

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE GEOLOGIA

LAURA LUTZ SARTORI

CARACTERIZAÇÃO E SENTIDO DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE UM
ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS EM CARLOS BARBOSA/RS

São Leopoldo
2018

LAURA LUTZ SARTORI

**CARACTERIZAÇÃO E SENTIDO DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE UM
ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS EM CARLOS BARBOSA/RS**

Artigo apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de Graduado em
Geologia, pelo Curso de Geologia da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -
UNISINOS

Orientador: Prof. M. Sc. Thiago Peixoto de Araujo

São Leopoldo

2018

AGRADECIMENTOS

Por meio deste, gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, que apesar de todas as dificuldades e percalços no caminho, sempre me auxiliaram. Com eles todo o caminho foi mais fácil, pois tudo que necessitamos, às vezes, é apoio incondicional. Por toda fé que empregaram em mim, devo a eles este momento.

Ao Professor Orientador Thiago, que com toda paciência do mundo, me conduziu e guiou por este trabalho.

Agradeço as minhas colegas, que foram de grande importância durante toda a graduação. Agradeço a Tatiane, por todo apoio e parceria durante a graduação. Juntas, somos melhores. Obrigado pelo zelo e por toda a força que tu me deste, com certeza tudo ficou mais fácil graças a tua amizade. Agradeço a Juliana, que sempre acreditou em minhas capacidades, mesmo quando eu não acreditava, e me dá exemplo de dedicação e perseverança todos os dias. Tu sempre serás um exemplo para mim. Agradeço as amigas Cássia, Tarci, Naiara, entre outras, que com certeza deixarão lembranças para toda vida.

Agradeço ao professor Cunha e a Jaque por me auxiliarem, sem pestanejar, quando precisei de ajuda neste projeto. À minha sogra que, apesar de todas as tarefas dela, sempre foi prestativa e esteve disposta a dar uma olhada no meu trabalho.

Agradeço a minha patroa, que sempre me auxiliou quando precisei, e foi de extrema importância em toda esta fase da graduação, pois além de patroa foi amiga, mãe e companheira. Ela, muitas vezes, pensou antes em mim do que em si, e tenho certeza que muitas coisas boas virão no teu caminho, pois tu mereces muito. A minha colega de trabalho agradeço também, pois foram necessárias várias doses de paciência, e por isso tu és um modelo de pessoa.

Aos meus amigos por sempre acreditarem em mim, mesmo quando eu não acreditava.

E por fim, agradeço ao meu namorado, que foi quem me incentivou a ser perseverante, e nunca vacilou. Por ter calma e sempre compreender o que eu estava sentindo.

RESUMO

É de conhecimento geral que a qualidade da água é um dos itens essenciais, quando falamos sobre gestão ambiental. Em aterros, como o de Resíduos Industriais, é necessário o monitoramento regular das águas subterrâneas. A qualidade destas pode ser comprometida, se o descarte e administração dos resíduos não for feito de maneira correta. Porém, para uma análise precisa desta influência, do resíduo na água subterrânea, é necessário que se faça o levantamento sobre a qualidade geral das águas regionais, assim como do substrato e sentido de fluxo subterrâneo. Desta forma, este estudo apresenta o monitoramento físico-químico das águas subterrâneas perante influência de um aterro de Resíduos Industriais, sob comando de um grupo empresarial, situado na localidade de Desvio Machado, no município de Carlos Barbosa/RS. O trabalho teve como objetivo a análise comparativa da mudança na qualidade das águas, para obter parâmetros de comparação, estudo sobre a interferência do substrato e a influência das características próprias das águas regionais. A partir do levantamento de dados, foi possível realizar mapas dos aspectos físicos do lençol freático e análise quantitativa das amostras de Alumínio, Cloreto, Condutividade, Fenol, Ferro Total, STD, Sulfato e pH, que vão desde 2008 a 2017. Com os resultados, realizou-se uma comparação com um levantamento bibliográfico da qualidade das águas da região. Através do estudo e da junção de informações, foi possível averiguar que o aterro não está influenciando a qualidade do lençol freático. Os dados fora do padrão estavam dentro das características locais causadas pelo substrato.

Palavras-chave: Água Subterrânea. Sentido de Fluxo. Resíduo Industrial.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Localização da área de estudo no município de Carlos Barbosa..... | 15 |
| Figura 2 – Mapa Geológico do município de Carlos Barbosa | 18 |
| Figura 3 – Variação de altitude na Área de Estudo | 20 |
| Figura 4 – Mapa de localização dos poços de monitoramento..... | 25 |
| Figura 5 – Sentido de fluxo pela abordagem D8 | 48 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Análise quantitativa do Alumínio (Al) | 52 |
| Gráfico 2 – Análise quantitativa de Cloretos..... | 54 |
| Gráfico 3 – Análise quantitativa da Condutividade | 55 |
| Gráfico 4 – Análise quantitativa do Fenol..... | 56 |
| Gráfico 5 – Análise quantitativa do Ferro Total | 56 |
| Gráfico 6 – Análise quantitativa dos STD..... | 57 |
| Gráfico 7 – Análise quantitativa do Sulfato..... | 58 |
| Gráfico 8 – Análise quantitativa do pH | 59 |
| Gráfico 9 – Análise quantitativa do Nível do Lençol Freático | 60 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Guia para a classificação de solos quanto a resistência a impactos ambientais..... | 22 |
| Quadro 2 – Características das Classes de Resíduos..... | 29 |
| Quadro 3 – Atributos técnicos esperados para os aterros perigosos e não-perigosos. | 31 |
| Quadro 4 – Principais considerações em interpretações analíticas | 36 |
| Quadro 5 – Guia para determinação do ângulo do indicador pela sentido de fluxo .. | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Precipitação média do ano de 2012 até 2017 | 17 |
| Tabela 2– Tabela de limites dos parâmetros de interesse do estudo | 35 |
| Tabela 3 – Medidas anuais do nível do lençol freático (em metros)..... | 38 |
| Tabela 4 – Análise química das águas subterrâneas em 2008..... | 39 |
| Tabela 5 - Análise química das águas subterrâneas em 2009..... | 39 |
| Tabela 6 - Análise química das águas subterrâneas em 2010..... | 40 |
| Tabela 7 - Análise química das águas subterrâneas em 2011..... | 40 |
| Tabela 8 - Análise química das águas subterrâneas em 2012..... | 41 |
| Tabela 9 - Análise química das águas subterrâneas em 2013..... | 42 |
| Tabela 10 - Análise química das águas subterrâneas em 2014..... | 42 |
| Tabela 11 - Análise química das águas subterrâneas em 2015..... | 43 |
| Tabela 12 - Análise química das águas subterrâneas em 2016..... | 43 |
| Tabela 13 - Análise química das águas subterrâneas em 2017..... | 44 |
| Tabela 14 – Tabela dos valores reais, em metros, do nível do lençol freático | 49 |
| Tabela 15 – Tabela de novos valores, em metros, de lençol freático para a ferramenta “ <i>Flow Direction</i> ”..... | 49 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------|--|
| RI | Resíduos Industriais |
| FEPAM | Fundação Estadual de Proteção Ambiental |
| ARIP | Aterro de Resíduos Industriais Perigosos |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| BDMEP | Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa |
| SASG | Sistema Aquífero Serra Geral |
| SAG | Sistema Aquífero Guarani |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| CORSAN | Companhia Rio-grandense de Saneamento |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| SINIR | Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MS | Ministério da Saúde |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| RSI | Resíduos Sólidos Industriais |
| RS | Rio Grande do Sul |
| N | Norte |
| S | Sul |
| L | Leste |
| O | Oeste |
| NE | Nordeste |
| SE | Sudeste |
| SO | Sudoeste |
| NO | Noroeste |
| NNE | Norte-Nordeste |
| SSO | Sul-Sudoeste |
| UTM | Universal Transversa de Mercator |
| D8 | <i>Deterministic Eight-Neighbors</i> |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |

| | |
|------------------|----------------------------------|
| IDW | <i>Inverse Distance Weighted</i> |
| m | Metros |
| ppm | Partes por Milhão |
| ppb | Partes por Bilhão |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| k | Coeficiente de Permeabilidade |
| mg/L | Miligramas por Litro |
| cm/s | Centímetro por Segundo |
| m/ano | Metros por Ano |
| Ca | Cálcio |
| Na | Sódio |
| Mg | Magnésio |
| STD | Sólidos Dissolvidos Totais |
| NO ₂ | Dióxido de Nitrogênio |
| NH ₄ | Amônio |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| F ⁻ | Flúor |
| Fe ²⁺ | Ferro |
| As | Arsênio |
| Pb | Chumbo |
| Hg | Mercúrio |
| Al | Alumínio |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL..... | 13 |
| 1.1 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA..... | 14 |
| 1.3 | CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO..... | 15 |
| 1.3.1 | Localização da Área de Estudo | 15 |
| 1.3.2 | Clima | 16 |
| 1.3.3 | Geologia e Geomorfologia | 18 |
| 1.3.4 | Pedologia..... | 21 |
| 1.3.5 | Hidrogeologia e Hidroquímica Regional..... | 23 |
| 1.3.6 | Poços de Monitoramento | 25 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 27 |
| 2.1 | RESÍDUOS SÓLIDOS E POLÍTICAS DE DESCARTE..... | 27 |
| 2.1.1 | Classificação de Resíduos Sólidos | 29 |
| 2.1.2 | Resíduos Industriais | 30 |
| 2.1.3 | Características dos Resíduos Industriais da Empresa..... | 32 |
| 2.2 | CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS..... | 33 |
| 2.2.1 | Parâmetros de potabilidade de águas subterrâneas | 34 |
| 2.2.2 | Ponderação sobre análises químicas das águas subterrâneas | 36 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 38 |
| 3.1 | INVENTÁRIO..... | 38 |
| 3.2 | PROJETO DO ATERRO..... | 44 |
| 3.2.1 | Curvas de Nível..... | 45 |
| 3.2.2 | Nível do Lençol Freático..... | 47 |
| 3.2.3 | Sentido do Fluxo Subterrâneo | 48 |
| 3.2.4 | Indicadores de Sentido do Fluxo..... | 50 |
| 3.2.5 | Mapas de Condutividade..... | 51 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 52 |
| 4.1 | DIAGNÓSTICO DAS ANÁLISES QUÍMICAS | 52 |
| 4.1.1 | Alumínio..... | 52 |
| 4.1.2 | Cloreto | 53 |
| 4.1.3 | Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)..... | 54 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1.4 | Fenol | 55 |
| 4.1.5 | Ferro Total | 56 |
| 4.1.6 | STD (Sólidos Totais Dissolvidos) | 57 |
| 4.1.7 | Sulfato | 58 |
| 4.1.8 | pH | 59 |
| 4.2 | MAPA DE NÍVEL FREÁTICO | 60 |
| 4.3 | MAPA DE SENTIDO DE FLUXO | 61 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 62 |
| | REFERÊNCIAS | 63 |
| | ANEXO A – TABELA TRIMESTRAL DE NÍVEL FREÁTICO | 67 |
| | ANEXO B – MAPAS DE NÍVEL FREÁTICO (M) | 69 |
| | ANEXO C – MAPAS DE SENTIDO DE FLUXO | 71 |
| | ANEXO D – MAPAS DA VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE | 73 |

1 INTRODUÇÃO

A exploração da natureza pelo homem, em busca do desenvolvimento, está em constante avanço. Através dessa relação, vêm a necessidade da utilização de uma ferramenta com o objetivo de promover a utilização do espaço físico de acordo com suas limitações e potencialidades locais. O mapeamento geotécnico é esta ferramenta. Em escala local, é um importante instrumento de obtenção e apresentação das informações do meio físico, com um papel importante não só no diagnóstico, mas também na prevenção dos casos de risco. Sendo que através disso, auxilia na economia dos recursos que iriam ser utilizados com obras de correção ou desnecessárias.

A definição de mapeamento geotécnico é, de acordo com Zuquette (1987):

Um processo que tem por finalidade básica levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos e outros. Tais informações deverão ser produzidas de maneira tal que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento, avaliações ambientais e outros. As informações devem ser tratadas através de processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser relacionadas, correlacionadas, interpretadas e, ao final, representadas em mapas, cartas e anexos descritivos, sempre respeitando os princípios básicos que regem a execução do mapeamento geotécnico.

Este tipo de análise permite que a escala do trabalho seja pertinente ao nível de abordagem, que é relacionado com a demanda do usuário. As características geológicas e geotécnicas de um local têm significativa importância no planejamento do uso e ocupação, independente da forma de utilização da área. O emprego de uma investigação geotécnica está cada vez mais necessário, uma vez que o mercado está mais exigente no controle de qualidade e custos, tanto de projetos em obras, como na manutenção de projetos já implantados.

Locais de disposição de resíduos, incluindo áreas que acomodam Resíduos Industriais (RI), vêm recebendo cada vez mais atenção com o passar dos anos, pois apresentam grande potencial de risco como fonte de contaminação de solos, águas superficiais e subterrâneas, e até mesmo do ar. Atividades industriais, em específico, geram resíduos sólidos e efluentes líquidos, com diversas características e quantidades, que necessitam de um gerenciamento adequado para não haver danos ao meio ambiente e nem à saúde do homem. Por diversos anos, toda a

disposição de resíduo era planejada para que fosse descartada o mais distante possível da fonte geradora. No entanto, com o passar do tempo, normas de adequação de disposição final dos resíduos foram criadas e postas em prática, através de regulamentações cada vez mais exigentes, acompanhando a manifestação global por um mundo mais sustentável.

A Central de Resíduos Industriais, que é alvo de estudo neste trabalho, atende empresas de um mesmo grupo, situadas em Carlos Barbosa e Farroupilha, no Rio Grande do Sul. O projeto do aterro teve início no ano de 1993, onde a área foi dividida em três setores: Aterro de Resíduos Industriais Perigosos (ARIP), Aterro Classe II (resíduos não perigosos) e Central de Triagem de Sucatas Recicláveis. O local do Aterro Classe II já foi utilizado pela empresa como local de disposição de lodo de usinagem, mas em pouco tempo esgotou sua capacidade, partindo para a execução do projeto do aterro em conformidade com as normas vigentes na época (por volta de 1996).

Em 2005, a empresa investiu em um projeto de renovação da Central de Resíduos. Os motivos desta renovação envolvem o aumento de seu porte, consequentemente aumentando a vida útil do projeto, modernização e atendimento às legislações atuais. O local vem trabalhando desde então, e melhorando cada vez mais a estrutura de monitoramento de águas subterrâneas, como através da implantação de mais três poços, além dos cinco iniciais, totalizando oito poços até o presente.

É indiscutível que a água é um item essencial à vida. Com esta premissa, química ambiental recebe destaque quando abordamos preservação das águas e qualidade de vida. Os problemas de degradação da qualidade das águas subterrâneas são os que apresentam mais dificuldade para serem reparados (FREEZE, et al., 1979 *apud* CELLIGOI, 1999, p. 91). Neste sentido, os poços de monitoramento de águas subterrâneas são de extrema importância para o controle da sua qualidade.

1.1 OBJETIVO GERAL

Os aterros industriais envolvidos na pesquisa estão sob administração de um grupo de empresas, que utilizam o espaço para descarte de sucatas, materiais perigosos e não perigosos. Esta pesquisa propôs-se em colher informações dos

poços de monitoramento das águas subterrâneas da área dos aterros, para análise comparativa de verificação da mudança de propriedades e a possível influência do substrato na química da água, tendo referência os dados disponibilizados pela empresa, que vão desde 2008 até o fim de 2017.

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos estão elencados a seguir:

- a) Análise comparativa através de gráficos da evolução química das águas subterrâneas;
- b) Geração de mapas para verificar o comportamento do nível freático com o passar dos anos;
- c) Elaborar um mapa de sentido de fluxo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os locais de descarte de resíduos têm recebido atenção redobrada nos últimos anos, por representarem um alto potencial como fontes poluidoras do ar, água e solo. Os aterros de resíduos industriais envolvidos no estudo recebem resíduos gerados por um grupo de empresas instalada na cidade de Carlos Barbosa e cidades vizinhas, e estão sob vigência das legislações e determinações da FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) e das Secretarias do Meio Ambiente.

O monitoramento das águas subterrâneas na empresa é feito trimestralmente, com análises físico-químicas quantitativas. Para interpretação destas análises, é preciso levar em conta que os aspectos naturais do substrato podem influenciar o diagnóstico destas amostras. De acordo com Celligoi (1999), a análise química das águas subterrâneas é muito importante, na medida em que os parâmetros de identificação e controle são requeridos. Este tipo de quantificação analítica necessita de parâmetros, pois há extensos fatores externos que contribuem nas propriedades químicas das águas, e não somente fatores antrópicos. Para uma análise completa, não se pode levar em conta apenas o grau de potabilidade, mas sim os elementos ou compostos poluidores em si.

Apresentados os fatos, as questões-guias para este trabalho são: Qual é a relação entre a qualidade das águas subterrâneas do aterro e as características próprias das águas da região? Elas se fazem presente nas alterações químicas quando comparadas aos padrões de potabilidade vigentes na legislação ambiental? Como subsídio de prevenção, em possível caso de acidente, qual o sentido preferencial das águas subterrâneas da área?

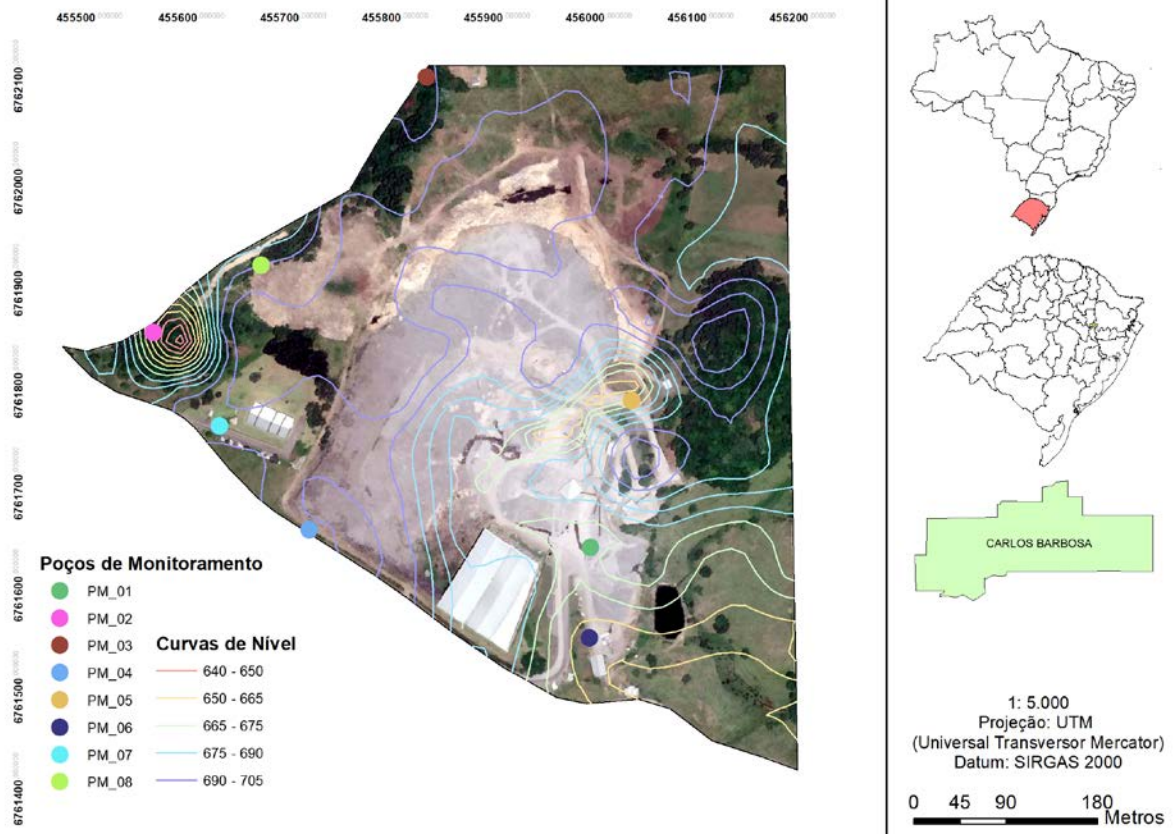
1.3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

1.3.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada na mesorregião Nordeste Rio-Grandense, e microrregião de Caxias do Sul, no município de Carlos Barbosa (Figura 1). A cidade é dividida em cinco distritos, sendo eles: Sede, Santo Antônio de Castro, Santa Luiza e Cinco da Boa Vista. Distanto 104 km de Porto Alegre, capital do estado, está sob as seguintes coordenadas geográficas: 29°18' de Latitude Sul e 51°30' de Longitude Oeste, a 676 metros em relação ao nível do mar, compreendendo uma área territorial de 229,9 km².

Carlos Barbosa faz limite com os municípios de Farroupilha, Garibaldi, Barão, São Vendelino, Boa Vista do Sul e Alto Feliz. As principais vias de acesso são através das rodovias RS-446, RS-453 e RS-470.

