

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

TRABALHO DE FORMATURA N°18/11

MONOGRAFIA

APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS PARA A CRIAÇÃO DE MODELO
CONCEITUAL DE ESTABILIDADE DE PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO EM UNIDADE
INDUSTRIAL EM MOGI DAS CRUZES - SP

Aluno: Felipe Camargo de Almeida

Orientadora: Profa. Dra. Alexandra Vieira Suhogusoff

Coorientador: Edson Rogério Batello

São Paulo

Outubro de 2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

TRABALHO DE FORMATURA N°18/11

MONOGRAFIA

APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS PARA A CRIAÇÃO DE MODELO
CONCEITUAL DE ESTABILIDADE DE PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO EM UNIDADE
INDUSTRIAL EM MOGI DAS CRUZES - SP

Aluno: Felipe Camargo de Almeida

Felipe C. Almeida

Orientadora: Profa. Dra. Alexandra Vieira Suhogusoff

Alexandra V. Suhogusoff

Coorientador: Edson Rogério Batello

Edson R. Batello

São Paulo

Outubro de 2018

RESUMO

O trabalho desenvolvido neste projeto trata de uma abordagem estatística e geoestatística frente a construção de um modelo conceitual de contaminantes, com o objetivo de avaliar a estabilidade de plumas de contaminação de 8 compostos em uma área contaminada em Mogi das Cruzes – SP ao longo de 7 campanhas de monitoramento. O conceito de estabilidade foi desenvolvido em torno de quatro parâmetros principais referentes às plumas de contaminação de uma unidade hidroestratigráfica: área (m^2), concentração média ($\mu g/L$), massa (kg), e localização do centro de massa (coordenadas, em metros). Esses parâmetros foram calculados a partir de análises integradas de dados geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, utilizando ferramentas geoestatísticas e geométricas. O trabalho foi inteiramente desenvolvido em escritório, e envolveu a compilação, consulta e manipulação de bases de dados com um *software* do tipo *RDBMS (ESdat)*, em integração com um *software* de análise e visualização de dados ambientais voltado para a geoestatística (*Surfer*). Dessa forma, foram construídos modelos geológicos-hidrogeológicos tridimensionais para melhor caracterizar o meio físico subterrâneo. Enquanto a área e a concentração média das plumas de contaminação foram definidas numericamente e graficamente a partir de padrões de qualidade estabelecidos por órgãos ambientais, a massa e a localização do centro de massa foram calculadas a partir de uma visão mais global, assimilando elementos do meio físico para sua determinação. Os resultados obtidos tiveram sua significância estatística avaliada através de técnicas de validação cruzada e teste hipóteses. Finalmente, a avaliação de estabilidade se deu através de análises de tendências realizadas sobre os quatro parâmetros descritos, indicando os casos de expansão, encolhimento ou estabilidade das plumas de contaminação.

Palavras-chave: modelo conceitual, avaliação ambiental, geoestatística, pluma de contaminação, investigação ambiental, remediação ambiental, modelagem ambiental, monitoramento ambiental

ABSTRACT

The project developed in this dissertation consists of applying statistical and geostatistical techniques to create a contaminant conceptual model, to evaluate 8 groundwater contaminant plume's stability in a contaminated area in Mogi das Cruzes – SP, during 7 monitoring campaigns. The concept of stability was developed around four main parameters related to the contaminant plumes of one hydrostratigraphic unit: area (m^2), mean concentration ($\mu g/L$), mass (kg), and center of mass location (coordinates, in meters). These parameters were calculated from integrated geological, hydrogeological and hydrogeochemical data using geostatistical and geometric tools. The work was entirely developed in the office, and consisted of compiling, analysing and querying databases with a RDBMS-type software (ESdat), along with a geostatistical environmental data visualization and analysis software (Surfer). Three-dimensional geological-hydrogeological models were built to better characterize the

underground physical setting. The area and mean concentration of contaminant plumes were then defined numerically and graphically based on screening levels set by environmental agencies, while the mass and center of mass location were calculated with a more global view, assimilating elements from the physical setting. The results obtained had their statistical significance evaluated through cross validation techniques and test hypotheses. Finally, the stability evaluation was based on trend analysis carried out on the four parameters described, indicating the cases of expansion, shrinkage or stability of the contaminant plumes.

Key words: conceptual site model, site assessment, geostatistics, contaminant plume, environmental investigation, environmental remediation, environmental modelling, environmental monitoring

RESUMEN

El proyecto desarrollado en este trabajo de final de carrera consiste en aplicar técnicas estadísticas y geoestadísticas para crear un modelo conceptual de contaminantes, con el objetivo de evaluar la estabilidad de las plumas de contaminación de 8 compuestos en un área contaminada en Mogi das Cruzes - SP, durante 7 campañas de monitoreo. El concepto de estabilidad fue desarrollado en torno a cuatro parámetros principales relacionados con las plumas de contaminación de una unidad hidroestratigráfica: área (m^2), concentración media ($\mu g/L$), masa (kg) y ubicación del centro de masa (coordenadas, en metros). Estos parámetros se calcularon a partir de datos geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos integrados utilizando herramientas geoestadísticas y geométricas. El trabajo se desarrolló completamente en la oficina y consistió en compilar, analizar y consultar bases de datos con un software de tipo RDBMS (ESdat), junto con un software de análisis y visualización de datos geoestadísticos ambientales (Surfer). Se construyeron modelos tridimensionales geológico-hidrogeológicos para caracterizar mejor el entorno físico subterráneo. El área y la concentración media de las plumas contaminantes se definieron numérica y gráficamente en función de los estándares de calidad establecidos por las agencias ambientales, mientras que la masa y la ubicación del centro de la masa se calcularon con una visión más global, asimilando elementos del entorno físico. Los resultados obtenidos tuvieron su significación estadística evaluada mediante técnicas de validación cruzada e hipótesis de prueba. Finalmente, la evaluación de la estabilidad se basó en el análisis de tendencias realizado en los cuatro parámetros descritos, que indicaban los casos de expansión, contracción o estabilidad de las plumas contaminantes.

Palabras clave: modelo conceptual, evaluación ambiental, compuestos orgánicos volátiles, geoestadística, pluma de contaminación, investigación ambiental, remediación ambiental, modelos ambientales, monitoreo ambiental

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. METAS E OBJETIVOS	7
3. ÁREA DE ESTUDO	7
3.1.1. Geomorfologia	8
3.1.2. Clima.....	9
3.1.3. Geologia	10
3.1.4. Hidrogeologia	11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1. Gerenciamento de Áreas Contaminadas	12
4.1.1. Geoestatística.....	14
4.1.2. Estabilidade de Plumas de Contaminação	18
5. MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1. Compilação da Base de Dados	22
5.2. Construção do Modelo Geológico.....	23
5.3. Construção do Modelo Hidrogeológico	23
5.4. Análise Geoestatística	23
5.5. Validação Cruzada	24
5.5.1. Teste de Hipóteses	24
5.6. Cálculos das dimensões das plumas de contaminação.....	25
5.6.1. Área e Concentração Média.....	25
5.6.2. Massa	26
5.7. Análise de tendência	28
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	28
6.1. Modelo Conceitual	28
6.1.1. Geologia	28
6.1.2. Hidrogeologia	30
6.1.3. Plumas de contaminação	32
6.2. Validação dos Resultados.....	36
6.2.1. Validação Cruzada	36
6.2.2. Teste de Hipóteses	37
7. CONCLUSÕES.....	39
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

ANEXO A – Tabela de Resultados Analíticos

ANEXO B – Modelos Teóricos de Variograma das SQIs

ANEXO C – Evolução histórica das plumas de contaminação e seus centros de massa

ANEXO D – Evolução histórica da distribuição de massa de contaminantes em fase dissolvida no Nível

1. INTRODUÇÃO

A disciplina 0440500 – Trabalho de Formatura (TF) é obrigatória aos alunos do quinto ano letivo do Bacharelado em Geologia e tem como objetivo final a apresentação pública e defesa de uma monografia sobre um tema específico que pode retratar um problema profissional real, utilizando os métodos adequados para o planejamento e desenvolvimento da solução trabalhada. O trabalho é avaliado em três etapas, de maneira que foram apresentados para a Comissão de Trabalho de Formatura (CTF-2018) um Projeto Inicial, um Relatório de Progresso e, por fim, a Monografia, que consiste no presente documento.

O trabalho foi conduzido pelo aluno sob orientação da Profa. Dra. Alexandra Vieira Suhogusoff, professora-doutora no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) e pesquisadora no Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS), e coorientação de Edson Rogério Batello, gerente e geólogo sênior na empresa *Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.* (Golder), na área de Hidrogeologia, com dados fornecidos pela Golder referentes a um cliente da indústria siderúrgica.

A área alvo de estudo, localizada no município de Mogi das Cruzes (SP), corresponde a uma unidade industrial voltada principalmente à fabricação de aço, em operação desde 1966. Estudos ambientais vêm sendo executados na área desde 1997, com a realização de diversas avaliações e monitoramentos ambientais, onde foram definidos três níveis hidroestratigráficos locais, impactados por plumas de pelo menos oito Substâncias Químicas de Interesse (SQIs), a saber: bário, boro, molibdênio, sulfato, fluoreto, tetracloroeteno (PCE), tricloroeteno (TCE) e cis-1,2-dicloroeteno (cis-1,2-DCE).

O trabalho teve como objetivo último a construção de um modelo conceitual da estabilidade de plumas de contaminação no aquífero da área de estudo. Modelos conceituais constituem um passo fundamental no processo de gerenciamento de passivos ambientais. Eles auxiliam na tomada de decisões providenciando meios para organizar, comunicar e interpretar dados coletados, além de ressaltarem informações cruciais faltantes, podendo servir como orientação para projetos de avaliação ou de remediação e fornecendo prognósticos sobre o comportamento de contaminantes. A estabilidade das plumas, por sua vez, foi medida através de análises de tendências sobre suas dimensões, incluindo área, concentração média, massa total de fase dissolvida e localização do centro de massa, todas calculadas através de métodos geoestatísticos.

A relevância do tema também se traduz por meio de resoluções legais: apenas recentemente, com a publicação da Decisão de Diretoria 38/2017/C da CETESB (2017), a apresentação de modelos tridimensionais passou a ser obrigatória em investigações detalhadas, ainda que sempre o tivessem sido para a boa caracterização de sistemas ambientais. A má caracterização desses sistemas que compõem as áreas estudadas muitas vezes acaba

causando prejuízos futuros, causados pela falta de planejamento sistemático e de estratégias dinâmicas de trabalho (CCME, 2016).

2. METAS E OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é a confecção de um modelo conceitual de estabilidade de plumas de contaminação, com representações gráficas e descritivas, que relatem o comportamento das SQIs descritas na área de interesse. Foram utilizadas técnicas geoestatísticas aplicadas à modelagem de plumas de contaminação, com a pretensão de garantir maleabilidade ao modelo, dada a importância de mantê-lo dinâmico e constantemente atualizado, e eliminando o fator subjetividade, comum a este tipo de atividade.

Buscou-se a integração quantitativa de análises hidrogeoquímicas com parâmetros geológicos e hidrogeológicos, de modo que foram calculados quatro parâmetros de avaliação de estabilidade das plumas de contaminação: área, concentração média, massa total de fase dissolvida e localização do centro de massa. Os resultados ainda foram avaliados estatisticamente com o intuito de determinar tendências ao longo do tempo e suas significâncias estatísticas.

A avaliação da estabilidade dos contaminantes considerou apenas o nível mais raso estudado no local, chamado de Nível A, e apenas as últimas sete campanhas de monitoramento, realizadas entre abril de 2014 e novembro de 2017. Em termos de representações gráficas, três tipos principais de figuras foram preparados:

- Plumas de contaminação, representadas pela interpolação, em duas dimensões, de resultados analíticos obtidos a partir da amostragem de água subterrânea;
- Modelo geológico-hidrogeológico, representado pela modelagem da estratigrafia descrita a partir de sondagens e testes hidráulicos;
- Distribuição de massa de contaminantes, representada em três dimensões pelo produto entre os resultados analíticos e a espessura da unidade hidroestratigráfica estudada, além de porosidade efetiva e uma constante de conversão, projetada sobre a unidade que representa no modelo hidrogeológico.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada no município de Mogi das Cruzes, conforme Figura 1. Por motivos de confidencialidade, em acordo entre a *Golder* e seu cliente, a localização exata não pôde constar nesse Trabalho de Formatura.



Figura 1. Localização do município de Mogi das Cruzes, onde está localizada a área de estudo. Datum Córrego Alegre 23 S (Coordenadas geográficas).

3.1.1. Geomorfologia

A área de estudo encontra-se sobre a planície de inundação do Rio Tietê, em sedimentos acomodados em uma área relativamente plana em meio à Serra do Mar, a sul, e à Serra do Itapeti, a norte, e faz parte dos terrenos acidentados do domínio geomorfológico do Planalto Atlântico (Aziz Ab'Sáber, 1967). O Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 2) apresenta a região no contexto desse domínio geomorfológico, com destaque para a Serra do Itapeti e o Rio Tietê. O MDE foi processado pelo *software Surfer* (Golden Software, 2017), a partir do qual se delineou a microbacia hidrográfica em que a área de interesse está inserida.

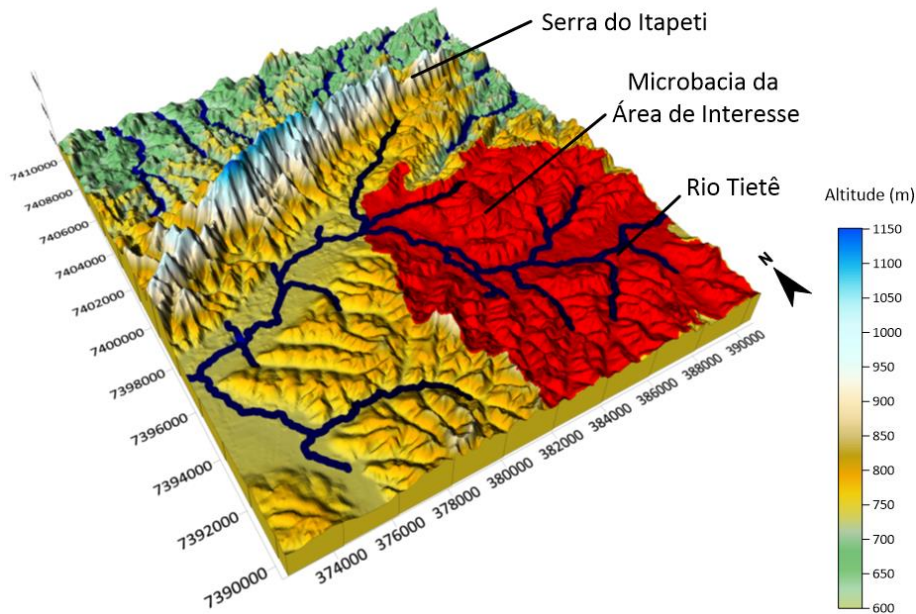


Figura 2. Modelo Digital de Elevação (MDE) da região (DLR, 2018), com exagero vertical de 3 vezes, com a indicação da microbacia da área de interesse no contexto das principais feições geomorfológicas da região. Datum SA69 UTM Zona 23.

3.1.2. Clima

O clima da região é caracterizado como subtropical, com verões pouco quentes e chuvosos e invernos amenos e secos (Climate-Data.org, 2018). As temperaturas são mais altas em dezembro e janeiro e mais baixas em junho em julho, mesmos períodos em que há maior e menor taxas de precipitação, conforme o climograma apresentado na Figura 3. A unidade está localizada na Bacia do Alto Tietê, com o Rio Tietê como área de descarga local, situado adjacente às suas instalações no sentido a jusante. Também apresenta extensas áreas planas próprias para o cultivo de hortaliças (CPRM, 2010), onde a irrigação é agente relevante para cálculos de infiltração de água nos corpos hídricos subterrâneos.

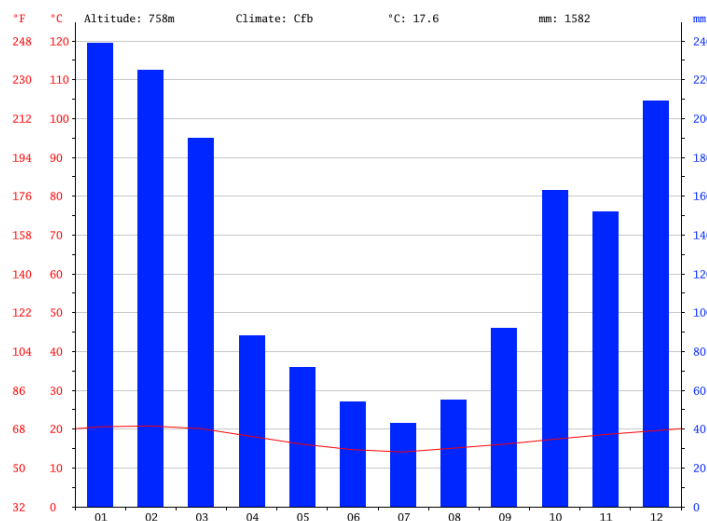


Figura 3. Climograma de Mogi das Cruzes com a distribuição mensal da temperatura e das chuvas (Climate-Data.org, 2018).

3.1.3. Geologia

A área estudada encontra-se em uma região de Mogi das Cruzes que está localizada sobre sedimentos quaternários da planície aluvial do Rio Tietê, depositados sobre o Grupo Taubaté, que por sua vez encontra-se sobre as rochas do embasamento cristalino. As formações observadas são listadas a seguir, do topo para a base:

- Sedimentos Cenozoicos: são depósitos sedimentares quaternários, não-consolidados, depositados em ambiente de planície aluvial do Rio Tietê, onde se apresentam com espessuras variáveis, formados por cascalho, areia e argila, da base para o topo (CPRM, 2010).
- Formação São Paulo (Grupo Taubaté): consiste em depósitos de ambiente fluvial meandrante, com arenitos grossos na base e granodecrescência ascendente, até siltitos e argilitos, ocorrendo com frequência em forma de lâminas. Estruturas tectônicas ocorrem associadas à formação do Rift Continental do Sudeste do Brasil, apresentando falhas e dobras com sentido SW-NE (Riccomini, 1989).
- Complexo Embu: faixa contínua NE-SW ortognáissica de metamorfismo de grau intermediário à alto (zona da silimanita). Na região da área de estudo, ocorrem duas unidades desse complexo (CPRM, 2006):
 - Unidade Quartzítica: quartzitos, quartzos xistos e quartzos filitos, de granulação fina. Por vezes associados a metaconglomerados, estão metamorfizados em fácies xisto verde, com estrutura foliada e deformada (CPRM, 2006).
 - Unidade Anfibolítica: intrusões de corpos máficos e ultramáficos que se intercalam com rochas calciossilicáticas. Também pode ocorrer como enclaves ou *boudins* (CPRM, 2006).
- Granito Mogi das Cruzes: biotita monzogranitos equigranulares, foliados, moderadamente peraluminosos, tipo S, ocorrendo de forma arredondada, sin colisionais ao Complexo Embu (CPRM, 2006).

A distribuição geográfica das unidades geológicas descritas está representada na Figura 4.

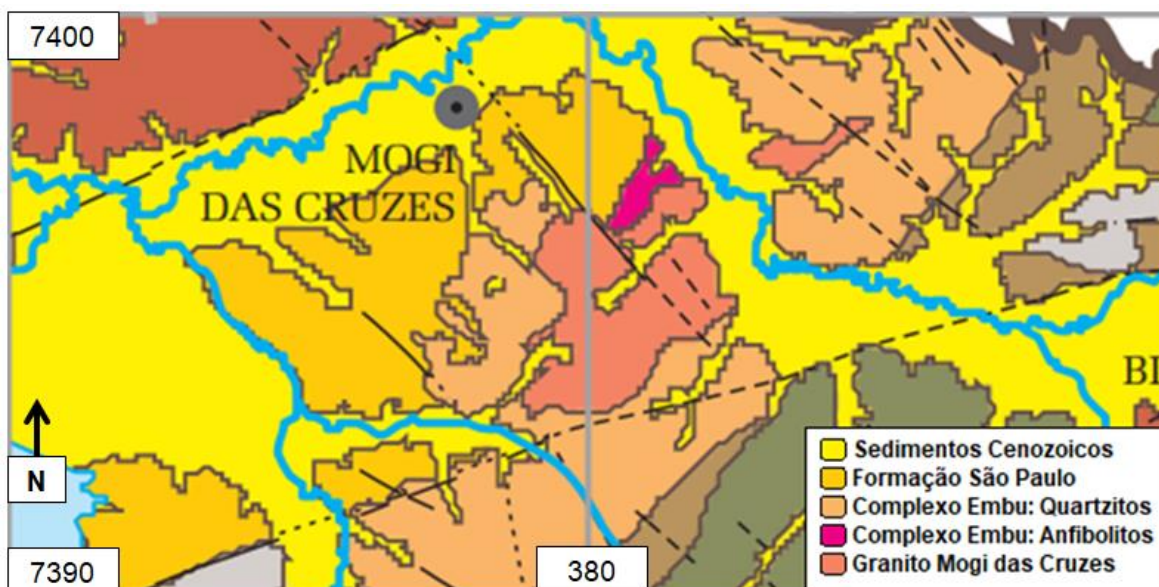


Figura 4. Mapa geológico do município de Mogi das Cruzes – DATUM SIRGAS 2000 (km) Zona 23 S (FUSP, 2002).

3.1.4. Hidrogeologia

A região de Mogi das Cruzes situa-se no domínio hidrogeológico fraturado, na unidade estratigráfica do embasamento fraturado indiferenciado, um aquífero composto por granitoides gnáissicos e xistos. Esse aquífero ocupa uma área de 184.302 km² no sentido SW-NE e possui caráter livre e grande heterogeneidade hidráulica, com produtividade geralmente baixa, condicionada às zonas de fraturas (CPRM, 2015).

Localmente, a área de estudo encontra-se sobre o Aquífero São Paulo, em seus sedimentos quaternários não consolidados. Possui lençol freático próximo à superfície, por vezes aflorante. Com bom potencial para aproveitamento de águas subterrâneas, são aquíferos favoráveis à recarga, com alta porosidade e permeabilidade (DAEE, 2005).

Em investigação ambiental complementar conduzida pela Golder (2017), foram descritos três níveis hidroestratigráficos na unidade:

- Nível A (profundidade de 3,0 a 7,0 m): aquífero freático granular em sedimentos quaternários não-consolidados, condicionado à pressão atmosférica e com nível d'água variando entre 3,63 e 0 m. Tem como principal destino e corpo de descarga o Rio Tietê, além de sofrer influência de áreas alagadas na região. Possui porosidade efetiva $n_e = 21\%$, condutividade hidráulica $K = 5 \times 10^{-4}$ cm/s e velocidade de fluxo $V = 34,16$ m/ano.
- Nível B (profundidade de 7,0 a 10,0 m): localizado no solo superficial de alteração de rocha xistosa, com nível d'água variando entre 3,72 e 0,29 m. Possui porosidade efetiva $n_e = 18\%$, condutividade hidráulica $K = 2 \times 10^{-5}$ cm/s e velocidade de fluxo $V = 0,19$ m/ano.

- Nível C (a partir dos 10,0 m de profundidade): localizado no solo profundo de alteração de rocha xistosa/topo da rocha sã, com nível d'água variando entre 3,78 e 0,39 m. Possui porosidade efetiva $n_e = 18\%$, condutividade hidráulica $K = 6 \times 10^{-6}$ cm/s e velocidade de fluxo $V = 0,06$ m/ano.

A área de interesse possui uma vasta rede de poços de monitoramento, com 89 poços instalados no Nível A, 27 poços instalados no Nível B e 16 poços instalados no Nível C, sendo que os poços mais profundos (Níveis B e C) foram instalados com maior abrangência apenas a partir de 2015.

Portanto, a caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas coletadas na unidade limitou-se apenas a análises realizadas no Nível A, em decorrência da maior disponibilidade de dados. Foi considerado que a água subterrânea amostrada na seção filtrante de cada poço era representativa de todo o Nível A naquela coluna, ou seja, os resultados analíticos observados foram extrapolados como representantes desta unidade hidroestratigráfica.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Gerenciamento de Áreas Contaminadas

A Decisão de Diretoria 38/2017/C da CETESB (2017) recentemente propôs uma revisão dos procedimentos adotados no gerenciamento de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, buscando um enfoque maior no conhecimento das características das áreas contaminadas.

Uma área contaminada é definida como uma área cuja população e/ou o meio ambiente estão sujeitos a impactos negativos em razão da exposição a algum tipo de contaminação, causada por substâncias depositadas, acumuladas, armazenadas, enterradas ou infiltradas (CETESB, 2001).

Tradicionalmente, a abordagem adotada para o gerenciamento de áreas contaminadas segue um fluxograma bem definido, conforme a Figura 5.

Para as etapas de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória, Investigação Detalhada e Avaliação de Risco, a metodologia prevê a construção de um modelo conceitual, definido pela CETESB (2017) como “relato escrito, acompanhado de representação gráfica, dos processos associados ao transporte das substâncias químicas de interesse (SQIs) na área investigada, desde as fontes potenciais, primárias e secundárias de contaminação até os potenciais ou efetivos receptores. Esse relatório deve conter a identificação das substâncias químicas de interesse, das fontes de contaminação, dos mecanismos de liberação das substâncias, dos meios pelos quais as substâncias serão transportadas, dos receptores e das vias de ingresso das substâncias nos receptores.” O conteúdo específico dos modelos conceituais para cada uma das etapas é apresentado de maneira resumida na Tabela 1.

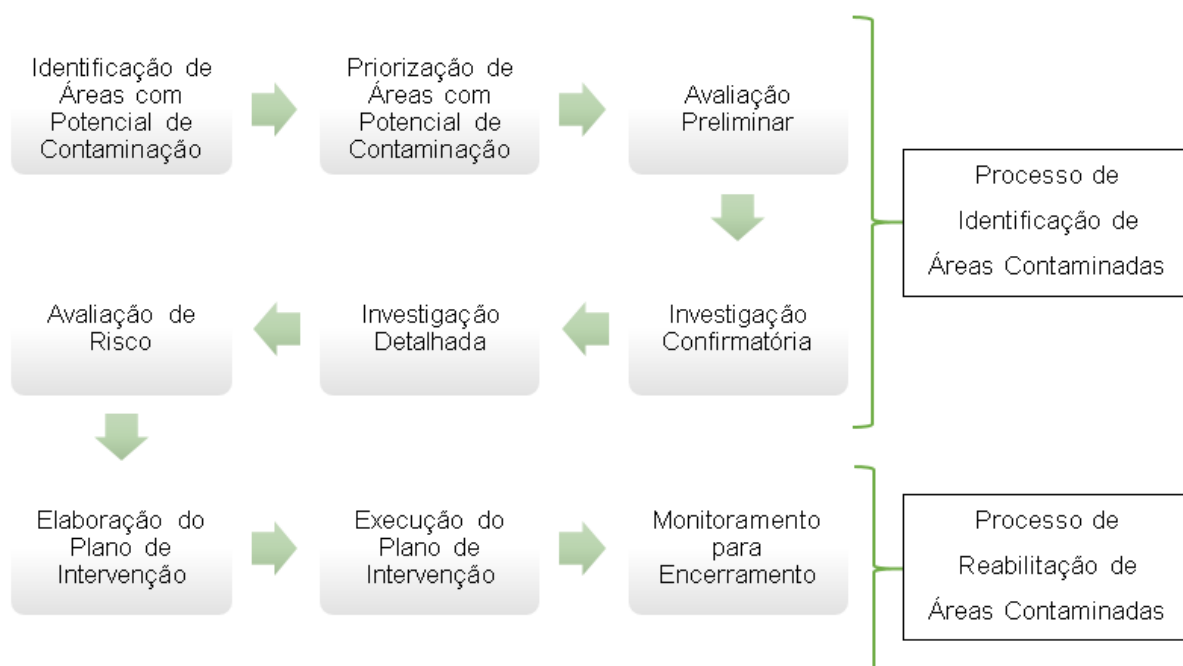


Figura 5. Fluxograma com a metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas proposta pela CETESB (2017).

Tabela 1. Conteúdo desenvolvido no modelo conceitual, elaborado nas diferentes etapas de avaliação e investigação (CETESB, 2017).

Etapa	Modelo Conceitual	Conteúdo
Avaliação Preliminar	MCA 1	Identificação de áreas fonte, fontes potenciais de contaminação, meio físico, SQIs
Investigação Confirmatória	MCA 2	MCA 1 + Caracterização detalhada do meio físico, mapas de plumas de contaminação das SQIs
Investigação Detalhada	MCA 3	MCA 2 + Delineação dos centros de massa das SQIs nos planos horizontal e vertical, quantificação dos contaminantes nas diferentes unidades hidroestratigráficas, modelo tridimensional da subsuperfície
Avaliação de Risco	MCA 4	MCA 3 + Quantificação e mapas do risco para cada SQI, em cada caminho de exposição e em cada unidade de exposição considerando receptores potenciais e presentes, resultados da modelagem matemática

Ainda que o texto da Decisão de Diretoria 38/2017/C da CETESB (2017) não o explicita, é evidente que o modelo conceitual é tratado como o núcleo em processos de gerenciamento de passivos ambientais. Dessa forma, sua idealização não deve ser restrita apenas a essas etapas de trabalho e nem deve se restringir apenas ao conteúdo proposto, constituindo uma ferramenta fundamental para organizar, comunicar e interpretar dados coletados, além de

base para arrazoar com maior fundamentação junto a órgãos ambientais reguladores, Ministério Público, clientes, acionistas e até imprensa sobre as características da área contaminada.

Tipicamente, a construção de um modelo conceitual se dá através de mapas fisiográficos regionais, mapas-base da planta industrial e seus entornos, localização e resultados analíticos de amostras de água subterrânea, solo e água superficial, mapas de contorno de superfícies potenciométricas, concentrações das SQIs e geologia, e resultados de modelos analíticos ou numéricos (Kresic & Mikszewski, 2012).

A delimitação de plumas de contaminação e a avaliação de sua estabilidade ao longo do tempo são componentes importantes na criação dos modelos conceituais, e surgem como os maiores desafios ao diagnóstico de uma área contaminada, de maneira que a análise de tendência de poços individuais, com representações gráficas de Concentração x Tempo e de Concentração x Distância, além de avaliações visuais qualitativas das dimensões das plumas de contaminação, são as técnicas mais comuns aplicadas no mercado, porém estão sujeitas à subjetividade do especialista.

Modelos numéricos computacionais de fluxo de água subterrânea e de transporte de solutos, por sua vez, surgem como ferramentas muito úteis para diagnosticar áreas contaminadas em termos quantitativos e objetivos, porém requerem procedimentos complexos e uma série de premissas a serem levadas em consideração. Por outro lado, com o surgimento de *softwares* mais acessíveis e arquitetados especificamente para o gerenciamento de passivos ambientais, a geoestatística vem emergindo como uma alternativa prática e pragmática para a resolução de problemas ambientais, permitindo a construção de modelos empíricos eliminando vieses temporais e espaciais (Ricker, 2008).

4.1.1. Geoestatística

A geoestatística surgiu como uma solução para a mineração no desenvolvimento de métodos preditivos alternativos aos modelos de estatística aplicada, de maneira que elementos variáveis em função do espaço fossem levados em consideração (Kitanidis, 1997).

Os modelos geoestatísticos são baseados no conhecimento de correlações espaciais entre os dados estudados, em que fatores ponderadores, determinados através de modelos teóricos de variograma, são utilizados para ditar como cada valor mensurado influenciará na estimativa de valores em locais que não foram amostrados, sendo a krigagem o método geoestatístico mais comum.

Embora siga muito popular em técnicas de avaliação de recursos minerais, a geoestatística permanece subutilizada na área ambiental, onde a prática manual de triangulação com interpolação linear segue muito empregada nesse meio (Kresic & Mikszewski, 2012).

Isso se deve a alguns fatores complicadores observados na natureza das investigações e dados ambientais em contraste com o que é praticado na mineração. Em função do grande potencial de retorno financeiro, projetos de exploração mineral possuem uma rede de pontos amostrais muito mais robusta, ao passo que o escopo de projetos de gerenciamento de passivos ambientais costuma contemplar uma rede muito menor. Da mesma forma, a amostragem de água subterrânea comumente ocorre em poços de monitoramento que, multiníveis ou não, têm nas amostras coletadas em suas respectivas seções filtrantes representantes de toda unidade hidroestratigráfica estudada, onde cubagens em três dimensões se tornam mais raras, possibilitadas apenas nos casos de investigações de alta resolução (Suthersan et al., 2016).

Neste cenário, o *software Surfer (Golden Software, 2017)* se apresenta como uma solução prática para o tratamento geoestatístico de dados, permitindo modelagem de variogramas, a aplicação de diversos métodos interpoladores e a rápida e fácil visualização e manipulação de *grids*, arquivos equivalente a matrizes, produtos de interpolações em que cada nó tem um valor estimado atribuído.

4.1.1.1. Variografia

A variografia é uma etapa fundamental da análise geoestatística e consiste em estabelecer um grau de dependência espacial entre as amostras ao longo de diferentes direções, observando e caracterizando as propriedades isotrópicas e anisotrópicas que o meio pode manifestar (Yamamoto & Landim, 2015).

A análise se dá através do variograma, função matemática cujos parâmetros são definidos com base na distribuição espacial das amostras, com uma análise exploratória em todas as direções para identificar que variâncias espaciais entre amostras estão condicionadas a cada direção, e, assim, idealizar um elipsoide de anisotropia que pondere essas variâncias espaciais em suas amplitudes máximas, médias e mínimas, além observar uma possível manifestação de efeito pepita (Kitanidis, 1997).

4.1.1.2. Krigagem

A krigagem consiste em um método computacional geoestatístico para cálculo de estimativas com base nas amplitudes do elipsoide de anisotropia e nas variâncias espaciais que se manifestam em cada direção. Utilizando uma função matemática, a krigagem estima valores por todo o campo amostral com base em valores conhecidos, buscando atribuir a eles pesos com base nos graus de dependência que o conjunto amostral manifestar, apropriando-se da função descrita no variograma. Seu cálculo ainda assimila a definição de parâmetros de vizinhança, eventuais quebras de padrão (como rios ou falhas) e deriva, um modelo de blocos

(que definirá a geometria do *grid* de interpolação) e uma fronteira convexa (Yamamoto & Landim, 2015).

Dessa forma, tem-se como produto um arquivo *.grid* (*grid*), que consiste em uma matriz com um número de linhas e de colunas igual àquela definida no modelo de blocos, e georreferenciada nas coordenadas também ali definidas. Cada elemento da matriz equivale a um valor estimado da variável, a partir dos quais pode-se traçar mapas de contorno com isolinhas garantindo uma caracterização visual completa das variações do universo amostral.

