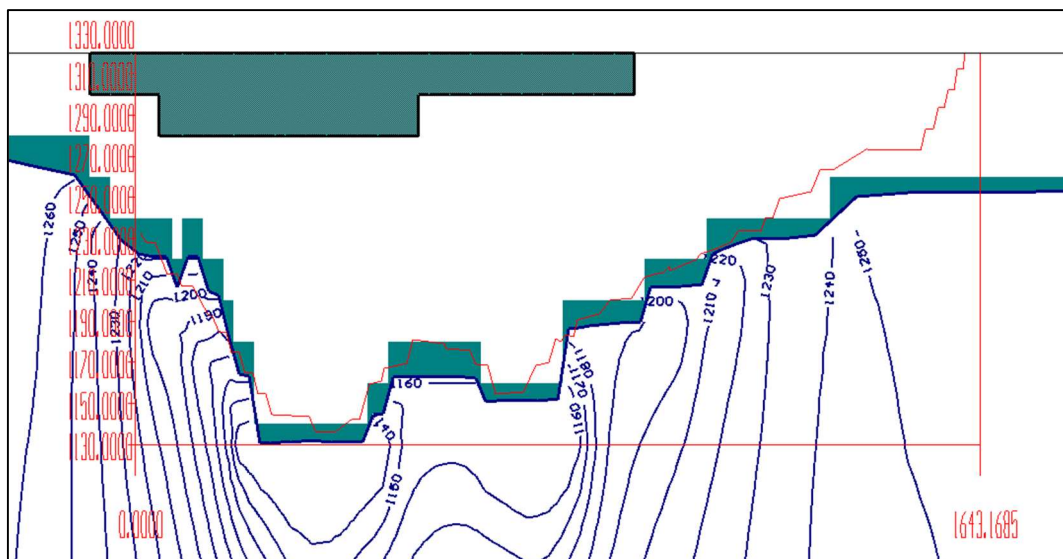
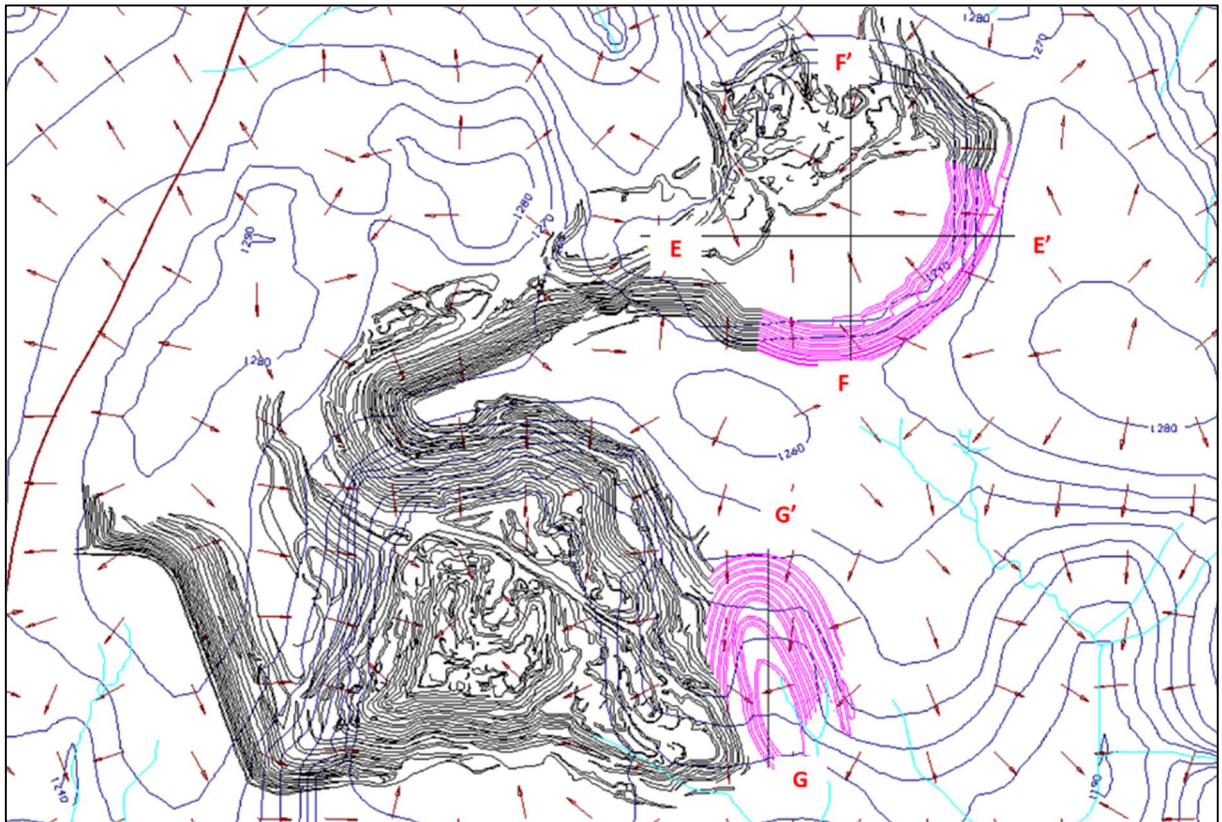


Figura 7.12: Vista em seção vertical (D-D') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo - simulação RNA, 2021 (stress period 2: 122 dias).

#### 7.4.2 Cava de 2022.

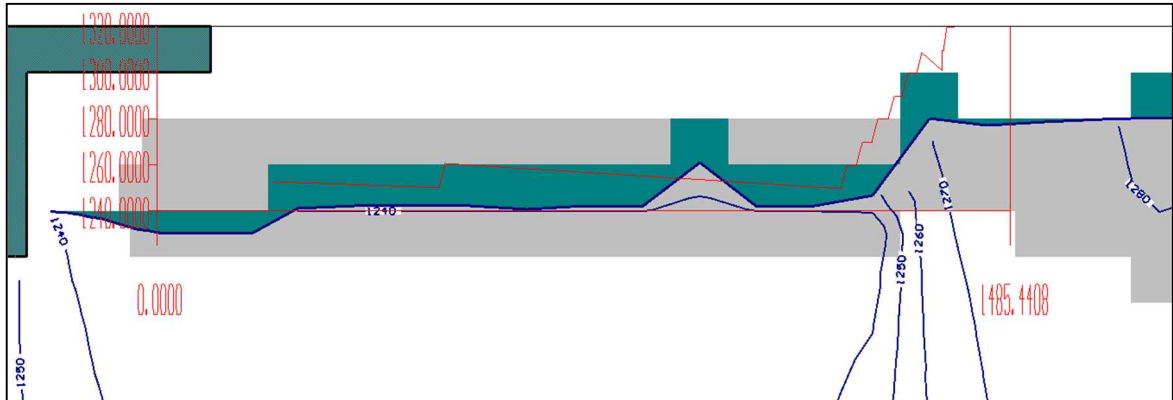
Os resultados obtidos na simulação para atender os avanços planejados para o ano de 2022 são apresentados a seguir. A Figura 7.13 traz a vista em planta da superfície equipotencial simulada para 2022 (layer 7), com curvas equipotenciais graduadas de 10 em 10 metros e sentido do fluxo subterrâneo evidenciado pelas setas vermelhas. Além disso, três seções verticais (linhas pretas) foram traçadas nesse cenário, sendo elas seção E-E' (Figura 7.14 – Frentes 4 e 5), F-F' (Figura 7.15 - Frentes 4 e 5) e G-G' (Figura 7.16 – F2/CL).

Percebe-se que o nível de água nesse cenário está, em geral, abaixo da cava planejada, exceto por picos isolados (células que apresentam condutividade muito baixa – rocha sã) atestando um bom resultado da simulação em 2022.

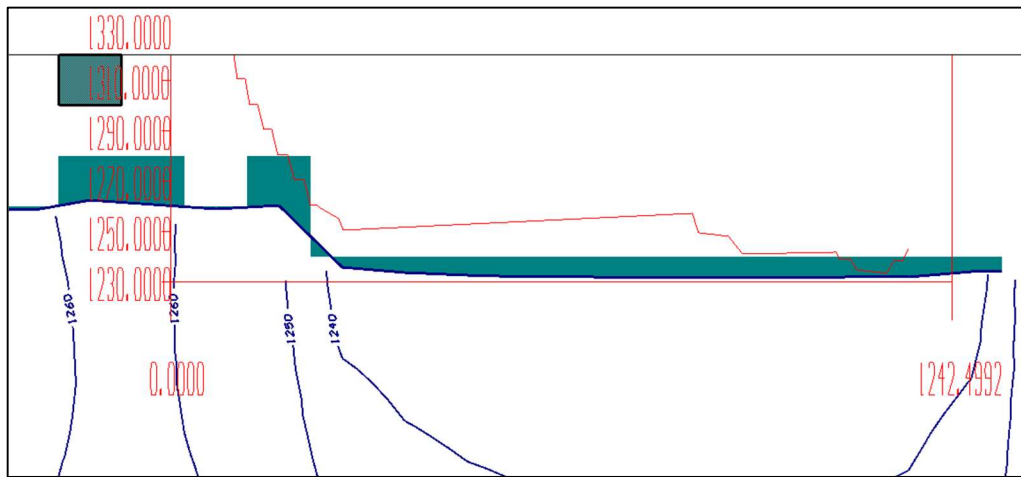


**Figura 7.13: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA- Cava de 2022 (layer 7, stress period 6: 487 dias).**

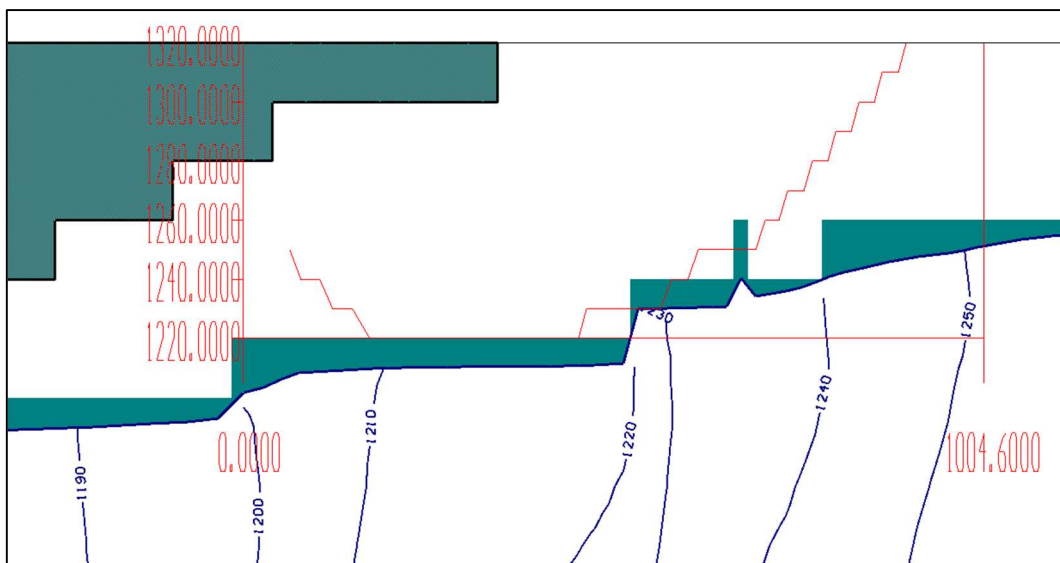




**Figura 7.14: Vista em seção vertical (E-E') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2022 (stress period 6: 487 dias).**



**Figura 7.15: Vista em seção vertical (F-F') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2022 (stress period 6: 487 dias).**



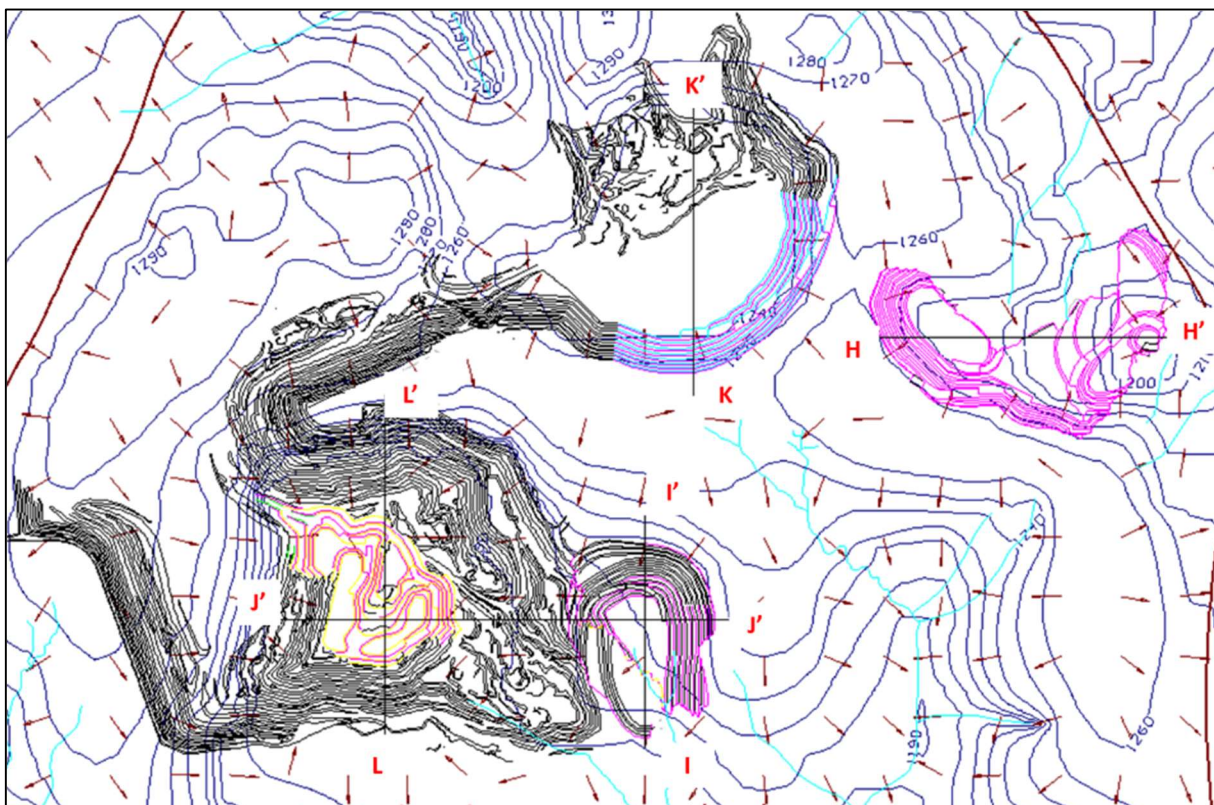
**Figura 7.16: Vista em seção vertical (G-G') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2022 (stress period 6: 487 dias).**



### 7.4.3 Cava de 2023

Os resultados obtidos na simulação para atender os avanços planejados para o ano de 2023 estão apresentados a seguir, com a Figura 7.17 ilustrando a vista em planta da superfície equipotencial simulada para 2023 (layer 7), com curvas equipotenciais graduadas de 10 em 10 metros e sentido do fluxo subterrâneo evidenciado pelas setas vermelhas. Ademais, cinco seções verticais foram traçadas para melhor representar esse contexto, sendo elas: seção H-H' (Figura 7.18 – cava F2/CL), I-I' (Figura 7.19 - cava F2/CL) e J-J' (Figura 7.20 – F2/Bigorna e cava F2/CL), K-K' (Figura 7.21 – Frentes 4 e 5) e L-L' (Figura 7.22 – F2/Bigorna).

Destaca-se que o nível de água nesse cenário está, em geral, abaixo da cava planejada, exceto células isoladas, que apresentam condutividade muito baixa – rocha sã, atestando uma simulação satisfatória para o ano de 2023.



**Figura 7.17: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2023 (layer 7, stress period 10: 852 dias).**

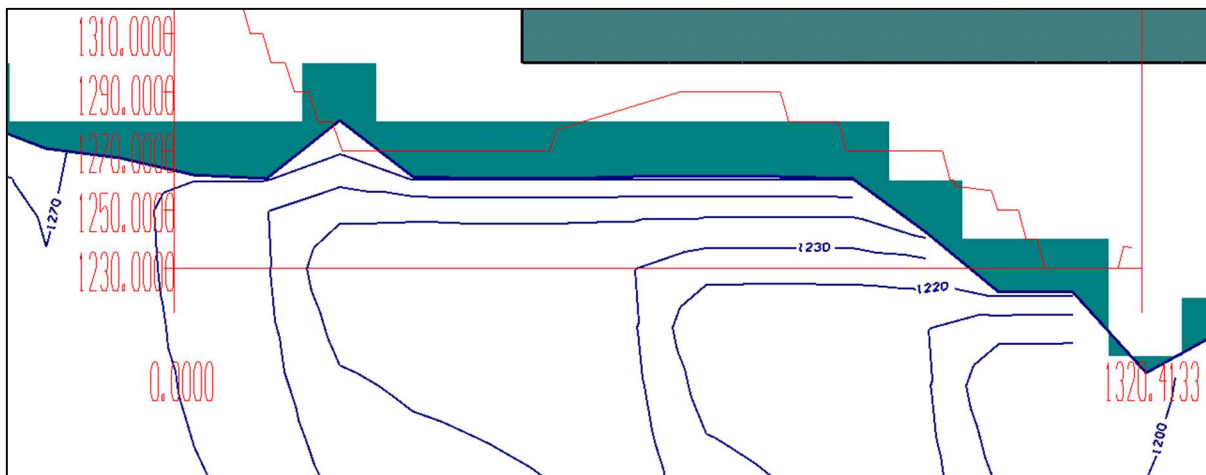


Figura 7.18: Vista em seção vertical (H-H') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).

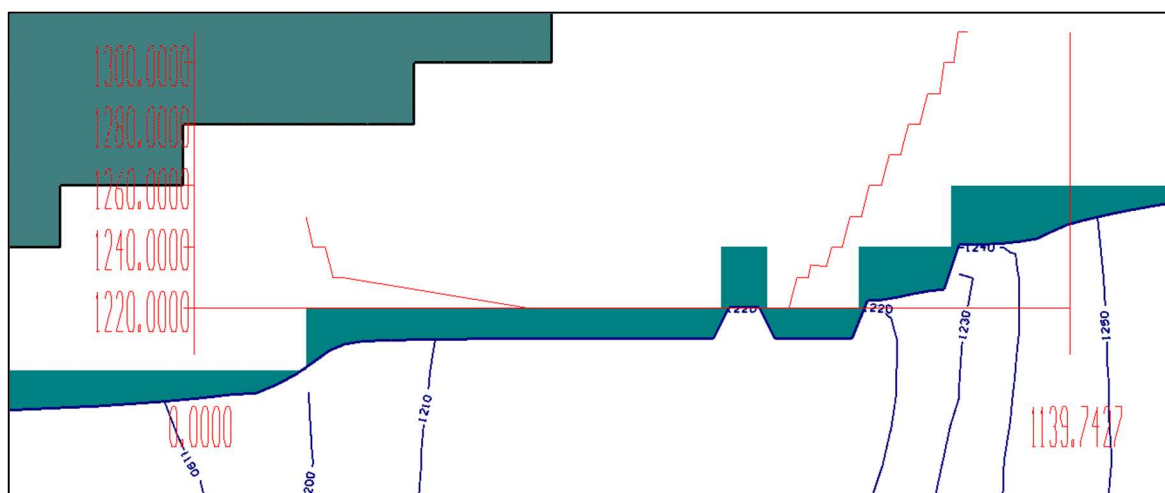


Figura 7.19: Vista em seção vertical (I-I') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).

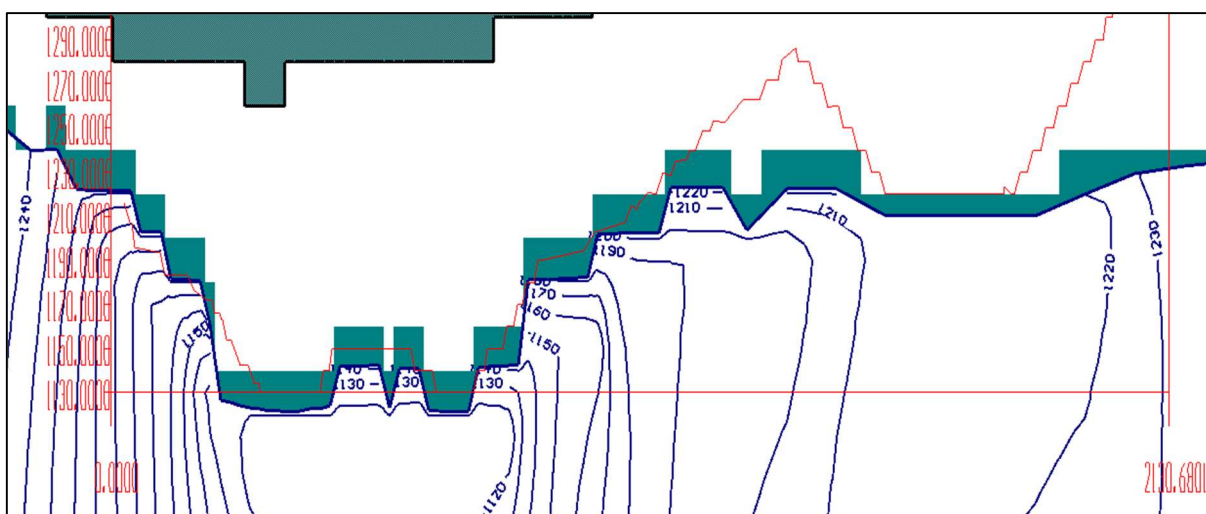


Figura 7.20: Vista em seção vertical (J-J') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).

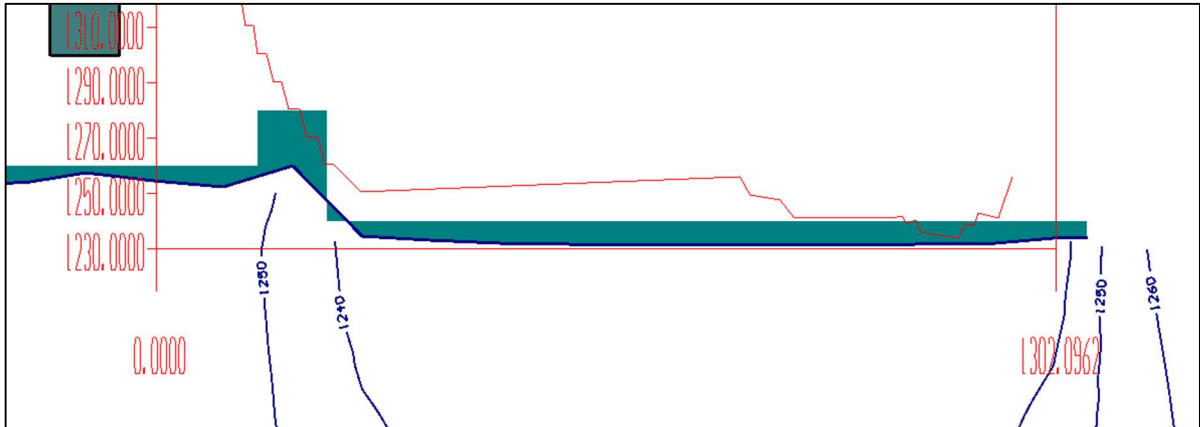


Figura 7.21: Vista em seção vertical (K-K') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).

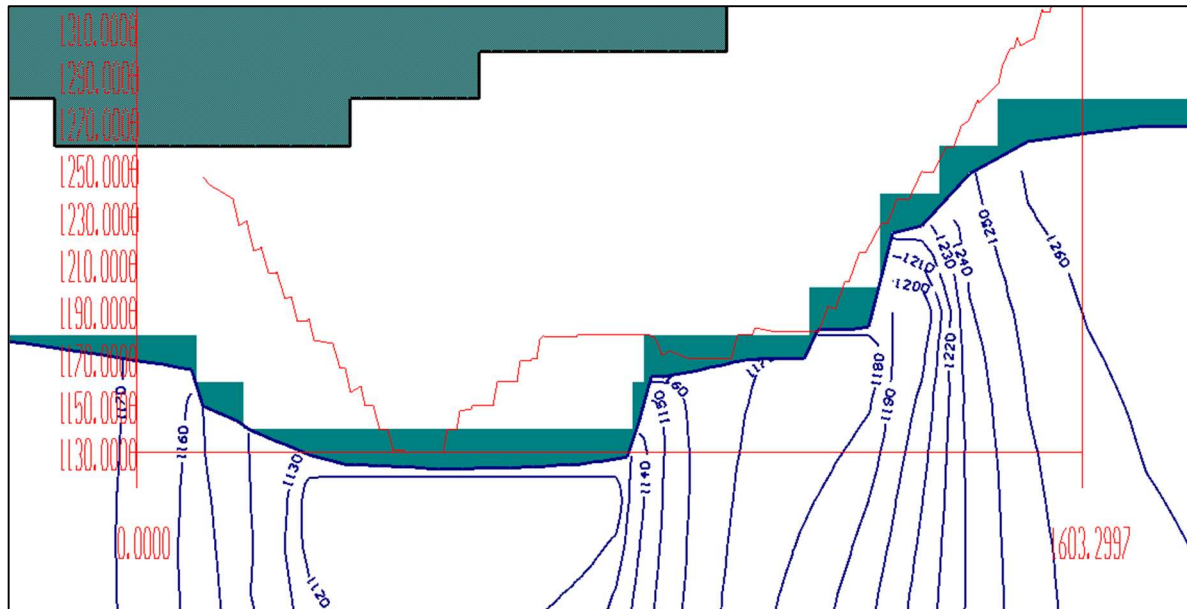


Figura 7.22: Vista em seção vertical (L-L') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2023 (stress period 10: 852 dias).



