

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONTRIBUIÇÃO PARA O APRIMORAMENTO DO MODELO CONCEITUAL
HIDROGEOLÓGICO DO AQUÍFERO CRISTALINO NUMA ÁREA INDUSTRIAL NA REGIÃO
DO CANAL JURUBATUBA, SÃO PAULO**

Jonas Wagner Souza Oliveira

Monografia - Trabalho de Formatura 22/28

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental

Coorientador: MSc. Luiz Guilherme Gomes Fregona

Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS)

SÃO PAULO

2022

Agradecimentos

Algumas coisas na vida são insubstituíveis. É impossível expressar aqui, nessas palavras, a minha gratidão a minha mãe, Cláudia, e ao meu pai, Jacinto, por tudo que fizeram por mim ao longo de tantos anos. Gratidão nem é a palavra certa para falar de quem dedicou a vida para que eu pudesse chegar longe. Deixo apenas este humilde agradecimento e a esperança de que eu possa retribuir ainda mais no futuro.

Ao meu orientador, Reginaldo Bertolo, por ter fornecido pacientemente todo o suporte, mesmo nas horas apertadas de atraso, e por ter me aberto as portas para executar este projeto, com novos recursos e conhecimentos que certamente serão preciosos no futuro. Muito obrigado por todo apoio e orientação.

Ao meu coorientador, Luiz Guilherme, por ter separado as quintas-feiras de manhã, a cada quinze dias, ao longo de 8 meses, para me acompanhar nas visitas ao Westbay e ao CMT. Também por toda cooperação nas interpretações e milhões de dúvidas hidráulicas, agradeço imensamente por todo o trabalho ao longo deste ano.

A Seequent, por ter possibilitado o uso do Leapfrog Works na execução deste trabalho, e por toda disposição em prestar assistência.

A empresa Ergomat, por ter permitido a realização de todos os monitoramentos e cedido materiais que facilitaram a execução dos campos.

A Fernanda (Ilu), por ter se colocado a disposição de ajudar e por compartilhar materiais muito valiosos à execução deste trabalho.

Aos meus amigos e amigas da graduação, foram seis longos anos, que passaram como seis curtos dias. Percalços e incertezas, por tudo isso passamos, e superamos. Hoje, olho para os lados e consigo enxergar, muito além de pessoas que fizeram de todos esses anos os mais especiais, os excelentes profissionais que nos tornamos. Ao Berne, por toda a amizade e papos que hoje acontecem com 14 horas de fuso. A Emerson, Singa, Marquinhos, Bags, Pitu, Levi, Portera, Manu, Michelle, Frida, Jason, Muri, Beiçola, Zuleide, Francis, Cana, Thaís e tantos outros que certamente estou sendo injusto de não citar. Todo esse caminho nos fez diferentes, nos fez um time, nos fez a turma 60. A vocês, o meu muito obrigado por fazerem parte disso comigo.

Aos meus amigos de longa data, João, Tayná, Vitor, Jow, Pedro, Gabriel, que há mais de oito anos compartilhamos experiências e seguimos firmes e fortes pelos quatro cantos do ABC e da zona leste.

À Universidade de São Paulo e ao Instituto de Geociências, que devem ser preservados como as instituições fortes que são no âmbito do conhecimento. Que o acesso justo à educação e a valorização ainda maior da produção científica, tecnológica e profissional possam fazer parte do futuro que há de vir.

RESUMO

Os aquíferos cristalinos são reservatórios de água subterrânea fundamentais para a manutenção da segurança hídrica de um país. Entretanto, por conta de sua alta complexidade e escassez de conhecimento técnico nacional, faz-se necessária a aplicação de recursos cada vez mais inovadores que permitam avaliar, com precisão, como ocorre o fluxo da água ao longo das estruturas de rochas e quais são os fatores-chave que o determinam. Este trabalho consistiu em contribuir ao aprimoramento do modelo conceitual hidrogeológico na região do Canal Jurubatuba, no distrito de Santo Amaro, em São Paulo, através do monitoramento de parâmetros hidráulicos em poços multinível e da modelagem tridimensional geológica e estrutural. Para isso, foram monitoradas as cargas hidráulicas dos sistemas CMT™ (*Continuous Multichannel Tubing*) e Westbay®, a fim de se obter diferenças de potencial e gradientes verticais que indicassem os principais sentidos de fluxo da água subterrânea: descendente, ascendente ou vertical. A modelagem geológica tridimensional identificou variações no topo da superfície de rocha alterada dura passíveis de condicionar o fluxo de água e DNAPL (*Dense Non-Aqueous Phase Liquid*). A principal família de fraturas possui mergulho para SE, composta por planos sub-horizontais, conectados por fraturas subverticais e de mergulho médio para SE e NE. As cargas hidráulicas no aquífero Jurubatuba são fortemente impactadas pela atividade de poços de bombeamento locais e regionais. Quatro HGU's foram delimitadas a partir dos gradientes hidráulicos, das quais a mais profunda, no cristalino, se comporta como um aquífero não confinado em relação às demais, e apresenta componente de fluxo resultante horizontal. O funcionamento de poços de bombeamento provoca aumento dos gradientes verticais descendentes na HGU onde está situada a interface entre RAM e RAD, o que pode intensificar o fluxo de água subterrânea e substâncias a ela associadas em direção ao aquífero mais inferior.

ABSTRACT

Crystalline aquifers are fundamental groundwater reservoirs for maintaining the water security of a country. However, due to their high complexity and the scarcity of national technical knowledge, it is necessary to apply increasingly innovative resources that allow the accurate assessment of how the water flow occurs along the rock structures and what are the key factors that determine it. This work consisted in contributing to the improvement of the conceptual hydrogeological model in the region of the Jurubatuba Channel, in the district of Santo Amaro, Sao Paulo, through the monitoring of hydraulic parameters in multilevel wells and three-dimensional geological and structural modeling. To achieve this, the hydraulic loads of CMT™ (Continuous Multichannel Tubing) and Westbay® systems were monitored to obtain potential differences and vertical gradients that would indicate the main groundwater flow directions: downward, upward, or vertical. Three-dimensional geological modeling identified variations at the top of the hard weathered rock surface, which is likely to constrain water and potentially DNAPL flow. The main fracture family is SE-dipping, composed of sub-horizontal planes connected by subvertical fractures and medium dip to SE and NE. Hydraulic loads in the Jurubatuba aquifer are strongly impacted by local and regional pumping well activity. Four HGUs were delineated from hydraulic gradients, of which the deepest, in the crystalline, behaves as an unconfined aquifer relative to the others, and exhibits horizontal resultant flow component. The operation of pumping wells causes an increase in vertical downward gradients in the HGU where the interface between SWB and HWB is located, which may intensify the flow of groundwater and associated substances toward the lowermost aquifer

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. METAS E OBJETIVOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1. Localização da área de estudo	3
3.2. Contexto geológico e hidrogeológico regional.....	5
3.3. Modelagem Implícita com Leapfrog Works	6
3.4. Poços multinível no monitoramento de aquíferos	8
3.5. Modelo Conceitual	10
3.5.1. Geologia	10
3.5.2. Caracterização Estrutural	12
3.5.3. Caracterização Hidráulica e de Fluxo	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1. Revisão do Modelo Conceitual e validação de dados	15
4.2. Modelagem geológica.....	17
4.3. Modelagem estrutural	19
4.4. Monitoramento de cargas hidráulicas	21
4.4.1. Poços convencionais e CMT	21
4.4.2. Sistema de Monitoramento Multinível Westbay®.....	23
4.4.3. Cálculo de gradientes	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. Modelo geológico e estrutural	26
5.2. Caracterização dos potenciais hidráulicos	34
5.3. Modelo conceitual de fluxo da água subterrânea	39
6. CONCLUSÃO	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXO A.....	46
ANEXO B.....	47
ANEXO C	48
ANEXO D	49
ANEXO E.....	50

1. INTRODUÇÃO

Entre 2014 e 2018, o número de captações subterrâneas na Bacia do Alto Tietê, na Região Metropolitana de São Paulo, aumentou 46%, contra 18% de captações superficiais. Nesse período de 5 anos, os usos classificados como “Solução Alternativa” (usos em menor escala, que não são industriais, públicos ou rurais) cresceram cerca de 160%, números que certamente estão subestimados se forem considerados os diversos poços não cadastrados instalados (CBH-AT, 2019). Essa ascensão acompanha uma conjuntura de crise hídrica, na qual praticamente todos os municípios do Alto Tietê têm sua disponibilidade *per capita* de água em situação crítica, e escancara a relevância que as águas subterrâneas possuem.

No estado de São Paulo, 26% dos poços cadastrados estão situados no aquífero cristalino, evidenciando-os como um importante reservatório de água subterrânea (DAEE, 2013). Na RMSP, a maior parte dos distritos industriais está situada nas planícies aluvionares dos principais rios, onde as camadas sedimentares sobre o embasamento cristalino pré-cambriano são pouco espessas. Uma grande quantidade de poços profundos outorgados nessa região localiza-se junto a essas indústrias, e bombeiam água do aquífero fraturado para usos em seus processos produtivos ou para o próprio consumo humano (Bertolo, 2017).

Esse é o caso da região do Canal do Jurubatuba, onde se exemplifica um dos principais problemas associados à exploração de água subterrânea: a contaminação por solventes organoclorados. O manejo inadequado dessas substâncias por indústrias que se instalaram no Canal do Jurubatuba desde a década de 1950, associado aos altos potenciais hidráulicos gerados pelo bombeamento de água, intensificou o transporte em subsuperfície de etenos-clorados dissolvidos para níveis mais profundos no aquífero cristalino. A detecção de substâncias tóxicas como o tetracloroetano (PCE) na ordem de vários mg/L em poços com dezenas de metros levou o poder público a restringir o uso do recurso hídrico na região e fez com que a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a classificasse como uma das áreas críticas do estado (Pino, 2019).

Assim como na maioria dos casos, as investigações ambientais no Jurubatuba limitam-se à parte mais rasa do nível poroso até, no máximo, a rocha alterada dura, principalmente pela complexidade do cristalino fraturado (alta heterogeneidade, dificuldades de prever o fluxo da água) e pelos custos mais altos envolvidos. As características físicas dos organoclorados, mais densos que a água, por si só são facilitadoras de um transporte descendente, e quando associadas a essa complexidade dos aquíferos fraturados, demandam um conhecimento profundo do comportamento dos fluidos ao longo das estruturas (foliações, fraturas, falhas etc.).

Trabalhos como o de L'Apicciarella (2009), Fiume (2013), Lojkasek-Lima (2018) e Pino (2019) foram desenvolvidos com objetivo de propor bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por compostos organoclorados em aquíferos fraturados e elaborar um modelo de contaminação e um modelo hidrogeológico na região do Canal do Jurubatuba. O presente trabalho visa aprimorar o modelo conceitual existente, a partir da modelagem geológica e estrutural tridimensional, e de medições de carga hidráulica regularmente espaçadas no tempo. Espera-se que assim seja possível compreender melhor as causas das variações de potencial hidráulico, como ocorre o fluxo da água subterrânea e, conseqüentemente, dos contaminantes associados a ela.

2. METAS E OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é aprimorar o modelo hidrogeológico existente, integrando informações adquiridas no decorrer de sua execução a dados prévios da área, e está subdividido em três frentes principais: (1) revisar o estado de conhecimento do modelo conceitual no aquífero Jurubatuba; (2) contribuir ao conhecimento da parte hidráulica do aquífero por meio de campanhas de campo (3) e visualizar unidades geológicas e fraturas em 3D.

Os objetivos específicos são:

- Revisar e compilar informações a respeito da geologia, hidrogeologia, abordagem estrutural e hidráulica que compõem o modelo conceitual da área, produzidas em trabalhos prévios;
- Identificar tendências principais de fluxo vertical da água subterrânea;
- Aprimorar a visualização das unidades geológicas e das principais famílias de fraturas identificadas no aquífero, a partir da modelagem tridimensional de dados de poços na área de estudo;
- Estabelecer relações entre as informações de transmissividade, descrições estruturais, perfilagens, dados hidráulicos prévios e adquiridos nesse escopo e a interconectividade de fraturas observada através das visualizações em 3D, interpretando a importância desses fatores nas componentes de fluxo do aquífero.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Localização da área de estudo

A área de interesse deste trabalho é parte de uma zona industrial próxima ao Canal Jurubatuba, no bairro de Campo Grande (distrito de Santo Amaro), em São Paulo (**Figura 1**).

Trata-se de um conjunto de *sites* localizados a cerca de 840 metros a leste da Estação Jurubatuba da CPTM, e 450 metros da Marginal Pinheiros, entre as pontes do Socorro e Interlagos, no contexto da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.



Figura 1. Localização do bairro de Campo Grande em relação ao município de São Paulo e delimitação da área modelada com base nos poços e sondagens disponíveis (em vermelho). O poço em amarelo corresponde aos sistemas multinível CMT e Westbay.

3.2. Contexto geológico e hidrogeológico regional

A área de estudo está situada na região do Canal Jurubatuba, no contexto da Bacia Sedimentar de São Paulo (BSP), depositada essencialmente sobre rochas do Complexo Embu (Juliani, 1992). Este embasamento é limitado a norte pelas falhas de Taxaquara (Hennies et al., 1967) e Rio Jaguari (Cavalcante e Kaefer, 1974), de orientação regional NNE-SSW, e a sul pela falha de Cubatão (Coutinho, 1971). Segundo Hasui e Sadowski (1976), o Complexo Embu é formado por migmatitos e gnaisses migmatizados (fácies anfibolito), gerados pelo metamorfismo em alto grau dos metassedimentos que compõem o Complexo Pilar (fácies xisto-verde).

Fernandes (1991) dividiu o Complexo Embu em três unidades: a Unidade Redenção da Serra, de ocorrência ampla, é constituída essencialmente por gnaisses peraluminosos e biotita gnaisses de composição tonalítica-granodiorítica, com intercalações de anfibolitos, rochas calciossilicáticas e quartzitos; a unidade Rio Paraibuna é semelhante à Unidade Redenção da Serra em termos composicionais, mas difere-se pela marcante presença de quartzitos intercalando-se com rochas calciossilicáticas; a Unidade Rio Una é constituída pela intercalação de xistos e quartzitos impuros, quase sempre delimitada por zonas de cisalhamento, e exibindo, em geral, grau metamórfico baixo e contrastante com as demais unidades.

Sobre o embasamento cristalino está depositada a BSP, uma das bacias integrantes do Rift Continental do Sudeste do Brasil – RCSB (Riccomini, 1989), que constitui um hemi-gráben, basculado para NNW, com espessura máxima de 256 m (Riccomini et al. 1992), antes denominado sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar por Almeida (1976). Sua estratigrafia está relacionada aos depósitos continentais terciários das Formações Resende, Tremembé e São Paulo, pertencentes ao Grupo Taubaté, recobertas pela Formação Itaquaquetuba (Riccomini et al. 1992). A Formação Resende preenche mais de 80% da BSP e é constituída por depósitos de leques aluviais, especialmente diamictitos e conglomerados, que gradam para depósitos de planícies aluviais de rios entrelaçados, representados por lamitos arenosos e arenitos de coloração esverdeada; a Formação Tremembé corresponde a depósitos de sistemas lacustres do tipo playa-lake, compostos por argilas de coloração preta a cinza e esverdeadas; a Formação São Paulo abrange depósitos de sistema fluvial meandrante, constituídos por intercalações de arenitos de estratificação plano-paralela e cruzadas, que gradam para siltitos laminados e argilitos; a Formação Itaquaquetuba representa depósitos de sistema fluvial entrelaçado, situados sob os aluviões holocênicos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí (Riccomini, 1989; Riccomini et al., 1992; Takiya, 1991).

Com base nessa geologia regional, Hirata e Ferreira (2001) dividiram a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê em duas unidades aquíferas:

- o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) está situado nos domínios das rochas cristalinas do embasamento, e subdivide-se em aquífero relacionado ao manto de intemperismo, com porosidade granular, bastante heterogêneo e de natureza livre, e aquífero cristalino propriamente dito, no qual a água circula por descontinuidades rúpteis da rocha. São, assim, definidas duas unidades distintas para o SAC, sendo aquela associada às rochas granitoides e filitos chamada de Aquífero de Rochas Granitoides, e aquela associada às rochas metamórficas denominada Aquífero de Rochas Metamórficas. Segundo Hirata e Ferreira (2001), a primeira possui capacidade específica (Q/s) média de 0,2 m³/h/m, enquanto a segunda possui Q/s de 1,35 m³/h/m
- o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), livre a semiconfinado, de porosidade primária e bastante heterogêneo, com uma unidade associada aos sedimentos da Formação São Paulo, com Q/s médio de 0,48 m³/h/m, e um unidade relacionada à Formação Resende, com Q/s médio de 0,91 m³/h/m.

As formações neocenoicas Tremembé e Itaquaquecetuba não definem unidades aquíferas devido a sua pequena expressão em área (Hirata e Ferreira, 2001).

3.3. Modelagem Implícita com Leapfrog Works

A modelagem implícita recebe esta denominação porque utiliza funções de volume, e suas superfícies delimitadoras implícitas, para representar objetos tridimensionais. Ao contrário da modelagem explícita, na qual as superfícies são construídas de forma direta digitalizando-se polilinhas manualmente, na modelagem implícita as superfícies são ajustadas através de uma função tridimensional que define as informações de contato geológico (convertendo descrições qualitativas em valores numéricos) ou de outros dados inseridos no programa (Cowan et al., 2003 – **Figura 2**). A maior vantagem da modelagem implícita é que não se faz necessária nenhuma etapa manual de digitalização prolongada, reduzindo o tempo de execução para construção do modelo, além de permitir sua atualização automática através da entrada de grandes volumes de dados sempre que obtidos.

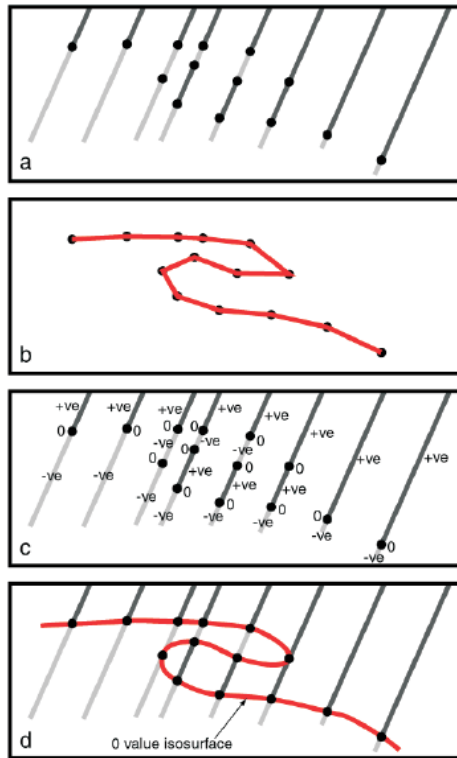


Figura 2. Considere as sondagens hipotéticas em a); pelo método da modelagem explícita, o modelador conectaria os pontos de contato e produziria a forma representada como um traço vermelho em b); para construir um modelo implícito do contato, seria ajustada uma função de volume para a qual os pontos sobre o contato receberiam o valor de 0 e as informações litológicas seriam convertidas em valores numéricos de acordo com sua posição em relação à função (c); uma vez que os dados forem interpolados no espaço, a superfície de valor zero pode ser extraída como o contato entre as duas litologias (d). Extraído de Cowan et al. (2003).

Assim, a construção de uma função de volume exigida pela modelagem implícita demanda um método de interpolação tridimensional. *Radial Basis Functions* (RBFs) constituem um método de interpolação de dados que permite criar superfícies e calcular volumes a partir delas, definido por (Caumon et al., 2013):

$$f(x) = \sum_{l=1}^L c_l \cdot p_l(x) + \sum_{n=1}^N \lambda_n \cdot \phi(|x - x_n|)$$

Em que $p_l(x)$ são funções de base polinomiais; c_l são coeficientes; L é o total de termos polinomiais; N é o total de pontos com dados; λ_n são os coeficientes a serem determinados, e o termo da equação $\phi(|x - x_n|)$ pode ser qualquer função de base de um conjunto já pré-existente (Caumon et al., 2013). São escolhas comuns para a função de base a multiquádrica e a *thin-plate spline* (Beatson et al., 1999).

A interpolação pelo método RBF, portanto, representa a função de uma superfície como uma soma de funções base, ponderada por pesos lineares da mesma forma de uma krigagem dupla (Cowan et al., 2003). A diferença entre ambas é que a krigagem utiliza a função de covariância,

ajustada através dos dados obtidos na forma de um variograma, para avaliar a variabilidade ao longo do espaço (entre um ponto amostrado e outro), enquanto o RBF aplica uma função de base, escolhida a partir de um conjunto pré-existente, a qual corresponde a um variograma sem um patamar (*sill*). É um importante recurso quando não é possível se obter um variograma ou quando os princípios da estacionariedade não são necessariamente válidos, como em domínios muito heterogêneos ou em situações de amostragem muito esparsa (Cowan et al., 2003).

Uma das limitações do RBF é o fato de o processamento de grandes bases de dados (acima de 40 mil pontos) resultarem em problemas de performance e armazenamento, uma vez que as RBFs são um método de interpolação global, ou seja, dependem de todos os pontos de dados (Cowan et al., 2002). Isso se torna um problema quando aplicado em grandes projetos de mineração, nos quais não é incomum encontrar mais de meio milhão de pontos (Cowan et al., 2003). Por isso, o Leapfrog Works (cujo desenvolvedor é a Seequent) utiliza uma adequação do RBF, o *Fast RBF*, o qual contém estratégias para minimizar os processamentos e solucionar os problemas relacionados a grandes interpolações (Beatson et al., 1999).

A utilização do Leapfrog Works e do *Fast RBF* na área da mineração para modelagem geológica, estrutural e avaliação de depósitos é bastante recorrente (Hill et al., 2014; Chanderman et al., 2017). Está também na gama de aplicações do software a produção de modelos hidrogeológicos utilizando dados geológicos, estruturais e hidráulicos, inclusive em cavas de minas (del Río, 2015) ou em ambientes cársticos (D’Affonseca et al., 2020). Apesar de não ser aplicada neste trabalho, a Extensão de Contaminantes, que passou a ser oferecida pela Seequent há pouco tempo, é uma ferramenta específica que permite modelar plumas de contaminação, a partir de poços de monitoramento, tornando possível sua visualização tridimensional e a estimativa de seus volumes. Esta ferramenta pode impulsionar a aplicação do Leapfrog Works no gerenciamento de áreas contaminadas e já vem sendo utilizada em empresas no mercado brasileiro.

3.4. Poços multinível no monitoramento de aquíferos

A prática mais comum para o monitoramento de áreas com água subterrânea contaminada é a instalação de poços convencionais com uma única seção filtrante. Apesar de serem amplamente utilizados para medir níveis d’água, executar amostragens e testes hidráulicos, os dados coletados nestes poços são insuficientes para descrever de maneira precisa a movimentação vertical da água e das substâncias de interesse no aquífero (Fisher e Twining, 2011). Além disso, a análise de amostras coletadas num poço com seção filtrante única acaba levando ao equívoco bastante comum de que as concentrações das substâncias de interesse

encontradas são homogêneas verticalmente, ou seja, são representativas de todo o intervalo interceptado pela seção filtrante (Einarson, 2006 – **Figura 3**).

A utilização de poços convencionais em conjunto, isto é, poços instalados próximos um dos outros em diferentes sondagens, cujas seções filtrantes situam-se em profundidades distintas, costuma ser uma alternativa para monitorar mais de um intervalo num aquífero, mas esta técnica envolve usualmente dois ou três intervalos no máximo, por conta das limitações financeiras para instalação dos poços em cada conjunto (Einarson e Cherry, 2002 – **Figura 3**).

Um sistema multinível (MLS) é um poço instalado numa única perfuração capaz de isolar zonas discretas de monitoramento, em diferentes profundidades, com o propósito de medir cargas hidráulicas ou coletar amostras de água (Meyer et al. 2014). Eles podem ser utilizados quando há a necessidade de avaliar a distribuição vertical das cargas hidráulicas e sua variação ao longo do tempo, procedimento essencial para se entender o fluxo da água subterrânea e elaborar um modelo conceitual de aquífero (Chapman et al., 2014; Fisher e Twining, 2011; Meyer et al. 2008; Meyer et al. 2016). São, também, úteis no monitoramento da qualidade da água subterrânea por meio de amostragens periódicas, com objetivo de documentar flutuações na concentração ou no fluxo de contaminantes (Einarson e Cherry, 2002), ou ainda de avaliar a efetividade de um determinado método de remediação em curso, por exemplo.