Figura 1 – Localização da área de estudo no município de Carlos Barbosa



Fonte: Elaborado pela autora.

1.3.2 Clima

De acordo com o mapa de clima do Brasil, elaborado pelo IBGE (1978), o clima predominante na região sul do Brasil é o sub-tropical, mesotérmico brando, com temperaturas médias entre 10° e 15° C, sem secas. Segundo Buriol et al. (2001), levando em consideração a Classificação Climática de Köppen-Geiger (1936), o clima no Estado do Rio Grande do Sul é dividido nos tipos climáticos Cfa, clima oceânico sem estação seca, temperado úmido com verão quente, e Cfb, clima oceânico sem estação seca, temperado úmido com verão temperado. A região do município de Carlos Barbosa está inserida no clima Cfb, com uma média de temperatura em 17°C.

Sobre as precipitações, o Estado do RS possui uma distribuição das chuvas considerada equilibrada, ao longo do ano todo, decorrente das massas oceânicas que atuam no Estado. De acordo com Maffasioli et al. (1993) a formação de neblina densa e rasteira é um fenômeno característico de Carlos Barbosa, formando-se nos

vales dos arroios. As geadas ocorrem de maio a setembro e, esporadicamente, pode ocorrer neve.

A rede de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) é de livre acesso, onde dados meteorológicos históricos podem ser obtidos no site através do BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) por meio de um cadastro simples. O banco de dados históricos de pluviosidade mostra que não há estações climáticas oficiais em Carlos Barbosa, sendo as estações climatológicas mais próximas do município:

- Bento Gonçalves, BDMEP - INMET, latitude $-29,1675^{\circ}$ e longitude $-51,5347^{\circ}$, altitude 640 m. Série histórica de 12/2006 a 07/2010. Porém, para o período do ano de 2017, ano em que se baseiam os estudos, não existem dados disponíveis nessa estação.

- Caxias do Sul, BDMEP – INMET, latitude $-29,16^{\circ}$ e longitude $-51,2^{\circ}$, altitude 759,60 m. Série histórica a partir de 12/04/1912. Os dados de precipitação do ano de 2017 estão listados na tabela e no gráfico abaixo.

A estação de Caxias do Sul é, dentre as duas, é a única que tem dados históricos registrados no BDMEP. Os dados de pluviosidade apresentados na Tabela 1 são as médias dos anos de 2012 até 2016, e dos quatro trimestres de 2017, registrados na estação.

Tabela 1 – Precipitação média do ano de 2012 até 2017

| Período | Precipitação Média |
|---------|--------------------|
| 2012 | 147,18 |
| 2013 | 170,87 |
| 2014 | 169,75 |
| 2015 | 188,11 |
| 2016 | 166,34 |
| 2017/1 | 179,8 |
| 2017/2 | 200,93 |
| 2017/3 | 99,63 |
| 2017/4 | 177,03 |

Fonte: Histórico de dados do INMET. Elaborado pela autora.

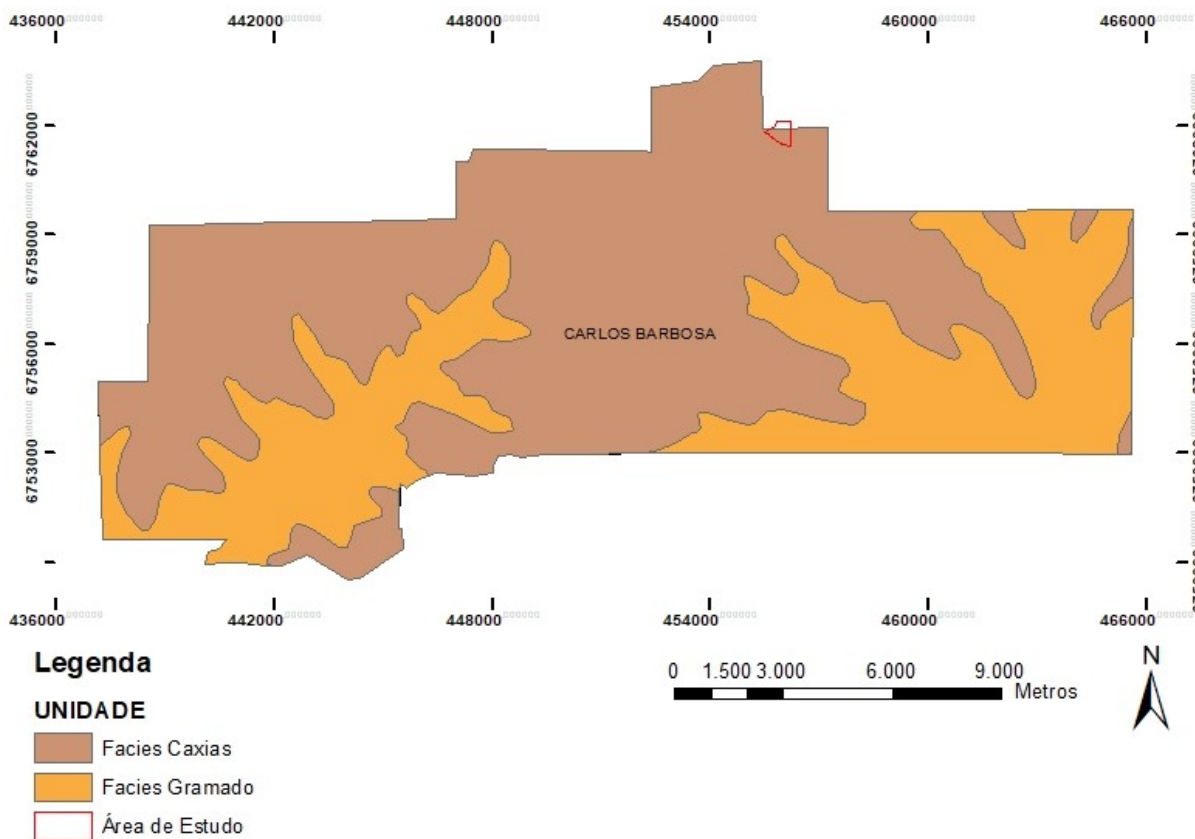
1.3.3 Geologia e Geomorfologia

A Formação Serra Geral (White, 1908), é uma província magmática relacionada ao derrame que cobre grande parte da Bacia do Paraná (Melfi et al., 1988). A Bacia do Paraná é definida como uma bacia intracratônicas desenvolvida completamente sobre crosta continental, e sua extensão tem aproximadamente 1.200.000 km².

Sua evolução se deu por processos de deposição de sedimentos, subsidência e tectonismo, que deram origem a diversas formações sedimentares que foram recobertas, em grande parte, por derrames basálticos, originados através de um processo de vulcanismo de fissuras de grandes proporções, dando origem à Formação Serra Geral. Ela cobre, no Brasil, os estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e também partes do Paraguai, Uruguai e Argentina. As idades de suas litologias variam do Siluriano ao Cretáceo. Segundo Zálan et al. (1990), a bacia possui um formato alongado, com sentido NNE-SSO (1.750 km de comprimento), com largura de aproximadamente 900 km. A dinâmica de placas que envolveu o Gondwana deu origem a deposição das rochas da bacia, assim como sua estruturação, que tem como *trends* principais NO-SE e NE-SO, e um *trend* secundário de sentido L-O.

A cidade de Carlos Barbosa está inserida no contexto geológico-estrutural e geomorfológico da Formação Grupo Serra Geral, e está caracterizada pelas fácies Caxias e Gramado. A área alvo do estudo está representada, na Formação Serra Geral, pelas Fácies Caxias (Figura 2).

Figura 2 – Mapa Geológico do município de Carlos Barbosa



Fonte: Base cartográfica vetorial contínua do RS, escala 1:50.000 (Hasenack et al., 2010).

Elaborado pela autora.

A Fácies Caxias (132,3 +- 0,5 Ma Ar-Ar) é descrita por Wildner et al. (2007), como rochas de composição intermediária a ácidas (riodacitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos e textura esferulítica comum), com disjunção tabular no topo do derrame e maciços na porção central, que podem apresentar estruturas de fluxo e autobrechas, e vesículas preenchidas por calcedônia e ágata.

Já a Fácies Gramado (132,4 +-1,4 Ma Ar-Ar) é descrita como rochas basálticas, de textura granular fina à média, melanocráticas, estruturadas em derrames que possuem zonas vesiculares preenchidas por zeolitas, carbonatos, saponitas e apofilitas. As estruturas de fluxo estão presentes, assim como as pahoehoe comuns, intercaladas com os arenitos da Formação Botucatu.

De acordo com Maffasioli et al. (1993), na região também são encontrados depósitos quaternários provenientes da erosão das unidades supracitadas. Estes depósitos estão associados às drenagens e são constituídos de sedimentos gravitacionais de encosta (aluviões e coluviões) com presença de depósitos fluviais

subatuais e atuais indiferenciados, com cascalhos e areais de canais fluviais e lamas de planícies de inundação.

Um estudo feito na área, para a implantação dos aterros, identificou fraturas no substrato, geralmente horizontais, localizadas entre os derrames basálticos. Com observações de imagens Landsat e de trabalhos de campo, foram identificados lineamentos que chegam a mais de 5 km de extensão, com direções predominantes NE-SO e L-O (PJS GEOLOGIA, 2005).

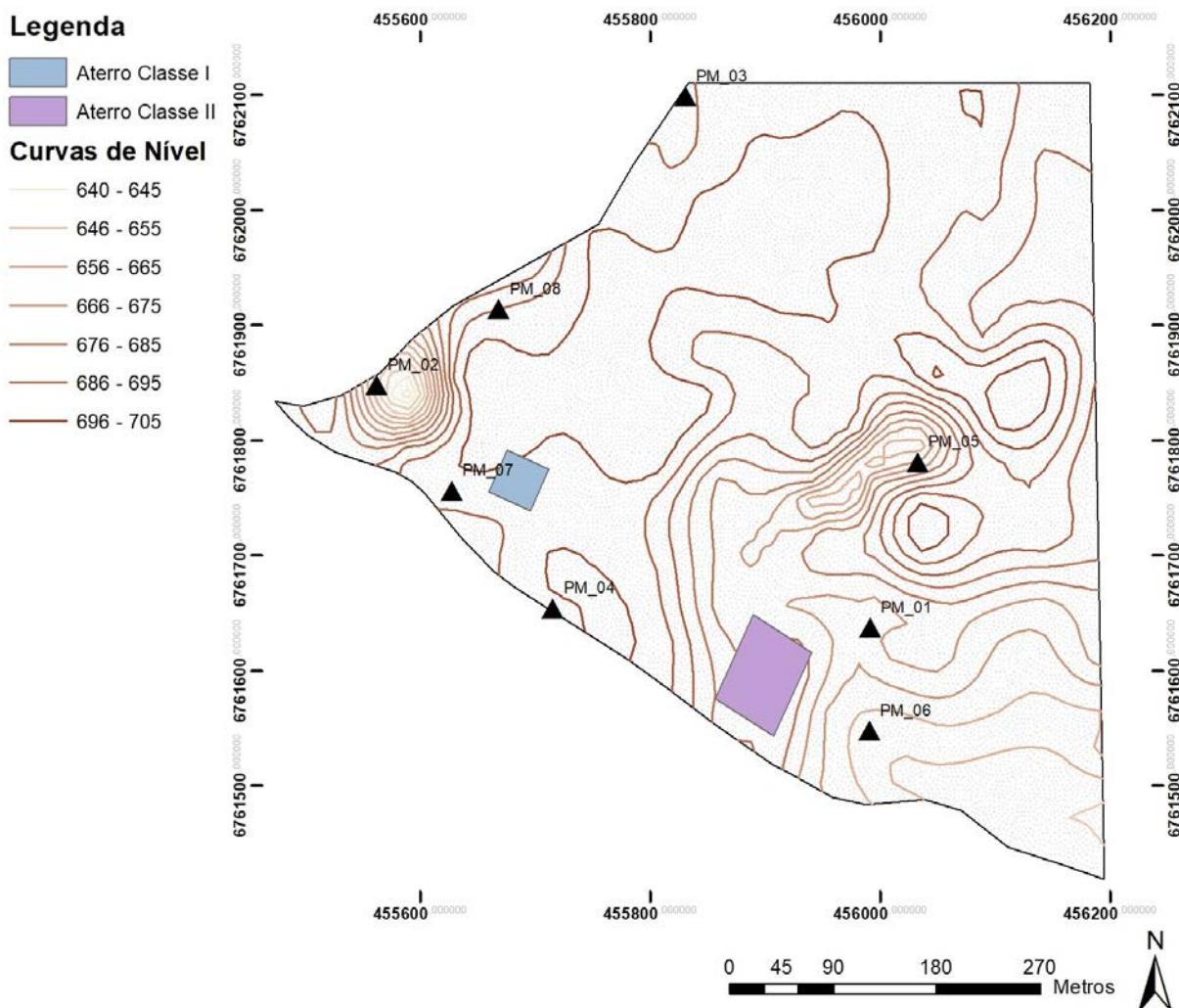
Conforme colocado por Maffasioli et al. (1993), o relevo do município de Carlos Barbosa é formado por montanhas e vales, onde existem áreas geograficamente acidentadas, onde os solos são de constituição rochosa, de origem basáltica.

O relevo é característico da borda do Planalto Rio-Grandense, onde o modelamento do basalto, através da escultura da rocha por intemperismo físico e químico nas falhas das rochas. Esse intemperismo promove o surgimento da forma de relevo denominada escarpa, onde podem ser analisados os diversos derrames basálticos ocorridos em diferentes tempos.

Para a contribuição da formação do relevo, existe a erosão das partes altas, os depósitos de talude, onde, nessa porção, ocorrem a concentração de solo, fragmento de rocha e matéria orgânica, contribuindo para a formação de cinturões de matas nativas, muito comuns nos vales (Maffasioli et al., 1993).

O município, então, tem uma grande variação na altitude. Os morros que compõe a geomorfologia da cidade são muitos, e variam de 749 a 541 metros em relação ao nível do mar. A parte Central do município, onde fica a parte urbana, não possui um relevo tão retalhado, com terras planas e levemente onduladas. Já a altitude junto à divisa do município vizinho é de 130 m, apresentando uma variação de até 619 m na altitude de Carlos Barbosa. Já o local de estudo tem uma variação de altitude de 640 a 705 metros, mesmo sendo uma área relativamente menor (0,3 km²), como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Variação de altitude na Área de Estudo



1.3.4 Pedologia

De acordo com o Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2015), solo é o material mineral e/ou orgânico inconsolidado na superfície da terra que serve como meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres. O termo solo, quando empregado em sistemas taxonômicos, se refere a todas as partes do perfil do solo, presentes acima do material de origem (camadas e horizontes genéticos).

Maffasioli et al. (1993), classificou o solo de Carlos Barbosa como argilo-arenosos, em termos de granulometria. Tratou-o como um solo medianamente fértil, apresentando acidez (pH 5), o que pode ser considerado um problema para o cultivo, necessitando de remediações, dependendo do tipo de lavoura. Pouco rico em matéria orgânica e fósforo, têm boa quantidade de potássio. Conhecendo a

geomorfologia da região, é correto afirmar que o uso correto do solo no município é muito necessário, para evitar a erosão.

A FEPAM (2001) elaborou um Mapa de Classificação dos Solos do RS, quanto à Resistência a Impactos Ambientais. Os critérios utilizados foram baseados nas características e propriedades das unidades de mapeamento de solos. Os fatores do solo foram: profundidade, textura, presença de gradiente textural A/B, drenagem natural, presença de lençol freático, presença de lençol suspenso. Os fatores do terreno foram: risco de inundação, de erodibilidade, relevo, declividade e aptidão agrícola.

De acordo com a FEPAM (2011), Carlos Barbosa se enquadra na Resistência C (baixa) à Impactos Ambientais, como apontam os parâmetros do Quadro 1.

Quadro 1 - Guia para a classificação de solos quanto a resistência a impactos ambientais.

| Fator do Solo ou do Terreno | Classes de resistência à impactos ambientais | | | |
|-----------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | Alta (A) | Média (B) | Baixa (C) | Muito Baixa (D) |
| Profundidade | > 150 cm | 100 a 150 cm | 50 a 100 cm | < 50 cm |
| Textura | Argilosa (>35% argila) | Média (15 a 35% argila) | Arenosa (<15% argila) | Arenosa (<15% argila) |
| Gradiente Textural | Sem ou pouco | Com | Abrupto | Com ou sem |
| Drenagem | Bem ou moderada | Forte ou acentuada | Imperfeita ou excessiva | Mal ou muito mal |
| Lençol Freático | Ausente | Ausente ou eventualmente suspenso | Alto | Superficial |
| Lençol Suspenso | Não | Não | Sim | Sim |
| Risco de Inundação | Nulo | Nulo | Raro | Ocasional a frequente |
| Erodibilidade | Ligeira a moderada | Moderada a forte | Forte | Forte a muito forte |
| Relevo | Plano, suave ondulado ou ondulado | Ondulado | Forte ondulado | Forte ondulado ou montanhoso |
| Declividade | <3%, 3-8%, 8-20% | 8-20% | 20-45% | >45% |
| Aptidão Agrícola | Boa | Boa a regular | Regular a restrita | Restrita |

Fonte: FEPAM (2011).

O local onde estão inseridos os aterros, que é o alvo do estudo, tem o substrato composto pelos basaltos da Formação Serra Geral, onde os solos são pouco desenvolvidos, raramente ultrapassando 1 m de espessura. (PJS GEOLOGIA, 2005).

1.3.5 Hidrogeologia e Hidroquímica Regional

O município de Carlos Barbosa não possui cursos d'água de grande porte, apenas arroios que deságuam em duas grandes Bacias Hidrográficas, a do rio Taquari e Caí, estas que deságuam na grande Bacia do Jacuí, no Guaíba, na capital Porto Alegre. A área do aterro está inserida na Bacia do Rio Caí, onde, no município, é composta pelas microbacias do Arroio Forromeco e do Arroio Santa Clara. O Arroio Forromeco tem sua nascente em Farroupilha, e um dos seus principais afluentes é o Arroio Ventoso.

Segundo o relatório da PJS GEOLOGIA (2005), a área dos aterros está inserida na Bacia do Arroio Ventoso, que tem uma de suas nascentes em Carlos Barbosa, na localidade de Desvio Machado. O empreendimento dista cerca de 1 km do curso principal. A drenagem apresenta sentido preferencial NO-SE.

No relatório emitido por PJS GEOLOGIA (2005), seguindo as orientações do manual técnico de campo de Oliveira e Corrêa Filho (1982) sobre ensaios de permeabilidade em solo, para determinar o coeficiente hidráulico do meio aquífero, obteve valor médio obtido para k (coeficiente de permeabilidade) de $8,48 \times 10^{-6}$ cm/s.

A lei de Darcy propõe que a vazão do fluido (dado pelo volume por unidade de tempo) é diretamente proporcional ao coeficiente de permeabilidade (Azevedo e Albuquerque Filho (1998, p. 118).

Assim sendo, a permeabilidade de uma rocha pode ser descrita como a capacidade de uma rocha permitir o fluxo do fluido, que a está saturando, através de poros, fraturas, etc. A velocidade do fluxo das águas subterrâneas na área dos aterros, de acordo com a Lei de Darcy, é de 5,05 m/ano, considerada uma infiltração relativamente baixa. Vale lembrar que a infiltração é baixa também pelo fato de o comportamento hidrogeológico não ser controlado pelas fraturas da rocha (PJS GEOLOGIA, 2005).

De acordo com Dias (2013), na região nordeste do Rio Grande do Sul, onde o município de Carlos Barbosa e a área de estudo estão inseridos, os recursos

hídricos subterrâneos estão associados ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Este é associado às fraturas da Formação Serra Geral, condicionado por tectônica estrutural, como zonas de falhas e de fraturas, e estruturas primárias como zonas de brecha, vesiculares a amigdaloides, diaclases ou disjunções horizontais. Além disso, os aquíferos apresentam características hidroquímicas que são diretamente afetadas pela circulação da água subterrânea, mistura de águas de outros aquíferos (como as águas do SAG – Sistema Aquífero Guarani), entre outros fatores.

Caracterizando hidroquimicamente o SASG, Lisboa (1996, *apud* Dias, 2013, p. 19) classificou o aquífero em dois campos hidrogeoquímicos principais: o “Campo das Águas Bicarbonatadas Cálcicas e Calcomagnesianas” e o “Campo das Águas Bicarbonatadas Sódicas”.

Lisboa (1996, *apud* Dias, 2013, p. 19) identificou que o SASG possui uma estratificação hidrogeoquímica marcada por variações nos teores dos íons de magnésio e cálcio, condicionada pelo fator litológico. Realizando estudos detalhados sobre as unidades hidrogeológicas do SASG, também verificou três fácies hidrogeoquímicas na região deste estudo. A fácies bicarbonatada calco-sódica-magnesianiana (Ca>Na>Mg) (55,55%), a fácies mista bicarbonatada sódico-calcomagnesianiana (Na>Ca>Mg) (32,11%) e a fácies bicarbonatada calco-magnesianiana-sódica (Ca>Mg>Na) (12,34%).