#### 7.4.4 Cava de 2024

O resultado obtido para o ano de 2024 está representado em planta pela Figura 7.23, que corresponde à camada (layer) 7 do modelo numérico, plano horizontal de 1190 metros. Para esse cenário desenhou-se cinco seções verticais, M-M' (Figura 7.24), N-N' (Figura 7.25), O-O' (Figura 7.26), P-P' (Figura 7.27) e Q-Q' (Figura 7.28), todas pertencentes a área denominada de cava F2/CL. Nota-se que o nível de água nessas seções está sempre abaixo da cava planejada, atestando um bom resultado da simulação.

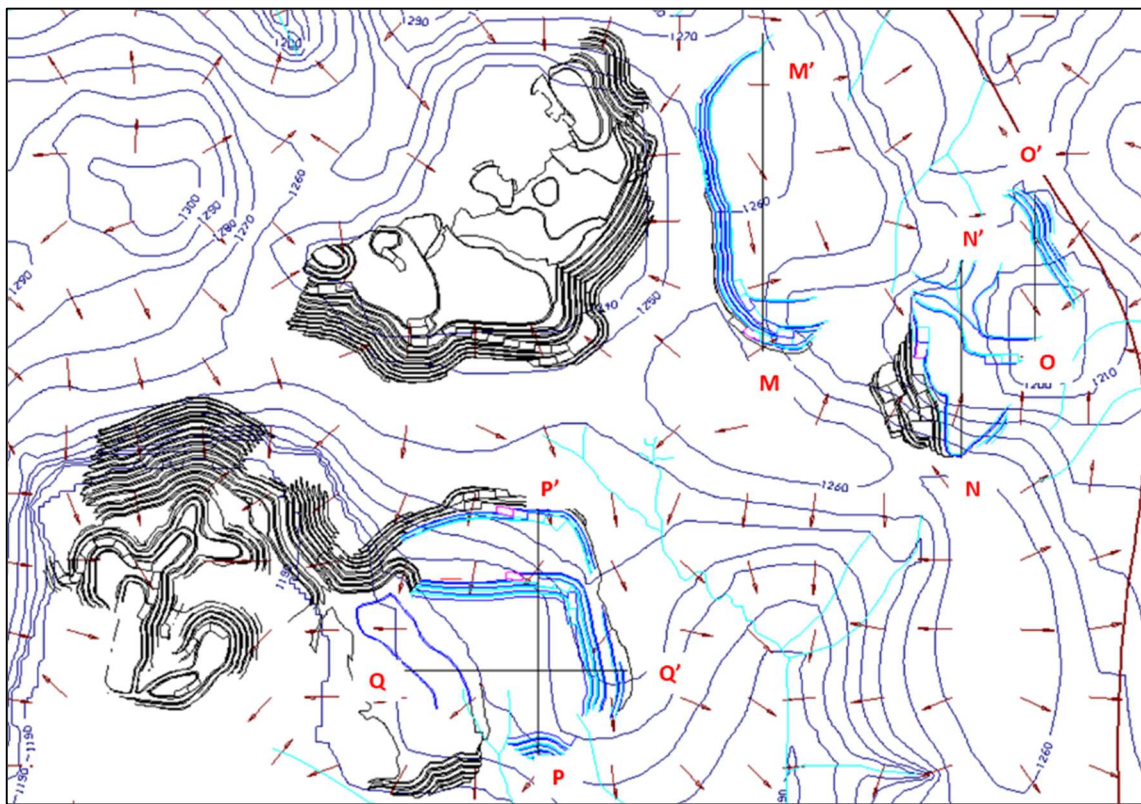


Figura 7.23: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2024 (layer 7, stress period 14: 1218 dias).

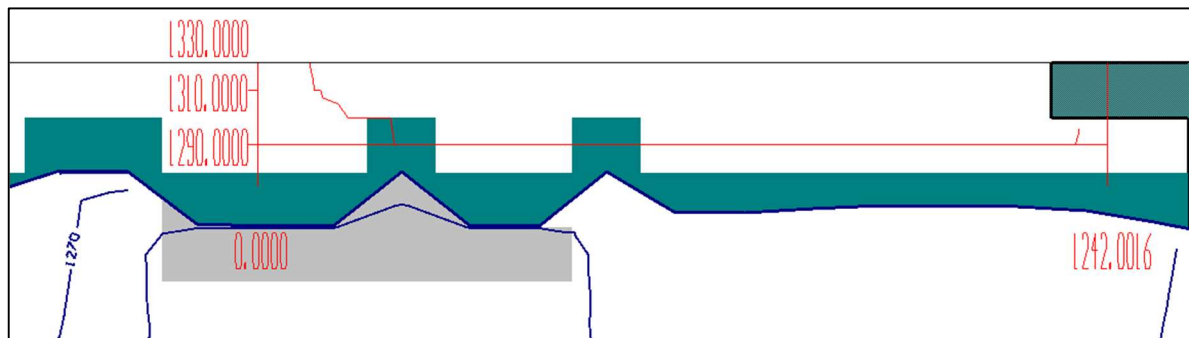


Figura 7.24: Vista em seção vertical (M-M') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).



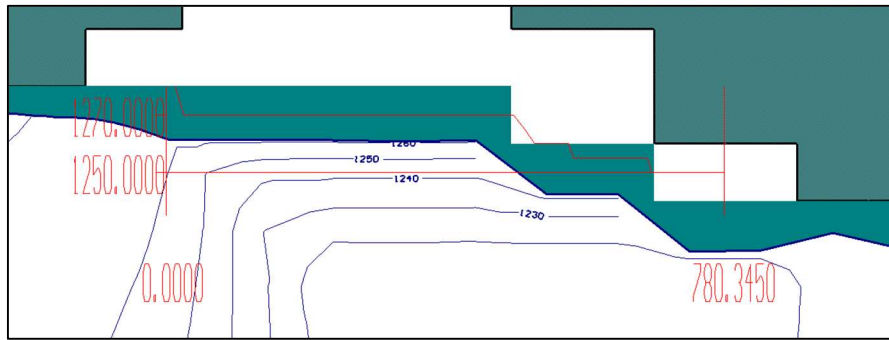


Figura 7.25: Vista em seção vertical (N-N') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).

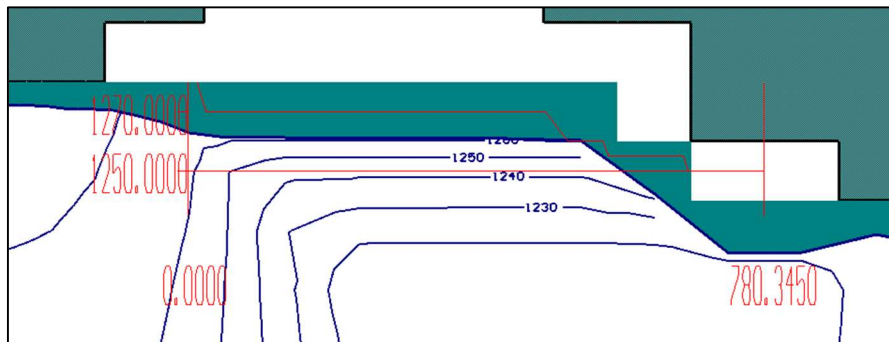


Figura 7.26: Vista em seção vertical (O-O') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).

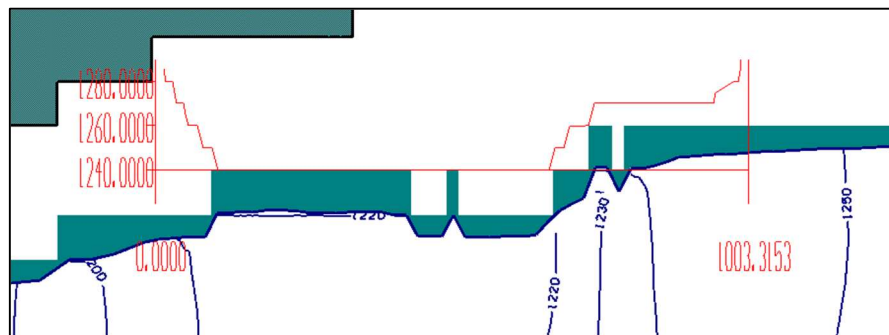


Figura 7.27: Vista em seção vertical (P-P') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).

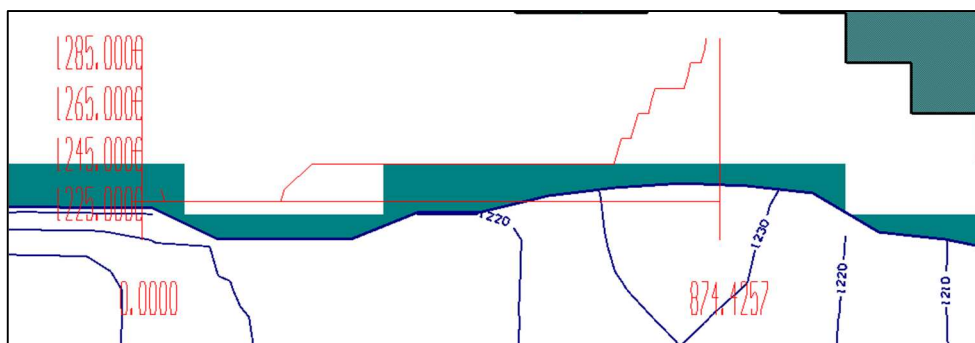


Figura 7.28: Vista em seção vertical (Q-Q') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2024 (stress period 14: 1218 dias).

#### 7.4.5 Cava de 2025

Os resultados obtidos na simulação para atender aos avanços planejados na cava operacional de 2025 estão apresentados a seguir. A Figura 7.29 traz a vista em planta da superfície equipotencial simulada para 2025 (layer 7), com curvas equipotenciais graduadas de 10 em 10 metros e sentido do fluxo subterrâneo evidenciado pelas setas vermelhas. Além disso, quatro seções verticais (linhas pretas) foram traçadas nesse cenário, sendo elas: seção R-R' (Figura 7.30), S-S' (Figura 7.31), T-T' (Figura 7.32) e U-U' (Figura 7.33).

Percebe-se que o nível de água nesse cenário está abaixo da cava planejada, o que indica um bom resultado da simulação em 2025.

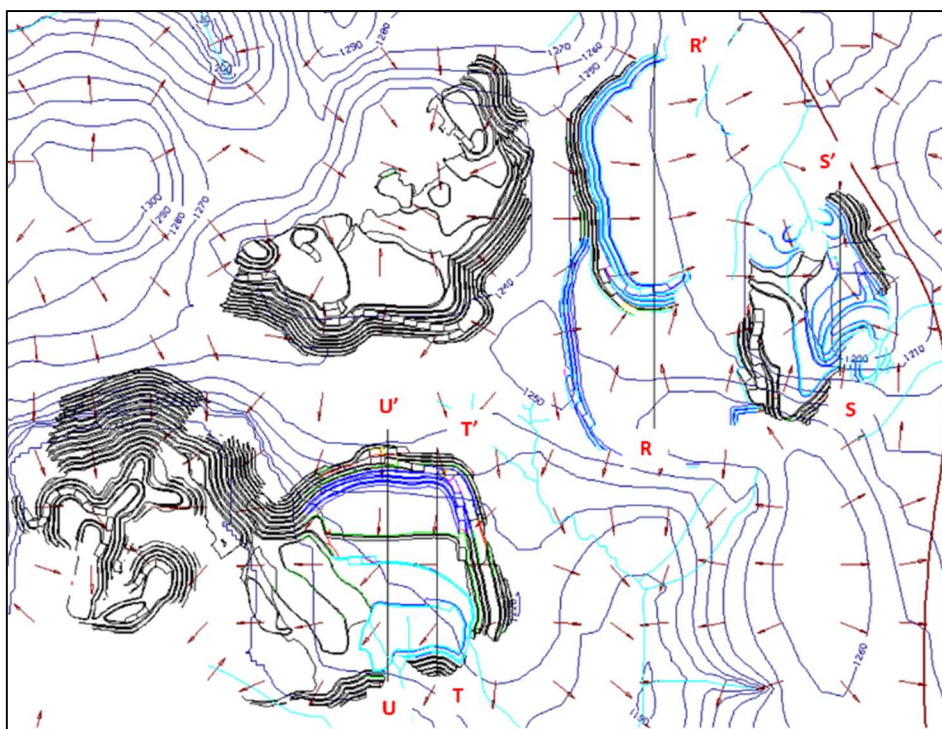


Figura 7.29: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2025 (layer 7, stress period 18: 1583 dias).

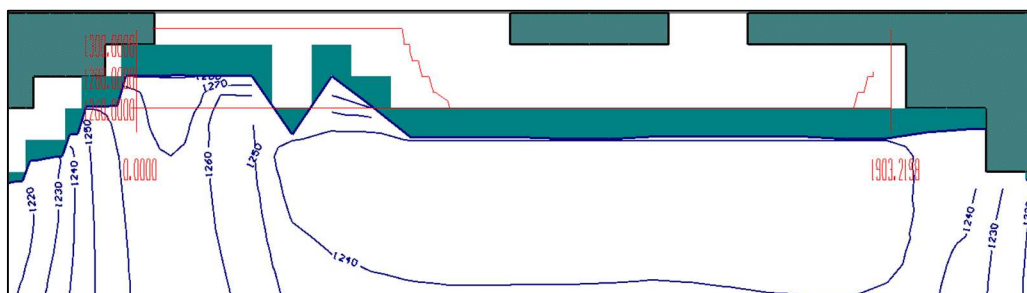


Figura 7.30: Vista em seção vertical (R-R') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).

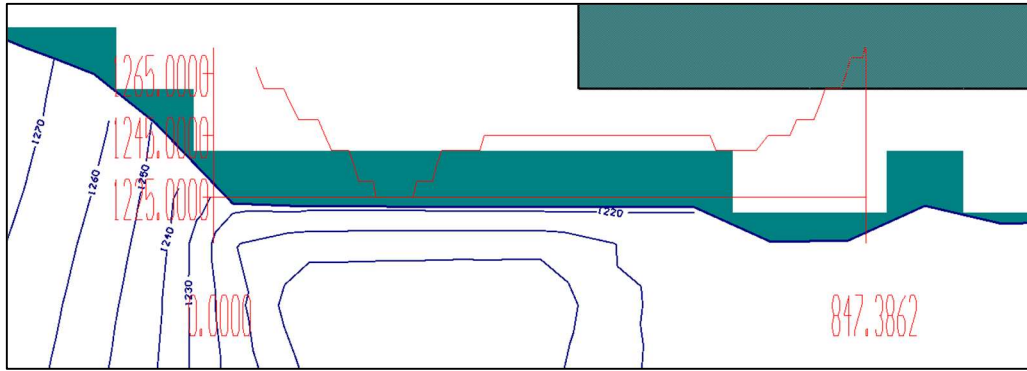


Figura 7.31: Vista em seção vertical (S-S') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).

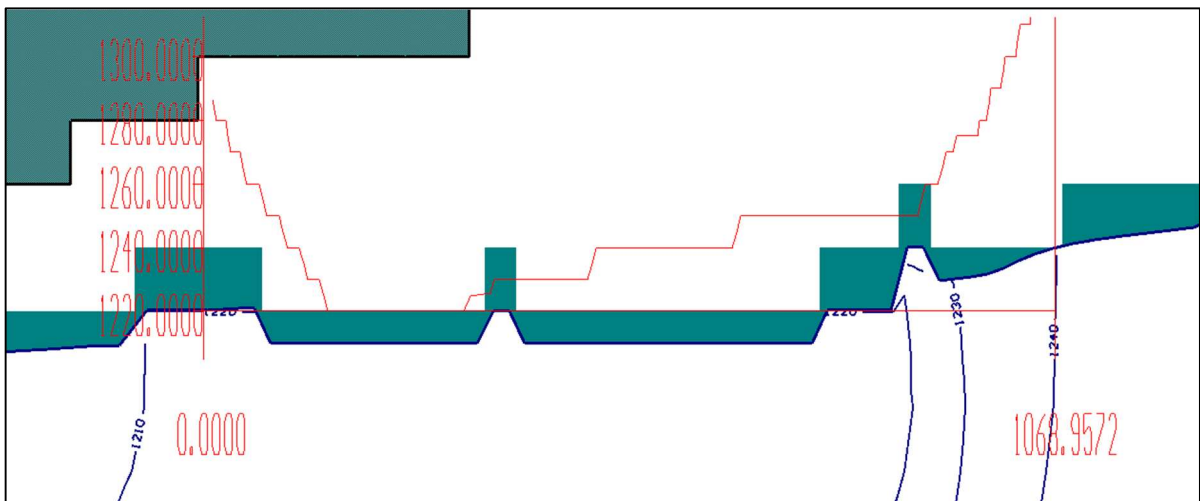


Figura 7.32: Vista em seção vertical T-T') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).

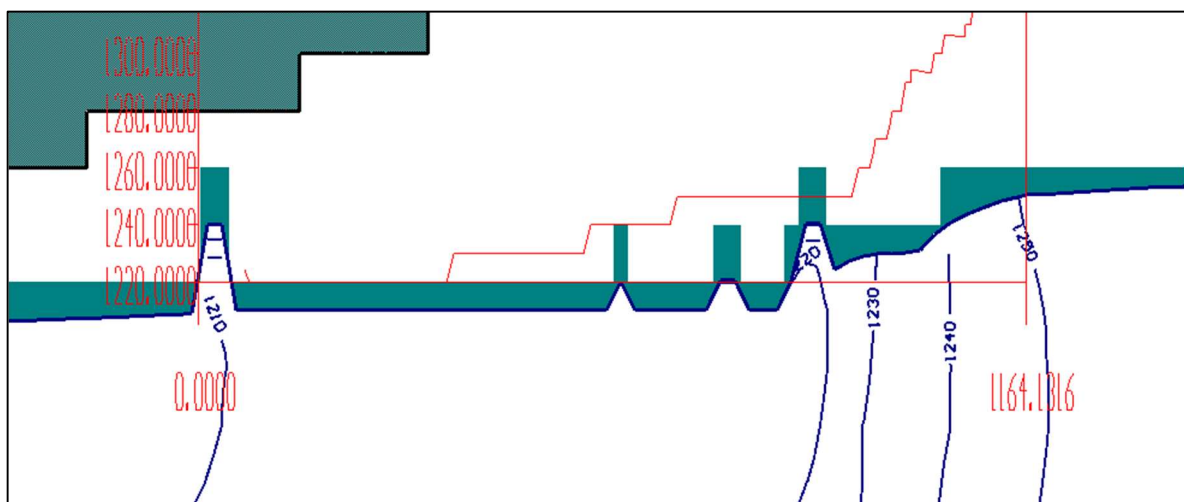


Figura 7.33: Vista em seção vertical (U-U') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2025 (stress period 18: 1583 dias).



#### 7.4.6 Cava de 2030

O resultado obtido para os avanços planejados na cava operacional de 2030 está representado em planta pela Figura 7.34, que corresponde à camada (layer) 7 do modelo numérico, plano horizontal de 1190 metros. Para esse cenário desenhou-se seis seções verticais, V-V' (Figura 7.35Figura 7.24), W-W' (Figura 7.24Figura 7.36), X-X' (Figura 7.37Figura 7.25), Y-Y' (Figura 7.38Figura 7.26), Z-Z' (Figura 7.27Figura 7.39) e AB-AB' (Figura 7.40Figura 7.28). Nota-se que o nível de água nessas seções está sempre abaixo da cava planejada, atestando um bom resultado da simulação.

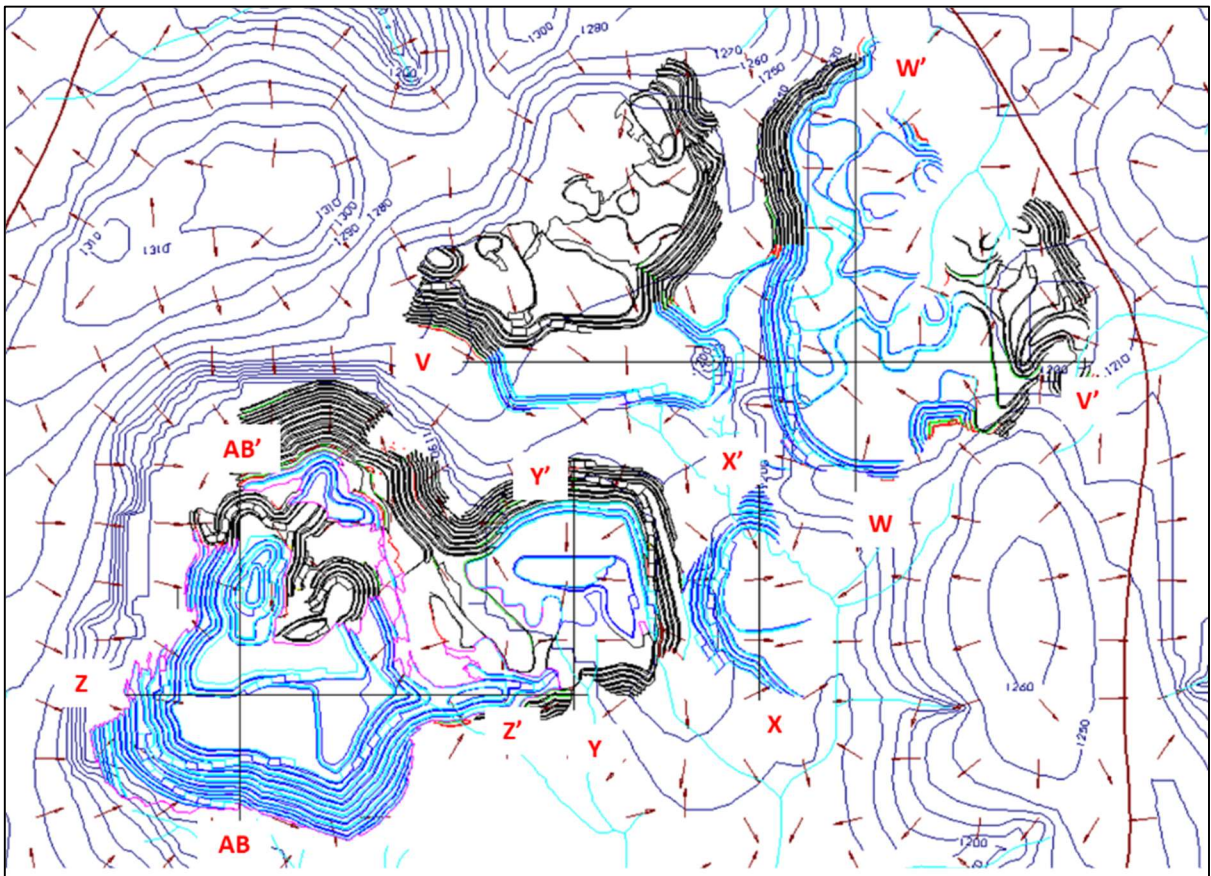


Figura 7.34: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2030 (layer 7, stress period 38: 3409 dias).