Ainda que represente uma solução para a análise integrada de um grande volume de dados, a krigagem assume algumas premissas que, muitas vezes, não são cumpridas em estudos ambientais em decorrência da natureza de seus dados (Kresic & Mikszewski, 2012), a saber:

- 1) Os dados muitas vezes não se apresentam como estacionários (i.e. variância e média constantes ao longo de todo o universo amostral), pois consistem de concentrações muito baixas, medidas em $\mu\text{g/L}$ e por vezes abaixo do limite de quantificação do laboratório, e com a presença de *hotspots*, locais próximos a uma fonte de contaminação que exibem altas concentrações de contaminante. Assim, a rede de poços tende a se concentrar próxima aos *hotspots* e exercerá grande influência na geometria do elipsoide de anisotropia modelado pelo variograma, e, do mesmo modo, possíveis fontes de contaminação podem ser ocultadas devido ao efeito suavizador da krigagem.
- 2) Os modelos teóricos de variograma das SQIs sofrem influência do fluxo de água subterrânea, causando um efeito de deriva espacial. Esse efeito deve ser corrigido utilizando a krigagem de tendência, uma técnica de transformação de dados que visa dissociar tendências parecidas entre duas variáveis, porém não necessariamente iguais (Lisboa et al., 2016) ou até mesmo a cokrigagem, uma versão multivariada da krigagem entre a SQI e a carga hidráulica (Kitanidis, 1997).
- 3) A localização das amostras não é aleatória, sendo que a rede de poços de monitoramento é desenvolvida ao longo de várias investigações e tende a ser construída com vias à delimitação das plumas de contaminação e ao monitoramento de bens a proteger.
- 4) A distribuição estatística dos dados não costuma ser normal, em razão de muitos valores que se apresentam abaixo do limite de quantificação e de valores muito altos concentrados nos *hotspots*, devendo ser transformados com técnicas como transformação logarítmica.

4.1.1.3. Validação Cruzada

A validação cruzada consiste em uma análise estatística quantitativa sobre o modelo geoestatístico desenvolvido, com a técnica de regressão linear (ver seção 4.1.2.1) aplicada a

um diagrama de dispersão entre os valores reais e os valores estimados pela krigagem (Kohavi, 1995). Um modelo perfeito mostraria uma correlação de 100% entre as duas variáveis, com a reta de regressão apresentando um coeficiente angular de 45°, porém este nunca é o caso, de modo que sua significância estatística deve ser avaliada por meio de testes de hipóteses.

Os valores de correlação podem ser apresentados como Coeficiente de Correlação de Pearson, em caso de uma dependência linear, ou como Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman, em caso de uma amostra não-paramétrica, calculados pelas Equações I e II, respectivamente (Corder & Foreman, 2014).

$$\rho = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X) \times var(Y)}} \quad (\text{Equação I})$$

$$r_s = \frac{cov(rank_X, rank_Y)}{\sigma_{rank_X} \times \sigma_{rank_Y}} \quad (\text{Equação II})$$

Onde:

ρ = Coeficiente de Correlação de Pearson

r_s = Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman

cov = Covariância entre duas variáveis

var = Variância de uma variável

rank = Posição de uma variável em uma classificação relativa a seu próprio conjunto

σ = Desvio padrão de uma variável

X e Y = Variáveis cuja correlação deseja-se calcular

4.1.1.3.1. Teste de Hipóteses

O teste de hipóteses consiste em um teste estatístico que visa quantificar a significância estatística de um valor de correlação calculado entre duas variáveis quaisquer, com base no número de graus de liberdade observados no conjunto amostral (Fisher, 1935 *apud* Bendat & Piersol, 1971).

O cálculo é feito através da probabilidade de significância (p-valor), em que se define um valor máximo de nível de significância, comumente de 0,05, e uma hipótese nula H_0 para a correlação observada, de que não há correlação entre as duas variáveis. Se o p-valor calculado for menor que 0,05, a hipótese nula é rejeitada, aceitando-se a hipótese alternativa de que existe uma correlação com significância estatística. Isso significa que a correlação observada entre as amostras só ocorreria por acaso em apenas 5% das amostras. Os cálculos de p-valor, feitos pelos Excel, são apresentados na Equação III, para ρ , e na Equação IV, para r_s .

$$p - \text{valor} = \text{DIST.T}(\text{RAIZ}((n - 2) * \rho^2 / (1 - \rho^2)); n - 2; \text{FALSO}) \quad (\text{Equação III})$$

$$p - \text{valor} = \text{DIST.T}((r_s * \text{RAIZ}(n - 2) / \text{RAIZ}(1 - (r_s^2))); n - 2; 2) \quad (\text{Equação IV})$$

Onde:

n = Número de pares analisados

ρ = Coeficiente de Correlação de Pearson

r_s = Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman

4.1.2. Estabilidade de Plumas de Contaminação

A avaliação da estabilidade de plumas de contaminação é uma parte fundamental na gestão de passivos ambientais, pois o dinamismo observado em fluxos de água subterrânea requer que investigações e intervenções ambientais sejam cuidadosamente planejadas. A análise deve consistir em uma combinação de métodos quantitativos e qualitativos, em que as taxas e magnitudes das mudanças que ocorrem em uma área contaminada sejam levadas em consideração, e que se observe variações ocorrendo dentro de uma faixa aceitável (Vanderford, 2010).

Ricker (2008) propõe uma metodologia pragmática e quantitativa, que consiste em uma análise conjunta dos resultados analíticos obtidos em todos os poços por meio de geoestatística e cálculos de volume. Em seu artigo, o autor descreve uma unidade de tratamento de madeira em Louisiana (EUA), que operou entre 1937 e 1997, onde se constatou contaminação por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH).

Com o auxílio do *software Surfer (Golden Software, 2017)*, o autor construiu superfícies de interpolação com base em resultados de concentração de naftaleno ($\mu\text{g/L}$), amostrados em 57 poços de monitoramento ao longo de 18 anos. A partir dessas superfícies, foram obtidas as áreas das plumas (m^2) de cada uma das campanhas de monitoramento. Com a divisão do volume relativo à concentração da pluma ($\text{m}^2 \times \mu\text{g/L}$) pela área (m^2), obteve-se a altura média da superfície, equivalente à concentração média da pluma ($\mu\text{g/L}$). Empregando-se os valores de concentração estimados como fatores ponderadores, as médias ponderadas das coordenadas X e Y revelam onde se encontra o local com a maior concentração no *grid* de interpolação gerado, conforme as Equações V e VI:

$$X(z) = \frac{\sum_{i=1}^n X \times Z}{\sum_{i=1}^n Z} \quad (\text{Equação V})$$

$$Y(z) = \frac{\sum_{i=1}^n Y \times Z}{\sum_{i=1}^n Z} \quad (\text{Equação VI})$$

Onde:

$X(z)$ = Média ponderada da coordenada X (metros) com fator ponderador Z ($\mu\text{g/L}$)

$Y(z)$ = Média ponderada da coordenada Y (metros) com fator ponderador Z ($\mu\text{g/L}$)

X = Coordenadas de X (metros) dos nós do *grid* de interpolação

Y = Coordenadas de Y (metros) dos nós do *grid* de interpolação

Z = Concentração de naftaleno ($\mu\text{g/L}$) dos nós do *grid* de interpolação

A partir desses valores e de variáveis obtidas durante investigações em sua área de estudo, Ricker (2008) também pôde calcular a massa de naftaleno em fase dissolvida (kg) no aquífero, conforme Equação VII.

$$m = A \times C \times h \times n_e \times k \quad (\text{Equação VII})$$

Onde:

m: Massa da pluma (kg)

A: Área da pluma de contaminação (m^2)

C: Concentração média da pluma de contaminação ($\mu\text{g/L}$)

h: Espessura média do aquífero (m)

n_e : Porosidade efetiva média do aquífero

k: Fator de conversão de $\text{m}^3 \times \mu\text{g/L}$ para $\text{kg} = 10^{-6}$

Dessa forma, foi possível assimilar grandes volumes de dados históricos em uma análise concisa e significativa, em que diversos resultados de diversos poços foram condensados em três valores por campanha, representando a área, concentração média e massa da pluma de contaminação, além da localização do centro de concentração máxima, permitindo que a análise de tendência desses valores seja mais eficiente do que a abordagem de análise por poços individuais, e possibilitando, também, observar a evolução dos locais de maior concentração ao longo dos anos.

4.1.2.1. Análise de Tendência

A avaliação da estabilidade de plumas de contaminação é um ponto chave para a tomada de decisões no processo de gerenciamento de áreas contaminadas, de modo que seu diagnóstico preciso pode significar em um melhor direcionamento de recursos e esforços na investigação, contenção ou remediação de uma contaminação.

Para a identificação de padrões que possam corroborar com o diagnóstico da estabilidade de uma pluma de contaminação, o uso de análises de tendência tem se mostrado uma prática muito comum em estudos ambientais (Vanderford, 2010). A utilização de métodos estatísticos como regressão linear e teste de Mann-Kendall sobre séries históricas permitem avaliar

quantitativamente se concentrações estão aumentando, diminuindo ou estáveis ao longo do tempo.

Essas técnicas são comumente aplicadas a dados de poços de monitoramento individuais, porém frequentemente apresentam resultados contraditórios, fragmentados e/ou inconclusivos (Vanderford, 2010), de maneira que tendências de variáveis mais universais, como aquelas apresentadas na seção 4.1.2, se mostram mais eficientes na avaliação da estabilidade de plumas.

4.1.2.1.1. Regressão linear

A regressão linear é um método estatístico quantitativo e qualitativo utilizado para explicar uma relação linear entre duas variáveis. Consiste na construção de um diagrama de dispersão entre as variáveis em questão e na determinação de uma função linear de regressão que melhor se aproxime de todos os pontos, e cujo coeficiente angular determinará a direção e a força da relação entre as variáveis (Montgomery *et al.*, 2012).

Em estudos ambientais, tem-se a comparação entre concentração, massa ou área da pluma, entre outros, com o tempo, de maneira que um coeficiente angular negativo determina uma tendência de diminuição e um coeficiente angular positivo determina um aumento. O método, no entanto, requer uma distribuição normal dos dados, e isso raramente ocorre em resultados analíticos de amostras de água subterrânea, em razão do grande número de amostras abaixo do limite de quantificação e da ocorrência de *hotspots*.

4.1.2.1.2. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um procedimento estatístico quantitativo e qualitativo para a determinação de tendências positivas, negativas ou estáveis em séries históricas. Por se tratar de um método não-paramétrico, não necessita de condições específicas na distribuição dos dados e, portanto, tem seu uso mais disseminado em estudos ambientais (Vanderford, 2010).

Consiste, essencialmente, no cálculo da estatística de Mann-Kendall (S) acompanhada de um fator de confiança (CF) e um coeficiente de variação (COV). COV é igual ao desvio padrão sobre a média, CF é igual a $1-p$, em que p é a probabilidade de aceitar a hipótese nula H_0 de que não há uma tendência linear ao longo do tempo. S é um número inteiro, obtido a partir da Equação VIII (GSI Environmental Inc., 2012):

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n Xi - Xj \quad (\text{Equação VIII})$$

Onde:

$X_i - X_j$ = Comparação qualitativa do valor de uma campanha mais recente (X_i) com o valor de uma campanha passada (X_j), de forma que:

$$X_i - X_j = \begin{cases} 1 & \text{se } X_i > X_j \\ 0 & \text{se } X_i = X_j \\ -1 & \text{se } X_i < X_j \end{cases}$$

O exemplo apresentado na Tabela 2 esquematiza o cálculo de forma mais ilustrativa:

Tabela 2. Exemplo ilustrativo de como a estatística S de Mann-Kendall é calculada (GSI Environmental Inc., 2012).

	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Evento 5
Benzeno (mg/L)	13.95	42.08	33.90	33.67	18.05
Comparação com Evento 1	-	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
Comparação com Evento 2	-	-	- 1	- 1	- 1
Comparação com Evento 3	-	-	-	- 1	- 1
Comparação com Evento 4	-	-	-	-	- 1
				Somatória de S =	-2

Assim, as tendências podem ser classificadas conforme a Tabela 3:

Tabela 3. Classificação do tipo de tendência conforme os resultados de estatística de Mann-Kendall (S), fator de confiança (CF) e coeficiente de variação (COV) obtidos no teste de Mann-Kendall.

S	Grau de Confiança	Tendência
$S > 0$	$CF > 95\%$	Aumentando
$S > 0$	$95\% \geq CF \geq 90\%$	Provavelmente Aumentando
$S > 0$	$CF < 90\%$	Sem Tendência
$S \leq 0$	$CF < 90\%$ e $COV \geq 1$	Sem Tendência
$S \leq 0$	$CF < 90\%$ e $COV < 1$	Estável
$S < 0$	$95\% \geq CF \geq 90\%$	Provavelmente Diminuindo
$S < 0$	$CF > 95\%$	Diminuindo

De acordo com Vanderford (2010), em termos práticos, observa-se que uma pluma estável tem comportamento previsível, à medida que sua área e concentrações médias não estão aumentando e não há mudanças significativas quando perturbada. Uma pluma aumentando demonstra concentrações médias e área expandindo, de maneira que novos riscos podem surgir e que modelos de exposição podem estar sendo subestimados, ao passo que uma pluma diminuindo demonstra redução em concentrações médias e área, de forma que os modelos de avaliação de risco podem estar sendo superestimados. Uma pluma que não apresenta tendência significa que seu comportamento apresenta grande variação ao longo do tempo e não pode ser estabelecida uma propensão.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades realizadas neste trabalho consistiram integralmente em práticas de escritório, sendo que a visita de campo prevista no cronograma inicial não pôde ser realizada. Assim, o

trabalho foi desenvolvido conforme fluxograma apresentado na Figura 6, cujas etapas encontram-se pormenorizadamente descritas nos tópicos subsequentes.

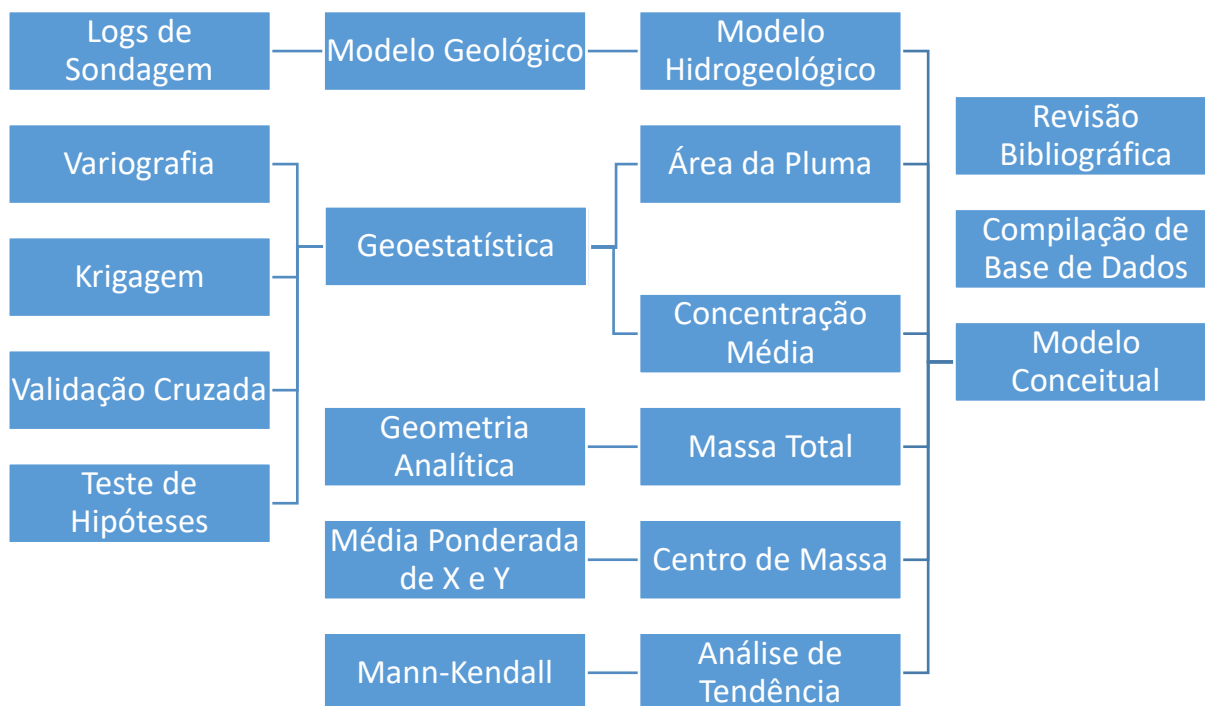


Figura 6. Fluxograma contemplando o trabalho realizado e as ferramentas utilizadas.

5.1. Compilação da Base de Dados

Essa etapa do trabalho compreendeu a compilação dos dados de relatórios e projetos pretéritos realizados na área de estudo. Os dados incluíram histórico da propriedade, perfis construtivos e litológicos de sondagens, medições de parâmetros hidrodinâmicos das unidades hidroestratigráficas, e resultados analíticos laboratoriais referentes às SQIs presentes na água subterrânea: bário, boro, molibdênio, sulfato, fluoreto, tetracloroetano (PCE), tricloroetano (TCE) e cis-1,2-dicloroetano (cis-1,2-DCE).

A compilação e manejo dos dados fornecidos pela Golder foi feita através do *software ESdat (EScIS, 2017)*, um programa do tipo *Relational Database Management System (RDBMS)* arquitetado para o gerenciamento e organização de dados ambientais, que permitiu a exportação e a análise das informações a partir de uma base dados georreferenciada do projeto. Dessa forma, foram compilados 3.111 resultados analíticos de 84 poços de monitoramento, amostrados ao longo de 7 campanhas conduzidas entre 2014 e 2017 (Anexo A) e 86 logs de sondagem, executados ao longo de 11 anos, e distribuídos em 4 relatórios de investigações confirmatória e detalhada.

Destaca-se, no entanto, que não haviam resultados analíticos disponíveis para bário nas campanhas de abril e outubro de 2014.

5.2. Construção do Modelo Geológico

O modelo geológico foi construído utilizando o *software Surfer (Golden Software, 2017)*, através da interpretação dos logs de sondagem compilados. Foram definidas 10 unidades estratigráficas, que tiveram suas cotas medidas através da subtração de suas profundidades pela topografia dos poços de monitoramento. Destaca-se que as unidades geológicas tiveram suas descrições mantidas conforme foram descritas em campo.

A partir de suas cotas, foram gerados *grids* de interpolação linear para cada unidade, empilhados em um modelo tridimensional que corresponde à geologia da área de estudo. Também foi criado um modelo derivado deste, com um corte central que exhibe feições mais importantes no centro da área de interesse.

5.3. Construção do Modelo Hidrogeológico

O modelo hidrogeológico também foi construído no *software Surfer (Golden Software, 2017)* a partir da interpretação do modelo geológico e de dados hidrodinâmicos fornecidos pela *Golder*. Dessa forma, as unidades geológicas foram associadas a valores de condutividade hidráulica, porosidade efetiva e velocidade de águas subterrâneas, além da própria natureza do depósito (granular, solo de alteração de rocha ou topo de rocha sã), de maneira que foram combinadas em três diferentes unidades hidroestratigráficas, além do atero.

Essa combinação se deu através da mescla dos *grids* geológicos, sendo que o seu empilhamento em um modelo tridimensional representa como estão dispostas as camadas com diferentes comportamentos hidrogeológicos. O modelo também inclui um mapa potenciométrico do Nível A disposto sobre o modelo tridimensional, calculado por interpolação linear da média das cargas hidráulicas de todas as campanhas, com vias a atenuar o efeito sazonal.

5.4. Análise Geoestatística

Usando o variograma como ferramenta principal, buscou-se estabelecer o grau de dependência espacial entre as amostras ao longo das diferentes direções, com a observação e descrição das características anisotrópicas que o meio apresentava para cada composto, com o intuito de se avaliar a qualidade dos resultados em termos quantitativos e objetivos.

Partiu-se do pressuposto de que a anisotropia do meio físico manteve-se constante durante todo o período, optando-se, assim, pela modelagem de apenas um variograma teórico para cada composto. Assim, a krigagem de todas as campanhas considerou apenas o modelo de variograma teórico da campanha de monitoramento com o maior número de poços amostrado (novembro de 2017), conforme Tabela 4, para que fossem registradas estruturas que não seriam observáveis em uma malha de pontos menor, mas que inadvertidamente

influenciariam na anisotropia. A variografia e a krigagem foram feitas no *software Surfer* (Golden Software, 2017), e os variogramas são apresentados no Anexo B.

Tabela 4. Número de poços de monitoramento amostrados por campanha.

Campanha de Amostragem	Poços Amostrados
abr/14	50
out/14	54
mai/15	54
fev/16	76
jul/16	75
mai/17	79
nov/17	84

Uma vez caracterizados os parâmetros variográficos para anisotropia observada na distribuição espacial de cada composto, foram definidos modelos de blocos de 100 linhas e 68 colunas, com espaçamento médio de 17 m entre os pontos amostrados. Destaca-se que a malha de pontos é extremamente irregular, circundando densamente os *hotspots* e, menos densamente, a área de interesse em si. O algoritmo de krigagem do *software Surfer* (Golden Software, 2017) realizou a interpolação sobre esse modelo de blocos, gerando 56 *grids* de interpolação e seus respectivos relatórios de validação cruzada, referentes aos 8 compostos analisados nas 7 campanhas de monitoramento.

5.5. Validação Cruzada

A validação dos resultados obtidos com a interpolação dos dados primários foi feita através da validação cruzada, em que a correlação entre os valores medidos e os valores estimados foi calculada através da Equação II (Seção 4.1.1.3), e é apresentada automaticamente pelo *software Surfer* (Golden Software, 2017) em seu relatório de krigagem, expressa como Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman.

5.5.1. Teste de Hipóteses

Dada uma hipótese nula H_0 de que não há associação entre os valores obtidos através da interpolação geoestatística e os resultados analíticos das amostras coletadas em campo, define-se em 0,05 o nível máximo de significância estatística. A partir do número de amostras coletadas e dos resultados obtidos com a validação cruzada em cada campanha e para cada composto, a probabilidade de significância (p-valor) é calculada através da Equação IV (Seção 4.1.1.3.1), de forma que a hipótese nula H_0 é rejeitada nos casos em que os resultados deem abaixo de 0,05, com uma aceitação da hipótese alternativa indicando que existe uma correlação com 95% significância estatística.

5.6. Cálculos das dimensões das plumas de contaminação

5.6.1. Área e Concentração Média

Os cálculos de dimensões das plumas de contaminação foram feitos baseados nos *grids* de interpolação gerados pelo *software Surfer (Golden Software, 2017)*. Através da ferramenta de cálculo de volume do *software*, foram extraídos os dados de área planar total (m²) das plumas de contaminação e de volume relativo à concentração (m² x µg/L), calculados a partir de um limite inferior definido para cada composto, conforme ilustrado na Figura 7. A partir desses dados, foi possível calcular, também, a concentração média de cada pluma de contaminação (µg/L), com a divisão entre o volume relativo pela área planar da pluma.

Esse limite inferior foi definido em concordância com padrões de qualidade estabelecidos por órgãos ambientais, de modo que os cálculos desenvolvidos contemplassem apenas aquilo que é, de fato, caracterizado como contaminação. Optou-se por seguir os valores mais restritivos definidos pelas normas do CONAMA (2009) e da CETESB (2016), que dispõem sobre valores orientadores a serem adotados no processo de gerenciamento de passivos ambientais. Os compostos inorgânicos não-metálicos, fluoreto e sulfato, não possuem valores definidos pelas referidas normas e, portanto, tiveram seus valores comparados a CONAMA (2008), que dispõe sobre os valores máximos permitidos para o consumo humano. Destaca-se, ainda, que o DCE considerado pelas deliberações citadas é uma somatória de cis-DCE com trans-DCE, portanto optou-se por utilizar o padrão de qualidade estabelecido pela agência ambiental americana – referência global na questão – USEPA (2018), que atribui um valor específico para o isômero *cis*. Dessa forma, os seguintes valores foram utilizados (Tabela 5):

Tabela 5. Valores máximos permitidos pelas normas indicadas.

Parâmetro	Norma	Padrão de Qualidade (µg/L)
1,2-Dicloroetano - cis	USEPA (2018)	36
Tricloroetano	CETESB (2016)	20
Tetracloroetano	CONAMA (2009)	40
Bário Dissolvido	CONAMA (2009)	700
Boro Dissolvido	CONAMA (2009)	500
Molibdênio Dissolvido	CETESB (2016)	30
Fluoreto Total	CONAMA (2009)	1.500
Sulfato Total	CONAMA (2009)	250.000

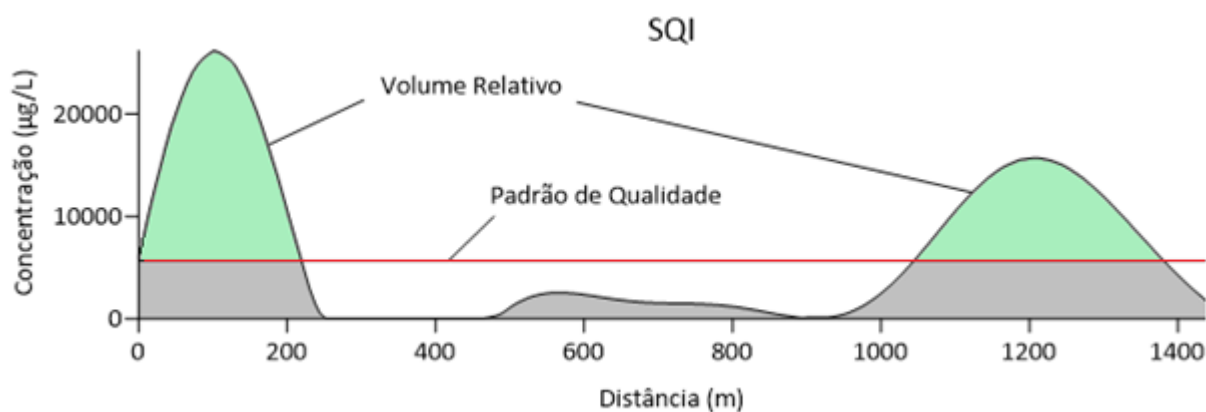


Figura 7 Exemplo de perfil de concentração de uma SQI no espaço ilustrando o limite inferior a partir do qual é feito o cálculo do volume relativo e da área planar de cada pluma de contaminação.

5.6.2. Massa

O cálculo de massa da pluma de contaminação foi feito a partir de uma modificação feita na Equação VII (Seção 4.1.2), de modo que a variação espacial da espessura média do aquífero fosse levada em conta e a área limitada pelo *grid*, e não pelos padrões de qualidade estabelecidos pelos órgãos ambientais.

A porosidade efetiva considerada como representativa para o pacote saturado estudado é apresentada em relatório de investigação complementar realizado pela *Golder* (2017).

Dessa forma, utilizando o *software Surfer* (*Golden Software, 2017*), foi criado um *grid* de interpolação com a espessura da unidade hidroestratigráfica, a partir do qual o cálculo de massa seria extrapolado verticalmente, com base definida na base do Nível A e topo na superfície freática, ambos descritos em detalhe na Seção 6.1.2 **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Utilizando multiplicação escalar de matrizes, através da função de *Grid Math* do *software Surfer* (*Golden Software, 2017*), a Equação VII foi alterada, resultando na Equação IX (modificada de Ricker, 2008). O caráter espacial do cálculo é ilustrado de maneira esquemática na Figura 8.

$$m = C \times h \times n_e \times k \quad (\text{Equação IX})$$

Onde:

- m: Matriz com a distribuição de massa da pluma (kg)
- C: Matriz com a distribuição de concentração da pluma (µg/L)
- h: Matriz com a distribuição de espessura do aquífero (m)
- n_e : Porosidade efetiva média do aquífero = 0,21 (*Golder, 2017*)
- k: Fator de conversão de $\text{m}^3 \times \mu\text{g/L}$ para kg = 10^{-6}

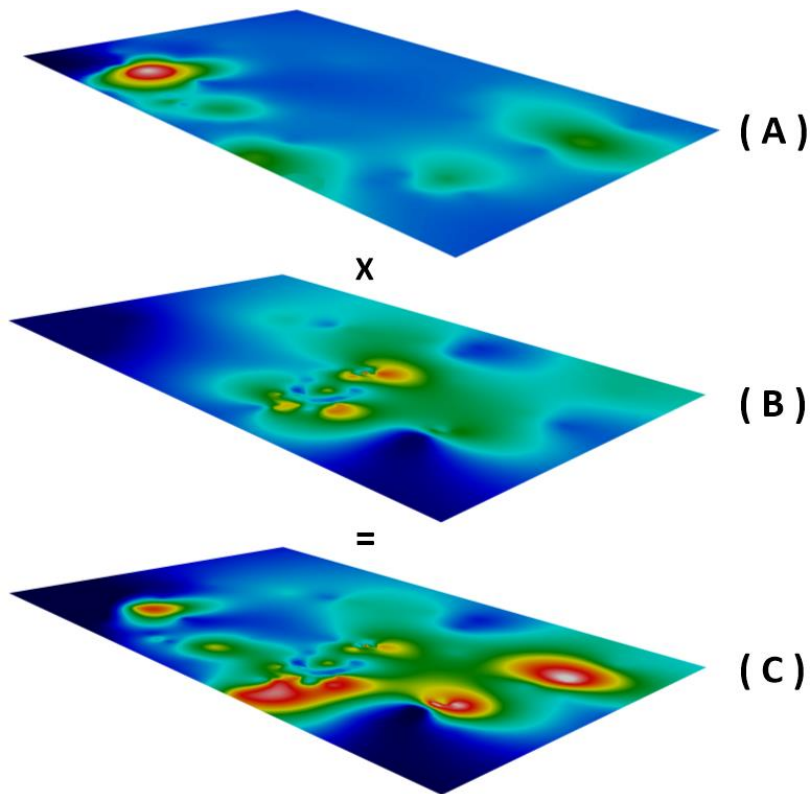


Figura 8. Representação esquemática ilustrando como a massa de contaminantes em fase dissolvida (C) é calculada espacialmente em função das concentrações observadas nos poços de monitoramento (A) e da espessura do aquífero (B). As constantes de porosidade efetiva e conversão de unidades não estão representadas no esquema acima. Escala ilustrativa.

Uma vez calculados os *grids* de distribuição de massa dos contaminantes para cada campanha, calcula-se o volume total dessa superfície amorfa, resultando em valores equivalentes aos da massa total de contaminantes em fase dissolvida, conforme ilustrado na Figura 9. Os centros de massa das plumas de contaminação, por sua vez, foram calculados a partir da média ponderada das coordenadas X e Y dos *grids* de distribuição de massa, utilizando a massa dos nós como fator ponderador, conforme Equações V e VI.

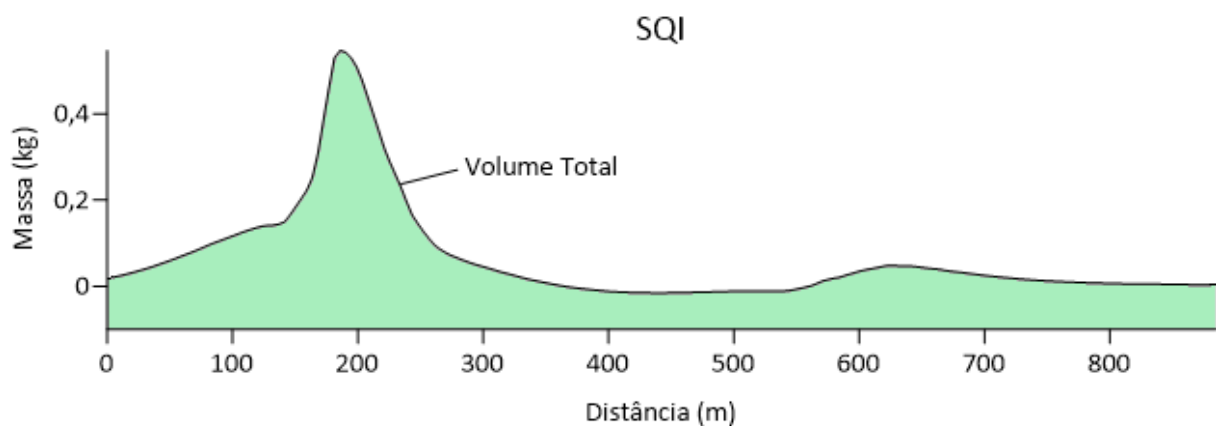


Figura 9. Exemplo de perfil de massa de uma SQI no espaço a partir do qual é feito o cálculo do volume total, equivalente a massa total.