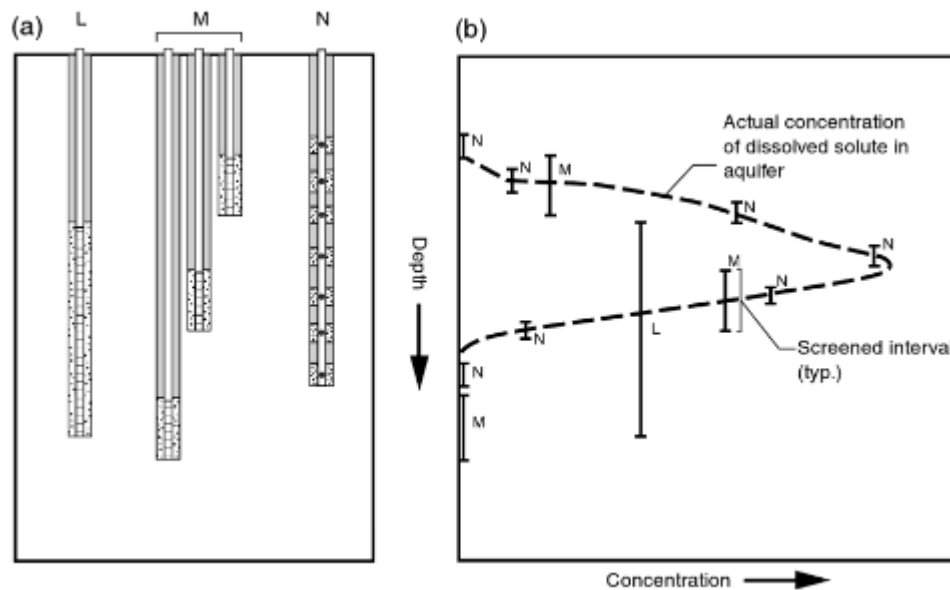


Figura 3. a) poço de monitoramento convencional de seção filtrante relativamente longa (“L”); poços em conjunto (“M”); sistema multinível (“N”). b) concentrações hipotéticas de contaminante em tracejado e intervalos de seção filtrante de cada tipo de poço. Uma amostra coletada no poço “L” será composta pela mistura de frações da água subterrânea com concentrações da substância de interesse maiores, que penetram o poço pela parte superior, e menores, que penetram o poço pela parte inferior. Essa mistura acaba subestimando os picos de concentração e exagerando os limites da pluma. Os poços conjuntos “M” são mais representativos da contaminação em questão, mas exigem mais

de uma perfuração e se limitam a apenas três intervalos do aquífero, ao contrário do poço multinível "N". Extraído de Einarson (2006).

Atualmente, dentre os sistemas multinível disponíveis no mercado destacam-se: o Westbay® (Fisher e Twining, 2011; Meyer et al. 2008; Meyer et al. 2016), da empresa *Schlumberger*, o *Solinst Waterloo™* (Pickens et al., 1978), o *Solinst Continuous Multichannel Tubing - CMT™* (Einarson e Cherry, 2002), e o *Water FLUTE™ - Flexible Liner Underground Technology Ltd.* (Cherry et al. 2007). Todos eles são capazes de monitorar cargas hidráulicas verticais em alta resolução e de coletar amostras de água subterrânea periodicamente. A escolha do MLS mais adequado para cada projeto depende dos objetivos, das características de instalação e limitações de cada sistema de monitoramento. Einarson (2006) faz uma comparação entre estes MLS tendo em vista a capacidade de cada sistema em realizar testes hidráulicos e bombeamentos, o tempo e a praticidade de instalação e os ambientes geológicos onde cada um pode ser alocado.

Meyer et al. (2008) utilizaram o sistema Westbay® para delimitar unidades hidrogeológicas (*HGUs – Hydrogeological Units*) numa área contaminada, em típica sequência sedimentar do meio oeste estadunidense (Wisconsin), constituída por arenitos, dolomitos, siltitos e folhelhos. Foram medidas as cargas hidráulicas em cada uma das 36 zonas do MLS em quatro datas diferentes, plotando-as num perfil ao longo de toda a extensão do poço (cerca de 140 m). Foram, então, identificados pontos no perfil onde havia uma deflexão significativa das cargas hidráulicas, considerados interfaces onde a conectividade hidráulica vertical entre a unidade superior e a unidade inferior é baixa. Esta informação, associada a dados de condutividade hidráulica, descrições de sondagens e perfis geofísicos, foi determinante para estabelecer os limites entre as *HGUs*.

3.5. Modelo Conceitual

3.5.1. Geologia

Na ausência de sondagens e descrição de testemunhos no escopo deste trabalho, adotou-se como modelo da geologia na área de estudo a sucessão apresentada por Pino (2019) e Lojkasek-Lima (2018), com base na descrição da perfuração onde está instalado o Westbay:

- Unidade antropogênica: de 0 a 0,8 metros, aterro composto de silte argiloso marrom;
- Sedimentos aluvionares: de 0,8 a 2,8 metros, sedimentos atribuídos aos depósitos do canal Jurubatuba, constituídos por uma argila orgânica preta, que na base encontra-se interdigitada a camadas de areia fina com matriz argilosa, cinza escura, em contato erosivo com o solo residual subjacente.

- Solos de alteração (SA): de 2,8 a 7,4 metros, intercalação centimétrica de dois materiais alterados: (i) o primeiro com granulação de areia fina a média, pouco siltoso, branco a bege, com foliação reliquiar, de espessura métrica, classificado por Lojkasek-Lima (2018) como alteração de um gnaiss leucocrático com porções pegmatíticas associadas; (ii) o segundo com granulação de areia argilo-siltosa, rico em biotita, foliado, com lentes de areia fina milimétricas, cinza esbranquiçado, classificado pelo mesmo autor como alteração de um biotita quartzo gnaiss.
- Rocha alterada mole (RAM): de 7,4 a 14,6 metros, predomina um biotita gnaiss alterado, com estrutura bandada centimétrica e por vezes xistosa e textura lepidogranoblástica; são descritos neste trecho bandamentos e xistosidades sub-horizontais a médio ângulo, e fraturas fechadas e abertas paralelas a estas estruturas.
- Rocha alterada dura (RAD): de 14,6 a 24,05 metros, este intervalo foi distinguido da rocha sã por apresentar feições de alteração incipientes, como oxidação, grau de coesão um pouco menor e baixa recuperação em testemunhos. A transição entre este horizonte e o subjacente foi definido onde se observa uma redução nas feições de oxidação da matriz da rocha.
- Rocha sã (RS): foram identificados três principais litotipos
 - Granada-biotita-feldspato-quartzo gnaiss, de estrutura levemente foliada, predominantemente leucocrático, com textura fina lepidogranoblástica, ocorre de forma predominante nas profundidades de 19,3 a 24,0 m e 35,0 a 55,0 m;
 - Granada-feldspato-quartzo-biotita gnaiss, bandado em escala centimétrica, com textura lepidogranoblástica, granulação média a grossa, foliação demarcada pela biotita com intersecções de muscovita, granadas corroídas e com inclusões de quartzo, muscovita e turmalina e quartzo estirado, ocorre nas profundidades de 17,7 a 19,3 m, 24,0 a 28,6 m, 29,0 a 35,0 m e 55,0 a 56,2 m;
 - Pegmatito, maciço, com textura fanerítica grossa, leucocrático, com quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino em menor proporção, granada, muscovita e turmalina, por vezes com megacristais de muscovita e feldspato, nos quais são observadas microfraturas e feições de oxidação; apresenta relações de contato intrusivo com as rochas gnáissicas e ocorre preferencialmente como bolsões métricos ou pequenas bandas centimétricas.

Pino (2019) destaca ainda que não foram identificados sedimentos da Bacia de São Paulo ao longo do perfil do MP-01, apesar de esses sedimentos terem sido descritos em áreas próximas (Silva, 2018).

3.5.2. Caracterização Estrutural

Em caracterização estrutural mais regional (afloramentos estão fora da área de estudo deste trabalho), Fernandes et al. (2016) classificaram os grupos de fraturas encontrados em afloramentos segundo sua importância para o fluxo da água subterrânea, com base em evidências como alteração e revestimento da superfície de fratura por hidróxidos de ferro. Segundo os autores, são eles, em ordem decrescente: grupo de direção entre N15E e N45E e mergulhos entre 15° e 35° para SE (5b), subparalelo à foliação da rocha, se destaca pela grande continuidade (comprimento > 50 metros); grupo de direções N5-65W e mergulho subvertical (1), entre 70° e 90° para NE ou SW; grupo de direção NE e mergulho entre 60° e 90° para NW ou SE (3); outros três grupos subverticais de direção geral E-W, subdivididos de acordo com a variação no mergulho: 80-90° para S ou N (2a), 65-75° para S (2b) e 45-65° para S. A fim de facilitar a compreensão e sumarizar as informações, os grupos de fraturas descritos acima em escala regional estão representados e denominados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Grupos de fraturas em escala regional nas imediações do canal Jurubatuba e sua ordem de importância para o fluxo de água subterrânea (Fernandes et al., 2016).

Grupo	Orientação das fraturas	Mergulho	Espaçamento (m)	Importância no fluxo
5b	N15E e N45E	15-35°	Em média 2 m	1
F1	N5-65W	70-90°	2,4 a 13,8 m	2
3	NE	60-90°	> 28 m	3
2a, 2b, 2d	E-W	45-90°	1,7 a 37,0 m	4

Pino (2019) também notou a importância de fraturas de baixo ângulo para o fluxo de água em escala mais local. A autora identificou cinco famílias de fraturas principais (**Tabela 2**): (i) família A, sub-horizontal, ocorre no gnaiss bandado e no gnaiss fino associado ao bandado e ao pegmatito; (ii) família B, de orientação média N064/37 (mergulho para SE), ocorre no gnaiss bandado associado ao fino e ao pegmatito; (iii) família C, de orientação média N000-035/37-49 (mergulho para SE), ocorre no gnaiss bandado; (iv) família D, de orientação média N315-322/80-86 (mergulho para NE ou SW), ocorre no gnaiss bandado; (v) família E, de orientação média N012-040/71-90 (mergulho para SE), ocorre no gnaiss bandado. Destaca-se também a ocorrência de quatro expressivas zonas de fraturamento observadas durante a perfuração do MP-01 (Westbay), nas quais houve grande perda de água de circulação:

- 39,0 a 40,0 m, N342/42 e N256/25
- 45,0 a 46,0 m, N138/16
- 49,3 a 50,0 m, N105/17 e N218/15
- 53,0 a 53,5, N055/40

Segundo Pino (2019), considerando que as famílias A e C são paralelas à foliação da rocha e que as feições de oxidação foram observadas em testemunho em fraturas de baixo ou

médio ângulo, é possível sugerir que uma parte importante do fluxo ocorra para a direção SE. A autora salienta ainda que fraturas de alto ângulo (como as famílias D e E) podem contribuir localmente com o fluxo da água a grandes profundidades.

Tabela 2. Principais famílias de fraturas identificadas por Pino (2019).

Família	Orientação das fraturas	Mergulho	Rumo do mergulho	Espaçamento (m)	Litotipo de ocorrência
A	Subhorizontal	-	-	0,12 a 4,81	Gnaiss bandado e no gnaiss fino associado ao bandado e ao pegmatito
B	N064	37	SE	0,43	Gnaiss bandado associado ao fino e ao pegmatito
C	N000-035	37 - 49	SE	0,83 a 3,96	Gnaiss bandado
D	N315-322	80 - 86	NE ou SW	0,11 a 0,33	Gnaiss bandado
E	N012-040	71 - 90	SE	0,26 a 0,40	Gnaiss bandado

3.5.3. Caracterização Hidráulica e de Fluxo

Em seu estudo regional, Fernandes et al. (2016) já haviam constatado que fraturas de baixo ângulo de direção NNE a NE representavam grande importância para o fluxo da água subterrânea no aquífero. Mais além, Pino (2019) verificou que os trechos mais relevantes para o fluxo da água subterrânea compreendem a combinação de mais de uma família de fraturas. Segundo os autores, nos intervalos em que ocorre apenas a família B (N064/27), observa-se a menor transmissividade média, de $1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, seguido pelos trechos com a família A (sub-horizontal), com $1,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, e com ambas as famílias, com $1,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Além disso, nos últimos cinco metros da perfuração MP-01, ocorre um aumento de transmissividade atribuído à alternância decimétrica entre os diferentes litotipos. Assim, as condições mais favoráveis ao fluxo envolvem a combinação das famílias A e B em associações de rocha (gnaiss fino com pegmatito ou com pegmatito e gnaiss bandado).

Quanto ao sentido do fluxo da água subterrânea no aquífero, Pino (2019) observou fluxo essencialmente descendente entre as camadas, exceto por duas situações: (i) no intervalo de 10,0 a 14,5 metros, assinaturas isotópicas de oxigênio e deutério indicam grande importância do fluxo horizontal, e evidências de oxidação nos testemunhos ao longo das famílias de fraturas A e B sugerem uma importante componente de fluxo para SE; (ii) entre 52 e 60 metros, intervalo de alta transmissividade citado anteriormente, onde ocorre intensa associação de fraturas e intercalação de litotipos, foi constatado fluxo vertical ascendente (**Tabela 3 - Figura 4**).

Tabela 3. Unidades Hidrogeológicas (HGU) definidas por Pino et al. (2022, aceito para publicação).

HGU	Topo (m BGS)	Base (m BGS)	Material geológico ¹	Famílias de fraturas ²	T (m ² /s)	Gradiente hidráulico	Porosidade
1	0	3	SedAl	-	-	-	Simples (matriz)
2	3	9	RAM	-	10 ⁻⁵	ND, descendente	Simples (matriz)
3	9	18	RAM,RAD	-	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁶	descendente	Dupla
4	18	28,5	RAM, BGn	A, B	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁶	descendente	Dupla
5	28,5	32,7	BGn, Peg	B	10 ⁻⁶	descendente, ND	Simples (fraturas)
6	32,7	260	BGN, FGn, Peg	A, B, C	10 ⁻⁸ a 10 ⁻³	variável, predomina descendente	Simples (fraturas)

¹SedAl: Material geológico: SedAl – sedimentos aluvionares, RAM – rocha alterada mole, RAD – rocha alterada dura, BGn – gnaiss bandado, FGn – gnaiss fino, Peg – pegmatito

²Famílias de fraturas: A (sub-horizontal), B (N064/27, mergulho a SE), C (N350-025/49-64, mergulho a ENE-SE), como descrito por Pino et al. (2021).

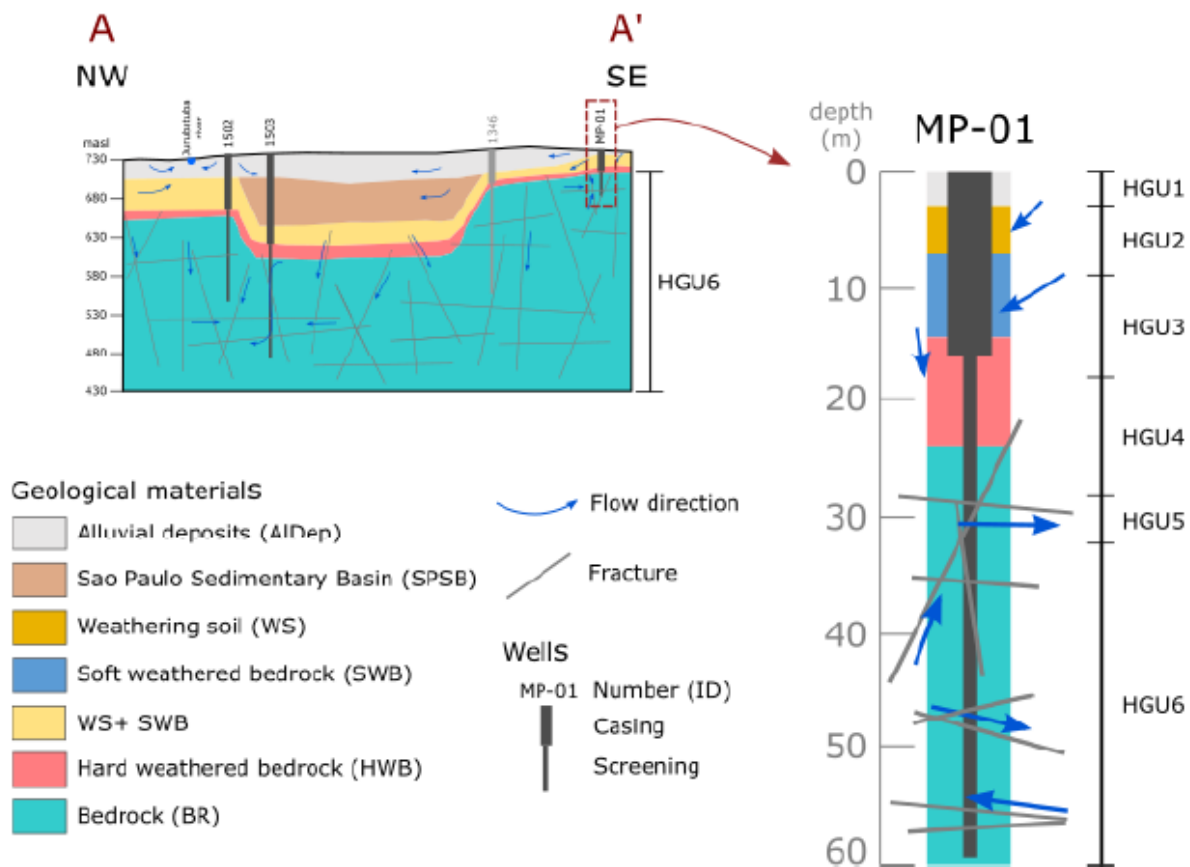


Figura 4: Modelo conceitual hidrogeológico regional elaborado por Pino (aceito para publicação).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Revisão do Modelo Conceitual e validação de dados

A etapa de revisão do modelo conceitual visou levantar o estado de conhecimento da geologia, estrutural, hidrogeologia e hidráulica prévios na região do Canal Jurubatuba. Em outras palavras, foram compiladas as informações contidas nos trabalhos de Fernandes et al. (2016), Lojkasek-Lima (2018), Pino (2019) e outros, a fim de associá-los, posteriormente, aos resultados obtidos nas demais etapas deste trabalho.

Objetivou, também, compilar dados de poços profundos (que atinjam pelo menos a profundidade do topo rochoso) e dados estruturais de análise de fraturas utilizados nestes trabalhos que fossem candidatos a integrar o modelo tridimensional a ser desenvolvido. São informações essenciais a constarem nos poços: localização pelas coordenadas X e Y, cota altimétrica, perfil construtivo com profundidade total e cotas dos contatos das litologias interceptadas, além da disponibilidade de dados de fraturas para modelagem estrutural.

No total, foram compilados poços nos trabalhos de Pino (2019) e AMEC (2012). Este banco de dados é composto por duas tabelas (**ANEXO B**): na primeira, com um total de 330 registros, constam perfis de todos os tipos de pontos utilizados na investigação (furos de sondagem, poços de bombeamento, monitoramento, injeção, observação e de amostragem vapores), com colunas de identificação do ponto, tipo do ponto, coordenadas X e Y, cota do piso, profundidade total e outras características construtivas (profundidades da seção filtrante, pré-filtro, etc); na segunda tabela, com um total de 365 registros, constam as informações de cotas dos contatos geológicos e de atribuição de unidades geológicas (sedimentos, saprólito e rocha) às seções filtrantes de poços.

A triagem deste banco dados para seleção de pontos a comporem o modelo tridimensional deste escopo abrangeu os seguintes critérios, primeiro para a tabela de perfis construtivos (os números entre parêntese equivalem ao total de registros removidos em cada etapa):

- Eliminação de todos os registros inválidos (registros não numéricos ou em branco) nas colunas de coordenadas X e Y (21);
- Para registros que não continham profundidade total do poço, mas tinham informação de profundidade da base da seção filtrante, estas duas foram consideradas equivalentes; este valor também foi assumido para profundidade total do furo;
- Foi criada uma coluna para identificação única de cada registro, concatenando a localização do ponto (nome da indústria onde está situado) e a *ID* trazida pelo banco de

dados (**Tabela 4**), separados por um hífen; este procedimento foi adotado ao se notar que diferentes pontos em indústrias distintas poderiam ter o mesmo *ID*.

Para a tabela de informações geológicas:

- Eliminação de todos os registros nos quais a cota da base do saprólito (ou cota do topo rochoso) estava classificada como “Não disponível” – NA, “Não encontrada” – NE ou “Desconhecida” – UNK (276);
- Eliminação dos registros nos quais a cota da base dos sedimentos era não-numérica (4);
- Foi criada a coluna de identificação única, assim como na tabela de perfis construtivos, para funcionar como chave de correlação entre ambas.

Tabela 4. Exemplo de concatenação para criação do ID único.

Localização do ponto	Identificação do ponto	ID único
Allison (GM)	GMDW-01	Allison (GM)-GMDW-01

Resultaram desta triagem 309 registros na tabela de perfis construtivos e 85 registros na tabela de informações geológicas. O cruzamento das informações permitiu identificar que 4 pontos na tabela de geologia não estavam com suas características construtivas cadastradas, e por isso eles foram excluídos, restando um total de 81 pontos, dentre poços de monitoramento, injeção, bombeamento e furos de sondagem.

Ressalta-se que, dos poços cujos monitoramentos fazem parte deste escopo: o sistema multinível Westbay está incluído como poço selecionado de Pino (2019); o poço CMT será considerado na mesma coordenada, já que faz parte do mesmo perfil descritivo (representa as camadas superiores ao Westbay, sem sobreposição), e o ponto será identificado como WB-CMT; os poços convencionais PM-11, PM-11A e PM-11B não farão parte da modelagem, pois possuem a mesma coordenada dos sistemas multinível e não trazem informações adicionais. Assim, o total de poços/sondagens que integrarão o modelo é de 82 (**ANEXO A**).

Por fim, destaca-se que Fernandes et al. (2016) descrevem estruturalmente diversos poços e afloramentos na região do Canal Jurubatuba que estão fora da área definida para modelagem (**Figura 1**). Ainda que estes pontos não estejam efetivamente compondo o modelo, pretende-se extrapolar as principais famílias de fraturas encontradas pelos autores a nível regional para a visualização 3D que é objeto deste trabalho, uma vez que foram identificados diversos planos, principalmente subverticais, que representam grande importância para o fluxo de água subterrânea no aquífero em questão.

A **Tabela 5** resume os dados compilados durante esta etapa.

Tabela 5. Resumo do total de poços/sondagens compilados.

Fonte de dados	Identificação do poços	Dados disponíveis
Pino (2019)	ErgomatWB-CMT	Intervalos litológicos, dados estruturais
AMEC (2012)	verificar ANEXO A	Intervalos litológicos
Fernandes et al.(2016)*	NA	Dados estruturais

*Os poços de Fernandes et al. (2016) não se inserem na área da modelagem. As famílias de fraturas regionais identificadas serão adicionadas ao modelo de forma livre, apenas para avaliação conceitual.

4.2. Modelagem geológica

A inserção de dados no software Leapfrog Works deve seguir uma estrutura de *input* definida, que permita o programa compreender o tipo de informação a ser obtida. No caso de uma modelagem de unidades geológicas, são requisitos dois tipos de arquivos de entrada: (i) o arquivo *collar* carrega dados de superfície dos poços, e deve conter cinco colunas: a identificação do poço ou sondagem (*ID*), as coordenadas X e Y, a cota altimétrica (Z) e a profundidade total; (ii) o arquivo *interval* particiona a extensão do poço/sondagem de acordo com uma classificação qualitativa, e deve conter as colunas de: identificação do poço (*ID* – devem ser os mesmo da tabela *collar* para permitir que o programa as correlacione), as colunas “*de*”, ou “*from*”, e “*para*”, ou “*to*”, representando o início e o fim de cada intervalo ao longo da extensão do poço/sondagem, e a coluna de descrição da litologia. No caso de se pretender adicionar dados numéricos de concentrações de substâncias químicas, ou de representar as seções filtrantes dos poços, uma terceira tabela, *screens*, deveria ser adicionada ao modelo, composta pelas colunas de *ID* do poço, colunas *de* e *para* com os intervalos de cada seção filtrante e uma coluna com o valor da concentração do composto químico. Entretanto, para a modelagem simples apenas das unidades geológicas o arquivo *screens* não é obrigatório.