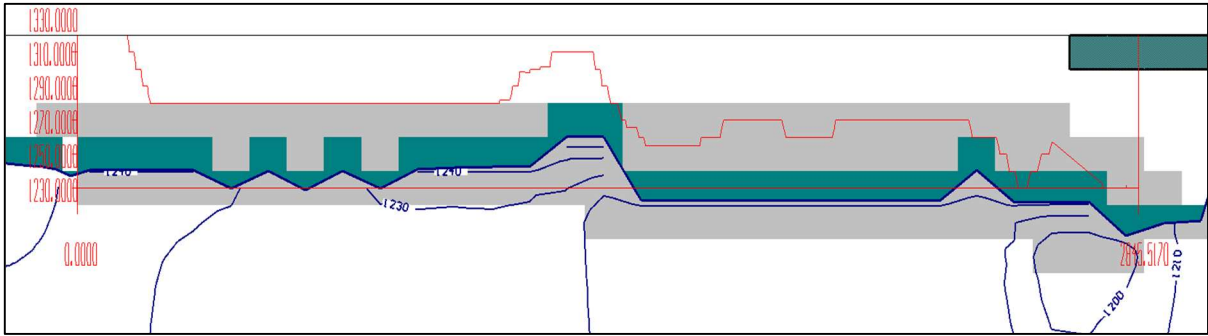


Figura 7.35: Vista em seção vertical (V-V') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

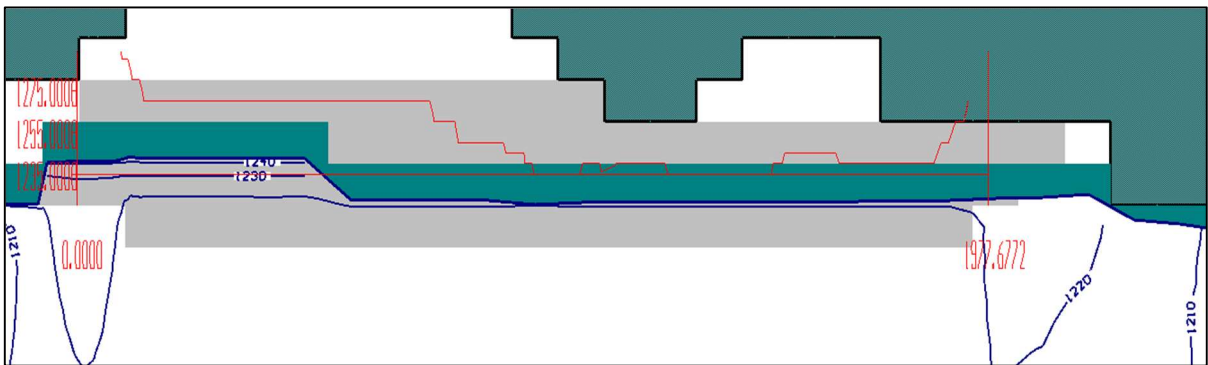


Figura 7.36: Vista em seção vertical (W-W') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

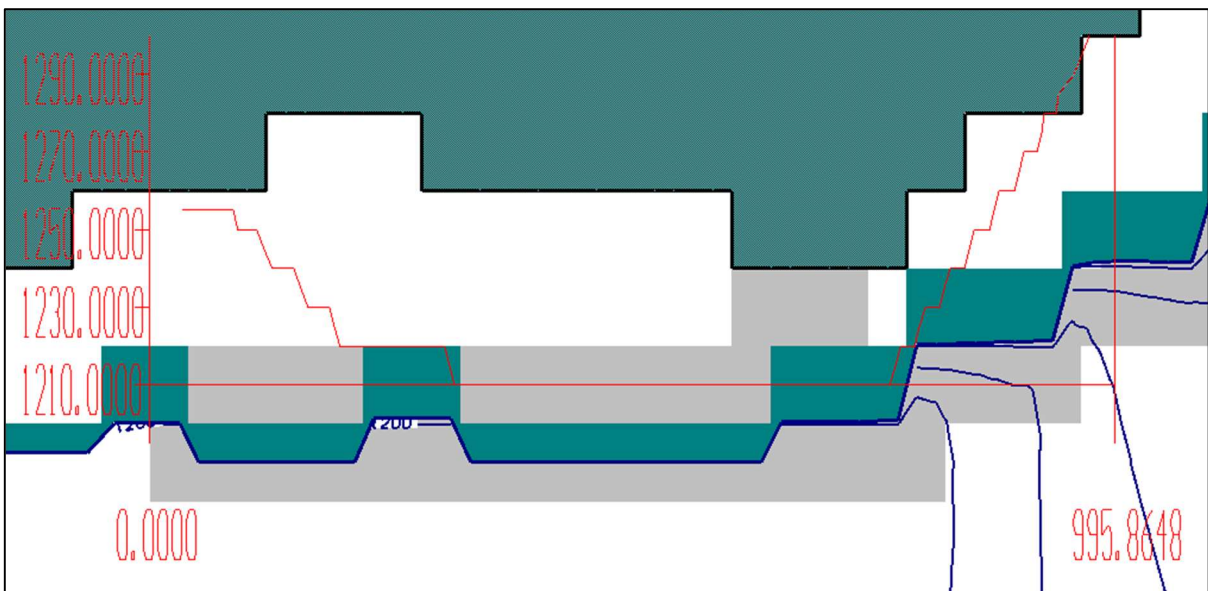


Figura 7.37: Vista em seção vertical (X-X') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

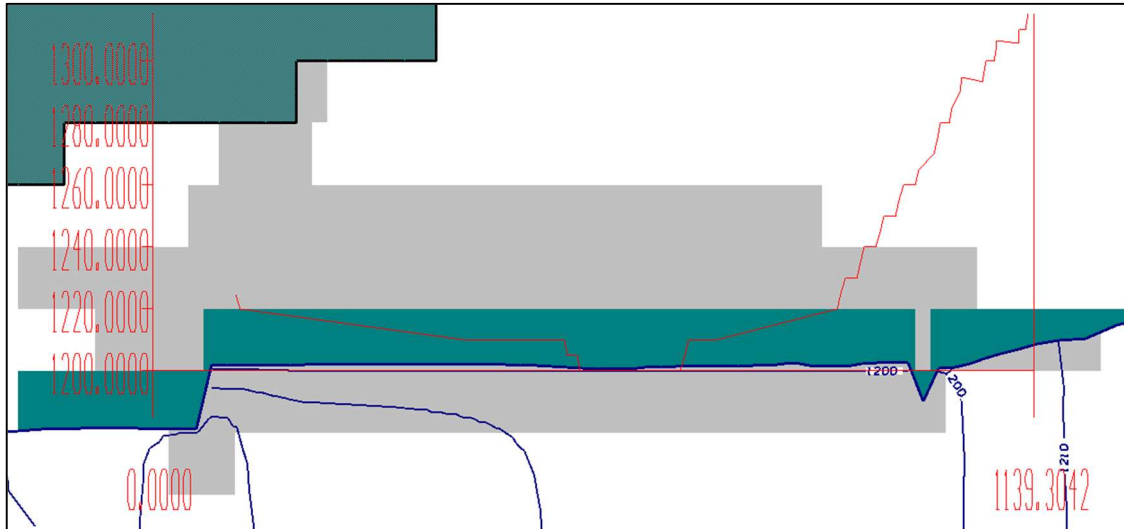


Figura 7.38: Vista em seção vertical (Y-Y') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

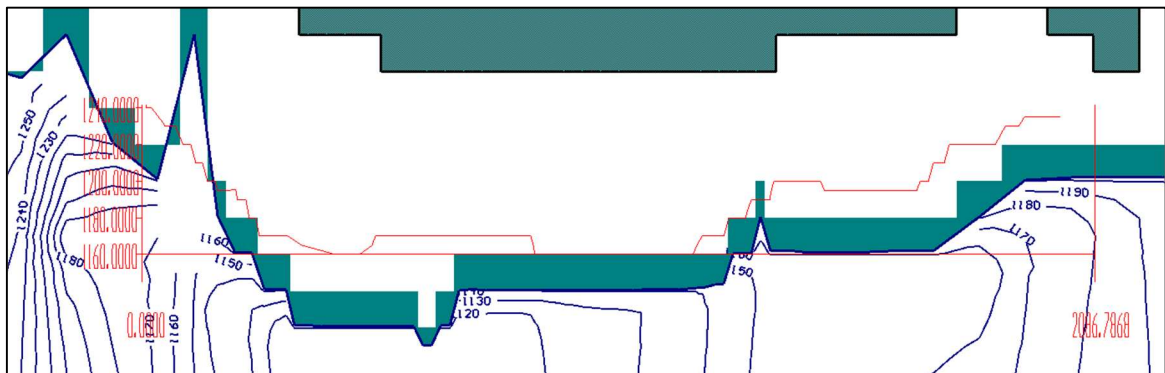


Figura 7.39: Vista em seção vertical (V-V') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

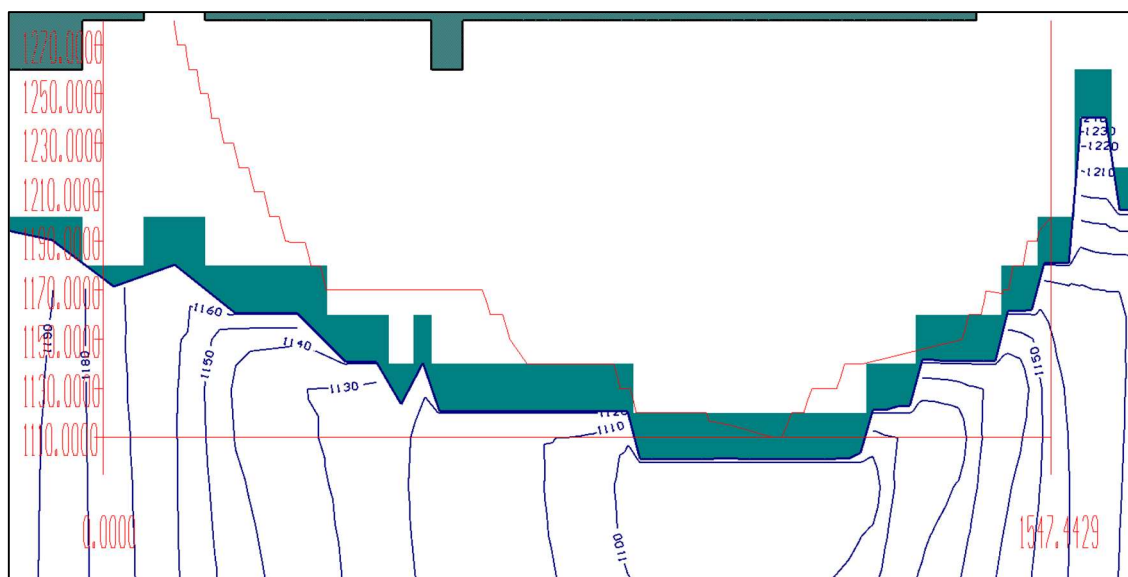
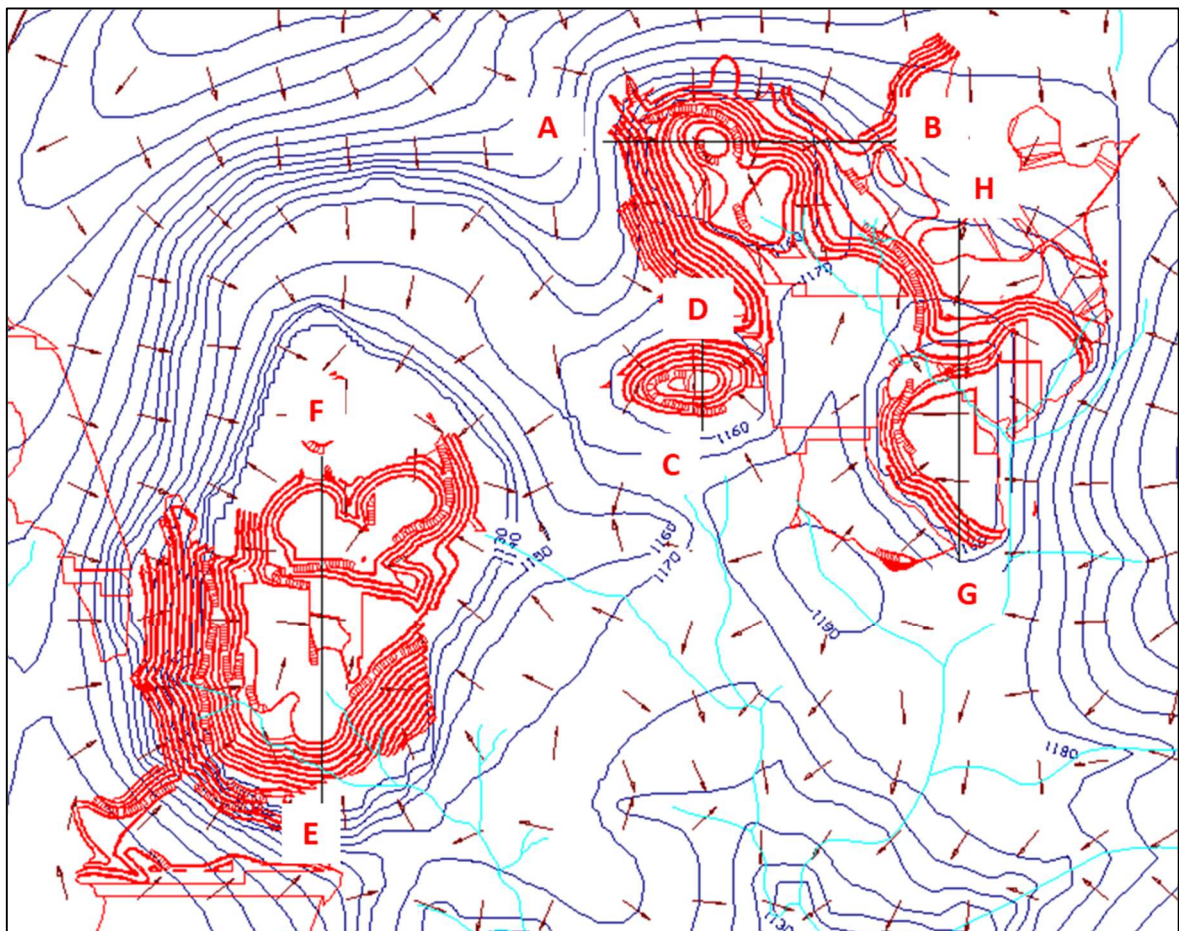


Figura 7.40: Vista em seção vertical (V-V') - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

### 7.4.7 Cava de 2040

Os resultados gerados na simulação realizada para atendimento dos avanços planejados para a cava operacional de 2040 estão apresentados em planta pela Figura 7.41, ilustrando as curvas equipotenciais (de 10 em 10 metros) e o sentido do fluxo de água subterrânea na região das cavas (setas vermelhas), para a camada (layer) 10, correspondente ao plano horizontal de 1130 metros do modelo numérico. Nota-se que os avanços de interesse estão coloridos de vermelho.

Destaca-se que quatro seções verticais foram traçadas nesse cenário (linhas pretas), sendo as seções A-B (Figura 7.42), C-D (Figura 7.43) e G-H (Figura 7.44) na região da Cava Leste, e a seção E-F' (Figura 7.45) traçada nos avanços planejados para Bigorna.



**Figura 7.41: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA - Cava de 2040 (layer 10, stress period 78: 7062 dias).**



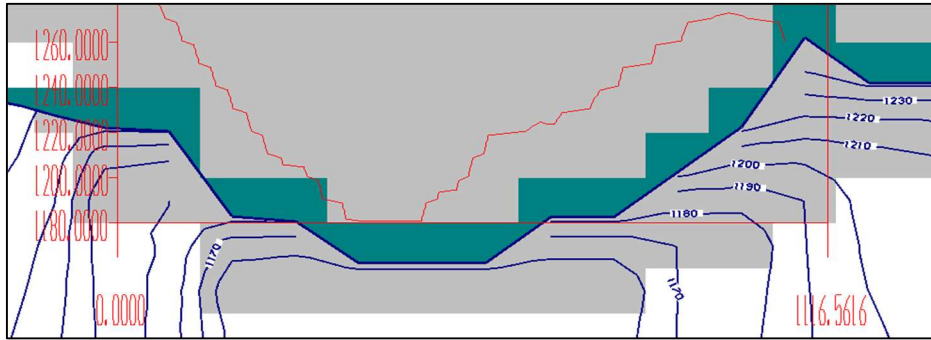


Figura 7.42: Vista em seção vertical (A-B) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

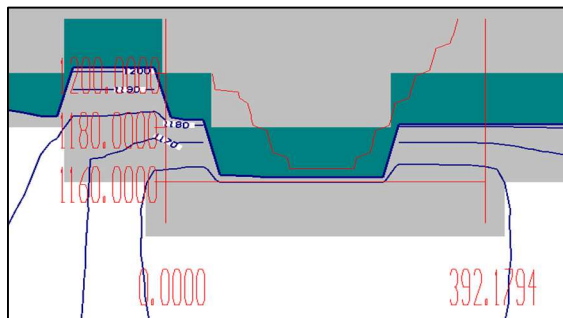


Figura 7.43: Vista em seção vertical (C-D) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

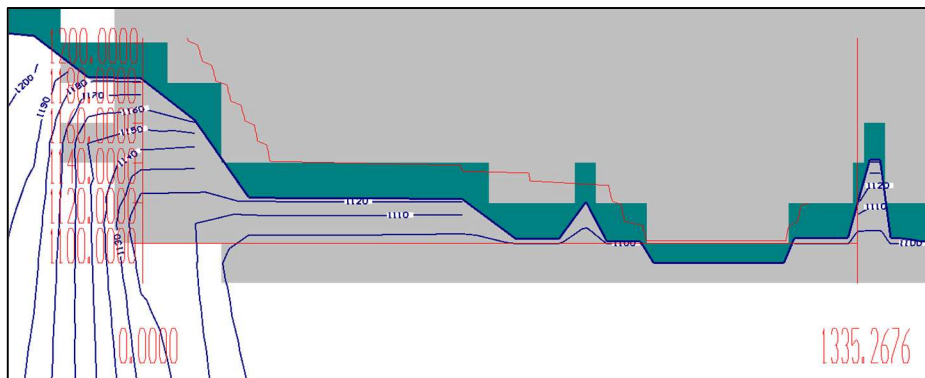


Figura 7.44: Vista em seção vertical (E-F) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).

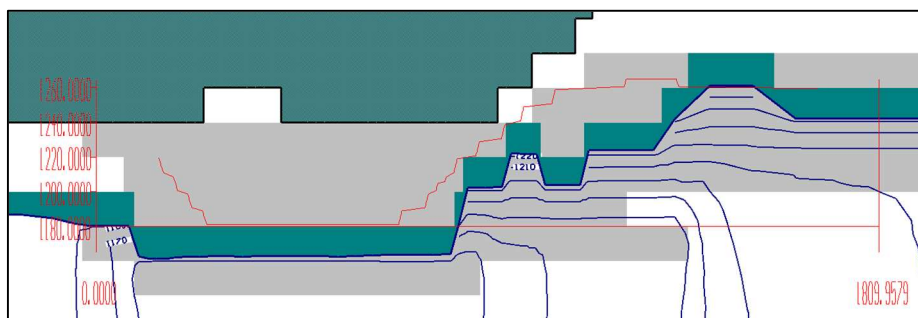


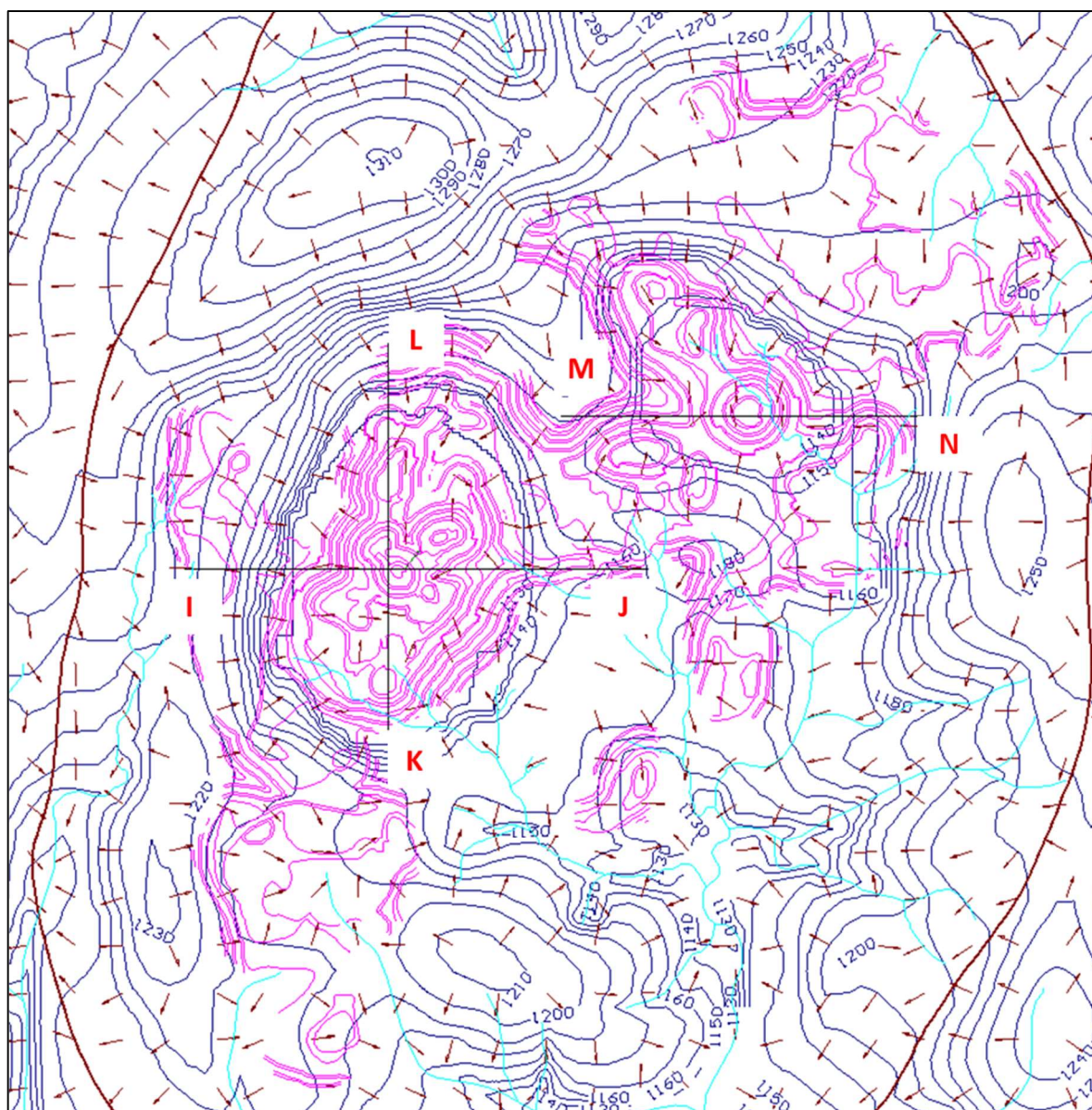
Figura 7.45: Vista em seção vertical (G-H) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2030 (stress period 38: 3409 dias).



#### 7.4.8 Cava de 2053

O resultado obtido na simulação realizada para a cava final planejada, ano de 2053, está apresentado na Figura 7.46. Nota-se que três seções foram traçadas nesse cenário, designadas pelas linhas pretas na figura, sendo elas: seção I-J (Figura 7.47), seção K-L (Figura 7.48) e seção M-N (Figura 7.49).

Destaca-se que, em geral, o nível de água simulado permanece predominantemente abaixo da cava final planejada (2053). Sendo assim, todas as cavas planejadas foram atendidas, com níveis de água simulados pelos drenos a, aproximadamente, 10 metros abaixo das bancadas.



**Figura 7.46: Vista em planta da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA- Cava de 2053 em ROSA (layer 10, stress period 130: 11810 dias).**

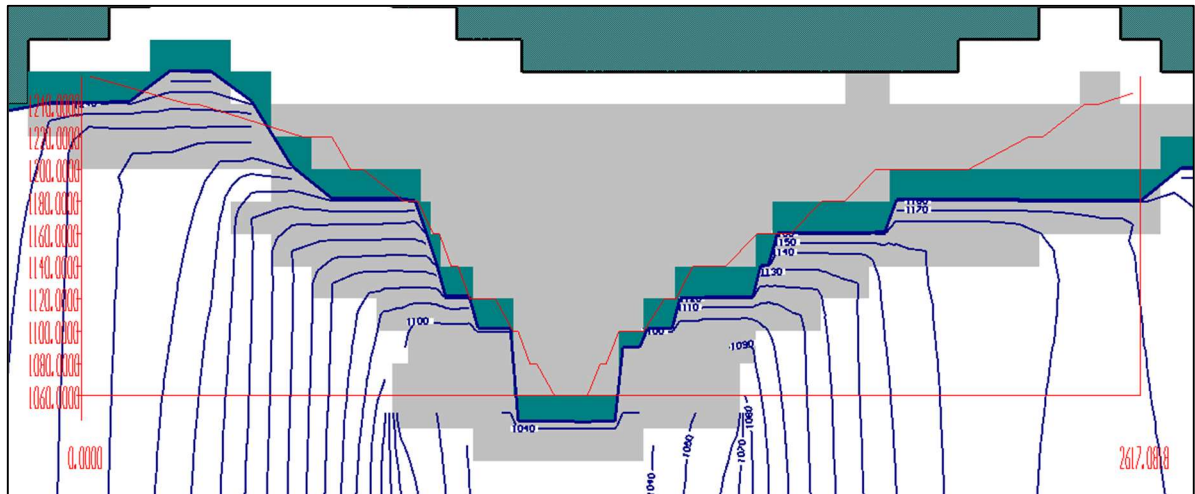


Figura 7.47: Vista em seção vertical (I-J) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2053 (stress period 130: 11810 dias).

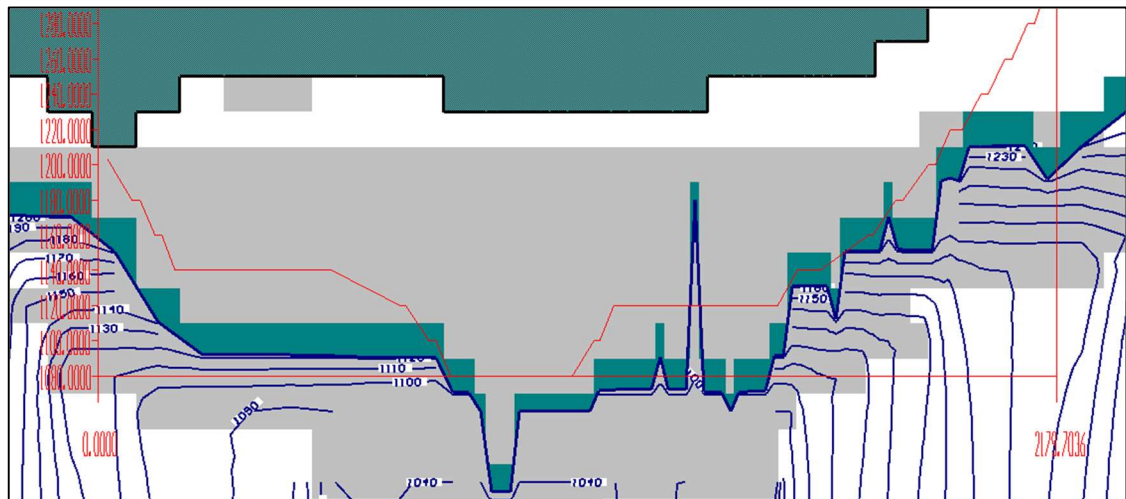


Figura 7.48: Vista em seção vertical (K-L) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2053 (stress period 130: 11810 dias).

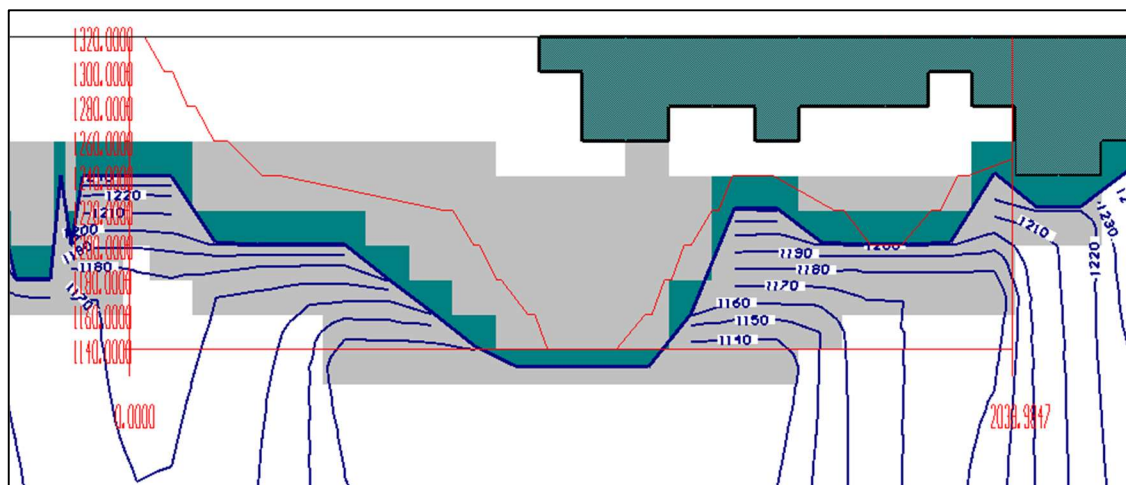


Figura 7.49: Vista em seção vertical (M-N) - com exagero vertical - da superfície equipotencial e do fluxo subterrâneo – simulação RNA, 2053 (stress period 130: 11810 dias).