5.7. Análise de tendência

Os cálculos das dimensões (área, concentração média e massa) das plumas de contaminação forneceram séries temporais de resultados cujas tendências foram avaliadas pelo teste de *Mann-Kendall*, um método estatístico não-paramétrico utilizado para analisar tendências de dados ao longo do tempo, muito utilizado em processos de avaliação e gerenciamento de passivos ambientais (Gilbert, 1987). Os testes foram feitos utilizando-se o *toolkit GSI Mann-Kendall* (GSI Environmental Inc, 2012), que revela se uma série temporal de dados apresenta tendência de estar “Diminuindo”, “Provavelmente Diminuindo”, “Estável”, “Provavelmente Aumentando” ou “Aumentando”, ou de não apresentar tendência, conforme discutido na Seção 4.1.2.1.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Modelo Conceitual

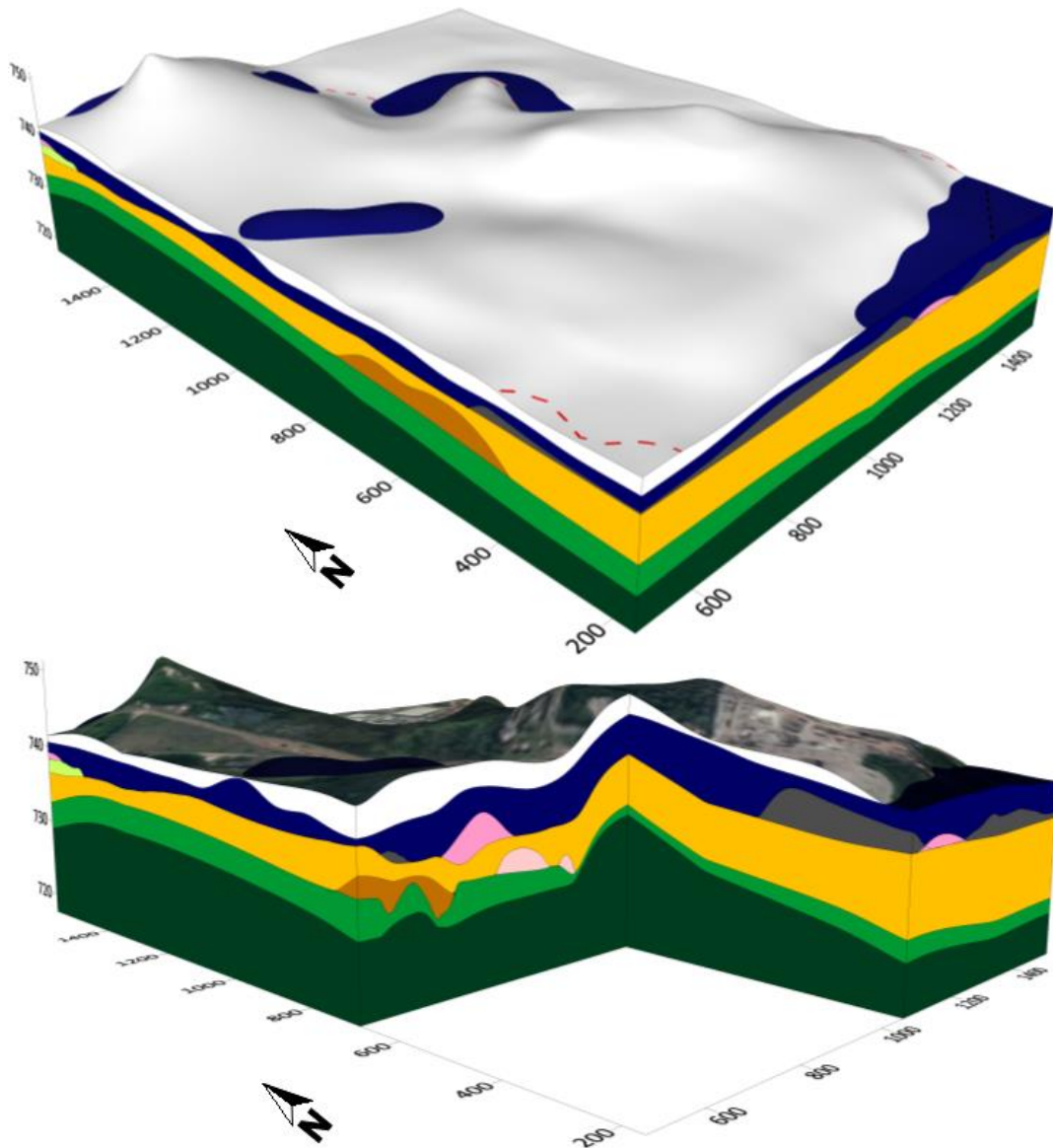
6.1.1. Geologia

A construção do modelo geológico se deu através da interpretação de 86 *logs* de sondagem, executados ao longo de 11 anos, e distribuídas em quatro relatórios de investigação confirmatória e detalhada.

A geologia local foi dividida em 10 unidades, descritas conforme foram caracterizadas em campo, de maneira a permitir a observação em detalhe de particularidades da estratigrafia (Figura 10), com o intuito de identificar estruturas que poderiam evidenciar caminhos preferenciais de transporte da água subterrânea e de contaminantes e/ou locais onde contaminantes poderiam se armazenar.

O embasamento descrito no local contempla duas unidades de solos de alteração de rocha gnáissica, com níveis diferentes de alteração, que são correspondentes às rochas do Complexo Embu. Seu paleoterreno apresenta duas feições que merecem destaque, conforme visto na Figura 10: a sudoeste, foi escavado por sedimentos com granulometria relativamente grossa, inclusive contendo cascalhos, sendo, possivelmente, paleocanais do Rio Tietê; no centro, apresenta cotas mais elevadas, podendo indicar algum elemento da geologia estrutural local, como uma falha. Em ambos os casos, é possível que sejam locais de fluxo preferencial dos fluidos subterrâneos.

Sobre o embasamento, encontram-se seis unidades sedimentares que podem corresponder à Formação São Paulo ou aos sedimentos cenozoicos da planície de inundação do Rio Tietê. Predomina uma areia fina a grossa que se estende por toda a área, em espessura que varia de 3 a 8 m. A oeste, sob sua base ocorrem areias médias com cascalho, enquanto que, mais próximo ao centro da área, ocorrem argilas pouco arenosas finas.



LEGENDA

- Aterro: silte arenoso-argiloso róseo com resíduo (carepa, escória)
- Argila orgânica preta
- Argila arenosa cinza
- Argila plástica branca
- Areia argilosa branca
- Areia fina a grossa
- Areia média com cascalho
- Argila pouco arenosa (fina) cinza claro
- Solo de alteração de rocha gnáissica xistosa composto por silte arenoso verde, caulínítico, micáceo, com foliação original preservada
- Solo de alteração de rocha gnáissica xistosa composto por silte argilo-arenoso (muito fina) verde, caulínítico, micáceo, com fragmentos milimétricos a centimétricos de rocha sã, com foliação original preservada

Figura 10. Modelo geológico com a estratigrafia local observada na região (exagero vertical de 3 vezes) e uma versão cortada (exagero vertical de 5 vezes) evidenciando os detalhes da porção central da área de estudo, incluindo uma imagem aérea do local em superposição ao modelo. Datum fictício.

Sobre o pacote arenoso predominante, ocorrem finas lentes intercalações de areia argilosa branca e argila plástica branca a noroeste. Na porção mais ao sul, ocorrem algumas lentes de argila arenosa cinza.

Por fim, o aterro é caracterizado com uma argila orgânica preta em sua base, seguido por sedimentos siltosos com frações de areia e argila e ocorrência de alguns resíduos, como carepa e escória.

6.1.2. Hidrogeologia

O modelo hidrogeológico apresentado na Figura 11 sumariza a relação entre os parâmetros hidrodinâmicos (Seção 3.1.4) e as unidades mapeadas (Seção 6.1.1). Sua construção foi feita com base no modelo geológico, de maneira que as unidades hidroestratigráficas permeáveis do local fossem colocadas em evidência, pois apresentam maiores diferenças hidrogeológicas entre si. Assim, as unidades foram correlacionadas conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Correspondência entre as unidades geológicas descritas e os parâmetros hidráulicos descritos para cada nível do aquífero.

Unidade Geológica		Parâmetros Hidráulicos	Unidade Hidrogeológica	
	Aterro: silte arenoso-argiloso róseo com resíduo	-	Aterro	
	Argila orgânica preta			
	Areia argilosa branca	$n_e = 21\%$	Nível A	
	Areia fina a grossa	$K = 5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$		
	Areia média com cascalho	$V = 34,16 \text{ m/ano}$		
	Solo de alteração de rocha gnáissica xistosa composto por silte arenoso verde, caulínítico, micáceo, com foliação original preservada	$n_e = 18\%$ $K = 2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ $V = 0,19 \text{ m/ano}$	Nível B	
	Solo de alteração de rocha gnáissica xistosa composto por silte argilo-arenoso (muito fina) verde, caulínítico, micáceo, com fragmentos milimétricos a centimétricos e rocha sã, com foliação original preservada	$n_e = 18\%$ $K = 6 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ $V = 0,06 \text{ m/ano}$	Nível C	

Destaca-se que as unidades argílicas descritas não foram caracterizadas hidráulicamente em outras investigações, e possuem pequenas dimensões, porém teriam papel importante na construção do modelo. As argilas têm características de baixa permeabilidade e alta porosidade, podendo atuar como barreiras hidráulicas e ao mesmo tempo reter

contaminantes, de modo que podem funcionar como fontes secundárias a longo prazo, mas também como componente importante em sistemas de remediação de áreas contaminada, a depender da natureza do problema e da qualidade da caracterização do meio físico.

O lençol freático foi posicionado a partir da média das sete campanhas de monitoramento, de modo a atenuar o efeito sazonal. O modelo hidrogeológico sugere que a área de estudo apresenta nível d'água aflorante em três porções diferentes, e isso é corroborado pela existência de áreas alagadas ocorrendo nestas mesmas porções (Golder, 2017).

O nível d'água aflorante também sugere que o substrato rochoso funcione como um grande pacote saturado em uma zona de descarga, também corroborado pelos levantamentos geomorfológicos (Seção 3.1.1): a área encontra-se em local relativamente baixo e próxima ao Rio Tietê, em um local de descarga regional.

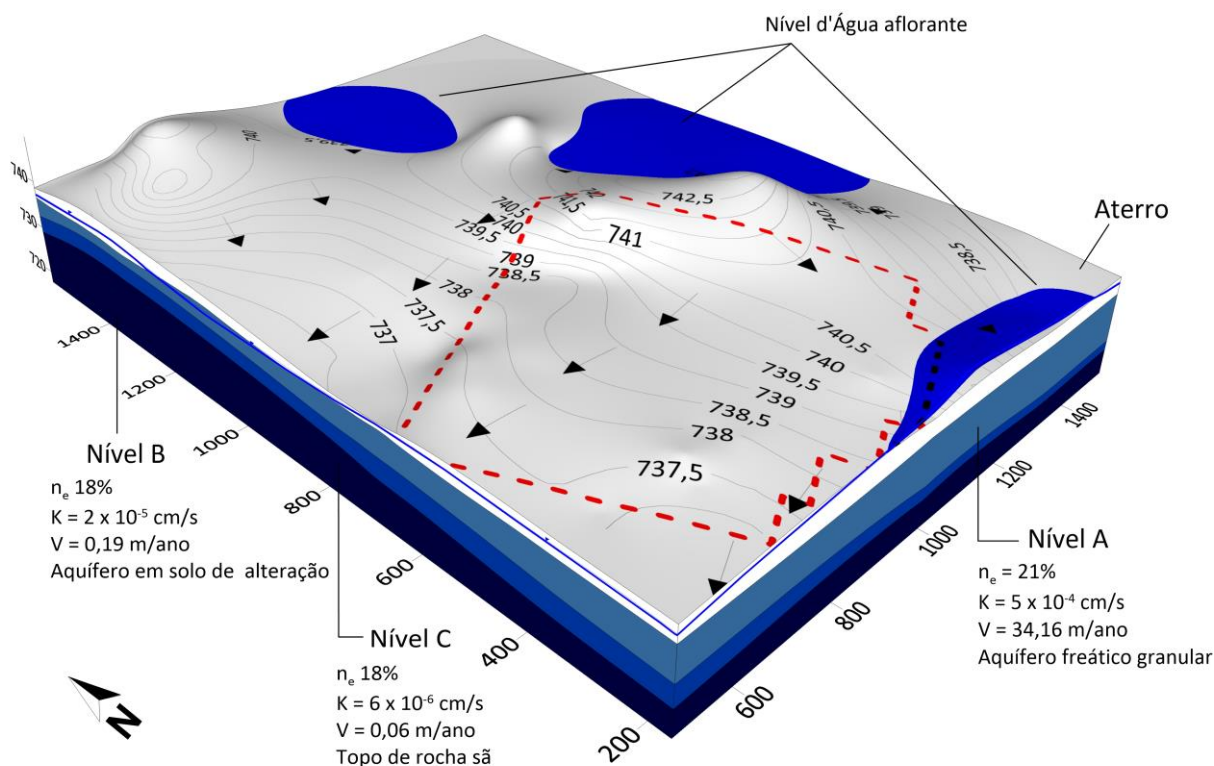


Figura 11. Modelo hidrogeológico resumando os locais de ocorrência e as espessuras dos níveis A, B e C do aquífero, incluindo especificações hidrodinâmicas. Na superfície, é possível identificar os locais onde o nível d'água é aflorante, incluindo, ainda as curvas potenciométricas com a direção do fluxo de água subterrânea. A região pontilhada em vermelho corresponde à área onde estão concentradas as principais atividades da empresa. Possui exagero vertical de 3x. Datum fictício.

Por fim, o mapa potenciométrico do Nível A indica cargas hidráulicas variando entre 735 e 743 metros, com fluxo de água subterrânea preferencialmente para o leste, e um discreto divisor de água mais a oeste. Não se tem conhecimento da potencimetria de níveis mais profundos, de maneira que não é possível caracterizar os mecanismos de transporte de fluidos nas interfaces entre as diferentes unidades hidroestratigráficas, ainda que esteja evidente que as águas subterrâneas locomovem-se com muito mais velocidade em camadas mais rasas.

6.1.3. Plumas de contaminação

A avaliação de estabilidade das plumas de contaminação foi feita em quatro etapas: 1) representações dos contornos das plumas, delineadas em função do limite máximo de padrão de qualidade estabelecido pelos órgãos ambientais descritos anteriormente (Seção 5.6.1); 2) mapas com a distribuição dos centros de massa dos contaminantes e uma tabela contabilizando seus deslocamentos; 3) modelos hidrogeológicos com distribuição de massa dos contaminantes; 4) Gráficos com a evolução histórica de área, concentração média e massa dos contaminantes, com tabelas sumarizando os resultados obtidos e as tendências detectadas.

As plumas de contaminação são apresentadas no Anexo C, e apresentam também seus centros de massa. Destaca-se que, em muitos casos, o centro de massa não coincide com o contorno que delimita a pluma, e isso ocorre devido a extrapolação que foi feita da seção filtrante para toda a unidade estratigráfica, em que porções mais espessas do aquífero contabilizarão mais água e, portanto, mais massa, mesmo nos casos em que não apresentam concentrações muito altas.

A análise qualitativa da ocorrência espacial de ambos pode indicar caminhos preferenciais de transporte e/ou armazenamento de solutos, como podem ser os casos do boro, molibdênio e fluoreto, em que se observa uma estrutura alongada longitudinalmente na direção SE-NW, com um formato típico de pluma e *hotspots* no meio do caminho, indicando que este eixo pode ser um caminho preferencial de solutos.

O deslocamento observado nos centros de massa dos contaminantes é sumarizado na Tabela 7, em que foi comparado a localização do centro de massa final (novembro de 2017) com inicial (abril de 2014). Com exceção do DCE, todos os contaminantes apresentaram centros de massa em migração para montante, e isso também pode ser observado qualitativamente pelos mapas.

Tabela 7. Distância, direção e sentido do deslocamento dos centros de massa de cada contaminante desde a primeira campanha de monitoramento (abril de 2014) até a última (novembro de 2017).

Parâmetro	Distância (m)	Direção (°)	Sentido
1,2-Dicloroetano - cis	130	280	Jusante
Tricloroetano	215	75	Montante
Tetracloroetano	265	75	Montante
Bário	70	20	Montante
Boro	50	45	Montante
Molibdênio	90	50	Montante
Fluoreto	215	100	Montante
Sulfato	55	350	Montante

No Anexo D, são apresentados mapas de calor de distribuição de massa sobrepostos ao modelo hidrogeológico, onde os valores apresentados são representativos da unidade hidroestratigráfica do Nível A, conforme as premissas da metodologia aqui adotada.

É possível observar que a maioria dos *hotspots* observados encontra-se na região delimitada pela área onde a empresa concentra a maior parte das atividades, sendo que possivelmente podem seguir ativos ou armazenados sobre camadas argilosas. Muitas das figuras novamente apresentam um padrão longitudinal na direção SW-NE, mais evidentes nos mapas de boro, molibdênio, fluoreto e sulfato.

Por fim, a 8 apresenta os resultados finais de cada um dos parâmetros, para cada composto e para cada campanha, resumindo todos os resultados obtidos pela metodologia utilizada.

A partir desses resultados, foram estabelecidas séries temporais de cada parâmetro e para cada dimensão das plumas, com o intuito de descrever suas evoluções observadas desde o primeiro evento de amostragem registrado, representadas graficamente na Figura 12.

A análise de Mann-Kendall sobre essas tendências temporais revelou que em, termos de área, as plumas de contaminação de TCE e PCE estão diminuindo, a pluma de bário está provavelmente aumentando, as plumas de boro, molibdênio, fluoreto e sulfato estão estáveis, e a pluma de DCE não apresenta tendências. Em relação à concentração média, a pluma de TCE está diminuindo, a pluma de PCE está provavelmente diminuindo, a pluma de bário está provavelmente aumentando, as plumas de boro e sulfato estão estáveis, e as plumas de molibdênio e fluoreto não apresentam tendências. Por fim, acerca da massa de contaminante, observa-se que a pluma de boro está diminuindo, a pluma de DCE está provavelmente aumentando, as plumas de TCE e bário estão aumentando, as plumas de molibdênio e sulfato estão estáveis e as plumas de PCE e fluoreto não apresentam tendência. A Tabela 9 resume os resultados descritos.

Dessa forma, dentre os 8 compostos analisados no escopo deste trabalho, apenas o bário apresentou tendência de crescimento em todas as suas dimensões. Cabe destacar, no entanto, que também é o composto que detém a menor série temporal, devido à falta de dados de 2014, e que teve valores abaixo do limite de quantificação do laboratório em duas campanhas recentes, sendo que os altos valores de concentração observados estão restritos às três últimas campanhas de monitoramento.

Tabela 8. Resultados obtidos para área, concentração média e massa das plumas de contaminação

	Campanha	Área (m ²)	Concentração Média (µg/L)	Massa (kg)		Campanha	Área (m ²)	Concentração Média (µg/L)	Massa (kg)
1,2-Dicloroeteno - cis	abr/14	0	0	0,20	Boro	abr/14	79.146,01	1.786,59	61,09
	out/14	9.658,23	66,89	0,36		out/14	90.471,30	1.370,66	68,54
	mai/15	1.587,32	71,28	0,20		mai/15	99.806,29	1.344,00	40,39
	fev/16	744,67	41,66	0,77		fev/16	90.651,74	1.748,07	32,59
	jul/16	16.842,35	54,11	0,93		jul/16	69.873,66	1.095,56	26,76
	mai/17	518,60	56,40	0,58		mai/17	86.079,39	1.598,10	30,76
	nov/17	35.421,37	71,29	0,84		nov/17	61.910,36	1.273,52	26,38
	Tricloroeteno	abr/14	2.970,57	28,34		0,18	Molibdênio	abr/14	754.872,40
out/14		2.415,47	35,81	0,09	out/14	801.271,89		149,67	13,44
mai/15		6.525,59	34,61	0,22	mai/15	540.738,32		405,20	14,33
fev/16		260,78	23,34	0,61	fev/16	615.220,33		473,42	15,71
jul/16		75,59	21,28	0,61	jul/16	822.134,11		208,82	14,98
mai/17		0	0	0,64	mai/17	737.983,32		432,20	19,50
nov/17		97,42	22,26	0,79	nov/17	628.701,36		313,47	13,57
Tetracloroeteno		abr/14	3.924,66	51,47	0,48	Fluoreto		abr/14	392.714,66
	out/14	2.633,80	53,48	0,21	out/14		294.271,90	2.698,28	192,94
	mai/15	1.674,44	81,84	0,20	mai/15		406.052,65	11.974,32	458,06
	fev/16	103,52	43,44	0,58	fev/16		1.462,71	1.619,55	7,75
	jul/16	0	0	0,56	jul/16		369.785,80	4.334,15	263,63
	mai/17	0	0	0,55	mai/17		241.444,34	4.100,66	182,28
	nov/17	0	0	0,77	nov/17		348.024,80	6.633,93	278,43
	Bário	abr/14	-	-	-		Sulfato	abr/14	204.395,87
out/14		-	-	-	out/14	25.538,31		532.648,39	12.780,28
mai/15		0	0	0	mai/15	159.136,79		524.449,05	25.396,85
fev/16		0	0	27,09	fev/16	93,96		255.629,56	4.709,49
jul/16		2.973,01	840,65	35,79	jul/16	108.689,42		616.953,14	18.781,14
mai/17		113,18	715,80	52,16	mai/17	23.799,98		351.100,45	5.933,68
nov/17		33.179,26	1.219,02	38,87	nov/17	51.602,19		504.352,14	9.901,88

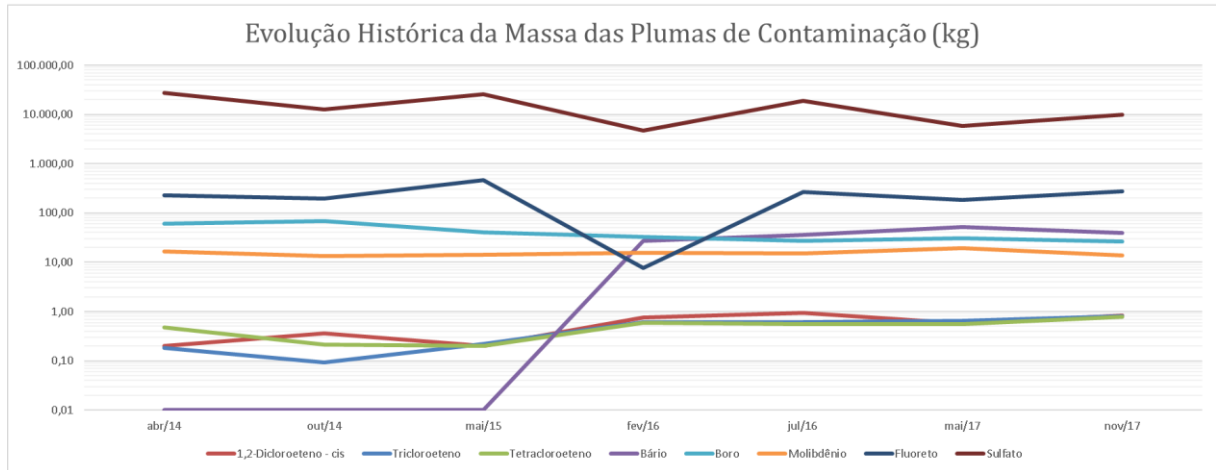
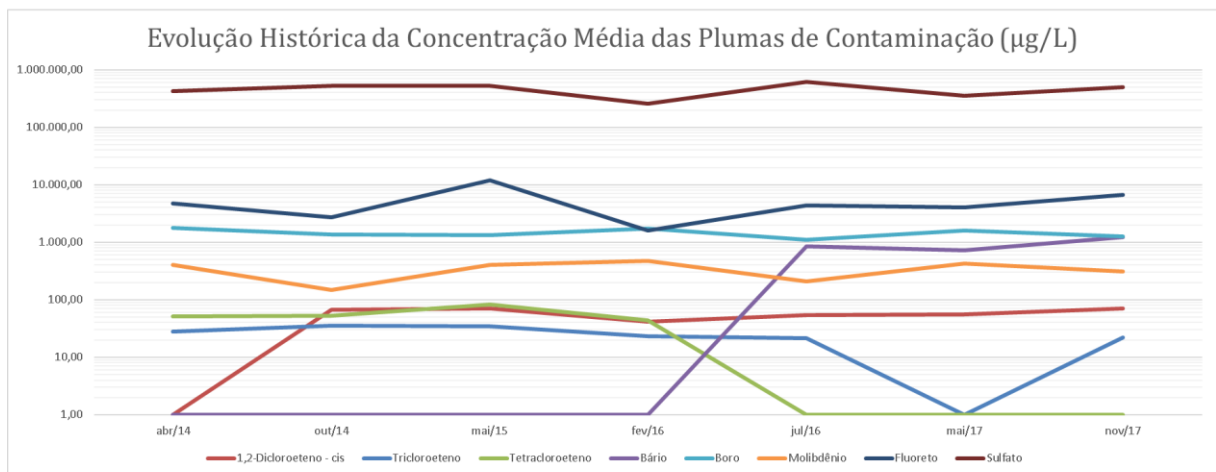
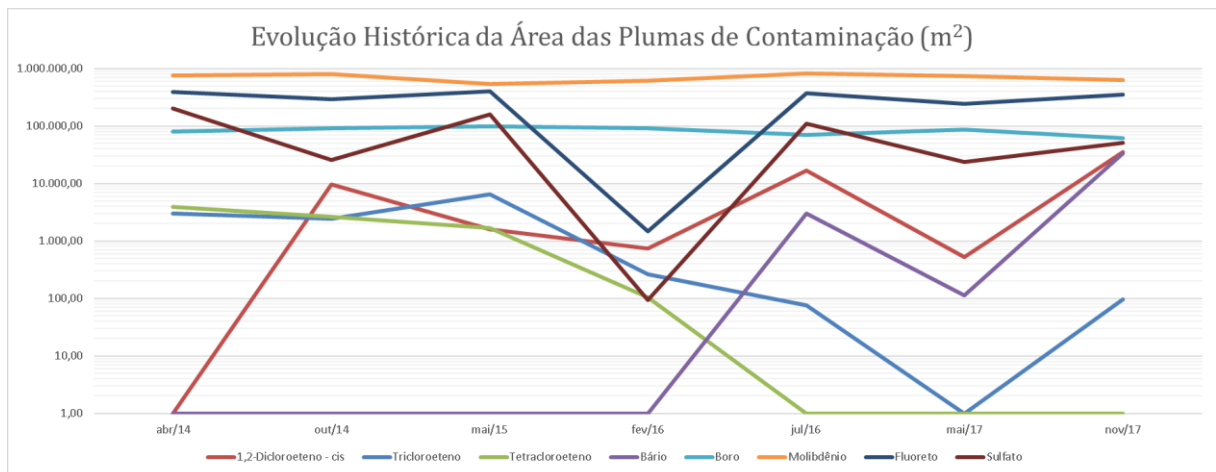


Figura 12. Séries temporais das dimensões calculadas: evolução da área das plumas de contaminação (m²); evolução da concentração média das plumas de contaminação (µg/L), evolução da massa das plumas de contaminação.

Ao mesmo tempo, observa-se que o PCE apresenta tendências de diminuição nas dimensões de suas plumas de contaminação. Deve ser levado em consideração, no entanto, que a Golder (2017) aponta em relatório recente de Investigação Ambiental Complementar que compostos organoclorados apresentaram recentemente altas concentrações nos níveis freáticos B e C, podendo ser decorrentes da migração vertical por parte da contaminação aqui descrita. O DCE e o TCE apresentam valores de massa em uma tendência de aumento, ainda que não haja uma tendência evidente (no caso do DCE) ou mesmo se observa outras dimensões

diminuindo (no caso do TCE). Isso pode significar que os contaminantes estão se concentrando em algum local ou que há alguma cadeia de biodegração em processo no meio.

Com relação aos compostos inorgânicos não-metálicos – fluoreto e sulfato – ainda que estes se apresentam como estáveis e/ou sem tendência, também é apontado no relatório de Investigação Ambiental Complementar da Golder (2017) que existe altas concentrações de ambos no nível B e ainda maiores no nível C, possivelmente em decorrência da migração vertical da contaminação.

Tabela 9. Sumário dos resultados obtidos com os testes de Mann-Kendall sobre as séries temporais das dimensões calculadas, classificados de acordo com o que foi descrito na Seção 4.1.2.1.2.

Parâmetro	Área (m ²)	Concentração Média (µg/L)	Massa (kg)
1,2-Dicloroetano - cis	Sem tendência	Sem tendência	Prov. Aumentando
Tricloroetano	Diminuindo	Diminuindo	Aumentando
Tetracloroetano	Diminuindo	Prov. Diminuindo	Sem tendência
Bário	Prov. Aumentando	Prov. Aumentando	Aumentando
Boro	Estável	Estável	Diminuindo
Molibdênio	Estável	Sem tendência	Estável
Fluoreto	Estável	Sem tendência	Sem tendência
Sulfato	Estável	Estável	Estável

6.2. Validação dos Resultados

6.2.1. Validação Cruzada

Os resultados obtidos a partir dos relatórios de validação cruzada do *software Surfer (Golden Software, 2017)* são apresentados na Tabela 10 e estão expressos como r_s , representando o coeficiente de correlação de postos de Spearman entre os valores estimados pelo modelo de interpolação utilizado e os valores medidos em campo. Os gráficos de radar apresentados na Figura 13 apresentam a distribuição média dos valores de correlação obtidos, organizados por composto e por campanha de amostragem.

Tabela 10. Coeficientes de correlação de postos de Spearman calculados entre os valores estimados pelo modelo de interpolação e os valores medidos analiticamente, organizados em função do parâmetro analisado e da campanha de amostragem.

Parâmetro	abr/14	out/14	mai/15	fev/16	jul/16	mai/17	nov/17
1,2-Dicloroetano - cis	12.6%	24.3%	-5.7%	-12.4%	4.6%	36.3%	24.7%
Tricloroetano	-3.7%	15.6%	16.2%	4.0%	-1.6%	-0.7%	-0.6%
Tetracloroetano	7.5%	12.7%	2.0%	3.4%	3.2%	1.3%	-0.6%
Bário Dissolvido	-	-	0.4%	30.2%	28.4%	23.0%	26.5%
Boro Dissolvido	7.8%	7.3%	45.6%	41.4%	29.4%	23.4%	47.5%
Molibdênio Dissolvido	9.4%	-5.1%	39.9%	22.0%	11.0%	22.0%	30.2%
Fluoreto Total	13.3%	7.9%	3.0%	20.0%	15.9%	16.0%	27.2%
Sulfato Total	53.9%	3.7%	13.1%	28.9%	37.9%	40.3%	19.4%

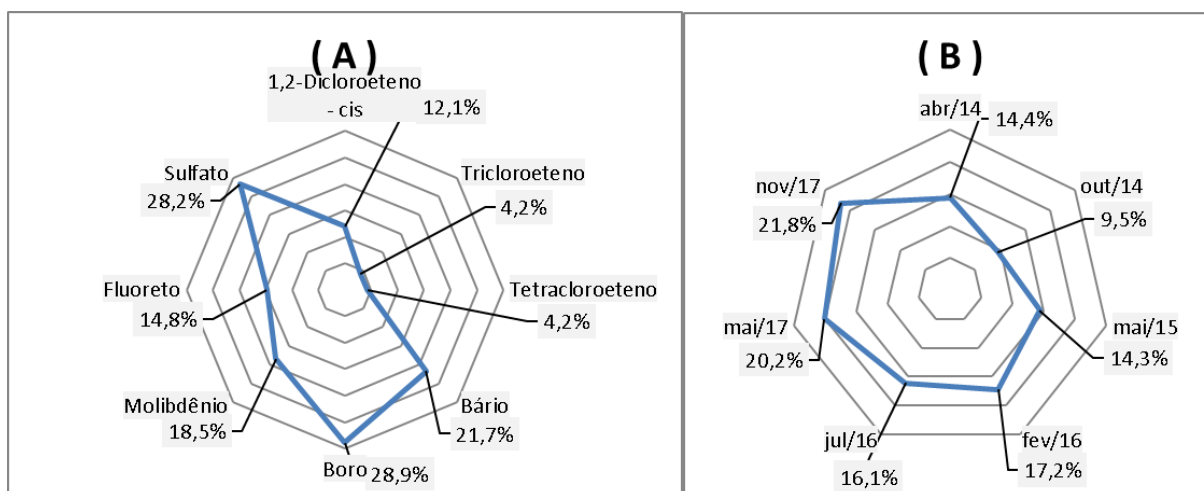


Figura 13. Distribuição média dos valores de correlação obtidos na técnica de validação cruzada organizados por (A) composto e (B) por campanha de amostragem.

Os gráficos 13A e 13B mostram que os compostos organoclorados apresentam baixos índices de correlação, e o mesmo ocorre para campanhas mais antigas. Conforme será discutido mais adiante, esse fenômeno pode ser explicado por 1) há mais amostras com resultados abaixo do limite de quantificação para compostos organoclorados; 2) há menos amostras coletadas em um passado mais remoto; 3) há menos amostras coletadas para análises de compostos organoclorados; 4) os limites de quantificação dos laboratórios eram maiores no passado.

6.2.2. Teste de Hipóteses

Os valores tiveram sua significância estatística avaliada de acordo com a Equação IV. A partir dos números de pares (n) apresentados na Tabela 11 e de r_s da Tabela 10, obtiveram-se os valores de probabilidade significativa (p -valor), relacionados na Tabela 12 Tabela 11 adiante.

Tabela 11. Número de análises realizadas em poços de monitoramento, distribuídos em função do parâmetro analisado e da campanha de amostragem.

Parâmetro	abr/14	out/14	mai/15	fev/16	jul/16	mai/17	nov/17
1,2-Dicloroeteno - cis	24	24	25	57	57	65	46
Tricloroeteno	21	20	25	57	57	65	46
Tetracloroeteno	24	23	25	57	57	65	46
Bário	0	0	54	76	75	79	83
Boro	50	53	54	76	75	79	83
Molibdênio	50	54	54	76	75	79	83
Fluoreto	48	48	50	76	75	78	84
Sulfato	48	47	50	76	75	78	84

Tabela 12. Resultados de p-valor obtidos a partir do coeficiente de correlação de postos de Spearman e do número de pares amostrados para cada parâmetro e para cada campanha, com destaque em verde para os valores que deram abaixo de 5%, conforme condicionado pelo teste de hipóteses.

Parâmetro	abr/14	out/14	mai/15	fev/16	jul/16	mai/17	nov/17
1,2-Dicloroeteno - cis	32,8%	19,6%	38,0%	25,7%	37,4%	0,4%	9,6%
Tricloroeteno	38,8%	31,1%	28,7%	38,0%	39,4%	39,7%	39,6%
Tetracloroeteno	37,0%	33,0%	39,3%	38,4%	38,6%	39,5%	39,6%
Bário	-	-	39,7%	1,1%	1,8%	4,8%	2,0%
Boro	34,2%	34,5%	0,1%	0,0%	1,4%	4,4%	0,0%
Molibdênio	31,9%	37,1%	0,4%	6,2%	25,3%	5,7%	0,8%
Fluoreto	26,1%	34,2%	38,8%	8,6%	15,4%	14,7%	1,6%
Sulfato	0,0%	38,4%	26,0%	1,5%	0,1%	0,0%	8,1%

Considerando-se uma hipótese nula H_0 de que não existe correlação entre os valores estimados pelo modelo de interpolação e os valores obtidos analiticamente, com um nível máximo de significância estatística de p-valor = 0,05, observa-se que apenas 31,48% dos resultados obtidos (destacados em verde) estão dentro da faixa aceitável, sendo esses os resultados em que se pode afirmar com 95% de confiança que existe uma correlação estatística nos valores calculados pela validação cruzada.

Com o intuito de compreender porque os resultados apresentados mostraram-se tão pouco estatisticamente relevantes, buscou-se entender os mecanismos os quais a validação cruzada se constitui. Assim, esses resultados (Tabela 10) também foram comparados ao número de pares (n) de amostras (Tabela 11) e à porcentagem de resultados que se apresentaram abaixo do limite de quantificação do laboratório (Tabela 13). A comparação foi feita entre as matrizes que compõem cada um desses conjuntos, utilizando a Equação V:

Tabela 13. Porcentagem de resultados abaixo do limite de quantificação dos laboratórios em que foram analisadas

Parâmetro	abr/14	out/14	mai/15	fev/16	jul/16	mai/17	nov/17
1,2-Dicloroeteno - cis	87.5%	79.2%	96.0%	94.7%	96.5%	95.4%	93.5%
Tricloroeteno	95.2%	85.0%	88.0%	96.5%	98.2%	98.5%	97.8%
Tetracloroeteno	95.8%	87.0%	92.0%	96.5%	98.2%	98.5%	97.8%
Bário	-	-	16.7%	30.3%	1.3%	7.6%	0.0%
Boro	76.0%	79.2%	40.7%	48.7%	54.7%	55.7%	48.2%
Molibdênio	70.0%	74.1%	83.3%	72.4%	72.0%	77.2%	79.5%
Fluoreto	58.3%	66.7%	18.0%	94.7%	24.0%	9.0%	21.4%
Sulfato	22.9%	29.8%	4.0%	15.8%	0.0%	0.0%	0.0%

Essa comparação revelou uma correlação positiva de 44,0% entre os resultados de validação cruzada e os números de pares amostrados, e uma correlação negativa de 47,9% entre os resultados de validação cruzada e a porcentagem de resultados abaixo do limite de quantificação, mostrando que os resultados obtidos pela interpolação por krigagem são mais satisfatórios quando se tem uma malha de pontos mais ampla.