A respeito da validação dos dados, ressaltam-se as seguintes observações:

- Na ausência de campanhas topográficas, foram assumidos para o conjunto CMT-Westbay os dados de cota e localização (coordenadas X e Y) do PM-11, uma vez que este se encontra a aproximadamente 2 metros para leste (**ANEXO B**);
- Para os dados de geologia, fez-se necessária uma padronização das unidades; para este fim, “sedimentos fluviais” e “sedimentos quaternários” foram considerados sinônimos “sedimentos aluvionares” (SedAl); “saprólito” foi considerado sinônimo de “Solo de Alteração (SA) + Rocha Alterada Mole” (RAM); quaisquer intervalos situados abaixo da base da RAM, identificados como “rocha” ou com descrições de maior detalhe, foram denominados “Rocha Alterada Dura (RAD) + Rocha Sã (RS)”, já que os perfis do banco de dados AMEC (2012) não indica onde estaria o contato entre RAD e RS.

As coordenadas dos pontos compiladas no banco de dados apresentaram um certo desvio na localização quando foram imputadas no GIS (*Geographic Information System*). Esse desvio pode ter diversas causas, desde erros na medição de localização até divergência na projeção das coordenadas (não foi informado o Sistema de Referência de Coordenadas utilizado). A posição das sondagens foi corrigida manualmente (**Figura 5**), tendo como base a localização em planta fornecida pelo relatório AMEC (2012).



Figura 5: À esquerda, posicionamento dos pontos antes da correção; à direita, posicionamento após a correção.

Feitas as correções, compôs-se as tabelas *collar* e *interval* para *input* no programa. O Leapfrog Works calcula as superfícies que representam os contatos entre as camadas por meio de triângulos, cujos tamanhos representam a resolução do cálculo. A resolução é um valor que pode ser ajustado manualmente, e deve ser escolhido de acordo com a distribuição dos dados e distância entre pontos, sempre levando-se em conta a representatividade das informações. Na prática, isso significa que não adianta aplicar uma resolução muito alta (triângulos bastante pequenos, o que exige mais cálculos e, portanto, mais processamento) para áreas com dados muito espaçados.

Os dados em questão estão armazenados em pontos separados por distâncias muito diferentes, desde 2 até 100 metros. No momento da criação do modelo geológico, o próprio Leapfrog Works calcula uma resolução de superfície sugerida para o projeto, que no caso foi de 20 metros, com base na distância entre os dados disponíveis. Foi utilizada a resolução sugerida pelo programa, já que 20 metros está coerente com um espaçamento médio observado dos pontos.

Como não há informações de geologia do local além daquelas presentes nos perfis de sondagem, nas quais todas apresentam uma sucessão de 3 camadas bastante simples (sedimentos aluvionares, rocha alterada mole e rocha alterada dura + rocha sã), contínuas e empilhadas, foi aplicado o interpolador de depósitos para compor as superfícies de contato entre as unidades (**Figura 6**). O modelo geológico gerado é apresentado no **item 5.1**.

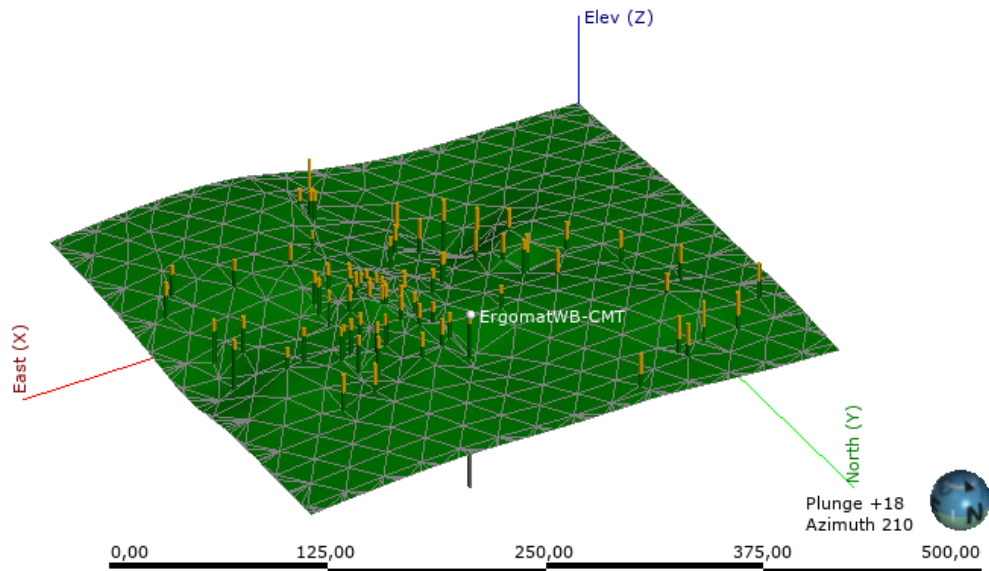


Figura 6: Exemplo de criação da superfície de contato entre RAM e RAD+RS, com o poço CMT-Westbay destacado. Notar as triangulações referentes a resolução da superfície.

4.3. Modelagem estrutural

Por conta de visualização e processamento no Leapfrog Works, nem todas as fraturas compiladas no **item 3.5** foram utilizadas no modelo. Foram selecionadas, de cada fonte de dados, as fraturas mais significativas para o fluxo de água subterrânea, sendo: as fraturas sub-horizontais paralelas à foliação, cuja importância para o fluxo foi ressaltada por todos os autores, englobando-as nas famílias 5b e A por Fernandes et al. (2016) e Pino (2019), respectivamente; as fraturas subverticais de caráter regional encontradas por Fernandes et al. (2016) na Família F1, consideradas equivalentes àquelas encontradas por Pino (2019) nas famílias D e E; as fraturas de direção N064 e mergulho 27° (SE) da Família B, para as quais Pino (2019) destaca que, quando combinadas com as fraturas sub-horizontais da Família A, ocorre um aumento significativo de transmissividade a nível local; as fraturas de direção NE-SW e mergulho de 40° NE identificadas em Pino (2019) na Família C.

Outra modificação realizada para otimizar o processamento foi a redução da área de modelagem de fraturas em relação à área de modelagem de geologia. Foi obtido um recorte do volume inicial calculado (**Figura 7**), no formato de um retângulo que englobasse o Ergomat-WB-CMT e a maior quantidade possível de dados. Tentou-se, previamente, executar a modelagem no volume original, mas a quantidade de planos criados fez com que o programa e o computador apresentassem mal funcionamento, exigindo essas adaptações. Considerou-se, também, mais adequado restringir a modelagem estrutural apenas para regiões próximas aos três poços, para evitar abranger áreas muito grandes sem informação.



Figura 7: Redução da área de modelagem aplicada para um retângulo englobando o poço Ergomat-WB-CMT.

A plotagem de estruturas no Leapfrog Works a partir de poços já carregados no programa (*downhole structural planar data*) exige uma nova tabela composta pelas colunas de ID do poço (idênticos aos da tabela *collar*), profundidade da estrutura observada, mergulho do plano e direção do plano. A estratégia adotada para construir o modelo conceitual foi plotar, para cada família de fraturas, um primeiro plano-guia no poço de referência através da ferramenta *downhole data*, ao topo da camada de rocha alterada dura + rocha sã, e posteriormente criar planos paralelos. Para as fraturas regionais de Fernandes et al. (2016), obtidas de afloramentos fora da área de modelagem, foi utilizado como poço de referência o Westbay.

O Leapfrog Works possui um interpolador para gerar o plano de fratura diretamente a partir dos dados estruturais plotados *downhole*, mas a aplicação deste método não gerou planos-guia exatamente retilíneos, possivelmente porque os cálculos exigiriam mais de um ponto de controle. O *moving plane* é um plano de referência customizável dentro da interface do Leapfrog, útil para guiar desenhos e para visualizar seções dos modelos construídos. Para gerar planos de fraturas retilíneos, adotou-se o método de posicionar o *moving plane* exatamente sobre o ponto da estrutura plotada e ajustar sua atitude para que equivalesse a da fratura. Posteriormente,

utilizando a ferramenta de desenho *polyline*, foram criados quatro pontos de controle sobre o plano, os quais foram, finalmente, interpolados (**Figura 8**).

Uma vez construídos todos os planos-guia de cada família de fraturas, a geração de planos paralelos foi realizada a partir da ferramenta *offset surfaces*. Esta ferramenta gera novas superfícies iguais ao plano guia a distâncias fixas estabelecidas, que nesse caso deve ser o espaçamento real dos planos de fraturas. No banco de dados utilizado, fraturas sub-horizontais e subverticais foram consideradas por terem espaçamentos aparentes e reais equivalentes, porque as *scanlines* que as identificaram são praticamente perpendiculares (fraturas subverticais foram identificadas por *scanlines* horizontais em afloramentos). Como Pino (2019) já havia convertido os espaçamentos aparentes em espaçamentos reais, não foi necessário realizar a conversão.

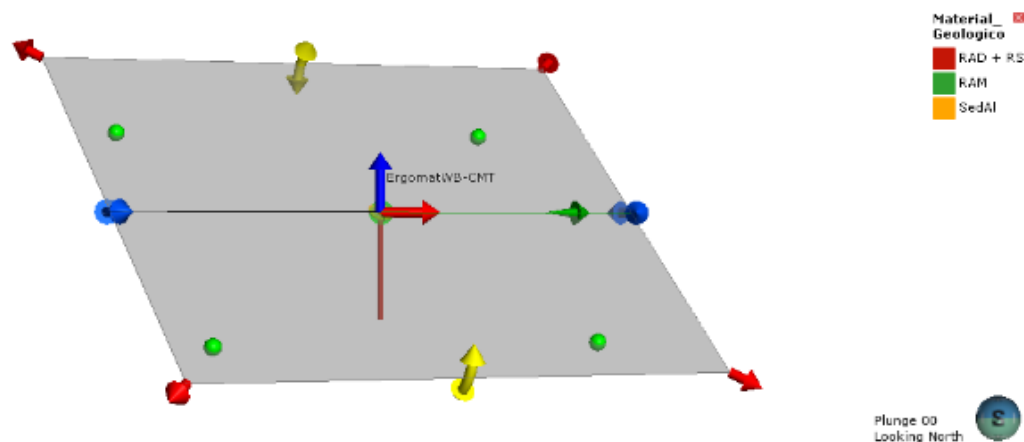


Figura 8: Ilustração do ajuste de planos de fratura no Leapfrog Works. O plano acinzentado é o *moving plane*, posicionado sobre uma das medias estruturais plotadas *downhole* na extensão do Westbay (linha vermelha ao centro). Os pontos verdes são os pontos de controle criados sobre o *moving plane*, que serão posteriormente interpolados para gerar o plano de fratura definitivo.

Por questões de visualização, os espaçamentos foram ampliados em algumas vezes para a plotagem das fraturas no modelo, caso contrário o acúmulo de planos dificultaria a distinção das famílias. Respectivamente, os espaçamentos das famílias C e B foram ampliados em 3 e 12 vezes. Ressalta-se que este modelo estrutural é apenas teórico e reproduz uma realidade na qual os planos seriam contínuos e ocorreriam no espaço de forma regular, portanto não mantêm uma obrigatória fidelidade com as profundidades em que as famílias são observadas nos poços e afloramentos.

4.4. Monitoramento de cargas hidráulicas

4.4.1. Poços convencionais e CMT

São chamados poços de monitoramento convencionais os poços que contêm uma seção filtrante única. Essa denominação foi adotada para distingui-los dos sistemas multinível, os quais monitoram diversos intervalos do aquífero ao longo de sua extensão. Neste escopo, os potenciais hidráulicos de três poços convencionais são monitorados semanalmente: PM-11, PM-11A e PM-11B, respectivamente com 3,80, 8,90 e 14,5 metros de profundidade. O **ANEXO B** traz os perfis construtivos desses poços.

O CMT™ (*Continuous Multichannel Tubing*) é um MLS constituído de um tubo liso e contínuo de polietileno, particionado em sete canais internos (seis periféricos com 0,5” e um central com 0,4”), que permitem o monitoramento de sete diferentes profundidades. O tubo é comercializado na forma de bobinas, de maneira que as portas de monitoramento ou bombeamento são construídas no próprio *site* de instalação, cortando e perfurando o material nas profundidades desejadas, com base nos conhecimentos hidrogeológicos adquiridos de métodos prévios (Einarson e Cherry, 2002 – **Figura 9**). O CMT™ instalado na área de interesse deste trabalho possui ao todo 14,8 metros de profundidade, e a porta mais profunda (CMT-07, central) está a 14,5 metros da superfície (**ANEXO B**).

A aferição de nível piezométrico tanto nos poços de monitoramento convencionais quanto no CMT™ é realizada utilizando um medidor de nível d’água mini M102 da Solinst Canada Ltd., com fita de 25 m de comprimento e sonda com 10 mm de diâmetro por 70 mm de comprimento (**Figura 9**). Os dados são posteriormente convertidos em carga hidráulica subtraindo-os do valor de cota do PM-11 (AMEC, 2012), extrapolado para todos os poços adjacentes.



Figura 9. À esquerda, tubo do CMT antes da instalação (extraído de Pino, 2019); à direita, medidor de nível d’água da SolinstCanada Ltd.

4.4.2. Sistema de Monitoramento Multinível Westbay®

O Westbay® é um tipo de sistema multinível pré-montado, produzido pela *Schlumberger Water Services*, constituído pelos seguintes componentes: (i) porta de monitoramento ou *measuring port*; (ii) porta de bombeamento ou *pumping port*; (iii) tubo liso ou *multiport casing*; (iv) obturadores ou *packers*; e (v) colares magnéticos de localização da sonda ou *magnetic collars* (**Figura 10**). O encaixe das peças é feito em superfície e todo o conjunto é descido no poço manualmente. O conjunto utilizado neste trabalho possui 16 portas de monitoramento e 4 portas de bombeamento, totalizando 59,1 metros de profundidade (**ANEXO C**).

Os obturadores são dispositivos inflados com água e que isolam uma determinada profundidade ou intervalo, evitando a influência da água de outras profundidades. Os revestimentos são apenas junções utilizadas para conectar diferentes componentes do sistema e seus comprimentos podem variar de acordo com a posição desejada para as portas de monitoramento. Os colares magnéticos são traçadores da profundidade e normalmente se localizam abaixo de algumas portas de bombeamento. A porta de medição corresponde aos intervalos do poço onde é possível se medir a carga hidráulica e coletar amostras de água subterrânea. A porta de bombeamento é usada para realização de testes hidráulicos (Lojkasek-Lima, 2018).

Uma zona de monitoramento compreende o espaço volumétrico externo ao revestimento situado entre dois obturadores consecutivos, e seu comprimento é medido pela diferença entre a profundidade da base do obturador superior e a profundidade do topo do obturador inferior (Fisher e Twining, 2011). O monitoramento das cargas hidráulicas nessas zonas é feito com a sonda *MOSDAX Sampler Probe* (a qual também viabiliza amostragens de água), que se acopla às portas do sistema e permite medir a pressão de fluido fora do revestimento (*casing*) em cada zona. O posicionamento e movimentação da sonda no interior do poço é realizado manualmente com auxílio de tripé, polia e cabos de aço (**Figura 11**), munidos de um contador de profundidade. Uma vez posicionada na profundidade de interesse, o encaixe na porta é feito a partir de comandos emitidos pela interface MAGI – *MOSDAX Automated Groundwater Interface* (**Figura 11**), que estende mecanicamente um apoio (*backing shoe*) contra as paredes do revestimento, criando um isolamento hidráulico entre a porta de monitoramento e a própria sonda (**Figura 11**).

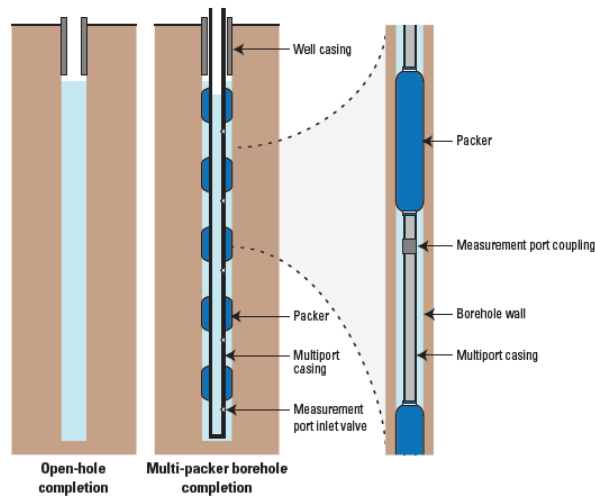


Figura 10. Esquema de construção do sistema multinível Westbay. Extraído de Fisher e Twining (2011).



Figura 11. À esquerda, tripé e polia com a sonda *MOSDAX Sampler Probe* posicionada sobre a boca do poço Westbay; ao centro, interface *MAGI – MOSDAX Automated Groundwater*; à direita, detalhe dos apoios mecânicos na sonda para encaixe dentro do poço.

As informações de pressão de fluido e temperatura são transmitidas para a interface por meio de fios embutidos nos cabos de aço e anotadas em fichas de campo, em psia (*pounds per square inch absolute*) e graus Celsius, respectivamente. Os níveis piezométricos são expressos como

$$Dz = Dp - H$$

$$H = \frac{P2 - Patm}{w}$$

Em que

- Dz é o nível piezométrico na zona de monitoramento, em metros;
- Dp é a profundidade da porta de monitoramento, em metros;

- P_2 é pressão de fluido na zona de monitoramento do lado externo ao revestimento, em psia;
- P_{atm} é a pressão atmosférica aferida em superfície, em psia;
- w é o fator de conversão e equivale a 1,422 psi/m de coluna d'água.

A profundidade D_p foi extraída do perfil construtivo do Westbay (**ANEXO C**), projetado antes de sua instalação (Pino, 2019). A pressão atmosférica foi aferida antes de cada campanha de monitoramento utilizando a própria sonda posicionada na boca do poço. As cargas hidráulicas (h) em cada zona de monitoramento foram, então, obtidas por

$$h = Z - Dz$$

Em que Z é a cota da boca do Westbay. Na ausência de uma campanha topográfica para os poços multinível, este valor foi assumido como equivalente à cota da boca do poço PM-11, situado a cerca de 2 metros para leste (**ANEXO B**), cuja topografia foi levantada pelo relatório AMEC (2012).

4.4.3. Cálculo de gradientes

Teoricamente, a carga hidráulica é equivalente ao longo de uma mesma zona de monitoramento, com fluxo dominado pela feição mais transmissiva que penetra essa zona (Fisher e Twining, 2011). Por isso, os gradientes hidráulicos são calculados pela razão entre a diferença de carga hidráulica de duas zonas consecutivas e comprimento do selo entre essas duas zonas (Meyer et al., 2008). Neste trabalho, foi adotado como positivo o sentido de fluxo descendente, ou seja, o cálculo para diferenças de carga é a subtração entre a carga hidráulica da zona superior menos a carga hidráulica da zona imediatamente inferior. O comprimento do selo é a base menos o topo de cada *packer* entre as zonas de monitoramento, no caso do Westbay, e do pré-filtro, no caso do CMT.

A calibração da sonda *MOSDAX Sampler Probe* (**ANEXO E**), em junho de 2015, indica que, a uma temperatura de 20,4°C, a média de erro para as aferições abaixo de 100 psia é de 0,030 psia, em módulo, valor que equivale a, aproximadamente, 0,021 metros de coluna d'água. Dessa forma, para o tratamento de dados hidráulicos, quaisquer gradientes cujo módulo seja menor ou igual a 0,02 são considerados por representarem fluxo vertical insignificante, caracterizando um trecho onde predominaria o fluxo horizontal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados neste item os resultados obtidos a partir das atividades descritas no **Item 4**. Os tópicos estão divididos segundo as diferentes frentes do trabalho, sendo: (i) modelagem tridimensional de unidades geológicas e fraturas; (ii) caracterização hidráulica por meio das campanhas de monitoramentos de carga.

5.1. Modelo geológico e estrutural

A **Figura 12** e a **Figura 13** trazem os modelos geológicos que resultaram do processamento de dados no Leapfrog Works, com exagero vertical de 2 vezes, e duas seções geológicas, A-B e C-D, de direções NW-SE e SW-NE, construídas verticalmente ao longo dos traçados de cor amarela. Está representada também, por um retângulo vermelho, a redução na área para modelagem das fraturas. A espessura dos sedimentos aluvionares e do solo de alteração + rocha alterada mole é bastante variável, destacando-se, principalmente, o espessamento do SA+RAM nas imediações do CMT-Westbay, associado ao afundamento do topo da RAD+RS, e o adelgaçamento dos sedimentos aluvionares na porção sudeste, ambos visíveis na seção A-B. Na seção C-D, este mesmo adelgaçamento é percebido na porção próxima aos poços Fotobrás-GWS-F09 e Fotobrás-GWS-F04, a nordeste, e uma elevação do topo da RAD+RS ocorre no poço Duracell-INJ-2B. Cabe ressaltar que os contatos entre as três unidades foram delimitados estritamente conectando-se as informações de todos os poços/sondagens. Essas informações são frutos de uma compartimentação e padronização de descrições mais (Pino, 2019 – Westbay e CMT) e menos (AMEC, 2012) detalhadas quanto aos materiais geológicos, feitas por diversas empresas diferentes, conforme descrito no **item 4.2**. Não é descartada, portanto, a possibilidade de que divergências gerem erros na construção dos contatos.

Variações na superfície de topo rochoso são importantes condicionantes do fluxo de água subterrânea e da migração de substâncias como o DNAPL. A redução na permeabilidade desacelera a migração vertical de compostos mais densos do que a água, os quais passam a se movimentar lateralmente e a se acumular nestas “bacias” onde a RAD está mais profunda. Conforme descrito por AMEC (2012) e Lojkasek-Lima (2018), foram identificados na área PCE (tetracloroetano) e seus produtos de degradação TCE (tricloroetenos), DCE (dicloroetenos) e cloreto de vinila, todos que, em fase livre, constituem substâncias mais densas que a água. Ainda segundo o relatório AMEC (2012), há uma suspeita de área-fonte próxima ao local no qual as seções da **Figura 13** se interceptam, exatamente onde ocorre um alto topográfico do topo da RAD, que pode estar condicionando o fluxo dessas substâncias a se acumularem nas regiões

mais baixas adjacentes; uma delas, inclusive, onde está o conjunto multinível do CMT-Westbay (Figura 14).