As águas do SASG, em geral, possuem uma ótima qualidade, mas podem ser afetadas pela presença de ferro, manganês e até mesmo flúor, com padrões acima do limite permitido. A presença de ferro e manganês está associada com os processos de decomposição das rochas vulcânicas que possuem minerais ferro-magnesianos na sua composição. E o enriquecimento em relação ao flúor, é baseado em padrões geoquímicos, pela combinação de recarga ascendente em condições de confinamento e longo tempo de residência associados a zonas com pouca carga meteórica.

Dias (2013), em parceria com a CORSAN, realizou relatórios das análises físico químicas das águas subterrâneas de Carlos Barbosa, plotando os dados obtidos em um diagrama Piper, através do programa Qualigraf. Com os resultados, concluiu-se que as águas subterrâneas da região são do tipo bicarbonatadas, onde pela classificação de cátions, 58,4% são cálcicas, 25% bicarbonatadas mistas, 8,3% magnesianas e 8,3% sódicas. No geral, podem ser divididas em dois campos,

bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas com 91,7% das amostras, e o restante de bicarbonatadas sódicas.






1.3.6 Poços de Monitoramento

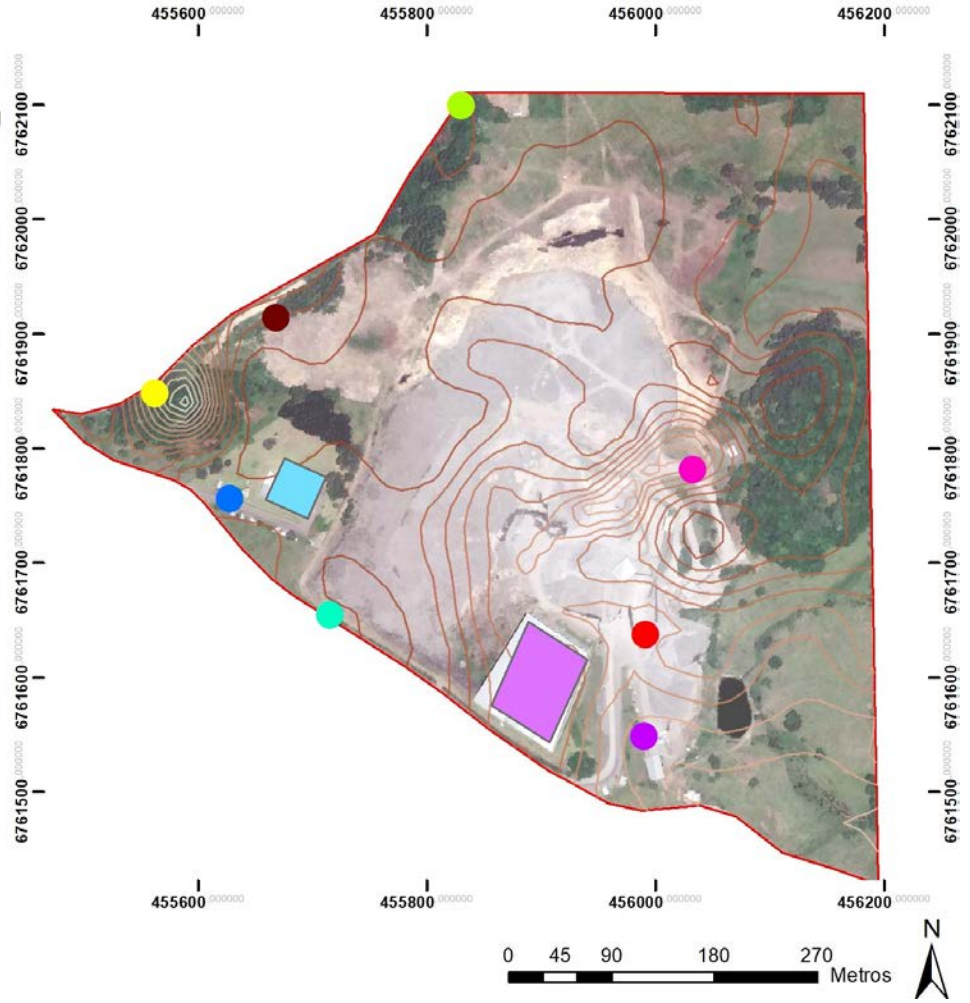
Os poços de monitoramento estão dispostos na área de estudo de forma a captar as variações da qualidade da água subterrânea. A empresa foi responsável, até 2005, por cinco poços de monitoramento, e a partir de 2005, com a renovação do projeto dos aterros, foram instalados mais três poços, totalizando oito poços que atuam até hoje, conforme é possível verificar na Figura 4.

O poço PM_03 é o poço de Montante (Figura 4), sendo que conforme a norma da CETESB (1988), para construção de poços de monitoramento de aquífero freático, o poço de montante é, por definição, situado à montante da área do aterro, em relação ao fluxo principal das águas subterrâneas. As amostras coletadas neste poço servem como parâmetro de qualidade do local, devendo estar fora da influência do sistema de disposição de resíduos. A norma também deixa claro que apenas um poço, se bem posicionado, é o suficiente para fins comparativos, desde que esteja fora da pluma de influência.

Figura 4 – Mapa de localização dos poços de monitoramento

Legenda

-  Aterro Classe I
-  Aterro Classe II
-  PM_01
-  PM_02
-  PM_03
-  PM_04
-  PM_05
-  PM_06
-  PM_07
-  PM_08



Fonte: Elaborado pela autora.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados os principais conceitos envolvidos no estudo, em uma construção progressiva: primeiramente será discutida a definição de resíduos sólidos e políticas de descarte e após, contaminação de águas subterrâneas.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS E POLÍTICAS DE DESCARTE

Resíduo é tudo aquilo que resta, que remanesce. É qualquer matéria que é descartada ou abandonada ao longo do tempo. Uma das características do ser humano é gerar resíduos através de sua evolução, ao longo de atividades industriais, comerciais, domésticas, entre outras. A geração de resíduos traz consigo a responsabilidade da possível criação de problemas ambientais e de saúde, se o manuseio, tratamento e disposição não for feito de maneira correta.

O crescimento da população, associado com a industrialização e o consumo, contribuem diariamente para o aumento da geração de resíduos. A preocupação com o descarte e tratamento dos resíduos sólidos vêm desde o século XIX, intensificando-se nas décadas de 1980 e 1990, onde houve uma busca pela regulamentação de processos e gerenciamento de resíduos, assim como um aumento na preocupação sobre os recursos e formas de produção.

Resíduos sólidos são, de acordo com a ABNT NBR 10004/2004:

Resíduos no estado sólido e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. São incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso, soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

O cuidado com o meio ambiente e contra as más consequências da disposição de resíduos é um problema muito importante da atualidade. Ao longo do tempo, surgem alternativas de tratamento e disposição cada vez mais favoráveis ao meio ambiente. O fator preocupante é que essa modernização da disposição dos

resíduos ainda não é generalizada. Dispomos de muitas melhorias a serem feitas em todo o mundo.

No Brasil, através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE em 2008, dados sobre o manejo dos resíduos sólidos foram obtidos. Aproximadamente 99,96% dos municípios brasileiros têm o serviço de trabalho com Resíduos Sólidos, mas não da forma ideal. Metade dispõe o resíduo em vazadouros, aproximadamente 22% em aterros controlados, 28% em aterros sanitários.

As normas sobre os resíduos sólidos existem, assim como as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), porém, as alternativas de gerenciamento de resíduos encontraram amparo legal com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/10, regulamentada pelo Decreto Federal nº 7404, de 23 de dezembro de 2010.

O SINIR (Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos) coloca que a PNRS previu a elaboração de um Plano Nacional de Resíduos Sólidos, num processo amplo de participação social. Esse Plano promove a análise da problemática dos diversos tipos de resíduos gerados, as alternativas de gestão e de gerenciamento, onde apresentam planos de metas, programas, projetos e ações à cerca do problema. O documento elaborado apresenta o diagnóstico dos resíduos sólidos no Brasil (em 2011, quando a versão preliminar do plano foi divulgada), o cenário que devemos buscar até 2031, diretrizes, estratégias e metas para o Brasil implantar uma gestão ambientalmente adequada para os resíduos sólidos gerados. A versão preliminar foi discutida entre o setor público e privado, inclusive com a sociedade em geral, onde a consulta ficou disponível por 60 dias na internet, onde qualquer cidadão podia opinar sobre.

Então, em sua versão final, a PNRS (2010) estabelece que os resíduos sólidos devem ser dispostos da forma ordenada, seguindo os princípios de engenharia, de forma que não impactem o meio ambiente nem a saúde pública. Mas para isso têm que passar por todas as possibilidades de tratamento e recuperação por meios tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, e mesmo assim não apresentarem outra opção além da distribuição em aterros. Resumindo, esse gerenciamento prevê a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final correta dos resíduos.

2.1.1 Classificação de Resíduos Sólidos

De acordo com Vilar et al. (2015), os resíduos sólidos podem ser classificados sob diferentes características, como a fonte geradora, grau de degradabilidade, grau de periculosidade e toxicidade, entre outras.

Em relação a degradabilidade, Vilar et al. (2015) caracterizam os resíduos como facilmente degradáveis (restos de comida, poda, capina e animais mortos), moderadamente degradáveis (papel, papelão, material celulósico), dificilmente degradáveis (trapos, couro, borracha, madeira, osso, plástico) e não degradáveis (vidros, metais, rochas e solos).

A ABNT NBR 10004/2004 define algumas destas características, como a periculosidade, que é uma “característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar um risco à saúde pública e ao meio ambiente, quando manejado de forma inadequada”, e a toxicidade que é a “característica potencial que o agente tóxico possui de provocar, em maior ou menor grau, um efeito adverso em consequência de sua interação com o organismo”.

Assim, descrevendo as características previamente definidas sobre periculosidade, ainda temos, de acordo com a NBR 10004, a classificação dos resíduos em Classes, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Características das Classes de Resíduos

| | | |
|-----------|---------------------------|---|
| CLASSE I | | São os resíduos que apresentam periculosidade, ou alguma das características a seguir: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade. |
| CLASSE II | Classe II A (não inertes) | São os resíduos que não se encaixam nas classificações de resíduos Classe I ou de resíduos Classe II B, podendo apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. |
| | Classe II B (inertes) | São os resíduos que não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores ao padrão de potabilidade de água, excetuando aspectos como: cor, turbidez, dureza e sabor. |

Fonte: Baseado na NBR 10004

Quanto à fonte geradora, Vilar et al. (2015) classificam os resíduos como:

- RSU: Resíduos Sólidos Urbanos, gerados nos ambientes domiciliares, comerciais, de varrição, feiras livres, capina e poda;
- RSS: Resíduos de Serviço de Saúde, os gerados em clínicas médicas e veterinárias, hospitais, farmácias e consultórios;
- RCD: Resíduos de Construção e Demolição, os produzidos na construção civil, escavações, demolições;
- RI: Resíduos Industriais, os provenientes de produtos e processos industriais;
- RA: Resíduos Agrícolas, constituídos por restos de cultura, embalagens de agrotóxicos, defensivos agrícolas, dejetos de animais;
- RM: Resíduos de Atividade de Mineração e de processamento de minérios;
- E: Resíduos Especiais, como o de portos e aeroportos.

A classificação, então, deve indicar a origem do resíduo, a descrição do processo de segregação e descrição do critério adotado na escolha de parâmetros analisados, e quando for necessário, inclui também laudos de análises laboratoriais.

2.1.2 Resíduos Industriais

No artigo 13, a PNRS (BRASIL, 2010), define Resíduos Industriais como: resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais. Já na Resolução CONAMA nº 313/2002 o Resíduo Sólido Industrial (RSI) é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre no estado sólido, semissólido, gasosos (contido) e líquido, cujas características tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia possível. Os lodos que vem de sistemas de tratamento de água e os gerados em equipamentos e estações de controle de poluição estão incluídos nesta definição.

A Resolução CONAMA nº 313/02 subsidiou a elaboração de diretrizes nacionais, programas estaduais e a elaboração do Plano Nacional de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais, sendo um documento muito importante sobre o controle e gestão destes resíduos. A mesma Resolução descreve

o Inventário Nacional de RSI como um conjunto de informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos RSI gerados pelas indústrias nacionais.

Sobre a disposição destes resíduos, segundo a NBR 10157/87, para resíduos perigosos, e NBR 13896/97, para resíduos não perigosos, as características gerais que um local para aterro deve ter são: minimização do impacto ambiental causado pelo aterro; maximização da aceitação pela população; área de acordo com o zoneamento da região e longa vida útil, necessitando do mínimo de obras para início da operação. Os atributos técnicos que a NBR 10157/87 e a NBR 13896/97 recomendam para as áreas de disposição são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Atributos técnicos esperados para os aterros perigosos e não-perigosos.

| Atributos | Considerações Técnicas (NBR 13896/1997) | Considerações Técnicas (NBR 10157/1987) |
|--------------------------|---|--|
| Topografia | Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%. | Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 20%. |
| Geologia e Tipos de Solo | É desejável que tenha um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10 ⁻⁶ cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m. | As indicações, neste caso, são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. |
| Recursos Hídricos | O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água. | O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água. |
| Vegetação | O estudo é importante para questões como os aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores. | O estudo é importante para questões como os aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores. |
| Acessos | Necessário estudo pois são utilizados durante toda operação. | Necessário estudo pois são utilizados durante toda operação. |

| Atributos | Considerações Técnicas (NBR 13896/1997) | Considerações Técnicas (NBR 10157/1987) |
|---|---|---|
| Tamanho Disponível e Vida Útil | Recomenda-se a construção de aterros com no mínimo 10 anos de vida útil. | Recomenda-se a construção de aterros com no mínimo 10 anos de vida útil. |
| Custos | A elaboração de um cronograma físico-financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade do empreendimento | A elaboração de um cronograma físico-financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade do empreendimento |
| Distância Mínima de Núcleos Populacionais | Recomenda-se que esta distância seja superior a 500m. | Recomenda-se que esta distância seja superior a 500m. |

Fonte: Baseado em NBR 10157/87 e NBR 13896/97.

2.1.3 Características dos Resíduos Industriais da Empresa

A PJS GEOLOGIA (2005) fez um histórico do empreendimento, onde considerou os aspectos da Resolução CONAMA nº 313/02 e as normas sobre a disposição dos resíduos conforme a NBR 10157/87, para resíduos perigosos, e NBR 13896/97, para resíduos não perigosos.

A empresa iniciou a construção do empreendimento em 1992, na localidade de Desvio Machado. A área foi então dividida em três setores: Aterros de Resíduos Industriais Perigosos (ARIP), Aterro Classe II e a Central de Triagem de Sucatas Recicláveis. Na atualidade, os aterros seguem sob vigência dos requisitos normativos da FEPAM e Secretaria do Meio Ambiente e seguindo as normas da PNRS sobre a disposição dos resíduos, com controladores de contaminação do meio ambiente: sistema de drenagem de percolados, gases e águas superficiais; impermeabilização inferior e superior; monitoramento de águas subterrâneas e superficiais.

As sucatas passíveis de reciclagem são enviadas à uma Central de Triagem, onde são selecionadas e separadas de acordo com o tipo e depois enviadas à comercialização. Os resíduos sem periculosidade para o meio ambiente, são levados ao Aterro Classe II, que antigamente era uma jazida de argila para produção

oleira. A empresa fez uma análise quantitativa dos resíduos depositados nos aterros, onde mais da metade são resíduos recicláveis (59%), e do restante, apenas 2% são Resíduos Classe I. E com o passar dos anos, a quantidade de resíduos Classe II diminuiu em relação às de resíduos recicláveis, pois a empresa tem uma preocupação com o emprego de matérias-primas que causem menos impactos ambientais.

O monitoramento das águas superficiais é efetuado trimestralmente e para esse monitoramento são utilizadas algumas lagoas ao redor do empreendimento, além de poços de monitoramento.

2.2 CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A Resolução CONAMA Nº 396/2008 define como águas subterrâneas: “águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo”. O Ministério do Meio Ambiente (2001), em seu Programa Nacional de Águas Subterrâneas, caracteriza as águas subterrâneas como a etapa mais lenta do ciclo hidrológico, constituindo a principal fonte de reserva hídrica do país. A água subterrânea é acumulada através de infiltração do subsolo, preenchendo espaços formados entre os grãos minerais, fraturas e falhas em rocha, agindo como acumuladoras de águas pluviais, desempenhando um papel fundamental no controle de cheias, na proteção natural contra agentes poluidores ou como barreiras na perda de água pela evaporação. No ciclo, a água que infiltra, apesar de lentamente, migra constantemente em sentido às nascentes, lagos, leitos de rios e para os oceanos. O Ministério do Meio Ambiente (2001) coloca que apesar da contaminação nos aquíferos ser mais lenta, os custos para a sua recuperação podem ser demasiados.

Para Tressoldi e Consoni (1998, p.343-344) os resíduos industriais, apesar de apresentarem baixos teores de matéria orgânica, sobretudo os de Classe I, apresentam percolados com grande poder poluidor, geralmente, maior do que os de resíduos domiciliares, por conterem substâncias extremamente tóxicas, mesmo em concentrações baixas como ppm (parte por milhão) e ppb (parte por bilhão).

De acordo com Fernandes (2008), a tectônica é o fator que mais influi na circulação das águas em rochas cristalinas, pois gera os espaços de percolação e por seus atributos, controla também as características geométricas desses espaços,

como a abertura, direções, densidade e conectividade. Dentre essas características das fissuras, a abertura é a que exerce o maior controle sobre a condutividade hidráulica.

Reginato et al. (2006) coloca que, em relação ao relevo, as zonas aquíferas que apresentam alto grau de dissecação são as menos favoráveis à ocorrência de águas subterrâneas, pois o armazenamento é menor e as zonas de descarga passam a ser maiores, devido às encostas originadas pela quebra de relevo. A litologia é um condicionante de menor importância, mas as estruturas dos derrames de lavas na região podem exercer alguma influência em conjunto com a tectônica. Outro aspecto de influência da litologia é na hidroquímica, pois as rochas básicas e ácidas têm influência na característica química das águas subterrâneas.

2.2.1 Parâmetros de potabilidade de águas subterrâneas

A Portaria Nº 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, “estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências”.

No relatório da CETESB de 2016, foram estabelecidos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. No relatório de 1998 da CETESB, são apresentados os valores de qualidade do solo e água subterrânea da Lista Holandesa. A utilização da Lista Holandesa como metodologia de análise se justifica pelo fato de ela ser amplamente conhecida e aceita, por ter sido pioneira, por diversos países. Essa metodologia é baseada em critérios científicos, os quais propõem a avaliação do risco à saúde do homem e permite que sejam feitas alterações nos valores, habilitando a aplicação em diversos cenários.

A principal característica dessa proposta é a criação de valores distintos (STI) de qualidade, onde:

- **(S) Valor de Referência:** indica um nível onde podemos considerar, para qualquer finalidade, que o meio está “limpo”;
- **(I) Valor de Intervenção:** indica que a ultrapassagem desse valor, para águas subterrâneas, em um volume de 100 m³, requer a implementação de ações voltadas à remediação;

- **(T) Valor de Alerta:** é um valor médio entre S e I.

A Resolução nº460/2013 altera a Resolução CONAMA nº 420/2009, esta que “dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”. Onde considera a prevenção da contaminação das águas subterrâneas, para um ambiente sustentável, estabelecendo parâmetros limitantes para investigação.

A Tabela 2, apresentada a seguir, foi elaborada com base nos parâmetros em comum de todas as análises químicas, de água subterrânea, disponibilizadas pela empresa, descrevendo os limites de intervenção. Todos os valores foram adaptados para a medida “mg/L” para uma melhor compreensão.