Também indicam que os resultados são mais aceitáveis quando se tem dados laboratoriais mais amplamente quantificados. Isso se deve ao método adotado pelo *software Surfer* (Golden Software, 2017) para o cálculo de coeficiente de correlação: o coeficiente de correlação de postos de Spearman (ρ) compara as posições de um mesmo ponto em dois rankings, um estabelecido dentro de cada subconjunto, compostos por números naturais e inteiros que variam de 1 a n. No caso do subconjunto dos valores observados, todos os valores abaixo do limite de quantificação ficam empatados na mesma posição dessa classificação. O mesmo dificilmente ocorre no caso do subconjunto dos valores estimados pela interpolação, dado que o algoritmo trabalha com estimativas até a 7ª casa decimal.

Essas diferenças causam distorções em escalas proporcionais à porcentagem de valores abaixo do limite de quantificação do laboratório, de maneira que o coeficiente de correlação calculado não pode ser precisamente validado por esse método, sendo uma correlação linear mais adequada para essa distribuição de dados.

7. CONCLUSÕES

Os estudos desenvolvidos neste trabalho permitiram se obter algumas conclusões tanto no que se refere aos métodos de construção do modelo conceitual quanto aos resultados fornecidos pelo modelo.

O uso de um *software* do tipo RDBMS, como é o *ESdat*, foi de grande valia para a compilação, organização e consulta dos dados históricos armazenados para este projeto, de maneira que resultados analíticos e informações geológicas e hidrogeológicas foram facilmente acessadas e manipuladas em diferentes etapas do projeto.

A construção de um modelo geológico e hidrogeológico no *Surfer* também se mostrou muito satisfatória, pois garantiu grande maleabilidade ao manejo e interpretação destes dados, oferecendo diversas opções de visualização.

A análise geoestatística não apresentou bons resultados de validação cruzada, onde viu-se que quanto menos amostras e quanto maior o número de resultados abaixo do limite de quantificação, maior era a incerteza. A segmentação da análise por subáreas poderia atenuar essa implicação, porém agregaria um fator de subjetividade.

O cálculo de massa realizado a partir de uma versão modificada da equação proposta por Ricker (2008) significou na exclusão da área da pluma, demarcada por normas ambientais, e na projeção da concentração do plano 2D para a variação espacial da espessura do aquífero do plano 3D, permitindo mapear com maior amplitude a distribuição da massa de contaminante ao longo da unidade. O cálculo ainda poderia incluir a porosidade efetiva como uma terceira componente de variação especial, porém não foram encontrados dados medidos para este parâmetro. Destaca-se que a mudança na metodologia de cálculo se deu através

de interpretações de um modelo conceitual preliminar, de maneira que a própria construção do modelo conceitual foi autojustificada. A construção dos modelos integrados de geologia, hidrogeologia e hidrogeoquímica permitiu levantar hipóteses relativas a caminhos de fluxo de água subterrânea e ao transporte e armazenamento de solutos, e também identificar possíveis lacunas de dados a serem investigadas.

Por fim, a análise de tendência apresentaria resultados mais conclusivos caso contemplasse mais campanhas de monitoramento, com uma avaliação de estabilidade das plumas que poderia se estender até os primeiros estudos ambientais realizados no local. A inclusão de análises de outros níveis hidroestratigráficos também garantiria maior compreensão do sistema ambiental como um todo, pois permitiria investigar a existência de correlações entre tendências de diferentes níveis aquíferos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aziz Ab'Sáber, 1967, Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil, In: Revista Orientação, nº3, p. 46.

Bendat, J. S., Piersol, A. G., 1971, *Random data: analysis and measurement procedures*. Wiley-Interscience

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). (2016). *Guidance Manual for Environmental Site Characterization in Support of Environmental and Human Health Risk Assessment*. Volume 1 Guidance Manual

Climate-Data.org, 2018 (Acesso em julho de 2018)

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, 2006, *Mapa Geológico do Estado de São Paulo* 1:750.000. Programa Geologia Do Brasil.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, 2010, *Geodiversidade Do Estado De São Paulo*. Programa Geologia Do Brasil: Levantamento Da Geodiversidade.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, 2015, Projeto De Disponibilidade Hídrica Do Brasil Carta Hidrogeológica Escala 1:1.000.000. Programa Geologia Do Brasil.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2008, *Resolução Nº 396, De 3 De Abril De 2008*. Diário Oficial da União, nº 66, 64-68.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2009, *Resolução Nº 420, De 28 De Dezembro De 2009*. Diário Oficial da União, nº 249, 81-84.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2001, *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. 2.ed.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2017, *Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017*. Diário Oficial Estado de São Paulo, Caderno Executivo I, Edição nº 127, 47-52.

Corder, G. W., & Foreman, D. I., 2014, *Nonparametric statistics: A step-by-step approach*. John Wiley & Sons.

Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 2005, Mapa De Águas Subterrâneas Do Estado De São Paulo Escala 1:1.000.000.

DLR – *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*, 2018, *TanDEM-X 90m Digital Elevation Model*. Disponível em <https://tandemx-90m.dlr.de>

Fundação De Apoio À Universidade De São Paulo – FUSP, 2002, *Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê*. Caderno Técnico Institucional.

EarthScience Information Systems – ESriS. (2017). *ESdat Desktop (5.1.3.5)*. Disponível em: http://www.esdat.net/Download_ESdat.aspx

Fisher, R. A., 1935, *The design of experiments*.

Golden Software, 2017, *Surfer 15*. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com/>

Golden Software, 2017, *Scripter 5*. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com/>

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda., 2017, *Investigação Ambiental Complementar e Campanha Semestral de Monitoramento Ambiental (Jan/2017) na Unidade X em Mogi das Cruzes/SP*.

GSI Environmental Inc., 2012, *GSI Mann-Kendall Toolkit*. Disponível em: <https://www.gsi-net.com>

Kitanidis, P. K., 1997, *Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology*. Cambridge University Press.

Kohavi, R., 1995, *A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection*. International joint Conference on artificial intelligence. v. 14, p. 1137–1145.

Kresic, N., Mikszewski, A., 2012, *Hydrogeological Conceptual Site Models: Data Analysis and Visualization*. CRC Press.

Lisboa, E. G., Carvalho, J. M. C. M., Mendes, R. L. R., 2016, *O Uso da Geoestatística na Avaliação dos Parâmetros Hidrogeológicos para Compôr o Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca de Aquíferos*, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 21, 188-199.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G., 2012, *Introduction to linear regression analysis*, John Wiley & Sons.

Oliver, M. A., Webster, R. W., 2007, *Geostatistics for Environmental Scientists*, John Wiley & Sons.

Ricker, J.A., 2008, *A Practical Method to Evaluate Ground Water Contaminant Plume Stability*. Ground Water Monitoring & Remediation 28, nº 4, 85-94.

Riccomini, C., 1989, *O rift continental do sudeste do Brasil*. Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo.

Suthersan, S. S., Potter, S. T., Schnobrich, M., Wahlberg, J., Quinnan, J., Welty, N., & Fewless, T., 2016, *Rethinking conceptual site models in groundwater remediation*. Groundwater Monitoring & Remediation, 36(4), 22-30.

United States Environmental Protection Agency – USEPA, 2018, *Regional Screening Levels (RSLs) – Generic Tables (May 2018)*. Disponível em: <https://www.epa.gov>

Vanderford, M., 2010, *A Comprehensive Approach to Plume Stability*. Remediation Journal, Volume 21, 21-37.

Yamamoto, J. K., Landim, P. M. B., 2015, *Geoestatística: conceitos e aplicações*. Oficina de Textos.

ANEXO A
Tabela de Resultados Analíticos

Padrões de Qualidade			Água Subterrânea - CETESB DD 256/2016 - Intervenção					VOC			Metais			Inorgânicos	
			Água Subterrânea - CONAMA 420/2009 - Investigação					1,2-Dicloroetano - cis	Tricloroetano	Tetracloroetano	Bário (Filtered)	Boro (Filtered)	Molibdênio (Filtered)	Fluoreto	Sulfato
Tapwater - RSL USEPA jun/2018			UTM X	UTM Y	Cota	Zona de Monitoramento	Unidade Freática	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
PM-01	15/5/2014	abr/14	829.7496	1729.5762	740.29	A-01	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-01	3/11/2014	out/14	829.7496	1729.5762	740.29	A-01	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	19800
PM-01	15/5/2015	mai/15	829.7496	1729.5762	740.29	A-01	A	-	-	-	285.9	67.8	<15	233.5	60.2
PM-01	14/12/2015	fev/16	829.7496	1729.5762	740.29	A-01	A	-	-	-	81.5	<15	<15	<30	<30
PM-01	6/7/2016	jul/16	829.7496	1729.5762	740.29	A-01	A	-	-	-	174	54.7	<15	343.2	4525.7
PM-01	19/1/2017	mai/17	829.7496	1729.5762	740.29	A-01	A	-	-	-	219	22.4	<15	-	-
PM-01	15/11/2017	nov/17	829.7496	1729.5762	740.29	A-01	A	<3	<3	<3	259	81.1	<15	402.2	560.1
PM-01/17	26/5/2017	mai/17	910.6312	717.2909	740.783	A-04	A	85.9	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-01/17	10/11/2017	nov/17	910.6312	717.2909	740.783	A-04	A	45.7	<3	<3	618	<15	<15	80.3	16273.1
PM-02/17	26/5/2017	mai/17	912.4802	724.0809	740.712	A-04	A	108.6	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-02/17	10/11/2017	nov/17	912.4802	724.0809	740.712	A-04	A	<3	<3	<3	338	<15	<15	<30	2487.2
PM-03/16	2/2/2016	fev/16	764.4541	297.7632	740.963	A-10	A	<3	<3	<3	210	<15	<15	83	51879
PM-03/16	20/7/2016	jul/16	764.4541	297.7632	740.963	A-10	A	<3	<3	<3	155	<15	<15	<30	88882.2
PM-03/16	19/1/2017	mai/17	764.4541	297.7632	740.963	A-10	A	<3	<3	<3	102	<15	<15	<30	96057.9
PM-03/16	7/11/2017	nov/17	764.4541	297.7632	740.963	A-10	A	-	-	-	108	157	<15	<30	102182.7
PM-03/17	26/5/2017	mai/17	921.2712	713.5439	740.879	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-03/17	10/11/2017	nov/17	921.2712	713.5439	740.879	A-04	A	<3	<3	<3	601	<15	<15	35	37562.3
PM-04/16	2/2/2016	fev/16	733.4297	327.0754	740.912	A-10	A	<3	<3	<3	322	<15	<15	33.9	13763.7
PM-04/16	20/7/2016	jul/16	733.4297	327.0754	740.912	A-10	A	<3	<3	<3	191	<15	<15	<30	34622.8
PM-04/16	19/1/2017	mai/17	733.4297	327.0754	740.912	A-10	A	<3	<3	<3	146	<15	<15	<30	26034.2
PM-04/16	7/11/2017	nov/17	733.4297	327.0754	740.912	A-10	A	-	-	-	271	156	<15	<30	28517.5
PM-04/17	26/5/2017	mai/17	929.8412	722.7369	740.764	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-04/17	8/11/2017	nov/17	929.8412	722.7369	740.764	A-04	A	<3	<3	<3	139	<15	<15	141	11423.2
PM-05/16	2/2/2016	fev/16	743.838	329.7863	740.857	A-10	A	<3	<3	<3	1176	34.9	<15	140.1	8725.9
PM-05/16	20/7/2016	jul/16	743.838	329.7863	740.857	A-10	A	<3	<3	<3	1776	<15	<15	120.2	13955.1
PM-05/16	19/1/2017	mai/17	743.838	329.7863	740.857	A-10	A	<3	<3	<3	174	<15	<15	244.8	8710
PM-05/16	7/11/2017	nov/17	743.838	329.7863	740.857	A-10	A	-	-	-	238	<15	<15	194.4	29968.2
PM-05/17	26/5/2017	mai/17	880.9482	719.0489	740.993	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-05/17	8/11/2017	nov/17	880.9482	719.0489	740.993	A-04	A	<3	<3	<3	342	<15	<15	<30	35324.4
PM-06	8/10/2014	out/14	1024.2729	802.0214	740.293	A-04	A	<5	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-06	17/12/2015	fev/16	1024.2729	802.0214	740.293	A-04	A	<3	<3	<3	37.5	53.7	<15	<30	<30
PM-06	8/7/2016	jul/16	1024.2729	802.0214	740.293	A-04	A	<3	<3	<3	33.6	<15	<15	426.1	3952.3
PM-06	9/1/2017	mai/17	1024.2729	802.0214	740.293	A-04	A	<3	<3	<3	42	24.6	<15	280.5	2492.1
PM-06	9/11/2017	nov/17	1024.2729	802.0214	740.293	A-04	A	<3	<3	<3	31.3	<15	<15	380.4	3696
PM-06/16	2/2/2016	fev/16	690.4572	327.5372	741.261	A-06	A	<3	<3	<3	461	43.2	<15	<30	11249.8
PM-06/16	8/7/2016	jul/16	690.4572	327.5372	741.261	A-06	A	<3	<3	<3	404	53.8	<15	39	12261
PM-06/16	18/1/2017	mai/17	690.4572	327.5372	741.261	A-06	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	11190.6
PM-06/16	7/11/2017	nov/17	690.4572	327.5372	741.261	A-06	A	-	-	-	159	<15	<15	<30	5345.9
PM-07	9/5/2014	abr/14	498.9335	1434.0286	739.86	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	11180
PM-07	29/10/2014	out/14	498.9335	1434.0286	739.86	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	14900
PM-07	20/3/2015	mai/15	498.9335	1434.0286	739.86	A-02	A	-	-	-	16.1	152.4	27.8	426.2	12002.3
PM-07	14/12/2015	fev/16	498.9335	1434.0286	739.86	A-02	A	-	-	-	<10	237	131	<30	8404.6
PM-07	20/7/2016	jul/16	498.9335	1434.0286	739.86	A-02	A	-	-	-	64.8	113	34.4	446.6	9264.7
PM-07	18/1/2017	mai/17	498.9335	1434.0286	739.86	A-02	A	-	-	-	19.7	146	99.9	284.3	7426.6
PM-08	6/5/2014	abr/14	513.3508	1134.3123	736.532	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	6080
PM-08	29/10/2014	out/14	513.3508	1134.3123	736.532	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	6620
PM-08	31/3/2015	mai/15	513.3508	1134.3123	736.532	A-03	A	-	-	-	239.8	<15	<15	<30	285.7
PM-08	11/12/2015	fev/16	513.3508	1134.3123	736.532	A-03	A	<3	<3	<3	120	<15	<15	<30	<30
PM-08	19/7/2016	jul/16	513.3508	1134.3123	736.532	A-03	A	<3	<3	<3	174	<15	<15	61.3	875.1
PM-08	18/1/2017	mai/17	513.3508	1134.3123	736.532	A-03	A	<3	<3	<3	210	<15	<15	63.3	69.1
PM-08	6/11/2017	nov/17	513.3508	1134.3123	736.532	A-03	A	-	-	-	233	156	<15	72.9	151.7
PM-09	8/5/2014	abr/14	541.4535	995.0268	738.877	A-03	A	-	-	-	-	1010	465	10200	8670
PM-09	31/10/2014	out/14	541.4535	995.0268	738.877	A-03	A	-	-	-	-	577	223	6680	<5000
PM-09	2/4/2015	mai/15	541.4535	995.0268	738.877	A-03	A	-	-	-	102.8	1429.3	<15	38308.5	12832.8
PM-09	11/12/2015	fev/16	541.4535	995.0268	738.877	A-03	A	-	-	-	28.9	1505	390	<30	11487.8
PM-09	19/7/2016	jul/16	541.4535	995.0268	738.877	A-03	A	-	-	-	124	906	398	9520	19663
PM-09	18/1/2017	mai/17	541.4535	995.0268	738.877	A-03	A	-	-	-	112	1223	424	5372.8	8868
PM-09	6/11/2017	nov/17	541.4535	995.0268	738.877	A-03	A	-	-	-	170	1053	68.7	6920.8	53128
PM-11	24/4/2014	abr/14	542.3622	839.4061	738.203	A-07	A	<5	-	<5	-	<200	<20	1140	34100
PM-11	28/10/2014	out/14	542.3622	839.4061	738.203	A-07	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	47100
PM-11	13/5/2015	mai/15	542.3622	839.4061	738.203	A-07	A	<3	-	<3	<10	<15	<15	764.8	85644.4
PM-11	21/12/2015	fev/16	542.3622	839.4061	738.203	A-07	A	<3	<3	<3	<10	118	<15	<30	10016.8
PM-11	19/7/2016	jul/16	542.3622	839.4061	738.203	A-07	A	<3	<3	<3	56.8	98.3	21.6	825.6	92832.4
PM-11	18/1/2017	mai/17	542.3622	839.4061	738.203	A-07	A	<3	<3	<3	33.2	140	<15	710	23187.5
PM-11	2/11/2017	nov/17	542.3622	839.4061	738.203	A-07	A	<3	<3	<3	170	180	<15	881.8	65912.5
PM-11/17	29/5/2017	mai/17	1287.6522	812.6179	738.858	A-01	A	<3	<3	<3	302	<15	<15	68.9	1367.6
PM-11/17	1/11/2017	nov/17	1287.6522	812.6179	738.858	A-01	A	<3	<3	<3	606	100	<15	102.8	17843.7
PM-12/17	29/5/2017	mai/17	1176.2762	1038.7679	738.578	A-01	A	<3	<3	<3	703	48.9	<15	49.1	2028.7
PM-12/17	1/11/2017	nov/17	1176.2762	1038.7679	738.578	A-01	A	<3	<3	<3	456	23	<15	77.6	3024.7
PM-13	12/5/2014	abr/14	522.2151	3											

ANEXO A
Tabela de Resultados Analíticos

Padrões de Qualidade			Água Subterrânea - CETESB DD 256/2016 - Intervenção					VOC			Metais			Inorgânicos	
			Água Subterrânea - CONAMA 420/2009 - Investigação					1,2-Dicloroetano - cis	Tricloroetano	Tetracloroetano	Bário (Filtered)	Boro (Filtered)	Molibdênio (Filtered)	Fluoreto	Sulfato
Ponto	Data	Campanha de Monitoramento	UTM X	UTM Y	Cota	Zona de Monitoramento	Unidade Freática	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Tapwater - RSL USEPA jun/2018								36	0.49	11	3800	4000	100	1200	
PM-16	14/12/2015	fev/16	727.9347	1403.8022	738.402	A-02	A	<3	<3	<3	<10	489	1147	<30	16571.9
PM-16	22/7/2016	jul/16	727.9347	1403.8022	738.402	A-02	A	<3	<3	<3	94.2	464	1162	2675.6	43564.4
PM-16	18/1/2017	mai/17	727.9347	1403.8022	738.402	A-02	A	<3	<3	<3	120	491	1019	1532.8	23150.8
PM-16	8/11/2017	nov/17	727.9347	1403.8022	738.402	A-02	A	-	-	-	81.6	419	1053	2073.4	41414.2
PM-17	24/4/2014	abr/14	584.8817	1456.2551	740.029	A-02	A	-	-	-	-	207	49	<500	<5000
PM-17	28/10/2014	out/14	584.8817	1456.2551	740.029	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-17	20/3/2015	mai/15	584.8817	1456.2551	740.029	A-02	A	-	-	-	155.3	25.8	<15	<30	5787.6
PM-17	14/12/2015	fev/16	584.8817	1456.2551	740.029	A-02	A	<3	<3	<3	315	24.4	<15	<30	3875.7
PM-17	22/7/2016	jul/16	584.8817	1456.2551	740.029	A-02	A	<3	<3	<3	83.4	138	<15	<30	1179
PM-17	18/1/2017	mai/17	584.8817	1456.2551	740.029	A-02	A	<3	<3	<3	352	<15	<15	66.8	3082.5
PM-17	8/11/2017	nov/17	584.8817	1456.2551	740.029	A-02	A	-	-	-	99.1	145	32.9	<30	4077.4
PM-18	6/5/2014	abr/14	508.4026	1056.8124	737.179	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-18	29/10/2014	out/14	508.4026	1056.8124	737.179	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-18	31/3/2015	mai/15	508.4026	1056.8124	737.179	A-03	A	-	-	-	118.9	221.1	<15	534.2	154398.2
PM-18	11/12/2015	fev/16	508.4026	1056.8124	737.179	A-03	A	<3	<3	<3	161	<15	<15	<30	<30
PM-18	19/7/2016	jul/16	508.4026	1056.8124	737.179	A-03	A	<3	<3	<3	218	<15	<15	47.3	1156.9
PM-18	16/1/2017	mai/17	508.4026	1056.8124	737.179	A-03	A	<3	<3	<3	274	<15	23.9	67.9	76.5
PM-18	6/11/2017	nov/17	508.4026	1056.8124	737.179	A-03	A	-	-	-	323	155	<15	81.2	182.4
PM-22	28/4/2014	abr/14	1279.5203	578.9377	740.16	A-08	A	-	-	-	-	306	121	7300	47920
PM-22	16/10/2014	out/14	1279.5203	578.9377	740.16	A-08	A	-	-	-	-	282	134	6800	39900
PM-22	26/3/2015	mai/15	1279.5203	578.9377	740.16	A-08	A	-	-	-	75.5	426	198.8	15458.1	36415
PM-22	15/12/2015	fev/16	1279.5203	578.9377	740.16	A-08	A	<3	<3	<3	<10	360	52.2	<30	51407
PM-22	7/7/2016	jul/16	1279.5203	578.9377	740.16	A-08	A	<3	<3	<3	51.7	223	76.4	8793.1	48006.1
PM-22	16/11/2017	mai/17	1279.5203	578.9377	740.16	A-08	A	<3	<3	<3	71.2	324	186	4243.1	31008.6
PM-22	7/11/2017	nov/17	1279.5203	578.9377	740.16	A-08	A	-	-	-	32.3	242	243	10654.8	34581.4
PM-23	16/12/2015	fev/16	1094.817	149.807	749.708	A-05	A	<3	<3	<3	<10	129	<15	<30	48777
PM-23	26/7/2016	jul/16	1094.817	149.807	749.708	A-05	A	<3	<3	<3	42.4	<15	<15	<30	151423.9
PM-23	6/11/2017	nov/17	1094.817	149.807	749.708	A-05	A	-	-	-	38.2	162	<15	34.4	89825.5
PM-24	17/4/2014	abr/14	615.4651	362.5476	739.329	A-05	A	-	-	-	-	<200	33.1	-	-
PM-24	4/11/2014	out/14	615.4651	362.5476	739.329	A-05	A	-	-	-	-	<200	43.9	1070	36800
PM-24	30/3/2015	mai/15	615.4651	362.5476	739.329	A-05	A	-	-	-	83.9	139.9	70.5	579.4	<30
PM-24	9/12/2015	fev/16	615.4651	362.5476	739.329	A-05	A	-	-	-	81	164	69.5	<30	87403
PM-24	8/7/2016	jul/16	615.4651	362.5476	739.329	A-05	A	-	-	-	61	93	42.6	1405	65668
PM-24	16/1/2017	mai/17	615.4651	362.5476	739.329	A-05	A	-	-	-	75.3	129	68.6	1119.4	149771
PM-24	6/11/2017	nov/17	615.4651	362.5476	739.329	A-05	A	-	-	-	229	112	81	756.9	52261.3
PM-25	22/4/2014	abr/14	595.5249	291.6786	738.926	A-06	A	-	-	-	-	450	<20	660	415000
PM-25	22/10/2014	out/14	595.5249	291.6786	738.926	A-06	A	-	-	-	-	377	<20	-	-
PM-25	31/3/2015	mai/15	595.5249	291.6786	738.926	A-06	A	-	-	-	69.9	420.7	<15	2302.4	1350915
PM-25	9/12/2015	fev/16	595.5249	291.6786	738.926	A-06	A	-	-	-	50.7	176	<15	<30	48253
PM-25	7/7/2016	jul/16	595.5249	291.6786	738.926	A-06	A	-	-	-	42.2	261	<15	334	680881.6
PM-25	16/1/2017	mai/17	595.5249	291.6786	738.926	A-06	A	-	-	-	49.3	87.2	<15	101	173090.8
PM-25	1/11/2017	nov/17	595.5249	291.6786	738.926	A-06	A	-	-	-	136	308	<15	243.6	486903.2
PM-26	22/4/2014	abr/14	643.8078	209.0511	739.271	A-06	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-26	21/10/2014	out/14	643.8078	209.0511	739.271	A-06	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-26	26/3/2015	mai/15	643.8078	209.0511	739.271	A-06	A	-	-	-	83.2	<15	<15	579.4	<30
PM-26	9/12/2015	fev/16	643.8078	209.0511	739.271	A-06	A	-	-	-	109	<15	<15	<30	359.4
PM-26	7/7/2016	jul/16	643.8078	209.0511	739.271	A-06	A	-	-	-	87.1	<15	<15	219	1689.7
PM-26	16/1/2017	mai/17	643.8078	209.0511	739.271	A-06	A	-	-	-	100	<15	<15	148.5	388.7
PM-26	1/11/2017	nov/17	643.8078	209.0511	739.271	A-06	A	-	-	-	389	46.1	<15	232	1445.3
PM-27	9/12/2015	fev/16	867.2667	87.1399	740.371	A-05	A	<3	<3	<3	44.6	<15	<15	<30	11029.2
PM-27	7/7/2016	jul/16	867.2667	87.1399	740.371	A-05	A	<3	<3	<3	39	<15	<15	<30	35558.2
PM-27	16/1/2017	mai/17	867.2667	87.1399	740.371	A-05	A	<3	<3	<3	47.9	<15	<15	39.4	20230.5
PM-27	6/11/2017	nov/17	867.2667	87.1399	740.371	A-05	A	-	-	-	52.6	183	<15	<30	32395.9
PM-28	15/5/2014	abr/14	868.2596	789.2933	740.383	A-04	A	<5	-	<5	-	-	-	-	-
PM-28	8/10/2014	out/14	868.2596	789.2933	740.383	A-04	A	<5	-	<5	-	-	-	-	-
PM-28	23/3/2015	mai/15	868.2596	789.2933	740.383	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-28	11/12/2015	fev/16	868.2596	789.2933	740.383	A-04	A	<3	<3	<3	<10	35.9	16.4	<30	14827.1
PM-28	15/7/2016	jul/16	868.2596	789.2933	740.383	A-04	A	<3	<3	<3	82.9	24.1	<15	274.9	52835
PM-28	16/1/2017	mai/17	868.2596	789.2933	740.383	A-04	A	<3	<3	<3	46	<15	<15	394.6	7113.6
PM-28	10/11/2017	nov/17	868.2596	789.2933	740.383	A-04	A	<3	<3	<3	96.3	18.9	<15	351.6	58227.3
PM-29	17/4/2014	abr/14	901.219	734.2677	740.828	A-04	A	<5	-	<5	-	-	-	-	-
PM-29	7/10/2014	out/14	901.219	734.2677	740.828	A-04	A	<5	-	<5	-	-	-	-	-
PM-29	23/3/2015	mai/15	901.219	734.2677	740.828	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-29	10/12/2015	fev/16	901.219	734.2677	740.828	A-04	A	<3	<3	<3	623	<15	<15	<30	15172
PM-29	14/7/2016	jul/16	901.219	734.2677	740.828	A-04	A	<3	<3	<3	478	<15	<15	<30	23076.3
PM-29	16/1/2017	mai/17	901.219	734.2677	740.828	A-04	A	<3	<3	<3	937	<15	<15	41.5	19586.8
PM-29	10/11/2017	nov/17	901.219	734.2677	740.828	A-04	A	<3	<3	<3	639	<15	<15	<30	26953.5
PM-30	16/4/2014	abr/14	916.6502	703.7909	740.78	A-04	A	5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-30	7/10/2014	out/14	916.6502	703.7909	740.78	A-04	A	6	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-30	19/3/2015	mai/15	916.6502	703.7909	740.78	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-30	11/12/2015	fev/16	916.6502	703.7909	740.78	A-04	A	<3	<3	<3	75.9	<15	<15	<30	38146
PM-30	15/7/2016	jul/16	916.6502	703.7909	740.78	A-04	A	<3	<3	<3	211	<15	<15	151.9	43824
PM-30	16/1/2017	mai/17	916.6502	703.7909	740.78	A-04	A	<3	<3	<3	96.5	29.3	<15	485.6	18158.9
PM-30	10/11/2017	nov/17	916.6502	703.7909	740.78	A-04	A	<3	<3	<3	155	<15	<15	242.5	36823
PM-31	17/4/2014	abr/14	925.2611	732.142	740.749	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-31	8/10/2014	out/14	925.2611	732.142	740.749	A-04	A	180	66	89	-	-	-	-	-
PM-31	19/3/2015	mai/15	925.2611	732.142	740.749	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-31	10/12/2015	fev/16	925.2611	732.142	740.749	A-04	A	<3	<3	<3	153	158	27.1	<30	6165.6
PM-31	15/7/2016	jul/16	925.2611	732.142	740.749	A-04									