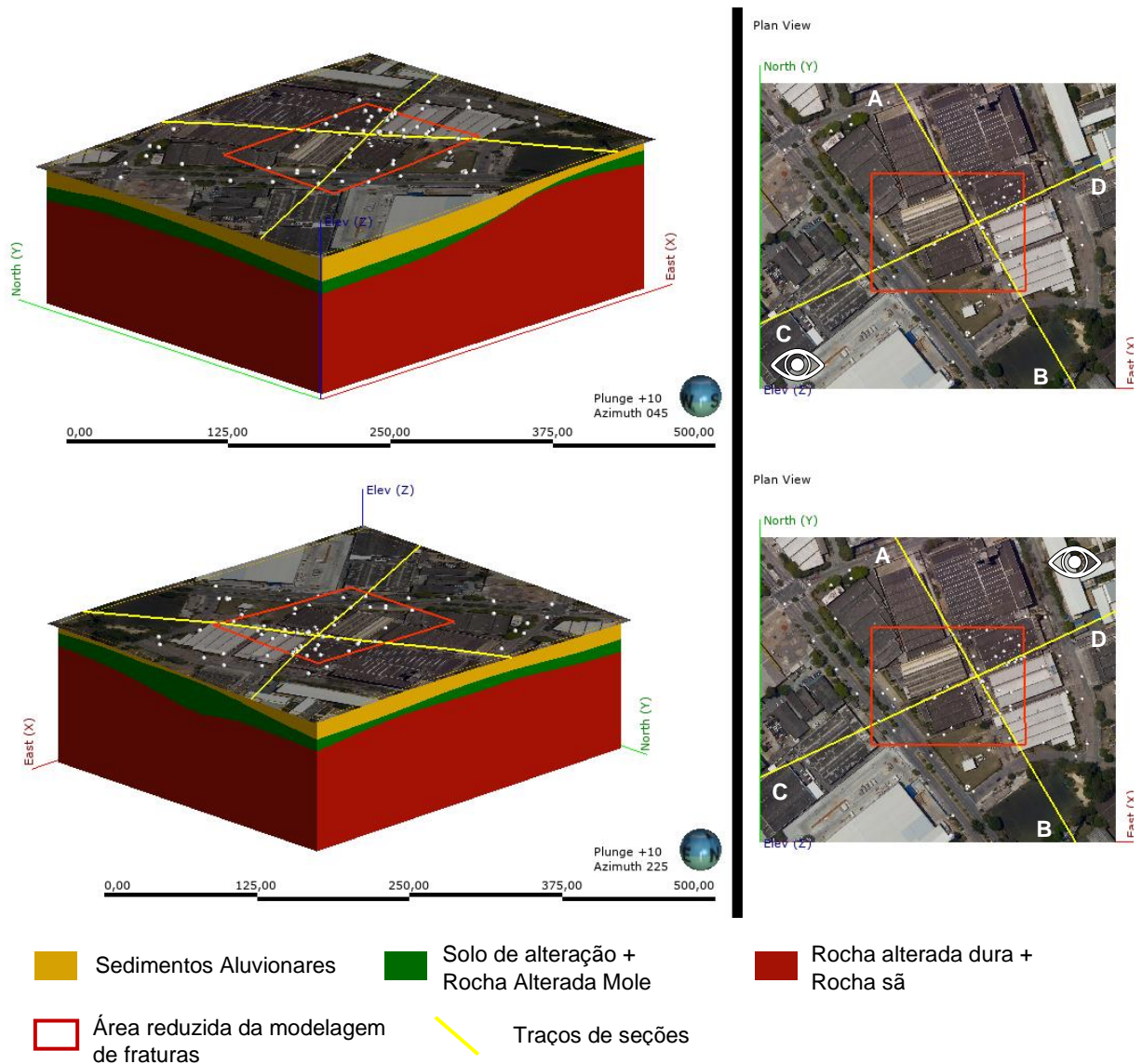


Figura 12: Modelos geológicos extraídos do Leapfrog Works. Na figura superior, visada para NE (azimute 045°) com inclinação de 10° (*plunge*), exibindo as faces oeste (W) e sul (S) do quadrilátero de modelagem; na figura inferior, visada para SW (azimute 225°) com inclinação de 10°, exibindo as faces leste (E) e norte (N) do quadrilátero de modelagem. Na porção direita de ambas as figuras, visualização em planta destes quadriláteros, com destaque para as seções A-B e C-D (linhas amarela) e para a área reduzida de modelagem estrutural (retângulo vermelho).

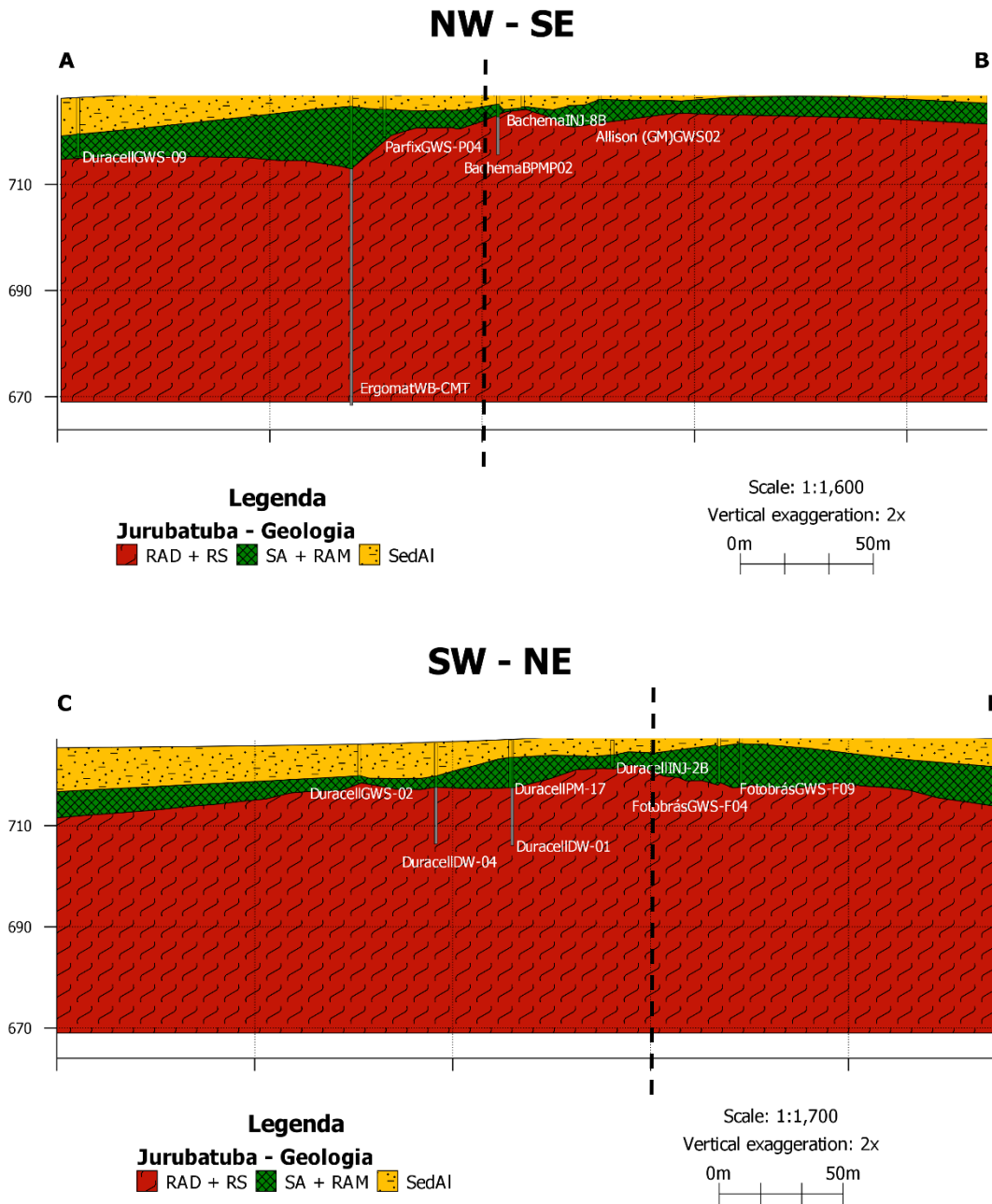


Figura 13: Seções geológicas A-B (superior) e C-D (inferior); o tracejado preto indica a intersecção entre as duas seções.

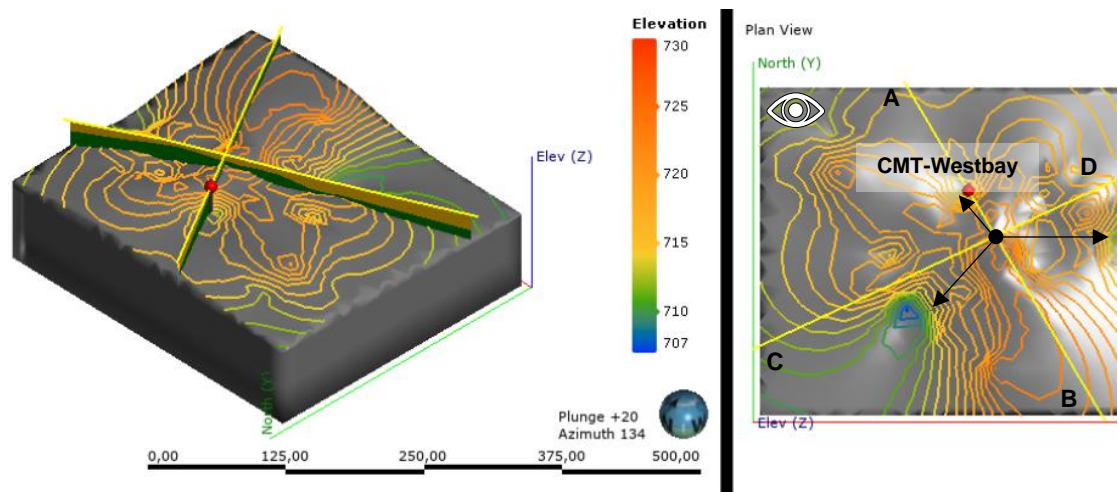


Figura 14: Representação tridimensional e em planta das isolinhas de profundidade do topo da Rocha Alterada Dura + Rocha Sã, visada para SE com inclinação de 20°, linha verde indica o norte. Nesta visualização, as unidades dos Sedimentos Aluvionares e Solo de Alteração + Rocha Alterada Mole estão ocultas, e é exibida apenas a unidade RAD+RS em cinza. É possível notar como o transporte de um DNAPL (setas pretas) da área fonte (assinalada com ponto preto) pode ocorrer ao longo da superfície em direção a áreas onde o topo da RAD é mais baixo, inclusive na localização do CMT-Westbay (assinalado com ponto vermelho).

A (Figura 15) traz os blocos tridimensionais construídos com as famílias de fraturas selecionadas no item 4.3, apresentadas aos pares e em dois cortes distintos (E-W e N-S). Estão destacados em verde e azul claro os planos de fratura de importância primária para o fluxo subterrâneo ao longo de todo o maciço, os quais foram unanimidade entre todos os trabalhos compilados (AMEC, 2012; Fernandes et al., 2016; Pino, 2019), sendo: família sub-horizontal (Família A) e família subvertical (Família F1). As outras duas famílias (Família B e Família C) estão em cinza e branco, e possuem importância secundária. Todos os pares são compostos pelos planos pertencentes a Família A (sub-horizontal) associados a cada uma das outras famílias, justamente em função dessa ordem de importância.

Ainda que o fluxo de água subterrânea ocorra majoritariamente pelos planos da Família A, a dinâmica hidráulica do aquífero depende da interconexão entre esses planos, proporcionada pelas outras famílias que o interceptam, e das características de cada fratura. O primeiro par de fraturas (Família A + Família F1) mostra o que seriam, possivelmente, as principais direções de transporte da água subterrânea no maciço em questão, dada a ocorrência das duas famílias a nível regional. Os cortes E-W e N-S indicam tendências, respectivamente, de mergulho para leste e para sul, ou seja, a principal componente estrutural das fraturas teria sentido para SE. Para os demais planos, a existência do segundo par (Família A + Família B), principalmente na base do

Westbay, apontada por Pino (2019), proporcionaria um aumento de transmissividade no aquífero; já o terceiro par comporia um sentido de mergulho secundário para SE.

A partir da projeção dos planos no espaço tridimensional e de suas intersecções em cortes especificamente orientados, é possível avaliar, em duas dimensões, a tendência de atitude das fraturas entre dois pontos de interesse (**Figura 16**). A seção E-F (**Figura 17**) insere, no mesmo plano, os traços das fraturas de todas as famílias e a localização do CMT-Westbay e Duracell-DW-04 (perfuração profunda realizada no local). É possível notar que, nesta direção, a Família F1 perde sua importância porque fica mais espaçada e com ângulo de mergulho reduzido. Assim, a associação Família A – Família B, por exemplo, pode ganhar relevância em determinar mergulhos principais para SW.

O traçado das seções G-H e I-J (**Figura 18 e Figura 19**) foi propositalmente sobreposto às seções A-B e C-D. O objetivo deles é avaliar, respectivamente, a atitude das fraturas nas direções que englobam, em ambas, a possível área-fonte de etenos clorados, o CMT-Westbay (G-H) e o Duracell-DW-04 (I-J). Em ambas as seções, a Família F1 (subvertical) volta a ter bastante relevância na interconectividade de fraturas. A seção G-H confirma a tendência observada nos blocos diagrama de mergulhos para SE, uma vez que neste corte todas as famílias apresentam planos mergulhando neste sentido. Em I-J, a família de maior relevância para o fluxo (Família A, sub-horizontal) mergulha a SW, enquanto a Família B assume uma atitude quase que sub-horizontal. As demais mergulham a NE.

Vale destacar também que essa análise é válida apenas levando em conta as fraturas que foram escolhidas para integrarem o modelo, avaliadas como as mais importantes para o fluxo de água subterrânea na área do quarteirão de interesse. Isto não impede que outras direções ocorram, a partir de outros planos ou até mesmo de variações nos mergulhos das próprias fraturas utilizadas, ocasionados por dobramentos e deformações na rocha que compõe o cristalino. Também não significa que o fluxo de água subterrânea se daria no sentido do mergulho das fraturas, já que a migração de água é uma função dos potenciais hidráulicos regionais, os quais não foram avaliados neste trabalho.

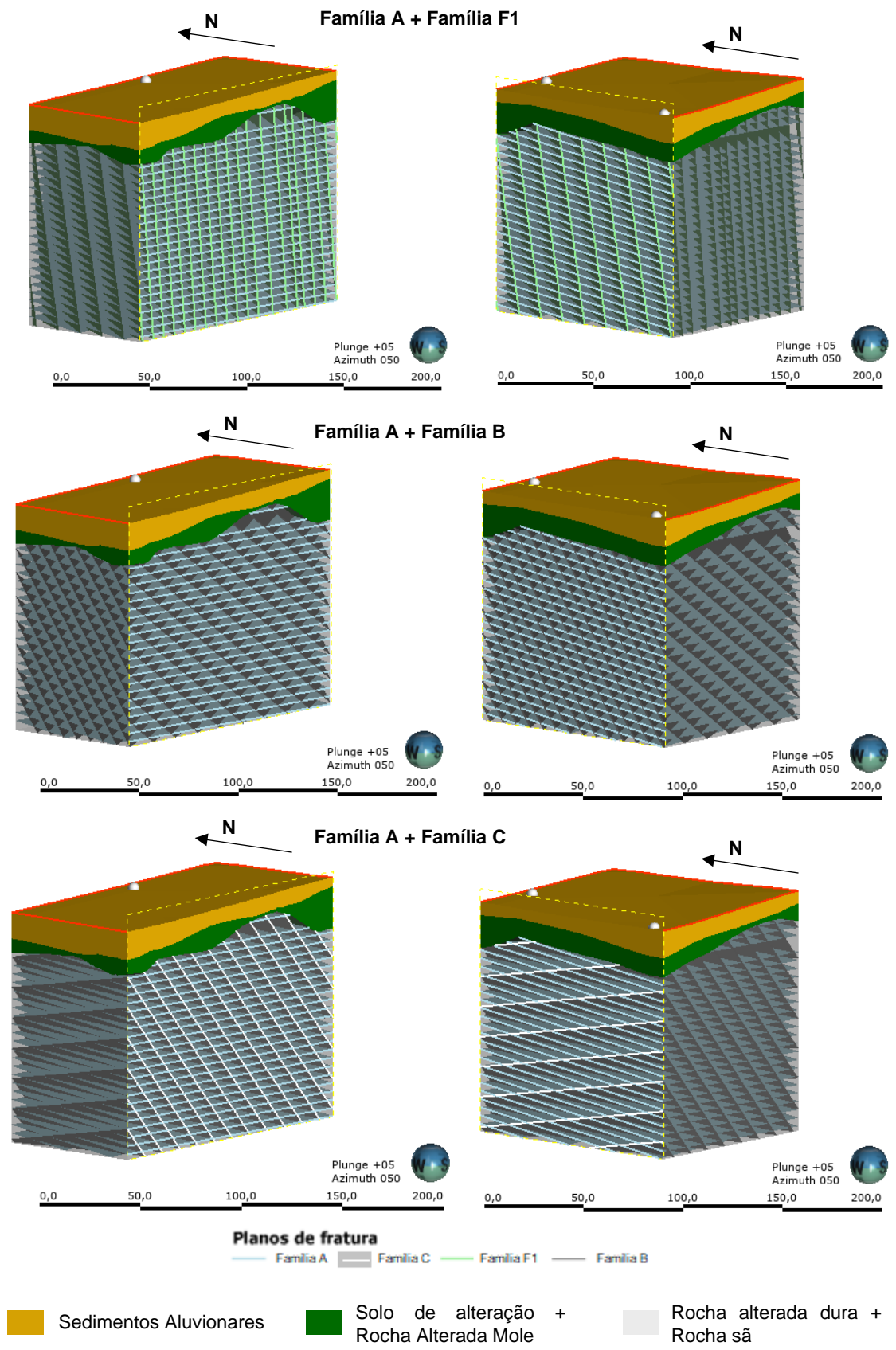


Figura 15: Blocos-diagrama com planos de fratura.

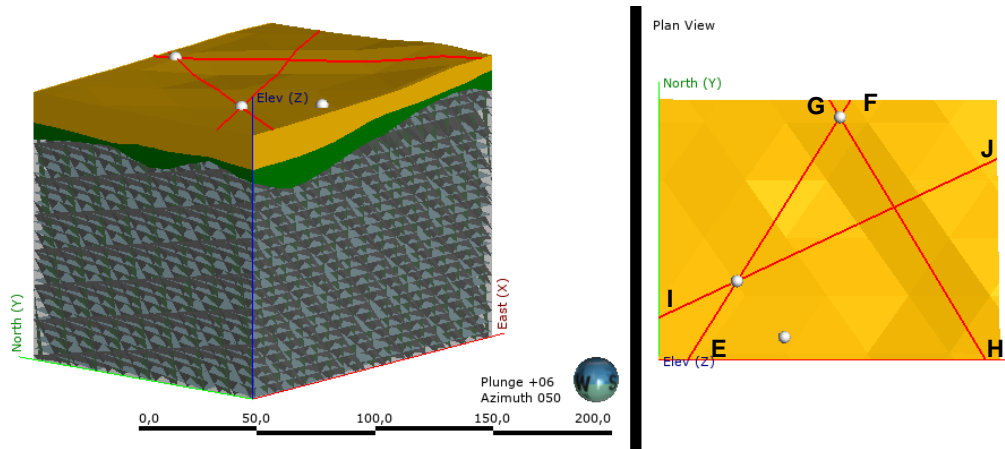


Figura 16: Seções transversais sobre o bloco-diagrama de fraturas.

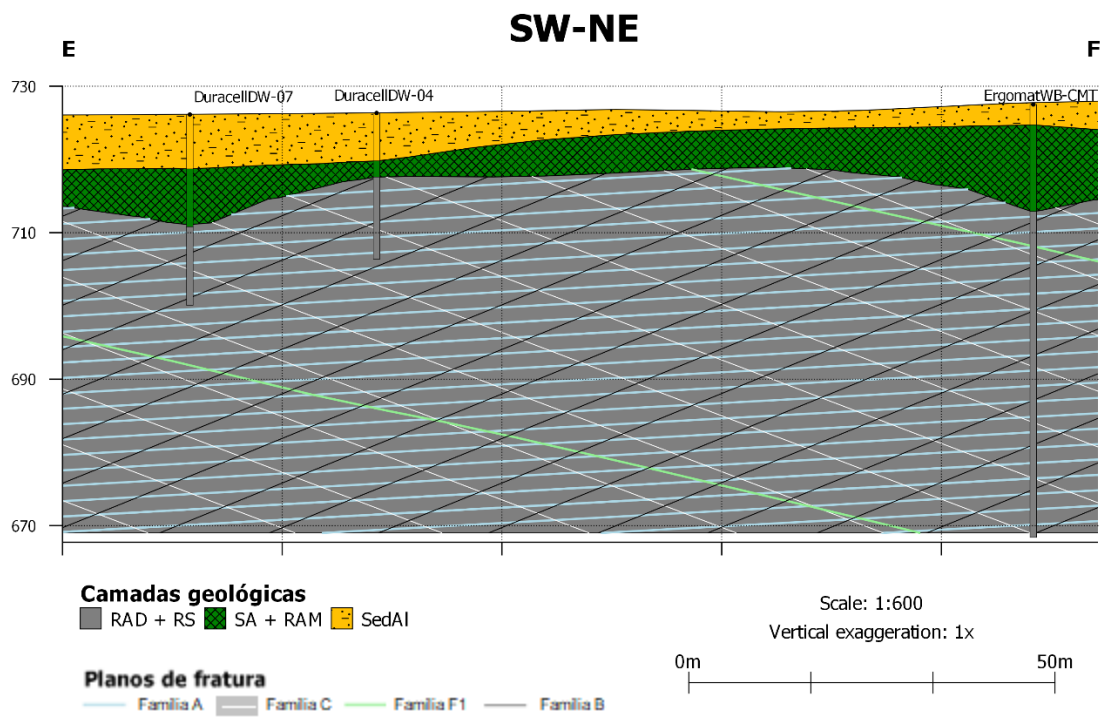


Figura 17: Seção transversal E-F.

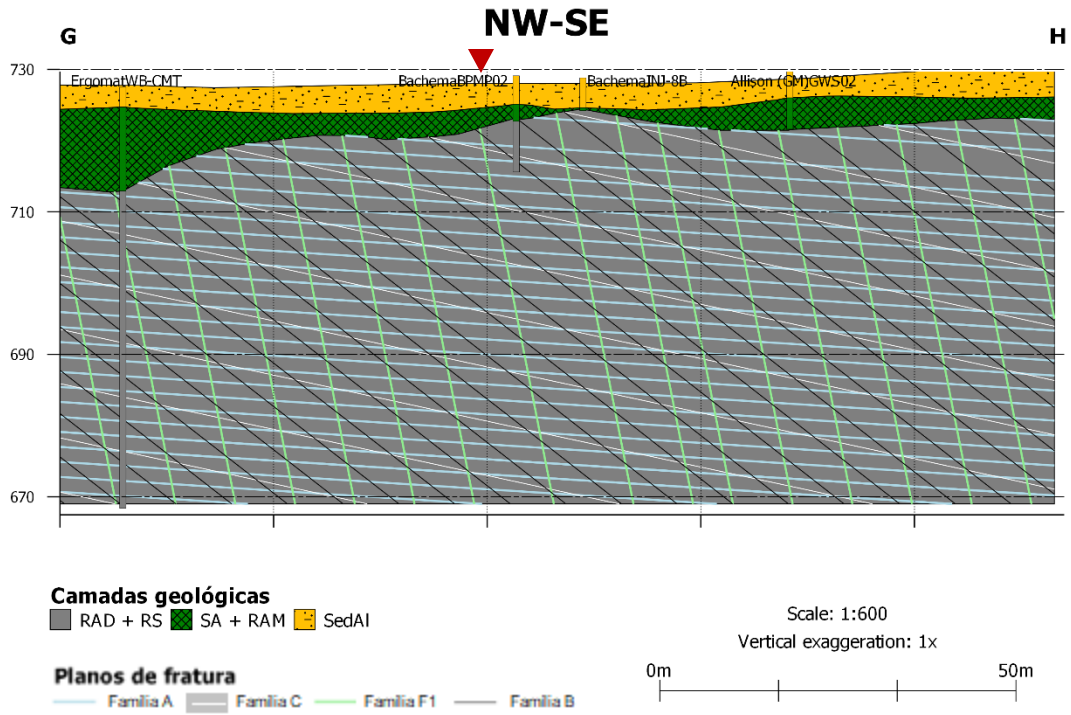


Figura 18: Seção transversal G-F. Possível área-fonte de etenos clorados indicada com seta vermelha.

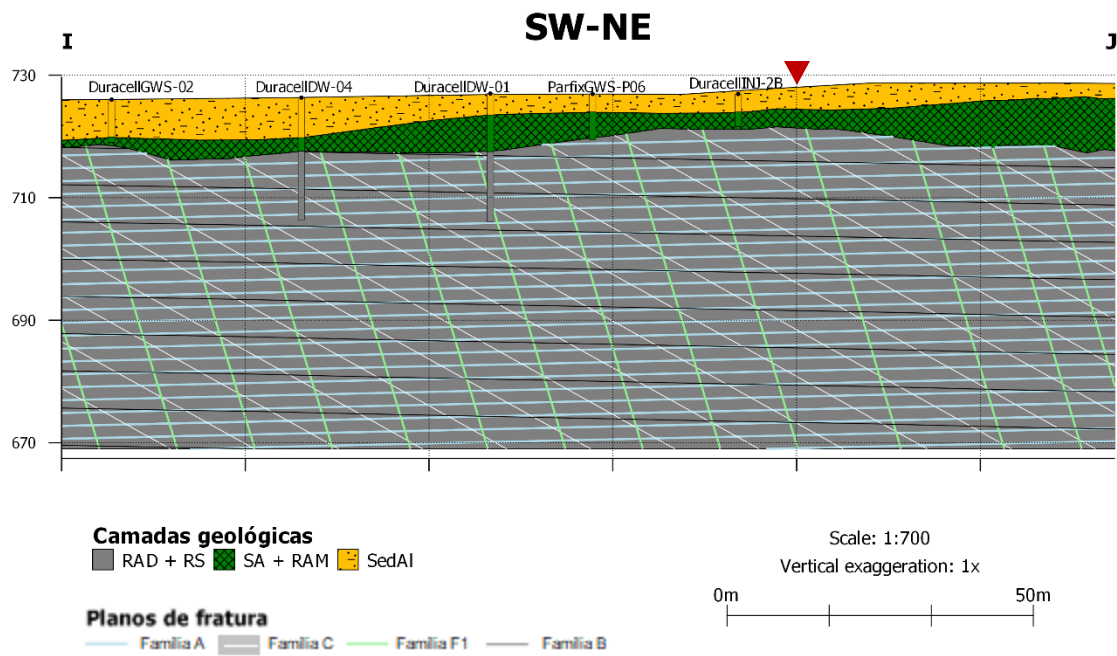


Figura 19: Seção transversal I-J. Possível área-fonte de etenos clorados indicada com seta vermelha.