## 7.5 VAZÃO DE PRODUÇÃO DO SISTEMA DE REBAIXAMENTO

Por meio de cálculo efetuado nas novas zonas de balanço aplicadas sobre os drenos em cada cenário, foi possível quantificar a vazão necessária para rebaixar o nível d'água dos taludes, tanto nas bancadas drenadas por gravidade quanto nas bancadas em cava fechada.

A quantificação das vazões de água subterrânea produzidas em cada zona de balanço (frentes de lavra) e no conjunto de poços de bombeamento existentes em 2021 (continuidade dos mesmos até 2053) são apresentadas no ANEXO 5.

A Figura 7.50 apresenta de forma evolutiva as vazões de bombeamento necessárias para manter o nível d'água abaixo do “*bottom pit*” para os avanços de lavra planejados.

A pedido do cliente, as vazões foram quantificadas (nas zonas de balanço) e apresentadas de forma setorizada para melhor dimensionamento do sistema de desaguamento, a saber:

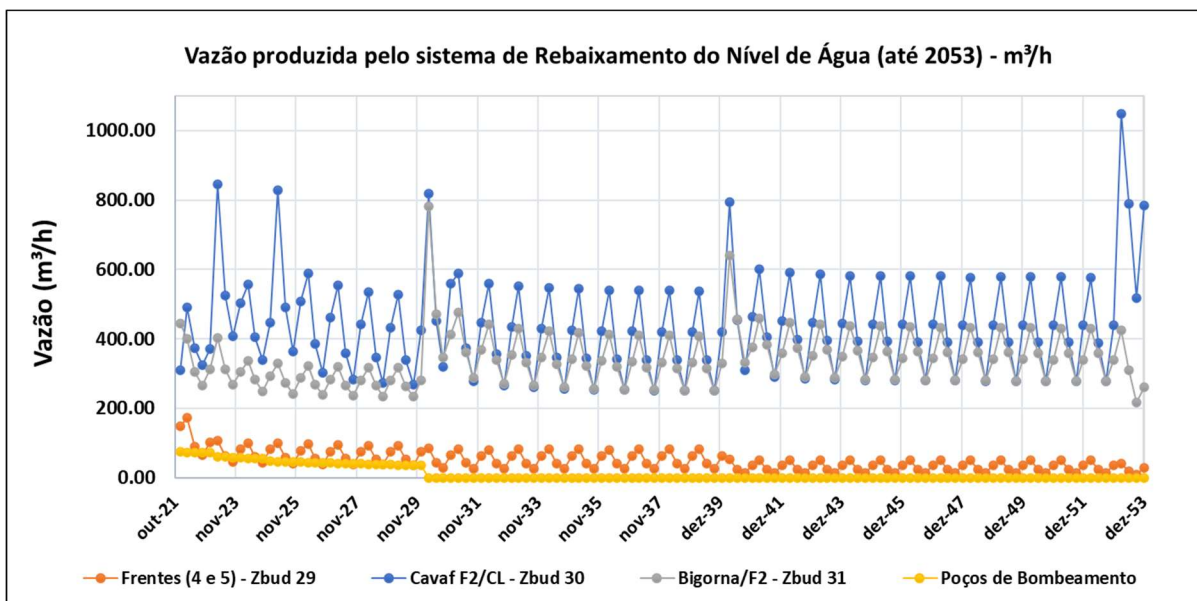
- **Frentes F4 e F5 (zona de balanço 29),**
- **Cava F2/CL “cava leste” (zona de balanço 30),**
- **F2/Bigorna (zona de balanço 31).**

Ressalta-se que para fins de licenciamento, todas estas áreas são consideradas como um único avanço, denominado de Cava Leste.

Os valores de saída das zonas de balanço do modelo em m<sup>3</sup>/dia, foram convertidos em m<sup>3</sup>/h para facilitar a avaliação.

Destaca-se ainda que, na prática, a produção de água subterrânea será realizada pelo conjunto de poços tubulares (existentes e futuros), somados ao bombeamento dos sump's e das drenagens superficiais por canaletas, tal como ocorre atualmente. Sendo assim, é importante ressaltar que as vazões simuladas pelo modelo para desaguamento das cavas planejadas, na realidade, não serão atingidas somente por meio do sistema bombeamento de água subterrânea.





**Figura 7.50: Vazão para o sistema de desaguamento das cavas (2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2030, 2040 e 2053), com produção dos poços existentes.**

Na região da F2/Bigorna a vazão de desaguamento obtida oscila predominantemente entre 200 e 450 m<sup>3</sup>/h, com aumentos gradativos a cada novo plano de lavra. Esse aumento gradual ocorre pela expansão lateral e aprofundamento dessa frente de lavra, com bottom pit em 2053 próximo a cota de 1060 metros (75 metros abaixo do atual). A vazão média produzida para atender os avanços em Bigorna foi de aproximadamente 340 m<sup>3</sup>/h, com seu pico acontecendo em março de 2030, período em que a vazão produzida foi de 780 m<sup>3</sup>/h.

Na região das frentes de lavra F4 e F5, local em que se tem os avanços menos significativos, a vazão se mantém, predominantemente, entre 40 e 100 m<sup>3</sup>/h nos primeiros anos, e regride para valores inferiores com o passar do tempo, atingindo valores próximos a 25 m<sup>3</sup>/h em 2053. A vazão média produzida nesse setor, ao se considerar todos os 52 anos e 4 meses de simulação, foi cerca de 50 m<sup>3</sup>/h, tendo seu pico nos primeiros anos (março de 2022), com 174 m<sup>3</sup>/h de vazão.

Já para os avanços da cava F2/CL, a vazão resultante foi aumentando gradativamente com o passar dos anos, com maiores vazões associadas a momentos de maior avanço de lavra. A vazão final estimada (dezembro de 2053) para desaguamento da cava final gira em torno de 785 m<sup>3</sup>/h. A vazão média produzida girou em torno de 440 m<sup>3</sup>/h.

Importante destacar que, os picos de vazão observados no gráfico estão relacionados aos anos em que existem cavas planejadas, isso acontece pois o recurso



dreno, principal responsável pelo desaguamento no modelo, retira uma grande quantidade de água nos períodos de tempo em que inicia seu funcionamento. Por exemplo: os drenos discretizados para atender a cava operacional planejada de 2025 iniciam sua operação todos concomitantemente, no primeiro período de stress referente a esse ano, sendo assim, uma grande quantidade de água é retirada de uma vez do modelo, causando tais picos. Na prática esse fenômeno não ocorre, pois os instrumentos de rebaixamento do nível d'água são instalados e operados de maneira gradativa.

Segundo dados obtidos nas simulações, a vazão total global resultante do desaguamento de todas as frentes, seja por drenagem por gravidade, bombeamento de Sump's e poços tubulares poderá chegar a valores da ordem de 500 a 1100 m<sup>3</sup>/h.

A vazão produzida pelos poços de bombeamento existentes vai diminuindo com o tempo (até praticamente zerar em março de 2030), muito pela perda de eficiência dos próprios poços (5% ao ano) e, principalmente, pelo próprio rebaixamento do nível de água na mina e avanço da lavra sobre os mesmos. Esse contexto já era esperado, até porque, os poços atuais não deverão existir em 2053.

A bateria de poços futura deverá necessariamente trabalhar em conjunto com o bombeamento dos *Sump's*, de forma dinâmica e contínua. O dimensionamento do conjunto de bombeamento do *sump* deve se basear entre outros, no volume de água produzido pelo empreendimento.

Como já alertado em outras ocasiões, embora baseado em critérios técnicos, um diagnóstico preciso para quantificar o número de poços para atender a demanda é bastante complexo, devido a fatores como comportamento bastante heterogêneo do depósito ("caixa de ovo"), redução no horizonte Isalterita (manto de intemperismo mais permeável) e restrições de locais em função da lavra, fatores estes que condicionam vazões muito distintas para poços, mesmo que próximos uns aos outros (situação dos poços atuais da Bigorna e F4-Araxá) e, cada vez menores.

Portanto, torna-se fundamental que a perfuração de novos poços seja precedida de estudos criteriosos para locação (com informações atualizadas de geologia, sondagens, estrutural, monitoramento, planejamento de lavra e levantamentos geofísicos de detalhe).

O conhecimento dos chamados “bolsões de magnetita” e porções mais permeáveis no domínio da Isalterita também é fundamental para as locações, uma vez que configuram a litologias mais permeáveis e produtoras de água subterrânea na região da Bigorna. Destaca-se que esse entendimento tem sido levado em conta nas locações dos últimos poços perfurados e, mesmo assim, torna-se cada vez mais difícil a perfuração de poços com vazões significativas na região atual da lavra.

Vale ressaltar que as vazões apresentadas correspondem apenas à vazão de água subterrânea que deverá ser drenada para a lavra, não considerando o aporte de água superficial, principalmente no período chuvoso. O modelo numérico simula apenas a água subterrânea. A configuração da cava gera uma zona de convergência da água superficial (precipitação pluviométrica) para dentro da cava fechada. A partir de dados de precipitação pluviométrica e conhecendo-se as taxas de evaporação de lagos da região, é possível quantificar um valor aproximado do volume de água pluvial a acumular no fundo das cavas em cada cenário simulado, bem como as vazões de desaguamento.

Por fim, reforça-se que a vazão gerada pelo modelo é uma estimativa, o pré-rebaixamento já está sendo realizado de maneira gradativa pela Mosaic.

## 7.6 ANÁLISE DE IMPACTOS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A análise de impactos está relacionada principalmente à interferência quantitativa provocada pelo rebaixamento do nível d'água da cava nas vazões dos córregos do entorno da mina. As simulações executadas permitiram observar as interferências no fluxo d'água subterrânea e as variações dos níveis decorrentes das atividades de rebaixamento do nível d'água subterrânea no período simulado.

Os gráficos adiante apresentam os valores de vazão calculada (em m<sup>3</sup>/h) para os córregos monitorados, em que foram aplicadas as zonas de balanço (Zbud's) desde o início da calibração em regime permanente, passando pela calibração em regime transiente, até o final da simulação (2053). Os valores apresentados correspondem apenas a vazões de água subterrânea (escoamento de base).

Destaca-se que os valores de vazão calculados pelo modelo na fase de calibração e simulação dos cenários estão em cor laranja. A linha vermelha tracejada indica a data final da calibração em transiente (agosto de 2021). Adicionalmente, estão ilustrados também nos gráficos a seguir, os valores das vazões calculadas em setembro de cada ano/cenário de cava simulado (período seco, mês estabelecido para a avaliação quantitativa e comparativa de cada cenário de cava simulado).

Nota-se que o único córrego que secou durante os cenários de simulação, foi o trecho de cabeceira do Córrego da Mata, monitorado pelo VT-01 (Zbud-2), que após dezembro de 2023 apresenta vazões calculadas iguais a 0 m<sup>3</sup>/h (Figura 7.51).

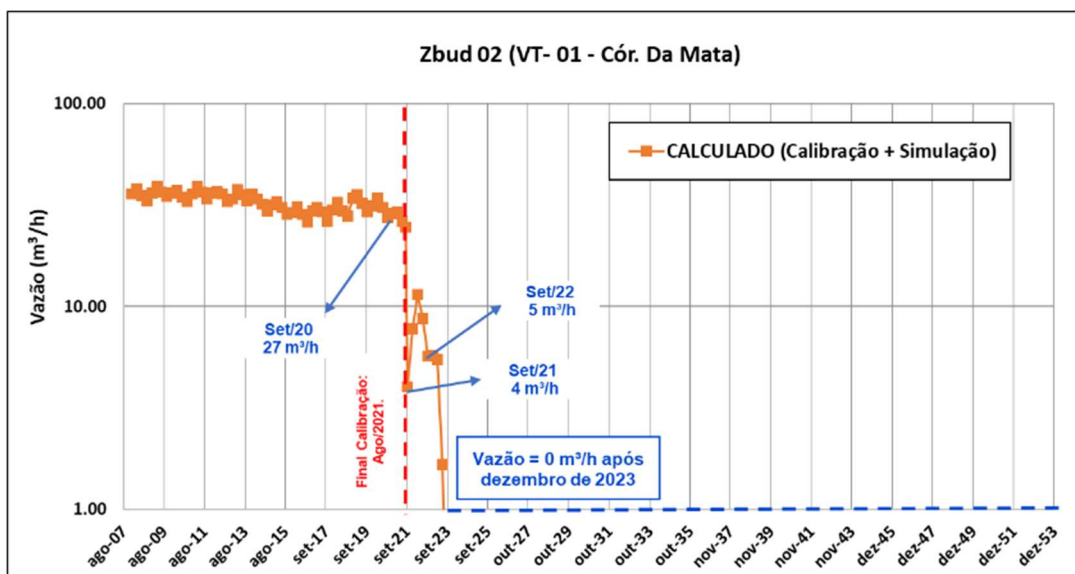


Figura 7.51: Evolução da vazão monitorada no VT-01 (Córrego da Mata - Montante) – Zbud 02 – calculado nas etapas de calibração e simulação (em m<sup>3</sup>/dia).

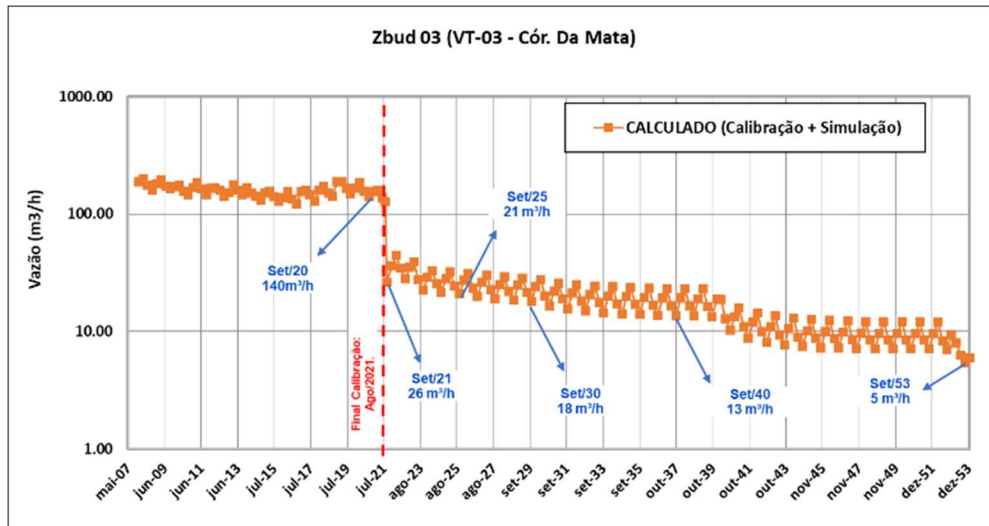


Figura 7.52: Evolução da vazão monitorada no VT-03 (Córrego da Mata - jusante) – Zbud 03 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

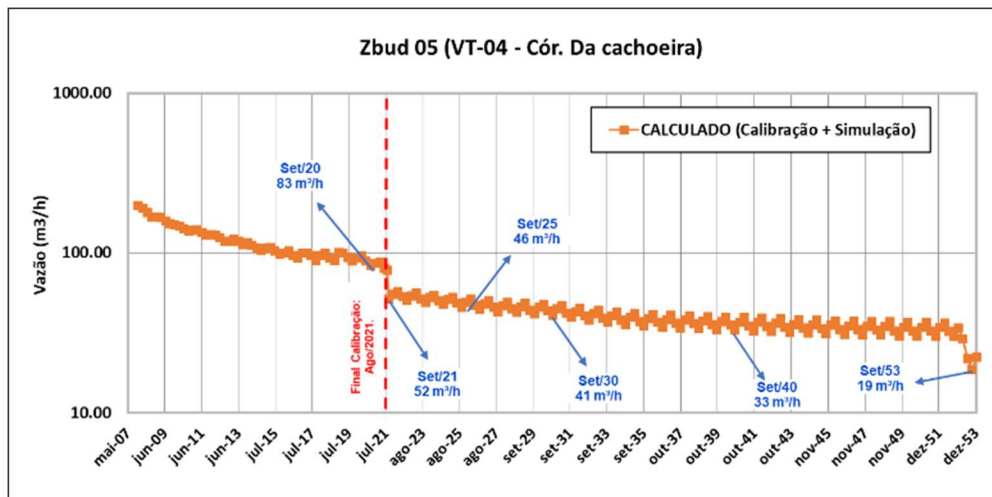


Figura 7.53: Evolução da vazão monitorada no VT-04 (Córrego da Cachoeira) – Zbud 05 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia)

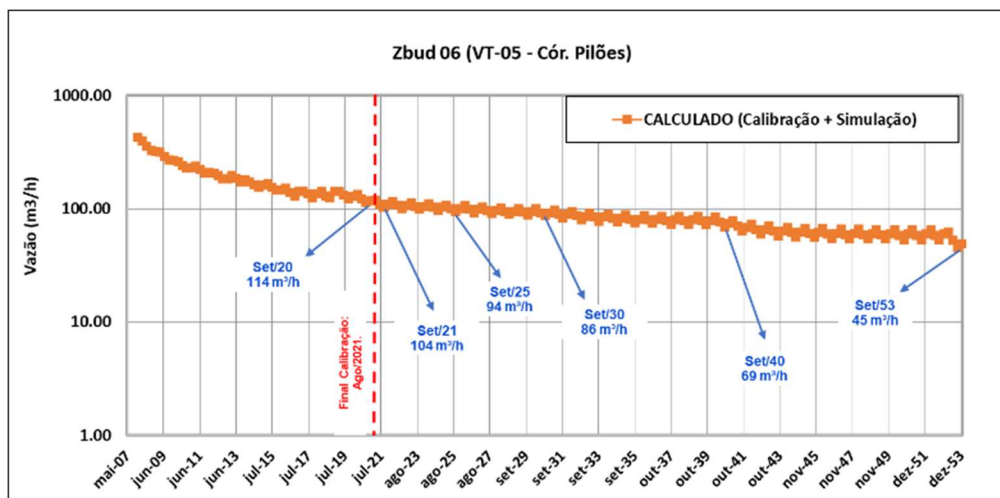


Figura 7.54: Evolução da vazão monitorada no VT-05 (Córrego dos Pilões) – Zbud 06 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).



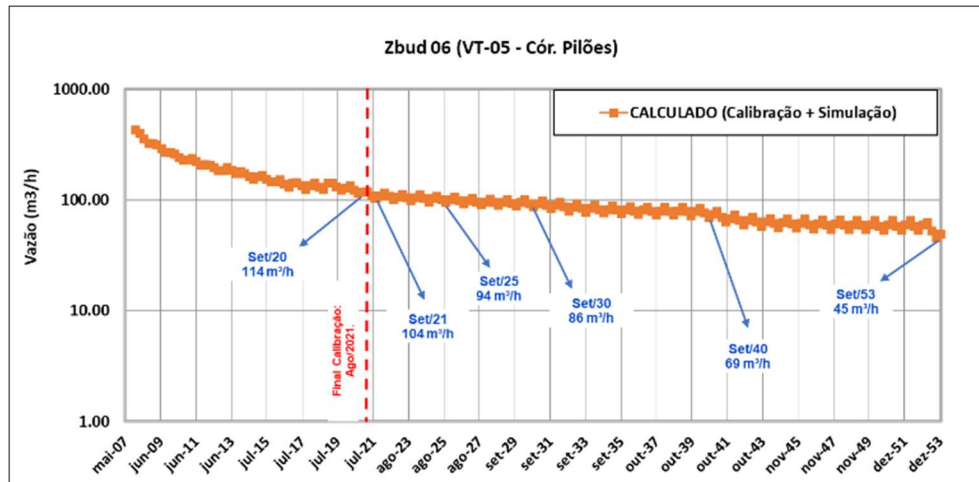


Figura 7.55: Evolução da vazão monitorada no VT-06 (Córrego Canjerana) – Zbud 07 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

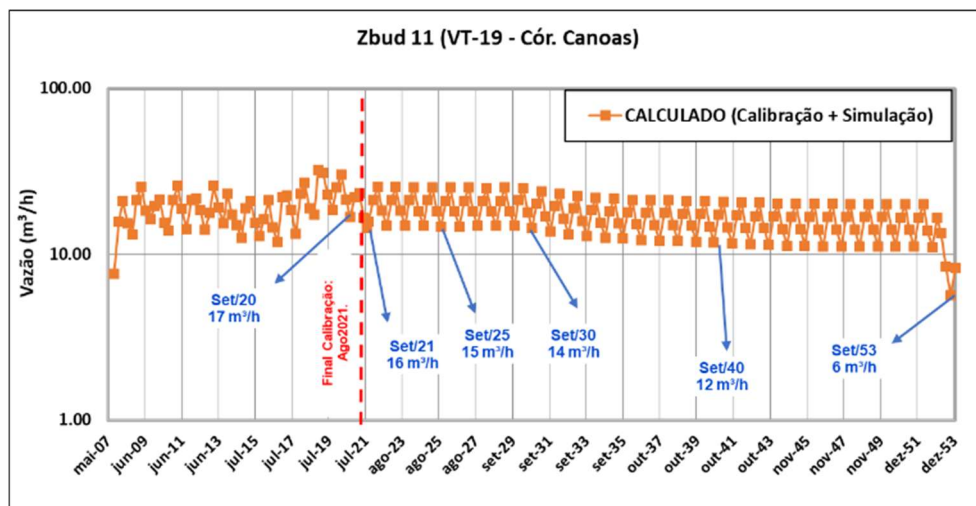


Figura 7.56: Evolução da vazão monitorada no VT-19 (Córrego Canoas) – Zbud 11 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

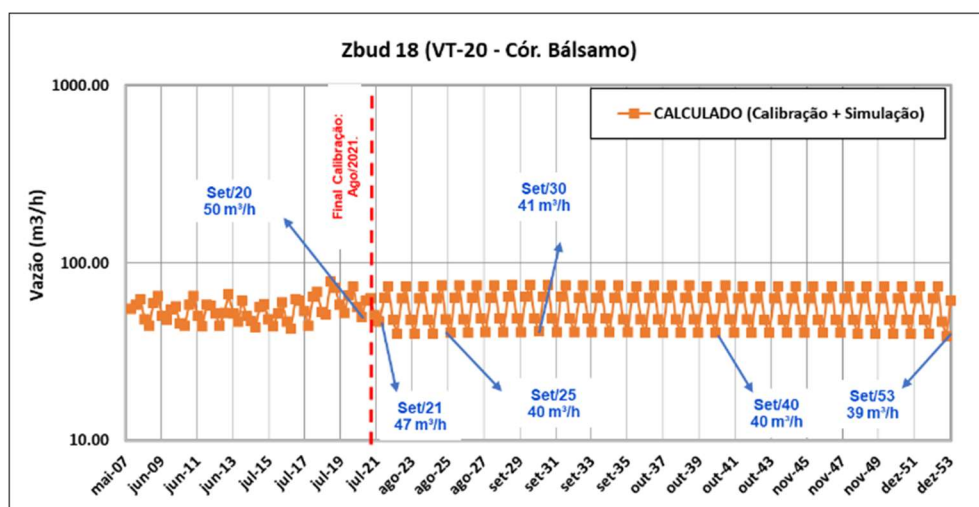


Figura 7.57: Evolução da vazão monitorada no VT-20 (Córrego Bálamo) – Zbud 18 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

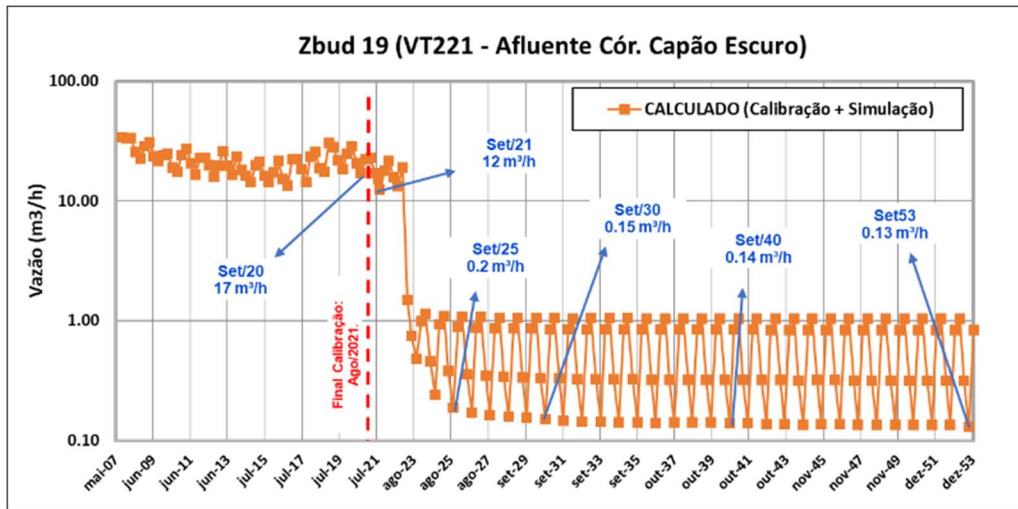


Figura 7.58: Evolução da vazão monitorada no VT-221 (Afluente Córrego Capão Escuro) – Zbud 19 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