ANEXO A
Tabela de Resultados Analíticos

Padrões de Qualidade			Água Subterrânea - CETESB DD 256/2016 - Intervenção					VOC			Metais			Inorgânicos	
			Água Subterrânea - CONAMA 420/2009 - Investigação					1,2-Dicloroetano - cis	Tricloroetano	Tetracloroetano	Bário (Filtered)	Boro (Filtered)	Molibdênio (Filtered)	Fluoreto	Sulfato
			Tapwater - RSL USEPA jun/2018					µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Ponto	Data	Campanha de Monitoramento	UTM X	UTM Y	Cota	Zona de Monitoramento	Unidade Freática								
PM-33	7/10/2014	out/14	904.0817	743.2895	740.811	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-33	23/3/2015	mai/15	904.0817	743.2895	740.811	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-33	10/12/2015	fev/16	904.0817	743.2895	740.811	A-04	A	<3	<3	<3	252	<15	<15	<30	8605.6
PM-33	15/7/2016	jul/16	904.0817	743.2895	740.811	A-04	A	<3	<3	<3	228	<15	<15	<30	14623.5
PM-33	16/1/2017	mai/17	904.0817	743.2895	740.811	A-04	A	<3	<3	<3	321	<15	<15	53.9	7898.6
PM-33	10/11/2017	nov/17	904.0817	743.2895	740.811	A-04	A	<3	<3	<3	284	<15	<15	<30	13630
PM-34	31/10/2014	out/14	575.2795	950.4071	737.592	A-03	A	-	-	-	-	643	<20	-	-
PM-34	8/4/2015	mai/15	575.2795	950.4071	737.592	A-03	A	-	-	-	112.5	1280.4	<15	-	-
PM-34	11/12/2015	fev/16	575.2795	950.4071	737.592	A-03	A	<3	<3	<3	42.3	2336	17.3	<30	<30
PM-34	19/7/2016	jul/16	575.2795	950.4071	737.592	A-03	A	<3	<3	<3	147	2197	<15	154.8	20410.8
PM-34	16/1/2017	mai/17	575.2795	950.4071	737.592	A-03	A	<3	<3	<3	54.3	1812	<15	202.7	4440.7
PM-34	6/11/2017	nov/17	575.2795	950.4071	737.592	A-03	A	-	-	-	83.2	1392	<15	372.7	16052.4
PM-35	12/5/2014	abr/14	698.8869	1059.2737	738.307	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-35	31/10/2014	out/14	698.8869	1059.2737	738.307	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	1890	<5000
PM-35	25/3/2015	mai/15	698.8869	1059.2737	738.307	A-03	A	-	-	-	19.1	<15	<15	<30	2937.2
PM-35	14/12/2015	fev/16	698.8869	1059.2737	738.307	A-03	A	-	-	-	761	<15	<15	<30	2095.5
PM-35	19/7/2016	jul/16	698.8869	1059.2737	738.307	A-03	A	-	-	-	524	<15	<15	<30	2755.4
PM-35	16/1/2017	mai/17	698.8869	1059.2737	738.307	A-03	A	-	-	-	729	<15	<15	51.7	8407.2
PM-35	6/11/2017	nov/17	698.8869	1059.2737	738.307	A-03	A	-	-	-	450	152	<15	30.3	26091.4
PM-36	6/5/2014	abr/14	496.7897	1091.1423	737.658	A-03	A	-	-	-	-	764	405	5360	33120
PM-36	31/10/2014	out/14	496.7897	1091.1423	737.658	A-03	A	-	-	-	-	743	232	4600	87200
PM-36	31/3/2015	mai/15	496.7897	1091.1423	737.658	A-03	A	-	-	-	25	909.1	<15	7138.4	30639
PM-36	11/12/2015	fev/16	496.7897	1091.1423	737.658	A-03	A	-	-	-	<10	1064	204	<30	8497.2
PM-36	19/7/2016	jul/16	496.7897	1091.1423	737.658	A-03	A	-	-	-	28.6	669	497	6744.8	52485.6
PM-36	16/1/2017	mai/17	496.7897	1091.1423	737.658	A-03	A	-	-	-	37.9	567	189	2140.6	8978.4
PM-36	6/11/2017	nov/17	496.7897	1091.1423	737.658	A-03	A	-	-	-	39.3	604	37	3545.8	38872.4
PM-37	8/5/2014	abr/14	661.6951	1197.9872	738.051	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-37	31/10/2014	out/14	661.6951	1197.9872	738.051	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	11000
PM-37	20/3/2015	mai/15	661.6951	1197.9872	738.051	A-02	A	-	-	-	66.6	<15	<15	1952.1	253.5
PM-37	14/12/2015	fev/16	661.6951	1197.9872	738.051	A-02	A	-	-	-	93.8	<15	<15	<30	<30
PM-37	20/7/2016	jul/16	661.6951	1197.9872	738.051	A-02	A	-	-	-	183	<15	<15	33.2	846.7
PM-37	16/1/2017	mai/17	661.6951	1197.9872	738.051	A-02	A	-	-	-	222	<15	<15	44.5	80.1
PM-37	8/11/2017	nov/17	661.6951	1197.9872	738.051	A-02	A	-	-	-	217	<15	22.8	47.3	1076.6
PM-38	20/3/2015	mai/15	491.4217	1321.8622	740.865	A-02	A	-	-	-	66.6	<15	<15	-	-
PM-38/16	2/2/2016	fev/16	489.5832	1319.2718	740.571	A-02	A	<3	<3	<3	195	129	207	1932.5	17342.2
PM-38/16	19/7/2016	jul/16	489.5832	1319.2718	740.571	A-02	A	<3	<3	<3	154	26.3	322	3194.4	35878.8
PM-38/16	16/1/2017	mai/17	489.5832	1319.2718	740.571	A-02	A	<3	<3	<3	77.2	<15	411	1839.2	15655.6
PM-38/16	16/11/2017	nov/17	489.5832	1319.2718	740.571	A-02	A	-	-	-	33.3	87.7	369	2574.4	38166
PM-39	24/4/2014	abr/14	605.8216	1368.2514	751.36	A-02	A	-	-	-	-	6490	9410	40800	54460
PM-39	28/10/2014	out/14	605.8216	1368.2514	751.36	A-02	A	-	-	-	-	5370	1080	5840	145000
PM-39	20/3/2015	mai/15	605.8216	1368.2514	751.36	A-02	A	-	-	-	<10	6202.3	6630.4	58856.2	35590.8
PM-39	14/12/2015	fev/16	605.8216	1368.2514	751.36	A-02	A	<3	<3	<3	<10	7589	10876	<30	78006
PM-39	20/7/2016	jul/16	605.8216	1368.2514	751.36	A-02	A	<3	<3	<3	14.2	3504	3623	30148.8	98991.6
PM-39	13/1/2017	mai/17	605.8216	1368.2514	751.36	A-02	A	<3	<3	<3	23.6	6792	11304	25652.4	42083.2
PM-39	8/11/2017	nov/17	605.8216	1368.2514	751.36	A-02	A	-	-	-	25.5	4384	5456	32553.6	47614.4
PM-40	12/5/2014	abr/14	690.9166	1527.4251	748.94	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-40	29/10/2014	out/14	690.9166	1527.4251	748.94	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-40	13/5/2015	mai/15	690.9166	1527.4251	748.94	A-02	A	-	-	-	<10	57	<15	72.4	1369.2
PM-40	14/12/2015	fev/16	690.9166	1527.4251	748.94	A-02	A	-	-	-	<10	350	44.2	<30	3949.4
PM-40	22/7/2016	jul/16	690.9166	1527.4251	748.94	A-02	A	-	-	-	40.1	277	66.1	365.3	12587.8
PM-40	13/1/2017	mai/17	690.9166	1527.4251	748.94	A-02	A	-	-	-	55.5	44.5	<15	92	1351.7
PM-40	8/11/2017	nov/17	690.9166	1527.4251	748.94	A-02	A	-	-	-	44.4	196	71.5	155.6	32142.4
PM-41	12/5/2014	abr/14	642.7711	1589.6152	738.085	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	-	-
PM-41	29/10/2014	out/14	642.7711	1589.6152	738.085	A-02	A	-	-	-	-	<200	<20	-	-
PM-41	13/5/2015	mai/15	642.7711	1589.6152	738.085	A-02	A	-	-	-	145.8	<15	<15	40.7	3339.8
PM-41	14/12/2015	fev/16	642.7711	1589.6152	738.085	A-02	A	-	-	-	<10	<15	<15	<30	<30
PM-41	22/7/2016	jul/16	642.7711	1589.6152	738.085	A-02	A	-	-	-	23.8	<15	<15	73	18655.2
PM-41	13/1/2017	mai/17	642.7711	1589.6152	738.085	A-02	A	-	-	-	25.3	<15	<15	116.8	1687.4
PM-41	8/11/2017	nov/17	642.7711	1589.6152	738.085	A-02	A	-	-	-	33.7	<15	<15	37.7	51041.3
PM-42	15/5/2014	abr/14	962.5311	1456.7156	738.129	A-01	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-42	3/11/2014	out/14	962.5311	1456.7156	738.129	A-01	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	36100
PM-42	15/5/2015	mai/15	962.5311	1456.7156	738.129	A-01	A	-	-	-	<10	29.8	<15	57.4	200.7
PM-42	14/12/2015	fev/16	962.5311	1456.7156	738.129	A-01	A	<3	<3	<3	<10	30.3	<15	<30	<30
PM-42	6/7/2016	jul/16	962.5311	1456.7156	738.129	A-01	A	<3	<3	<3	52.7	25.5	<15	45.1	19506.7
PM-42	13/1/2017	mai/17	962.5311	1456.7156	738.129	A-01	A	<3	<3	<3	39.6	<15	<15	111.7	674.6
PM-42	1/11/2017	nov/17	962.5311	1456.7156	738.129	A-01	A	<3	<3	<3	67.3	39.2	<15	143.1	25921.4
PM-43	7/11/2014	out/14	1157.5561	1099.5625	748.806	A-01	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-45	22/4/2014	abr/14	558.555	343.6992	738.524	A-06	A	-	-	-	-	<200	50.1	970	22300
PM-45	22/10/2014	out/14	558.555	343.6992	738.524	A-06	A	-	-	-	-	<200	77	-	-
PM-45	30/3/2015	mai/15	558.555	343.6992	738.524	A-06	A	-	-	-	36.8	153.2	51.7	705.2	32636
PM-45	9/12/2015	fev/16	558.555	343.6992	738.524	A-06	A	<3	<3	<3	73.7	155	54.1	<30	14412.5
PM-45	7/7/2016	jul/16	558.555	343.6992	738.524	A-06	A	<3	<3	<3	33.4	94.8	32.3	952.5	20486.3
PM-45	13/1/2017	mai/17	558.555	343.6992	738.524	A-06	A	<3	<3	<3	66.1	102	53.3	807.4	11140.6
PM-45	7/11/2017	nov/17	558.555	343.6992	738.524	A-06	A	-	-	-	34.5	85.2	56.3	1829.8	41483.5
PM-46	22/4/2014	abr/14	668.757	286.1371	739.806	A-06	A	-	-	-	-	735	<20	1600	998000
PM-46	21/10/2014	out/14	668.757	286.1371	739.806	A-06	A	-	-	-	-	623	<20	680	924000
PM-46	31/3/2015	mai/15	668.757	286.1371	739.806	A-06	A	-	-	-	34.5	515.3	<15	3463.3	1634877
PM-46	9/12/2015	fev/16	668.757	286.1371	739.806	A-06	A	<3	<3	<3	39.7	353	<15	<30	18280.2
PM-46	7/7/2016	jul/16													

ANEXO A
Tabela de Resultados Analíticos

Padrões de Qualidade			Água Subterrânea - CETESB DD 256/2016 - Intervenção					VOC			Metais			Inorgânicos	
			Água Subterrânea - CONAMA 420/2009 - Investigação					1,2-Dicloroeteno - cis	Tricloroeteno	Tetracloroeteno	Bário (Filtered)	Boro (Filtered)	Molibdênio (Filtered)	Fluoreto	Sulfato
Ponto	Data	Campanha de Monitoramento	UTM X	UTM Y	Cota	Zona de Monitoramento	Unidade Freática	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
			Tapwater - RSL USEPA jun/2018					36	0.49	11	3800	4000	100	1200	
PM-47	7/11/2017	nov/17	1326.1204	200.9968	737.683	A-08	A	-	-	-	114	191	147	347.7	110153
PM-48	28/4/2014	abr/14	1522.7939	322.7309	739.089	A-01	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	10640
PM-48	21/10/2014	out/14	1522.7939	322.7309	739.089	A-01	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	9040
PM-48	13/4/2015	mai/15	1522.7939	322.7309	739.089	A-01	A	-	-	-	48.6	89.6	<15	49	11607.3
PM-48	9/12/2015	fev/16	1522.7939	322.7309	739.089	A-01	A	-	-	-	31.8	60.4	<15	<30	5325.5
PM-48	7/7/2016	jul/16	1522.7939	322.7309	739.089	A-01	A	-	-	-	42.9	<15	<15	59.8	16428.4
PM-48	13/1/2017	mai/17	1522.7939	322.7309	739.089	A-01	A	-	-	-	61.8	46.4	<15	180.2	4578.5
PM-48	1/11/2017	nov/17	1522.7939	322.7309	739.089	A-01	A	<3	<3	<3	95.8	41.3	<15	86.2	14630.3
PM-49	28/4/2014	abr/14	1353.8476	675.419	739.289	A-01	A	-	-	-	-	<200	77.9	1470	5880
PM-49	16/10/2014	out/14	1353.8476	675.419	739.289	A-01	A	-	-	-	-	<200	54.7	660	23600
PM-49	13/4/2015	mai/15	1353.8476	675.419	739.289	A-01	A	-	-	-	91.3	251.4	<15	1496.6	5974.4
PM-49	9/12/2015	fev/16	1353.8476	675.419	739.289	A-01	A	<3	<3	<3	59.6	369	178	<30	18068.2
PM-49	7/7/2016	jul/16	1353.8476	675.419	739.289	A-01	A	<3	<3	<3	72.9	167	38.4	1174.4	49392.4
PM-49	13/1/2017	mai/17	1353.8476	675.419	739.289	A-01	A	<3	<3	<3	67.4	175	143	1990.8	6539
PM-49	15/11/2017	nov/17	1353.8476	675.419	739.289	A-01	A	<3	<3	<3	1328	196	30.2	884.6	85855.4
PM-50	16/5/2014	abr/14	1245.7004	660.694	751.041	A-08	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	96060
PM-50	16/10/2014	out/14	1245.7004	660.694	751.041	A-08	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	30600
PM-50	15/5/2015	mai/15	1245.7004	660.694	751.041	A-08	A	-	-	-	118.9	221.1	<15	534.2	154398.2
PM-50	15/12/2015	fev/16	1245.7004	660.694	751.041	A-08	A	-	-	-	33.5	242	15.7	<30	87230
PM-50	7/7/2016	jul/16	1245.7004	660.694	751.041	A-08	A	-	-	-	123	110	<15	605.8	92982.5
PM-50	13/1/2017	mai/17	1245.7004	660.694	751.041	A-08	A	-	-	-	112	396	<15	396	203668.5
PM-50	7/11/2017	nov/17	1245.7004	660.694	751.041	A-08	A	-	-	-	81.8	<15	<15	556.1	17488.8
PM-51	28/4/2014	abr/14	1053.2219	524.6723	743.513	A-08	A	-	-	-	-	224	<20	<500	55650
PM-51	16/10/2014	out/14	1053.2219	524.6723	743.513	A-08	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	64600
PM-51	13/4/2015	mai/15	1053.2219	524.6723	743.513	A-08	A	-	-	-	134.3	270.4	<15	342.6	54376.5
PM-51	18/12/2015	fev/16	1053.2219	524.6723	743.513	A-08	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	12152.1
PM-51	27/7/2016	jul/16	1053.2219	524.6723	743.513	A-08	A	<3	<3	<3	136	128	32.5	574.4	45823
PM-51	12/1/2017	mai/17	1053.2219	524.6723	743.513	A-08	A	<3	<3	<3	134	63.9	48.8	878.9	9740.9
PM-51	7/11/2017	nov/17	1053.2219	524.6723	743.513	A-08	A	-	-	-	97.2	33.3	17.2	645.8	29108.5
PM-52	24/4/2014	abr/14	700.4666	935.045	740.979	A-03	A	-	-	-	-	229	170	3220	24500
PM-52	15/10/2014	out/14	700.4666	935.045	740.979	A-03	A	-	-	-	-	218	162	3050	32000
PM-52	25/3/2015	mai/15	700.4666	935.045	740.979	A-03	A	-	-	-	<10	30.1	<15	3945.8	20705.2
PM-52	14/12/2015	fev/16	700.4666	935.045	740.979	A-03	A	<3	<3	<3	<10	223	117	<30	9120.1
PM-52	19/7/2016	jul/16	700.4666	935.045	740.979	A-03	A	<3	<3	<3	95.4	190	166	2856.4	30278.8
PM-52	12/1/2017	mai/17	700.4666	935.045	740.979	A-03	A	<3	<3	<3	78.6	212	161	1859.4	17266.8
PM-52	2/11/2017	nov/17	700.4666	935.045	740.979	A-03	A	-	-	-	253	<15	322	3175.1	33452.8
PM-53	29/4/2014	abr/14	745.2348	759.5859	741.188	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	<500	5740
PM-53	15/10/2014	out/14	745.2348	759.5859	741.188	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	<500	<5000
PM-53	25/3/2015	mai/15	745.2348	759.5859	741.188	A-07	A	<3	<3	<3	29.6	<15	<15	954.4	4477.6
PM-53	15/12/2015	fev/16	745.2348	759.5859	741.188	A-07	A	<3	<3	<3	229	58.7	<15	<30	<30
PM-53	5/7/2016	jul/16	745.2348	759.5859	741.188	A-07	A	<3	<3	<3	269	<15	<15	447.8	11108.2
PM-53	12/1/2017	mai/17	745.2348	759.5859	741.188	A-07	A	<3	<3	<3	253	<15	<15	458.6	879.4
PM-53	14/11/2017	nov/17	745.2348	759.5859	741.188	A-07	A	<3	<3	<3	469	<15	<15	436.1	1442.5
PM-54	4/11/2014	out/14	1119.0153	219.5574	740.05	A-05	A	-	-	-	-	980	573	-	-
PM-54	14/5/2015	mai/15	1119.0153	219.5574	740.05	A-05	A	-	-	-	84.6	1212.4	222.7	-	-
PM-55	22/10/2014	out/14	1000.2372	258.4035	741.048	A-05	A	-	-	-	-	<200	<20	-	-
PM-55	14/5/2015	mai/15	1000.2372	258.4035	741.048	A-05	A	-	-	-	149.9	170.8	<15	-	-
PM-56	9/5/2014	abr/14	1002.186	163.2047	738.51	A-05	A	-	-	-	-	228	120	1800	52260
PM-56	4/11/2014	out/14	1002.186	163.2047	738.51	A-05	A	-	-	-	-	-	75.3	1220	44100
PM-56	14/5/2015	mai/15	1002.186	163.2047	738.51	A-05	A	-	-	-	95.4	362.6	135.1	861.2	40380
PM-56	16/12/2015	fev/16	1002.186	163.2047	738.51	A-05	A	-	-	-	<10	236	33.8	<30	79953
PM-56	26/7/2016	jul/16	1002.186	163.2047	738.51	A-05	A	-	-	-	57.5	148	42.4	708.2	29531.2
PM-56	12/1/2017	mai/17	1002.186	163.2047	738.51	A-05	A	-	-	-	73	263	96.5	767.8	22074.7
PM-56	6/11/2017	nov/17	1002.186	163.2047	738.51	A-05	A	-	-	-	40.2	281	<15	937.2	33223.3
PM-57	14/5/2014	abr/14	653.6423	701.0695	741.23	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	22.2	6850	32240
PM-57	14/10/2014	out/14	653.6423	701.0695	741.23	A-07	A	17	<5	<5	-	<200	<20	6840	<5000
PM-57	27/3/2015	mai/15	653.6423	701.0695	741.23	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	4191.2	70985
PM-57	21/12/2015	fev/16	653.6423	701.0695	741.23	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	34122
PM-57	1/7/2016	jul/16	653.6423	701.0695	741.23	A-07	A	<3	<3	<3	105	26.1	28.9	1935.5	95237.3
PM-57	12/1/2017	mai/17	653.6423	701.0695	741.23	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	113.5	65644.7
PM-57	15/11/2017	nov/17	653.6423	701.0695	741.23	A-07	A	<3	<3	<3	40.7	120	24.6	5095.7	52771.8
PM-58	5/5/2014	abr/14	715.3368	618.7147	741.431	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	64.5	<500	296500
PM-58	10/10/2014	out/14	715.3368	618.7147	741.431	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	71.3	<500	387000
PM-58	24/3/2015	mai/15	715.3368	618.7147	741.431	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	164	60340.2
PM-58	17/12/2015	fev/16	715.3368	618.7147	741.431	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	42277
PM-58	1/7/2016	jul/16	715.3368	618.7147	741.431	A-07	A	<3	<3	<3	33.3	<15	88.2	264.5	430625.5
PM-58	12/1/2017	mai/17	715.3368	618.7147	741.431	A-07	A	<3	<3	<3	66.7	26	<15	89	60995.2
PM-58	13/11/2017	nov/17	715.3368	618.7147	741.431	A-07	A	<3	<3	<3	58.1	<15	<15	162.6	122893.6
PM-60	16/4/2014	abr/14	930.7202	703.5066	741.037	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-60	6/10/2014	out/14	930.7202	703.5066	741.037	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-60	19/3/2015	mai/15	930.7202	703.5066	741.037	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-60	10/12/2015	fev/16	930.7202	703.5066	741.037	A-04	A	<3	<3	<3	313	<15	<15	<30	8615.2
PM-60	8/7/2016	jul/16	930.7202	703.5066	741.037	A-04	A	<3	<3	<3	577	<15	<15	<30	24360.3
PM-60	12/1/2017	mai/17	930.7202	703.5066	741.037	A-04	A	<3	<3	<3	466	<15	<15	<30	16215.4
PM-60	9/11/2017	nov/17	930.7202	703.5066	741.037	A-04	A	<3	<3	<3	573	<15	<15	<30	18791.4
PM-61	16/4/2014	abr/14	897.4274	701.1184	740.884	A-04	A	<5	-	<5	-	-	-	-	-
PM-61	7/10/2014	out/14	897.4274	701.1184	740.884	A-04	A	<5	-	<5	-	-	-	-	-
PM-61	10/12/2015	fev/16	897.4274	701.1184	740.884	A-04	A								

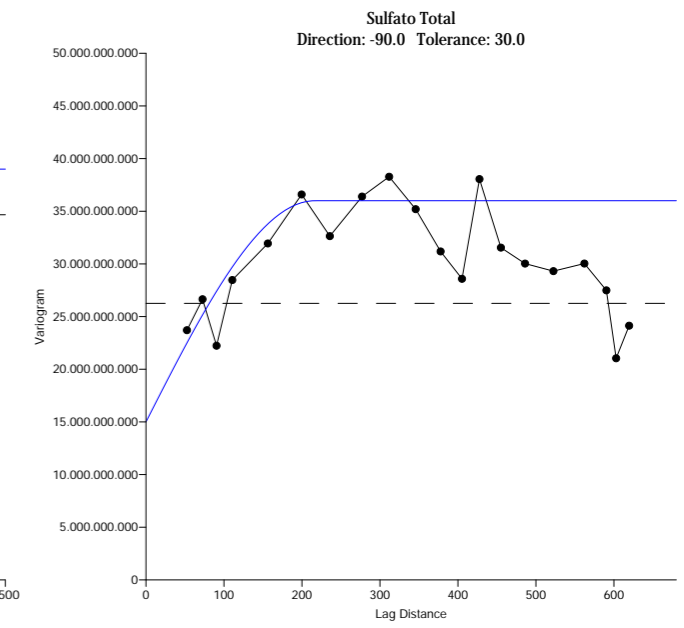
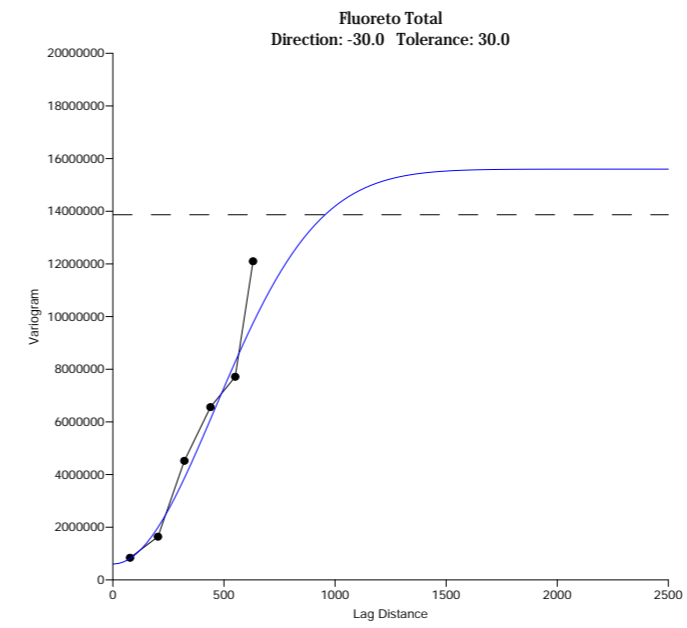
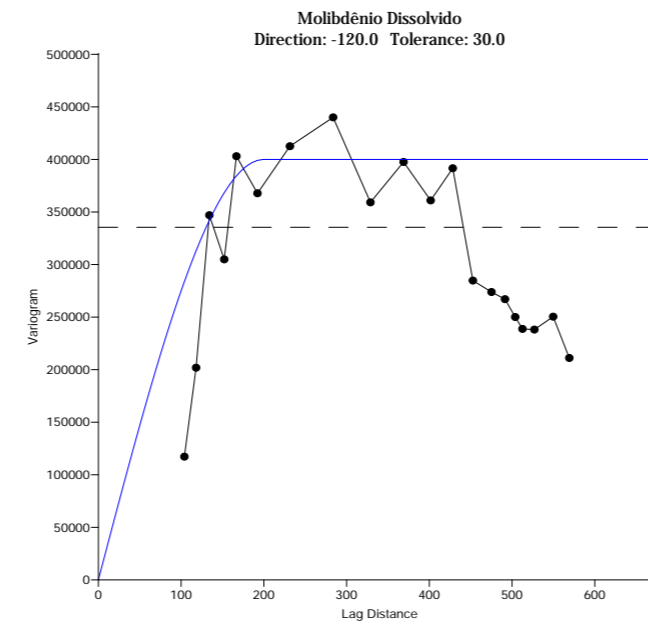
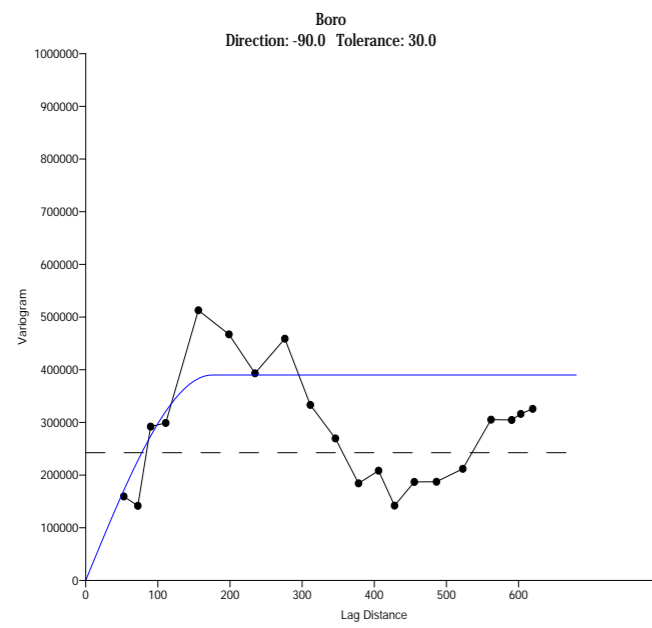
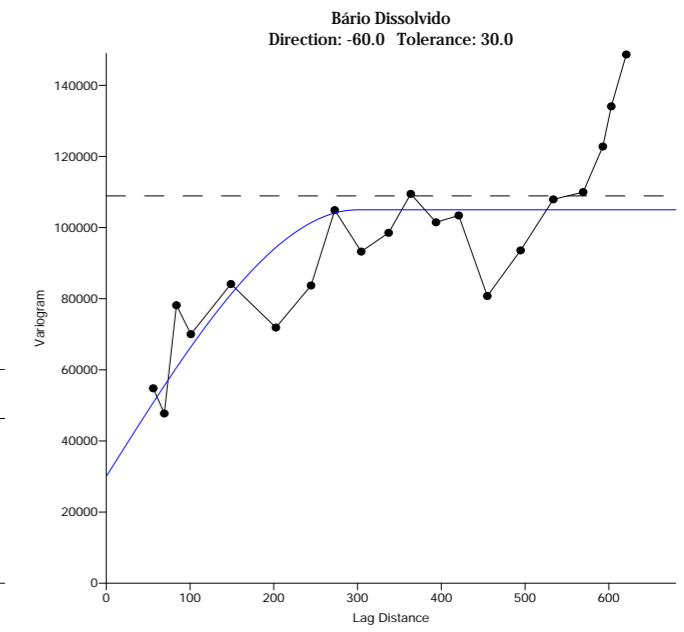
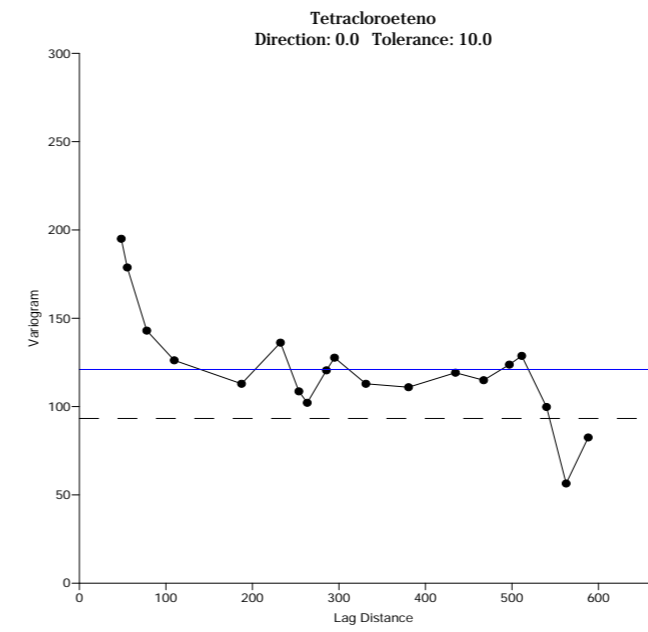
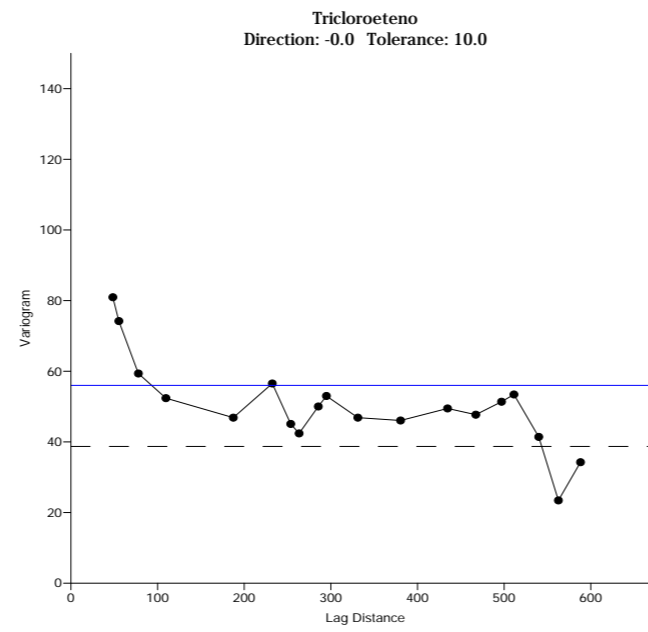
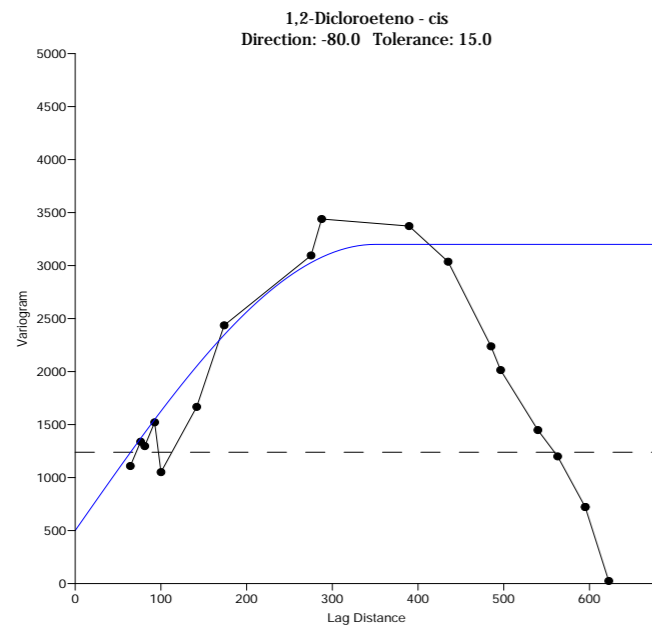
ANEXO A
Tabela de Resultados Analíticos

Padrões de Qualidade			Água Subterrânea - CETESB DD 256/2016 - Intervenção					VOC			Metais			Inorgânicos	
			Água Subterrânea - CONAMA 420/2009 - Investigação					1,2-Dicloroetano - cis	Tricloroetano	Tetracloroetano	Bário (Filtered)	Boro (Filtered)	Molibdênio (Filtered)	Fluoreto	Sulfato
Ponto	Data	Campanha de Monitoramento	UTM X	UTM Y	Cota	Zona de Monitoramento	Unidade Freática	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
			Tapwater - RSL USEPA jun/2018					36	0.49	11	3800	4000	100	1200	
PM-62	10/11/2017	nov/17	877.382	744.1878	740.63	A-04	A	<3	<3	<3	218	<15	<15	<30	26464.5
PM-63	17/4/2014	abr/14	927.812	686.1859	741.019	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-63	6/10/2014	out/14	927.812	686.1859	741.019	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-63	19/3/2015	mai/15	927.812	686.1859	741.019	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-63	10/12/2015	fev/16	927.812	686.1859	741.019	A-04	A	<3	<3	<3	29.3	<15	<15	<30	13621.3
PM-63	15/7/2016	jul/16	927.812	686.1859	741.019	A-04	A	<3	<3	<3	111	<15	<15	<30	32540.5
PM-63	11/1/2017	mai/17	927.812	686.1859	741.019	A-04	A	<3	<3	<3	127	<15	<15	<30	16341.6
PM-63	9/11/2017	nov/17	927.812	686.1859	741.019	A-04	A	<3	<3	<3	133	<15	<15	<30	32281.8
PM-64	19/3/2015	mai/15	961.5264	752.6698	751.255	A-04	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-64	10/12/2015	fev/16	961.5264	752.6698	751.255	A-04	A	<3	<3	<3	171	985	144	<30	4820.8
PM-64	15/7/2016	jul/16	961.5264	752.6698	751.255	A-04	A	<3	<3	<3	26.3	2058	639	21175.6	5884.8
PM-64	11/1/2017	mai/17	961.5264	752.6698	751.255	A-04	A	<3	<3	<3	17.5	1861	557	17643	1097.8
PM-64	8/11/2017	nov/17	961.5264	752.6698	751.255	A-04	A	<3	<3	<3	87.2	753	44.3	5059.4	2957
PM-65	17/4/2014	abr/14	868.7465	712.3101	740.96	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-65	8/10/2014	out/14	868.7465	712.3101	740.96	A-04	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-65	19/3/2015	mai/15	868.7465	712.3101	740.96	A-04	A	<3	-	<3	-	-	-	-	-
PM-65	11/12/2015	fev/16	868.7465	712.3101	740.96	A-04	A	<3	<3	<3	430	74.6	<15	<30	8473.7
PM-65	14/7/2016	jul/16	868.7465	712.3101	740.96	A-04	A	<3	<3	<3	779	64.8	<15	165.2	14462.1
PM-65	11/1/2017	mai/17	868.7465	712.3101	740.96	A-04	A	<3	<3	<3	727	65.8	<15	219.2	4419.4
PM-65	8/11/2017	nov/17	868.7465	712.3101	740.96	A-04	A	<3	<3	<3	884	78.6	<15	236.4	5564.7
PM-66	5/5/2014	abr/14	787.7268	641.6788	741.344	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	<500	136700
PM-66	15/10/2014	out/14	787.7268	641.6788	741.344	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	<500	109000
PM-66	24/3/2015	mai/15	787.7268	641.6788	741.344	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	116.7	75210.6
PM-66	17/12/2015	fev/16	787.7268	641.6788	741.344	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	36854
PM-66	1/7/2016	jul/16	787.7268	641.6788	741.344	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	45.8	100499.9
PM-66	11/1/2017	mai/17	787.7268	641.6788	741.344	A-07	A	<3	<3	<3	38.6	<15	<15	90.9	56960.7
PM-66	13/11/2017	nov/17	787.7268	641.6788	741.344	A-07	A	<3	<3	<3	88.9	<15	<15	54.7	1381.1
PM-67	29/4/2014	abr/14	726.5089	666.2387	741.246	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	1400	628100
PM-67	14/10/2014	out/14	726.5089	666.2387	741.246	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	<500	995500
PM-67	30/3/2015	mai/15	726.5089	666.2387	741.246	A-07	A	<3	<3	<3	339.5	<15	<15	2968.2	158097.8
PM-67	17/12/2015	fev/16	726.5089	666.2387	741.246	A-07	A	<3	<3	<3	323	<15	<15	<30	15613
PM-67	8/7/2016	jul/16	726.5089	666.2387	741.246	A-07	A	<3	<3	<3	283	<15	<15	3269.6	428150.2
PM-67	12/1/2017	mai/17	726.5089	666.2387	741.246	A-07	A	<3	<3	<3	200	<15	<15	1452.8	214098.8
PM-67	13/11/2017	nov/17	726.5089	666.2387	741.246	A-07	A	<3	<3	<3	452	<15	<15	2096.6	104874.2
PM-68	5/5/2014	abr/14	657.3744	644.7544	740.866	A-07	A	6	<5	<5	-	<200	<20	670	66560
PM-68	7/11/2014	out/14	657.3744	644.7544	740.866	A-07	A	6	10	6	-	<200	<20	<500	62600
PM-68	1/4/2015	mai/15	657.3744	644.7544	740.866	A-07	A	<3	9.91	10.3	136.2	<15	<15	562.4	52696
PM-68	22/12/2015	fev/16	657.3744	644.7544	740.866	A-07	A	14.1	14.4	23	102	<15	<15	<30	45846
PM-68	4/7/2016	jul/16	657.3744	644.7544	740.866	A-07	A	<3	<3	<3	19.8	<15	<15	831.6	70030.1
PM-68	11/1/2017	mai/17	657.3744	644.7544	740.866	A-07	A	<3	<3	<3	74.3	<15	<15	253.7	50887.2
PM-68	16/11/2017	nov/17	657.3744	644.7544	740.866	A-07	A	<3	<3	<3	60.1	42.2	<15	3202.2	48755.2
PM-69	9/5/2014	abr/14	697.2197	790.4172	-	A-07	A	<5	<5	<5	-	<400	<40	530	999000
PM-69	31/10/2014	out/14	697.2197	790.4172	-	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	<500	333000
PM-69	13/5/2015	mai/15	697.2197	790.4172	-	A-07	A	-	<3	-	196.4	64.1	<15	62	1032354
PM-69	15/12/2015	fev/16	697.2197	790.4172	-	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	49998
PM-69	5/7/2016	jul/16	697.2197	790.4172	-	A-07	A	<3	<3	<3	67.3	<15	<15	174	657807.2
PM-69	3/2/2017	mai/17	697.2197	790.4172	-	A-07	A	<3	<3	<3	54.6	<15	<15	181	391421.8
PM-69	14/11/2017	nov/17	697.2197	790.4172	-	A-07	A	<3	<3	<3	120	<15	<15	120	247926.2
PM-70	13/5/2014	abr/14	616.6083	724.9295	737.891	A-07	A	-	<5	-	-	<200	<20	6150	565700
PM-70	3/11/2014	out/14	616.6083	724.9295	737.891	A-07	A	-	<5	-	-	<200	<20	4440	270000
PM-70	1/4/2015	mai/15	616.6083	724.9295	737.891	A-07	A	-	13.5	-	63.7	<15	<15	3368.2	1316068
PM-70	16/12/2015	fev/16	616.6083	724.9295	737.891	A-07	A	19.2	<3	<3	<10	<15	<15	<30	297215
PM-70	5/7/2016	jul/16	616.6083	724.9295	737.891	A-07	A	<3	<3	<3	37.1	<15	<15	2160.4	840786
PM-70	1/2/2017	mai/17	616.6083	724.9295	737.891	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	977.6	672313.6
PM-70	14/11/2017	nov/17	616.6083	724.9295	737.891	A-07	A	<3	<3	<3	80.3	<15	<15	1603	239013.6
PM-71	13/5/2014	abr/14	635.8209	685.9598	741.038	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	68.5	4600	7900
PM-71	13/10/2014	out/14	635.8209	685.9598	741.038	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	70.3	<500	13500
PM-71	27/3/2015	mai/15	635.8209	685.9598	741.038	A-07	A	<3	<3	<3	53.6	61.8	<15	2024.6	23580.3
PM-71	16/12/2015	fev/16	635.8209	685.9598	741.038	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	10529.6
PM-71	1/7/2016	jul/16	635.8209	685.9598	741.038	A-07	A	<3	<3	<3	99.4	57.7	32.7	1631.2	21057.4
PM-71	1/2/2017	mai/17	635.8209	685.9598	741.038	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	770.2	14041.8
PM-71	13/11/2017	nov/17	635.8209	685.9598	741.038	A-07	A	<3	<3	<3	115	<15	<15	109.4	25878.6
PM-72	9/5/2014	abr/14	668.5137	731.4991	738.683	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	990	51200
PM-72	31/10/2014	out/14	668.5137	731.4991	738.683	A-07	A	<5	<5	<5	-	<200	<20	630	39200
PM-72	13/5/2015	mai/15	668.5137	731.4991	738.683	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	1103.6	47722.2
PM-72	15/12/2015	fev/16	668.5137	731.4991	738.683	A-07	A	<3	<3	<3	44.4	<15	21.8	<30	11330.2
PM-72	5/7/2016	jul/16	668.5137	731.4991	738.683	A-07	A	<3	<3	<3	147	<15	<15	969.1	46563.6
PM-72	10/1/2017	mai/17	668.5137	731.4991	738.683	A-07	A	<3	<3	<3	135	<15	<15	802.1	23248
PM-72	14/11/2017	nov/17	668.5137	731.4991	738.683	A-07	A	<3	<3	<3	187	<15	<15	1562	46132.4
PM-73	23/4/2014	abr/14	1001.9137	27.788	738.71	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-73	21/10/2014	out/14	1001.9137	27.788	738.71	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-73	26/3/2015	mai/15	1001.9137	27.788	738.71	A-09	A	-	-	-	258.9	19.1	<15	532.3	16006
PM-73	15/12/2015	fev/16	1001.9137	27.788	738.71	A-09	A	<3	<3	<3	51	37.9	<15	<30	<30
PM-73	7/7/2016	jul/16	1001.9137	27.788	738.71	A-09	A	<3	<3	<3	97.3	32.9	<15	275.3	1338.5
PM-73	10/1/2017	mai/17	1001.9137	27.788	738.71	A-09	A	<3	<3	<3	106	<15	<15	175.9	3266.4
PM-73	1/11/2017	nov/17	1001.9137	27.788	738.71	A-09	A	<3	<3	<3	81.8	34.5	<15	401.1	1169.2