Tabela 2– Tabela de limites dos parâmetros de interesse do estudo

| Parâmetros | Portaria MS nº 518/2004 | CONAMA nº 460/2013 | CETESB | Lista Holandesa | | |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------|-----------------|---------|---------|
| | | | | S | T | I |
| Alumínio (mg/L) | 0,200 | 3,500 | 0,200 | - | - | - |
| Chumbo (mg/L) | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,015 | 0,045 | 0,075 |
| Cianeto Total (mg/L) | 0,070 | - | - | 0,005 | 0,753 | 1,500 |
| Cloretos (mg/L) | 250,000 | - | - | - | - | - |
| Cromo (mg/L) | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,001 | 0,016 | 0,030 |
| Fenol (mg/L) | - | 0,140 | 0,140 | 0,0002 | 1,000 | 2,000 |
| Ferro Total (mg/L) | 0,300 | 2,450 | 0,300 | - | - | - |
| Manganês Total (mg/L) | 0,100 | 0,400 | 0,400 | - | - | - |
| Mercúrio (mg/L) | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,00005 | 0,00018 | 0,00030 |
| Níquel Total (mg/L) | - | 0,020 | 0,020 | 0,015 | 0,045 | 0,075 |
| Nitrato (mg/L) | 10,000 | 10,000 | 10,000 | - | - | - |
| Nitrito (mg/L) | 1,000 | - | - | - | - | - |
| pH | 5,000 | - | - | - | - | - |
| Sódio Total (mg/L) | 200,000 | - | - | - | - | - |
| Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) | 1000,000 | - | - | - | - | - |
| Sulfato (mg/L) | 250,000 | - | - | - | - | - |
| Turbidez (UNT) | 5,000 | - | - | - | - | - |
| Zinco Total (mg/L) | 5,000 | 1,050 | 5,000 | 0,065 | 0,433 | 800,000 |

Fonte: Portaria MS nº 518/2004, CONAMA nº 460/2013, CETESB (2016) e Lista Holandesa (CETESB, 1998). Elaborada pela autora.

2.2.2 Ponderação sobre análises químicas das águas subterrâneas

De acordo com Szikszay (1993, *apud* Celligoi, 1999, p. 91), antes de iniciar um relatório sobre contaminantes de águas subterrâneas, é previamente necessário saber a que finalidade as análises se destinam, pois, os parâmetros considerados são diferentes para cada propósito. Pertinentes a este estudo temos os parâmetros analisados para indicar potabilidade e de controle de poluição, sempre levando em conta as normas vigentes da região. Para a verificação de potabilidade, geralmente, são necessárias as quantificações dos elementos e compostos maiores, STD (Sólidos Dissolvidos Totais), NO₂ (Dióxido de Nitrogênio), NH₄ (Amônio), OD (Oxigênio Dissolvido), F⁻ (Flúor) e Fe²⁺ (Ferro), bactérias coliformes e coliformes fecais, substâncias tóxicas como As (Arsênio), Pb (Chumbo), Hg (Mercúrio), Fenol, e etc. Para a verificação de controle de poluição são necessários parâmetros como a alcalinidade, condutividade elétrica e pH.

Celligoi (1999), descreveu as principais considerações a serem tomadas nas interpretações analíticas das amostras, como pode-se observar no Quadro 4.

Quadro 4 – Principais considerações em interpretações analíticas

| | |
|-----------------------|--|
| Cloretos (mg/L) | Águas oceânicas são a maior fonte de cloreto e o intemperismo das rochas ígneas contribuem com poucas quantidades. A presença deste elemento pode indicar dissolução de depósitos salinos, descarga de efluentes de indústrias químicas. Se faz presente em baixas concentrações, < 10 mg/L, e se ocorrer em altas concentrações pode ser indício de poluição antrópica. |
| Condutividade (µS/cm) | Expressão numérica da habilidade de uma solução aquosa em transportar a corrente elétrica, diretamente dependente de íons, suas concentrações, mobilidade, valência, temperatura. Na água destilada fica de 0,5 a 2, na água potável, de 50 a 1500 e na água poluída, > 10000. |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Cromo (mg/L) | O cromo e o cromo Hexavalente são estáveis em água, relativamente bem distribuído, com baixa solubilidade. Normalmente se apresentam em níveis baixos. |
| Ferro Total (mg/L) | É um dos elementos mais importantes das rochas ígneas, ocorrendo em minerais máficos como os piroxênios, anfibólios, biotitas, bem como magnetitas e piritas. |
| Manganês Total (mg/L) | Se faz presente em substituições de biotita e hornblenda, de preferência. É detectável mesmo em pequenas concentrações, onde acima de 1 mg/L são raros casos, mas valores como 0,05 mg/L já tem efeito negativo sobre a potabilidade da água. |
| Nitrato (mg/L) | A maior parte do nitrogênio ocorre como gás na atmosfera, solo e nas substâncias orgânicas. Altas concentrações de amônia e nitrogênio orgânico indicam poluição recente, e de nitrato, poluição antiga. |
| Nitrito (mg/L) | |
| pH | O pH das águas naturais varia entre 4 e 9 a 25° C. |
| Sódio Total (mg/L) | É o maior constituinte das rochas ígneas, ocorrendo em plagioclásio, principalmente albita e é liberado através do intemperismo deste silicato. O sódio normalmente está presente nas águas doces como íon livre e as mais altas concentrações estão associadas com íons de cloro. |
| Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) | Compreende substâncias fragmentadas e não-fragmentadas, mas não englobam materiais em suspensão, colóides ou gases dissolvidos. |
| Sulfato (mg/L) | O enxofre ocorre principalmente em gases magmáticos, e nas rochas como gipso e anidrita. Sulfato são adicionados ao ciclo hidrológico com as precipitações da atmosfera. Nas águas circulantes por rochas ígneas a concentração deve ser baixa, < 30 mg/L. |
| Turbidez (NTU) | Causada por partículas em suspensão. 0,2 a 1 NTU geralmente indica uma água de boa qualidade. |

Fonte: Celligoi (1999). Elaborado pela autora.

3 METODOLOGIA

A verificação do problema deste trabalho foi feita através de um inventário das análises químicas dos poços de monitoramento da água subterrânea do aterro de resíduos industriais localizado no município de Carlos Barbosa/RS. Para a caracterização da área foram realizadas análises quantitativas e comparativas, com a produção de mapas de caracterização de nível freático, condutividade das amostras e um mapa de fluxo subterrâneo.

3.1 INVENTÁRIO

Para os dados de nível freático, foram disponibilizados pela empresa os dados de 2012 a 2017 (conforme ANEXO A). Para interpretação e análise desta pesquisa, de 2012 a 2016 foram utilizadas médias anuais e do último ano, dados trimestrais, conforme mostra a Tabela 3. Vale ressaltar que o poço PM_3 é o poço de montante, e os outros poços são de jusante.

Tabela 3 – Medidas anuais do nível do lençol freático (em metros)

| | PM_1 | PM_2 | PM_3 | PM_4 | PM_5 | PM_6 | PM_7 | PM_8 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2012 | 5,35 | 27,48 | 21,69 | 23,38 | 13,06 | 06,75 | 23,97 | 29,41 |
| 2013 | 6,04 | 25,17 | 20,81 | 24,49 | 13,30 | 06,69 | 23,52 | 30,37 |
| 2014 | 5,77 | 24,70 | 17,00 | 25,16 | 10,08 | 05,62 | 23,08 | 28,16 |
| 2015 | 6,09 | 28,31 | 12,26 | 25,53 | 11,65 | 06,26 | 22,41 | 32,15 |
| 2016 | 6,05 | 29,68 | 17,77 | 25,55 | 14,24 | 10,27 | 19,44 | 31,70 |
| 2017-1 | 6,04 | 06,51 | 08,45 | 24,83 | 12,26 | 12,23 | 20,96 | 31,82 |
| 2017-2 | 5,60 | 25,14 | 06,17 | 25,25 | 12,51 | 11,37 | 20,97 | 32,00 |
| 2017-3 | 6,46 | 28,35 | 14,79 | 25,76 | 12,34 | 06,13 | 22,88 | 32,81 |
| 2017-4 | 5,86 | 27,33 | 11,85 | 25,21 | 12,41 | 05,96 | 22,53 | 34,20 |

Fonte: Elaborada pela autora.

O inventário das análises químicas foi realizado através do levantamento de dados disponibilizado pela empresa. Dados de análises químicas foram disponibilizados do ano de 2008 ao ano de 2017, sendo médias anuais de leituras trimestrais. As análises químicas (Tabelas 4 a 13) foram realizadas por laboratórios terceirizados, sendo importante apontar que até o segundo trimestre de 2015 uma empresa era responsável pelas análises, e a partir desta data, houve a troca de

empresas. De 2008 a 2010, as principais análises foram as seguintes: acidez, alcalinidade total, alumínio, chumbo, cloretos, cobre, condutividade, cromo total, DQO, fenol, ferro total, manganês, mercúrio, níquel, pH, sólidos dissolvidos, sulfatos, zinco.

A partir de 2011, as análises principais passaram a ser: alumínio, cianeto, cloretos, condutividade, cromo +6, cromo total, fenol, ferro, fosfato, mercúrio, nitratos, nitritos, pH, sódio, sólidos dissolvidos, sulfatos, turbidez, zinco. Todas análises foram medidas em mg/L, a não ser a turbidez (que foi medida em UNT), a condutividade (medida em $\mu\text{S}/\text{cm}$) e o pH.

Tabela 4 – Análise química das águas subterrâneas em 2008

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alcalinidade Total | 53,06 | 47,39 | 29,01 | 41,8 | 48,41 | 41,71 | 175,69 | 48,14 |
| Alumínio | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Chumbo | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Cloretos | 4,85 | 4,16 | 3,28 | 4,33 | 3,29 | 2,99 | 7,37 | 7,40 |
| Cobre | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 |
| Condutividade | 197,37 | 121,8 | 73,95 | 103,87 | 103,12 | 91,66 | 415,33 | 147,83 |
| Cromo Total | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DQO | 21,5 | 49,75 | 62,75 | 80,25 | 38,50 | 14,66 | 16,33 | 16,33 |
| Fenol | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Ferro Total | 0,05 | 0,03 | 0,11 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,06 |
| Manganês | 0,52 | 0,08 | 0,1 | 0,18 | 0,04 | 0,02 | 0,11 | 0,07 |
| Mercúrio | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 |
| Níquel | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 |
| pH | 6,76 | 6,83 | 6,85 | 6,55 | 6,55 | 6,59 | 8,38 | 7,08 |
| Sólidos Dissolvidos | 217,75 | 162,25 | 178,5 | 189,25 | 224,75 | 256,66 | 229,33 | 200,00 |
| Sulfatos | 6,62 | 5 | 5 | 2,55 | 5,00 | 5,00 | 8,48 | 5,00 |
| Zinco | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | 0,02 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 5 - Análise química das águas subterrâneas em 2009

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alcalinidade Total | 39,72 | 41,34 | 22,49 | 14,43 | 29,98 | 43,15 | 80,05 | 62,9 |
| Alumínio | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Chumbo | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Cloretos | 4,79 | 4,01 | 3,39 | 3,3 | 3,49 | 3,66 | 4,59 | 8,53 |

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cobre | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 |
| Condutividade | 140,28 | 131,2 | 35,07 | 33,37 | 92,22 | 68 | 197,45 | 193,1 |
| Cromo Total | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 |
| DQO | 3,5 | 10,25 | 10,5 | 6,5 | 4,25 | 7,25 | 8,75 | 5 |
| Fenol | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Ferro Total | 0,09 | 0,0005 | 0,11 | 0,02 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,14 |
| Manganês | 0,22 | 0,21 | 0,06 | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,18 | 0,12 |
| Mercúrio | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 |
| Níquel | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 |
| pH | 6,57 | 6,41 | 6,48 | 6,15 | 6,43 | 6,13 | 6,62 | 6,6 |
| Sólidos Dissolvidos | 278,25 | 262,25 | 250,5 | 214,75 | 217,5 | 218 | 274,5 | 237,75 |
| Sulfatos | 5 | 3,38 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1,29 |
| Zinco | 0,07 | 0,09 | 0,03 | 0,07 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 6 - Análise química das águas subterrâneas em 2010

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alcalinidade Total | 37,82 | 31,04 | 30,25 | 21,06 | 41,34 | 42,43 | 34,65 | 43 |
| Alumínio | 0,2 | 0,2 | 0,14 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Chumbo | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,03 | 0,005 | 0,004 |
| Cloretos | 6,94 | 7,68 | 5,1 | 5,95 | 4,9 | 5,41 | 4,76 | 5,57 |
| Cobre | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 |
| Condutividade | 154,72 | 63,42 | 50,64 | 63,7 | 75,22 | 87,6 | 72,45 | 79,67 |
| Cromo Total | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,003 | 0,005 |
| DQO | 15,61 | 15,29 | 23 | 19,67 | 7,91 | 11,14 | 10,82 | 10,8 |
| Fenol | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Ferro Total | 0,96 | 0,2 | 0,41 | 0,17 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,3 |
| Manganês | 0,13 | 0,01 | 0,0015 | 0,022 | 0,0015 | 0,0015 | 0,03 | 0,0015 |
| Mercúrio | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 |
| Níquel | 0,005 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,006 |
| pH | 6,17 | 6,06 | 6,12 | 5,87 | 5,98 | 6,19 | 6,11 | 6,44 |
| Sólidos Dissolvidos | 210 | 208,25 | 182,75 | 178,5 | 190,25 | 192,75 | 180,75 | 175 |
| Sulfatos | 2 | 0,58 | 0,94 | 2 | 2 | 2 | 2,23 | 2 |
| Zinco | 0,002 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,005 | 0,057 | 0,016 | 0,005 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 7 - Análise química das águas subterrâneas em 2011

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alumínio | 0,29 | 0,57 | 0,47 | 0,1 | 0,1 | 0,16 | 0,2 | 0,55 |

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cianeto | 1,47 | 0,025 | 1,47 | 2,2 | 4,38 | 2,44 | 1,95 | 2,68 |
| Cloretos | 3,65 | 2,1 | 2,14 | 1,77 | 2,11 | 1,64 | 1,44 | 1,44 |
| Condutividade | 125,23 | 123,05 | 24,89 | 53,47 | 82,92 | 92,38 | 81,4 | 86,54 |
| Cromo +6 | 0,017 | 0,0005 | 0,045 | 0,017 | 0,017 | 0,017 | 0,017 | 0,1 |
| Cromo Total | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Fenol | 0,027 | 0,003 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,12 |
| Ferro | 0,073 | 0,13 | 0,074 | 0,092 | 0,05 | 0,21 | 0,063 | 0,27 |
| Fosfato | 3,34 | 0,14 | 2,98 | 3,08 | 4,55 | 2,29 | 20,8 | 6,09 |
| Mercúrio | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| Nitratos | 9,84 | 0,47 | 5,0065 | 0,92 | 0,85 | 0,89 | 1,29 | 0,65 |
| Nitritos | 0,042 | 0,05 | 0,042 | 0,042 | 0,04 | 0,042 | 0,042 | 0,042 |
| pH | 6,46 | 6,44 | 6,69 | 6,15 | 6,13 | 6,11 | 6,39 | 6,45 |
| Sódio | 6,64 | 8,7 | 6,65 | 15,6 | 7,35 | 4,85 | 3,51 | 6,54 |
| Sólidos Dissolvidos | 177,5 | 172,33 | 133 | 141,25 | 155,5 | 165,5 | 206,25 | 198,5 |
| Sulfatos | 1,5 | 2 | 1,5 | 1,62 | 1,5 | 1,55 | 1,5 | 2,14 |
| Turbidez | 5,77 | 19,61 | 9,17 | 7,62 | 5,91 | 5 | 5,46 | 15,44 |
| Zinco | 0,007 | 0,005 | 0,005 | 0,012 | 0,005 | 0,005 | 0,032 | 0,005 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 8 - Análise química das águas subterrâneas em 2012

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alumínio | 0,13 | 0,61 | 0,21 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 3,1 |
| Cianeto | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Cloretos | 6,37 | 4,55 | 11,92 | 5,025 | 4,7 | 5,7 | 4,97 | 12,6 |
| Condutividade | 111,08 | 126,64 | 42,69 | 40,48 | 59,41 | 65,64 | 57,74 | 52,12 |
| Cromo +6 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0011 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0016 |
| Cromo Total | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,043 | 0,01 |
| Fenol | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 |
| Ferro | 0,18 | 0,22 | 0,14 | 0,1 | 0,1 | 0,13 | 0,11 | 1,14 |
| Fosfato | 0,1 | 1,23 | 0,41 | 0,1 | 0,54 | 0,29 | 0,57 | 0,5 |
| Mercúrio | 0,00035 | 0,00035 | 0,00035 | 0,00035 | 0,00035 | 0,00035 | 0,00035 | 0,00035 |
| Nitratos | 4,32 | 0,34 | 0,3 | 2,45 | 0,48 | 0,79 | 0,96 | 0,23 |
| Nitritos | 0,027 | 0,045 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,02 | 0,027 | 0,027 |
| pH | 6,72 | 6,75 | 7 | 6,5 | 6,39 | 6,59 | 6,61 | 7,2 |
| Sódio | 8,34 | 11,69 | 2,13 | 3,23 | 10,3 | 5,29 | 2,35 | 10,4 |
| Sólidos Dissolvidos | 144,75 | 149,25 | 77 | 88,25 | 149,25 | 144,25 | 106,25 | 126 |
| Sulfatos | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,24 | 2 |
| Turbidez | 1,23 | 27,68 | 5,13 | 3,068 | 2,6 | 1,59 | 3,037 | 32,63 |
| Zinco | 0,091 | 0,075 | 0,083 | 0,078 | 0,095 | 0,081 | 0,09 | 0,084 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 9 - Análise química das águas subterrâneas em 2013

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alumínio | 0,57 | 8,23 | 0,66 | 1,07 | 0,39 | 0,47 | 0,9 | 1,14 |
| Cianeto | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,02 | 0,025 | 0,02 | 0,025 | 0,025 |
| Cloretos | 3,06 | 6,1 | 2,75 | 3,23 | 3,06 | 3,23 | 4,53 | 3,96 |
| Condutividade | 147,12 | 106,23 | 22,76 | 54,75 | 75,18 | 56,29 | 46,73 | 36,18 |
| Cromo +6 | 0,0016 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| Cromo Total | 0,0085 | 0,0063 | 0,0097 | 0,0085 | 0,0085 | 0,0085 | 0,0085 | 0,0085 |
| Fenol | 0,027 | 0,035 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 |
| Ferro | 0,11 | 9,79 | 0,18 | 0,59 | 0,18 | 0,13 | 0,15 | 0,15 |
| Fosfato | 3,37 | 4,08 | 1,81 | 2,1 | 1,03 | 1,41 | 3,03 | 3,15 |
| Mercúrio | 0,0013 | 0,0017 | 0,0013 | 0,0015 | 0,0013 | 0,0013 | 0,0013 | 0,0013 |
| Nitratos | 8,76 | 0,2 | 0,2 | 1,58 | 0,53 | 0,82 | 0,31 | 0,2 |
| Nitritos | 0,02 | 0,035 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,025 | 0,02 |
| pH | 6,39 | 6,17 | 6,16 | 6,2 | 6,04 | 6,01 | 6,28 | 6,35 |
| Sódio | 9,91 | 11,014 | 10,36 | 12,19 | 9,79 | 7,59 | 8,07 | 10,32 |
| Sólidos Dissolvidos | 139,25 | 436,66 | 865,5 | 120 | 86 | 105 | 155,25 | 99,5 |
| Sulfatos | 2,81 | 2,55 | 2,6 | 2,94 | 3,33 | 5,27 | 3,19 | 2,52 |
| Turbidez | 186,41 | 24,59 | 3,43 | 15,29 | 3,28 | 18,78 | 9,51 | 40,2 |
| Zinco | 0,14 | 0,26 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,13 | 0,2 | 0,12 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 10 - Análise química das águas subterrâneas em 2014

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alumínio | 0,27 | 0,25 | 0,15 | 1,45 | 0,18 | 0,31 | 0,2 | 1,86 |
| Cianeto | 0,02 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 | 0,022 |
| Cloretos | 4,07 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Condutividade | 118,72 | 114,9 | 22,07 | 66,2 | 85,75 | 58,32 | 40,9 | 50,42 |
| Cromo +6 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0016 | 0,0005 |
| Cromo Total | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| Fenol | 0,021 | 0,021 | 0,02 | 0,021 | 0,021 | 0,021 | 0,021 | 0,021 |
| Ferro | 0,28 | 0,49 | 0,17 | 1,82 | 0,19 | 0,31 | 0,15 | 0,74 |
| Fosfato | 0,26 | 2,15 | 0,29 | 0,42 | 0,6 | 0,83 | 1,8 | 0,26 |
| Mercúrio | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 | 0,00016 |
| Nitratos | 7,06 | 0,67 | 0,2 | 1,5 | 8,8 | 1,38 | 0,75 | 0,35 |
| Nitritos | 0,02 | 0,061 | 0,02 | 0,022 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| pH | 6,45 | 6,65 | 6,47 | 6,39 | 6,38 | 6,12 | 6,63 | 6,62 |
| Sódio | 5,057 | 5,56 | 1,61 | 5,65 | 7,56 | 2,97 | 1,89 | 6,55 |
| Sólidos Dissolvidos | 146 | 100 | 56 | 80,25 | 107 | 91,25 | 66,75 | 134,5 |

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sulfatos | 1,25 | 1,33 | 1,28 | 1,78 | 1,57 | 1,26 | 1,61 | 1,85 |
| Turbidez | 3,3 | 10,66 | 6,03 | 18,12 | 5,84 | 13,09 | 21,27 | 27,11 |
| Zinco | 0,037 | 0,051 | 0,042 | 0,045 | 0,042 | 0,22 | 0,056 | 0,065 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 11 - Análise química das águas subterrâneas em 2015