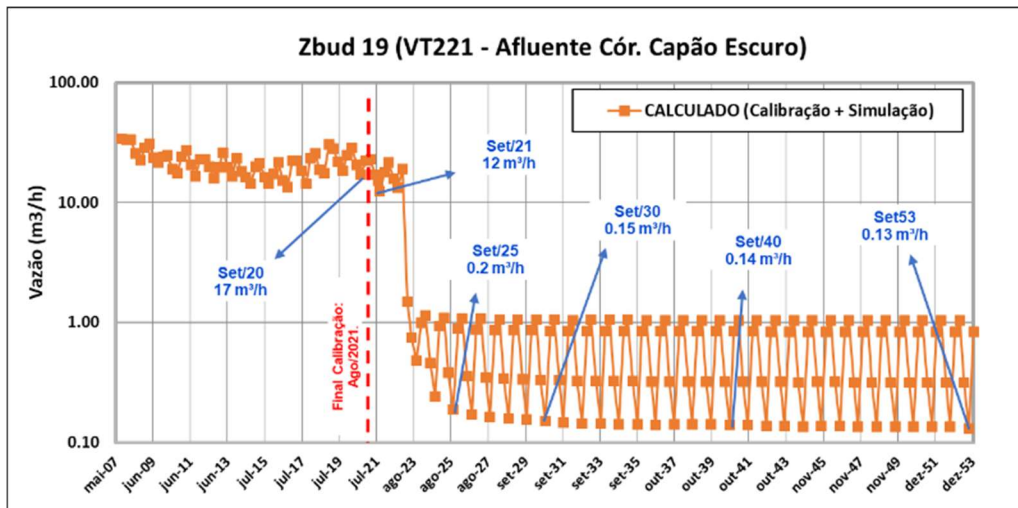


Figura 7.59: Evolução da vazão monitorada no VHM\_CESCUROM (Córrego Capão Escuro - Montante) – Zbud 20 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

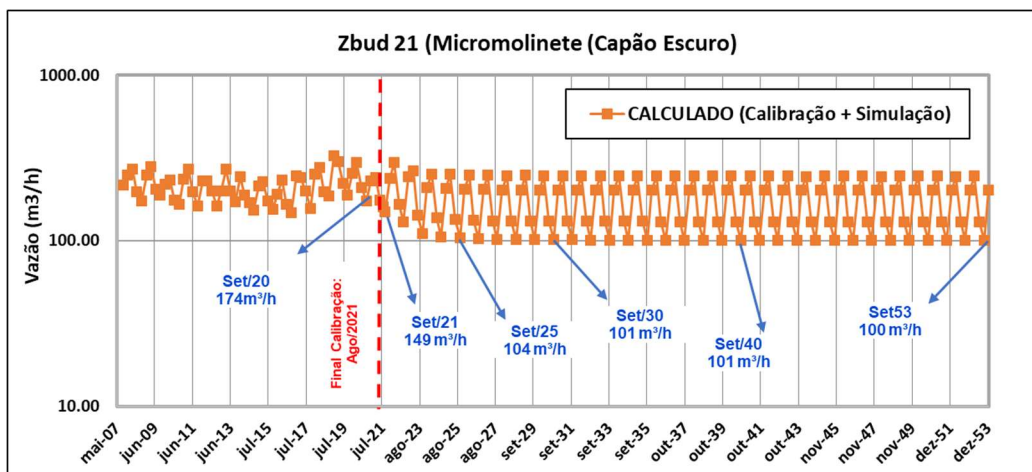


Figura 7.60: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Capão Escuro – Zbud 21 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

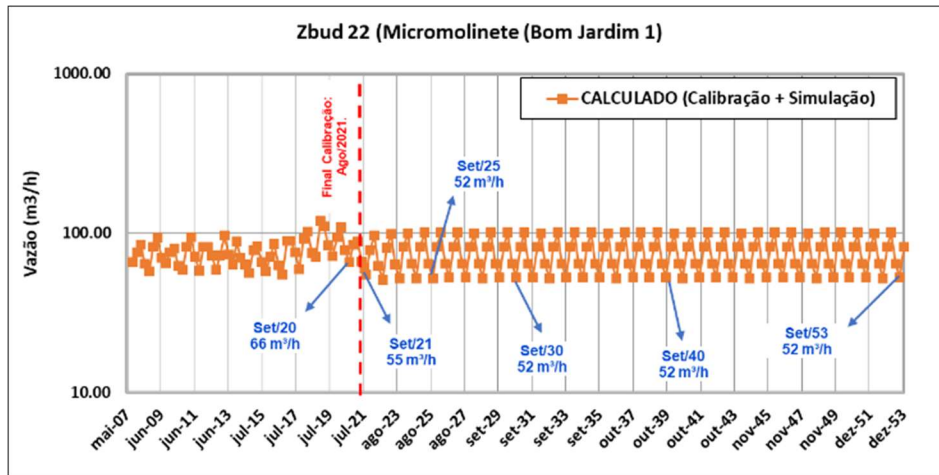


Figura 7.61: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Bom Jardim 1 – Zbud 22 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

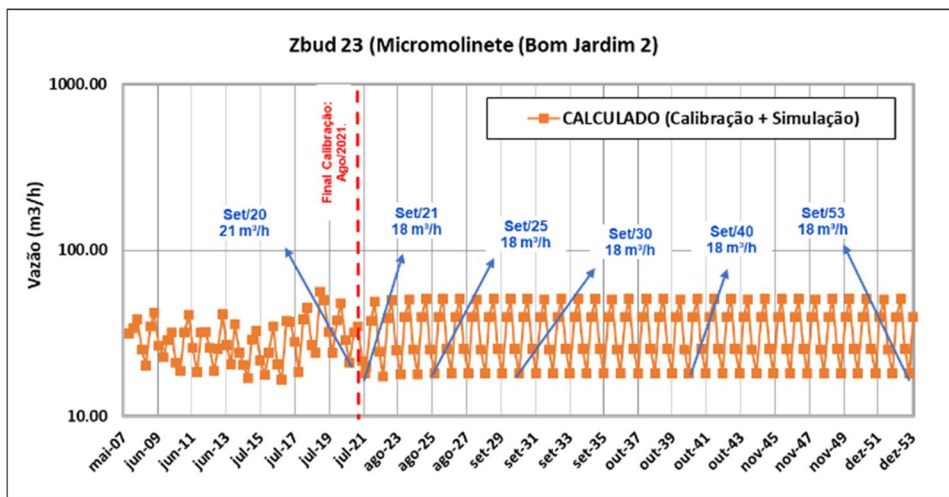


Figura 7.62: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Bom Jardim 2 – Zbud 23 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

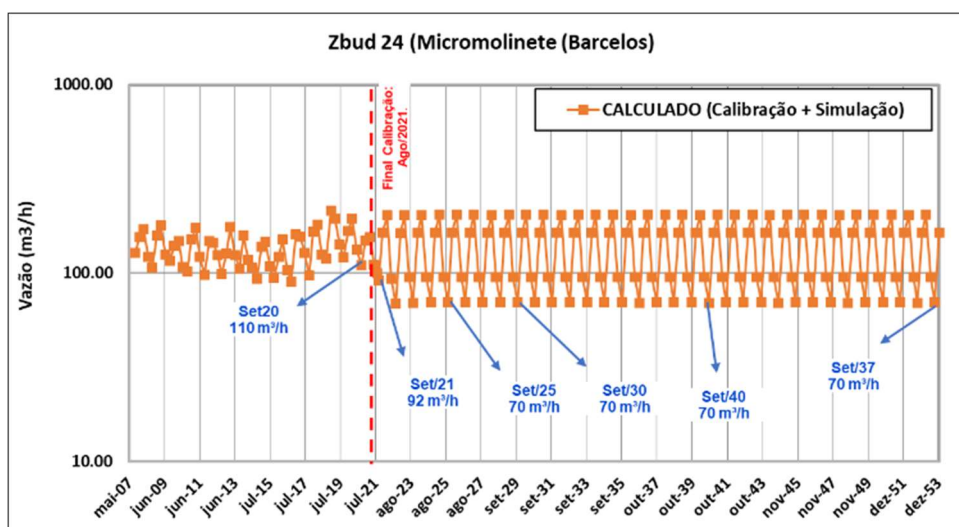


Figura 7.63: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Barcelos – Zbud 24 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

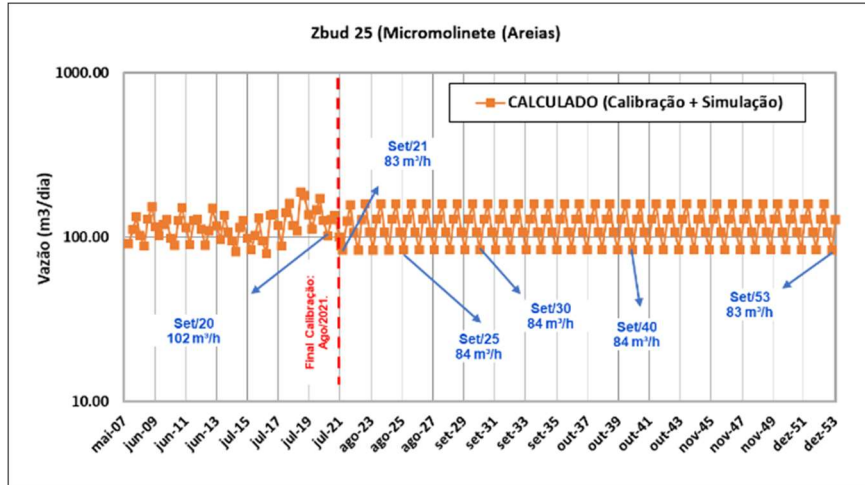


Figura 7.64: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Areias – Zbud 25 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

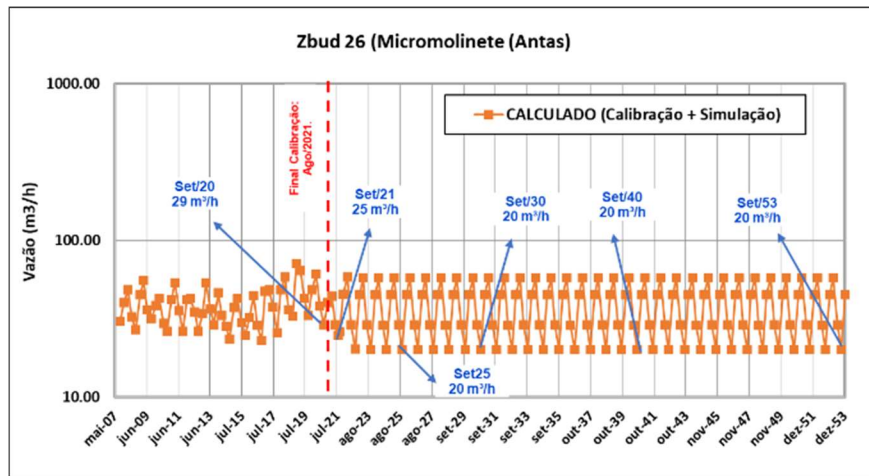


Figura 7.65: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Antas – Zbud 26 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).

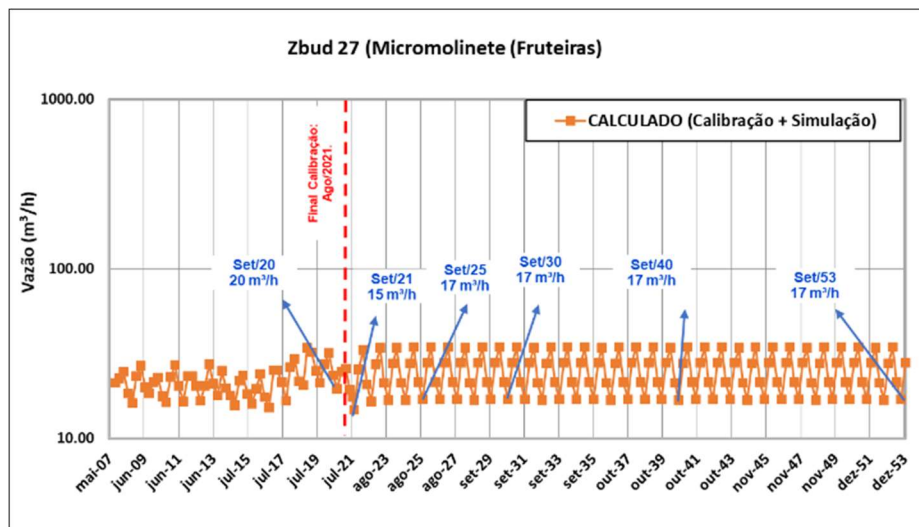


Figura 7.66: Evolução da vazão monitorada por micromolinete no Córrego Fruteiras – Zbud 27 - calculado nas etapas de calibração e simulação (em m³/dia).



A Tabela 7.3 a seguir apresenta uma continuação da Tabela 6.15 apresentada anteriormente, que demonstrou uma comparação entre as vazões observadas e as vazões calculadas (data base mês de setembro) em cada zona de balanço aplicada aos cursos d'água presentes na área na fase de calibração do modelo. Nessa nova tabela adicionou-se os valores calculados na etapa de simulação, para cada ano que contém cava simulada.

Essa comparação demonstra a variação de vazão exclusivamente de água subterrânea (escoamento de base) de cada curso de água, resultante dos impactos causados pelo rebaixamento do nível de água para atender as cavas planejadas até 2053.

De maneira geral, os córregos que se localizam mais próximos ao empreendimento (ex.: cabeceira do Córrego da Mata, Córrego dos Pilões e Córrego da Cachoeira), são os que sofrem os maiores impactos, tendo suas vazões mínimas (períodos secos) atingindo valores cada vez menores. Outro córrego bastante impactado nas simulações foi afluente do Córrego Capão Escuro (monitorado pelo VT-221), situado próximo ao do empreendimento (a leste), sobretudo a partir de 2023, com o avanço das frentes de lavra da cava leste. Os cursos d'água mais distantes do CMT, de modo geral, não apresentam impacto significativo em suas vazões, como mostra as tabelas a seguir. A Tabela 7.4 apresenta o máximo impacto, com a comparação da vazão atual e ao final da cava de exaustão – ano de 2053.

**Tabela 7.3: Vazões dos cursos d'água monitorados (atual e simulados), considerando o mês de setembro de cada ano como data base da análise.**

Zona de balanço (ATIVAS)	Local do Monitoramento	Calibração (m³/h)		Simulação (m³/h)							
		Obs. Set/20	Cal. Set/20	Cal. Set/21	Cal. Set/22	Cal. Set/23	Cal. Set/24	Cal. Set/25	Cal. Set/30	Cal. Set/40	Cal. Set/53
2	VT-01 - Córreg. Da Mata	26.6	27.4	4.0	5.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	VT-03 - Córreg. Da Mata (confluência)	98.6	139.7	26.0	27.9	22.3	21.6	20.8	16.5	10.2	5.4
5	VT-04 - Córreg. Da cachoeira	77.6	83.4	51.8	50.5	49.0	47.3	45.6	40.8	32.9	18.6
6	VT-05 - Córreg. Pilões	114.8	113.7	103.7	100.8	98.7	96.4	94.2	86.4	69.2	45.2
7	VT-06 - Córreg. Canjerana	68.8	105.6	75.2	73.6	74.6	75.1	75.4	75.9	75.9	65.6
11	VT-19 - Córreg. Canoas	81.6	16.8	15.8	14.9	14.9	14.8	14.8	14.3	11.8	5.6
18	VT 20 - Córreg. Balsamo	94.2	49.9	46.5	39.9	40.0	40.1	40.3	41.0	40.3	38.6
19	VT221 - Afluente Córreg. Capão Escuro	19.2	17.0	12.4	13.2	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
20	VHM_CESCUROM - Córreg. Capão Escuro (Montante)	não monitorado	56.7	50.2	33.6	33.4	33.0	32.9	32.7	32.7	32.7

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Zona de balanço (ATIVAS)	Local do Monitoramento	Calibração (m³/h)		Simulação (m³/h)							
		Obs. Set/20	Cal. Set/20	Cal. Set/21	Cal. Set/22	Cal. Set/23	Cal. Set/24	Cal. Set/25	Cal. Set/30	Cal. Set/40	Cal. Set/53
21	Micromolinete - Cór. Capão Escuro - (Jusante)	109.3	174.7	149.1	129.6	110.2	105.7	103.7	101.3	100.7	100.5
22	Micromolinete - Cór. Bom Jardim 1	131.7	65.9	54.9	51.0	52.1	52.3	52.4	52.5	52.4	52.4
23	Micromolinete - Cór. Bom Jardim 2	62.4	21.1	19.9	17.4	17.8	18.0	18.1	18.1	18.1	18.1
24	Micromolinete - Cór. Barcelos	102.5	110.4	91.8	68.8	69.8	69.9	70.0	69.9	69.8	69.8
25	Micromolinete - Cór. Areias	146.5	101.5	83.1	83.0	83.6	83.6	83.8	83.9	83.8	83.3
26	Micromolinete - Cór. Antas	20.7	29.0	26.1	20.3	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
27	Micromolinete - Cór. Fruteiras	25.7	19.6	14.7	16.6	16.8	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9

A Tabela 7.4 evidencia a comparação entre os valores calculados em setembro de 2020, etapa de calibração, e aqueles calculados na simulação da cava de exaustão-2053, apresentando a diferença percentual entre as vazões atuais e no cenário final de máximo impacto. Esse percentual de perda de vazão é uma maneira de se quantificar o impacto que empreendimento causa na disponibilidade de água subterrânea dos córregos do entorno.

**Tabela 7.4: Comparação entre as vazões calculadas para setembro de 2020 e setembro de 2053.**

Zona de balanço	Local do Monitoramento	Calibração	Simulação	
		Cal. Set/20	Cal. Set/53	Diferença (%)
2	VT-01 - Cór. Da Mata	27.4	0.0	-100.00%
3	VT-03 - Cór. Da Mata (confluência)	139.7	5.4	-96.14%
5	VT-04 - Cór. Da cachoeira	83.4	18.6	-77.70%
6	VT-05 - Cór. Pilões	113.7	45.2	-60.24%
7	VT-06 - Cór. Canjerana	105.6	65.6	-37.91%
11	VT-19 - Cór. Canoas	16.8	5.6	-66.39%
18	VT 20 - Cór. Bálsamo	49.9	38.6	-22.51%
19	VT221 - Afluente Cór. Capão Escuro	17.0	0.1	-99.23%
20	VHM_CESCUROM - Cór. Capão Escuro (Montante)	56.7	32.7	-42.38%
21	Micromolinete - Cór. Capão Escuro - (Jusante)	174.7	100.5	-42.50%
22	Micromolinete - Cór. Bom Jardim 1	65.9	52.4	-20.46%
23	Micromolinete - Cór. Bom Jardim 2	21.1	18.1	-14.28%

Zona de balanço	Local do Monitoramento	Calibração	Simulação	
		Cal. Set/20	Cal. Set/53	Diferença (%)
24	Micromolinete - Córreg. Barcelos	110.4	69.8	-36.77%
25	Micromolinete - Córreg. Areias	101.5	83.3	-17.93%
26	Micromolinete - Córreg. Antas	29.0	20.2	-30.31%
27	Micromolinete - Córreg. Fruteiras	19.6	16.9	-13.77%

Percebe-se que no cenário final de exaustão da mina, o curso d'água mais impactado corresponde ao Córrego da Mata, que tem sua vazão diminuída em 100% no seu trecho de cabeceira (zona de balanço 2), e em cerca de 96% até a confluência desse com o Córrego da Cachoeira. Tal impacto já era esperado, afinal nos avanços planejados para as cavas de 2021 a 2053, a Cava F2/CL, atingirá toda essa porção do Córrego da Mata.

Outros córregos próximos ao empreendimento que sofreram impactos bastantes significativos em sua disponibilidade hídrica ao final da mina são os córregos da Cachoeira e dos Pilões, ambos atingidos pelos avanços da lavra, apresentando quedas de 78% e 60% em suas vazões, respectivamente.

Por outro lado, os córregos que se localizam próximos ao município de Tapira (Barcelos, Areias, Antas e Fruteiras) não apresentam impactos quantitativos significativos, sendo o maior deles observado no Córrego Barcelos, que teve um percentual de redução de vazão atingindo 36%, uma redução, em valor absoluto, de 40 m<sup>3</sup>/h.

Um balanço geral dos dados obtidos no modelo numérico atesta para um aumento do sistema de bombeamento, diretamente relacionado a evolução da cava e ao rebaixamento do nível d'água. De acordo com a Mosaic Fertilizantes, este excedente hídrico produzido na mina será todo designado de forma a mitigar os impactos negativos que porventura sejam gerados sobre os córregos e captações de água para abastecimento das comunidades do entorno.

Portanto, os dados resultantes da simulação do rebaixamento do nível d'água da cava sustentam a hipótese de que, quando houver déficit quantitativo no escoamento de base dos córregos, o mesmo possa ser compensado mediante adução da água produzida no sistema de drenagem da cava.

Ressalta-se que a instalação do sistema de reposição já vem sendo implantado pela Mosaic, com base nos dados dos modelos anteriores, e deverá ser ampliado, para mitigar os impactos considerados nessa nova atualização do modelo.

### **7.6.1 Impacto do rebaixamento do nível d'água nas nascentes do entorno do empreendimento.**

Conforme aponta o item 3.3 deste relatório, a região do Complexo Minerário de Tapira apresenta um banco de dados consistente em relação a informações de nascentes (afloramentos naturais de água) e surgências (afloramentos de água dentro das cavas, que ocorrem devido as alterações no relevo) presentes na região, com pelo menos 3 campanhas de cadastramento de pontos de água realizadas (2014, 2015 e 2017).

Com relação às surgências presentes na área das cavas, estas continuarão sendo suprimidas pelas operações de lavra, uma vez que se encontram dentro das áreas de expansão da cava, não sendo possível a reposição da vazão nesses locais.

Para determinar quais nascentes serão potencialmente afetadas em cenário de cava final (2053), elaborou-se o mapa da Figura 7.67, que apresenta a área diretamente afetada pelo próprio desenvolvimento da cava (área em verde no mapa) e a área potencialmente afetada pelo processo de rebaixamento do nível d'água (em vermelho). Destaca-se que o perímetro de influência do rebaixamento foi delimitado a partir dos resultados de drawdown obtidos no cenário final de simulação (dezembro de 2053). As nascentes que se encontram internamente às áreas de influência delimitadas, tendem a ser impactadas pelo processo de expansão, aprofundamento e/ou desaguamento da cava.

Além do avanço da própria lavra, segundo a Mosaic, um novo depósito de estéril (Depósito - T6) será desenvolvido na área e foi solicitado pela contratante um parecer sobre os impactos causados nas nascentes presentes dentro do limite desse depósito (nascentes: CMT-NA-08, CMT-NA-09, CMT-NA-10, CMT-NA-11, CMT-NA-12, CMT-NA-18). Nota-se que todo o depósito está incluído dentro da área de influência do rebaixamento, região que, possivelmente, terá sua disponibilidade hídrica impactada.

Por fim, observa-se que as nascentes mais impactadas estão presentes nas áreas de cabeceiras dos córregos próximos ao empreendimento, cabeceira do Córrego da Mata, Córrego dos Pilões e Córrego da Cachoeira.



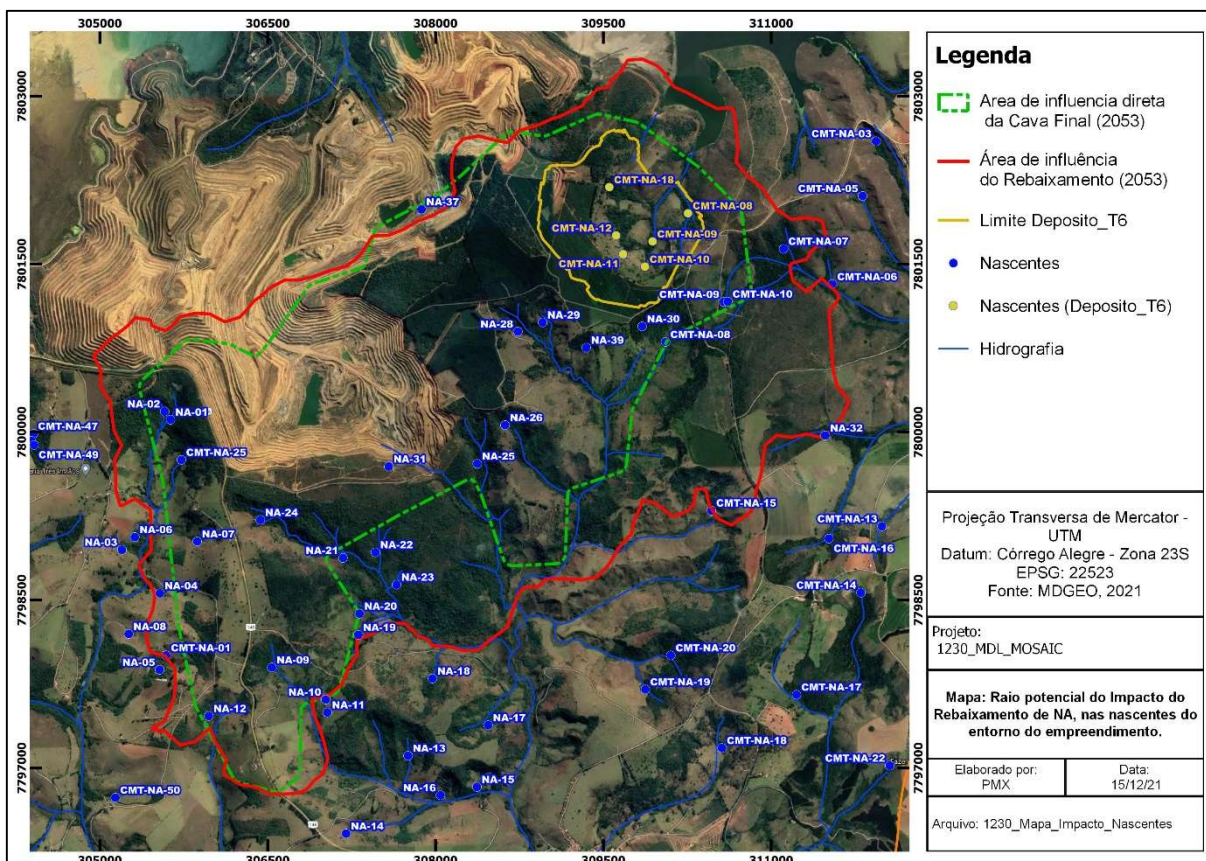


Figura 7.67: Área potencialmente afetada pelo rebaixamento do nível d'água no CMT - Cenário de cava final 2053.