ANEXO A
Tabela de Resultados Analíticos

Padrões de Qualidade			Água Subterrânea - CETESB DD 256/2016 - Intervenção					VOC			Metais			Inorgânicos	
			Água Subterrânea - CONAMA 420/2009 - Investigação					1,2-Dicloroetano - cis	Tricloroetano	Tetracloroetano	Bário (Filtered)	Boro (Filtered)	Molibdênio (Filtered)	Fluoreto	Sulfato
Ponto	Data	Campanha de Monitoramento	UTM X	UTM Y	Cota	Zona de Monitoramento	Unidade Freática	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Tapwater - RSL USEPA jun/2018								36	0.49	11	3800	4000	100	1200	
PM-75	26/7/2016	jul/16	552.3168	269.6904	739.408	A-09	A	<3	<3	<3	18.4	196	<15	57.6	593509.2
PM-75	10/1/2017	mai/17	552.3168	269.6904	739.408	A-09	A	<3	<3	<3	24.9	117	<15	31.2	242094.4
PM-75	1/11/2017	nov/17	552.3168	269.6904	739.408	A-09	A	<3	<3	<3	26.6	139	<15	58.4	337518
PM-76	13/5/2014	abr/14	417.4786	652.4206	738.408	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	291800
PM-76	3/11/2014	out/14	417.4786	652.4206	738.408	A-09	A	-	-	-	-	<1000	<100	<500	3160000
PM-76	14/5/2015	mai/15	417.4786	652.4206	738.408	A-09	A	-	-	-	29.2	<15	<15	<30	647503.2
PM-76	21/12/2015	fev/16	417.4786	652.4206	738.408	A-09	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	18279
PM-76	26/7/2016	jul/16	417.4786	652.4206	738.408	A-09	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-76	10/1/2017	mai/17	417.4786	652.4206	738.408	A-09	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	71.8	17650.8
PM-76	15/11/2017	nov/17	417.4786	652.4206	738.408	A-09	A	151.1	<3	<3	43.6	<15	<15	50.5	1250764
PM-77	13/5/2014	abr/14	546.4649	675.6611	738.109	A-07	A	27	61	75	-	<400	<40	1030	891700
PM-77	3/11/2014	out/14	546.4649	675.6611	738.109	A-07	A	<5	-	-	-	<200	<20	520	42000
PM-77	14/5/2015	mai/15	546.4649	675.6611	738.109	A-07	A	<3	<3	<3	45.3	<15	<15	307.3	4047.7
PM-77	16/12/2015	fev/16	546.4649	675.6611	738.109	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	<30	3060.8
PM-77	6/7/2016	jul/16	546.4649	675.6611	738.109	A-07	A	100.1	<3	<3	111	<15	<15	171.5	1784910
PM-77	10/1/2017	mai/17	546.4649	675.6611	738.109	A-07	A	<3	<3	<3	<10	<15	<15	365.3	2376.6
PM-77	14/11/2017	nov/17	546.4649	675.6611	738.109	A-07	A	<3	<3	<3	44.5	<15	<15	413.7	7508.6
PM-78	7/5/2014	abr/14	370.5699	779.229	738.406	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	238900
PM-78	28/10/2014	out/14	370.5699	779.229	738.406	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	295000
PM-78	2/4/2015	mai/15	370.5699	779.229	738.406	A-09	A	-	-	-	155.1	<15	<15	<30	96936.6
PM-78	22/12/2015	fev/16	370.5699	779.229	738.406	A-09	A	-	-	-	72.5	<15	<15	<30	8484.5
PM-78	21/7/2016	jul/16	370.5699	779.229	738.406	A-09	A	-	-	-	148	<15	<15	<30	29660.7
PM-78	10/1/2017	mai/17	370.5699	779.229	738.406	A-09	A	-	-	-	128	<15	<15	64.6	11982.3
PM-78	2/11/2017	nov/17	370.5699	779.229	738.406	A-09	A	<3	<3	<3	102	<15	<15	<30	82094.6
PM-79	25/4/2014	abr/14	430.6981	854.4883	738.151	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-79	27/10/2014	out/14	430.6981	854.4883	738.151	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-79	2/4/2015	mai/15	430.6981	854.4883	738.151	A-09	A	-	-	-	71.8	<15	<15	85	3745
PM-79	16/12/2015	fev/16	430.6981	854.4883	738.151	A-09	A	<3	<3	<3	106	<15	<15	<30	9504.4
PM-79	21/7/2016	jul/16	430.6981	854.4883	738.151	A-09	A	<3	<3	<3	165	<15	<15	42.7	32667.8
PM-79	10/1/2017	mai/17	430.6981	854.4883	738.151	A-09	A	<3	<3	<3	131	<15	<15	41.1	20839.6
PM-79	2/11/2017	nov/17	430.6981	854.4883	738.151	A-09	A	<3	<3	<3	67.1	<15	<15	<30	25404.8
PM-80	25/4/2014	abr/14	433.5417	928.9512	737.823	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	1.98
PM-80	28/10/2014	out/14	433.5417	928.9512	737.823	A-09	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	-
PM-80	16/4/2015	mai/15	433.5417	928.9512	737.823	A-09	A	-	-	-	76.6	<15	<15	<30	1286.3
PM-80	22/12/2015	fev/16	433.5417	928.9512	737.823	A-09	A	-	-	-	65.9	<15	<15	<30	<30
PM-80	21/7/2016	jul/16	433.5417	928.9512	737.823	A-09	A	-	-	-	62	<15	<15	<30	2890.7
PM-80	10/1/2017	mai/17	433.5417	928.9512	737.823	A-09	A	-	-	-	171	<15	<15	65.6	1752.3
PM-80	2/11/2017	nov/17	433.5417	928.9512	737.823	A-09	A	<3	<3	<3	28.6	<15	<15	41.1	952.9
PM-81	25/4/2014	abr/14	506.9192	851.9048	738.403	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	43600
PM-81	27/10/2014	out/14	506.9192	851.9048	738.403	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	93400
PM-81	13/5/2015	mai/15	506.9192	851.9048	738.403	A-03	A	-	-	-	49.1	36.1	<15	<30	52213.5
PM-81	22/12/2015	fev/16	506.9192	851.9048	738.403	A-03	A	-	-	-	105	<15	<15	<30	11636.5
PM-81	19/7/2016	jul/16	506.9192	851.9048	738.403	A-03	A	-	-	-	225	<15	<15	<30	98306.6
PM-81	10/1/2017	mai/17	506.9192	851.9048	738.403	A-03	A	-	-	-	133	<15	<15	40.6	38444.7
PM-81	2/11/2017	nov/17	506.9192	851.9048	738.403	A-03	A	-	-	-	349	<15	<15	<30	45250.5
PM-82	25/4/2014	abr/14	471.4082	901.9975	739.14	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-82	27/10/2014	out/14	471.4082	901.9975	739.14	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-82	13/5/2015	mai/15	471.4082	901.9975	739.14	A-03	A	-	-	-	27.9	224.2	<15	<30	1598.9
PM-82	22/12/2015	fev/16	471.4082	901.9975	739.14	A-03	A	-	-	-	24	<15	<15	<30	<30
PM-82	19/7/2016	jul/16	471.4082	901.9975	739.14	A-03	A	-	-	-	48.8	<15	<15	<30	2165
PM-82	10/1/2017	mai/17	471.4082	901.9975	739.14	A-03	A	-	-	-	51.3	<15	<15	44.4	1496.1
PM-82	2/11/2017	nov/17	471.4082	901.9975	739.14	A-03	A	-	-	-	143	<15	<15	35.2	2924.4
PM-83	9/5/2014	abr/14	419.349	1255.7784	737.151	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	9600
PM-83	29/10/2014	out/14	419.349	1255.7784	737.151	A-03	A	-	-	-	-	<200	<20	<500	<5000
PM-83	13/4/2015	mai/15	419.349	1255.7784	737.151	A-03	A	-	-	-	162.7	101.4	<15	42.4	31329.7
PM-83	14/12/2015	fev/16	419.349	1255.7784	737.151	A-03	A	<3	<3	<3	78	62.3	<15	<30	5430.6
PM-83	19/7/2016	jul/16	419.349	1255.7784	737.151	A-03	A	<3	<3	<3	176	<15	<15	30.7	19164.6
PM-83	10/1/2017	mai/17	419.349	1255.7784	737.151	A-03	A	<3	<3	<3	75.8	25.5	<15	44.3	5035
PM-83	15/11/2017	nov/17	419.349	1255.7784	737.151	A-03	A	-	-	-	2223	46.2	<15	59.7	7897.6
PM-84	3/6/2014	abr/14	741.0921	333.4473	740.853	A-10	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-84	25/3/2015	mai/15	741.0921	333.4473	740.853	A-10	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-84	3/2/2016	fev/16	741.0921	333.4473	740.853	A-10	A	<3	<3	<3	799	51.4	<15	<30	7096.2
PM-84	20/7/2016	jul/16	741.0921	333.4473	740.853	A-10	A	<3	<3	<3	413	<15	<15	97.7	36566.5
PM-84	9/1/2017	mai/17	741.0921	333.4473	740.853	A-10	A	<3	<3	<3	845	40.1	<15	367.8	16696.5
PM-84	7/11/2017	nov/17	741.0921	333.4473	740.853	A-10	A	-	-	-	938	<15	<15	49.4	13768.2
PM-85	3/6/2014	abr/14	766.6511	298.963	740.941	A-10	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-85	25/3/2015	mai/15	766.6511	298.963	740.941	A-10	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-85	3/2/2016	fev/16	766.6511	298.963	740.941	A-10	A	<3	<3	<3	181	<15	<15	<30	3804.7
PM-85	20/7/2016	jul/16	766.6511	298.963	740.941	A-10	A	<3	<3	<3	361	<15	<15	<30	9833.4
PM-85	9/1/2017	mai/17	766.6511	298.963	740.941	A-10	A	<3	<3	<3	48.6	27.8	20.1	30	16657
PM-85	7/11/2017	nov/17	766.6511	298.963	740.941	A-10	A	-	-	-	286	157	<15	<30	37284
PM-86	2/6/2014	abr/14	603.7303	617.4812	740.961	A-07	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-86	13/10/2014	out/14	603.7303	617.4812	740.961	A-07	A	<5	<5	<5	-	-	-	-	-
PM-86	24/3/2015	mai/15	603.7303	617.4812	740.961	A-07	A	<3	<3	<3	-	-	-	-	-
PM-86	18/12/2015	fev/16	603.7303	617.4812	740.961	A-07	A	<3	<3	<3	424	<15	<15	<30	5393.3
PM-86	1/7/2016	jul/16	603.7303	617.4812	740.961	A-07	A	<3	<3	<3	410	<15	<15	236.8	12834.1
PM-86	9/1/2017	mai/17	603.7303	617.4812	740.961	A-07	A	<3	<3	<3	183	<15	<15	107	4841.2
PM-86	13/11/2017	nov/17	603.7303	617.4812	740.961	A-07	A	<3	<3	<3	349	<15	<15	<30</	