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| Alumínio | 0,29 | 0,43 | 0,24 | 0,31 | 0,38 | 0,73 | 0,62 | 5,61 |
| Cianeto | 0,017 | 0,016 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,01 | 0,017 | 0,01 |
| Cloretos | 3,33 | 2,66 | 3,26 | 2,66 | 2,93 | 2,53 | 3,26 | 2,8 |
| Condutividade | 122,37 | 138,43 | 24,1 | 48,87 | 75,27 | 38,075 | 36,27 | 65,32 |
| Cromo +6 | 0,00037 | 0,00033 | 0,00037 | 0,00037 | 0,0003 | 0,00025 | 0,00037 | 0,016 |
| Cromo Total | 0,0067 | 0,0046 | 0,0067 | 0,0067 | 0,0067 | 0,0067 | 0,0067 | 0,0067 |
| Fenol | 0,025 | 0,065 | 0,038 | 0,014 | 0,032 | 0,16 | 0,2 | 2,81 |
| Ferro | 0,079 | 0,21 | 0,085 | 0,33 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 1,29 |
| Fosfato | 0,59 | 2,54 | 0,66 | 0,35 | 0,73 | 0,74 | 0,78 | 0,9 |
| Merúrio | 0,00039 | 0,42 | 0,31 | 0,00036 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| Nitratos | 11,81 | 0,45 | 0,45 | 3,72 | 1,36 | 2,74 | 1,11 | 0,5 |
| Nitritos | 0,013 | 0,095 | 0,011 | 0,097 | 0,02 | 0,041 | 0,03 | 0,08 |
| pH | 6,22 | 6,38 | 6,47 | 6,43 | 5,91 | 6,3 | 6,82 | 6,65 |
| Sódio | 7,15 | 27,53 | 2,25 | 4,51 | 11,41 | 3,37 | 2,17 | 9,76 |
| Sólidos Dissolvidos | 115,25 | 89,33 | 112,5 | 76 | 109,75 | 71,75 | 92,5 | 147 |
| Sulfatos | 9,02 | 13,4 | 9,16 | 9,55 | 8,34 | 11,69 | 14,84 | 27,17 |
| Turbidez | 5,62 | 12,72 | 3,35 | 45,73 | 22,27 | 11,85 | 17,65 | 51,12 |
| Zinco | 0,046 | 0,11 | 0,03 | 0,046 | 0,05 | 0,057 | 0,032 | 0,11 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 12 - Análise química das águas subterrâneas em 2016

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|
| Alumínio | 0,15 | 0,1 | 0,63 | 1,62 | 0,13 | 0,63 | 0,88 | 0,39 |
| Cianeto | 0,0033 | 0 | 0 | 0,0026 | 0,0026 | 0 | 0 | 0 |
| Cloretos | 3,5 | 3 | 8,73 | 3,12 | 3,53 | 2 | 2,12 | 0,34 |
| Condutividade | 70,51 | 0,01 | 28,13 | 23,37 | 45,34 | 20,5 | 27,47 | 16,9 |
| Cromo +6 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,001 |
| Cromo Total | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,0002 |
| Fenol | 0,026 | 0,023 | 0,037 | 0,009 | 0,027 | 0,026 | 0,042 | 0,003 |
| Ferro | 0,099 | 0,91 | 0,72 | 1,21 | 0,64 | 0,37 | 0,78 | 0,29 |
| Fosfato | 0,031 | 0,071 | 0,032 | 0,032 | 0,1 | 0,02 | 0,047 | 0,057 |
| Merúrio | 0,00013 | 0,0001 | 0,00013 | 0,00013 | 0,0001 | 0,00013 | 0,0001 | 0 |

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Nitratos | 3,14 | 0 | 0,081 | 0,79 | 0,14 | 0,57 | 0,26 | 0,042 |
| Nitritos | 0,027 | 0,04 | 0,0026 | 0,016 | 0,02 | 0,018 | 0,021 | 0,003 |
| pH | 6,08 | 5,76 | 5,56 | 6,13 | 5,5 | 5,033 | 5,97 | 0,64 |
| Sódio | 6,72 | 14,1 | 2,27 | 5,32 | 10,41 | 3,36 | 3,04 | 2,43 |
| Sólidos Dissolvidos | 122,33 | 154 | 86,33 | 98 | 142,66 | 87 | 80 | 16,84 |
| Sulfatos | 2,24 | 0 | 2,2 | 1,4 | 0,79 | 1,53 | 3,04 | 1,14 |
| Turbidez | 1,99 | 1,66 | 9,42 | 14,97 | 1,49 | 8,13 | 6,14 | 4,08 |
| Zinco | 0,059 | 0,065 | 0,052 | 0,066 | 0,11 | 0,052 | 0,055 | 0,018 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 13 - Análise química das águas subterrâneas em 2017

| | PM_01 | PM_02 | PM_03 | PM_04 | PM_05 | PM_06 | PM_07 | PM_08 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alumínio | 0,054 | 0,06 | 0,49 | 0,18 | 0,05 | 0,35 | 0,1 | 5,54 |
| Cianeto | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,001 | 0,0015 | 0,0015 | 19,68 |
| Cloretos | 3,15 | 0,9 | 4,23 | 2,4 | 3,02 | 2,77 | 2,41 | 5,08 |
| Condutividade | 101,32 | 16 | 38,1 | 47,15 | 74,55 | 37,05 | 45,47 | 122,91 |
| Cromo +6 | 0 | 0 | 0,0025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0084 |
| Cromo Total | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 2,53 |
| Fenol | 0,005 | 0,005 | 0,04 | 0,006 | 0,035 | 0,008 | 0,046 | 0,007 |
| Ferro | 0,06 | 0,079 | 0,83 | 0,65 | 0,14 | 0,23 | 0,35 | 0,61 |
| Fosfato | 0,04 | 0,021 | 0,064 | 0,18 | 0,07 | 0,041 | 0,041 | 0,073 |
| Mercúrio | 0,00007 | 0,00005 | 7,5E-05 | 7,5E-05 | 0,00007 | 7,5E-05 | 7,5E-05 | 7,5E-05 |
| Nitratos | 3,24 | 0,014 | 0,13 | 0,25 | 0,12 | 0,43 | 0,098 | 0,31 |
| Nitritos | 0,008 | 0,0012 | 0,007 | 0,037 | 0,0047 | 0,0075 | 0,005 | 0,008 |
| pH | 5,2 | 2,34 | 5,24 | 4,56 | 5,29 | 4,95 | 5,97 | 6,28 |
| Sódio | 5,26 | 0,96 | 2,86 | 4,27 | 8,64 | 2,51 | 2,3 | 18,6 |
| Sólidos Dissolvidos | 79,75 | 18,75 | 44,75 | 56 | 46,75 | 52,75 | 46,75 | 78,75 |
| Sulfatos | 2,007 | 2,19 | 6,41 | 14,54 | 5,79 | 4,92 | 4,95 | 8,24 |
| Turbidez | 0,92 | 0,79 | 6,01 | 8,64 | 2,06 | 6,98 | 2,17 | 10,13 |
| Zinco | 0,038 | 0,011 | 0,02 | 0,14 | 0,033 | 0,068 | 0,024 | 0,033 |

Fonte: Compilado pela autora.

3.2 PROJETO DO ATERRO

O projeto do aterro foi disponibilizado pela empresa em *.pdf (Formato Portátil de Documento), que estava com o grid de referência de posição já em UTM, no

Datum SIRGAS 2000. O documento *.pdf foi exportado para uma imagem *.jpg, e a imagem importada no *ArcMap*TM. Foi realizado o processo de georreferenciamento da imagem, de acordo com o grid do projeto. Após esse procedimento, foi criado um *shapefile* (*.shp) de polígono para o contorno da área de estudo, o aterro, utilizando o projeto como referência. As coordenadas geográficas dos poços de monitoramento de água subterrânea também foram obtidas através do projeto disponibilizado pela empresa.

Para a representação dos poços de monitoramento foi realizado o procedimento de importação de pontos de uma tabela de atributos, gerada previamente através do programa *Microsoft Excel*TM. Primeiramente, a planilha foi elaborada com os dados de interesse para os pontos, incluindo a localização, descrita nas coordenadas X e Y já na projeção UTM, datum SIRGAS 2000, nome dos poços, nível freático e condutividade. Importante ressaltar que para a importação no programa *ArcMap*TM é preciso salvar o documento com extensão do *Excel*TM 97-2003 (*.xls).

Com a tabela preparada, o procedimento adotado para importar os pontos dos poços de monitoramento, no *ArcMap*TM, foi: em “*Add Data*” selecionar a planilha interna que contém os dados. A tabela aparece na “*Table of Contents*”, e clicando com o botão direito sobre a planilha, a opção “*Display XY Data*” é selecionada para escolher os campos que contém as coordenadas, e também para selecionar o Sistema de Coordenadas que os pontos serão plotados. Um arquivo “*Events*”, que é um arquivo temporário, foi criado. Para salvar o arquivo como *shapefile*, foi utilizado o comando “*Events – Data – Export Data*”. Foi escolhido o sistema de coordenadas do *Dataframe*, e exportado como *shapefile* (*.shp).

3.2.1 Curvas de Nível

A base cartográfica utilizada para elaborar os mapas de localização regional e geologia da área de estudo (Figuras 1 e 2) foi elaborada por Hasenack et.al. (2010), em projeção UTM com o datum SIRGAS 2000, porém, a escala de trabalho do autor é 1:50.000. Para a área de estudo, que tem uma área relativamente pequena (305.051,42 m²), com escala de trabalho 1:5.000, foi necessária uma outra abordagem para a geração de curvas de nível do local de estudo.

A metodologia utilizada foi um processo integrado entre a ferramenta *ArcMap*TM e o *Google Earth Pro*TM, tendo como objetivo utilizar o *Google Earth Pro*TM (foi utilizado esta versão do *Google Earth* pois esta permite a leitura de arquivos shapefile) como agente para extração de curvas de nível e produzir pontos cotados, para geração de um MDE (Modelo Digital de Elevação).

O fluxo de trabalho foi o seguinte:

- i. O limite do aterro (*.shp) foi importado no *Google Earth Pro*TM. Para definir os pontos cotados foi utilizada a ferramenta “Adicionar caminho”, onde foram distribuídas curvas ao longo do limite do aterro (*waypoints*), e ultrapassando este, para ter uma boa sequência de pontos. O caminho criado foi salvo como extensão *.kml;
- ii. Executando o programa *TCX Converter*TM, que é um software gratuito, foi feita a importação dos *waypoints* em *.kml. Com a ferramenta “*Track Modify - Update Altitude*” o programa plotou as altitudes dos pontos de referência gerados, utilizado para importação dos valores de altitude, o próprio *Google Earth Pro*TM, e feito isso o arquivo foi salvo em *.csv;
- iii. Importando o arquivo *.csv no *Microsoft Excel*TM, houve a preparação da tabela de pontos cotados apenas com as informações relevantes, como a identificação dos pontos, as coordenadas X e Y, já no Datum SIRGAS 2000, e a altitude Z. Os dados da tabela foram formatados como dados numéricos e o arquivo foi salvo em *.xls (versão 97-2003);
- iv. Para criação dos pontos cotados no *ArcMap*TM foi utilizado o mesmo processamento de tabelas descrito na geração dos pontos de poços de monitoramento. No programa foram previamente definidas as variáveis de ambiente, antes da interpolação dos pontos;
- v. No *ArcToolbox*TM em “*3D Analyst Tools – Raster Interpolation – Topo to Raster*” foi utilizada a altitude do caminho como pontos de elevação, para a geração do MDE (*.tif). O tamanho da célula foi definido como 0,00002777778;
- vi. Para a extração das curvas de nível do MDE, o caminho utilizado foi “*3D Analyst Tools – Raster Surface – Contour with Barriers*”. O intervalo entre as curvas é de 10 metros. O resultado pode ser verificado na Figura 3.

Algumas observações sobre o processo precisam ser feitas. A análise Geoestatística em conjunto com o *ArcGis*TM pode ser utilizada para criar uma superfície contínua ou um mapa através de pontos com informações diversas, sendo útil para visualizar, analisar e compreender fenômenos espaciais. Esse *layer* de pontos pode ter dados do tipo nível do lençol freático, elevação, dados numéricos de amostragem, entre outros, passíveis de serem analisados. A ferramenta de interpolação “*Topo to Raster*” foi a utilizada, pois é ela que foi elaborada para interpolação de elevações, permitindo que o modelo de elevação do terreno seja hidrologicamente correto e tenha as representações de falhas existentes no terreno (Childs, 2004).

De acordo com Frye (2007), em um mapa com escala até 1:5.000, que é o caso deste estudo, é requerido que o tamanho do *pixel* seja de até 3 metros. Para a escala do trabalho foi utilizado o tamanho de célula da imagem LANDSAT-8 fusionada (0,0001388889), que indica um *pixel* de aproximadamente 15 metros, como referência de cálculo. O valor utilizado, pertinente a escala de trabalho, foi 0,00002777778.

3.2.2 Nível do Lençol Freático

Para a elaboração dos mapas de nível freático foi utilizada a interpolação *Spline*, no *ArcMap*TM. Esse tipo de interpolação estima os valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura total da superfície, com um resultado mais suave e liso, passando exatamente pelos pontos de entrada. Como a escala do mapa é relativamente pequena, esse tipo de interpolação é ideal, pois é o melhor método para representar figuras que tem variações suaves (Childs, 2004).

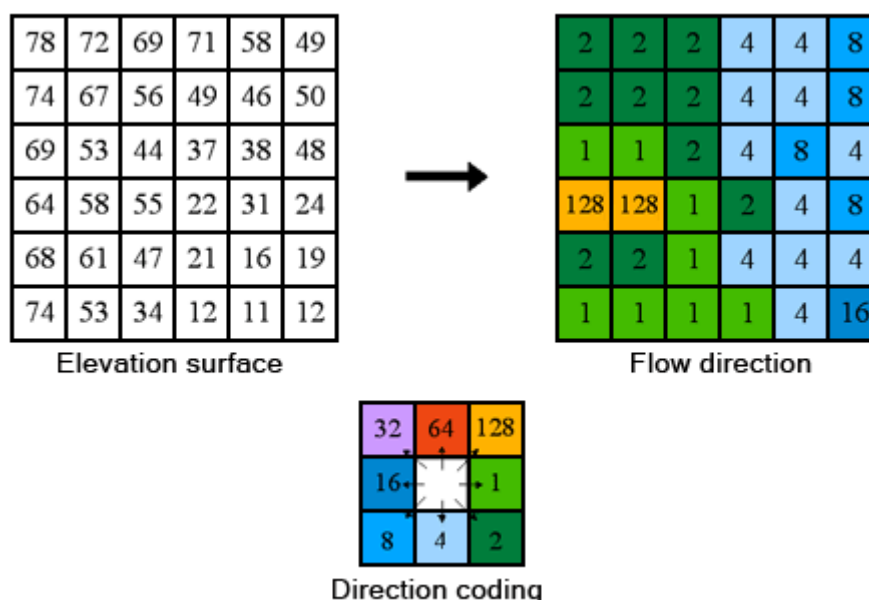
Os pontos utilizados foram os poços de monitoramento, com os dados de nível freático previamente importados. Os mesmos processos foram utilizados para a construção dos mapas dos anos de 2012 a 2016 e os quatro trimestres de 2017. O caminho utilizado foi “*3D Analyst Tools – Raster Interpolation – Spline*”. Com os MDE do nível freático de todos os anos, foi possível gerar também as curvas do nível freático com o caminho “*3D Analyst Tools – Raster Surface – Contour with Barriers*”, utilizando o contorno do aterro como barreira. Todos os mapas foram realizados em escala 1:5.000, e o resultado pode ser analisado no Anexo B.

3.2.3 Sentido do Fluxo Subterrâneo

De acordo com Buarque *et al.* (2009, apud Araujo, 2011, p. 115) são diversos os métodos para a obtenção do sentido de fluxo. A maioria dos métodos utiliza para cada *pixel*, um código de sentido de fluxo. O método utilizado neste trabalho é o método de sentido único de fluxo, onde o critério abordado é em função da declividade, indicando para qual dos 8 pixels vizinhos o escoamento seguirá.

Essa abordagem é comumente referida como o D8 (*deterministic eight-neighbors*) (Jenson & Domingue, 1988, apud Araujo, 2011, p. 115), e um modelo de codificação do fluxo pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Sentido de fluxo pela abordagem D8



Fonte: ArcGIS Desktop.

No *ArcMap*TM, a ferramenta para definir o sentido de fluxo (*Flow Direction*) utiliza o MDE do terreno. Ela foi adaptada para o fluxo superficial, onde o curso d'água é do ponto mais alto para o mais baixo (em termos de altitude). O MDE do lençol freático (item 3.2.2) foi gerado com as leituras disponibilizadas pela empresa. A leitura do lençol é feita conforme ele dista da superfície. Então a leitura de menor valor, indica que ele está mais perto do solo. Para que fosse possível o uso da ferramenta de sentido de fluxo, no curso d'água subterrâneo, fez-se necessária uma adequação nos valores. Para que o fluxo fluísse do ponto mais próximo ao solo, para o fundo, seguiu-se o seguinte método: a medida máxima de nível freático (onde

a leitura era mais “funda”), de cada ano, foi usada como parâmetro (Tabela 14). Esta foi diminuída de cada nível, obtendo a maior altitude para onde o nível estava mais próximo da superfície. Após importar os novos pontos (Tabela 15), criou-se o MDE do nível freático, seguindo as diretrizes anteriormente apresentadas (item 3.2.2). Através dos novos MDE, foram gerados os mapas de sentido de fluxo, com a ferramenta disponível no caminho “*ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Hydrology – Flow Direction*”.

Tabela 14 – Tabela dos valores reais, em metros, do nível do lençol freático

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017_1 | 2017_2 | 2017_3 | 2017_4 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| PM_01 | 5,35 | 6,04 | 5,77 | 6,09 | 6,05 | 6,04 | 5,6 | 6,46 | 5,86 |
| PM_02 | 27,48 | 25,17 | 24,7 | 28,31 | 29,68 | 6,51 | 25,14 | 28,35 | 27,33 |
| PM_03 | 21,69 | 20,81 | 17 | 12,26 | 17,77 | 8,45 | 6,17 | 14,79 | 11,85 |
| PM_04 | 23,38 | 24,49 | 25,16 | 25,53 | 25,55 | 24,83 | 25,25 | 25,76 | 25,21 |
| PM_05 | 13,06 | 13,3 | 10,08 | 11,65 | 14,24 | 12,26 | 12,51 | 12,34 | 12,41 |
| PM_06 | 6,75 | 6,69 | 5,62 | 6,26 | 10,27 | 12,23 | 11,37 | 6,13 | 5,96 |
| PM_07 | 23,97 | 23,52 | 23,08 | 22,41 | 19,44 | 20,96 | 20,97 | 22,88 | 22,53 |
| PM_08 | 29,41 | 30,37 | 28,16 | 32,15 | 31,7 | 31,82 | 32 | 32,81 | 34,2 |

Fonte: Compilado pela autora.

Tabela 15 – Tabela de novos valores, em metros, de lençol freático para a ferramenta “*Flow Direction*”

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017_1 | 2017_2 | 2017_3 | 2017_4 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| PM_01 | 24,06 | 24,33 | 22,39 | 26,06 | 25,65 | 25,78 | 26,4 | 26,35 | 28,34 |
| PM_02 | 1,93 | 5,2 | 3,46 | 3,84 | 2,02 | 25,31 | 6,86 | 4,46 | 6,87 |
| PM_03 | 7,72 | 9,56 | 11,16 | 19,89 | 13,93 | 23,37 | 25,83 | 18,02 | 22,35 |
| PM_04 | 6,03 | 5,88 | 3 | 6,62 | 6,15 | 6,99 | 6,75 | 7,05 | 8,99 |
| PM_05 | 16,35 | 17,07 | 18,08 | 20,5 | 17,46 | 19,56 | 19,49 | 20,47 | 21,79 |
| PM_06 | 22,66 | 23,68 | 22,54 | 25,89 | 21,43 | 19,59 | 20,63 | 26,68 | 28,24 |
| PM_07 | 5,44 | 6,85 | 5,08 | 9,74 | 12,26 | 10,86 | 11,03 | 9,93 | 11,67 |
| PM_08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Compilado pela autora.

Os mapas de sentido de fluxo, todos na escala 1:5.000 (Anexo C), indicam na legenda as direções de fluxo por códigos: 1 para Leste (L); 2 para Sudeste (SE); 4 para Sul (S), 8 para Sudoeste (SO); 16 para Oeste (O); 32 para Noroeste (NO); 64 para Norte (N); e 128 para Nordeste (NE).

3.2.4 Indicadores de Sentido do Fluxo

Para gerar os indicadores de sentido de fluxo, utilizando flechas, foram utilizadas ferramentas do *ArcToolbox*TM na pasta “*3D Analyst Tools*”, com os mapas de sentido de fluxo previamente criados (item 3.2.3).