### 7.6.2 Impactos qualitativos e plano de contenção de sedimentos

O conteúdo abaixo foi integralmente retirado de relatórios anteriores apresentado pela MDGEO (MDGEO, 2012 e 2016). Além das interferências na disponibilidade hídrica subterrânea, um possível impacto a ser cogitado, sobretudo no avanço da cava F2/CL sobre as cabeceiras de drenagem da bacia do Córrego da Mata, é a geração e carreamento de sólidos oriundos da lavra e da drenagem das bancadas para esta bacia.

Ressalta-se que esta análise, também apresentada nos relatórios anteriores, não faz parte do escopo deste projeto e não está relacionada com a disponibilidade hídrica, mas julgamos importante considerar essa possibilidade para futuras necessidades.

Considerando que a lavra da Cava Leste ocorrerá em encosta e que, sua drenagem será principalmente por gravidade, faz-se importante a elaboração de um plano de contenção de sedimentos.

Este plano deverá contemplar, por exemplo, estruturas que direcionem as águas acumuladas em decorrência de eventos de precipitação e que, conseqüentemente, devem minimizar o carreamento de sólidos que porventura estejam desagregados em função da lavra, além de diminuir a possibilidade de ocorrer erosão e promover a recarga do aquífero, favorecendo a manutenção de nascentes.

Dentre estas estruturas podemos citar: bacias de contenção de sedimentos, paliçadas e gabiões, exemplificadas pelas fotos a seguir.



**Figura 7.68: Exemplo de sistema composto por bacias de contenção. (Fonte: MAM, 2012).**



**Figura 7.69: Exemplo sistema de contenção via paliçadas. (Fonte: MAM, 2012).**





**Figura 7.70: Exemplo sistema de contenção via gabião. (Fonte: MAM, 2012).**

As paliçadas correspondem a estruturas mais simples que tem como a função, além de reduzir a velocidade de escoamento e conseqüentemente favorecer a sedimentação, também de filtrar a água escoada.

Os gabiões são mais usados para estabilizar taludes, encostas, etc. No entanto, também podem ser aplicados como estrutura de contenção de sedimentos de forma que, assim como as paliçadas, atue como redutor de velocidade do fluxo, facilitando o processo de sedimentação, e filtro a partir da percolação da água em seu interior. Vale ressaltar que, neste caso, embora seja comum o uso de manta geotêxtil sob gabiões para auxiliar no processo de filtração, não é recomendado devido ao processo de colmatação da manta, que pode comprometer a passagem do fluxo a jusante.

Já as bacias de contenção atuam mediante acúmulo de determinado volume de água visando à redução da velocidade do fluxo e propiciando a deposição dos sedimentos. No caso da instalação desta estrutura, deve-se considerar que o local de implantação, quando possível, seja suficiente para reservar um volume máximo diário precipitado em sua área de drenagem com um período de retorno seguro, ou vazão de bombeamento. Após a reserva desse volume, deve ser considerada sua infiltração em conjunto com a descarga controlada a jusante, com provável melhoria da qualidade das águas, em função da precipitação dos sedimentos e decantação da

água. Após a descarga das águas, deverá ser realizada a retirada dos sedimentos armazenados, de forma a manter disponíveis os volumes de reserva.

A escolha do melhor método a ser aplicado dependerá principalmente de aspectos como volume de água esperado a passar pela estrutura, e dimensões e declividade da área disponível para implantação desta.

Atualmente, segundo informado pela Mosaic Fertilizantes, já existe um projeto específico na área para este fim. A MDGEO vem reforçar que qualquer que seja a estrutura implantada, esta deverá ser mantida sempre limpa. Além disso, sugere-se o acompanhamento da integridade dos sistemas implantados, bem como de avaliação da eficiência destes.



### 7.6.3 Mitigação dos impactos na disponibilidade hídrica

Para elaboração de medidas mitigadoras para o impacto quantitativo na disponibilidade hídrica do entorno da mina, baseou-se no trabalho desenvolvido pela MDGEO em 2020 intitulado *Avaliação de estudos hidrológicos de vazões mínimas*, que teve como intuito reavaliar as estimativas de vazões mínimas presentes no entorno da área em estudo. Nessa análise, foram considerados apenas os dados de vazões mínimas monitoradas antes do início do bombeamento dos poços (maio/2007), com intuito de se estimar quais as vazões mínimas originais da área. Ressalta-se que esse trabalho está em fase final de revisão pelo cliente (Mosaic Fertilizantes).

Em geral, as vazões mínimas de referência mais utilizadas pelos órgãos ambientais do Brasil e necessárias para manter as condições de sobrevivência dos ecossistemas, são a Q90% e Q95%. Entretanto, em estados mais rigorosos como o de Minas Gerais, utiliza-se outro índice do regime de estiagem que é a vazão Q7,10 (vazão mínima anual com sete dias de duração e dez anos de período de retorno). Este valor pode ser calculado a partir da análise de frequência da amostra dos mínimos anuais de vazão com sete dias de duração, ajustando-se a estes valores uma distribuição de probabilidade teórica.

Todavia, como a periodicidade das vazões medidas nos vertedouros em questão é mensal e/ou semanal, não haverá a possibilidade do levantamento da vazão de referência Q7,10, apenas uma estimação de seu valor segundo os estudos da Watershed Science Centre (WSC, 2004) que demonstrou que a Q7,10 corresponde a aproximadamente a vazão de frequência Q98,85% a Q99,85%. Diante disso, a Tabela 7.5 apresenta as vazões mínimas estimadas (Q7,10 estimada) para os vertedouros do entorno da mina.

**Tabela 7.5: Vazões mínimas estimadas para os cursos de água presentes no entorno da mina.**

Instrumento	Vazões mínimas - m <sup>3</sup> /h (escoamento subterrâneo)
VT-01 (Córrego da mata - Cabeceira)	49,9
VT-02 (Afluente - Córrego da mata)	0,5
VT-03 (Córrego da mata – Jusante)	156,9
VT-04 (Córrego da Cachoeira)	90,4
VT-05 (Córrego Pilões)	156,9
VT-06 (Córrego Canjarana)	55,5
VT-19 (Córrego Canoas)	6,2
VT- 20 (Córrego Bálsamo)	69

 <b>MDGEO</b>		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_1230_MDL_MOSAIC_TAPIRA_2021_V01
<b>ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021</b>		

É válido ressaltar que as análises foram realizadas de maneira conservadora, considerando assim os intervalos de vazões predominantes, evitando, assim, dados extremos ou que ocorreram poucas vezes durante o período monitorado.

Referente à gestão e mitigação de impactos na disponibilidade de água subterrânea, acredita-se que o déficit de água proporcionado pelo rebaixamento do nível d'água da cava nos córregos possa ser compensado mediante bombeamento e reposição da água produzida no sistema de drenagem da cava para o leito dos córregos, bem como para outras necessidades dos colonos. Ressalta-se que essa reposição já vem sendo implantada pela Mosaic com base nos dados dos modelos anteriores.

Um cuidado a ser tomado nesses casos é com o monitoramento das vazões nos vertedouros nesses córregos (incluído parcela de reposição nas cabeceiras), uma vez que captações de usuários na bacia podem interferir na vazão monitorada nos vertedouros.

Além da reposição de água aos córregos potencialmente afetados pelo rebaixamento por meio de adução de água subterrânea produzida nos poços tubulares, a MDGEO sugere as seguintes medidas:

- Limpeza e manutenções nos vertedouros;
- Medição de vazão nos pontos de descarte da água aduzida para reposição (para garantir que a mesma está sendo feita para manter o escoamento base da bacia afetada)
- Alterar frequência de monitoramento de vazões de mensal para semanal em pontos críticos e que, porventura, já estejam sofrendo impactos;
- Conhecimento de todos os usuários água nas bacias do entorno da (colonos, comunidades rurais, comunidade reassentada) e devidas captações de água;
- Realização de campanha hidroquímica para a caracterização da qualidade de água superficial e subterrânea nos pontos de monitoramento de vazão e nos poços tubulares (existentes e a serem perfurados), e avaliação em relação aos padrões de qualidade para consumo humano previstos nas resoluções CONAMA 357 (águas superficiais) e 396 (águas subterrâneas).

## 7.7 ARQUIVOS DIGITAIS FINAIS DAS ETAPAS DO MODELAMENTO NUMÉRICO

Em todas as etapas do modelamento numérico, são gerados diversos arquivos, integrantes do pacote Visual Modflow (versão 2011). Os arquivos finais estão organizados na extensão. vmf da seguinte maneira:

**Recalibração em regime transiente:** *1230\_CMT\_calibrado\_VF*

**Simulações:** *1230\_CMT\_simula\_VF*

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo consistiu na atualização do modelo numérico do CMT para o ano de 2021, frente as novas informações disponibilizadas e aos novos cenários de cava planejados até o ano de 2053.

O modelo atual foi elaborado no programa *Visual MODFLOW* na versão 2011, contendo as etapas de calibração e simulações do rebaixamento do nível d'água nas cavas planejadas com foco nas regiões da Bigorna e Cava Leste, para atendimento às demandas em caráter operacional e ambiental.

### Calibração de níveis d'água e vazões

Considerando os instrumentos e o banco de dados de nível d'água disponível e os resultados obtidos no modelo, pode-se afirmar que foi alcançada uma boa calibração do nível d'água subterrâneo no modelo, principalmente nos instrumentos na região da Bigorna, alvo do processo de rebaixamento do nível d'água.

Em todos os 57 períodos de calibração, o erro médio normalizado RMS utilizado como parâmetro de calibração está próximo ou abaixo dos 10%, atestando a qualidade da calibração dos níveis d'água ao longo do tempo. O balanço de massa do modelo, cuja discrepância entre os valores totais de água subterrânea que entram e que saem do sistema foram inferiores a 0,03 em todos os períodos da calibração. Em termos de volumes acumulados, essa discrepância foi de 0 % atestando também boa qualidade da calibração do modelo.

As vazões calculadas nas zonas de balanço, associadas ao monitoramento de vazões nos cursos d'água da região do CMT, aproximam-se das vazões reais monitoradas, principalmente no que se refere às vazões mínimas do período de estiagem (escoamento base), proveniente exclusivamente da água subterrânea dos aquíferos em questão, foco do estudo.

### Simulações do rebaixamento do nível d'água

Foram simuladas 8 cavas planejadas para os próximos 53 anos de operação da mina, o quinquênio 2021-2025, e as cavas de 2030, 2040 e 2053.



A simulação se deu em 130 períodos de tempo de um trimestre cada, desde setembro de 2021 até dezembro de 2053, com análise do processo de rebaixamento do nível d'água anualmente e apresentação de dados ao final de cada simulação.

Foi simulada a continuidade da operação dos poços existentes levando-se em conta perdas de eficiência média anual (5%), de forma a representar da melhor forma possível a operação dos poços em condições futuras.

As estruturas de drenagem aplicadas, representadas pelos drenos, rebaixaram os níveis d'água abaixo das bancadas planejadas em cada cenário de forma eficaz, como o esperado com esse recurso matemático. Os drenos foram aplicados aproximadamente um banco (10 metros) abaixo das cotas das bancadas planejadas, tanto em cava fechada como em cava aberta. Destaca-se que todos os cenários estabelecidos foram bem atendidos.

Ressalta-se que de acordo com as informações constantes nos trabalhos anteriores, na cava principal (Bigorna), acima da cota 1220 metros a água produzida na cava tendem a ser drenada por gravidade, enquanto abaixo dessa cota, a lavra entra em cava fechada, com necessidade do bombeamento e adução. No final da simulação (cava 2053), os níveis d'água mais profundos simulados foram na cota 1060 metros (Bottom pit da região da Bigorna).

#### Vazões de produção do sistema de desaguamento

As vazões de produção de água subterrânea obtidas na simulação foram separadas em 3 setores para melhor dimensionamento: Frentes F4 e F5, F2/Bigorna e Cava F2/CL, além da continuidade dos poços tubulares atuais.

Ressalta-se que para fins de licenciamento, o avanço das cavas planejadas foi denominado como avanço Cava Leste, porém serão apresentadas individualmente a seguir para melhor compreensão.

Na região da F2/Bigorna a vazão de desaguamento variou predominantemente entre 200 e 450 m<sup>3</sup>/h, com aumentos gradativos a cada novo plano de lavra. Na região das frentes de lavra F4 e F5, local em que se tem os avanços menos significativos, a vazão se mantém, predominantemente, entre 40 e 100 m<sup>3</sup>/h nos primeiros anos, e

regride para valores inferiores com o passar do tempo, atingindo valores próximos a 25 m<sup>3</sup>/h em 2053.

Já para os avanços da cava F2/CL, a vazão resultante foi aumentando gradativamente com o tempo, com maiores vazões associadas a momentos de maior avanço de lavra. A vazão final estimada (dezembro de 2053) para desaguamento da cava final gira em torno de 785 m<sup>3</sup>/h. A vazão média produzida girou em torno de 440 m<sup>3</sup>/h. Ressalta-se que, em grande parte do avanço da lavra, designado como cava F2/CL, o desaguamento deverá ocorrer predominantemente por gravidade, na medida em que novas frentes de lavra são abertas.

Segundo dados obtidos nas simulações, a vazão total global resultante do desaguamento de todas as frentes, seja por drenagem por gravidade, bombeamento de sump e poços tubulares poderá chegar a valores da ordem de 500 a 1100 m<sup>3</sup>/h. Importante ressaltar que na prática, com o pré-rebaixamento executado corretamente ao longo do tempo, acredita-se que esses valores máximos não sejam atingidos.

A vazão produzida pelos poços de bombeamento existentes vai diminuindo gradativamente, muito pela perda de eficiência dos mesmos (5% por ano) e, principalmente, pelo próprio rebaixamento do nível de água na mina.

O dimensionamento/manutenção do sistema de desaguamento da mina deverá se nortear nos valores de vazão apresentados neste trabalho, considerando o bombeamento de poços, sump's, drenagem da água subterrânea produzida nos taludes (drenagem por gravidade), bem como de água superficial, proveniente de chuvas.

A quantificação do número de poços necessários para atender a demanda é complexa para este depósito e deve ser avaliada pontualmente. Não é viável a conversão da vazão demandada em número de poços, uma vez que eles não apresentam vazões da mesma ordem de grandeza. Essa dificuldade se dá por fatores como: comportamento heterogêneo do depósito, redução gradativa do horizonte Isalterita e restrições de locais em função da lavra, fatores estes que condicionam vazões muito distintas para poços (mesmo que próximos uns aos outros) tendendo a vazões cada vez menores

Portanto, torna-se fundamental que a perfuração de novos poços, vinculados as demandas exigidas para o desaguamento, seja precedida de estudos criteriosos para

 <b>MDGEO</b>		<b>RELATÓRIO MDGEO Nº</b>
		R_1230_MDL_MOSAIC_TAPIRA_2021_V01
<b>ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021</b>		

locação (com informações atualizadas de geologia, sondagens, estrutural, monitoramento, planejamento de lavra e levantamentos geofísicos de detalhe).

Reforça-se que a vazão do modelo é uma estimativa, o pré-rebaixamento já está sendo realizado de maneira gradativa.

### Análise de impactos na disponibilidade de recursos hídricos

A análise de impactos está relacionada principalmente à interferência quantitativa provocada pelo rebaixamento do nível d'água das cavas principal e leste nas vazões dos córregos do entorno da mina.

A partir dos valores de vazão mínima de água subterrânea obtidos no modelo na etapa de calibração (agosto de 2020 – período seco) e na etapa de simulação do rebaixamento do nível d'água, foi possível avaliar o impacto do empreendimento em nesses cursos de água, até o ano de 2053, com uma avaliação quantitativa e comparativa sempre focada no mês de setembro (mais precisamente no dia 30 de setembro) de cada ano – mês de estiagem.

A bacia do Córrego da Mata é a principal impactada, principalmente devido ao avanço da cava leste sobre sua cabeceira. Outros córregos bastante impactados são o Córrego da Cachoeira e o Córrego dos Pilões, ambos atingidos pelo avanço da lavra planejada até 2053. De forma geral, os cursos d'água mais próximos a mina sofrem os maiores impactos, justamente pelo avanço planejado atingi-los. Já os cursos d'água mais distantes, situados próximos ao município de Tapira, não apresentam redução significativa de suas vazões.

Um balanço geral dos dados obtidos no modelo numérico atesta para um aumento na disponibilidade de água subterrânea no sistema de bombeamento, diretamente relacionado a evolução da cava e do rebaixamento do nível d'água. O excedente hídrico produzido na mina poderá ser gerenciado de forma a mitigar os impactos negativos sobre os córregos do entorno.

Embora não faça parte do escopo deste projeto e não esteja relacionado com a disponibilidade hídrica, julgamos importante também considerar a possibilidade de impacto sobre a qualidade das águas da bacia do Córrego da Mata, oriundo da geração e carreamento de sólidos da lavra e da drenagem das bancadas para esta

bacia. Considerando que a lavra da Cava F2/CL ocorrerá principalmente em encosta e que, sua drenagem será principalmente por gravidade, recomendamos na ocasião, a elaboração de um plano de contenção de sedimentos.

Este plano deverá contemplar, por exemplo, estruturas que direcionem as águas acumuladas em decorrência de precipitação e que, conseqüentemente, devem minimizar o carreamento de sólidos que porventura estejam desagregados em função da lavra, além de diminuir a possibilidade de ocorrer erosão e promover a recarga do aquífero, favorecendo a manutenção de nascentes. Dentre estas estruturas foram citadas bacias de contenção de sedimentos, paliçadas e gabiões.

A escolha do melhor método a ser aplicado dependerá principalmente de aspectos como volume de água esperado a passar pela estrutura, e dimensões e declividade da área disponível para implantação desta.

#### Mitigação dos impactos na disponibilidade hídrica

Referente à gestão e mitigação de impactos na disponibilidade de água subterrânea, acredita-se que o déficit de água proporcionado pelo rebaixamento do nível d'água da cava nos córregos possa ser compensado mediante bombeamento e reposição da água produzida no sistema de drenagem da cava para o leito dos córregos, bem como para outras necessidades de colonos.

Além da reposição de água aos córregos potencialmente afetados a MDGEO sugere as seguintes medidas:

- Limpeza e manutenções nos vertedouros;
- Medição de vazão nos pontos de descarte da água aduzida para reposição (para garantir que a mesma está sendo feita para manter o escoamento base da bacia afetada)
- Conhecimento de todos os usuários água nas bacias do entorno da (colonos, comunidades rurais, comunidade reassentada...) e devidas captações de água;
- Realização de campanha hidroquímica para a caracterização da qualidade de água superficial e subterrânea nos pontos de monitoramento de vazão e nos poços tubulares (existentes e a serem perfurados), e avaliação em relação aos padrões de



qualidade para consumo humano previstos nas resoluções CONAMA 357 (águas superficiais) e 396 (águas subterrâneas).

Ressalta-se que a implantação do sistema de reposição já vem sendo implantado pela Mosaic com base nos dados dos modelos anteriores e deverá ser continuado para mitigação dos impactos considerando as novas informações do modelo atualizado.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS Ltda., 2001 – Estudo Hidrológico e Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Córrego da Mata – Relatório de Andamento – RT1, Belo Horizonte, outubro de 2001.

ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS Ltda., 2001 – Estudo Hidrológico e Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Córrego da Mata – Relatório de Andamento – RT2, Belo Horizonte, novembro de 2001.

ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS Ltda. – 2001 – Estudo Hidrológico e Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Córrego da Mata – Relatório de Andamento – RT3, Belo Horizonte, dezembro de 2001.

ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS Ltda. – 2002 – Estudo Hidrológico e Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Córrego da Mata – Relatório de Andamento – RT4, Belo Horizonte, janeiro de 2002.

ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS Ltda. – 2003 – Estudo Hidrológico e Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Córrego da Mata – Result. Testes Aquífero – RT5, Belo Horizonte, junho de 2003.

ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS Ltda. – 2004 – Avaliação das Possíveis Interferências do Rebaixamento do Lençol Freático da Mineração sobre os Recursos Hídricos e Uso da Água na Sub-Bacia do Córrego da Mata – Relatório Técnico – RT6, Belo Horizonte, setembro de 2004.

ÁGUA CONSULTORES ASSOCIADOS Ltda. – 2004 – Resultados Obtidos nos Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos Efetuados na Bacia Hidrográfica do Córrego da Mata, com Enfoque na Disponibilidade e Conservação dos Recursos Hídricos, em Cumprimento a Legislação Ambiental Vigente – Relatório Técnico – RT7, Belo Horizonte, setembro de 2004.

BERTACHINI, A. C. - 1987 – Estudo das Características Hidrológicas dos Terrenos Cristalinos Sob Clima Úmido na Região de Jundiá, em São Paulo. Tese (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências – USP.

BROD ET AL. 2004. Geologia e Mineralizações dos Complexos Alcalino-Carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. Roteiro de excursão. Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá, 2004.

		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_1230_MDL_MOSAIC_TAPIRA_2021_V01
<b>ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021</b>		

CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. 1983. Hidrología Subterránea. Barcelona: Ed. Omega, 1157 p., Tomo I e II.

DE FILIPPO, M. A. 2003 – Caracterização de Parâmetros Hidrogeológicos em Litologias do Quadrilátero Ferrífero, MG. Artigo técnico - Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG.

FCIHS. 2009. Hidrogeologia. Publicado por Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona, 768p.

HORTA, F; FRIGUETTO, E; GRANDCHAMP, C; COSTA, T. 2010 – Perfuração de DHP's - Drenos Horizontais Profundos – Experiência da Vale, II simpósio de mineração e recursos subterrâneos. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Núcleo Minas Gerais - ABAS-MG, maio de 2010. Disponível em <http://www.abas.org.br/simposio/palestras/palestras/15.pdf>

MDGEO – 2004 – Inventário de Pontos D'água na Mina de Tapira e Região da Bigorna – Complexo de Mineração de Tapira-CMT. Relatório Interno da FOSFERTIL/CMT, elaborado pela MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda., em maio de 2004 (REL\_FOSF\_CMT\_001\_04).

MDGEO – 2005 – Projeto de Rede de Monitoramento e Estruturas de Drenagem para o Rebaixamento do Nível D'Água da Mina de Tapira – Complexo de Mineração de Tapira-CMT. Relatório Interno da FOSFERTIL/CMT, elaborado pela MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda., em fevereiro de 2005 (REL\_FOSF\_CMT\_002\_05).

MDGEO – 2006 – Projeto de Rebaixamento do Nível D'Água da Mina de Tapira – Dimensionamento das Condições de Exploração do Poço Tubular Profundo da Área da Bigorna – Complexo de Mineração de Tapira-CMT. Relatório Interno da FOSFERTIL/CMT, elaborado pela MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda., em fevereiro de 2006 (REL\_FOSF\_CMT\_005\_06).

MDGEO – 2007A – Atualização dos Usos das Águas Superficiais e Subterrâneas com Elaboração dos Modelos Numéricos do Fluxo D'Água Subterrânea Regional e Operacional da Mina do Complexo Mineral de Tapira – Relatório de Visita Técnica e Avaliação da Rede de Monitoramento Hidrogeológica – Complexo de Mineração de Tapira-CMT. Relatório Interno da FOSFERTIL/CMT, elaborado pela MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda., em novembro de 2007 (REL\_FOSF\_CMT\_012\_07).

MDGEO – 2007B – Atualização dos Usos das Águas Superficiais e Subterrâneas com Elaboração dos Modelos Numéricos do Fluxo D'Água Subterrânea Regional e Operacional da Mina do Complexo Mineral de Tapira – Consolidação dos Dados da Rede de Monitoramento Hidrogeológica – Complexo de Mineração de Tapira-CMT. Relatório Interno da FOSFERTIL/CMT – EXTRA-OFICIAL, elaborado pela MDGEO Serviços de Hidrogeologia Ltda., em janeiro de 2008 (REL\_FOSF\_CMT\_013\_08).

MDGEO – 2008 – Atualização dos Usos das Águas Superficiais e Subterrâneas com Elaboração dos Modelos Numéricos do Fluxo D'Água Subterrânea Regional e Operacional da Mina do Complexo Mineral de Tapira – Projeto Preliminar de Rebaixamento do Nível D'água da Região da Bigorna Baseado no Modelo Numérico do Fluxo de água subterrânea do CMT - Relatório Interno da FOSFERTIL/CMT, Belo Horizonte, agosto de 2008 (REL\_FOSF\_CMT\_015\_08).

MDGEO – 2012 – Atualização do Modelo Numérico do Fluxo D'Água Subterrânea Regional e Operacional e Projeto Conceitual do Rebaixamento do Nível D'água - Complexo Mineral de Tapira –Relatório Interno da VALEFERT/CMT, Belo Horizonte, dezembro de 2012 (REL\_CMT\_RNA\_2012\_R4\_V39).

MDGEO – 2014 – Atualização do Modelo Numérico do Fluxo D'Água Subterrânea Regional e Operacional e Projeto Conceitual do Rebaixamento do Nível D'água - Complexo Mineral de Tapira –Relatório Interno da VALEFERT/CMT, Belo Horizonte, dezembro de 2014 (R\_VALEFERT\_CMT\_475\_MN\_V03).