ANEXO B MODELOS TEÓRICOS DO VARIOGRAMA DAS SQIs



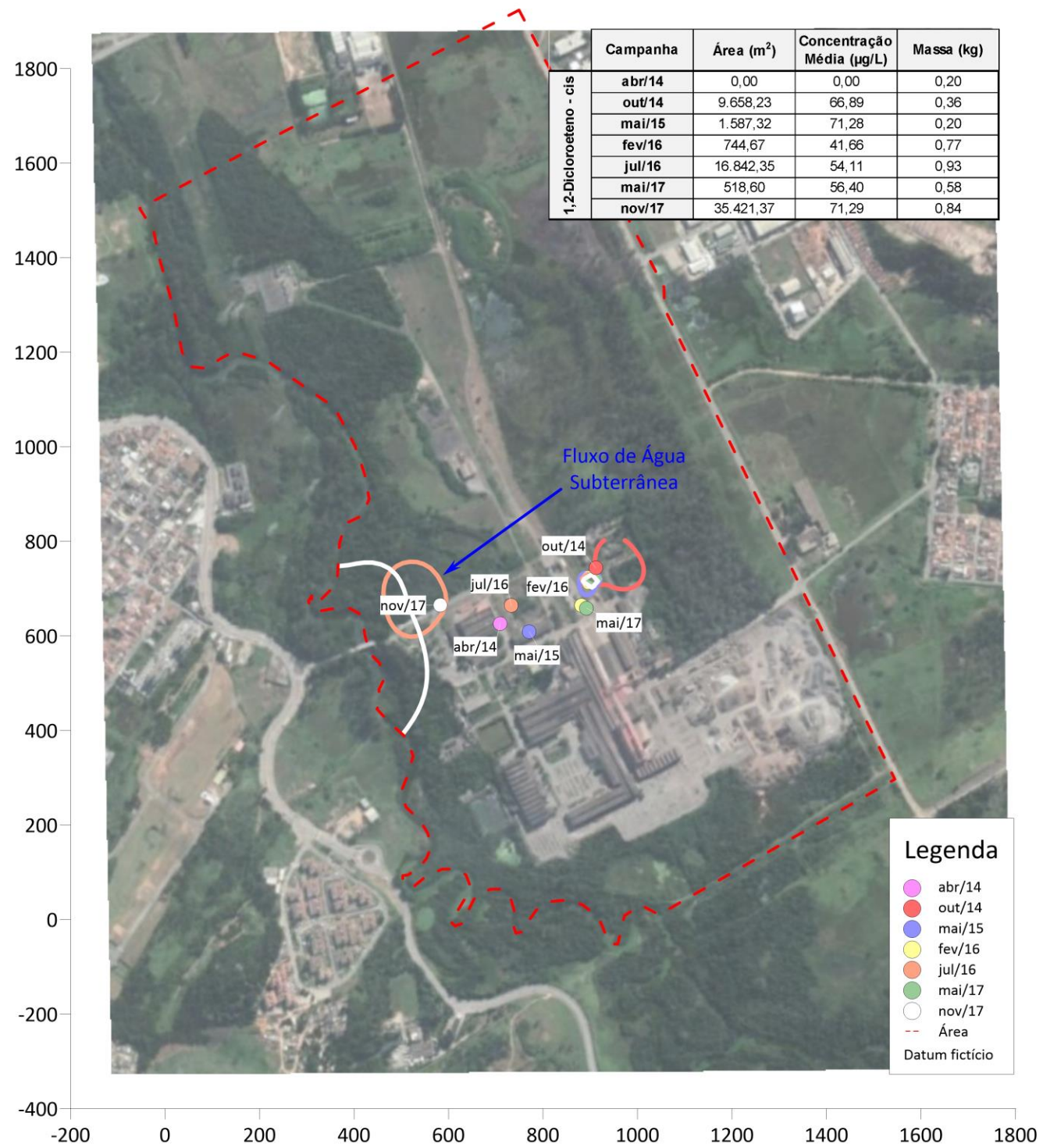
LEGENDA

- Variância
- Variograma teórico modelado
- Variograma estimado

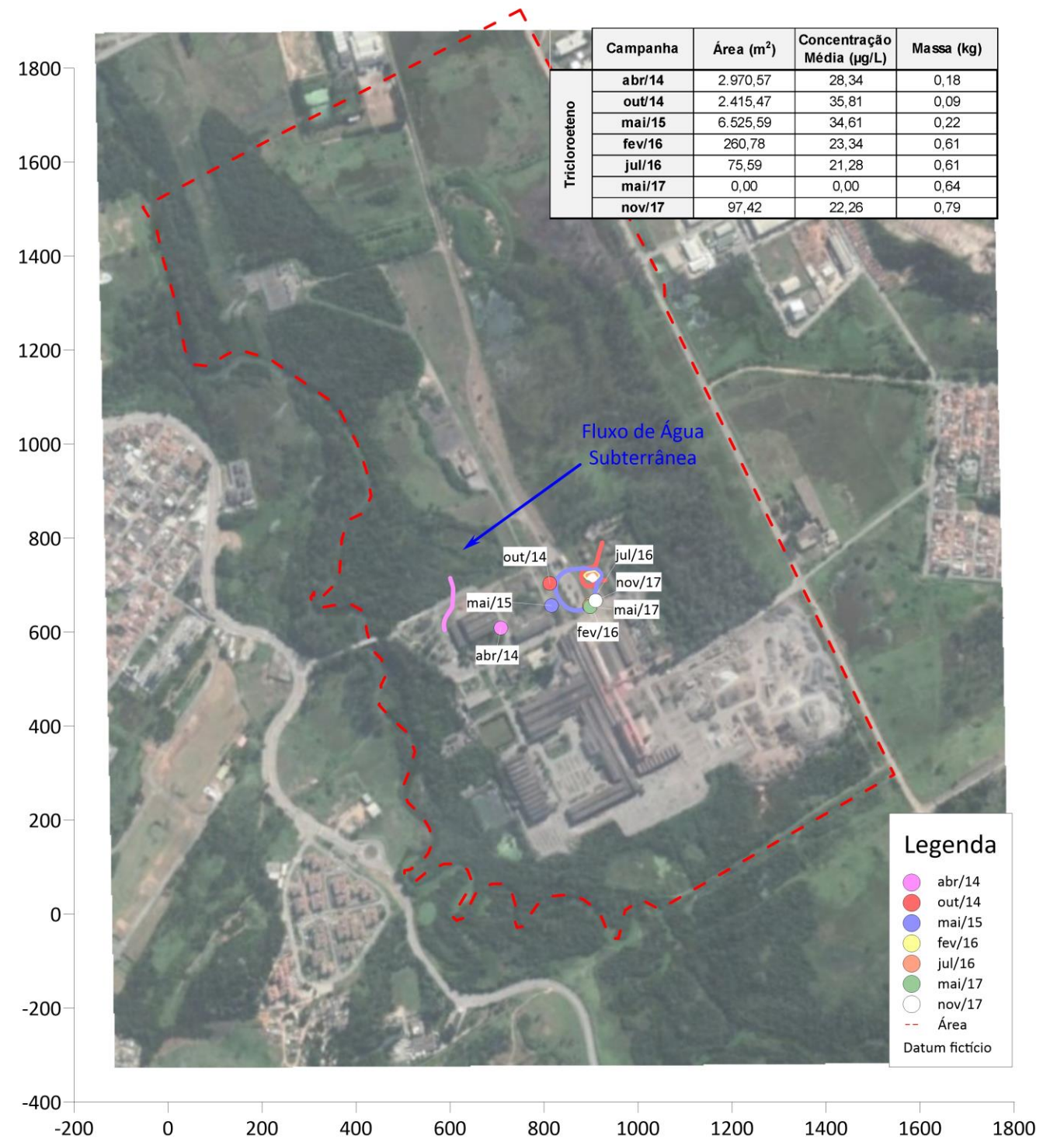
ANEXO C

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO E SEUS CENTROS DE MASSA

1,2-Dicloroeteno - cis



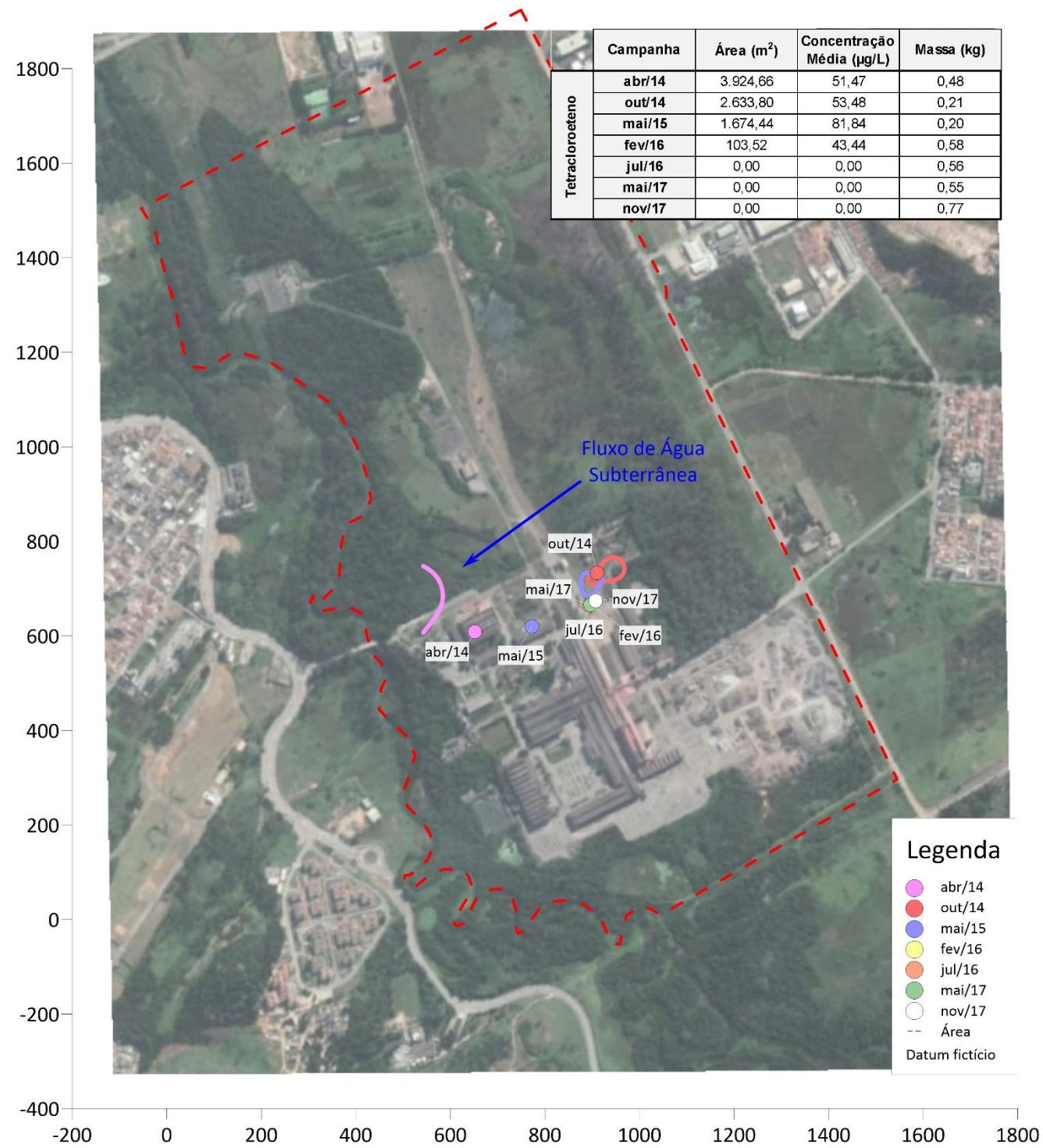
Tricloroeteno



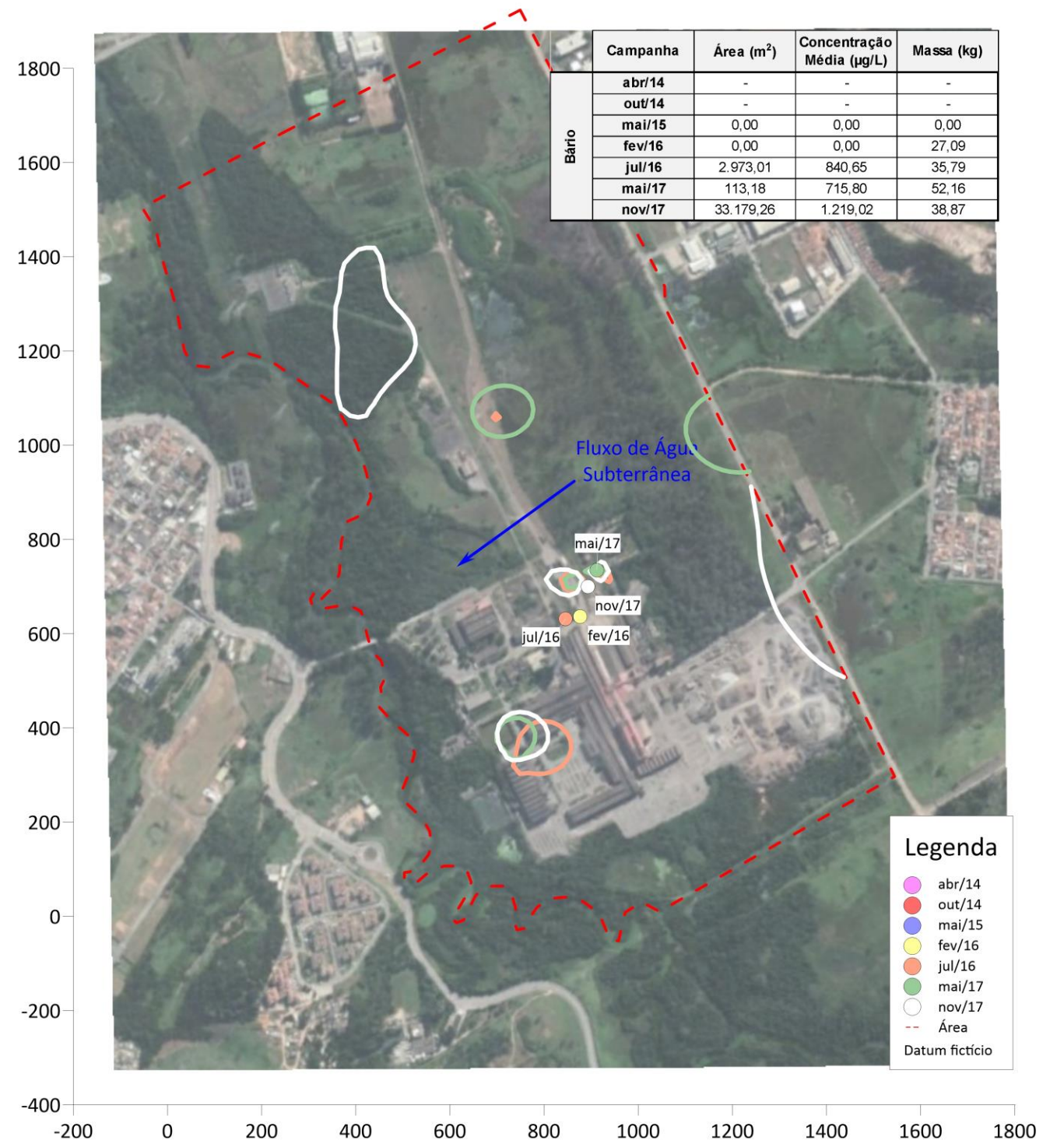
ANEXO C

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO E SEUS CENTROS DE MASSA

Tetracloroetano



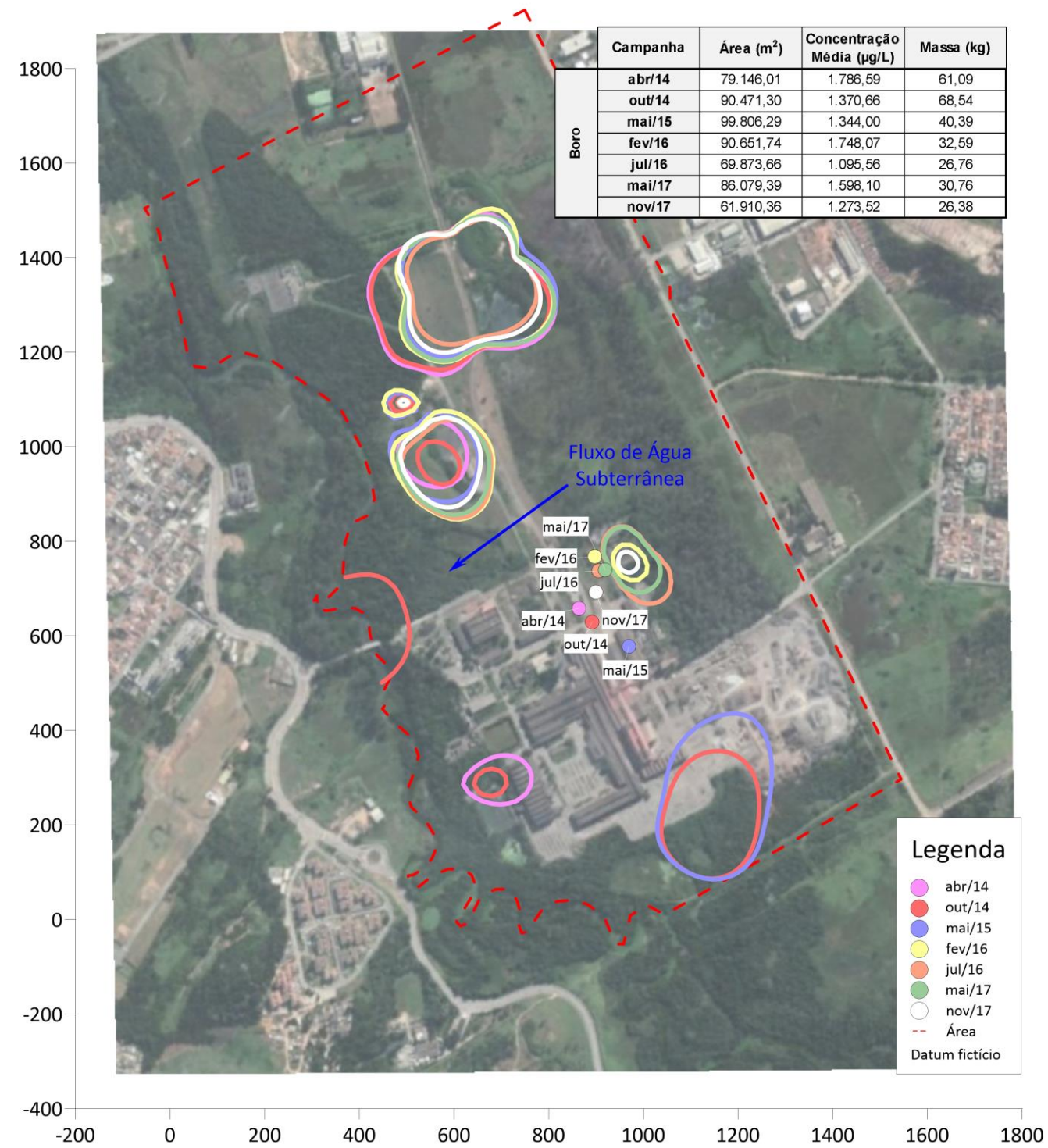
Bário Dissolvido



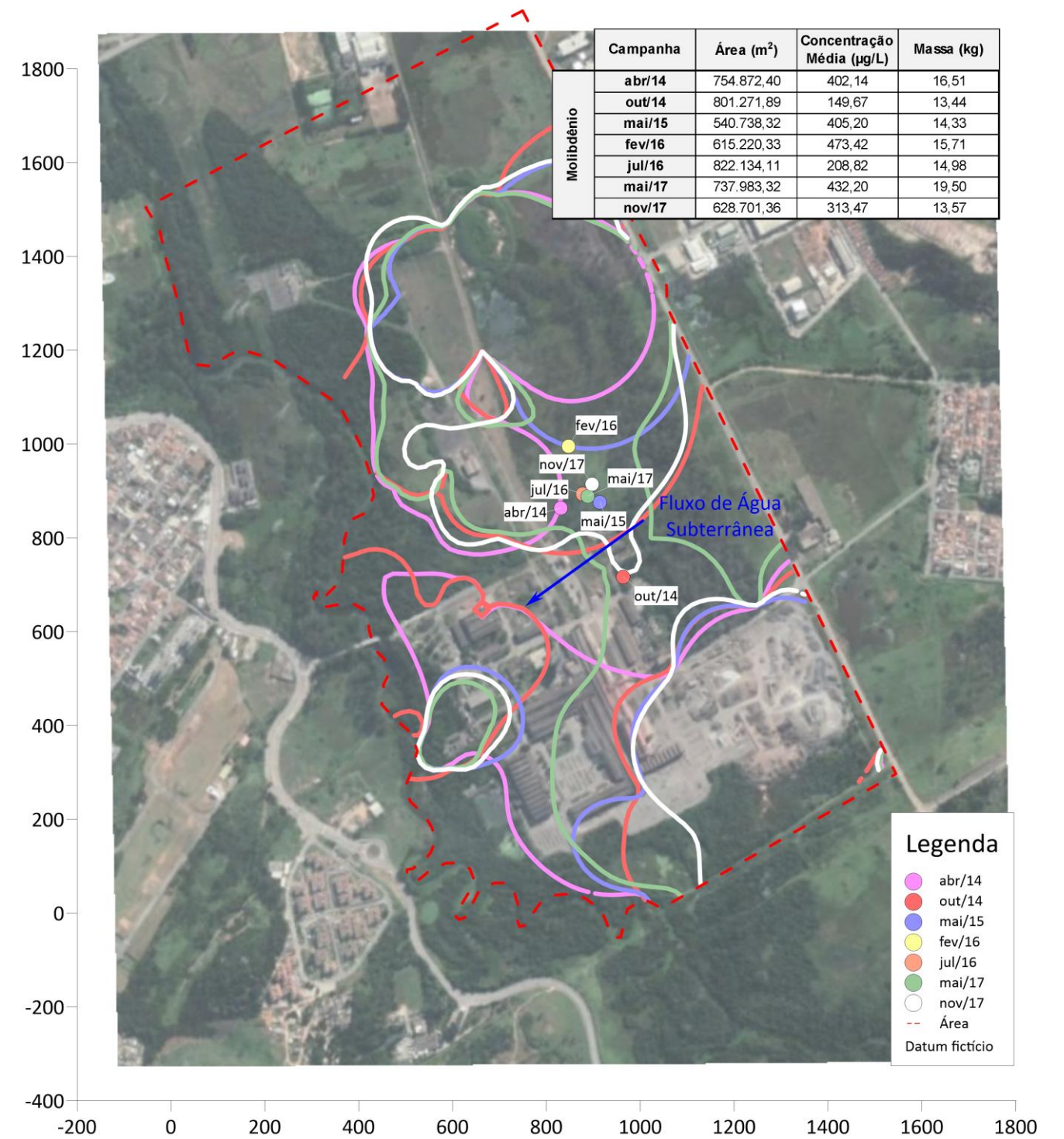
ANEXO C

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO E SEUS CENTROS DE MASSA

Boro Dissolvido



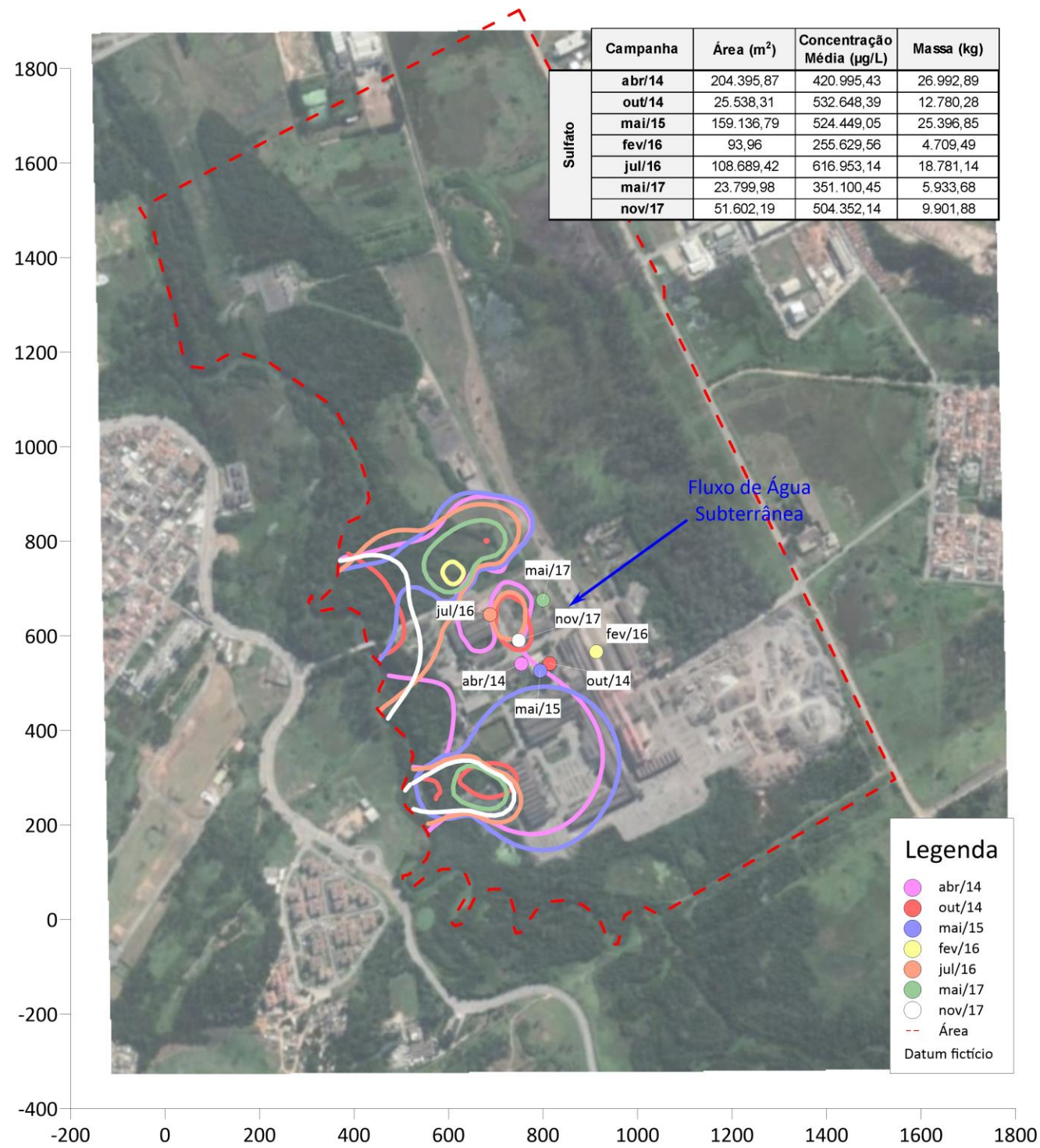
Molibdênio Dissolvido



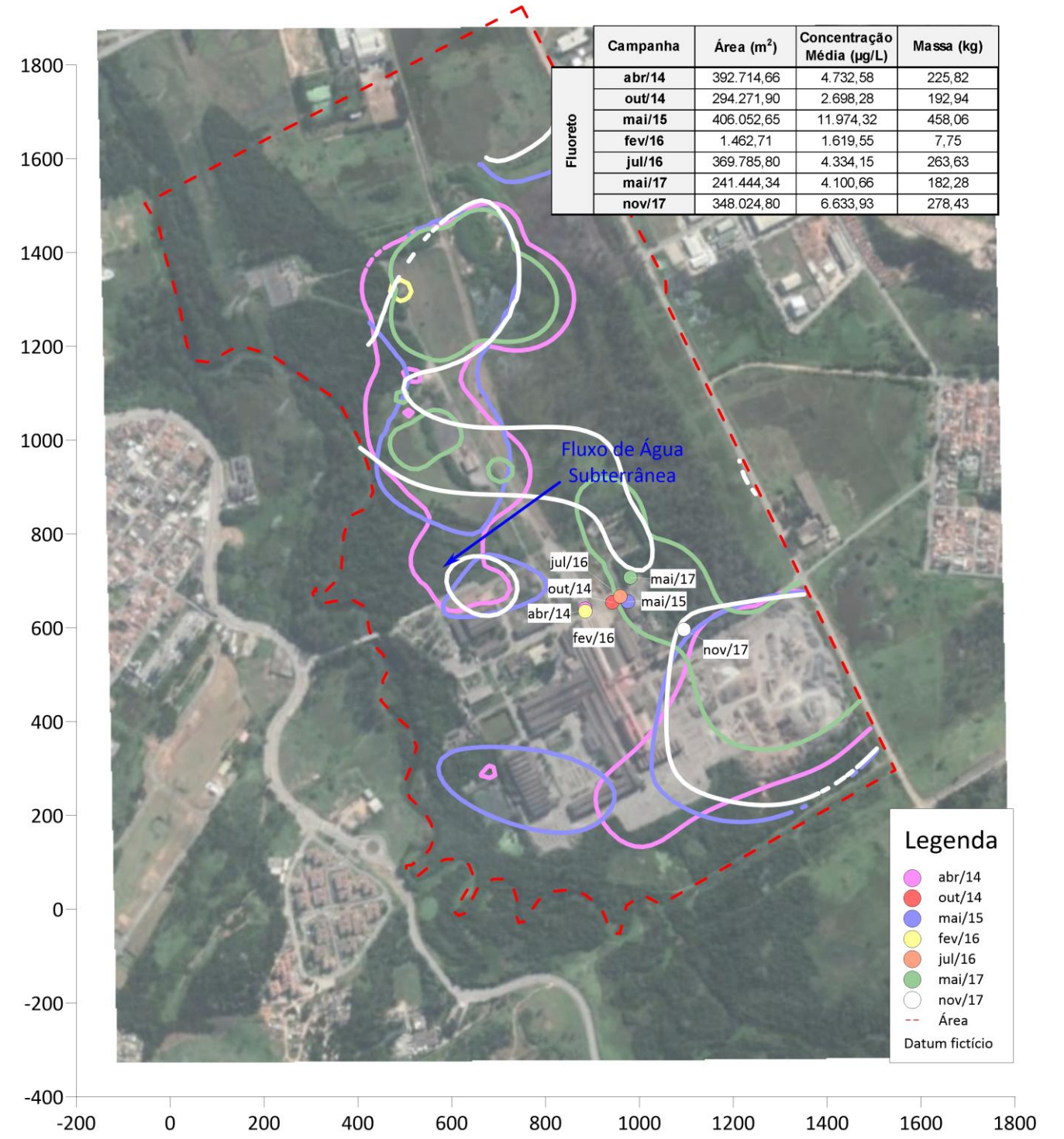
ANEXO C

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO E SEUS CENTROS DE MASSA

Sulfato

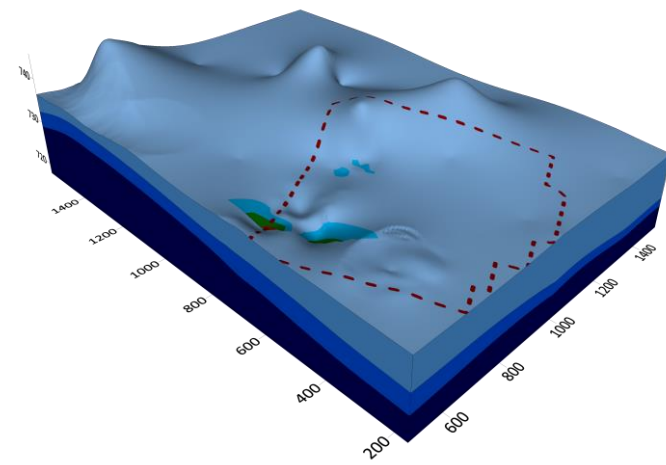


Fluoreto

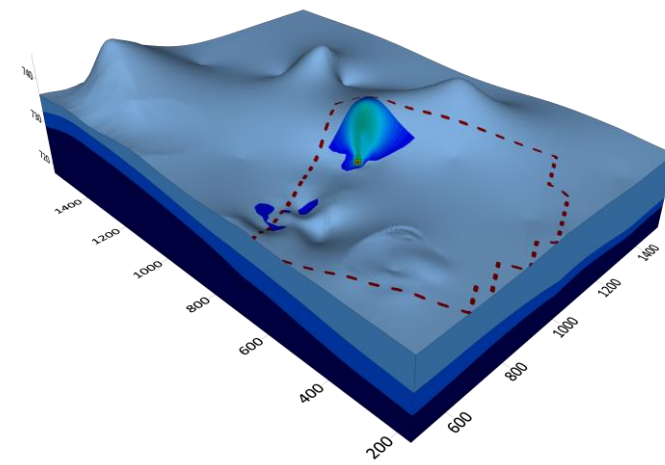


ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

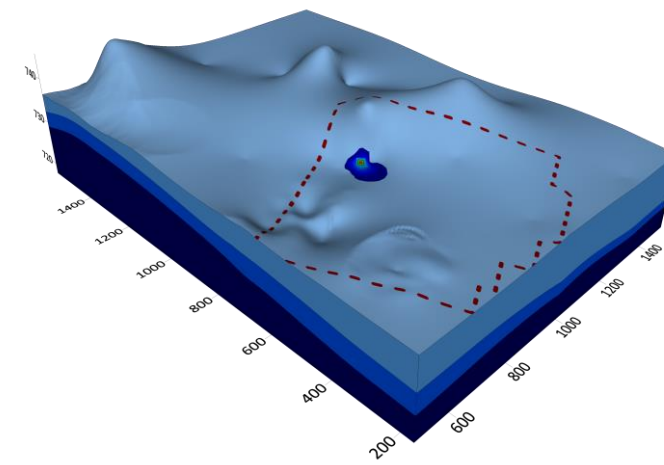
DICLOROETENO



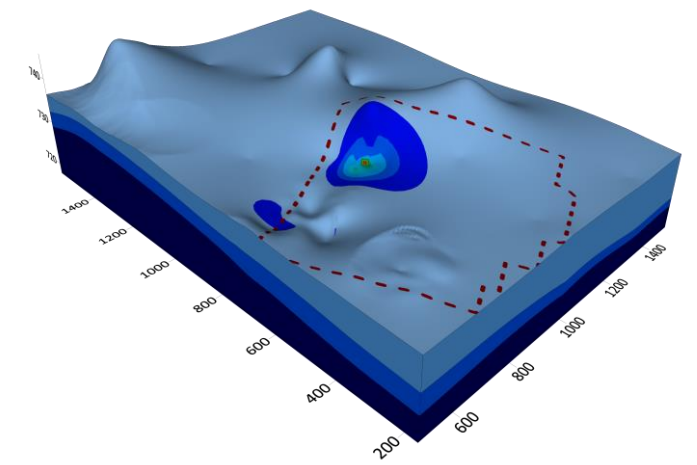
Abril de 2014



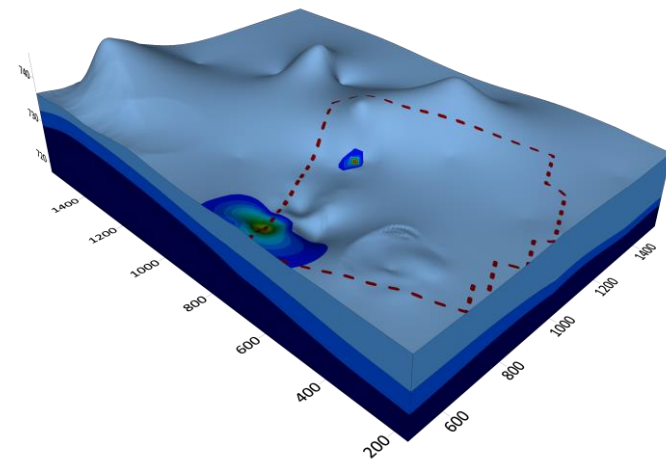
Outubro de 2014



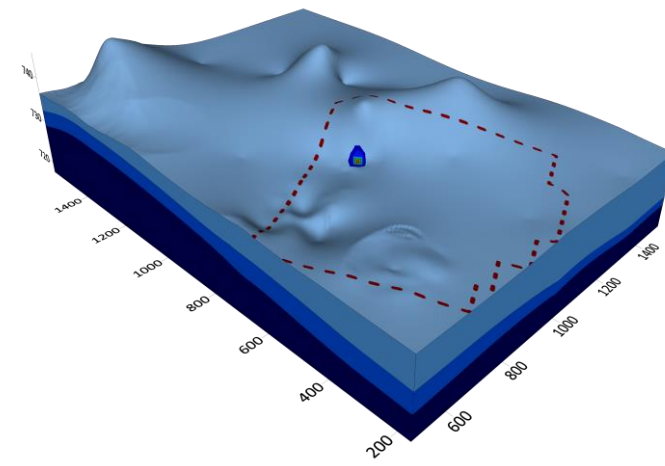
Mai de 2015



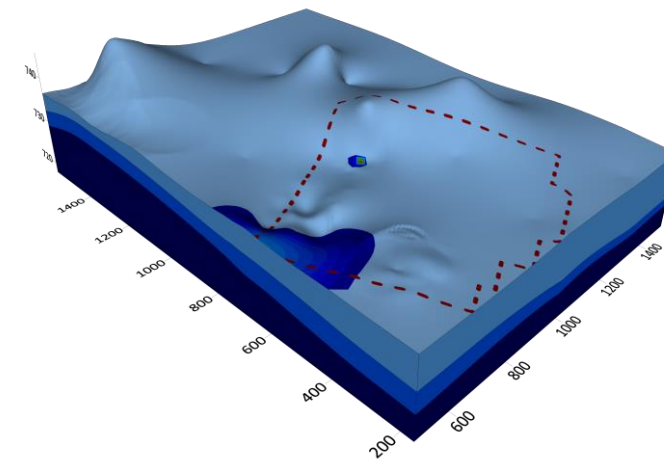
Fevereiro de 2016



Julho de 2016

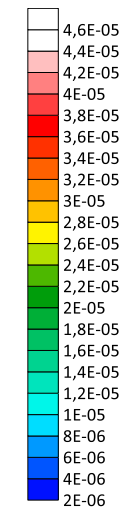


Mai de 2017



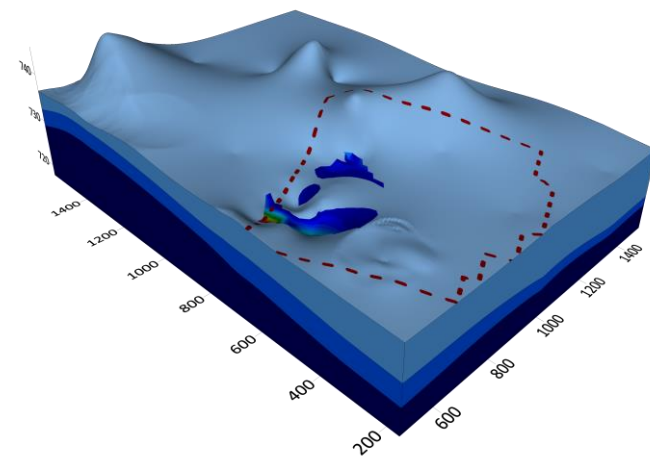
Novembro de 2017

Massa (kg)

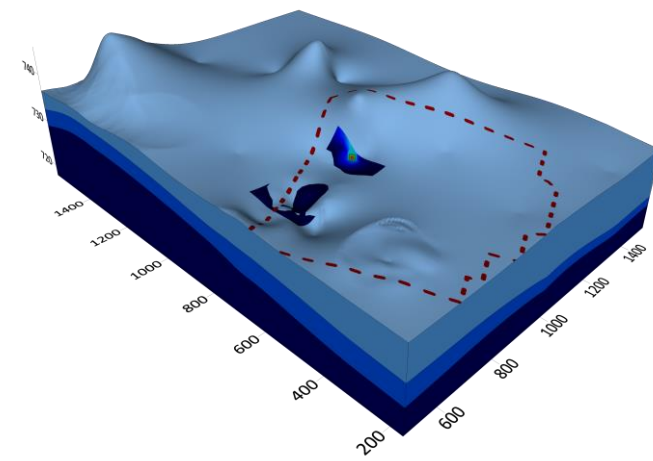


ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

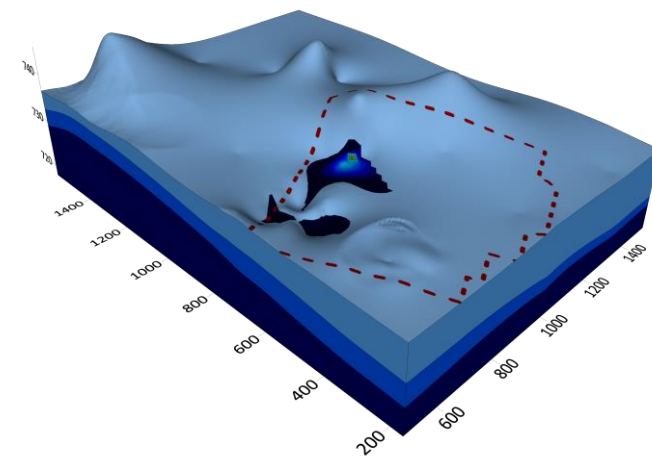
TRICLOROETENO



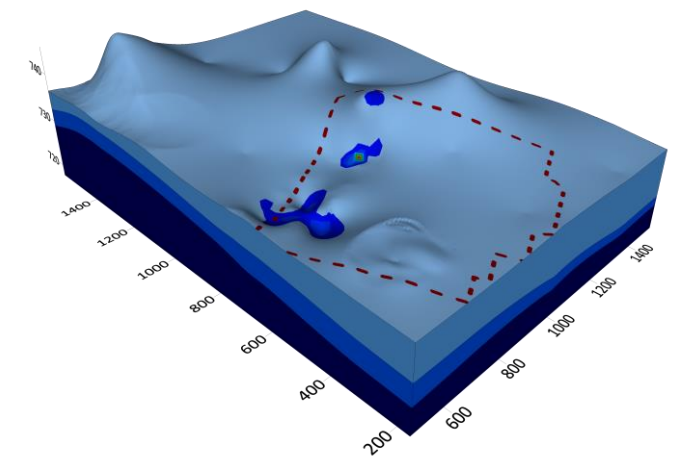
Abril de 2014



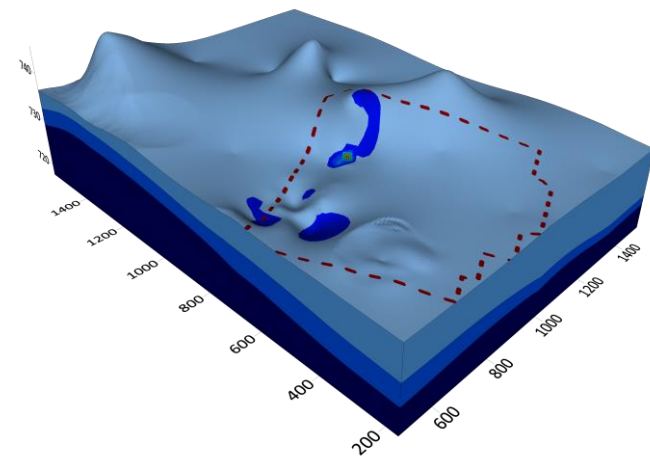
Outubro de 2014



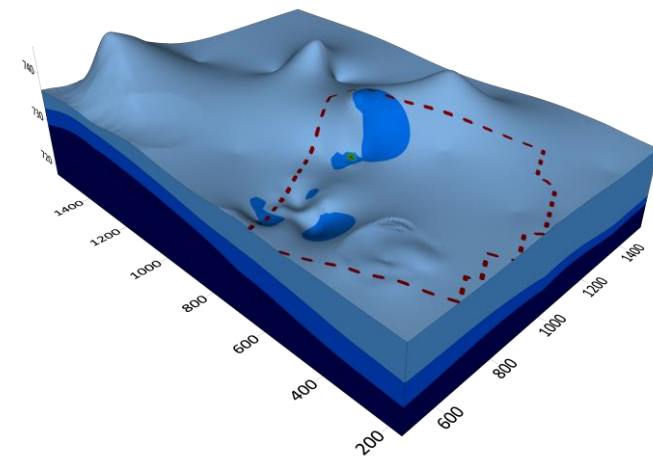
Mai de 2015



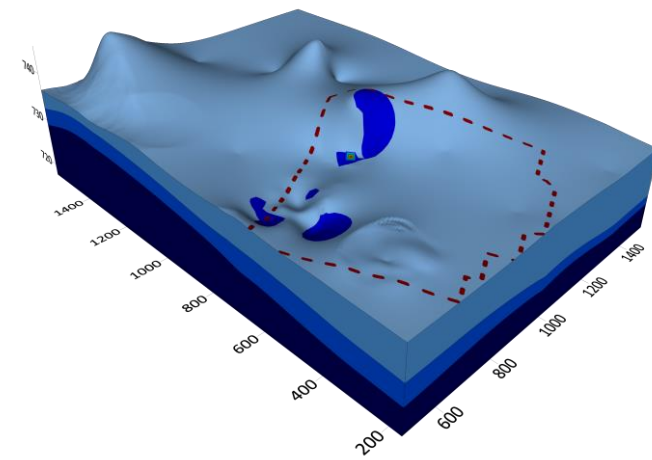
Fevereiro de 2016



Fevereiro de 2016

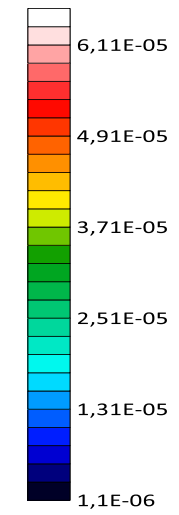


Mai de 2017



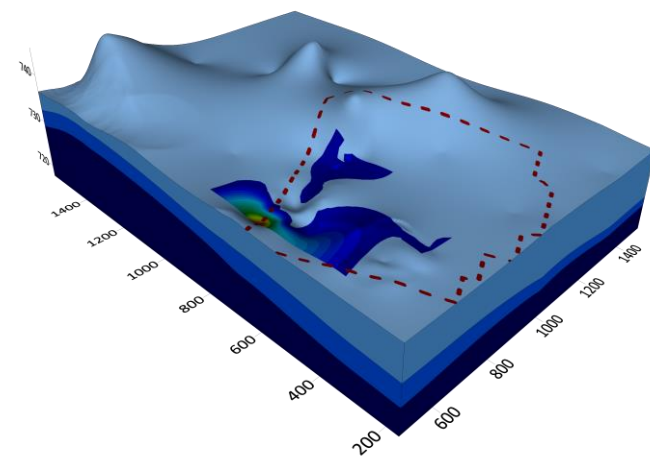
Novembro de 2017

Massa (kg)

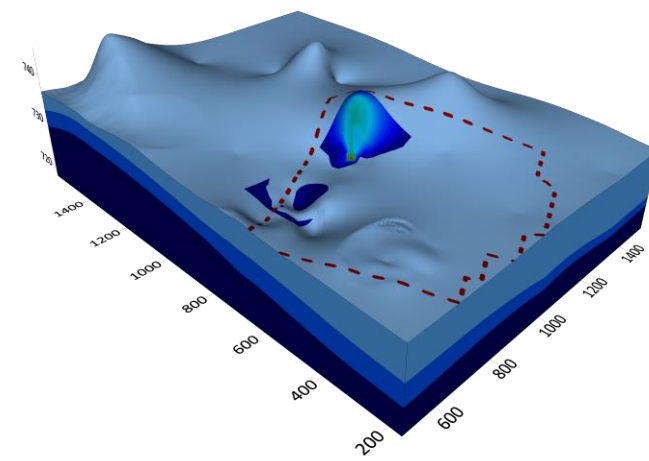


ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

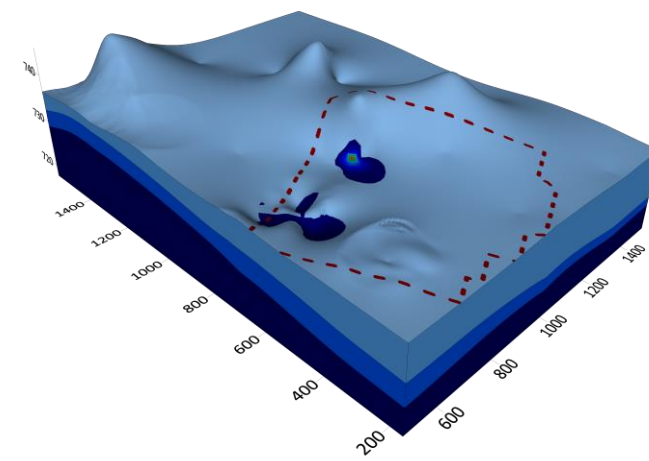
TETRACLOROETENO



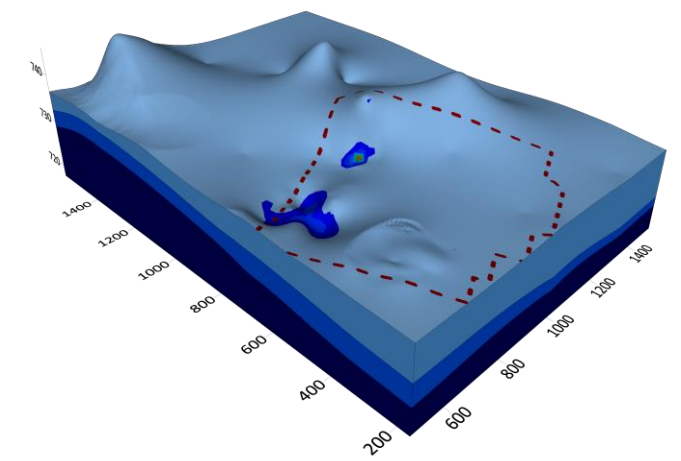
Abril de 2014



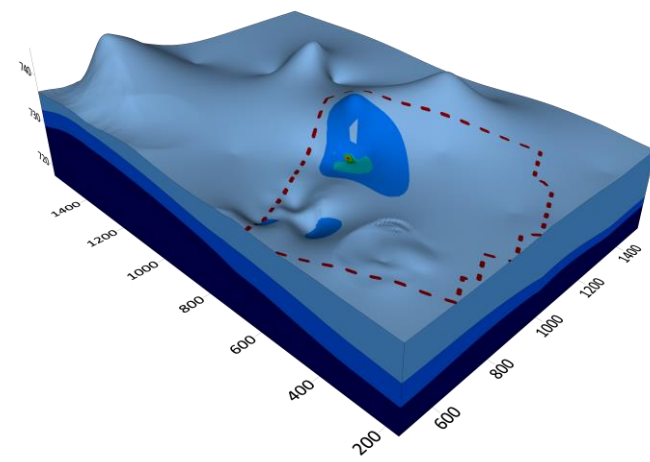
Outubro de 2014



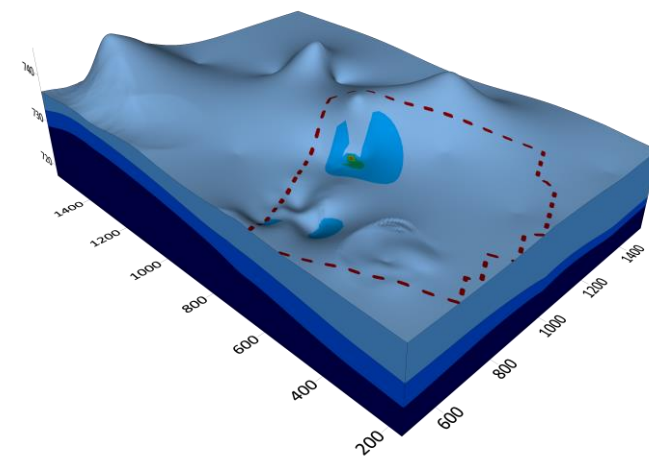
Mai de 2015



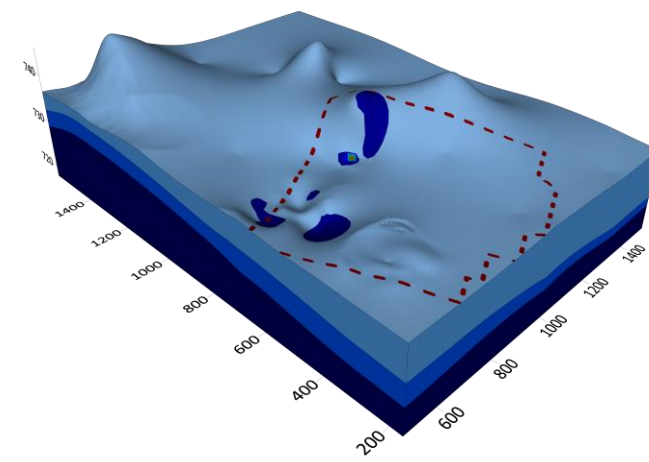
Fevereiro de 2016



Fevereiro de 2016

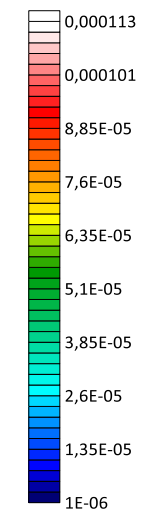


Mai de 2017



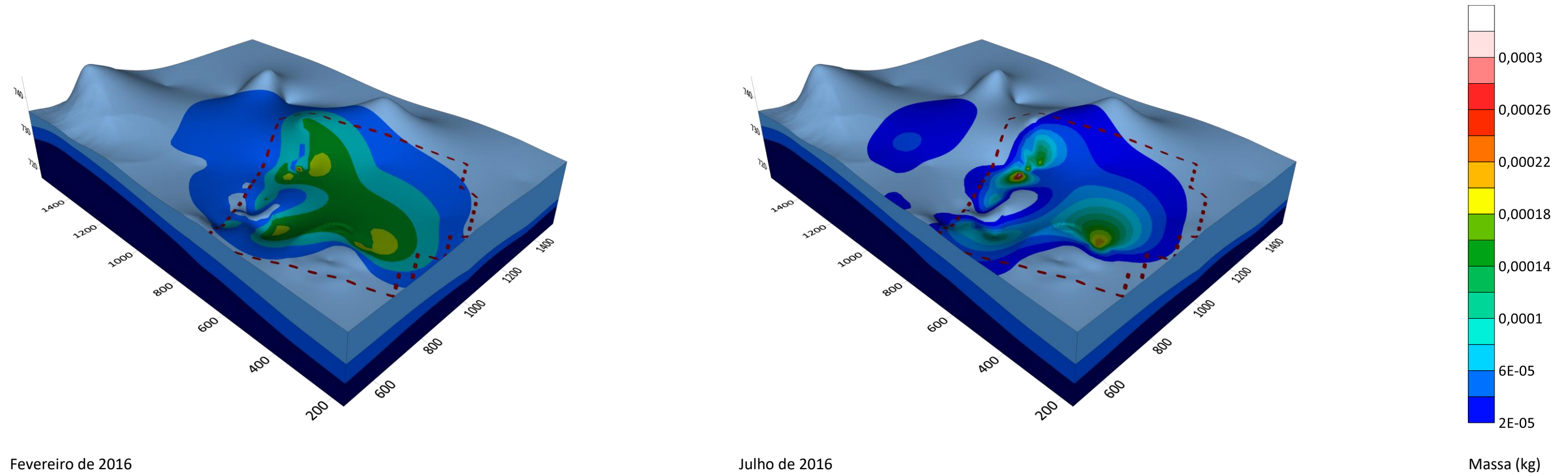
Novembro de 2017

Massa (kg)