5.2. Caracterização dos potenciais hidráulicos

Ao todo foram realizadas 17 campanhas de monitoramento durante o período de fevereiro a setembro de 2022. A **Figura 20** traz a evolução das cargas hidráulicas no CMT e Westbay, calculadas segundo os critérios descritos no **Item 4.4**, para as quais linhas em verde são portas no SA+RAM e linhas em laranja/vermelho indicam portas na RAD + RS. Os valores obtidos no CMT-01 não foram considerados, já que na maioria das campanhas esta porta se encontrava seca. Da mesma forma, a campanha do dia 24/03/2022 não entrou na avaliação por ter apresentado dados muito anômalos nas portas CMT-03 e CMT-04 (estavam secas). Ainda assim, as tabelas com os dados completos obtidos encontram-se no **ANEXO D**. Ressalta-se que, como as portas WB-16 e WB-15 do Westbay situam-se na mesma zona de monitoramento (**ANEXO C**), foram utilizados e analisados apenas os dados de WB-15.

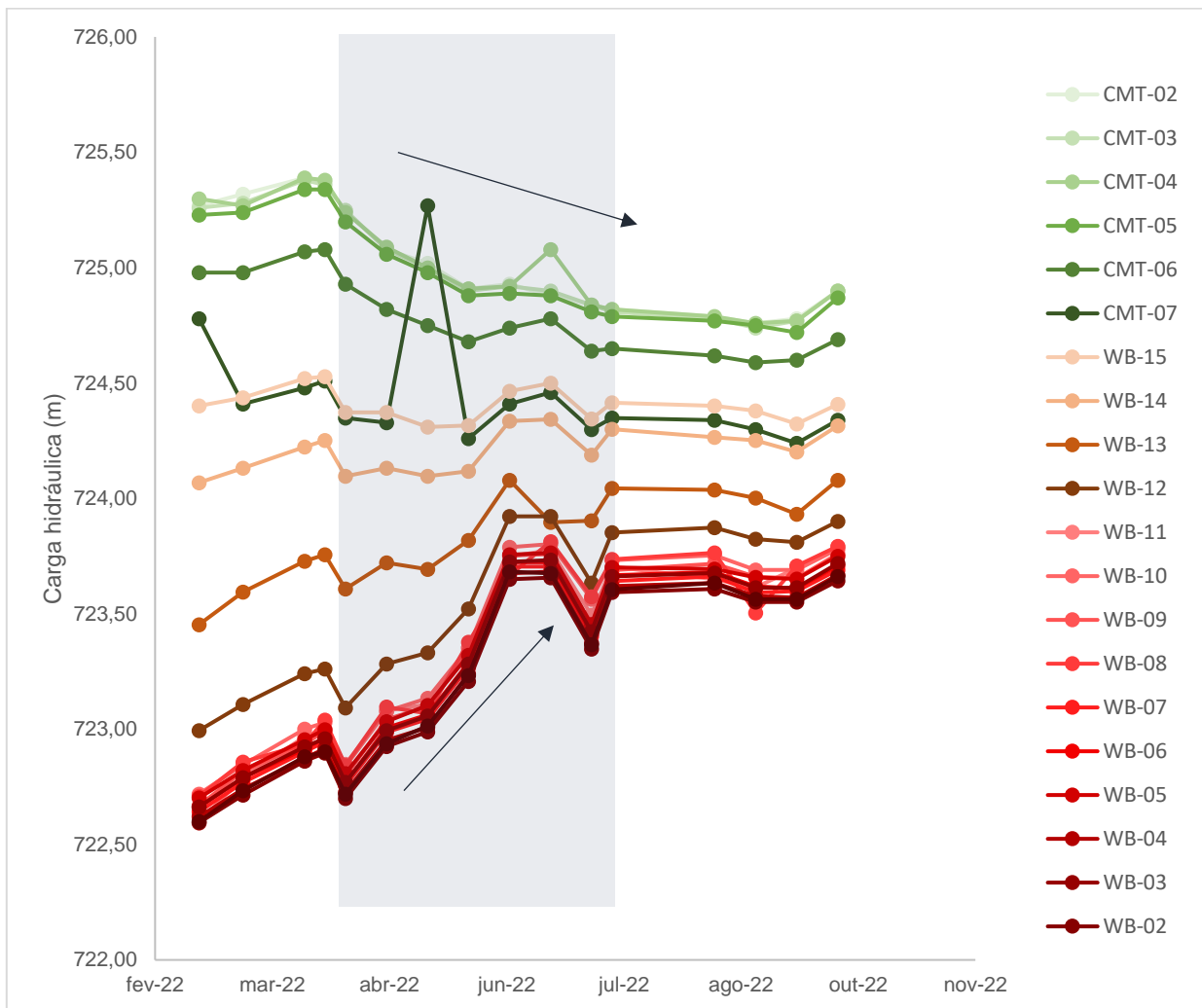


Figura 20: Evolução das cargas hidráulicas em cada porta de monitoramento. Tons de verde representam portas localizadas na RAM e tons de laranja/vermelho mostram portas localizadas na RAD+RS. Notar destaque da região em que há comportamentos distintos no topo e na base do perfil.

A evolução das cargas hidráulicas observada nos monitoramentos pode ser dividida em três momentos:

- i. Fevereiro – março: final da estação chuvosa, ocorre crescimento aproximadamente constante das cargas hidráulicas, acompanhado por todas as camadas, ainda que aquelas mais superiores tenham observado crescimento menos acentuado (retas um pouco menos inclinadas). No último dia de monitoramento deste período, todas as portas apresentaram queda nas cargas hidráulicas;
- ii. Abril – julho: auge da estação seca, ocorrem comportamentos opostos ao longo do perfil (em destaque na **Figura 20**). As camadas mais rasas no CMT apontam uma redução nas cargas hidráulicas, mas gradativamente suavizam este padrão à medida que se tornam mais profundas. Nas portas do Westbay, entretanto, é observada uma tendência muito forte de crescimento das cargas, especialmente naquelas mais inferiores, o oposto do esperado para ciclos de drenança de aquífero.
- iii. Julho – setembro: o aquífero encontra uma certa estabilidade, e as variações nas cargas, ainda que poucas, acompanham novamente todas as camadas. Ao final do período, já dentro da primavera, há um crescimento geral das cargas hidráulicas.

O comportamento observado se reflete nos valores de perda de carga total (diferença entre a carga hidráulica no topo e na base do perfil) ao longo do CMT-Westbay, que inicia em 3,31 metros em fevereiro, decresce para 1,55 metros em julho, e a partir daí se mantêm praticamente estável, com leve redução até alcançar 1,51 no último monitoramento (**Figura 21**).

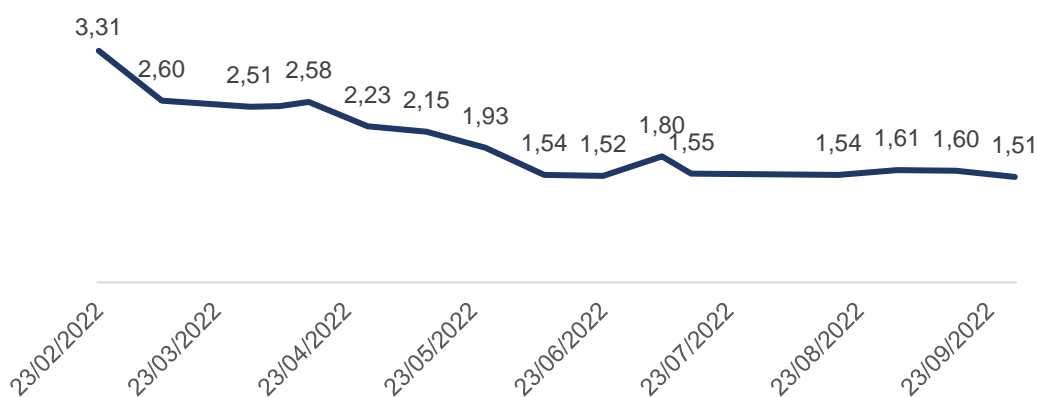


Figura 21: Evolução da perda de carga total ao longo do perfil CMT-Westbay durante o período de monitoramento. A perda de carga total é a diferença entre a carga hidráulica da porta mais ao topo e da carga hidráulica da porta mais profunda.

Durante a observação dos efeitos do bombeamento de um poço tubular de 167 metros de profundidade, localizado a 50 metros do Westbay, Pino (aceito para publicação) obteve resultados bastante semelhantes. A etapa posterior ao bombeamento, ou seja, de recuperação

do aquífero, apresentou elevações das cargas hidráulicas nas portas mais inferiores e a redução desses efeitos nas portas mais superiores, que se mantiveram mais estáveis.

O relatório AMEC (2012) aponta para a existência de uma série de poços de bombeamento que compõem uma barreira hidráulica no quarteirão da área de estudo, cujos funcionamentos têm efeitos sobre as variações de potencial hidráulico do CMT-Westbay. O gráfico da **Figura 22** apresenta um panorama mais amplo, com monitoramentos históricos desde 2016, e evidencia que as flutuações nos potenciais hidráulicos dos sistemas multinível não são uma resposta apenas da sazonalidade do aquífero, mas sim das alternâncias de vazão destes poços de bombeamento em atividade na área. As subidas e descidas nos valores de carga hidráulica em escala não-sazonal, representadas, por exemplo, pela queda considerável de potencial hidráulico entre os dois últimos monitoramentos, executados no mesmo período do ano (início de setembro de 2020 e 2021), são atribuídas a períodos em que os poços estão menos e mais atuantes, respectivamente.

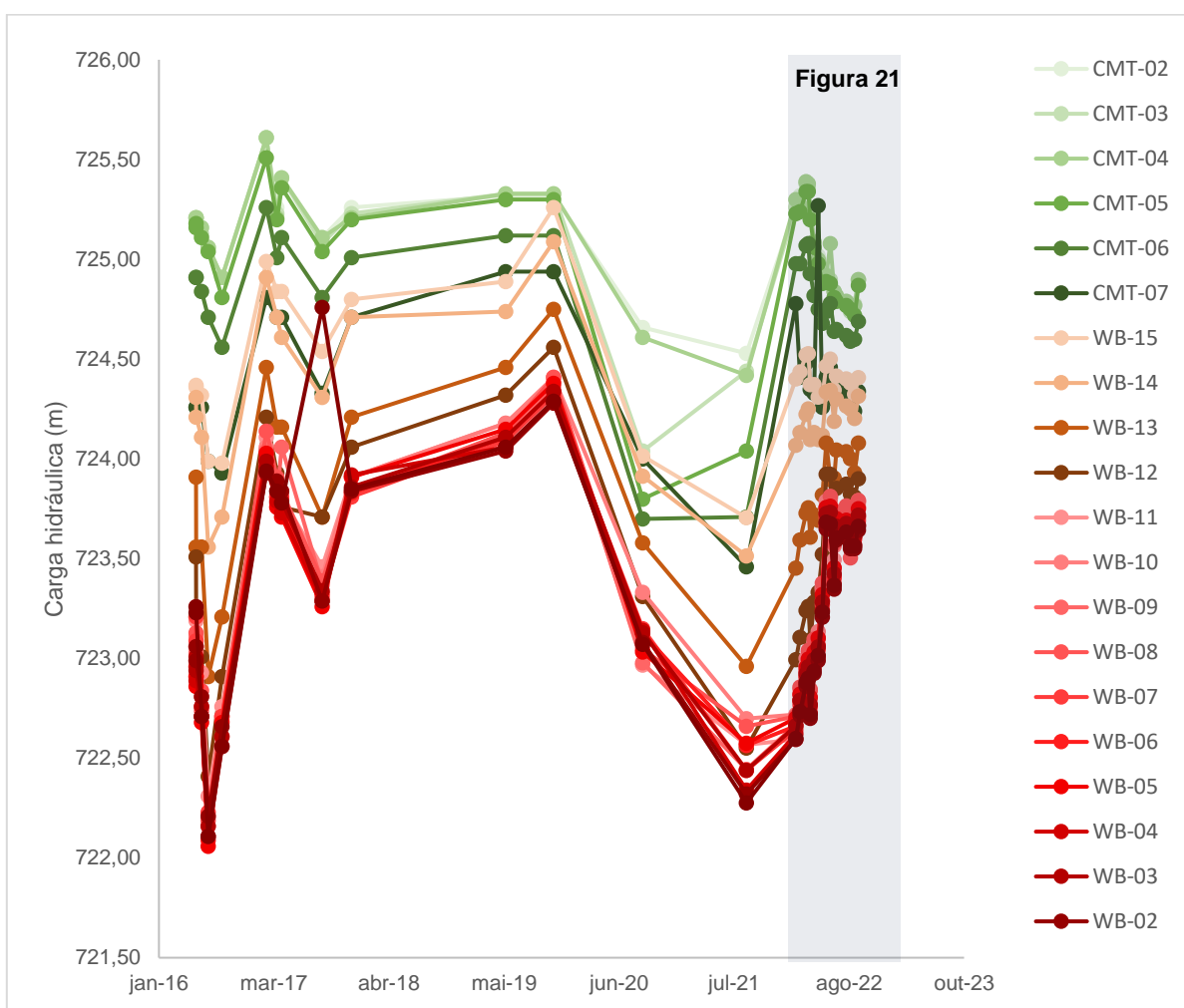


Figura 22: Cargas hidráulicas históricas monitoradas no sistema CMT-Westbay, no período 2016 - 2022.

Portanto, os padrões encontrados ao longo de 2022 que destoam do esperado para um ciclo de drenança (redução das cargas hidráulicas), especialmente em camadas mais profundas, possivelmente estão relacionados a uma recuperação do aquífero decorrente da redução de vazão ou cessamento do bombeamento em poços da barreira hidráulica. O efeito oposto observado entre as portas rasas e profundas e a consequente redução na perda de carga total ao longo do perfil CMT-Westbay demonstram que existe um certo isolamento hidráulico entre o topo e a base do perfil, que anula ou ameniza a influência do funcionamento desses poços de bombeamento nas camadas mais rasas.

A partir dos dados de carga hidráulica, foram calculados os gradientes entre portas adjacentes (**Tabela 6**), conforme procedimento descrito no **item 4.4**. Os gradientes entre CMT-07 e WB-15 não entraram na avaliação, pois essas portas pertencem a poços diferentes, o que pode ser uma fonte de erros. A respeito dos resultados obtidos, destacam-se três principais zonas: a primeira na qual o fluxo vertical é insignificante, entre as portas CMT-02 (3,7 m) e CMT-04 (8,8 m); a segunda em que predomina o fluxo descendente, entre as portas CMT-04 e WB-11; e a última na qual o sentido de fluxo é bastante variável, a partir de WB-11.

Tabela 6. Gradientes hidráulicos calculados para as interfaces dos poços multinível e a interpretação do sentido de fluxo. Cor azul indica fluxo descendente, vermelho indica fluxo ascendente e cinza representa fluxo vertical insignificante.

Interface	23/2	10/3	31/3	7/4	14/4	28/4	12/5	26/5	9/6	23/6	7/7	14/7	18/8	1/9	15/9	29/9
CMT02-CMT03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CMT03-CMT04	-0,02	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,08	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
CMT04-CMT05	0,07	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,20	0,03	0,03	0,02	0,01	0,05	0,03
CMT05-CMT06	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,15	0,14	0,13	0,09	0,06	0,11	0,09	0,09	0,10	0,08	0,11
CMT06-CMT07	0,11	0,30	0,31	0,30	0,31	0,26	-0,27	0,22	0,17	0,17	0,18	0,16	0,15	0,15	0,19	0,18
WB15-WB14	0,33	0,30	0,30	0,28	0,28	0,24	0,21	0,20	0,13	0,16	0,16	0,11	0,14	0,13	0,12	0,09
WB14-WB13	0,62	0,54	0,50	0,50	0,49	0,41	0,40	0,30	0,26	0,45	0,28	0,26	0,23	0,25	0,27	0,24
WB13-WB12	0,46	0,49	0,49	0,49	0,52	0,44	0,36	0,30	0,16	-0,03	0,27	0,19	0,16	0,18	0,12	0,18
WB12-WB11	0,40	0,32	0,27	0,26	0,24	0,20	0,22	0,17	0,17	0,15	0,14	0,15	0,22	0,21	0,11	0,11
WB11-WB10	-0,12	-0,05	-0,03	-0,03	0,01	0,00	-0,03	0,00	-0,04	-0,03	-0,07	-0,03	-0,10	-0,08	0,01	0,01
WB10-WB09	0,05	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,11	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02
WB09-WB08	-0,04	-0,04	0,00	-0,05	-0,05	-0,05	0,03	-0,04	0,09	-0,05	-0,12	-0,05	-0,05	0,16	-0,05	-0,03
WB08-WB07	0,07	0,09	0,03	0,09	0,09	0,11	0,02	0,11	-0,04	0,11	0,17	0,09	0,10	-0,09	0,11	0,10
WB07-WB06	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03	-0,02	-0,03	-0,01	-0,02
WB06-WB05	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,03	-0,01	-0,04	-0,04	-0,04
WB05-WB04	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,08	0,08
WB04-WB03	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05
WB03-WB02	0,07	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,08
WB02-WB01	0,00	-0,02	-0,02	0,00	-0,02	-0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01	-0,02

Os valores de gradiente hidráulico corroboram para a hipótese levantada de que o aquífero não é composto por uma, mas sim algumas unidades hidrogeológicas. Na porção entre o CMT-04 e o WB-11, houve redução dos gradientes ao longo do ano, de modo que os valores observados em fevereiro ultrapassaram os 30 centímetros (WB14-WB13 chegou a mais de meio metro de gradiente vertical). Isto significa que a consequência, sobre essa camada, da intensificação do bombeamento em poços profundos é o aumento dos gradientes hidráulicos verticais descendentes. Este aumento pode intensificar processos de transporte de fase dissolvida e DNAPL em direção a rocha sã, inclusive considerando a possibilidade de que eles estejam retidos na interface entre RAM e RAD, como discutido no **item 5.1**.

Nas porções abaixo do WB-11, apesar de ocorrer aumento das cargas hidráulicas em todas as portas (**Figura 20**), os efeitos dos poços de bombeamento não foram os mesmos e não há redução nos valores de gradiente ao longo do tempo em cada porta. Há, entretanto, uma redução geral nestes módulos se comparados a porção anterior: acima de WB-11 (sem contar CMT-02 a CMT-04), a média de todos os gradientes calculados é de 0,16; abaixo de WB-11 esta média é de 0,01, compondo uma resultante de fluxo vertical praticamente insignificante.

O WB-11 está situado a 27,2 metros, próximo da profundidade na qual Pino (2019) descreve o início da rocha sã (24,05 metros). É possível, então, atribuir esta mudança de comportamento no aquífero a ausência da porosidade primária e domínio da porosidade por fraturas no fluxo de água subterrânea. Assumindo a premissa de que baixas variações verticais de gradiente entre portas de um sistema multinível, em maciço rochoso, são representativas de interconexão entre as fraturas (Cook, 2003), pode-se afirmar que, de maneira geral, há conexão hidráulica entre as fraturas do aquífero cristalino no Westbay ao ponto de permitir um fluxo cuja resultante é horizontal/descendente. As alternâncias entre fluxo horizontal, vertical e descendente representariam variações no perfil do poço em que, localmente, há maior e menor interconexão vertical entre as fraturas.

Tendo em vista o que foi abordado no **item 5.1**, os principais planos de fratura que controlam o fluxo são famílias sub-horizontais paralelas à foliação da rocha, interconectadas a partir de famílias subverticais e famílias de médio ângulo, gerando uma importante componente para SE. A ampla continuidade dessas fraturas pode proporcionar um fluxo mais regional no aquífero cristalino, ou seja, as perturbações observadas nas cargas hidráulicas seriam fruto não apenas de poços de bombeamento próximos da barreira hidráulica, mas da extração de água em diversos poços ilegais espalhados pelo Jurubatuba.

O perfil hidráulico da **Figura 23** resume as variações de potencial hidráulico e gradientes discutidas. Através dele fica ainda mais evidente a redução nas cargas em portas mais rasas e o

aumento nas portas mais profundas, e como essa inversão ocorre entre 17 e 20 metros aproximadamente, onde estão WB-15 e WB-14. As letras A (CMT-04) e B (WB-11) indicam as alterações significativas nos padrões de gradiente (a letra N indica a interface do CMT com Westbay, não incluída nas análises).

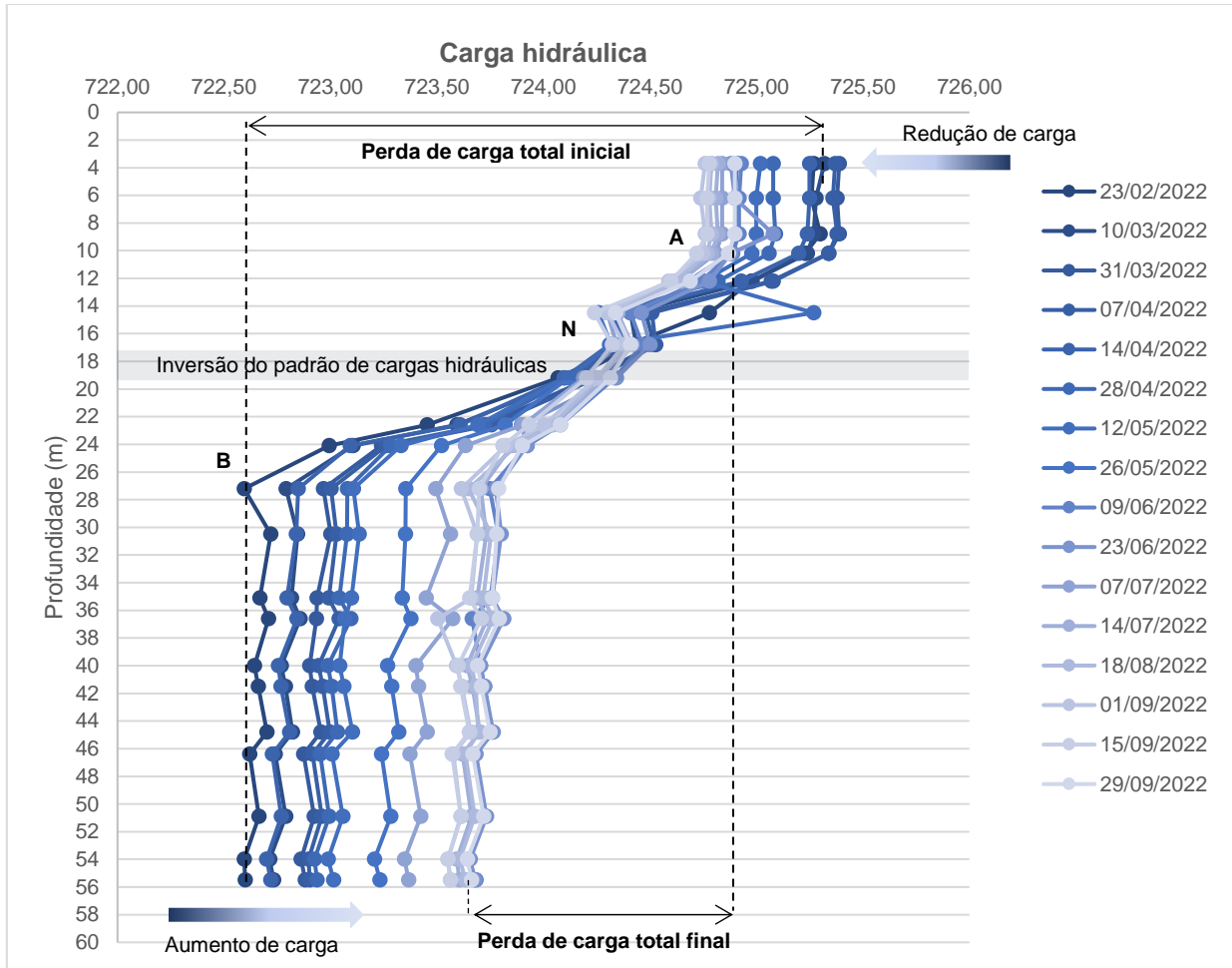


Figura 23. Perfil de cargas hidráulicas nos poços CMT e Westbay.