MDGEO – 2015 – Atualização do Modelo Numérico do Fluxo D'Água Subterrânea Regional e Operacional e Projeto Conceitual do Rebaixamento do Nível D'água - Complexo Mineral de Tapira –Relatório Interno da VALEFERT/CMT, Belo Horizonte, dezembro de 2014 (R\_VALEFERT\_CMT\_633\_MN\_DOMO\_R3).

MDGEO – 2017 – Diagnóstico E Prognóstico Das Vazões Mínimas Das Bacias Do Entorno Do Complexo Mineração Tapira Valefert. [S.L.]: [S.N.], 2017.

MDGEO – 2020 – Diagnóstico E Prognóstico Das Vazões Mínimas Dos Pontos Vt-19 E Reposição, Localizados Na Bacia Do Córrego Canoas, Tapira/Mg. [S.L.]: [S.N.], 2020.

WATERSHED SCIENCE CENTRE- Considering Baseflow as flow or instream flow, WSC Repor 04-2004 de setembro de 2005 Ontario [www.trentu.ca/wsc](http://www.trentu.ca/wsc).



# ANEXOS

**ANEXO 1: Identificação, localização, status em 2021 e etapa de calibração do modelo em que foi utilizado cada instrumento de monitoramento do nível d'água e nascente**

Instrumento	Coordenadas		Status Atividade (2021)	Calibração em Transiente	Calibração em Permanente
	X	Y			
63_F5	308563	7802764	Inativo	X	-
67_F5	308582	7802878	Inativo	X	-
69_F5	308472	7802534	Inativo	X	-
CAV006	307957	7800142	Ativo	X	-
CC_01	306232	7799600	Ativo	X	-
CMT_NA_01_2015	311481	7804576	Inativo	-	X
CMT_NA_02_2015	311503	7804489	Inativo	-	X
CMT_NA_02_2017	301463	7803154	Inativo	-	X
CMT_NA_03_2015	311076	7804183	Inativo	-	X
CMT_NA_03_2017	311938	7802599	Inativo	-	X
CMT_NA_04_2015	311071	7804211	Inativo	-	X
CMT_NA_05_2015	311061	7804221	Inativo	-	X
CMT_NA_05_2017	311818	7802110	Inativo	-	X
CMT_NA_06_2015	310957	7804929	Inativo	-	X
CMT_NA_06_2017	311547	7801322	Inativo	-	X
CMT_NA_07_2015	310580	7804236	Inativo	-	X
CMT_NA_07_2017	311111	7801638	Inativo	-	X
CMT_NA_12_2017	312259	7798596	Inativo	-	X
CMT_NA_13_2015	311215	7802547	Inativo	-	X
CMT_NA_13_2017	311990	7799160	Inativo	-	X
CMT_NA_14_2015	311445	7802541	Inativo	-	X
CMT_NA_14_2017	311802	7798567	Inativo	-	X
CMT_NA_15_2015	311415	7802537	Inativo	-	X
CMT_NA_16_2015	311893	7803067	Inativo	-	X
CMT_NA_17_2015	312649	7803313	Inativo	-	X
CMT_NA_17_2017	311227	7797656	Inativo	-	X
CMT_NA_18_2017	310561	7797180	Inativo	-	X
CMT_NA_19_2015	312103	7802828	Inativo	-	X
CMT_NA_20_2015	310734	7804412	Inativo	-	X
CMT_NA_21_2017	310504	7796129	Inativo	-	X
CMT_NA_22_2015	303810	7804270	Inativo	-	X
CMT_NA_22_2017	312060	7797022	Inativo	-	X
CMT_NA_23_2015	303403	7803796	Inativo	-	X
CMT_NA_24_2015	303085	7802845	Inativo	-	X
CMT_NA_24_2017	311405	7795573	Inativo	-	X
CMT_NA_25_2015	303118	7803538	Inativo	-	X
CMT_NA_26_2015	302929	7802984	Inativo	-	X
CMT_NA_27_2015	302587	7802868	Inativo	-	X
CMT_NA_27_2017	302184	7799066	Inativo	-	X
CMT_NA_28_2015	304338	7800374	Inativo	-	X
CMT_NA_28_2017	302426	7799020	Inativo	-	X

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Instrumento	Coordenadas		Status Atividade (2021)	Calibração em Transiente	Calibração em Permanente
	X	Y			
CMT_NA_29_2015	304661	7799077	Inativo	-	X
CMT_NA_30_2015	302722	7802529	Inativo	-	X
CMT_NA_30_2017	302824	7798106	Inativo	-	X
CMT_NA_31_2015	302933	7800922	Inativo	-	X
CMT_NA_31_2017	303808	7797647	Inativo	-	X
CMT_NA_32_2015	302804	7801777	Inativo	-	X
CMT_NA_32_2017	303577	7797934	Inativo	-	X
CMT_NA_33_2017	304063	7797849	Inativo	-	X
CMT_NA_34_2015	302751	7799907	Inativo	-	X
CMT_NA_34_2017	304093	7797886	Inativo	-	X
CMT_NA_35_2015	303077	7800201	Inativo	-	X
CMT_NA_35_2017	303623	7797427	Inativo	-	X
CMT_NA_36_2015	303374	7800294	Inativo	-	X
CMT_NA_36_2017	303879	7796117	Inativo	-	X
CMT_NA_37_2017	304233	7795761	Inativo	-	X
CMT_NA_38_2017	306087	7794784	Inativo	-	X
CMT_NA_39_2017	306311	7795343	Inativo	-	X
CMT_NA_40_2017	306829	7796149	Inativo	-	X
CMT_NA_41_2017	306876	7794676	Inativo	-	X
CMT_NA_42_2017	307310	7794119	Inativo	-	X
CMT_NA_43_2017	308333	7794663	Inativo	-	X
CMT_NA_44_2017	308441	7794433	Inativo	-	X
CMT_NA_47_2017	304409	7799987	Inativo	-	X
CMT_NA_48_2017	304389	7799924	Inativo	-	X
CMT_NA_49_2017	304413	7799886	Inativo	-	X
CMT_NA_50_2017	305139	7796737	Inativo	-	X
CMT_NA_51_2017	305136	7796058	Inativo	-	X
DV02	307941	7801870	Inativo	X	-
DV02	307941	7801870	Inativo	-	X
DV03	307871	7801819	Inativo	X	-
DV03	307871	7801819	Inativo	-	X
DV05	306731	7800328	Inativo	X	-
DV05	306731	7800328	Inativo	-	X
DV07	306753	7800393	Inativo	X	-
DV07	306753	7800393	Inativo	-	X
DV11	306748	7800508	Inativo	X	-
DV11	306748	7800508	Inativo	-	X
FURO JORRANTE	309067	7800574	Inativo	-	X
INA_146INA_456_AS	305680	7798735	Ativo	X	-
INA_149INA_457_AS	305649	7797467	Ativo	X	-
INA_284_CL	308201	7800398	Ativo	X	-
INA_352_E10	309691	7802334	Ativo	X	-

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Instrumento	Coordenadas		Status Atividade (2021)	Calibração em Transiente	Calibração em Permanente
	X	Y			
INA_394_E10	309430	7801829	Ativo	X	-
INA_402_E10	309954	7801314	Ativo	X	-
INA_424_ABJ	306395	7798949	Ativo	X	-
INA_426CL	308204	7799878	Inativo	X	-
INA_427_E10	310590	7800619	Ativo	X	-
INA_457	308003	7797307	Ativo	X	-
INA_512	307945	7800535	Ativo	X	-
INA_521	306907	7800845	Ativo	X	-
INA_537	307329	7799819	Ativo	X	-
INA_540	307516	7799721	Ativo	X	-
INA_542	307039	7799573	Ativo	X	-
INA_548	308931	7802087	Ativo	X	-
INA_557	308324	7800493	Ativo	X	-
INA_560	308450	7800428	Ativo	X	-
INA_561	308385	7800304	Ativo	X	-
INA_565	306878	7799418	Ativo	X	-
INA_566	308294	7800589	Ativo	X	-
INA_567	308360	7800715	Ativo	X	-
INA_595	309204	7800189	Ativo	X	-
INA_613	308733	7801879	Ativo	X	-
INA_615	308479	7801851	Ativo	X	-
INA_618	308414	7801726	Ativo	X	-
INA_622T20	308129	7798811	Ativo	X	-
INA_623T13	308808	7799034	Ativo	X	-
INA_624T18	310272	7801153	Ativo	X	-
INA_625T21	310109	7800001	Ativo	X	-
INA_626	311581	7800586	Ativo	X	-
INA_627T19	311651	7802364	Ativo	X	-
INA_629T11	309567	7797160	Ativo	X	-
INA_630T03	303246	7800506	Ativo	X	-
INA_631T01	302316	7803144	Ativo	X	-
INA_632T0	301999	7801422	Ativo	X	-
INA_634T0	304207	7798262	Ativo	X	-
INA_635T0	306856	7795306	Ativo	X	-
INA_636T0	306029	7799625	Ativo	X	-
INA_637T0	308648	7796192	Ativo	X	-
INA_641T0	307291	7801207	Ativo	X	-
INA_643T0	307686	7800987	Ativo	X	-
INA_644T0	307772	7800694	Ativo	X	-
INA_646T0	306791	7799702	Ativo	X	-
INA_647T09	307870	7794723	Ativo	X	-
INA_648T16	312028	7799620	Ativo	X	-



**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Instrumento	Coordenadas		Status Atividade (2021)	Calibração em Transiente	Calibração em Permanente
	X	Y			
INA_655_F2	307166	7799507	Ativo	X	-
INA_656_F2	306627	7799550	Ativo	X	-
INA_CB01	304624	7800621	Inativo	X	-
INA_CB02	304820	7800587	Inativo	X	-
INA_CB03	305317	7800538	Ativo	X	-
INA060_F5	308372	7801770	Inativo	X	-
INA07F2	307561	7800415	Inativo	X	-
INA104_F5	308708	7802649	Inativo	X	-
INA111_F5	308906	7802344	Inativo	X	-
INA115_F5	309416	7802554	Ativo	X	-
INA11F2	307238	7800106	Inativo	X	-
INA145_F2	308008	7800340	Inativo	X	-
INA174F2	306601	7799645	Ativo	X	-
INA228F4	308857	7801652	Ativo	X	-
INA260F2	307081	7799950	Inativo	X	-
INA26F2	307607	7800955	Inativo	X	-
INA279_F2	307710	7800617	Inativo	X	-
INA27F2	307064	7800002	Inativo	X	-
INA281_F2	307822	7800440	Inativo	X	-
INA28F2	306970	7799971	Inativo	X	-
INA299_F2	306823	7799822	Inativo	X	-
INA30F2	307246	7800263	Inativo	X	-
INA310_F2	307314	7799866	Inativo	X	-
INA314_CL	307745	7800001	Inativo	X	-
INA31F2	307102	7800221	Inativo	X	-
INA324_F2	307391	7800976	Inativo	X	-
INA326_F2	307576	7800883	Inativo	X	-
INA32F2	307280	7800326	Inativo	X	-
INA334_CL	308930	7800416	Ativo	X	-
INA33F2	307398	7800670	Inativo	X	-
INA34F2	307377	7800516	Inativo	X	-
INA355_F2	307879	7800251	Inativo	X	-
INA35F2	307447	7800640	Inativo	X	-
INA441F_2	308029	7800089	Ativo	X	-
INA456_S	307560	7798057	Ativo	X	-
INA45F2	307306	7800388	Inativo	X	-
INA594	309072	7799399	Ativo	X	-
INA-627(T19)	311651	7802364	Inativo	X	X
INA62F2	307057	7800361	Inativo	X	-
INA-630(T03)	303246	7800506	Inativo	X	X
INA-633(T0)	304607	7800336	Inativo	X	X
INA-634(T0)	304207	7798262	Inativo	X	X

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Instrumento	Coordenadas		Status Atividade (2021)	Calibração em Transiente	Calibração em Permanente
	X	Y			
INA-635(T0)	306856	7795306	Inativo	X	X
INA-637(T0)	308648	7796192	Inativo	X	X
INA-647(T09)	307870	7794723	Inativo	X	X
INA-648(T16)	312028	7799620	Inativo	X	X
INA68F2	307121	7800334	Inativo	X	-
INA70F2	307148	7800232	Inativo	X	-
INA72F2	307223	7800360	Inativo	X	-
INA73F2	307176	7800299	Inativo	X	-
INA74F2	307204	7800235	Inativo	X	-
INA75F2	307278	7800487	Inativo	X	-
INA76F2	307162	7800033	Inativo	X	-
INA78_F5	308872	7802285	Inativo	X	-
INA83_F6	308909	7802511	Inativo	X	-
INA93_F5	308756	7802821	Inativo	X	-
INABig01	307295	7799996	Inativo	X	-
INABig02	307107	7799945	Inativo	X	-
INABig03	307221	7800917	Inativo	X	-
INABig04	307330	7800889	Inativo	X	-
INA-CB01	304624	7800621	Inativo	X	X
PZ_03	306964	7800578	Inativo	X	X
PZ_04	306471	7799952	Inativo	X	X
PZ_05	307982	7799607	Ativo	X	X
PZ_06	308680	7798122	Ativo	X	X
PZ_07	305879	7800540	Inativo	X	-
PZ_13	307175	7801123	Inativo	X	-
PZ_F1_01	305636	7800705	Inativo	X	-
PZ_F2_01	305927	7800503	Inativo	X	-
PZ_F2_02	305926	7800505	Inativo	X	-
PZ_F2_04	306041	7800244	Inativo	X	-
PZ_F2_06	305926	7800505	Inativo	X	-
PZ01 (68)	306672	7801328	Inativo	X	X
PZ19	308731	7802660	Ativo	X	-
PZ20	308762	7802549	Ativo	X	-
PZBIG01	306922	7800826	Ativo	X	-
PZBIG02	306922	7800826	Inativo	X	-
PZBIG06	306790	7799860	Ativo	X	-
PZTI_01	307172	7799983	Inativo	X	-
PZTI_02	307158	7800702	Inativo	X	-
PZTI_02(71)	307158	7800702	Inativo	X	X
PZTI01 (69)	307172	7799983	Inativo	X	X

**ANEXO 2: Períodos de stress, intervalos de tempo para a cava final, ano de 2053.**

PERÍODO DE STRESS	DATA		DIA DO MODELO			Cavas planejadas - CMT
	INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	Dia por Período	
1	01/09/2021	30/09/2021	0	30	30	PL_2021
2	30/09/2021	31/12/2021	30	122	92	
3	31/12/2021	31/03/2022	122	212	90	PL_2022
4	31/03/2022	30/06/2022	212	303	91	
5	30/06/2022	30/09/2022	303	395	92	
6	30/09/2022	31/12/2022	395	487	92	
7	31/12/2022	31/03/2023	487	577	90	PL_2023
8	31/03/2023	30/06/2023	577	668	91	
9	30/06/2023	30/09/2023	668	760	92	
10	30/09/2023	31/12/2023	760	852	92	
11	31/12/2023	31/03/2024	852	943	91	PL_2024
12	31/03/2024	30/06/2024	943	1034	91	
13	30/06/2024	30/09/2024	1034	1126	92	
14	30/09/2024	31/12/2024	1126	1218	92	
15	31/12/2024	31/03/2025	1218	1308	90	PL_2025
16	31/03/2025	30/06/2025	1308	1399	91	
17	30/06/2025	30/09/2025	1399	1491	92	
18	30/09/2025	31/12/2025	1491	1583	92	
19	31/12/2025	31/03/2026	1583	1673	90	PL_2026
20	31/03/2026	30/06/2026	1673	1764	91	
21	30/06/2026	30/09/2026	1764	1856	92	
22	30/09/2026	31/12/2026	1856	1948	92	
23	31/12/2026	31/03/2027	1948	2038	90	PL_2027
24	31/03/2027	30/06/2027	2038	2129	91	
25	30/06/2027	30/09/2027	2129	2221	92	
26	30/09/2027	31/12/2027	2221	2313	92	
27	31/12/2027	31/03/2028	2313	2404	91	PL_2028
28	31/03/2028	30/06/2028	2404	2495	91	
29	30/06/2028	30/09/2028	2495	2587	92	
30	30/09/2028	31/12/2028	2587	2679	92	
31	31/12/2028	31/03/2029	2679	2769	90	PL_2029
32	31/03/2029	30/06/2029	2769	2860	91	
33	30/06/2029	30/09/2029	2860	2952	92	
34	30/09/2029	31/12/2029	2952	3044	92	
35	31/12/2029	31/03/2030	3044	3134	90	PL_2030
36	31/03/2030	30/06/2030	3134	3225	91	
37	30/06/2030	30/09/2030	3225	3317	92	
38	30/09/2030	31/12/2030	3317	3409	92	
39	31/12/2030	31/03/2031	3409	3499	90	PL_2031
40	31/03/2031	30/06/2031	3499	3590	91	
41	30/06/2031	30/09/2031	3590	3682	92	
42	30/09/2031	31/12/2031	3682	3774	92	
43	31/12/2031	31/03/2032	3774	3865	91	PL_2032
44	31/03/2032	30/06/2032	3865	3956	91	

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

PERÍODO DE STRESS	DATA		DIA DO MODELO			Cavas planejadas - CMT
	INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	Dia por Período	
45	30/06/2032	30/09/2032	3956	4048	92	
46	30/09/2032	31/12/2032	4048	4140	92	
47	31/12/2032	31/03/2033	4140	4230	90	PL_2033
48	31/03/2033	30/06/2033	4230	4321	91	
49	30/06/2033	30/09/2033	4321	4413	92	
50	30/09/2033	31/12/2033	4413	4505	92	
51	31/12/2033	31/03/2034	4505	4595	90	PL_2034
52	31/03/2034	30/06/2034	4595	4686	91	
53	30/06/2034	30/09/2034	4686	4778	92	
54	30/09/2034	31/12/2034	4778	4870	92	
55	31/12/2034	31/03/2035	4870	4960	90	PL_2035
56	31/03/2035	30/06/2035	4960	5051	91	
57	30/06/2035	30/09/2035	5051	5143	92	
58	30/09/2035	31/12/2035	5143	5235	92	
59	31/12/2035	31/03/2036	5235	5326	91	PL_2036
60	31/03/2036	30/06/2036	5326	5417	91	
61	30/06/2036	30/09/2036	5417	5509	92	
62	30/09/2036	31/12/2036	5509	5601	92	
63	31/12/2036	31/03/2037	5601	5691	90	PL_2037
64	31/03/2037	30/06/2037	5691	5782	91	
65	30/06/2037	30/09/2037	5782	5874	92	
66	30/09/2037	31/12/2037	5874	5966	92	
67	31/12/2037	31/03/2038	5966	6056	90	PL_2038
68	31/03/2038	30/06/2038	6056	6147	91	
69	30/06/2038	30/09/2038	6147	6239	92	
70	30/09/2038	31/12/2038	6239	6331	92	
71	31/12/2038	31/03/2039	6331	6421	90	PL_2039
72	31/03/2039	30/06/2039	6421	6512	91	
73	30/06/2039	30/09/2039	6512	6604	92	
74	30/09/2039	31/12/2039	6604	6696	92	
75	31/12/2039	31/03/2040	6696	6787	91	PL_2040
76	31/03/2040	30/06/2040	6787	6878	91	
77	30/06/2040	30/09/2040	6878	6970	92	
78	30/09/2040	31/12/2040	6970	7062	92	
79	31/12/2040	31/03/2041	7062	7152	90	PL_2041
80	31/03/2041	30/06/2041	7152	7243	91	
81	30/06/2041	30/09/2041	7243	7335	92	
82	30/09/2041	31/12/2041	7335	7427	92	
83	31/12/2041	31/03/2042	7427	7517	90	PL_2042
84	31/03/2042	30/06/2042	7517	7608	91	
85	30/06/2042	30/09/2042	7608	7700	92	
86	30/09/2042	31/12/2042	7700	7792	92	
87	31/12/2042	31/03/2043	7792	7882	90	PL_2043
88	31/03/2043	30/06/2043	7882	7973	91	
89	30/06/2043	30/09/2043	7973	8065	92	



**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

PERÍODO DE STRESS	DATA		DIA DO MODELO			Cavas planejadas - CMT
	INÍCIO	FIM	INÍCIO	FIM	Dia por Período	
90	30/09/2043	31/12/2043	8065	8157	92	
91	31/12/2043	31/03/2044	8157	8248	91	PL_2044
92	31/03/2044	30/06/2044	8248	8339	91	
93	30/06/2044	30/09/2044	8339	8431	92	
94	30/09/2044	31/12/2044	8431	8523	92	
95	31/12/2044	31/03/2045	8523	8613	90	PL_2045
96	31/03/2045	30/06/2045	8613	8704	91	
97	30/06/2045	30/09/2045	8704	8796	92	
98	30/09/2045	31/12/2045	8796	8888	92	
99	31/12/2045	31/03/2046	8888	8978	90	PL_2046
100	31/03/2046	30/06/2046	8978	9069	91	
101	30/06/2046	30/09/2046	9069	9161	92	
102	30/09/2046	31/12/2046	9161	9253	92	
103	31/12/2046	31/03/2047	9253	9343	90	PL_2047
104	31/03/2047	30/06/2047	9343	9434	91	
105	30/06/2047	30/09/2047	9434	9526	92	
106	30/09/2047	31/12/2047	9526	9618	92	
107	31/12/2047	31/03/2048	9618	9709	91	PL_2048
108	31/03/2048	30/06/2048	9709	9800	91	
109	30/06/2048	30/09/2048	9800	9892	92	
110	30/09/2048	31/12/2048	9892	9984	92	
111	31/12/2048	31/03/2049	9984	10074	90	PL_2049
112	31/03/2049	30/06/2049	10074	10165	91	
113	30/06/2049	30/09/2049	10165	10257	92	
114	30/09/2049	31/12/2049	10257	10349	92	
115	31/12/2049	31/03/2050	10349	10439	90	PL_2050
116	31/03/2050	30/06/2050	10439	10530	91	
117	30/06/2050	30/09/2050	10530	10622	92	
118	30/09/2050	31/12/2050	10622	10714	92	
119	31/12/2050	31/03/2051	10714	10804	90	PL_2051
120	31/03/2051	30/06/2051	10804	10895	91	
121	30/06/2051	30/09/2051	10895	10987	92	
122	30/09/2051	31/12/2051	10987	11079	92	
123	31/12/2051	31/03/2052	11079	11170	91	PL_2052
124	31/03/2052	30/06/2052	11170	11261	91	
125	30/06/2052	30/09/2052	11261	11353	92	
126	30/09/2052	31/12/2052	11353	11445	92	
127	31/12/2052	31/03/2053	11445	11535	90	PL_2053
128	31/03/2053	30/06/2053	11535	11626	91	
129	30/06/2053	30/09/2053	11626	11718	92	
130	30/09/2053	31/12/2053	11718	11810	92	

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**
**ANEXO 3: Tabela de input das recargas atribuídas na etapa de simulação.**

Meses	PERÍODO DE STRESS	INÍCIO	FIM	TOTAL dias	Pluviometria Período (mm)	Pluviometria Período (m/dia)	Recarga simulação (%)				recarga (m/dia)			
							Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
set	1	0	30	30	95.79	0.0031929	25%	32%	32%	13%	0.00080	0.00102	0.00102	0.00042
out/nov/dez	2	30	122	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	3	122	212	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	4	212	303	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	5	303	395	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	6	395	487	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	7	487	577	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	8	577	668	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	9	668	760	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	10	760	852	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	11	852	943	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105
abr/mai/jun	12	943	1034	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	13	1034	1126	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	14	1126	1218	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	15	1218	1308	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	16	1308	1399	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	17	1399	1491	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	18	1491	1583	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	19	1583	1673	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	20	1673	1764	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	21	1764	1856	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	22	1856	1948	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	23	1948	2038	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	24	2038	2129	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	25	2129	2221	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	26	2221	2313	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	27	2313	2404	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105
abr/mai/jun	28	2404	2495	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	29	2495	2587	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	30	2587	2679	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	31	2679	2769	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	32	2769	2860	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	33	2860	2952	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	34	2952	3044	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	35	3044	3134	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	36	3134	3225	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	37	3225	3317	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	38	3317	3409	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	39	3409	3499	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	40	3499	3590	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	41	3590	3682	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	42	3682	3774	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	43	3774	3865	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105
abr/mai/jun	44	3865	3956	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	45	3956	4048	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Meses	PERÍODO DE STRESS	INÍCIO	FIM	TOTAL dias	Pluviometria Período (mm)	Pluviometria Período (m/dia)	Recarga simulação (%)				recarga (m/dia)			
							Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
out/nov/dez	46	4048	4140	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	47	4140	4230	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	48	4230	4321	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	49	4321	4413	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	50	4413	4505	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	51	4505	4595	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	52	4595	4686	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	53	4686	4778	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	54	4778	4870	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	55	4870	4960	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	56	4960	5051	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	57	5051	5143	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	58	5143	5235	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	59	5235	5326	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105
abr/mai/jun	60	5326	5417	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	61	5417	5509	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	62	5509	5601	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	63	5601	5691	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	64	5691	5782	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	65	5782	5874	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	66	5874	5966	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	67	5966	6056	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	68	6056	6147	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	69	6147	6239	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	70	6239	6331	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	71	6331	6421	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	72	6421	6512	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	73	6512	6604	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	74	6604	6696	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	75	6696	6787	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105
abr/mai/jun	76	6787	6878	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Meses	PERÍODO DE STRESS	INÍCIO	FIM	TOTAL dias	Pluviometria Período (mm)	Pluviometria Período (m/dia)	Recarga simulação (%)				recarga (m/dia)			
							Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
jul/ago/set	77	6878	6970	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	78	6970	7062	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	79	7062	7152	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	80	7152	7243	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	81	7243	7335	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	82	7335	7427	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	83	7427	7517	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	84	7517	7608	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	85	7608	7700	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	86	7700	7792	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	87	7792	7882	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	88	7882	7973	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	89	7973	8065	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	90	8065	8157	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	91	8157	8248	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105
abr/mai/jun	92	8248	8339	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	93	8339	8431	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	94	8431	8523	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	95	8523	8613	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	96	8613	8704	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	97	8704	8796	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	98	8796	8888	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	99	8888	8978	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	100	8978	9069	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	101	9069	9161	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	102	9161	9253	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	103	9253	9343	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	104	9343	9434	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	105	9434	9526	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	106	9526	9618	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	107	9618	9709	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105