Sob cada mapa, foi aplicada a seguinte metodologia no *ArcMap*TM:

- i. A ferramenta “*Resample*” (*Data Management Tools – Raster – Raster Processing – Resample*) foi utilizada para alterar a resolução espacial dos dados, definindo um novo tamanho de *pixel* com a distância em que os indicadores serão mostrados. Neste caso, optou-se que os indicadores sejam mostrados de 30 em 30 metros, assim definindo o tamanho do *pixel*. Como técnica de “*Resample*” foi escolhida a “*Majority*”, para um resultado mais suave, pois determina o novo valor do *pixel* baseada nos seus 4 vizinhos próximos;
- ii. Sobre os mapas gerados com a ferramenta “*Resample*”, ainda no *ArcMap*TM, foi realizado o seguinte processo: “*ArcToolbox – Conversion Tools – From Raster – Raster to Point*”. O processo foi útil para criar um ponto no meio de cada *pixel*, este que ainda carrega as informações de classes de sentido de fluxo;
- iii. Partindo da premissa de que o sentido de fluxo segue a abordagem D8, seguindo as indicações da Figura 5, pode-se observar que o *pixel* de classe 1 aponta que o fluxo segue para direita (Leste), e assim por diante. Com isto, sabemos como aplicar o sentido do ícone indicador. No caminho “*Properties – Symbolology – Quantities*” foi selecionado o valor “*grid code*”, em 8 classes, que trazem as informações categóricas do sentido de fluxo. Para todas as classes foi designada a simbologia “*cutting plane arrow*”. Para a rotação das flechas indicadoras foram aplicados os ângulos conforme o Quadro 5. O resultado pode ser visto no Anexo B e Anexo C.

Quadro 5 – Guia para determinação do ângulo do indicador pela sentido de fluxo

| Classe | Sentido do Fluxo | Ângulo (em graus) |
|--------|------------------|-------------------|
| 1 (L) | Leste | 90 |
| 2 (SE) | Sudeste | 45 |

| | | |
|----------|----------|-----|
| 4 (S) | Sul | 0 |
| 8 (SO) | Sudoeste | 315 |
| 16 (O) | Oeste | 270 |
| 32 (NO) | Noroeste | 225 |
| 64 (N) | Norte | 180 |
| 128 (NE) | Nordeste | 135 |

Fonte: Compilado pela autora.

3.2.5 Mapas de Condutividade

Para gerar os mapas de condutividade, foram utilizados os parâmetros já importados com os pontos dos poços de monitoramento (item 3.2). Para a interpolação dos dados de condutividade foi escolhido o método IDW (*Inverse Distance Weighted*). De acordo com Childs (2004), esse interpolador utiliza o um modelo baseado na dependência espacial, supondo que quanto maior a proximidade de um ponto ao outro, maior a correlação entre seus valores. Deste modo, a função consiste em multiplicar os valores das amostras pelo inverso das suas respectivas distâncias. Este modelo foi o que melhor representou a variação dos dados.

A interpolação IDW foi realizada no *ArcMap*TM e está disponível no caminho “*3D Analyst Tools – Raster Interpolation – IDW*”. O resultado pode ser analisado no Anexo D.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DIAGNÓSTICO DAS ANÁLISES QUÍMICAS

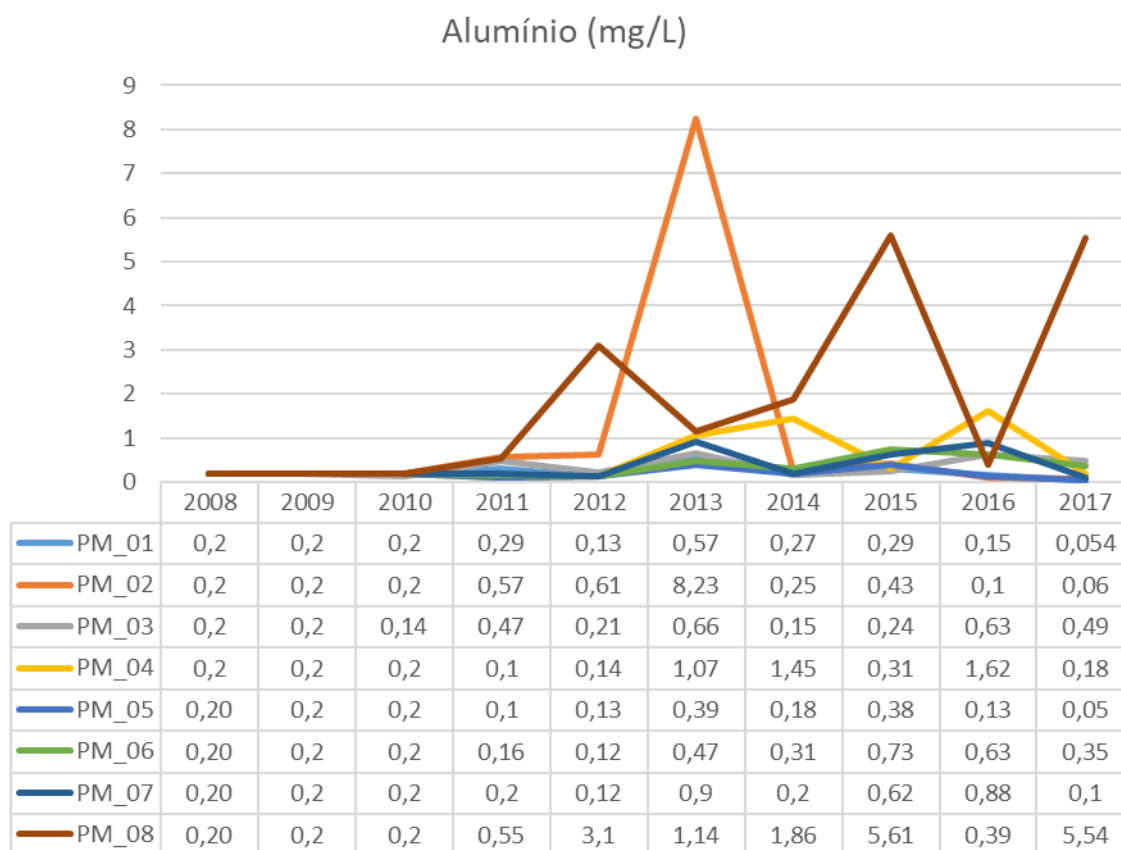
Os elementos apresentados a seguir, nas análises quantitativas, foram os de maior relevância para o estudo e também os que se encontravam em todas as análises disponibilizadas pela empresa.

4.1.1 Alumínio

De acordo com os parâmetros de potabilidade, apresentados na Tabela 2, o teor de alumínio (Al) presente nas amostras de água subterrânea da área de estudo (Gráfico 1) está acima do esperado para a Portaria MS nº 518/2004 (0,20) e para a CETESB (0,20), mas em maioria abaixo do limite da CONAMA nº 460/2013 (3,50). Segundo Rosolen (1996), o alumínio (Al) é um dos elementos mais estáveis presentes no solo, mas a estabilidade pode ser afetada pelo pH. Quanto mais ácido o solo, mais móvel o alumínio, e como característica regional, o solo ácido é um aspecto que pode influenciar nesta medida.

Há também o fator da composição argilosa do solo, inclusive, a área do aterro Classe II abrigava uma central de extração de argila para fabricação de tijolos (olaria). Conforme Borges (2009, *apud* Yamaguishi, 2013, p. 54) a argila é composta por argilominerais (silicato de alumínio, ferro e outros alcalinos terrosos), que em soluções aquosas, favorece a liberação do alumínio.

Gráfico 1 – Análise quantitativa do Alumínio (Al)

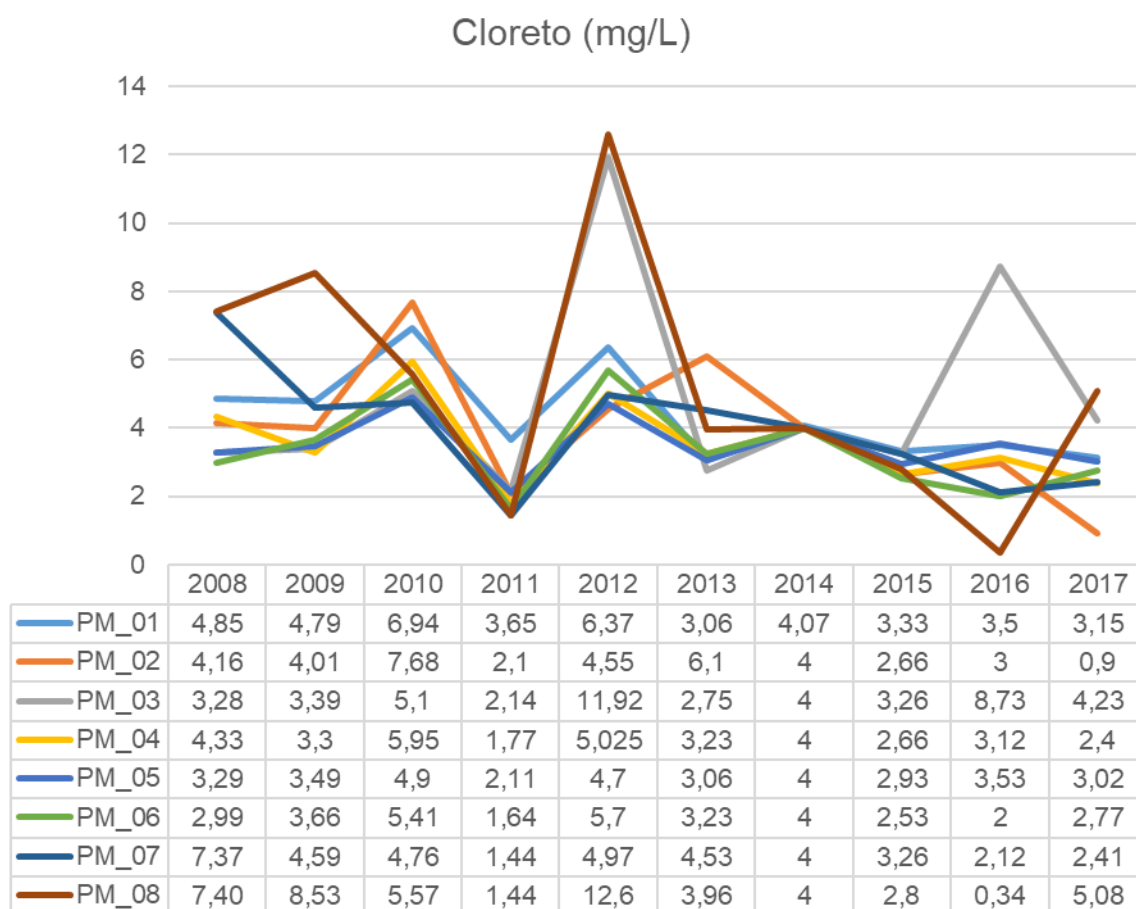


Fonte: Compilado pela autora.

4.1.2 Cloreto

Manassés (2009) descreve os cloretos como sendo abundantes na água do mar, geralmente associado ao sódio, que é muito solúvel e estável em solução, não sofrendo oxidação e nem redução em águas naturais. A água da chuva não é influenciadora neste tipo de amostragem, e as medidas só são extrapoladas se o aquífero ou lençol tenha sofrido intrusão de água marinha. Conforme as características apresentadas no Quadro 4, conforme Celligoi (1999), a presença deste elemento, em abundância, também pode indicar dissolução de depósitos salinos e descarga de efluentes de indústrias químicas, mas, geralmente, ficando abaixo de 10 mg/L. Este estudo verificou que, dos critérios escolhidos, apenas a Portaria MS nº 518/2004 (250,00) (Tabela 2) apresenta um padrão de potabilidade para este parâmetro, e em todas as amostras o nível de Cloreto está dentro da referência de potabilidade (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Análise quantitativa de Cloretos



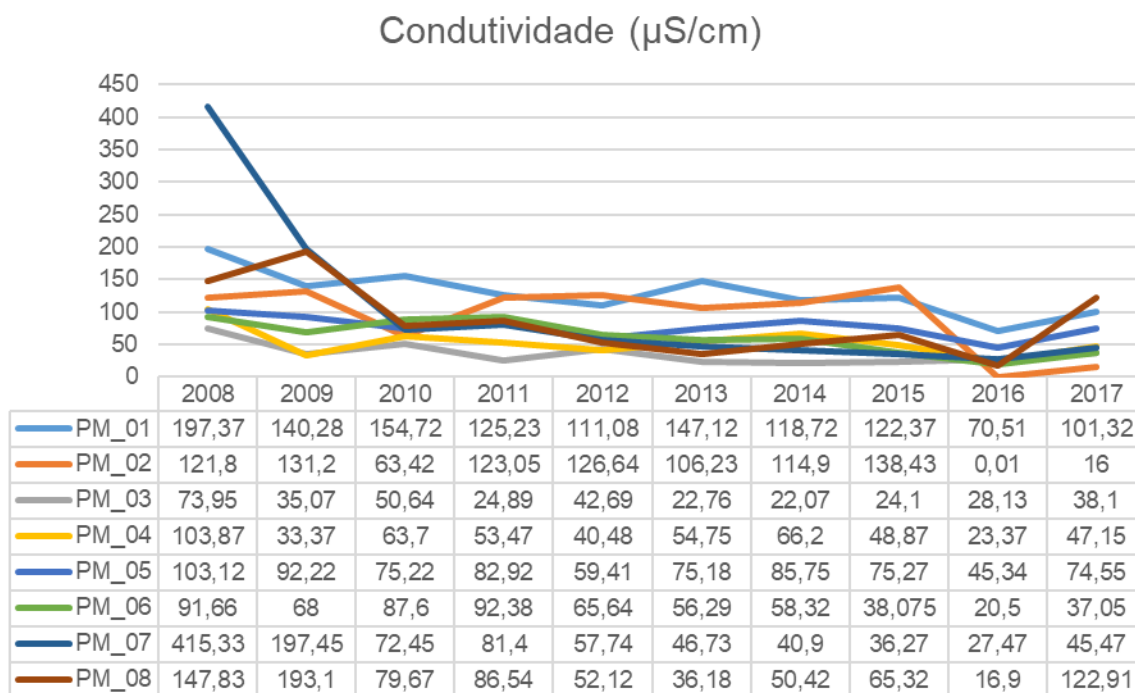
Fonte: Compilado pela autora.

4.1.3 Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Manassés (2009) descreve a condutividade elétrica como a capacidade de uma substância de conduzir a corrente elétrica. Ela é diretamente dependente de íons dissolvidos (STD), mas basta apenas uma pequena quantidade na solução para ela tornar-se condutora. De acordo com Celligoi (1999), este parâmetro está ligado a concentrações iônicas, mobilidade, valência e temperatura. Na água destilada fica de 0,5 a 2, na água potável, de 50 a 1500 e na água poluída > 10000 (Quadro 4). O maior valor encontrado para o parâmetro (Gráfico 3) em 2008, se comparado ao valor do sulfato no mesmo poço, no mesmo ano (Gráfico 7), corrobora que os maiores valores de condutividade estão associados à águas com altas concentrações de sulfato. Para uma análise espacial da Condutividade da água

subterrânea foi realizado o Mapa de Condutividade (item 3.2.5), que pode ser observado no Anexo D.

Gráfico 3 – Análise quantitativa da Condutividade

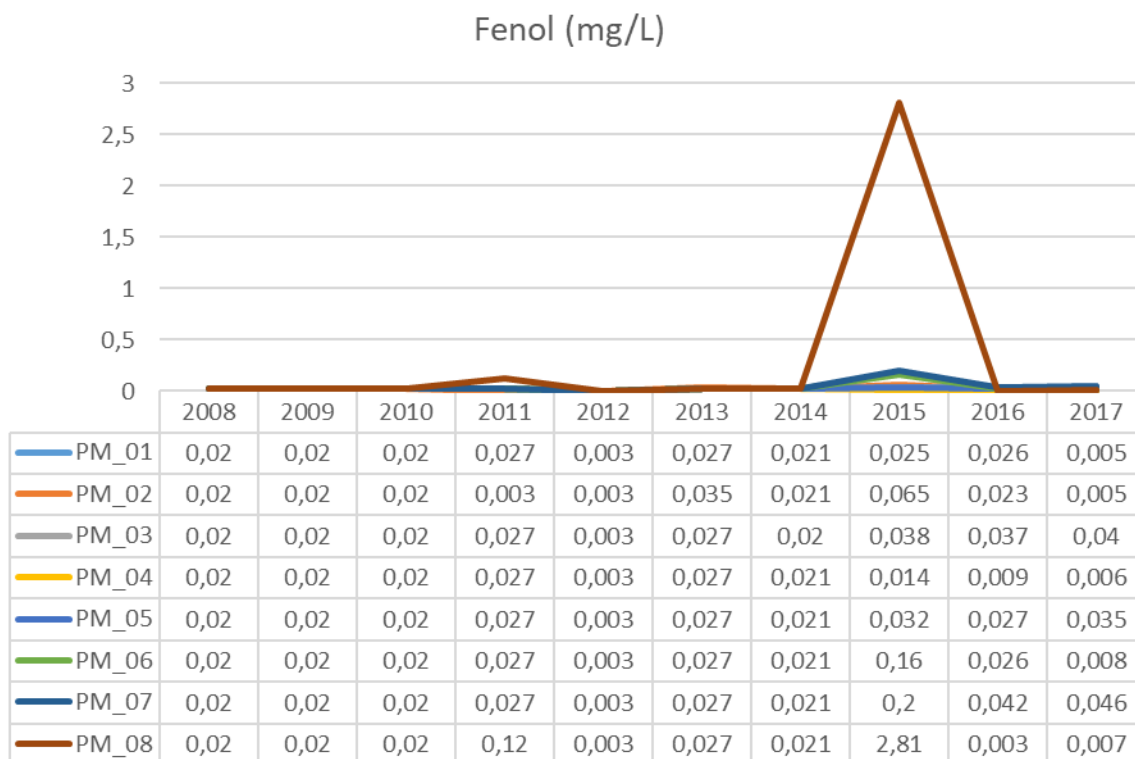


Fonte: Compilado pela autora.

4.1.4 Fenol

Schneider *et al.* (2009) descreve o Fenol e demais compostos fenólicos como uma das principais causas de contaminação de solos e águas subterrâneas em áreas industriais. Porém, as indústrias que mais causam este tipo de contaminação são as do ramo da cerâmica, fábricas de resinas e plásticos, e a área de estudo lida com um grupo de empresas do ramo metalúrgico. De acordo com o Gráfico 4, é possível concluir que o elemento se encontra dentro de todos os parâmetros estabelecidos na Tabela 2 (0,14). Vale salientar que a medida do PM_08 que se encontra fora da curva, em 2015, é justamente no ano em que houve troca de empresas que realizavam as amostras, podendo ter ocorrido um erro de leitura. No entanto, de acordo com o mapa de sentido de fluxo (Anexo C), o PM_08 é o poço que têm influência direta com o Aterro de Resíduos Industriais Perigosos. Como a análise normalizou com o decorrer do tempo, vale apenas o alerta.

Gráfico 4 – Análise quantitativa do Fenol

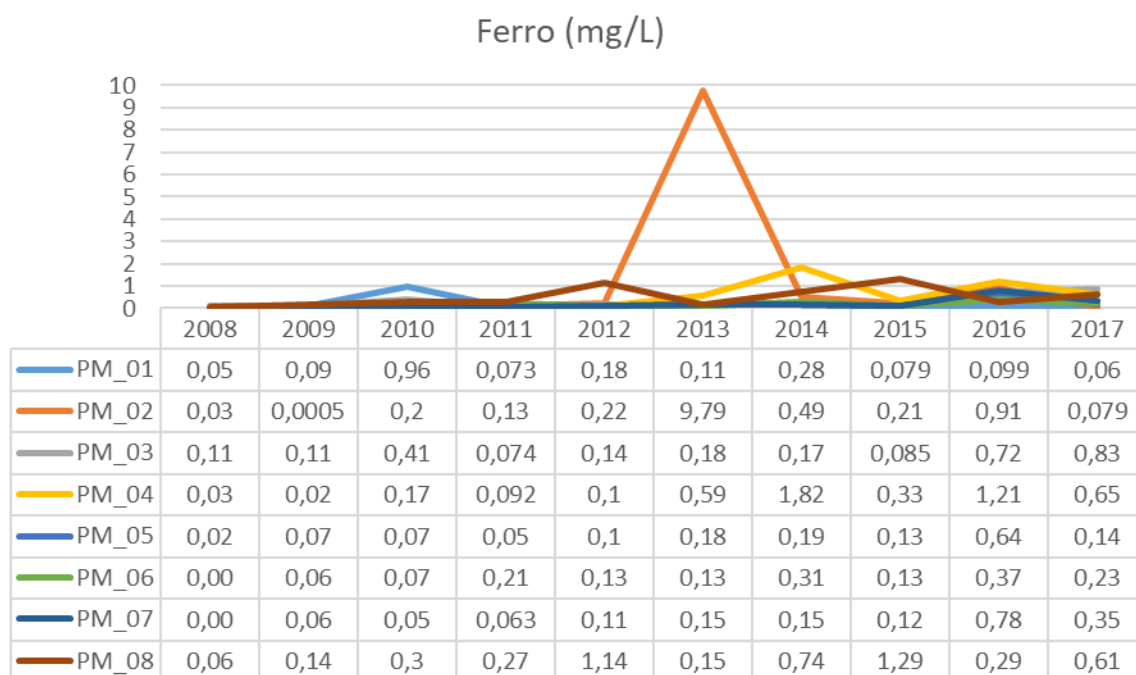


Fonte: Compilado pela autora.