5.3. Modelo conceitual de fluxo da água subterrânea

Com base nos horizontes geológicos, nos dados estruturais e hidráulicos abordados, foram sugeridas 4 HGUs (**Figura 24**):

- i) HGU1: 0 – 2,8 m, não há portas de monitoramento nesta HGU, por isso o critério utilizado foi a base dos sedimentos aluvionares, delimitando uma unidade hidrogeológica em que a porosidade granular é a única atuante;

- ii) HGU2: 2,8 – 8,8 m, a delimitação inferior foi definida de acordo com a profundidade da inflexão A, situada sobre a porta CMT-04. Descreve uma HGU constituída por solo de alteração + rocha alterada mole, em que a porosidade intergranular ainda é muito predominante, e na qual o fluxo vertical é insignificante;
- iii) HGU3: 8,8 – 27,2, a delimitação inferior foi definida de acordo com a profundidade da inflexão B, situada sobre a porta WB-11. Descreve uma HGU constituída, ao topo, por rocha alterada mole, e na porção inferior por rocha alterada dura + rocha sã. Possui forte característica de fluxo descendente, com gradientes médios que podem chegar a quase 40 centímetros, constituída por porosidade dupla. Essa HGU sofre influência da atividade de poços de bombeamento no aumento de seus gradientes verticais.
- iv) HGU4: 27,2 – 60,0, demarcada até o final do poço Westbay, é constituída inteiramente por rocha sã, esta HGU é caracterizada pela porosidade secundária, cuja interconexão entre as fraturas é fruto, principalmente, da associação entre uma família sub-horizontal, paralela à foliação da rocha, e famílias subverticais, ou de mergulho médio a níveis mais localizados, que compõem uma importante componente de fluxo para SE segundo Pino (2019).

As HGUs sugeridas diferem um pouco das unidades hidrogeológicas apresentadas no **item 3.5**, uma vez que Pino (aceito para publicação) considerou uma variedade maior de dados, como transmissividade, perfis ópticos e de temperatura, bem como descrições geológicas mais detalhadas (distinguiam tipos litológicos dentro da rocha sã). De forma aproximada, a HGU3 da **Figura 24** corresponde ao que seriam as HGUs 3 e 4 descritas por Pino (aceito para publicação), enquanto a HGU4 deste trabalho englobaria as HGUs 4 e 5 de Pino (aceito para publicação). Quanto aos valores de gradiente, os perfis hidráulicos e sentidos de fluxo, tanto gerais quando específicos para cada interface entre portas, são bastante coerentes com trabalhos prévios.

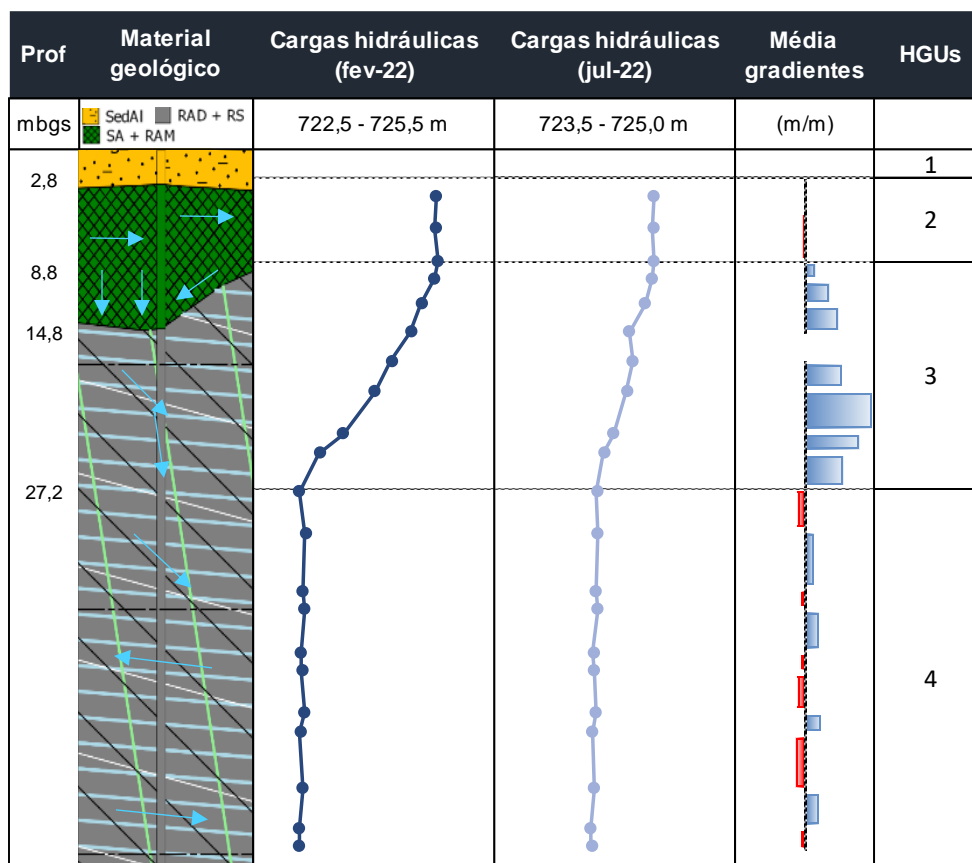


Figura 24: Perfis obtidos para o Westbay, incluindo cargas hidráulicas no período de chuvas e de seca, média dos gradientes de todas as campanhas de monitoramento e HGUs sugeridas.

6. CONCLUSÃO

Foram aprimorados três componentes do modelo hidrogeológico conceitual no aquífero Jurubatuba: geologia, estrutural e hidráulica. O modelo geológico tridimensional avaliou o comportamento no espaço de três unidades: sedimentos aluvionares, solo de alteração + rocha alterada mole e rocha alterada dura + rocha sã. A utilização do Leapfrog Works é extremamente adequada para gerar visualizações deste tipo, pois além de construir as superfícies de contato e os volumes das unidades de forma bem rápida, permite a atualização constante pela inserção ou edição de novos dados, sem precisar partir do zero; também extrai, de forma prática, *outputs* como seções geológicas e mapas de isolinhas.

A observação em três dimensões da superfície de contato entre SA+RAM e RAD+RS permitiu identificar locais onde ela está topograficamente mais baixa, formando uma espécie de “bacia”, passíveis de promover acumulações de DNAPL que estejam migrando de áreas-fonte existentes no quarteirão. Em um desses locais, inclusive, está instalado o sistema multinível CMT-Westbay,

onde concentrações de organoclorados já foram identificadas em valores considerados altos e de risco para saúde humana.

O Leapfrog Works também foi utilizado para construir planos de fratura pertencentes a quatro diferentes famílias, escolhidas de trabalhos prévios seguindo os critérios de importância para o fluxo de água subterrânea. Este procedimento consistiu em etapas mais trabalhosas que a modelagem geológica, e que poderiam ser otimizadas com o auxílio de uma ferramenta de CAD (*computer aided design*) para construir e replicar planos orientados. O Leapfrog Works possui interface com este tipo ferramenta, inclusive exportando e importando arquivos do tipo *.dwg*.

A modelagem estrutural em 3D possibilitou uma visualização em bloco diagrama da interconectividade entre os planos, em especial da malha formada por fraturas subverticais e sub-horizontais, associadas a fraturas de médio ângulo mergulhando para SE e NE. Permitiu, também, avaliar as atitudes das fraturas em 3 direções de interesse, constatando que diferentes cortes no aquífero podem alterar a relevância de determinadas famílias na interconectividade estrutural.

O monitoramento de cargas hidráulicas no sistema multinível CMT-Westbay em intervalos pouco espaçados ao longo de 2022 (quinzenais) possibilitou diferenciar, com mais precisão, as flutuações que ocorrem em função da mudança do regime de chuvas e aquelas que são resultado da influência de poços de bombeamento. As 4 HGU's identificadas sofrem efeitos do bombeamento destes poços progressivamente mais amenos em direção ao topo, sugerindo que, de maneira geral, o aquífero mais profundo se comporta de maneira não confinada.

Os gradientes hidráulicos evidenciaram uma componente de fluxo resultante horizontal na HGU da rocha sã, apesar de pequenas variações nos módulos de gradiente desencadearem em alternâncias de pequenas camadas de fluxo vertical e horizontal, motivadas principalmente por zonas menos e mais conectadas hidráulicamente. Na HGU em que está situada a interface RAM/RAD, o fluxo é fortemente descendente, e os gradientes hidráulicos podem aumentar sob efeito do bombeamento de poços na região, intensificando o transporte de água e possíveis contaminantes associados em direção ao cristalino.

A associação de dados obtidos em campo, com interpretações teóricas e aplicação de ferramentas poderosas de visualização pode trazer resultados extremamente enriquecedores, e tem impacto bastante positivo no setor do gerenciamento de áreas contaminadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M., 1976, The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil: *Academia Brasileira de Ciências, Anais*, 48: p. 15-26.
- AMEC, 2012, Modelo Conceitual Hidrogeológico – Antigo Galpão da Duracell, São Paulo, SP.
- Beatson, R. K., Cherrie, J. B., Mouat, C. T., 1999, Fast fitting of radial basis functions: Methods based on preconditioned GMRES iteration: *Advances in Computational Mathematics*, 11: p. 253-270.
- Bertolo, R. A., 2017, Bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por solventes organoclorados em aquíferos fraturados. [Tese de Livre-Docência]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/T.44.2018.tde-16032018-095039.
- Caumon, G., Gray, G., Antoine, C., Titeux, M. O., 2013, Three-Dimensional Implicit Stratigraphic Model Building From Remote Sensing Data on Tetrahedral Meshes: Theory and Application to a Regional Model of La Popa Basin, NE Mexico: *IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51, 3: p. 1613-1621.
- Cavalcante, J. C., Kaefer, L. Q., 1974, Geologia da folha de Santos (parcial): Congresso Brasileiro de Geologia, 28º, Porto Alegre, RS, Anais, 4: p. 227-45.
- CBH-AT – Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, 2019, Relatório de situação dos recursos hídricos 2019 - Bacia Hidrográfica do Alto Tietê UGRHI-06 – Ano Base 2018. São Paulo
- Chanderman, L., Dohm, C. E., Minnitt, R. C. A., 2017, 3D geological modelling and resource estimation for a gold deposit in Mali: *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117: p. 189-197.
- Chapman, S., Parker, B. Cherry, J., Munn, J., Malenica, A., Ingleton, R., Jiang, Y., Padusenko, G., Piersol, J., 2014, Hybrid Multilevel System for Monitoring Groundwater Flow and Agricultural Impacts in Fractured Sedimentary Bedrock: *Groundwater Monitoring & Remediation*, 35, 1: p. 55-67.
- Cherry, J. A., Parker, B. L., Keller, C., 2007, A new depth-discrete multilevel monitoring approach for fractured rock: *Ground Water Monitoring & Remediation*, 27, 2: p. 57-70.
- Cook, P. G., 2003, A guide to regional groundwater flow in fractured rock aquifers: Glen Osmond, SA, Australia, CSIRO Land and Water, p. 42.
- Coutinho, J. M. V., 1971, O falhamento de Cubatão: Congresso Brasileiro de Geologia, 25º, São Paulo, SP, Resumos, Boletim 1: p. 130-131.
- Cowan, E. J., Beatson, R. K., Fright, W. R., McLennan, T. J., Mitchell, T. J., Rapid geological modelling: Applied Structural Geology for Mineral Exploration and Mining International Symposium, Kalgoorlie: 23-25.
- Cowan, E. J., Beatson, R. K., Ross, H. J., Fright, W. R., McLennan, T. J., Evans, T. R., Carr, J. C., Lane R. G., Bright, D. V., Gillman, A. J., Oshust, P. A., Tittley, M., 2003, Practical Implicit Geological Modelling: 5th International Mining Geology Conference, Bendigo, Victoria, Australia, 8: p.89-99.
- D’Affonseca, F. M., Finkel, M., Cirpka, O. A., 2020, Combining implicit geological modeling, fields surveys, and hydrogeological modeling to describe groundwater flow in a karst aquifer: *Hydrogeology Journal*, 28: p. 2779-2802.

- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2013, Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo Diretrizes de Utilização e Proteção. São Paulo.
- Del Río, J. F., 2015, Hydrogeological model of Aitik Mine using Leapfrog Geo software [Dissertação de Mestrado]: Lulea (Suécia), Lulea University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering.
- Einarson, M. D., 2006, Multilevel ground-water monitoring in Nielsen, D. M., Practical handbook of environmental site characterization and ground-water monitoring, Second Edition: Boca Raton, Taylor & Francis, p. 807-848.
- Einarson, M. D., Cherry, J. A., 2002, A new multilevel ground water monitoring system using multichannel tubing: Groundwater Monitoring & Remediation 22, no. 4, p. 52-65.
- Fernandes, A. J, Fiume, B., Bertolo, R., Hirata, R. C. A., 2016, Modelo geométrico de fraturas e análise da tectônica rúptil aplicados ao estudo do fluxo do aquífero cristalino, São Paulo (SP): Revista do Instituto de Geociências – USP, v.16, n. 3, p. 71-88.
- Fernandes, A. J., 1991, O Complexo Embu no leste do Estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/D.44.1991.tde-29082013-160727.
- Fisher, J. C., Twining, B. V., 2011, Multilevel groundwater monitoring og hydraulic head and temperature in the eastern Snake River Plain aquifer, Idaho National Laboratory, Idaho, 2007-08: U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5253: 62p.
- Fiume, B., 2013, Geologia estrutural de detalhe para elaboração de modelo conceitual de circulação de água subterrânea: estudo de caso em Jurubatuba, SP [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/D.44.2014.tde-25092014-150022.
- Hasui, Y.; Sadowski, G. R., 1976, Evolução geológica do Precambriano na região sudeste do Estado de São Paulo: Revista Brasileira de Geociências, 6(3), p. 182-200.
- Hennies, W. T.; Hasui, Y; Penalva, F., 1967, O falhamento transcorrente de Taxaquara: Congresso Brasileiro de Geologia, 21º, Curitiba, PR, Anais, pp. 159-168.
- Hill, E. J., Oliver, N. H. S., Cleverley, J. S., Nugus, M. J., Carswell, J., Clark, F., 2014, Characterisation and 3D modelling of a nuggety, vein-hosted gold ore body, Sunrise Dam, Western Australia: Journal of Structural Geology, 67: p. 222-234.
- Hirata, R., Ferreira, L., 2001, Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição: Revista Brasileira de Geociências, 31 (1), p. 43-50.
- Juliani, C., (1992)., O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo: Seminário Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo, p. 3-20. São Paulo: ABAS/ABGE/SBG.
- L'apicciarella, E.E., 2009, Contaminação e áreas de restrição de uso de água subterrânea no entorno do canal Jurubatuba em São Paulo [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi:10.11606/D.44.2009.tde-14102009-094432.
- Lojkasek-Lima, P., 2018, Caracterização de detalhe do perfil vertical de contaminação em um aquífero cristalino fraturado e intemperizado – Jurubatuba – São Paulo - SP. [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: <https://doi.org/10.11606/T.44.2018.tde-03082020-112622>.

- Meyer, J. R., Parker, B. L., Arnaud, E., Runkel, A. C., 2016, Combining High Resolution Vertical Gradients and Sequence Stratigraphy to Delineate Hydrogeologic Units for a Contaminated Sedimentary Rock Aquifer System: *Journal of Hydrology*, 52p.
- Meyer, J. R., Parker, B. L., Cherry, J. A., 2008, Detailed hydraulic head profiles as essential data for defining hydrogeologic units in layered fractured sedimentary rock: *Environmental Geology*, 56: 27-44.
- Meyer, J. R., Parker, B. L., Cherry, J. A., 2014, Characteristics of high resolution hydraulic head profiles and vertical gradients in fractured sedimentary rocks: *Journal of Hydrogeology*, 517, p. 493-507.
- Pickens, J. F., Cherry, J. A., Grisak, G. E., Merritt, W. F., Risto, B. A., 1978, A new depth-discrete multilevel monitoring approach for fractured rock: *Ground Water*, 16, 4: p. 322-327.
- Pino D. S., 2019, Aplicação do método Discrete Fracture Network para definição do modelo conceitual hidrogeológico do aquífero fraturado da região de Jurubatuba, São Paulo. [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: <https://doi.org/10.11606/T.44.2020.tde-13022020-113314>.
- Pino, D. S., Bertolo, R. A., Lojkasek-Lima, P., Barbosa, M., Hirata, R., Quinn, P., Pehme, P., Parker, B., Insights from Multiple, High-Resolution Borehole Methods to Assess Groundwater Flow Pathways in a Weathered Soil-Crystalline Rock System in Sao Paulo, Brazil: *Journal of Hydrology* (in press).
- Pino, D. S., Lojkasek-Lima, P., Fernandes, A. J., Hirata, R., Parker, B., Bertolo, R., 2021, Discrete fracture network characterization using multiple, high-resolution borehole methods in a crystalline rock aquifer in tropical Sao Paulo city, Brazil: *Journal of South American Earth Sciences*, 105: 102911.
- Riccomini, C., (1989). O rift continental da região sudeste do Brasil. [Tese de Doutorado]: São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, doi: 10.11606/T.44.1990.tde-18032013-105507.
- Riccomini, C., Coimbra, A.M., Takiya, H., 1992, Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo: Seminário Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo, p 21-45. São Paulo: ABAS/ABGE/SBG.
- Silva, J. A. F., 2018, Estimativa de recarga e caracterização hidroquímica e isotópica das águas subterrâneas dos aquíferos da região do Canal do Jurubatuba. [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/T.44.2018.tde-10092018-140016.
- Takiya, H., 1991, Aplicação de métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/D.44.1991.tde-03062015-090908.

ANEXO A

Bancos de dados para modelagem tridimensional geológica/estrutural

Anexo A-1: Banco de dados com perfis construtivos dos poços a serem modelados.

Fonte de dados	Chave (ID)	Tipo de Ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Cota do piso (masl)	Cota do tubo (masl)
AMEC (2012)	Allison (GM)GMDW-01	Poço de monitoramento	327291.164	7380431.817	727,895	727,862
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-01	Poço de monitoramento	327304.877	7380472.863	728,591	728,443
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-02	Poço de monitoramento	327293.407	7380431.995	727,988	727,928
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS01	Furo de sondagem / amostragem de solo	327256.574	7380477.954	727,45	727,45
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS02	Furo de sondagem / amostragem de solo	327307.56	7380511.826	729,995	729,995
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS03	Furo de sondagem / amostragem de solo	327317.472	7380518.275	730,016	730,016
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS04	Furo de sondagem / amostragem de solo	327369.478	7380549.015	729,613	729,613
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS05	Furo de sondagem / amostragem de solo	327322.625	7380489.27	729,954	729,954
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS06	Furo de sondagem / amostragem de solo	327292.19	7380429.332	727,868	727,868
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS07	Furo de sondagem / amostragem de solo	327357.426	7380493.028	730,058	730,058
AMEC (2012)	BachemaBPM11	Poço de monitoramento	327281.027	7380538.552	729,106	729,038
AMEC (2012)	BachemaBPM17	Poço de monitoramento	327353.773	7380583.416	728,277	728,21
AMEC (2012)	BachemaBPMPO2	Poço de monitoramento	327281.502	7380540.098	729,101	728,992
AMEC (2012)	BachemaBPMPO3	Poço de monitoramento	327339.456	7380568.783	728,936	728,834
AMEC (2012)	BachemaINJ-10B	Poço de injeção	327293.793	7380521.867	728,63	728,631
AMEC (2012)	BachemaINJ-3B	Poço de injeção	327283.38	7380539.905	729,02	728,494
AMEC (2012)	BachemaINJ-4B	Poço de injeção	327301.258	7380534.71	728,852	728,744
AMEC (2012)	BachemaINJ-5B	Poço de injeção	327313.953	7380535.414	728,825	728,731
AMEC (2012)	BachemaINJ-6B	Poço de injeção	327316.058	7380521.915	728,658	728,6
AMEC (2012)	BachemaINJ-8B	Poço de injeção	327289.337	7380534.608	728,824	728,688
AMEC (2012)	DravaDRPM-01B	Poço de monitoramento	327127.751	7380612.279	726,337	726,288
AMEC (2012)	DravaDRPM-02B	Poço de monitoramento	327109.383	7380601.13	726,062	725,993
AMEC (2012)	DravaDRPM-03B	Poço de monitoramento	327121.555	7380568.547	726,521	726,422
AMEC (2012)	DuracellDW-01	Poço de monitoramento	327238.919	7380512.444	727,006	726,94
AMEC (2012)	DuracellDW-02	Poço de monitoramento	327262.639	7380486.724	728,876	728,813
AMEC (2012)	DuracellDW-03	Poço de monitoramento	327265.283	7380523.39	727,005	728,953
AMEC (2012)	DuracellDW-04	Poço de monitoramento	327213.528	7380494.842	726,341	726,229
AMEC (2012)	DuracellDW-05	Poço de monitoramento	327240.837	7380474.506	726,699	726,629
AMEC (2012)	DuracellDW-06	Poço de monitoramento	327186.18	7380505.049	726,061	725,927
AMEC (2012)	DuracellDW-07	Poço de monitoramento	327205.73	7380470.561	726,136	725,954
AMEC (2012)	DuracellDW-08	Poço de monitoramento	327221.675	7380457.489	726,282	726,144
AMEC (2012)	DuracellDW-09	Poço de monitoramento	327248.841	7380454.371	726,627	726,525
AMEC (2012)	DuracellDW-12	Poço de monitoramento	327380.515	7380567.815	728,651	728,505
AMEC (2012)	DuracellDW-13	Poço de monitoramento	327386.111	7380545.609	728,948	728,835
AMEC (2012)	DuracellGWS-01	Furo de sondagem / amostragem de solo	327160.377	7380498.805	725,934	725,934
AMEC (2012)	DuracellGWS-02	Furo de sondagem / amostragem de solo	327188.307	7380476.789	726,022	726,022
AMEC (2012)	DuracellGWS-04	Furo de sondagem / amostragem de solo	327284.256	7380399.241	727,567	727,567
AMEC (2012)	DuracellGWS-05	Furo de sondagem / amostragem de solo	327299.042	7380428.158	728,145	728,145
AMEC (2012)	DuracellGWS-07	Furo de sondagem / amostragem de solo	327393.348	7380486.976	729,689	729,689
AMEC (2012)	DuracellGWS-08	Furo de sondagem / amostragem de solo	327401.563	7380502.091	729,442	729,442
AMEC (2012)	DuracellGWS-09	Furo de sondagem / amostragem de solo	327159.97	7380642.634	726,275	726,275
AMEC (2012)	DuracellGWS-10	Furo de sondagem / amostragem de solo	327124.239	7380619.944	726,03	726,03
AMEC (2012)	DuracellGWS-11	Furo de sondagem / amostragem de solo	327087.641	7380596.509	725,734	725,734
AMEC (2012)	DuracellGWS-12	Furo de sondagem / amostragem de solo	327067.511	7380571.237	725,659	725,659
AMEC (2012)	DuracellGWS-13	Furo de sondagem / amostragem de solo	327104.772	7380541.136	725,911	725,911
AMEC (2012)	DuracellGWS-14	Furo de sondagem / amostragem de solo	327134.015	7380518.107	726,041	726,041
AMEC (2012)	DuracellINJ-2B	Poço de injeção	327271.17	7380536.89	726,934	726,455
AMEC (2012)	DuracellINJ-7B	Poço de injeção	327279.349	7380530.781	726,919	726,446
AMEC (2012)	DuracellINJ-9B	Poço de injeção	327267.078	7380528.982	726,947	726,634
AMEC (2012)	DuracellPM-16	Poço de monitoramento	327293.383	7380507.164	727,045	726,961
AMEC (2012)	DuracellPM-17	Poço de monitoramento	327238.268	7380512.023	726,967	726,936
AMEC (2012)	DuracellSB-01	Furo de sondagem / amostragem de solo	327286.424	7380524.075	726,96	726,96
AMEC (2012)	DuracellSB-02	Furo de sondagem / amostragem de solo	327279.189	7380525.764	726,884	726,884
AMEC (2012)	DuracellSB-03	Furo de sondagem / amostragem de solo	327281.316	7380521.036	726,877	726,877
AMEC (2012)	DuracellSB-04	Furo de sondagem / amostragem de solo	327289.688	7380518.444	726,961	726,961
AMEC (2012)	DuracellSB-05	Furo de sondagem / amostragem de solo	327285.615	7380515.714	726,925	726,925
AMEC (2012)	DuracellSB-06	Furo de sondagem / amostragem de solo	327284.436	7380511.692	727,036	727,036
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F01	Furo de sondagem / amostragem de solo	327275.396	7380551.445	728,412	728,412
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F02	Furo de sondagem / amostragem de solo	327268.083	7380562.912	728,456	728,456
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F03	Furo de sondagem / amostragem de solo	327259.952	7380580.878	728,36	728,36
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F04	Furo de sondagem / amostragem de solo	327304.238	7380564.674	728,649	728,649
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F05	Furo de sondagem / amostragem de solo	327318.517	7380574.3	728,629	728,629
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F06	Furo de sondagem / amostragem de solo	327330.632	7380618.475	728,118	728,118
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F07	Furo de sondagem / amostragem de solo	327310.595	7380614.428	728,486	728,486
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F08	Furo de sondagem / amostragem de solo	327275.34	7380591.979	728,47	728,47
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F09	Furo de sondagem / amostragem de solo	327311.46	7380569.782	728,723	728,723
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F10	Furo de sondagem / amostragem de solo	327290.182	7380567.909	728,754	728,754
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F11	Furo de sondagem / amostragem de solo	327297.217	7380575.101	728,759	728,759
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F12	Furo de sondagem / amostragem de solo	327310.961	7380584.578	728,766	728,766
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F13	Furo de sondagem / amostragem de solo	327300.666	7380589.13	728,75	728,75
AMEC (2012)	FotobrásINJ-11	Poço de injeção	327303.387	7380561.94	728,624	728,584
AMEC (2012)	FotobrásINJ-12	Poço de injeção	327310.732	7380566.905	728,731	728,656
AMEC (2012)	FotobrásINJ-13	Poço de injeção	327316.152	7380571.303	728,669	728,638
AMEC (2012)	ParfixGWS-P01	Furo de sondagem / amostragem de solo	327174.083	7380526.351	726,215	726,215
AMEC (2012)	ParfixGWS-P02	Furo de sondagem / amostragem de solo	327216.819	7380554.196	727,013	727,013
AMEC (2012)	ParfixGWS-P03	Furo de sondagem / amostragem de solo	327199.176	7380501.689	726,181	726,181
AMEC (2012)	ParfixGWS-P04	Furo de sondagem / amostragem de solo	327253.138	7380572.194	726,88	726,88
AMEC (2012)	ParfixGWS-P05	Furo de sondagem / amostragem de solo	327258.481	7380558.828	726,848	726,848
AMEC (2012)	ParfixGWS-P06	Furo de sondagem / amostragem de solo	327249.081	7380526.564	726,941	726,941
AMEC (2012)	ParfixGWS-P07	Furo de sondagem / amostragem de solo	327266.289	7380546.461	728,895	728,895
AMEC (2012)	ParfixPM-33	Poço de bombeamento	327189.549	7380510.14	726,164	725,712
Pino (2019)	ErgomatWB-CMT	Poço multinível	327242.879	7380579.559	727,509	727,477

Anexo A-1: Banco de dados com perfis construtivos dos poços a serem modelados.