**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Meses	PERÍODO DE STRESS	INÍCIO	FIM	TOTAL dias	Pluviometria Período (mm)	Pluviometria Período (m/dia)	Recarga simulação (%)				recarga (m/dia)			
							Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
abr/mai/jun	108	9709	9800	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	109	9800	9892	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	110	9892	9984	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	111	9984	10074	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	112	10074	10165	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	113	10165	10257	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	114	10257	10349	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	115	10349	10439	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	116	10439	10530	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	117	10530	10622	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	118	10622	10714	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	119	10714	10804	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	120	10804	10895	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	121	10895	10987	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	122	10987	11079	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	123	11079	11170	91	733.61	0.0080616	25%	32%	32%	13%	0.00202	0.00258	0.00258	0.00105
abr/mai/jun	124	11170	11261	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	125	11261	11353	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	126	11353	11445	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090
jan/fev/mar	127	11445	11535	90	733.61	0.0081512	25%	32%	32%	13%	0.00204	0.00261	0.00261	0.00106
abr/mai/jun	128	11535	11626	91	161.25	0.0017719	25%	32%	32%	13%	0.00044	0.00057	0.00057	0.00023
jul/ago/set	129	11626	11718	92	95.79	0.0010412	25%	32%	32%	13%	0.00026	0.00033	0.00033	0.00014
out/nov/dez	130	11718	11810	92	635.60	0.0069087	25%	32%	32%	13%	0.00173	0.00221	0.00221	0.00090

**ANEXO 4: Vazões atribuídas a cada poço durante a etapa de simulação do modelo.**

Períodos de stress	Trimestres	Dias simulados no modelo		Vazões atribuídas aos poços (m³/dia)					
				PR-01	PR-03	PR-12	PR-13	PR-15	PR-16
1	set	0	30	-759	-479	-527	-171	-527	-132
2	out/nov/dez	30	122	-759	-479	-527	-171	-527	-132
3	jan/fev/mar	122	212	-721	-455	-501	-162	-501	-125
4	abr/mai/jun	212	303	-721	-455	-501	-162	-501	-125
5	jul/ago/set	303	395	-721	-455	-501	-162	-501	-125
6	out/nov/dez	395	487	-721	-455	-501	-162	-501	-125

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Períodos de stress	Trimestres	Dias simulados no modelo		Vazões atribuídas aos poços (m³/dia)					
				PR-01	PR-03	PR-12	PR-13	PR-15	PR-16
7	jan/fev/mar	487	577	-685	-432	-476	-154	-476	-119
8	abr/mai/jun	577	668	-685	-432	-476	-154	-476	-119
9	jul/ago/set	668	760	-685	-432	-476	-154	-476	-119
10	out/nov/dez	760	852	-685	-432	-476	-154	-476	-119
11	jan/fev/mar	852	943	-651	-410	-452	-146	-452	-113
12	abr/mai/jun	943	1034	-651	-410	-452	-146	-452	-113
13	jul/ago/set	1034	1126	-651	-410	-452	-146	-452	-113
14	out/nov/dez	1126	1218	-651	-410	-452	-146	-452	-113
15	jan/fev/mar	1218	1308	-618	-390	-429	-139	-429	-107
16	abr/mai/jun	1308	1399	-618	-390	-429	-139	-429	-107
17	jul/ago/set	1399	1491	-618	-390	-429	-139	-429	-107
18	out/nov/dez	1491	1583	-618	-390	-429	-139	-429	-107
19	jan/fev/mar	1583	1673	-587	-370	-408	-132	-408	-102
20	abr/mai/jun	1673	1764	-587	-370	-408	-132	-408	-102
21	jul/ago/set	1764	1856	-587	-370	-408	-132	-408	-102
22	out/nov/dez	1856	1948	-587	-370	-408	-132	-408	-102
23	jan/fev/mar	1948	2038	-558	-352	-388	-125	-387	-97
24	abr/mai/jun	2038	2129	-558	-352	-388	-125	-387	-97
25	jul/ago/set	2129	2221	-558	-352	-388	-125	-387	-97
26	out/nov/dez	2221	2313	-558	-352	-388	-125	-387	-97
27	jan/fev/mar	2313	2404	-530	-334	-368	-119	-368	-92
28	abr/mai/jun	2404	2495	-530	-334	-368	-119	-368	-92
29	jul/ago/set	2495	2587	-530	-334	-368	-119	-368	-92
30	out/nov/dez	2587	2679	-530	-334	-368	-119	-368	-92
31	jan/fev/mar	2679	2769	-503	-318	-350	-113	-350	-87
32	abr/mai/jun	2769	2860	-503	-318	-350	-113	-350	-87
33	jul/ago/set	2860	2952	-503	-318	-350	-113	-350	-87
34	out/nov/dez	2952	3044	-503	-318	-350	-113	-350	-87
35	jan/fev/mar	3044	3134	-478	-302	-332	-108	-332	-83
36	abr/mai/jun	3134	3225	-478	-302	-332	-108	-332	-83
37	jul/ago/set	3225	3317	-478	-302	-332	-108	-332	-83
38	out/nov/dez	3317	3409	-478	-302	-332	-108	-332	-83
39	jan/fev/mar	3409	3499	-454	-287	-316	-102	-316	-79
40	abr/mai/jun	3499	3590	-454	-287	-316	-102	-316	-79
41	jul/ago/set	3590	3682	-454	-287	-316	-102	-316	-79
42	out/nov/dez	3682	3774	-454	-287	-316	-102	-316	-79
43	jan/fev/mar	3774	3865	-432	-272	-300	-97	-300	-75
44	abr/mai/jun	3865	3956	-432	-272	-300	-97	-300	-75
45	jul/ago/set	3956	4048	-432	-272	-300	-97	-300	-75
46	out/nov/dez	4048	4140	-432	-272	-300	-97	-300	-75
47	jan/fev/mar	4140	4230	-410	-259	-285	-92	-285	-71
48	abr/mai/jun	4230	4321	-410	-259	-285	-92	-285	-71
49	jul/ago/set	4321	4413	-410	-259	-285	-92	-285	-71
50	out/nov/dez	4413	4505	-410	-259	-285	-92	-285	-71
51	jan/fev/mar	4505	4595	-390	-246	-271	-88	-271	-68
52	abr/mai/jun	4595	4686	-390	-246	-271	-88	-271	-68
53	jul/ago/set	4686	4778	-390	-246	-271	-88	-271	-68
54	out/nov/dez	4778	4870	-390	-246	-271	-88	-271	-68
55	jan/fev/mar	4870	4960	-370	-233	-257	-83	-257	-64

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Períodos de stress	Trimestres	Dias simulados no modelo		Vazões atribuídas aos poços (m³/dia)					
				PR-01	PR-03	PR-12	PR-13	PR-15	PR-16
56	abr/mai/jun	4960	5051	-370	-233	-257	-83	-257	-64
57	jul/ago/set	5051	5143	-370	-233	-257	-83	-257	-64
58	out/nov/dez	5143	5235	-370	-233	-257	-83	-257	-64
59	jan/fev/mar	5235	5326	-352	-222	-244	-79	-244	-61
60	abr/mai/jun	5326	5417	-352	-222	-244	-79	-244	-61
61	jul/ago/set	5417	5509	-352	-222	-244	-79	-244	-61
62	out/nov/dez	5509	5601	-352	-222	-244	-79	-244	-61
63	jan/fev/mar	5601	5691	-334	-211	-232	-75	-232	-58
64	abr/mai/jun	5691	5782	-334	-211	-232	-75	-232	-58
65	jul/ago/set	5782	5874	-334	-211	-232	-75	-232	-58
66	out/nov/dez	5874	5966	-334	-211	-232	-75	-232	-58
67	jan/fev/mar	5966	6056	-317	-200	-220	-71	-220	-55
68	abr/mai/jun	6056	6147	-317	-200	-220	-71	-220	-55
69	jul/ago/set	6147	6239	-317	-200	-220	-71	-220	-55
70	out/nov/dez	6239	6331	-317	-200	-220	-71	-220	-55
71	jan/fev/mar	6331	6421	-301	-190	-209	-68	-209	-52
72	abr/mai/jun	6421	6512	-301	-190	-209	-68	-209	-52
73	jul/ago/set	6512	6604	-301	-190	-209	-68	-209	-52
74	out/nov/dez	6604	6696	-301	-190	-209	-68	-209	-52
75	jan/fev/mar	6696	6787	-286	-181	-199	-64	-199	-50
76	abr/mai/jun	6787	6878	-286	-181	-199	-64	-199	-50
77	jul/ago/set	6878	6970	-286	-181	-199	-64	-199	-50
78	out/nov/dez	6970	7062	-286	-181	-199	-64	-199	-50
79	jan/fev/mar	7062	7152	-272	-172	-189	-61	-189	-47
80	abr/mai/jun	7152	7243	-272	-172	-189	-61	-189	-47
81	jul/ago/set	7243	7335	-272	-172	-189	-61	-189	-47
82	out/nov/dez	7335	7427	-272	-172	-189	-61	-189	-47
83	jan/fev/mar	7427	7517	-258	-163	-180	-58	-180	-45
84	abr/mai/jun	7517	7608	-258	-163	-180	-58	-180	-45
85	jul/ago/set	7608	7700	-258	-163	-180	-58	-180	-45
86	out/nov/dez	7700	7792	-258	-163	-180	-58	-180	-45
87	jan/fev/mar	7792	7882	-246	-155	-171	-55	-171	-43
88	abr/mai/jun	7882	7973	-246	-155	-171	-55	-171	-43
89	jul/ago/set	7973	8065	-246	-155	-171	-55	-171	-43
90	out/nov/dez	8065	8157	-246	-155	-171	-55	-171	-43
91	jan/fev/mar	8157	8248	-233	-147	-162	-52	-162	-40
92	abr/mai/jun	8248	8339	-233	-147	-162	-52	-162	-40
93	jul/ago/set	8339	8431	-233	-147	-162	-52	-162	-40
94	out/nov/dez	8431	8523	-233	-147	-162	-52	-162	-40
95	jan/fev/mar	8523	8613	-222	-140	-154	-50	-154	-38
96	abr/mai/jun	8613	8704	-222	-140	-154	-50	-154	-38
97	jul/ago/set	8704	8796	-222	-140	-154	-50	-154	-38
98	out/nov/dez	8796	8888	-222	-140	-154	-50	-154	-38
99	jan/fev/mar	8888	8978	-211	-133	-146	-47	-146	-37
100	abr/mai/jun	8978	9069	-211	-133	-146	-47	-146	-37
101	jul/ago/set	9069	9161	-211	-133	-146	-47	-146	-37
102	out/nov/dez	9161	9253	-211	-133	-146	-47	-146	-37
103	jan/fev/mar	9253	9343	-200	-126	-139	-45	-139	-35
104	abr/mai/jun	9343	9434	-200	-126	-139	-45	-139	-35

**ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021**

Períodos de stress	Trimestres	Dias simulados no modelo		Vazões atribuídas aos poços (m³/dia)					
				PR-01	PR-03	PR-12	PR-13	PR-15	PR-16
105	jul/ago/set	9434	9526	-200	-126	-139	-45	-139	-35
106	out/nov/dez	9526	9618	-200	-126	-139	-45	-139	-35
107	jan/fev/mar	9618	9709	-190	-120	-132	-43	-132	-33
108	abr/mai/jun	9709	9800	-190	-120	-132	-43	-132	-33
109	jul/ago/set	9800	9892	-190	-120	-132	-43	-132	-33
110	out/nov/dez	9892	9984	-190	-120	-132	-43	-132	-33
111	jan/fev/mar	9984	10074	-180	-114	-125	-41	-125	-31
112	abr/mai/jun	10074	10165	-180	-114	-125	-41	-125	-31
113	jul/ago/set	10165	10257	-180	-114	-125	-41	-125	-31
114	out/nov/dez	10257	10349	-180	-114	-125	-41	-125	-31
115	jan/fev/mar	10349	10439	-171	-108	-119	-39	-119	-30
116	abr/mai/jun	10439	10530	-171	-108	-119	-39	-119	-30
117	jul/ago/set	10530	10622	-171	-108	-119	-39	-119	-30
118	out/nov/dez	10622	10714	-171	-108	-119	-39	-119	-30
119	jan/fev/mar	10714	10804	-163	-103	-113	-37	-113	-28
120	abr/mai/jun	10804	10895	-163	-103	-113	-37	-113	-28
121	jul/ago/set	10895	10987	-163	-103	-113	-37	-113	-28
122	out/nov/dez	10987	11079	-163	-103	-113	-37	-113	-28
123	jan/fev/mar	11079	11170	-155	-98	-108	-35	-107	-27
124	abr/mai/jun	11170	11261	-155	-98	-108	-35	-107	-27
125	jul/ago/set	11261	11353	-155	-98	-108	-35	-107	-27
126	out/nov/dez	11353	11445	-155	-98	-108	-35	-107	-27
127	jan/fev/mar	11445	11535	-147	-93	-102	-33	-102	-26
128	abr/mai/jun	11535	11626	-147	-93	-102	-33	-102	-26
129	jul/ago/set	11626	11718	-147	-93	-102	-33	-102	-26
130	out/nov/dez	11718	11810	-147	-93	-102	-33	-102	-26

**ANEXO 5: Vazões de produção de água subterrânea calculadas na simulação do rebaixamento do nível d'água entre 2021 e 2053.**

Vazões de produção de água subterrânea calculadas na simulação do RNA				
DATA	Z29	Z30	Z31	Poços de Bombeamento
	Frentes (4 e 5) - Zbud 29	Cava F2/CL - Zbud 30	Bigorna/F2 - Zbud 31	
	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)
31/12/2021	148.86	311.01	445.08	76.05
31/03/2022	174.05	491.33	400.26	72.25
30/06/2022	90.86	373.39	306.03	72.25
30/09/2022	64.81	324.16	266.35	72.25
31/12/2022	102.81	370.60	312.19	72.25
31/03/2023	105.98	844.42	403.40	59.83
30/06/2023	62.25	524.92	313.03	59.83
30/09/2023	45.30	407.41	269.55	58.03
31/12/2023	82.65	503.79	306.08	58.03



**Vazões de produção de água subterrânea calculadas na simulação do RNA**

DATA	Z29	Z30	Z31	Poços de Bombeamento
	Frentes (4 e 5) - Zbud 29	Cava F2/CL - Zbud 30	Bigorna/F2 - Zbud 31	
	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	
31/03/2024	100.53	557.38	337.19	55.12
30/06/2024	60.35	405.77	283.93	55.12
30/09/2024	44.38	338.22	250.07	55.12
31/12/2024	81.98	446.71	293.56	47.74
31/03/2025	99.33	827.33	329.13	45.35
30/06/2025	57.83	490.25	274.51	45.35
30/09/2025	41.21	363.81	242.19	45.35
31/12/2025	78.21	507.33	287.26	45.35
31/03/2026	96.49	589.50	323.45	43.09
30/06/2026	55.99	384.97	269.39	43.09
30/09/2026	39.53	303.18	237.91	43.09
31/12/2026	76.48	460.63	283.51	43.09
31/03/2027	94.91	554.13	320.14	40.93
30/06/2027	54.79	359.83	266.69	40.93
30/09/2027	38.43	283.96	235.65	40.93
31/12/2027	75.41	441.83	281.53	40.93
31/03/2028	93.41	535.17	317.75	38.89
30/06/2028	53.86	346.62	264.94	38.89
30/09/2028	37.67	274.09	234.42	38.89
31/12/2028	74.68	431.29	280.52	38.89
31/03/2029	93.33	527.96	317.53	36.94
30/06/2029	53.49	339.75	264.53	36.94
30/09/2029	37.18	268.68	234.00	36.94
31/12/2029	74.18	425.38	280.12	36.94
31/03/2030	85.67	819.63	780.96	0.00
30/06/2030	44.29	452.50	472.46	0.00
30/09/2030	28.04	319.81	347.36	0.00
31/12/2030	64.77	560.00	411.96	0.00
31/03/2031	82.69	588.71	475.33	0.00
30/06/2031	42.70	374.65	362.13	0.00
30/09/2031	27.06	278.04	288.23	0.00
31/12/2031	63.71	446.21	368.95	0.00
31/03/2032	81.33	559.67	442.58	0.00
30/06/2032	42.06	357.06	340.25	0.00
30/09/2032	26.72	265.83	272.11	0.00
31/12/2032	63.25	434.63	353.56	0.00
31/03/2033	81.54	552.63	430.50	0.00
30/06/2033	42.03	350.74	331.70	0.00
30/09/2033	26.65	260.62	265.08	0.00

**Vazões de produção de água subterrânea calculadas na simulação do RNA**

DATA	Z29	Z30	Z31	Poços de Bombeamento
	Frentes (4 e 5) - Zbud 29	Cava F2/CL - Zbud 30	Bigorna/F2 - Zbud 31	
	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	
31/12/2033	63.10	429.50	345.92	0.00
31/03/2034	81.46	547.38	422.67	0.00
30/06/2034	42.01	346.46	326.17	0.00
30/09/2034	26.62	257.14	260.42	0.00
31/12/2034	63.07	425.92	340.78	0.00
31/03/2035	81.45	544.08	417.42	0.00
30/06/2035	42.00	343.84	322.30	0.00
30/09/2035	26.62	254.95	257.20	0.00
31/12/2035	63.06	423.71	337.30	0.00
31/03/2036	80.92	539.08	412.60	0.00
30/06/2036	41.86	341.10	318.96	0.00
30/09/2036	26.57	253.03	254.53	0.00
31/12/2036	63.04	421.75	334.53	0.00
31/03/2037	81.43	540.08	411.03	0.00
30/06/2037	42.00	340.58	317.56	0.00
30/09/2037	26.61	252.20	253.06	0.00
31/12/2037	63.06	420.75	332.88	0.00
31/03/2038	81.62	538.96	409.35	0.00
30/06/2038	42.00	339.69	316.12	0.00
30/09/2038	26.62	251.40	251.72	0.00
31/12/2038	63.07	419.96	331.49	0.00
31/03/2039	81.70	538.08	407.97	0.00
30/06/2039	42.01	338.99	314.97	0.00
30/09/2039	26.63	250.77	250.68	0.00
31/12/2039	63.08	419.33	330.41	0.00
31/03/2040	53.20	794.25	639.50	0.00
30/06/2040	24.94	454.38	455.50	0.00
30/09/2040	15.04	309.80	332.13	0.00
31/12/2040	36.92	464.50	376.70	0.00
31/03/2041	51.56	599.79	459.46	0.00
30/06/2041	24.54	404.73	382.68	0.00
30/09/2041	14.82	290.18	297.93	0.00
31/12/2041	36.71	451.50	357.78	0.00
31/03/2042	51.38	590.21	446.83	0.00
30/06/2042	24.44	398.63	373.57	0.00
30/09/2042	14.75	285.59	290.81	0.00
31/12/2042	36.64	447.00	351.73	0.00
31/03/2043	51.31	586.04	441.63	0.00
30/06/2043	24.40	395.66	369.23	0.00

**Vazões de produção de água subterrânea calculadas na simulação do RNA**

DATA	Z29	Z30	Z31	Poços de Bombeamento
	Frentes (4 e 5) - Zbud 29	Cava F2/CL - Zbud 30	Bigorna/F2 - Zbud 31	
	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	
30/09/2043	14.72	283.22	287.10	0.00
31/12/2043	36.61	444.50	348.33	0.00
31/03/2044	50.92	581.08	437.79	0.00
30/06/2044	24.29	392.63	365.54	0.00
30/09/2044	14.67	281.19	284.29	0.00
31/12/2044	36.58	442.50	345.74	0.00
31/03/2045	51.28	581.83	436.13	0.00
30/06/2045	24.36	392.44	364.47	0.00
30/09/2045	14.69	280.57	282.96	0.00
31/12/2045	36.59	441.67	344.25	0.00
31/03/2046	51.22	581.00	434.58	0.00
30/06/2046	24.36	391.88	363.09	0.00
30/09/2046	14.69	280.07	281.71	0.00
31/12/2046	36.59	441.13	343.04	0.00
31/03/2047	51.01	580.58	433.38	0.00
30/06/2047	24.36	391.51	362.01	0.00
30/09/2047	14.69	279.73	280.74	0.00
31/12/2047	36.59	440.67	342.07	0.00
31/03/2048	50.65	577.67	431.75	0.00
30/06/2048	24.27	389.98	360.25	0.00
30/09/2048	14.66	278.90	279.56	0.00
31/12/2048	36.56	439.92	341.07	0.00
31/03/2049	51.00	579.58	431.63	0.00
30/06/2049	24.35	390.70	360.41	0.00
30/09/2049	14.68	278.98	279.34	0.00
31/12/2049	36.58	439.79	340.64	0.00
31/03/2050	51.00	579.38	431.13	0.00
30/06/2050	24.36	390.44	359.92	0.00
30/09/2050	14.69	278.73	278.88	0.00
31/12/2050	36.58	439.54	340.18	0.00
31/03/2051	51.01	579.08	430.67	0.00
30/06/2051	24.36	390.19	359.51	0.00
30/09/2051	14.69	278.50	278.50	0.00
31/12/2051	36.58	439.29	339.78	0.00
31/03/2052	50.64	576.33	429.58	0.00
30/06/2052	24.27	388.80	358.26	0.00
30/09/2052	14.66	277.82	277.75	0.00
31/12/2052	36.56	438.75	339.23	0.00
31/03/2053	41.97	1049.21	424.46	0.00

**Vazões de produção de água subterrânea calculadas na simulação do RNA**

DATA	Z29	Z30	Z31	Poços de Bombeamento
	Frentes (4 e 5) - Zbud 29	Cava F2/CL - Zbud 30	Bigorna/F2 - Zbud 31	
	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/h)	
30/06/2053	18.12	788.88	311.17	0.00
30/09/2053	9.49	518.42	216.92	0.00
31/12/2053	28.29	785.50	262.10	0.00



 MDGEO		RELATÓRIO MDGEO Nº
		R_1230_MDL_MOSAIC_TAPIRA_2021_V01
ATUALIZAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO DO COMPLEXO MINERADOR DE TAPIRA - 2021		

## ANEXO 6 – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA



**Anotação de Responsabilidade Técnica - ART**  
**Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977**

**CREA-MG**

**ART OBRA / SERVIÇO**  
**Nº MG20210391264**

**Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais**

INICIAL

**1. Responsável Técnico**

**MATEUS ALFENAS DE FILIPPO**

Título profissional: **GEÓLOGO**

RNP: **1403083711**

Registro: **MG0000081049D MG**

Empresa contratada: **MDGEO SERVICOS DE HIDROGEOLOGIA LTDA**

Registro: **67695-MG**

**2. Dados do Contrato**

Contratante: **MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA**

CPF/CNPJ: **33.931.486/0020-01**

**RODOVIA MGC**

Nº: **S/N**

Complemento: **Km 196,5**

Bairro: **ZONA RURAL**

Cidade: **TAPIRA**

UF: **MG**

CEP: **38185000**

Contrato: **5300002063**

Celebrado em: **22/02/2016**

Valor: **R\$ 57.098,54**

Tipo de contratante: **Pessoa Juridica de Direito Privado**

Ação Institucional: **Outros**

**3. Dados da Obra/Serviço**

**RODOVIA MGC**

Nº: **S/N**

Complemento: **Km 196,5**

Bairro: **ZONA RURAL**

Cidade: **TAPIRA**

UF: **MG**

CEP: **38185000**

Data de Início: **22/02/2016**

Previsão de término: **31/12/2021**

Coordenadas Geográficas: **0, 0**

Finalidade: **AMBIENTAL**

Código: **Não Especificado**

Proprietário: **MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA**

CPF/CNPJ: **33.931.486/0020-01**

**4. Atividade Técnica**

2016 - Execução

Quantidade

Unidade

40 - Estudo > HIDROGEOLOGIA > PROSPECÇÃO E CAPTAÇÃO > #27.1.6 - DE ESTUDO  
 HIDROGEOLÓGICO

8,00

h/d

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

**5. Observações**

SIMULAÇÕES NÚMERICAS COM AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO E IMPACTOS CÔRREGOS.

**6. Declarações**

- A Resolução nº 1.094/17, CONFEA, instituiu o Livro de Ordem de obras e serviços que será obrigatório para a emissão de Certidão de Acervo Técnico - CAT aos responsáveis pela execução e fiscalização de obras iniciadas a partir de 1º de janeiro de 2018. (Res. 1.094, Confea) .

**7. Entidade de Classe**

SINGEO-MG - Sindicato dos Geólogos no Estado de Minas Gerais

**MATEUS ALFENAS DE**  
**FILIPPO:03026088692**

Assinado digitalmente por MATEUS ALFENAS DE FILIPPO:03026088692  
 DN: cn=MATEUS ALFENAS DE FILIPPO, ou=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, ou=RFB  
 e-CPF: 33.931.486/0020-01, ou=25097149000161, cn=MATEUS ALFENAS DE  
 FILIPPO:03026088692  
 Razão: Eu concordo com os termos definidos por minha assinatura neste documento  
 Localização: Belo Horizonte  
 Data: 2021-08-23 08:27:28  
 Host: Sigeo\_Versão: 9.7.0

**MATEUS ALFENAS DE FILIPPO - CPF: 030.260.886-92**

**8. Assinaturas**

Declaro serem verdadeiras as informações acima

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Local

data

**MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA - CNPJ: 33.931.486/0020-01**

**9. Informações**

\* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

\* O comprovante de pagamento deverá ser apensado para comprovação de quitação

**10. Valor**

Valor da ART: **R\$ 233,94**

Registrada em: **02/07/2021**

Valor pago: **R\$ 233,94**

Nosso Número: **8595026425**