4.1.5 Ferro Total

De acordo com o Quadro 4, o teor de Ferro Total está dentro dos parâmetros. Há a medida do PM_02 em 2013 (Gráfico 5) que está bem fora do padrão (0,30) (Tabela 2). Porém, este teor pode ter sido adquirido na amostra através do contato da água com partes metálicas, que contenham ferro, do poço de monitoramento.

Gráfico 5 – Análise quantitativa do Ferro Total



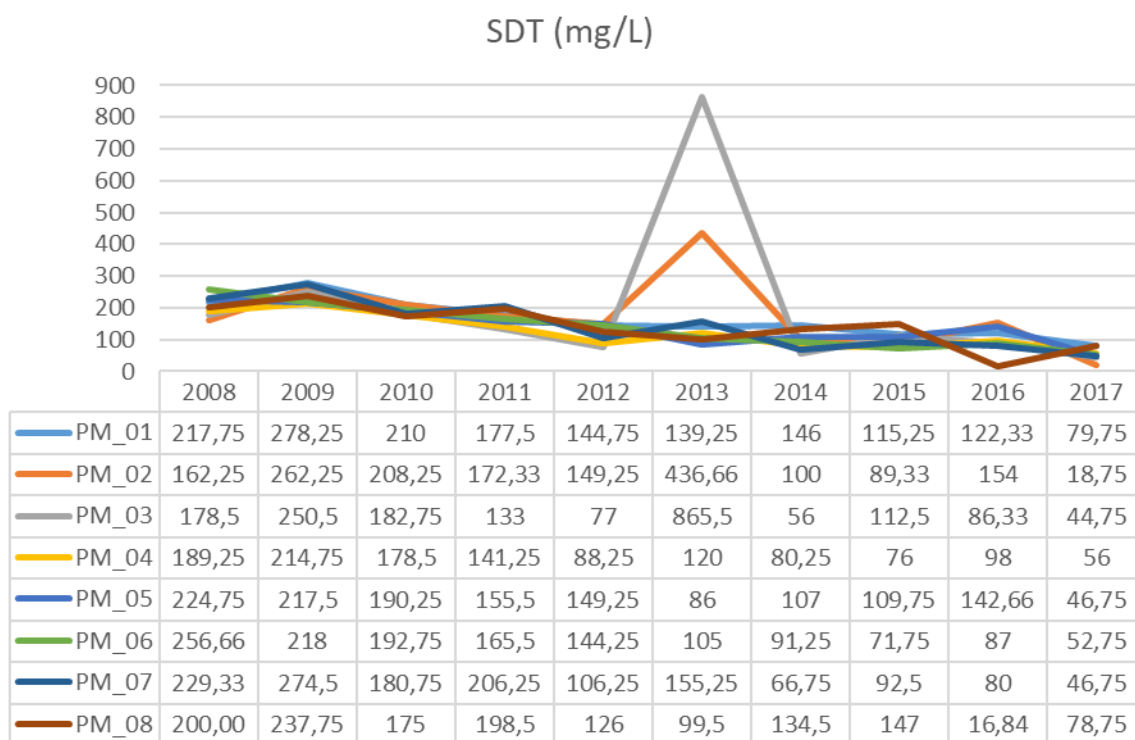
Fonte: Compilado pela autora.

4.1.6 STD (Sólidos Totais Dissolvidos)

Os Sólidos Totais Dissolvidos, de acordo com Manassés (2009), representam o teor total de todos os constituintes minerais na água. Esse teor tem uma relação direta com a composição mineralógica do substrato, e também é influenciado pelo fator tempo, tanto de percolação como de residência, no sistema. Compreende substâncias fragmentadas e não-fragmentadas, mas não engloba materiais em suspensão, colóides ou gases dissolvidos (Celligoi, 1999).

De acordo com a Tabela 2, o STD encontra-se dentro do padrão de potabilidade do Ministério da Saúde (1000,00), mesmo em suas leituras mais elevadas (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Análise quantitativa dos STD



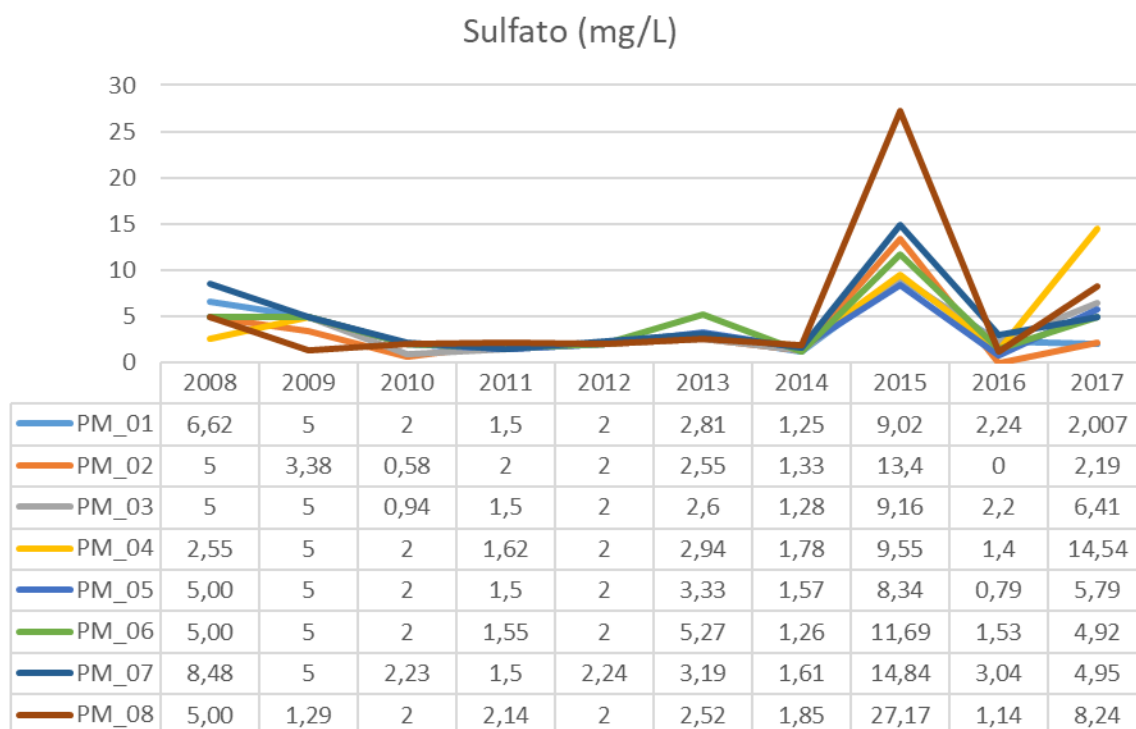
Fonte: Compilado pela autora.

4.1.7 Sulfato

De acordo com a Portaria MS nº 518/2004 (250,00) (Tabela 2), todas as medidas de sulfato estão de acordo com o padrão de potabilidade (Gráfico 7). Sulfatos são adicionados ao ciclo hidrológico com as precipitações da atmosfera, e nas águas circulantes por rochas ígneas a concentração deve ser baixa, menor que 30 mg/L (Celligoi 1999).

Dias (2013) coloca que 1,4% das águas da região caem na classificação “Águas Sulfatadas Cálcicas ou Magnesianas”, porém este campo não apresenta relação com os processos de intemperismo sobre as rochas vulcânicas. As medidas fora do padrão foram obtidas no ano de 2015, podendo haver divergência entre os processos das empresas que fizeram as análises.

Gráfico 7 – Análise quantitativa do Sulfato

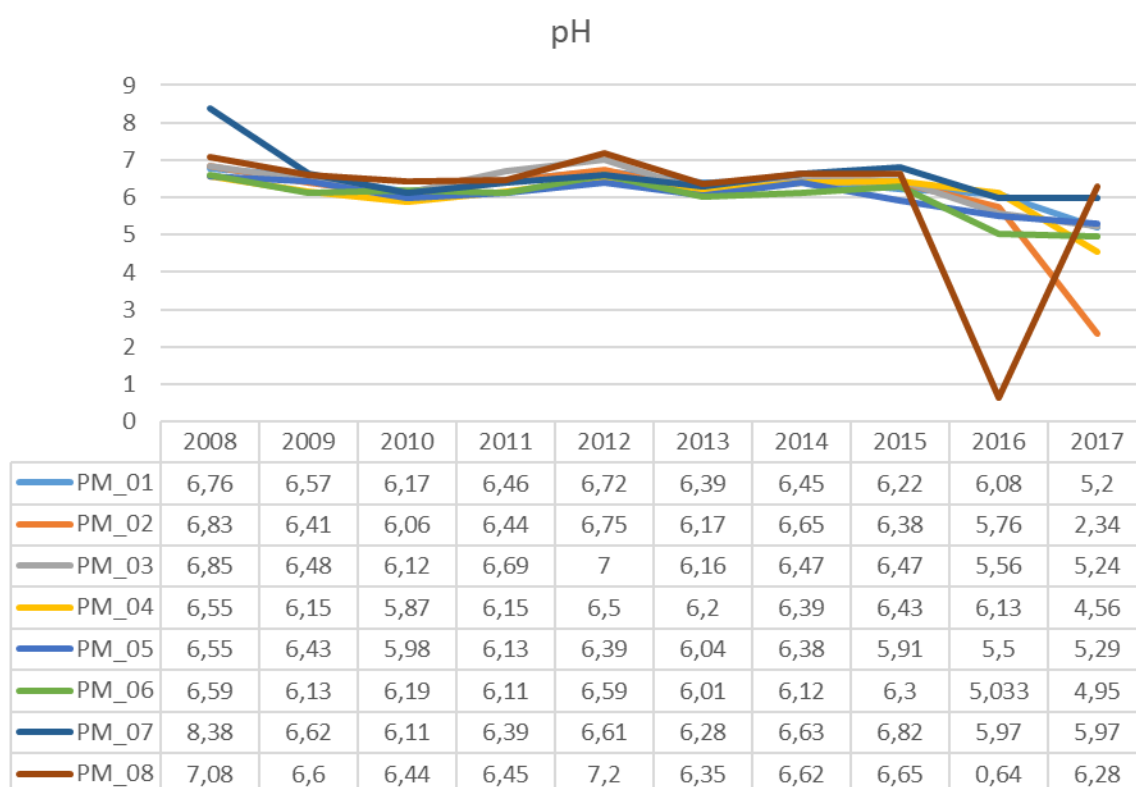


Fonte: Compilado pela autora.

4.1.8 pH

Boff *et al.* (2006, apud Dias, 2013, p. 19) discorrem que as variações de pH estão associadas às concentrações de bicarbonato (sais que contêm o ânion HCO_3^-) e carbonato (íon carbonato CO_3^{2-}) em solução. No geral, nas águas da região, e como mostra o Gráfico 8, as variações de pH são bem equilibradas, ficando em torno de 7. O poço PM_08, que é o mais influenciado pelo ARIP, apresentou um dado de acidez bastante diferenciado, em 2016, dos outros dados, porém foi normalizado.

Gráfico 8 – Análise quantitativa do pH

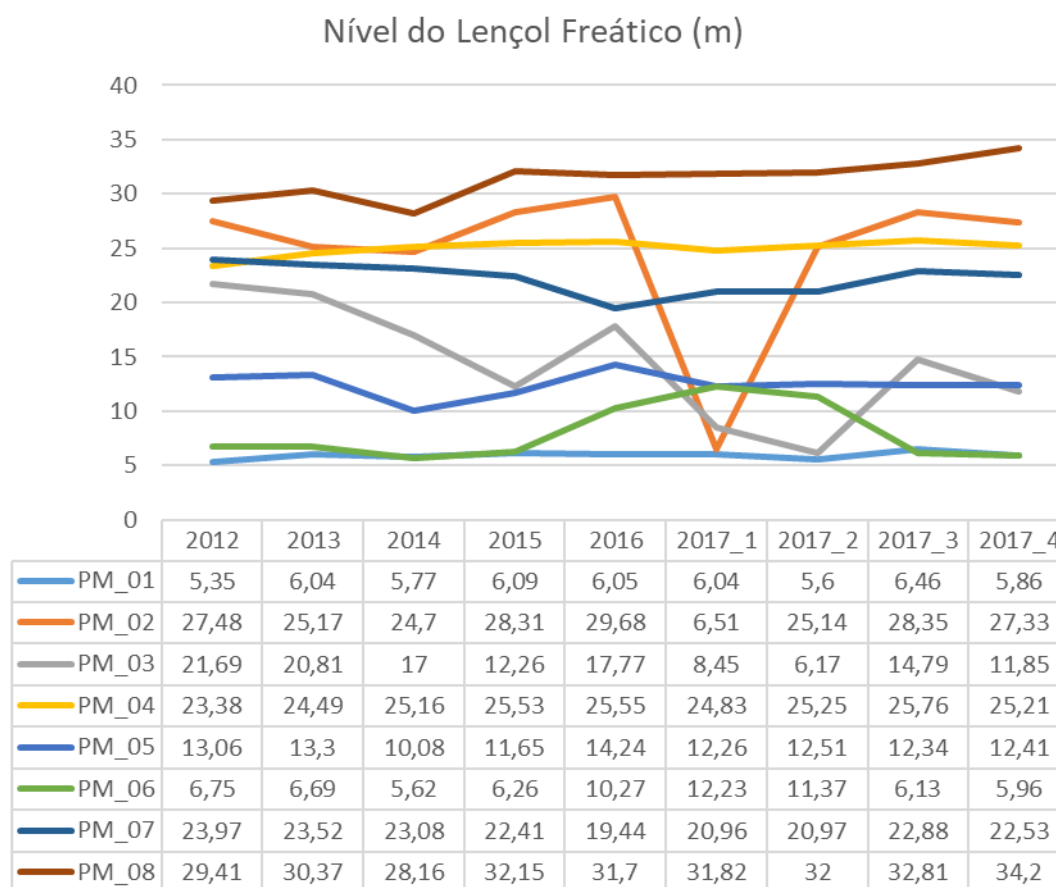


Fonte: Compilado pela autora.

4.2 MAPA DE NÍVEL FREÁTICO

Através do mapa comparativo do nível do lençol freático (Anexo B) foi possível analisar que não houve uma mudança brusca na condição do lençol. O recurso hídrico não foi prejudicado pela presença dos aterros, nem por outras atividades. Podemos ver de uma forma quantitativa, no Gráfico 9, que realmente não houve mudança brusca. A medida baixa do poço PM_02, no primeiro trimestre de 2017, se deve ao fato de que neste período o poço se encontrou seco em algumas medidas. No Anexo A encontram-se as medidas mês-a-mês do nível.

Gráfico 9 – Análise quantitativa do Nível do Lençol Freático



Fonte: Compilado pela autora.

4.3 MAPA DE SENTIDO DE FLUXO

Nos mapas de sentido de fluxo, disponível no Anexo C, é possível verificar, através de cores distintas, a sentido do preferencial da água subterrânea. Através deste pode-se analisar que o poço de montante (PM_03) está realmente bem posicionado, não havendo influência na análise por parte dos aterros. É possível notar também, que o poço PM_08 recebe influência direta do ARIP (Aterro de Resíduos Industriais Perigosos), podendo ser usado como parâmetro principal da atuação do aterro na qualidade da água subterrânea.

Já para o aterro Classe II, o poço que mais recebe influência, de acordo com o mapa de sentido de fluxo, é o PM_04.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o estudo das análises químicas das águas subterrâneas, sob influência dos aterros de Resíduos Industriais, foi possível identificar que para caracterizar uma contaminação é necessário verificar a existência de valores de referência. Deste modo, é de extrema importância caracterizar as águas subterrâneas da região, para obter-se parâmetros. Os históricos de análises dos poços de monitoramento são de igual importância, sendo uma ferramenta de investigação geotécnica, trazem características passadas onde é possível analisar as mudanças da química da água ao longo do tempo.

A qualidade da água, em geral, é boa, apresentando algumas exceções esporádicas, mas que não comprometem o todo, sempre se recuperando com o tempo. Os parâmetros que se encontram fora do padrão de potabilidade estão intimamente ligados aos aspectos pedológicos e litológicos da região.

Os dados de sentido de fluxo, através das análises topográficas e hidrogeológicas da área são essenciais para construir parâmetros de influência para a análise comparativa das amostras. De acordo com os mapas gerados, a construção do aterro está em ordem e com uma boa amostragem das águas subterrâneas.

Através dos resultados obtidos, mostrou-se que há a necessidade, no mercado, de práticas analíticas, e por este motivo o estudo é de utilidade para contribuir com as necessidades da empresa.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, T. P. **Estudo do desencadeamento das erosões lineares concentradas em uma área do município de São Pedro/SP**. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de concentração em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.
- ARCGIS DESKTOP. **How flow direction works**. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>>. Acesso em: 09 mai. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10157: **Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896: **Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
- AZEVEDO, A. A.; FILHO., J. L. A. **Águas Subterrâneas**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. p. 111-130. 1998.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS nº 518/2004**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA Nº 313/2002. **Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**. Data da legislação: 29/10/2002 - Publicação DOU nº 226, p. 85-91. 2002.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA Nº 396/2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Data da legislação: 03/04/2008 - Publicação DOU nº 66, p. 66-68. 2008.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA Nº 420/2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas**. Data da legislação: 28/12/2009 - Publicação DOU nº 249, p. 81-84. 2009.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução Nº460/2013. **Altera a Resolução CONAMA n. 420, de 28 de**

dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. Publicação DOU, p. 153. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa Nacional de Águas Subterrâneas.** 21 f. Brasília: MMA, 2001.

BRASIL. Presidência da república casa civil. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

BURIOL, A; KUINCHTNER, A. **Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite.** Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Exatas, S. Maria, v.2, n.1, p.171-182. 2001.

CELLIGOI, A. **Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas.** Geografia, Londrina, v. 8, n. 1, p. 91-97, janeiro a junho de 1999.

CETESB. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas.** Capítulo 6410 Norma 06.010, São Paulo, 1988.

CETESB. **Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI.** São Paulo: CETESB, 106p. 1998.

CETESB. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016.** São Paulo: CETESB, ed. 126, p. 55-56 e anexos. 2016.

CHILDS, Colin. **Interpolation surfaces in ArcGIS Spatial Analyst.** ESRI Education Services, p. 32-35. 2004.

DIAS, F. A. **Caracterização estrutural e hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região de Carlos Barbosa (RS).** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2013.

FEPAM. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais.** Porto Alegre: FEPAM. 13 p. (n.publ.) Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital. 2001.

FERNANDES, A. J. **Aquíferos Fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 29 (1/2), p. 49-72, 2008.

FRYE, Charlie. **Choosing an appropriate cell size when interpolating raster data.** ArcGIS Blog. 2007. Disponível em: <<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/mapping/choosing-an-appropriate-cell-size-when-interpolating-raster-data/>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

HASENACK, H., et al. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000.** Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD). 2010.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2008. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=resultados>>. Acesso em março de 2018.

IBGE. **Manual técnico de pedologia: guia prático de campo**. Rio de Janeiro: IBGE, 133 p. 2015.

IBGE. Mapa Brasil Climats. Escala 1:5.000.000. IBGE, com adaptações. 1978.

INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

KÖPPEN, W. **Das geographischa System der Klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, G. (Ed.). Handbuch der Klimatologie: Gebr, Borntraeger, p. 1–44. 1936.

MAFFASIOLI, D.; et. al. **Compêndio de Geografia de Carlos Babosa**. Carlos Barbosa: Contexto. 1993.

MANASSÉS, F. **Caracterização hidroquímica da água subterrânea da formação Serra Geral na região sudoeste do Estado do Paraná**. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2009.

MELFI, A. J. et al. **Geological and magmatic aspects of the Parana Basin: an introduction**. In: PICCIRILLO E. M. & MELFI, A. J. (Eds.). The Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: USP, p. 1-14.1988.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasil, 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657>. Acesso em março de 2018.

PJS GEOLOGIA. **Implantação de Central de Resíduos Sólidos Industriais**. Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Tramontina S.A. Cutelaria. 2005.

OLIVEIRA, A. M. S.; FILHO, D. C. **Ensaio de permeabilidade em solo, orientações para sua execução em campo, 1ª tentativa**. Manual Técnico. São Paulo – SP. IPT. 1982.