Fonte de dados	Chave (ID)	Tipo de Ponto	Profundidade do poço (m)	Cota do fundo (masl)	Profundidade do furo (m)	Cota do topo da seção filtrante (masl)
AMEC (2012)	Allison (GM)GMDW-01	Poço de monitoramento	20,3	707,6	20,3	717,8
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-01	Poço de monitoramento	6,6	722	6,6	725,2
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-02	Poço de monitoramento	9	719	9	721
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718,1	9,4	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	721,6	8,4	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719,5	10,5	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	717,6	12	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	723,9	6,1	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719,9	8	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	721	9,1	--
AMEC (2012)	BachemaBPM11	Poço de monitoramento	5,6	723,5	5,6	726,5
AMEC (2012)	BachemaBPM17	Poço de monitoramento	7	721,3	7	723,3
AMEC (2012)	BachemaBPMP02	Poço de monitoramento	13,5	715,6	13,5	722,6
AMEC (2012)	BachemaBPMP03	Poço de monitoramento	18,7	710,2	18,7	717,2
AMEC (2012)	BachemaINJ-10B	Poço de injeção	6,2	722,4	6,2	723,4
AMEC (2012)	BachemaINJ-3B	Poço de injeção	6,1	723	6,1	724
AMEC (2012)	BachemaINJ-4B	Poço de injeção	8,4	720,5	8,4	723
AMEC (2012)	BachemaINJ-5B	Poço de injeção	12	716,8	12	721,8
AMEC (2012)	BachemaINJ-6B	Poço de injeção	11,8	716,9	11,8	721,9
AMEC (2012)	BachemaINJ-8B	Poço de injeção	4,6	724,2	4,6	724,5
AMEC (2012)	DravaDRPM-01B	Poço de monitoramento	12,4	713,9	12,4	717,2
AMEC (2012)	DravaDRPM-02B	Poço de monitoramento	13,3	712,8	13,3	715,9
AMEC (2012)	DravaDRPM-03B	Poço de monitoramento	19,7	706,8	19,7	709,8
AMEC (2012)	DuracellDW-01	Poço de monitoramento	20,9	706,1	20,9	716,2
AMEC (2012)	DuracellDW-02	Poço de monitoramento	22,5	704,4	22,5	714,2
AMEC (2012)	DuracellDW-03	Poço de monitoramento	18,5	706,5	18,5	718,5
AMEC (2012)	DuracellDW-04	Poço de monitoramento	20	706,4	20	716,5
AMEC (2012)	DuracellDW-05	Poço de monitoramento	22,3	704,4	22,3	714,1
AMEC (2012)	DuracellDW-06	Poço de monitoramento	21,8	704,3	21,8	713
AMEC (2012)	DuracellDW-07	Poço de monitoramento	26	700,1	26	710,8
AMEC (2012)	DuracellDW-08	Poço de monitoramento	28,7	697,6	28,7	707,6
AMEC (2012)	DuracellDW-09	Poço de monitoramento	22,2	704,5	22,2	714,4
AMEC (2012)	DuracellDW-12	Poço de monitoramento	27,7	700,9	27,7	710,9
AMEC (2012)	DuracellDW-13	Poço de monitoramento	27,3	701,6	27,3	712,3
AMEC (2012)	DuracellGWS-01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	716,5	9,4	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719	7	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	717,2	10,4	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	723	5,2	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719,5	10,2	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-08	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	717,8	11,6	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-09	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	715,3	11	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-10	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	714,6	11,4	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-11	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	713,5	12,2	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-12	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	714,2	11,5	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-13	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	714,4	11,5	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-14	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	716	10	--
AMEC (2012)	DuracellINJ-2B	Poço de injeção	5,3	721,6	5,3	723,1
AMEC (2012)	DuracellINJ-7B	Poço de injeção	3,8	723,2	3,8	723,5
AMEC (2012)	DuracellINJ-9B	Poço de injeção	4,6	722,4	4,6	723,2
AMEC (2012)	DuracellPM-16	Poço de monitoramento	4	723	4	726,1
AMEC (2012)	DuracellPM-17	Poço de monitoramento	9,5	717,5	9,5	725,5
AMEC (2012)	DuracellSB-01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	723,8	3,2	--
AMEC (2012)	DuracellSB-02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	722,8	4,1	--
AMEC (2012)	DuracellSB-03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	723,2	3,7	--
AMEC (2012)	DuracellSB-04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	723	4	--
AMEC (2012)	DuracellSB-05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	723,1	3,9	--
AMEC (2012)	DuracellSB-06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	722,8	4,3	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	720,5	7,9	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	721,6	6,9	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719,2	9,2	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718,5	10,1	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718	10,6	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	715,9	12,2	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719,1	9,4	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F08	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	720,5	8	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F09	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718,4	10,3	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F10	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718,2	10,6	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F11	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718,8	10	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F12	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	716,3	12,5	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F13	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	716,4	12,4	--
AMEC (2012)	FotobrásINJ-11	Poço de injeção	10,8	717,8	10,8	723,9
AMEC (2012)	FotobrásINJ-12	Poço de injeção	11,9	716,9	11,9	725
AMEC (2012)	FotobrásINJ-13	Poço de injeção	11,5	717,2	11,5	725,2
AMEC (2012)	ParfixGWS-P01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718,2	8	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719,9	7,1	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	717,8	8,4	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	718,9	8	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	720,2	6,6	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	719,4	7,5	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	720	6,9	--
AMEC (2012)	ParfixPM-33	Poço de bombeamento	11,5	714,7	11,5	719,7
Pino (2019)	ErgomatWB-CMT	Poço multinível	59,1	668,409	59,1	-

Anexo A-1: Banco de dados com perfis construtivos dos poços a serem modelados.

Fonte de dados	Chave (ID)	Tipo de Ponto	Profundidade topo da seção filtrante	Cota da base da seção filtrante (masl)	Profundidade base da seção filtrante (m)
AMEC (2012)	Allison (GM)GMDW-01	Poço de monitoramento	10,1	707,6	20,3
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-01	Poço de monitoramento	3,4	722,2	6,4
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-02	Poço de monitoramento	7	719	9
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	BachemaBPM11	Poço de monitoramento	2,6	723,5	5,6
AMEC (2012)	BachemaBPM17	Poço de monitoramento	5	721,3	7
AMEC (2012)	BachemaBPM02	Poço de monitoramento	6,5	715,6	13,5
AMEC (2012)	BachemaBPM03	Poço de monitoramento	11,7	710,2	18,7
AMEC (2012)	BachemaIJ-10B	Poço de injeção	5,2	722,4	6,2
AMEC (2012)	BachemaIJ-3B	Poço de injeção	5,1	723	6,1
AMEC (2012)	BachemaIJ-4B	Poço de injeção	5,9	720,5	8,4
AMEC (2012)	BachemaIJ-5B	Poço de injeção	7	716,8	12
AMEC (2012)	BachemaIJ-6B	Poço de injeção	6,8	716,9	11,8
AMEC (2012)	BachemaIJ-8B	Poço de injeção	4,3	724,2	4,6
AMEC (2012)	DravaDRPM-01B	Poço de monitoramento	9,1	714,1	12,2
AMEC (2012)	DravaDRPM-02B	Poço de monitoramento	10,2	712,9	13,2
AMEC (2012)	DravaDRPM-03B	Poço de monitoramento	16,7	706,8	19,7
AMEC (2012)	DuracellDW-01	Poço de monitoramento	10,8	706,1	20,9
AMEC (2012)	DuracellDW-02	Poço de monitoramento	12,7	704,4	22,5
AMEC (2012)	DuracellDW-03	Poço de monitoramento	8,5	708,5	18,5
AMEC (2012)	DuracellDW-04	Poço de monitoramento	9,8	706,4	20
AMEC (2012)	DuracellDW-05	Poço de monitoramento	12,6	704,4	22,3
AMEC (2012)	DuracellDW-06	Poço de monitoramento	13,1	704,3	21,8
AMEC (2012)	DuracellDW-07	Poço de monitoramento	15,4	700,1	26
AMEC (2012)	DuracellDW-08	Poço de monitoramento	18,7	697,6	28,7
AMEC (2012)	DuracellDW-09	Poço de monitoramento	12,2	704,5	22,2
AMEC (2012)	DuracellDW-12	Poço de monitoramento	17,7	700,9	27,7
AMEC (2012)	DuracellDW-13	Poço de monitoramento	16,6	701,6	27,3
AMEC (2012)	DuracellGWS-01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-08	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-09	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-10	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-11	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-12	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-13	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-14	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellIJ-2B	Poço de injeção	3,8	721,6	5,3
AMEC (2012)	DuracellIJ-7B	Poço de injeção	3,5	723,2	3,8
AMEC (2012)	DuracellIJ-9B	Poço de injeção	3,8	722,4	4,6
AMEC (2012)	DuracellPM-16	Poço de monitoramento	0,9	723,1	3,9
AMEC (2012)	DuracellPM-17	Poço de monitoramento	1,5	717,5	9,5
AMEC (2012)	DuracellSB-01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F08	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F09	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F10	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F11	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F12	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F13	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásIJ-11	Poço de injeção	4,7	717,8	10,8
AMEC (2012)	FotobrásIJ-12	Poço de injeção	3,7	716,9	11,9
AMEC (2012)	FotobrásIJ-13	Poço de injeção	3,5	717,7	11
AMEC (2012)	ParfixGWS-P01	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P02	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P03	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P04	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P05	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P06	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P07	Furo de sondagem /amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixPM-33	Poço de bombeamento	6,5	714,7	11,5
Pino (2019)	ErgomatWB-CMT	Poço multinível	-	-	-

Anexo A-1: Banco de dados com perfis construtivos dos poços a serem modelados.

Fonte de dados	Chave (ID)	Tipo de Ponto	Cota do topo do pré-filtro (masl)	Profundidade topo do pré-filtro (m)	Profundidade base do pré-filtro (m)
AMEC (2012)	Allison (GM)GMDW-01	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-01	Poço de monitoramento	726,2	2,4	6,4
AMEC (2012)	Allison (GM)GMPM-02	Poço de monitoramento	721,5	6,5	9
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS01	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS02	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS03	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS04	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS05	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS06	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	Allison (GM)GWS07	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	BachemaBPM11	Poço de monitoramento	727,1	2	5,6
AMEC (2012)	BachemaBPM17	Poço de monitoramento	724,3	4	7
AMEC (2012)	BachemaBPMPO2	Poço de monitoramento	722,6	6,5	13,5
AMEC (2012)	BachemaBPMPO3	Poço de monitoramento	717,6	11,3	18,7
AMEC (2012)	BachemaINJ-10B	Poço de injeção	723,7	4,9	6,2
AMEC (2012)	BachemaINJ-3B	Poço de injeção	724,3	4,8	6,1
AMEC (2012)	BachemaINJ-4B	Poço de injeção	723,5	5,4	8,4
AMEC (2012)	BachemaINJ-5B	Poço de injeção	722,8	6	12
AMEC (2012)	BachemaINJ-6B	Poço de injeção	722,7	6	11,8
AMEC (2012)	BachemaINJ-8B	Poço de injeção	724,6	4,3	4,6
AMEC (2012)	DravaDRPM-01B	Poço de monitoramento	718,7	7,6	12,4
AMEC (2012)	DravaDRPM-02B	Poço de monitoramento	716,9	9,2	13,3
AMEC (2012)	DravaDRPM-03B	Poço de monitoramento	710,5	16	19,7
AMEC (2012)	DuracellDW-01	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-02	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-03	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-04	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-05	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-06	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-07	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-08	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-09	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-12	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellDW-13	Poço de monitoramento	--	NA	NA
AMEC (2012)	DuracellGWS-01	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-02	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-04	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-05	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-07	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-08	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-09	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-10	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-11	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-12	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-13	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellGWS-14	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellINJ-2B	Poço de injeção	723,4	3,5	5,3
AMEC (2012)	DuracellINJ-7B	Poço de injeção	723,5	3,4	3,8
AMEC (2012)	DuracellINJ-9B	Poço de injeção	723,4	3,6	4,6
AMEC (2012)	DuracellPM-16	Poço de monitoramento	726,3	0,7	4
AMEC (2012)	DuracellPM-17	Poço de monitoramento	725,7	1,3	9,5
AMEC (2012)	DuracellSB-01	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-02	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-03	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-04	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-05	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	DuracellSB-06	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F01	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F02	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F03	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F04	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F05	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F06	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F07	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F08	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F09	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F10	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F11	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F12	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásGWS-F13	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	FotobrásINJ-11	Poço de injeção	724,6	4	10,8
AMEC (2012)	FotobrásINJ-12	Poço de injeção	725,5	3,2	11,9
AMEC (2012)	FotobrásINJ-13	Poço de injeção	725,7	3	11
AMEC (2012)	ParfixGWS-P01	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P02	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P03	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P04	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P05	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P06	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixGWS-P07	Furo de sondagem / amostragem de solo	--	--	--
AMEC (2012)	ParfixPM-33	Poço de bombeamento	718,2	8	11,5
Pino (2019)	ErgomatWB-CMT	Poço multinível	-	-	-

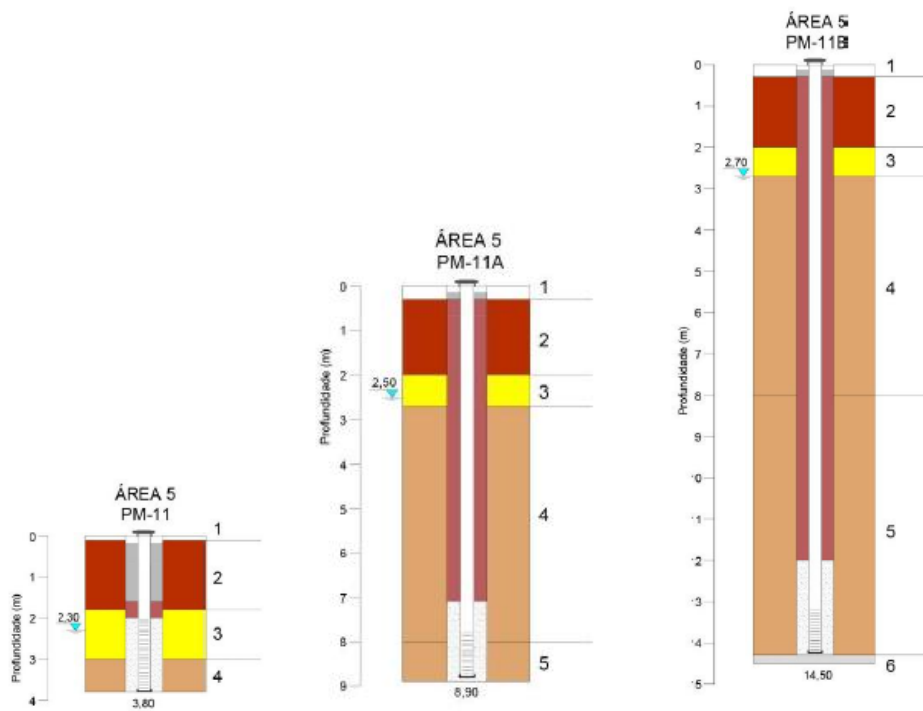
Anexo A-2: Banco de dados geológicos dos poços a serem modelados.

Fonte de dados	Chave (ID)	Cota do piso (mas)	Cota base dos SedAl (mas)	Cota base do AS + RAM (mas)	Cota profundidade atingida RAD + RS (mas)
AMEC (2012)	Allison (GM)-GMDW-01	727,895	724,7	718,5	707,6
AMEC (2012)	Allison (GM)-GMPM-01	728,591	726,1	722	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GMPM-02	727,988	724,8	719	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GWS01	727,45	722,6	718,1	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GWS02	729,995	726	721,6	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GWS03	730,016	726,5	719,5	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GWS04	729,613	725,8	717,6	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GWS05	729,954	725,5	723,9	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GWS06	727,868	722,7	719,9	UNK
AMEC (2012)	Allison (GM)-GWS07	730,058	726,4	721	UNK
AMEC (2012)	Bachema-BPM11	729,106	725,1	723,5	UNK
AMEC (2012)	Bachema-BPM17	728,277	725,3	721,3	UNK
AMEC (2012)	Bachema-BPM-P02	729,101	725,1	722,7	715,5
AMEC (2012)	Bachema-BPM-P03	728,936	726,4	717,9	709,4
AMEC (2012)	Bachema-INJ-10B	728,63	724,1	722,4	UNK
AMEC (2012)	Bachema-INJ-3B	729,02	724,2	723	UNK
AMEC (2012)	Bachema-INJ-4B	728,852	723,8	720,5	UNK
AMEC (2012)	Bachema-INJ-5B	728,825	725,2	716,8	UNK
AMEC (2012)	Bachema-INJ-6B	728,658	726,2	716,9	UNK
AMEC (2012)	Bachema-INJ-8B	728,824	724,6	724,2	UNK
AMEC (2012)	Drava-DRPM-01B	726,337	718,8	714	UNK
AMEC (2012)	Drava-DRPM-02B	726,062	717,9	712,9	712,8
AMEC (2012)	Drava-DRPM-03B	726,521	720,9	720,2	706,8
AMEC (2012)	Duracell-DW-01	727,006	723,5	717,5	706,1
AMEC (2012)	Duracell-DW-02	726,876	724	716,2	704,4
AMEC (2012)	Duracell-DW-03	727,005	723,6	722,5	708,5
AMEC (2012)	Duracell-DW-04	726,341	719,8	717,6	706,4
AMEC (2012)	Duracell-DW-05	726,699	720,3	715,6	704,4
AMEC (2012)	Duracell-DW-06	726,061	720,1	713,8	704,3
AMEC (2012)	Duracell-DW-07	726,136	718,7	710,8	700,1
AMEC (2012)	Duracell-DW-08	726,282	719,3	707,6	697,6
AMEC (2012)	Duracell-DW-09	726,627	718,1	716,2	704,5
AMEC (2012)	Duracell-DW-12	728,651	725,7	712	700,9
AMEC (2012)	Duracell-DW-13	728,948	725,5	714,4	701,6
AMEC (2012)	Duracell-GWS-01	725,934	720	716,5	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-02	726,022	719,9	719	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-04	727,567	718	717,2	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-05	728,145	724,3	723	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-07	729,689	726,8	719,5	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-08	729,442	725,2	717,8	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-09	726,275	719,6	715,3	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-10	726,03	719	714,6	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-11	725,734	718	713,5	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-12	725,659	719,9	714,2	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-13	725,911	720	714,4	UNK
AMEC (2012)	Duracell-GWS-14	726,041	720,8	716	UNK
AMEC (2012)	Duracell-INJ-2B	726,934	724	721,6	UNK
AMEC (2012)	Duracell-INJ-7B	726,919	723,6	723,2	UNK
AMEC (2012)	Duracell-INJ-9B	726,947	723,6	722,4	UNK
AMEC (2012)	Duracell-PM-16	727,045	723,4	723	UNK
AMEC (2012)	Duracell-PM-17	726,967	723,5	717,5	715,4
AMEC (2012)	Duracell-SB-01	726,96	724,7	723,8	723,6
AMEC (2012)	Duracell-SB-02	726,884	723,4	722,8	722,5
AMEC (2012)	Duracell-SB-03	726,877	723,9	723,2	723
AMEC (2012)	Duracell-SB-04	726,961	723,9	723	722,8
AMEC (2012)	Duracell-SB-05	726,925	724,1	723,1	722,8
AMEC (2012)	Duracell-SB-06	727,036	724	722,8	722,5
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F01	728,412	723	720,5	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F02	728,456	723,9	721,6	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F03	728,36	723,2	719,2	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F04	728,649	725,7	718,5	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F05	728,629	726,2	718	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F06	728,118	721,9	715,9	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F07	728,486	721,4	719,1	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F08	728,47	724,1	720,5	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F09	728,723	726,3	718,4	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F10	728,754	725	718,2	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F11	728,759	725,6	718,8	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F12	728,766	725,9	716,3	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-GWS-F13	728,75	724,9	716,4	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-INJ-11	728,624	726	717,8	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-INJ-12	728,731	726,8	716,9	UNK
AMEC (2012)	Fotobrás-INJ-13	728,669	726,7	717,2	UNK
AMEC (2012)	Parfix-GWS-P01	726,215	719,1	718,2	UNK
AMEC (2012)	Parfix-GWS-P02	727,013	724,4	719,9	UNK
AMEC (2012)	Parfix-GWS-P03	726,181	720,2	717,8	UNK
AMEC (2012)	Parfix-GWS-P04	726,88	724,1	718,9	UNK
AMEC (2012)	Parfix-GWS-P05	726,848	723,8	720,2	UNK
AMEC (2012)	Parfix-GWS-P06	726,941	724	719,4	UNK
AMEC (2012)	Parfix-GWS-P07	726,895	724	720	UNK
AMEC (2012)	Parfix-PM-33	726,164	722,9	714,7	UNK
Pino (2019)	Ergomat-WB-CMT	727,509	724,709	712,909	668,409