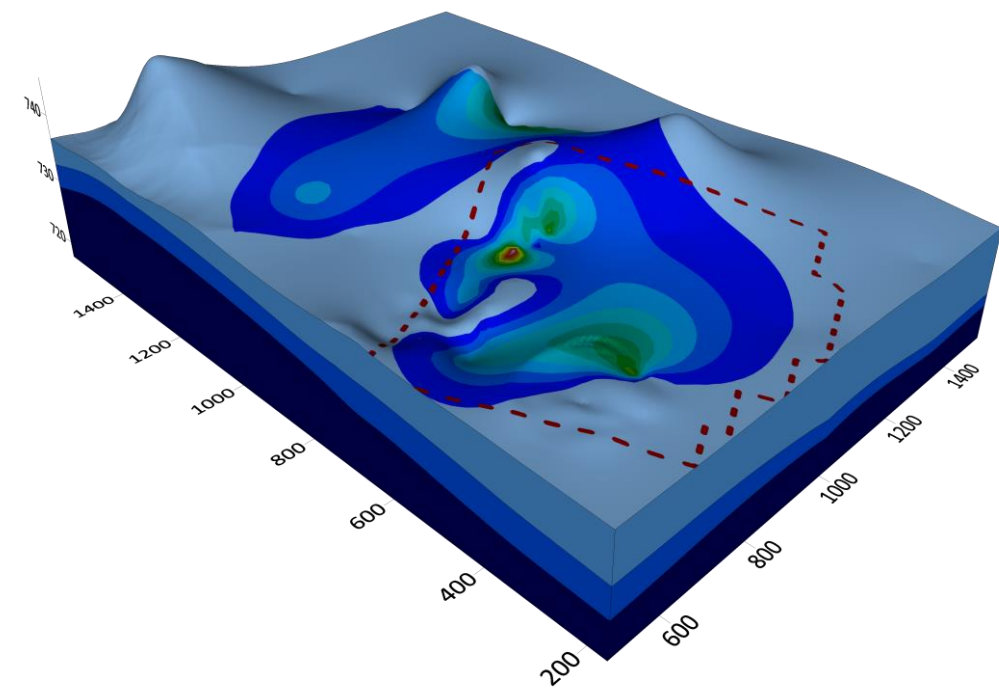
ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

BÁRIO DISSOLVIDO

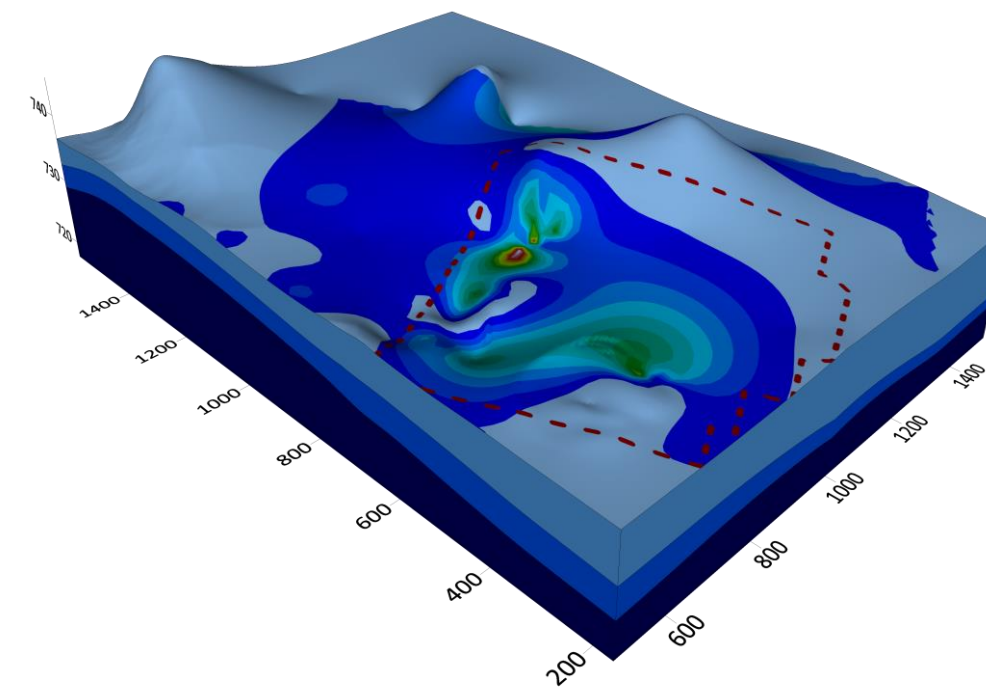


Fevereiro de 2016

Julho de 2016



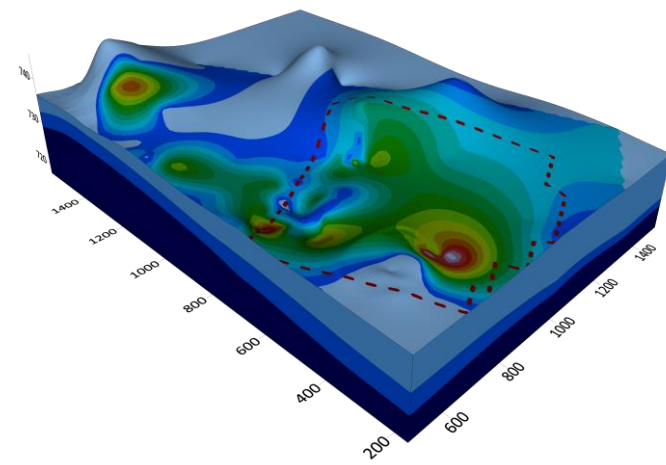
Mai de 2017



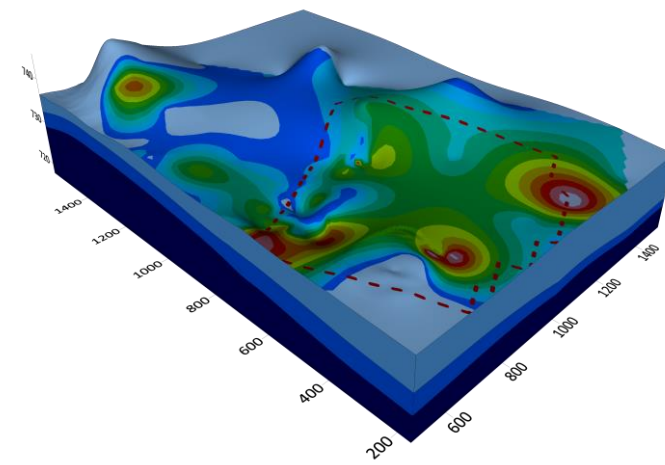
Novembro de 2017

ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

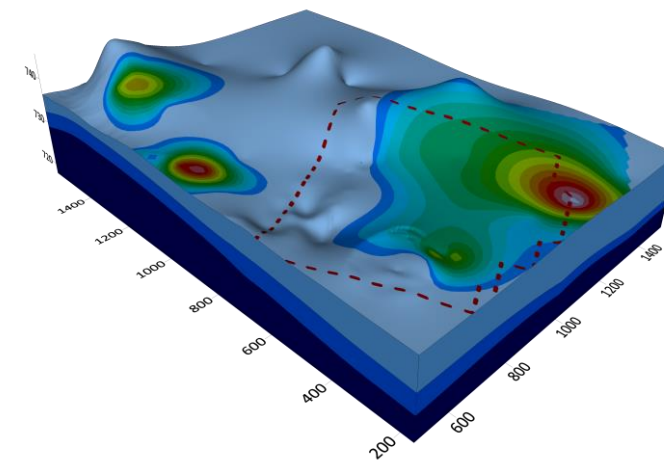
BORO DISSOLVIDO



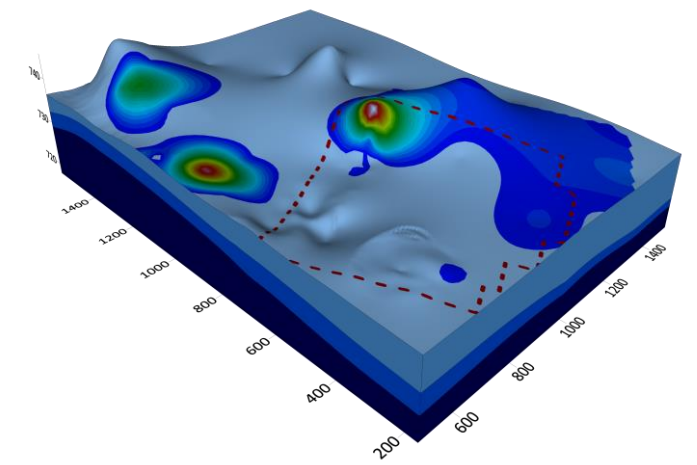
Abril de 2014



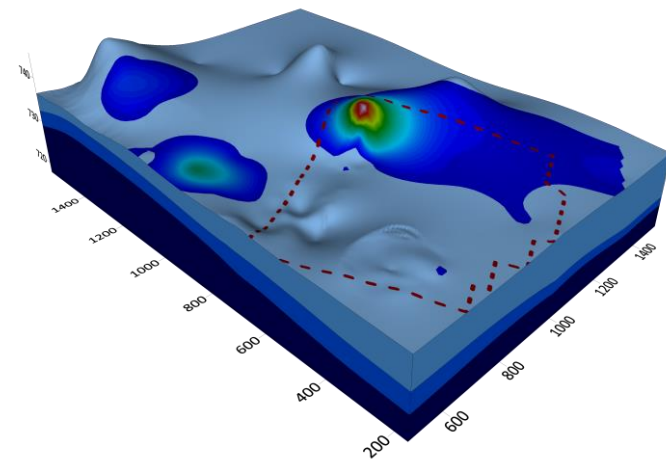
Outubro de 2014



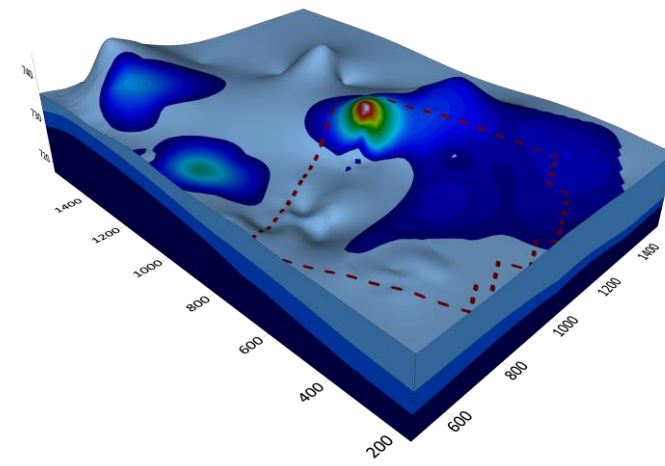
Mai de 2015



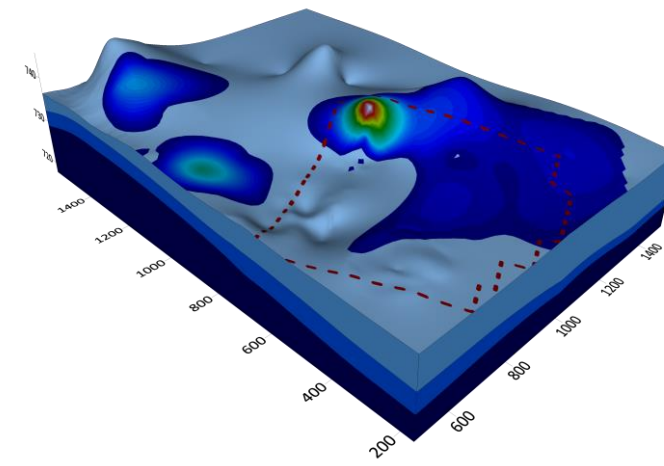
Fevereiro de 2016



Fevereiro de 2016

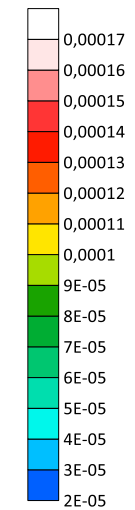


Mai de 2017



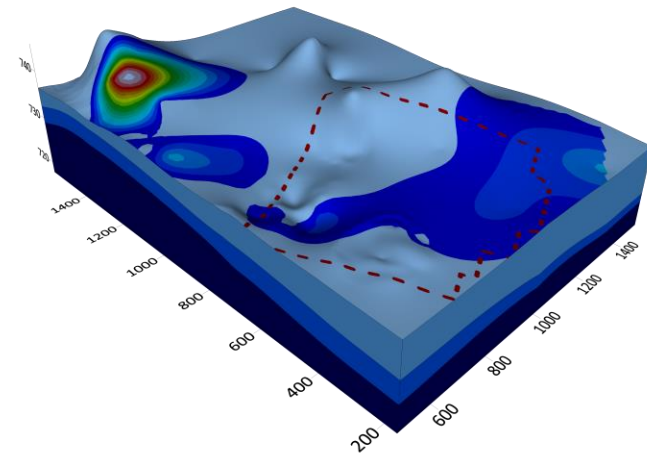
Novembro de 2017

Massa (kg)

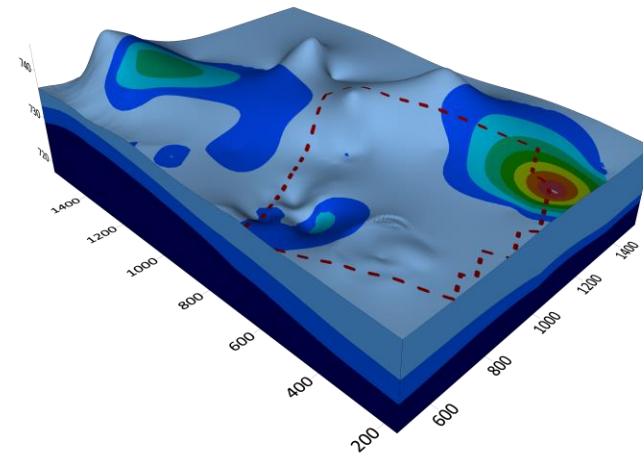


ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

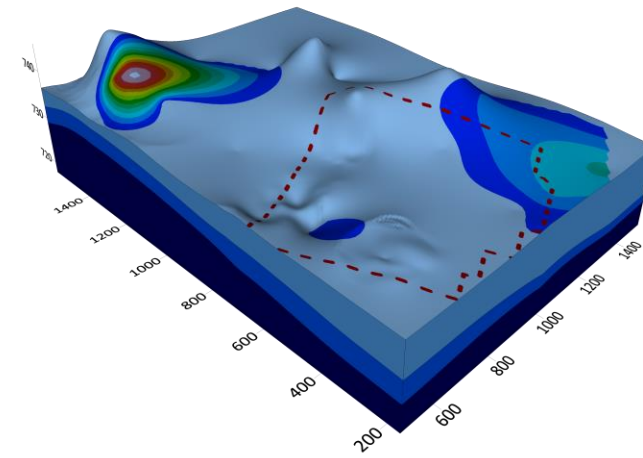
MOLIBDÊNIO DISSOLVIDO



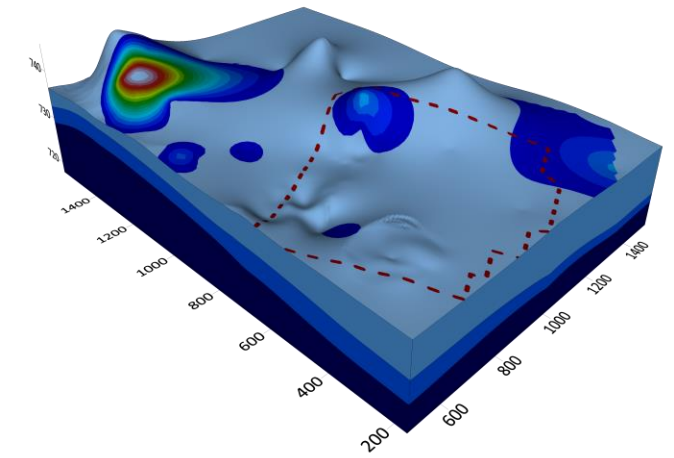
Abril de 2014



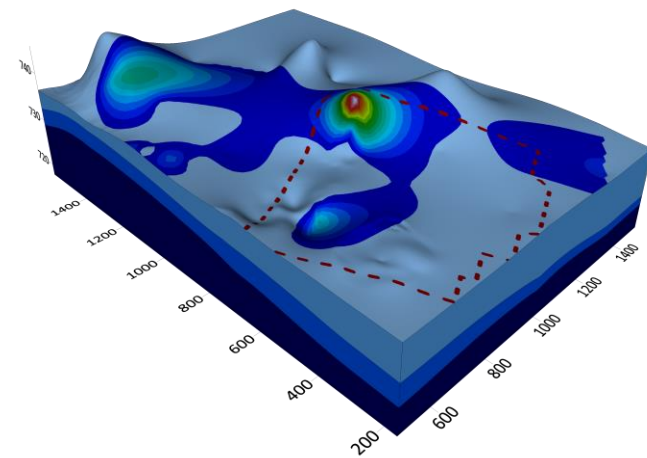
Outubro de 2014



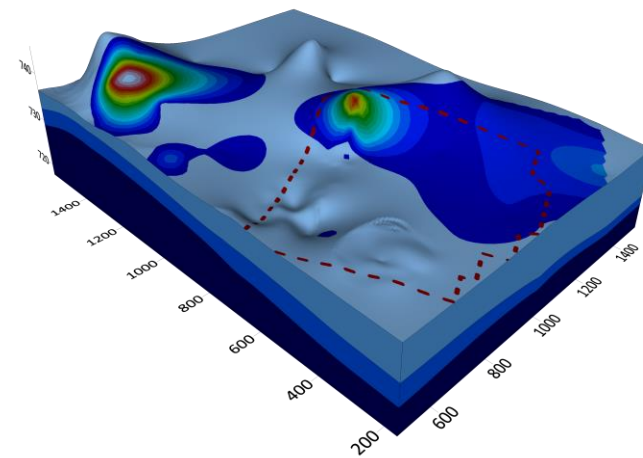
Mai de 2015



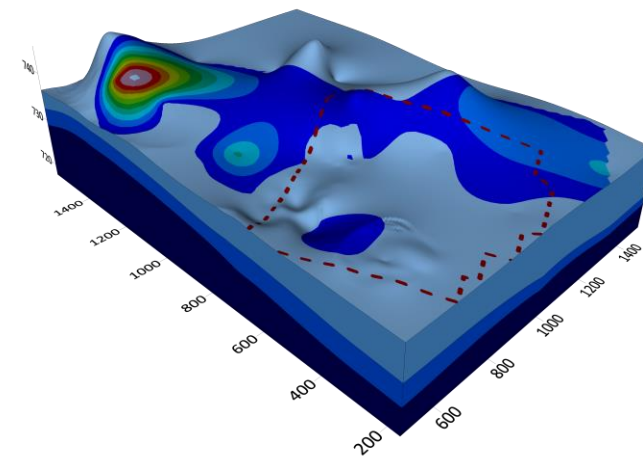
Fevereiro de 2016



Fevereiro de 2016

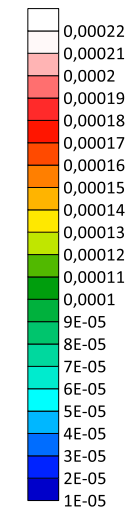


Mai de 2017



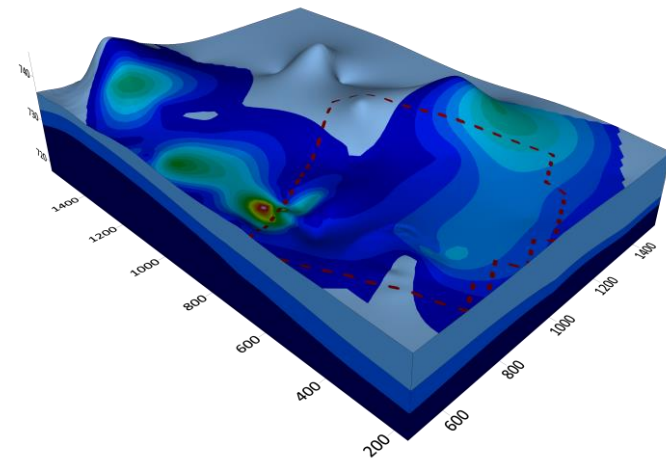
Novembro de 2017

Massa (kg)

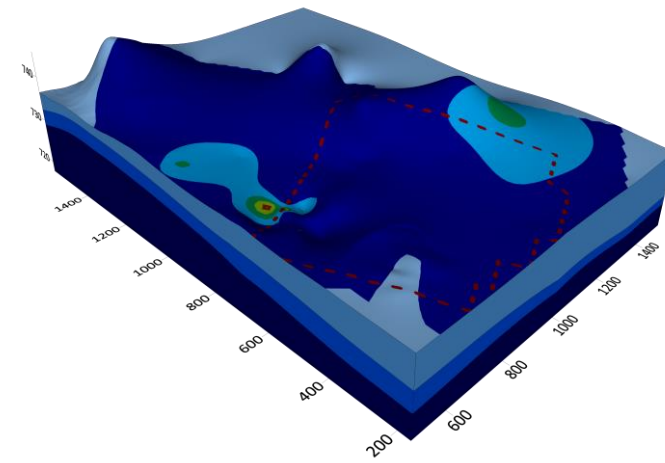


ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

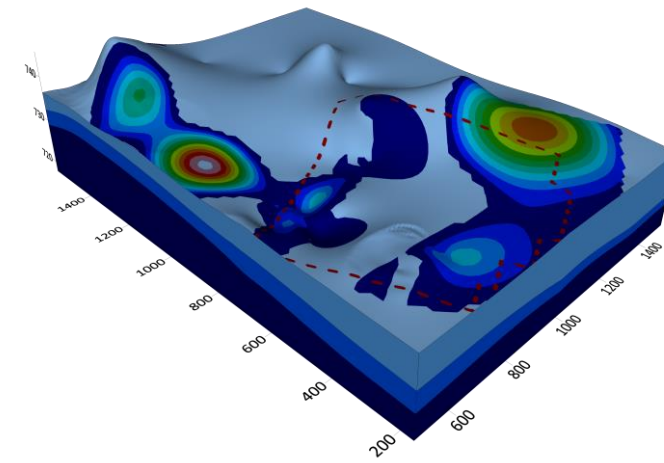
FLUORETO



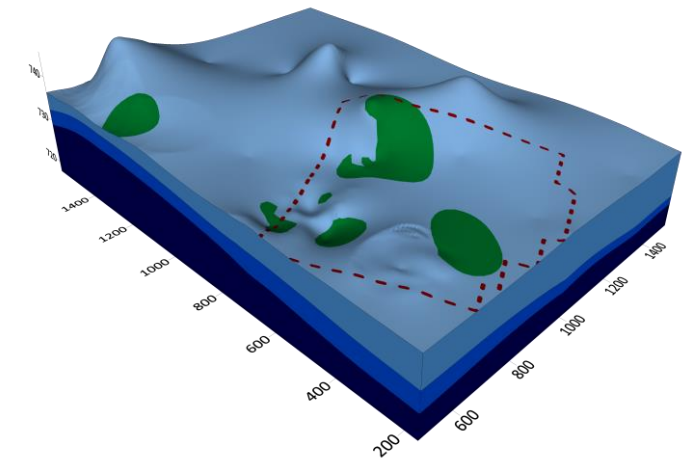
Abril de 2014



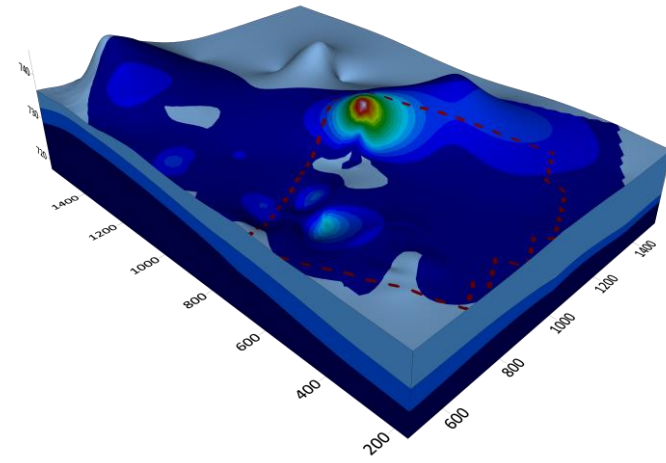
Outubro de 2014



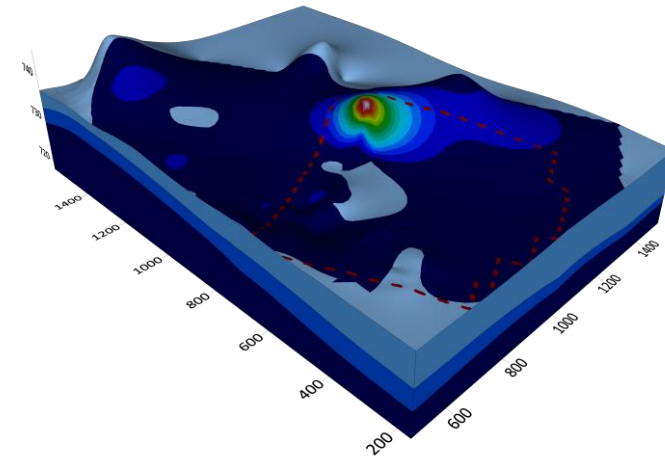
Maio de 2015



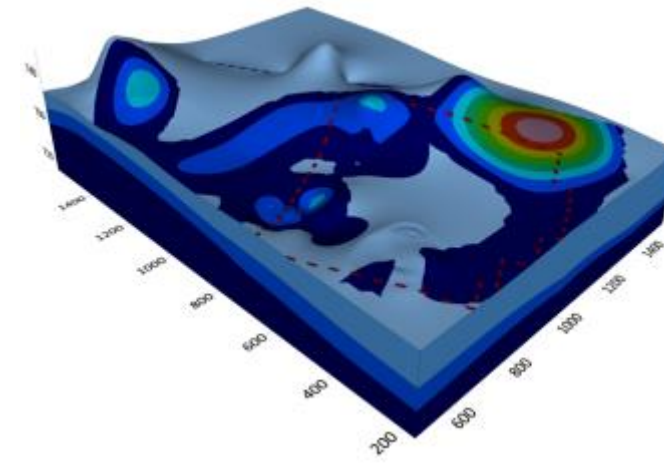
Fevereiro de 2016



Fevereiro de 2016

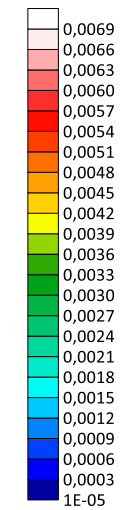


Maio de 2017



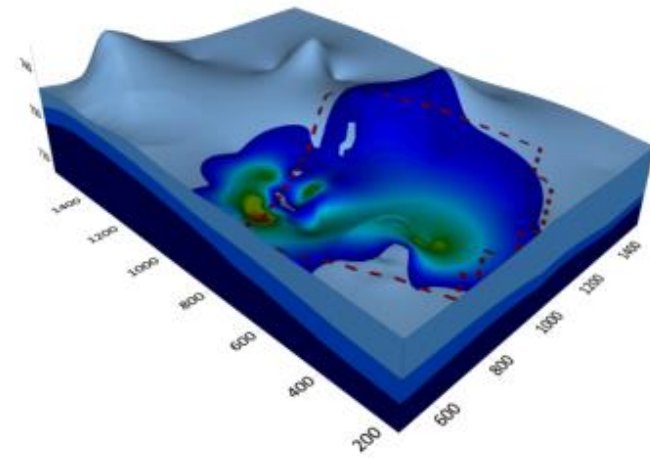
Novembro de 2017

Massa (kg)

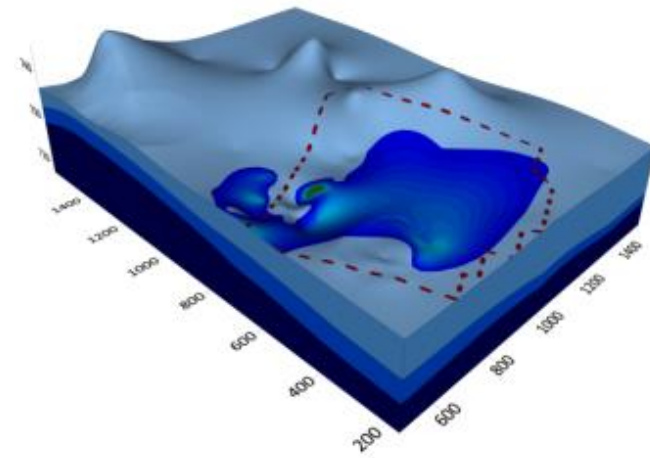


ANEXO D
EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA DISTRIBUIÇÃO DA MASSA DE CONTAMINANTES EM FASE DISSOLVIDA NO NÍVEL A

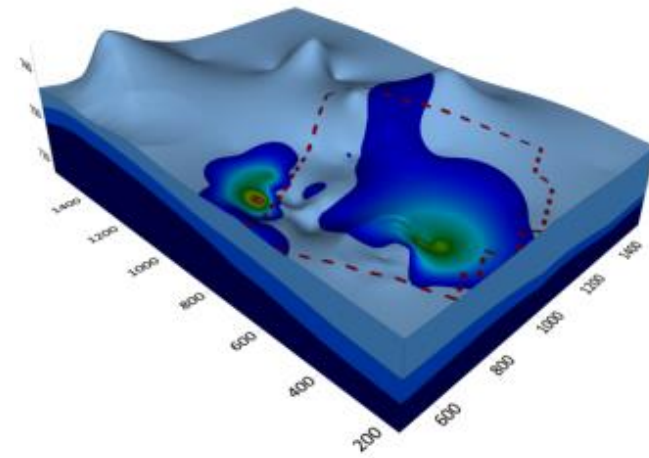
SULFATO



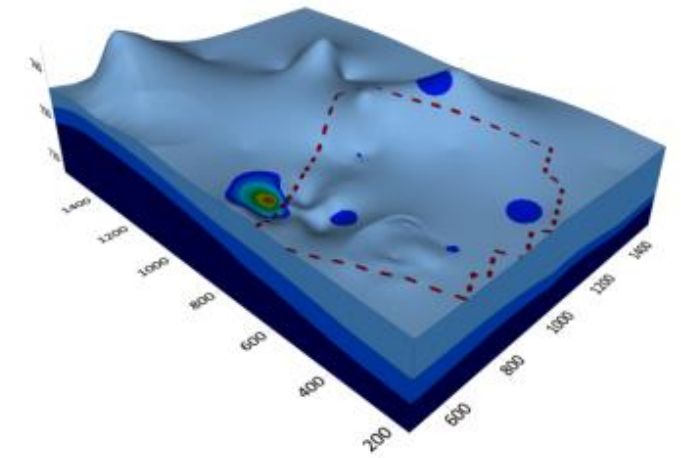
Abril de 2014



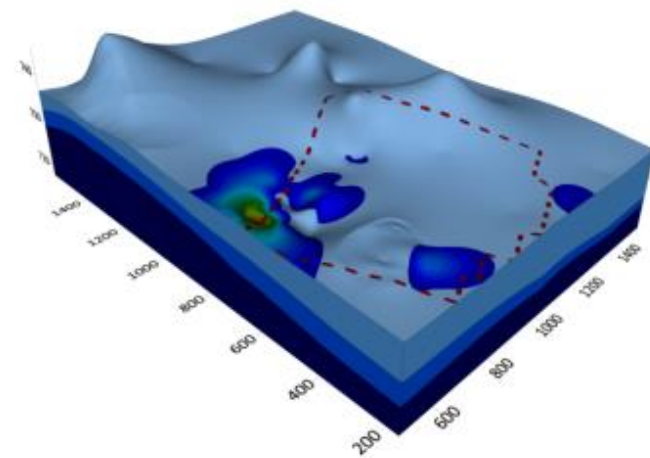
Outubro de 2014



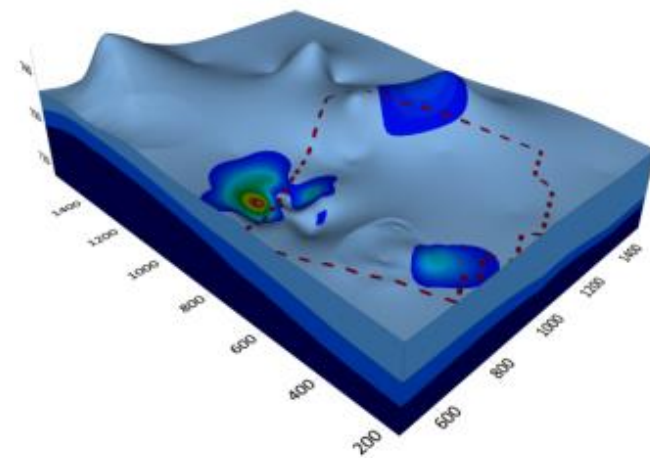
Maio de 2015



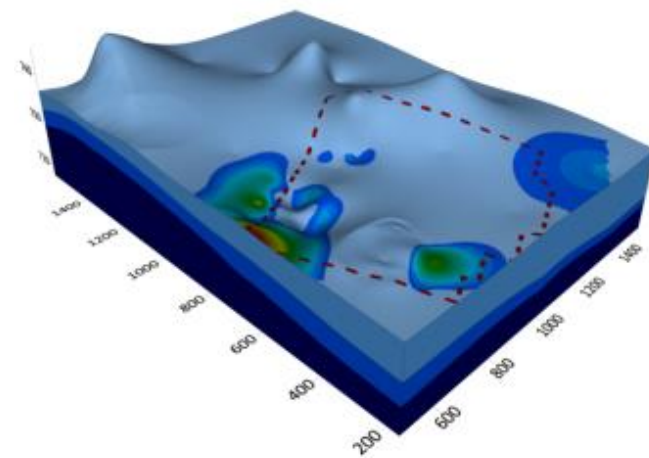
Fevereiro de 2016



Fevereiro de 2016



Maio de 2017



Novembro de 2017

Massa (kg)