ANEXO B

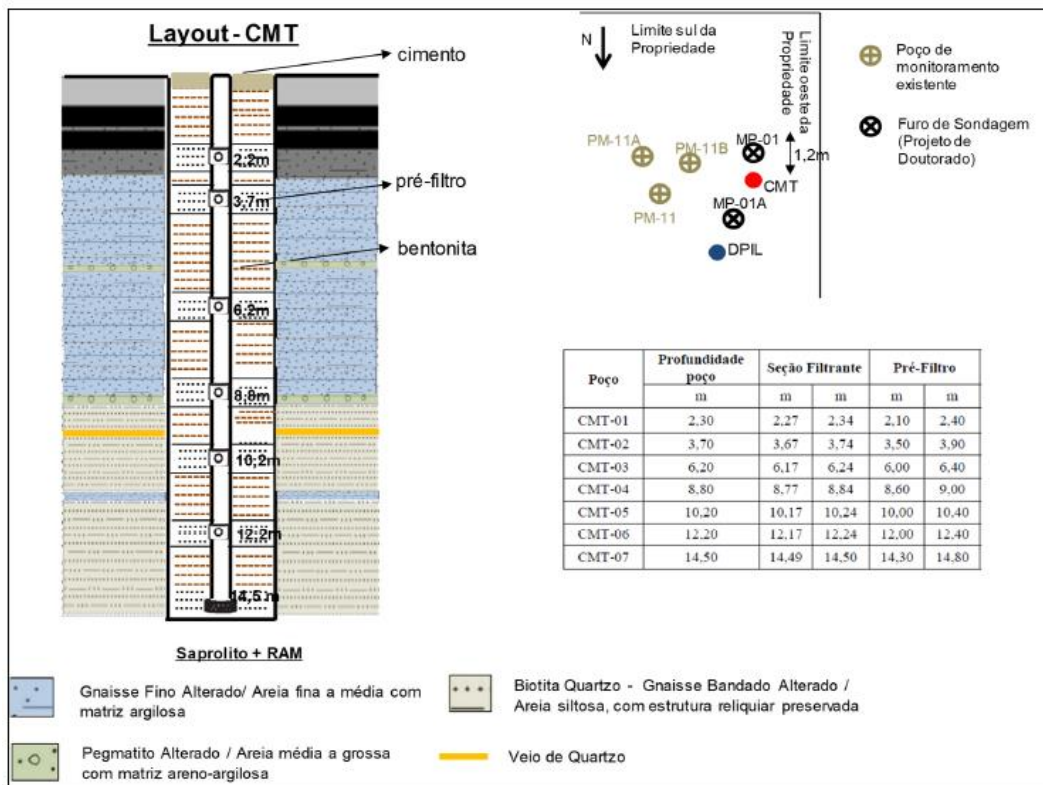
Perfis construtivos dos poços de monitoramento convencionais e CMT

Anexo B-1: Perfis construtivos dos poços de monitoramento convencionais



Extraído de Silva (2018)

Anexo B-2: Perfil construtivo do CMT



Extraído de Lojkasek-Lima (2018)

ANEXO C
Perfil construtivo do Westbay

TABLE 4
MP - 01 As-Built Packer and Port Summary

Zone No.	Measurement Port Depth (m)	Pumping Port Depth (m)	Magnetic Collar Depth (m)	Top of Zone (m)	Bottom of Zone (m)
Zone 1	55.5			55.3	59.1
Zone 2	54.0			52.9	54.4
Zone 3	50.9	53.1	53.7	49.2	52.0
Zone 4	46.4	49.4	50.0	46.1	48.3
Zone 5	44.8			44.0	45.3
Zone 6	41.5	44.2	44.5	41.3	43.1
Zone 7	40.0			39.1	40.4
Zone 8	36.6	39.4	39.7	36.4	38.2
Zone 9	35.1			33.3	35.5
Zone 10	30.5	33.6	34.2	30.3	32.4
Zone 11	27.2			26.9	29.4
Zone 12	24.1			23.9	26.0
Zone 13	22.6			21.2	23.0
Zone 14	19.2	21.4	22.0	19.0	20.3
Zone 15	16.8			15.1	18.1
Zone 15	15.3			15.1	18.1

Note 1: All depth measurements in meters below ground surface.

Note 2: All depth measurements use 'Nominal' casing lengths.

Note 3: Not corrected for borehole angle, deviation or borehole temperature effects.

Note 4: All Westbay Port depth measurements to upper edge of coupling item.

Note 5: Depths for top and bottom of zone based on packer seal position.

Table 5
MP - 01 As-Built Tubing Summary

Item No.	Component Part Number	Component S/N	Coupling P/N	Component Discription	Coupling S/N	Accessory P/N	Accessory Depth (m)	Depth (m) *
39	0203							
38	020105		0202					0.05
37	020110		0202			0216	2.2	1.6
36	020110		0202					4.6
35	020110		0202					7.7
34	020110		0202					10.7
33	0238	19244	0202	Packer				13.8
32	020105		0205	Measurement Port	8483			15.3
31	020103		0205	Measurement Port	8487			16.8
30	0238	19245	0202	Packer				17.7
29	020102		0205	Measurement Port	8485			19.2
28	0238	19247	0202	Packer				19.9
27	020104		0224	Pumping Port	8722	0216	22.0	21.4
26	0238	19254	0205	Packer/Measurement Port	8499			22.6
25	020105		0205	Measurement Port	8493			24.1
24	0238	19253	0202	Packer				25.6
23	020105		0205	Measurement Port	8495			27.2
22	020101		0202					28.7
21	0238	19255	0202	Packer				29.0
20	020105		0205	Measurement Port	8488			30.5
19	0238	19250	0202	Packer				32.0
18	020105		0224	Pumping Port	8721	0216	34.2	33.6
17	0238	19257	0205	Packer/Measurement Port	8498			35.1
16	020104		0205	Measurement Port	8484			36.6
15	0238	19249	0202	Packer				37.8
14	020102		0224	Pumping Port	8719	0216	39.7	39.4
13	0238	19246	0205	Packer/Measurement Port	8486			40.0
12	020104		0205	Measurement Port	8489			41.5
11	0238	19256	0202	Packer				42.7
10	020102		0224	Pumping Port	8720	0216	44.5	44.2
9	0238	19258	0205	Packer/Measurement Port	8491			44.8
8	020105		0205	Measurement Port	8490			46.4
7	0238	19252	0202	Packer				47.9
6	020105		0224	Pumping Port	8718	0216	50.0	49.4
5	020102		0205	Measurement Port	8494			50.9
4	0238	19251	0202	Packer				51.6
3	020103		0224	Pumping Port	8723	0216	53.7	53.1
2	0238	19243	0205	Packer/Measurement Port	8496			54.0
1	020105		0205	Measurement Port	8492			55.5
0	0203							57.0

Depths are with respect to ground surface.

* Component positions are referenced to the top of the subject Westbay System coupling.

* Packer positions are referenced to the top Westbay System coupling on the packer.

Monitoring zone dimensions are determined as described on the attached "Dimensions of Packer Seals and Monitoring Zones".

The position of a MOSDAX Transducer in a Measurement Port is illustrated in the attached "MOSDAX Transducer Position".

This information may be used in calculating piezometric levels.

Summary Completion Log

Company: University of Sao Paulo
Well: MP - 01
Site: Ergomat
Project:

Job No: WB923
Author: TK

Well Information

Reference Datum: Ground Level
Elevation of Datum: 0.00 m.
MP Casing Top: 0.00 m.
MP Casing Length: 57.09 m.

Borehole Depth: 59.10 m.
Borehole Inclination: vertical
Borehole Diameter: 98.00 mm

Well Description:

Other References:

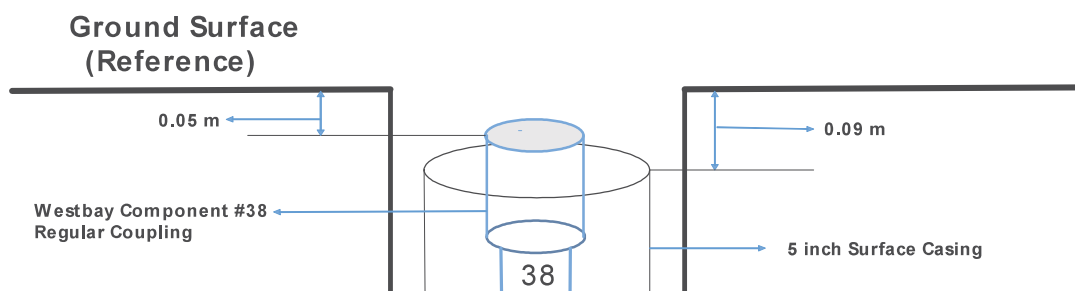
File Information

File Name: WB923F.WWD
Report Date: Wed Jun 22 12:58:38 2016









File Date: Jun 16 14:04:02 2016

Sketch of Wellhead Completion

MP – 01 SURFACE COMPLETION



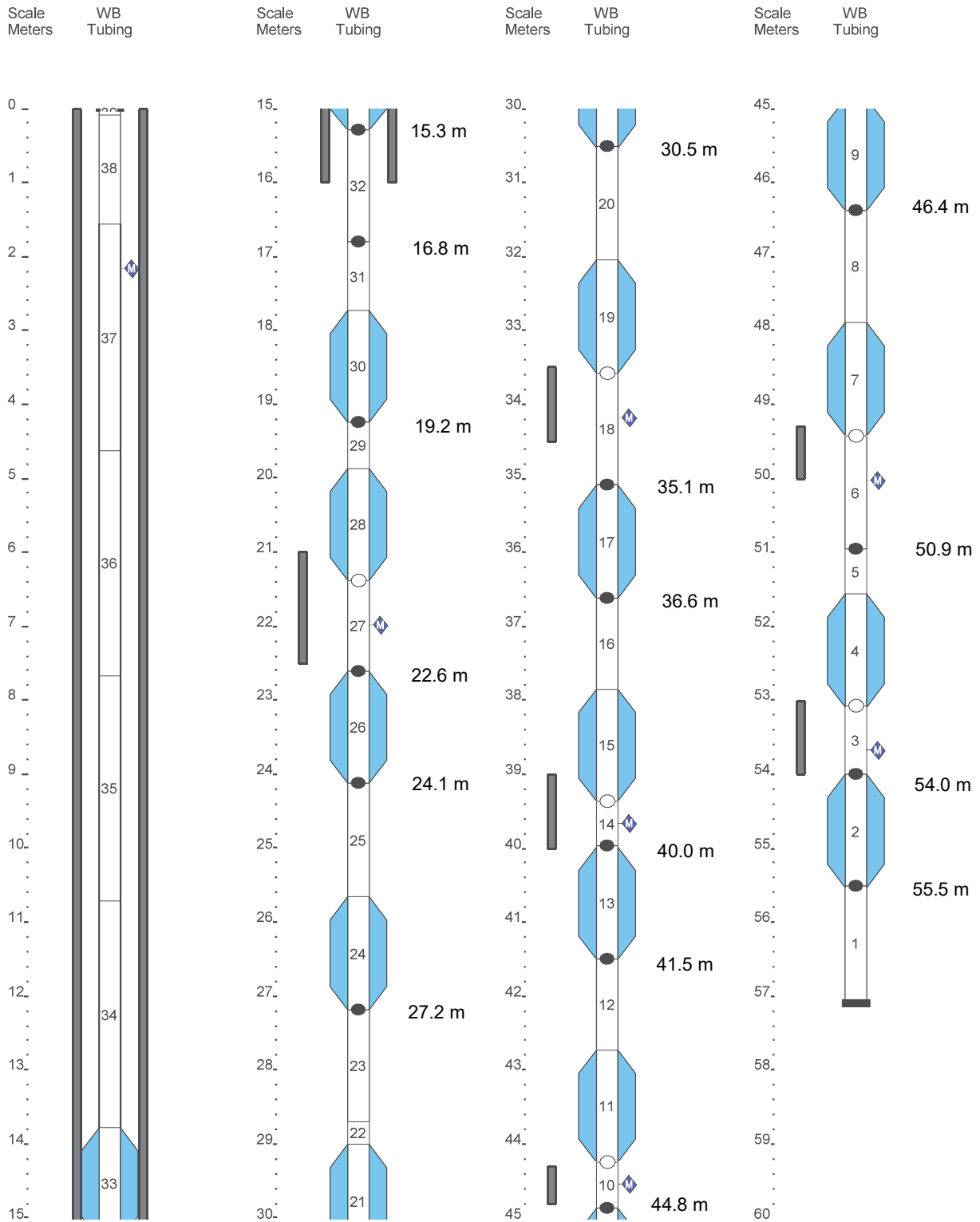
Legend

(Qty) MP Components (Library - WD Library 04/29/15)	Geology	Backfill/Casing
 (2) 0203 - MP38 End Cap		 Mild Steel
(9) 020105 - MP38 Casing 2 (5F/1.5M)		
(4) 020110 - MP38 Casing 1 (10F/3M)		
  (15) 0238 - MP38 Packer - 74mm (5F/1.5M)		
(2) 020103 - MP38 Casing 6 (3F/0.9M)		
(4) 020102 - MP38 Casing 3 (2F/0.6M)		
(3) 020104 - MP38 Casing 5 (4F/1.2M)		
(1) 020101 - MP38 Casing 4 (1F/0.3M)		
 (16) 0202 - MP38 Regular Coupling		
 (16) 0205 - MP38 Measurement Port		
 (6) 0224 - MP38 Pumping Port		
 (7) 0216 - Magnetic Location Collar		

Summary Completion Log

University of Sao Paulo

Job No: WB923
Well: MP - 01



ANEXO D

Cargas hidráulicas dos poços de monitoramento convencionais e sistemas multinível

Anexo D-1: Cargas hidráulicas

Porta	Profundidade PM/Intervalo seção filtrante	23/02/2022	10/03/2022	24/03/2022	31/03/2022	07/04/2022	14/04/2022
CMT-02	3,7	725,27	725,32	725,42	725,39	725,37	725,25
CMT-03	6,2	725,26	725,28	721,30	725,38	725,36	725,25
CMT-04	8,8	725,30	725,27	718,71	725,39	725,38	725,24
CMT-05	10,2	725,23	725,24	725,37	725,34	725,34	725,20
CMT-06	12,2	724,98	724,98	725,09	725,07	725,08	724,93
CMT-07	14,5	724,78	724,41	724,41	724,48	724,51	724,35
WB-15	16,8	724,40	724,44	724,46	724,52	724,53	724,37
WB-14	19,2	724,07	724,13	724,13	724,22	724,25	724,10
WB-13	22,6	723,45	723,59	723,56	723,73	723,76	723,61
WB-12	24,1	722,99	723,11	722,99	723,24	723,26	723,09
WB-11	27,2	722,59	722,79	722,66	722,97	723,00	722,85
WB-10	30,5	722,72	722,85	722,73	723,00	723,03	722,84
WB-09	35,1	722,67	722,82	722,68	722,94	722,99	722,80
WB-08	36,6	722,71	722,86	722,62	722,93	723,04	722,84
WB-07	40	722,64	722,77	722,64	722,90	722,95	722,76
WB-06	41,5	722,66	722,79	722,66	722,91	722,96	722,77
WB-05	44,8	722,70	722,82	722,69	722,96	723,00	722,81
WB-04	46,4	722,62	722,74	722,61	722,87	722,92	722,73
WB-03	50,9	722,66	722,79	722,66	722,92	722,96	722,77
WB-02	54	722,59	722,71	722,58	722,86	722,90	722,70
WB-01	55,5	722,60	722,73	722,60	722,88	722,90	722,72
PM-11	2,1 - 3,8	725,39	725,37	725,57	725,57	725,56	725,32
PM-11A	7,7 - 8,9	725,31	725,31	725,48	725,41	725,40	725,26
PM-11B	13,2 - 14,5	724,45	724,53	724,57	724,73	724,63	724,49

Anexo D-1: Cargas hidráulicas

Porta	Profundidade PM/Intervalo seção filtrante	28/04/2022	12/05/2022	26/05/2022	09/06/2022	23/06/2022	07/07/2022
CMT-02	3,7	725,08	725,02	724,91	724,93	724,88	724,84
CMT-03	6,2	725,08	725,00	724,90	724,92	724,90	724,84
CMT-04	8,8	725,09	725,00	724,91	724,92	725,08	724,84
CMT-05	10,2	725,06	724,98	724,88	724,89	724,88	724,81
CMT-06	12,2	724,82	724,75	724,68	724,74	724,78	724,64
CMT-07	14,5	724,33	725,27	724,26	724,41	724,46	724,30
WB-15	16,8	724,37	724,31	724,32	724,46	724,50	724,34
WB-14	19,2	724,13	724,10	724,12	724,34	724,34	724,19
WB-13	22,6	723,72	723,69	723,82	724,08	723,90	723,90
WB-12	24,1	723,28	723,33	723,52	723,92	723,92	723,63
WB-11	27,2	723,08	723,11	723,35	723,75	723,78	723,49
WB-10	30,5	723,08	723,13	723,35	723,79	723,80	723,56
WB-09	35,1	723,04	723,10	723,34	723,75	723,76	723,45
WB-08	36,6	723,10	723,07	723,38	723,67	723,81	723,57
WB-07	40	722,99	723,04	723,27	723,70	723,70	723,40
WB-06	41,5	723,01	723,06	723,29	723,72	723,72	723,41
WB-05	44,8	723,03	723,10	723,32	723,76	723,76	723,45
WB-04	46,4	722,95	723,01	723,24	723,68	723,68	723,37
WB-03	50,9	722,99	723,06	723,28	723,73	723,73	723,42
WB-02	54	722,93	722,99	723,21	723,65	723,66	723,35
WB-01	55,5	722,94	723,01	723,23	723,68	723,68	723,37
PM-11	2,1 - 3,8	725,20	725,12	725,03	725,04	725,00	724,96
PM-11A	7,7 - 8,9	725,13	725,05	725,13	724,94	724,97	724,89
PM-11B	13,2 - 14,5	724,43	724,41	724,35	724,49	724,49	724,38

Anexo D-1: Cargas hidráulicas

Porta	Profundidade PM/Intervalo seção filtrante	14/07/2022	18/08/2022	01/09/2022	15/09/2022	29/09/2022
CMT-02	3,7	724,82	724,79	724,76	724,78	724,90
CMT-03	6,2	724,81	724,78	724,74	724,77	724,90
CMT-04	8,8	724,82	724,79	724,76	724,77	724,90
CMT-05	10,2	724,79	724,77	724,75	724,72	724,87
CMT-06	12,2	724,65	724,62	724,59	724,60	724,69
CMT-07	14,5	724,35	724,34	724,30	724,24	724,34
WB-15	16,8	724,42	724,40	724,38	724,32	724,41
WB-14	19,2	724,30	724,27	724,25	724,20	724,31
WB-13	22,6	724,04	724,04	724,00	723,93	724,08
WB-12	24,1	723,85	723,87	723,82	723,81	723,90
WB-11	27,2	723,71	723,65	723,61	723,70	723,79
WB-10	30,5	723,73	723,75	723,69	723,69	723,78
WB-09	35,1	723,69	723,72	723,66	723,65	723,76
WB-08	36,6	723,74	723,76	723,50	723,71	723,79
WB-07	40	723,64	723,66	723,59	723,60	723,69
WB-06	41,5	723,67	723,68	723,62	723,61	723,71
WB-05	44,8	723,70	723,69	723,66	723,65	723,75
WB-04	46,4	723,62	723,63	723,58	723,57	723,67
WB-03	50,9	723,66	723,68	723,61	723,61	723,72
WB-02	54	723,59	723,61	723,55	723,55	723,64
WB-01	55,5	723,61	723,63	723,56	723,56	723,66
PM-11	2,1 - 3,8	724,93	724,90	724,88	724,87	725,00
PM-11A	7,7 - 8,9	724,85	724,82	724,80	724,78	724,94
PM-11B	13,2 - 14,5	724,41	724,39	724,37	724,35	724,42

ANEXO E
Ficha de calibração da sonda *MOSDAX Sampler Probe*

MOSDAX Calibration Report 1: EMS - 4698 Module 4198

File: E:\STUFF\CAL\02015\250\7JULY2-1\04698

Full Scale: 250 (psia)

Pressure Reference: Paroscientific Model 2300A-101 S/N 90263

Range: 300 PSI

Date of last reference to traceable standard: June 23 2015

EMS - 4698 Jul 07 11:23:31 2015 Range 1 Temp 3.3° C			EMS - 4698 Jul 07 07:13:37 2015 Range 2 Temp 10.4° C			EMS - 4698 Jul 07 03:07:41 2015 Range 3 Temp 20.4° C		
Ref Pres (psia)	Error (psia)	(% FS)	Ref Pres (psia)	Error (psia)	(% FS)	Ref Pres (psia)	Error (psia)	(% FS)
14.666	0.041	0.016	14.675	0.040	0.016	14.650	0.041	0.017
25.146	-0.002	-0.001	24.608	0.011	0.004	24.861	0.009	0.004
49.449	-0.050	-0.020	49.206	-0.041	-0.016	49.506	-0.033	-0.013
74.431	-0.061	-0.025	74.152	-0.047	-0.019	74.541	-0.036	-0.014
99.314	-0.049	-0.020	99.517	-0.034	-0.013	99.531	-0.023	-0.009
124.207	-0.020	-0.008	124.285	-0.004	-0.002	124.148	0.003	0.001
149.436	0.013	0.005	149.149	0.032	0.013	149.259	0.018	0.007
174.224	0.023	0.009	174.249	0.038	0.015	174.067	0.035	0.014
199.252	0.023	0.009	199.393	0.031	0.013	199.154	0.031	0.012
224.154	-0.007	-0.003	224.242	0.001	0.001	224.073	0.004	0.001
249.202	-0.084	-0.034	249.034	-0.059	-0.024	249.063	-0.058	-0.023
224.489	-0.014	-0.005	224.587	0.011	0.005	225.007	0.001	0.000
198.566	0.012	0.005	200.063	0.031	0.012	200.174	0.033	0.013
175.155	0.019	0.008	174.911	0.040	0.016	174.793	0.024	0.010
148.815	-0.001	0.000	149.934	0.036	0.014	149.897	0.017	0.007
124.611	-0.024	-0.010	125.148	-0.003	-0.001	125.342	-0.006	-0.002
99.474	-0.047	-0.019	99.202	-0.031	-0.012	99.162	-0.032	-0.013
75.234	-0.062	-0.025	74.547	-0.054	-0.021	74.587	-0.041	-0.016
50.182	-0.057	-0.023	50.233	-0.049	-0.019	49.708	-0.039	-0.016
25.567	-0.009	-0.004	25.570	0.007	0.003	25.590	0.006	0.003
14.658	0.033	0.013	14.679	0.043	0.017	14.654	0.045	0.018
EMS - 4698 Jul 06 22:58:08 2015 Range 4 Temp 30.2° C			EMS - 4698 Jul 06 18:37:14 2015 Range 5 Temp 39.9° C					
Ref Pres (psia)	Error (psia)	(% FS)	Ref Pres (psia)	Error (psia)	(% FS)			
14.635	0.041	0.016	14.624	0.024	0.010			
24.811	0.004	0.001	24.450	0.003	0.001			
49.369	-0.043	-0.017	49.515	-0.038	-0.015			
74.344	-0.048	-0.019	74.543	-0.030	-0.012			
99.534	-0.023	-0.009	99.538	-0.010	-0.004			
124.324	-0.010	-0.004	124.422	0.013	0.005			
149.289	0.002	0.001	149.446	0.024	0.009			
174.200	0.028	0.011	174.279	0.039	0.016			
199.281	0.023	0.009	199.431	0.045	0.018			
224.175	-0.006	-0.003	224.357	0.002	0.001			
249.141	-0.067	-0.027	249.510	-0.051	-0.020			
224.911	-0.009	-0.003	225.131	0.001	0.000			
199.755	0.014	0.006	199.987	0.038	0.015			
173.541	0.017	0.007	175.460	0.027	0.011			
148.199	0.004	0.002	150.086	0.017	0.007			
125.459	-0.004	-0.002	124.336	-0.002	-0.001			
98.532	-0.034	-0.014	98.510	-0.019	-0.008			
73.809	-0.040	-0.016	74.777	-0.034	-0.014			
49.340	-0.040	-0.016	50.158	-0.040	-0.016			
25.435	-0.001	0.000	25.650	0.002	0.001			
14.639	0.038	0.015	14.623	0.034	0.014			

Issued by