REGINATO, P. A. R.; et al. **Caracterização estrutural dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral na região nordeste do estado do rio grande do sul**. Revista Brasileira de Geociências. 36(1): 13-22. 2006.

ROSOLEN, V. S.; **Cartas pedogeoquímicas dos solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas da formação serra geral: utilização de um sistema de informação geográfica (SIG)**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.

SCHNEIDER, M. R.; et al. **Biorremediação de Aquífero Contaminado com Fenol Utilizando Bioestimulação Aeróbia**. (Apresentação de Trabalho/Congresso). 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). **Plano nacional de resíduos sólidos**. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/web/guest/plano-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

TRESSOLDI, M; CONSONI, A.J. **Disposição de Resíduos**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. p. 111-130. 1998.

VILAR, et al. **Resíduos Sólidos**. In: ZUQUETTE, L. V. (Org). Geotecnia Ambiental. Rio de Janeiro: Elsevier. p. 216-260. 2015.

WHITE, I.C. **Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1988. Parte I; Parte II, p. 301-617, 1908.

WILDNER, W.; et al. **Serra Geral Magmatism in the Paraná Basin - a new stratigraphic proposal, chemical stratigraphy and geological structures**. In: I Workshop Problems in the Western Gondwana Geology, Gramado. Problems in the Western Gondwana Geology, I Workshop - South America - Africa, v. 1. p. 189-197. 2007.

YAMAGUSHI, E. B.; **Especiação de alumínio em águas subterrâneas na região do manancial billings: aplicação da radiação ionizante na digestão amostral para fins analíticos e na proposta de radiação**. Tese (doutorado). Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações - Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

ZALÁN, P. V., et al. **The Paraná basin, Brazil**. In: Leighton, M.W., Kolata, D.R., Olts, D.F., Eidel J.J., Eds., Interior Cratonic Basins: AAPG Mem., 51, 681-708, 1990.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. Tese (Doutoramento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP, São Carlos, SP, 1987.

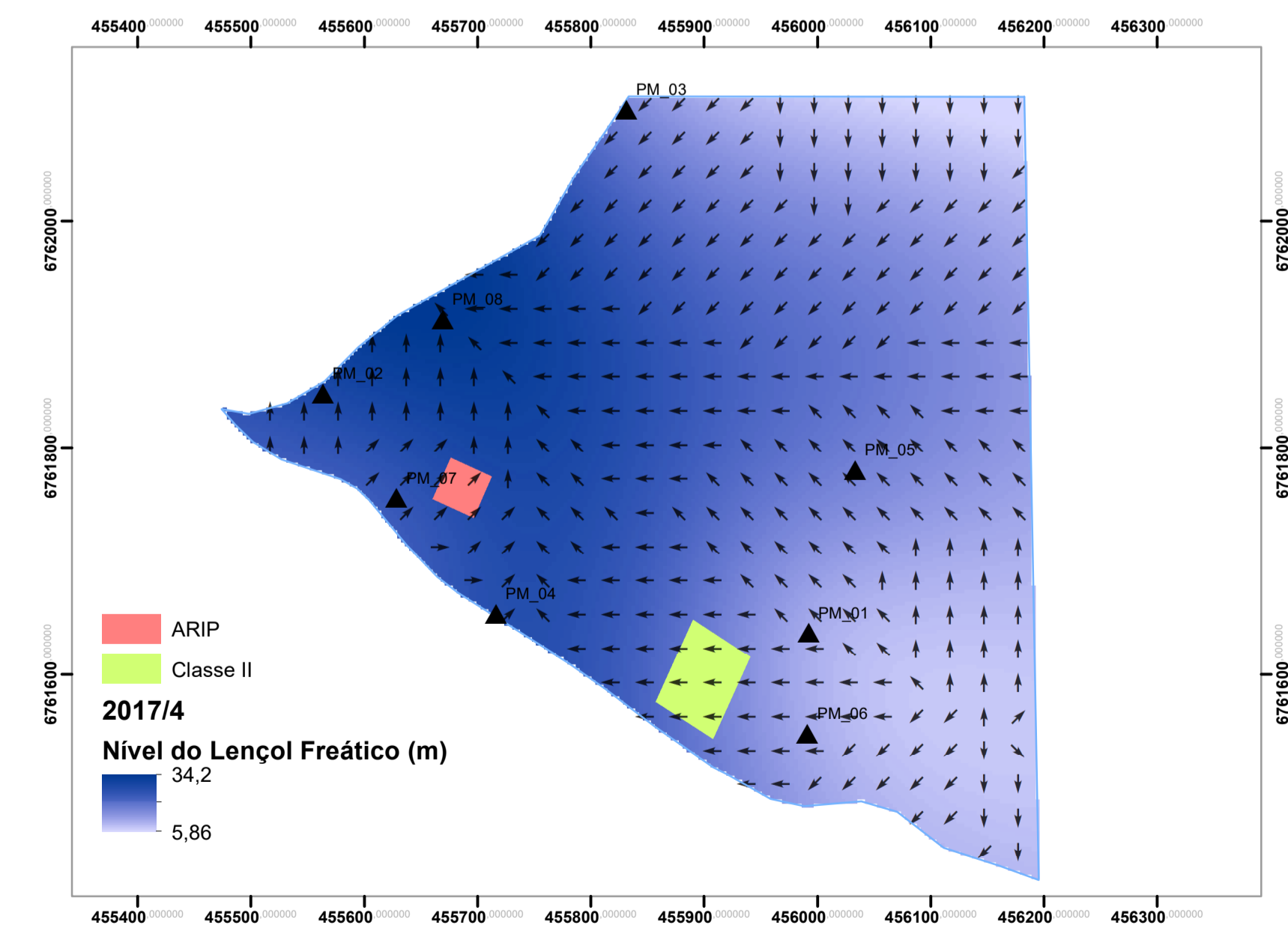
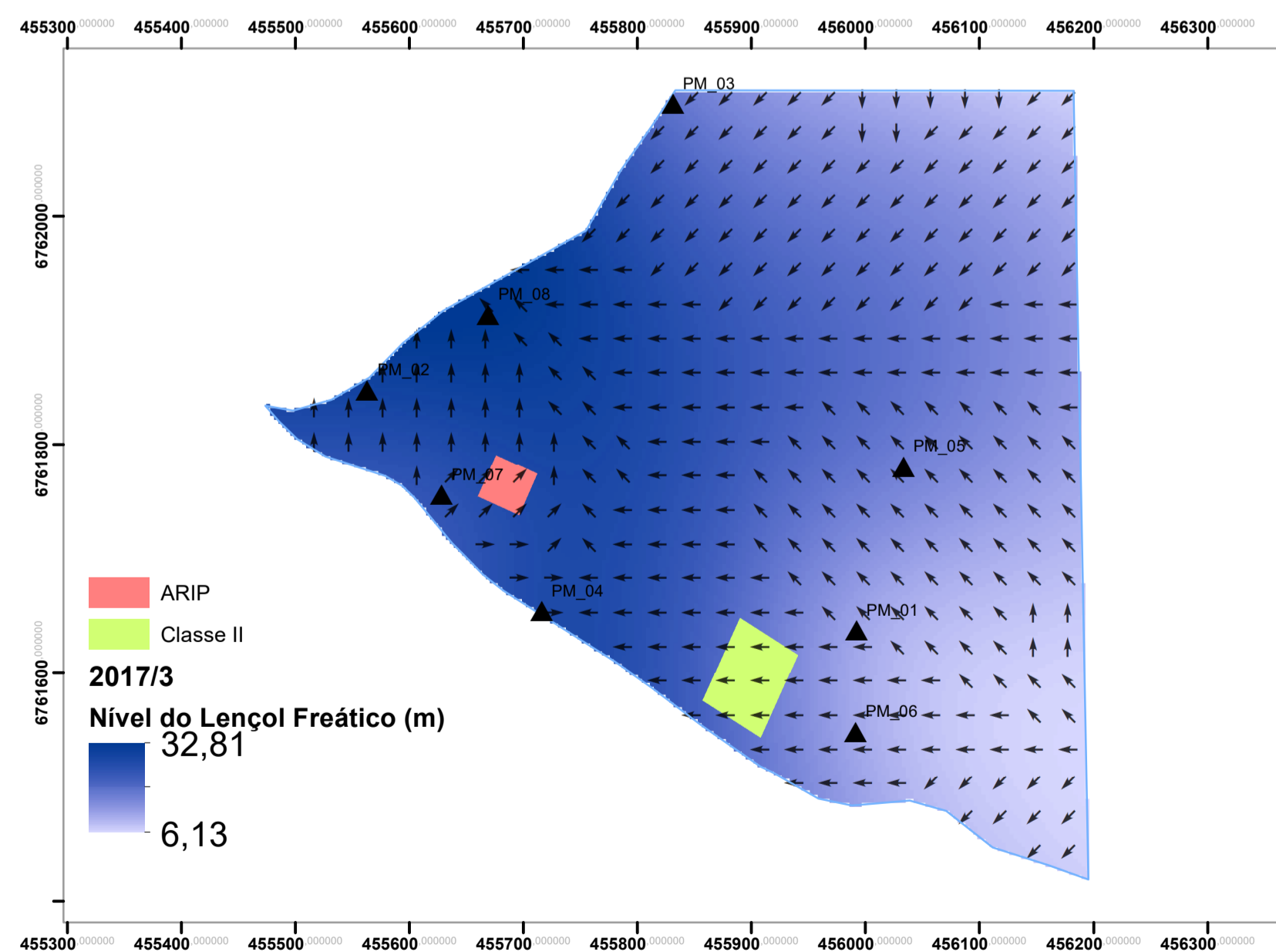
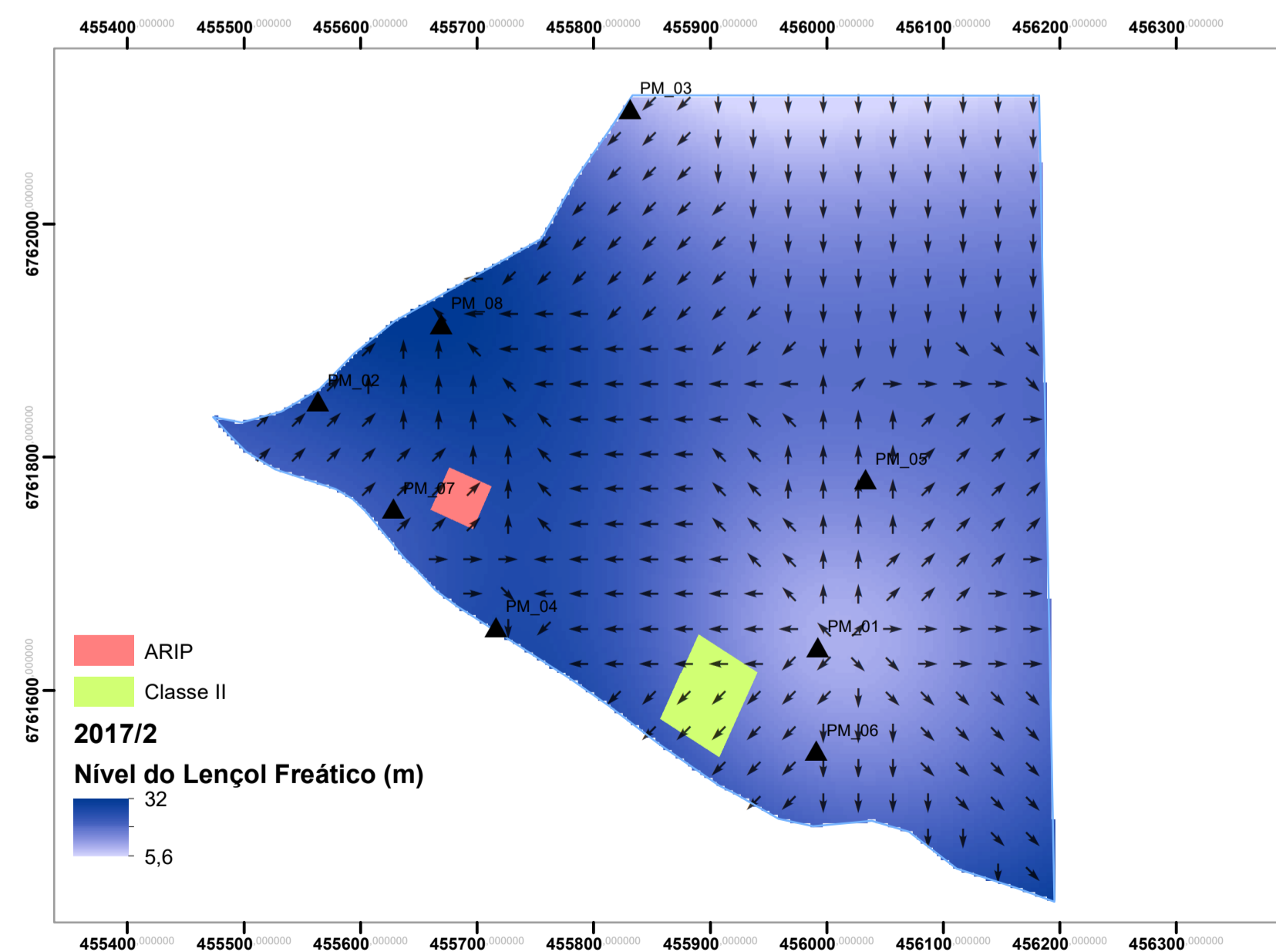
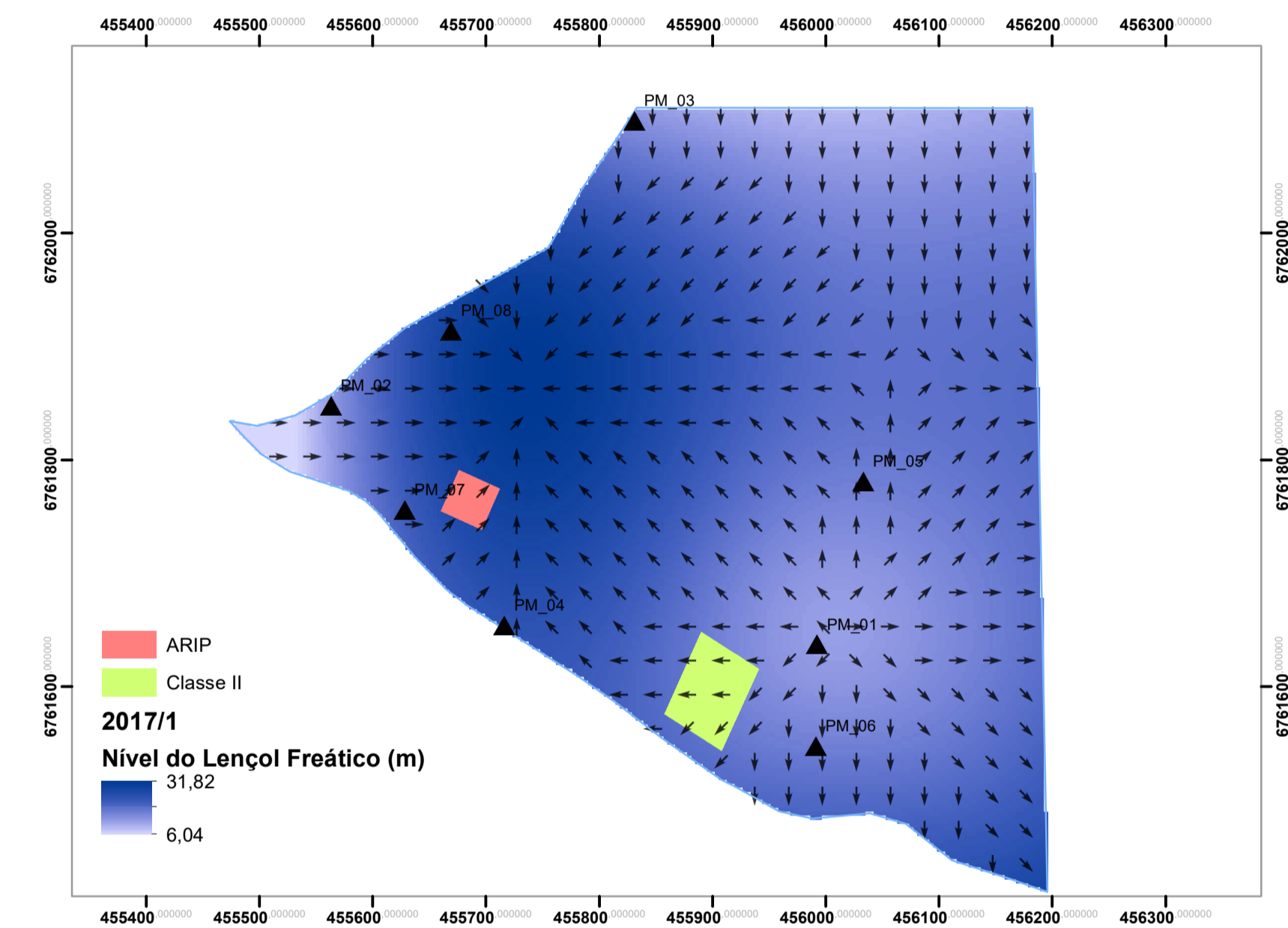
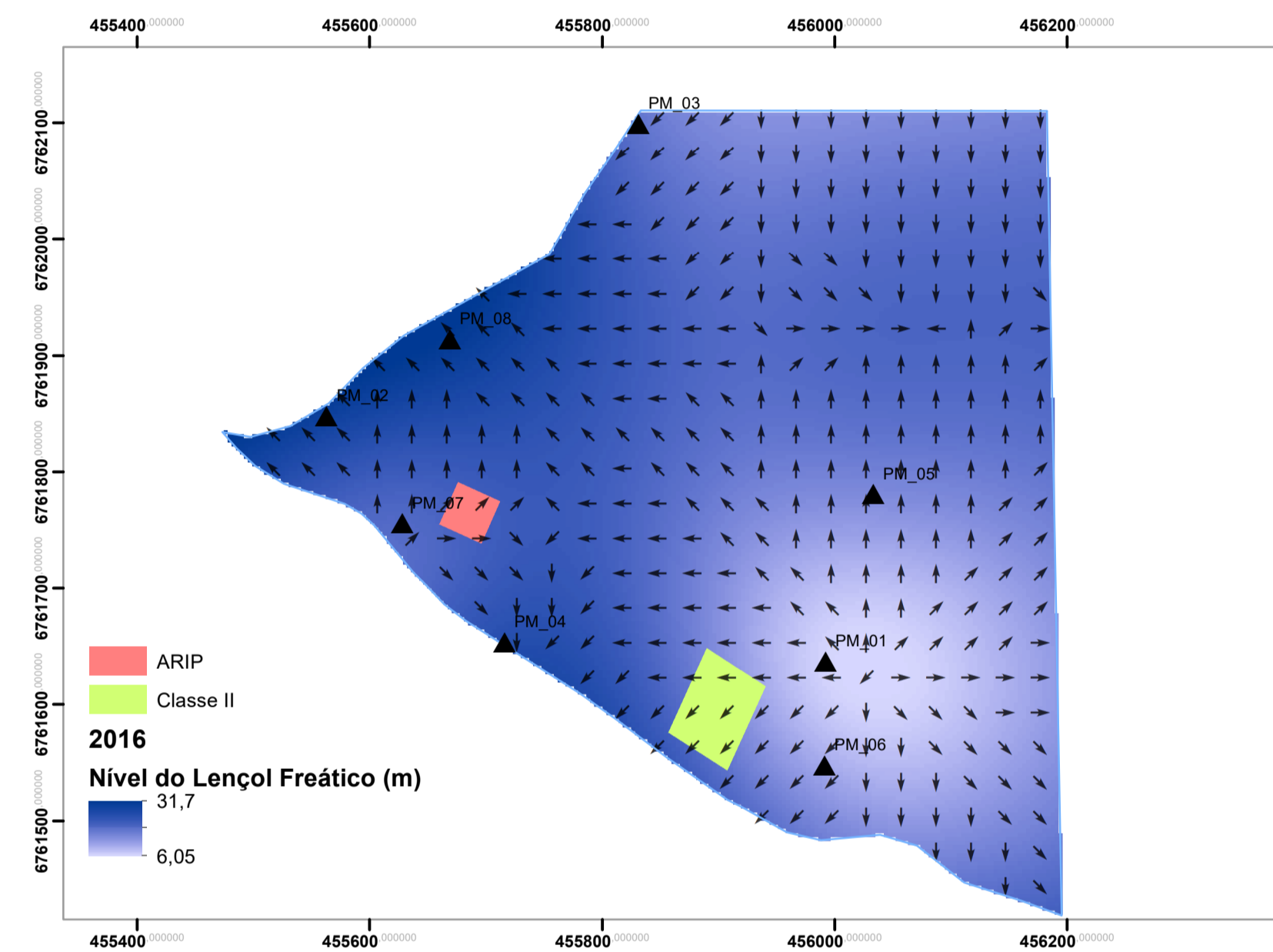
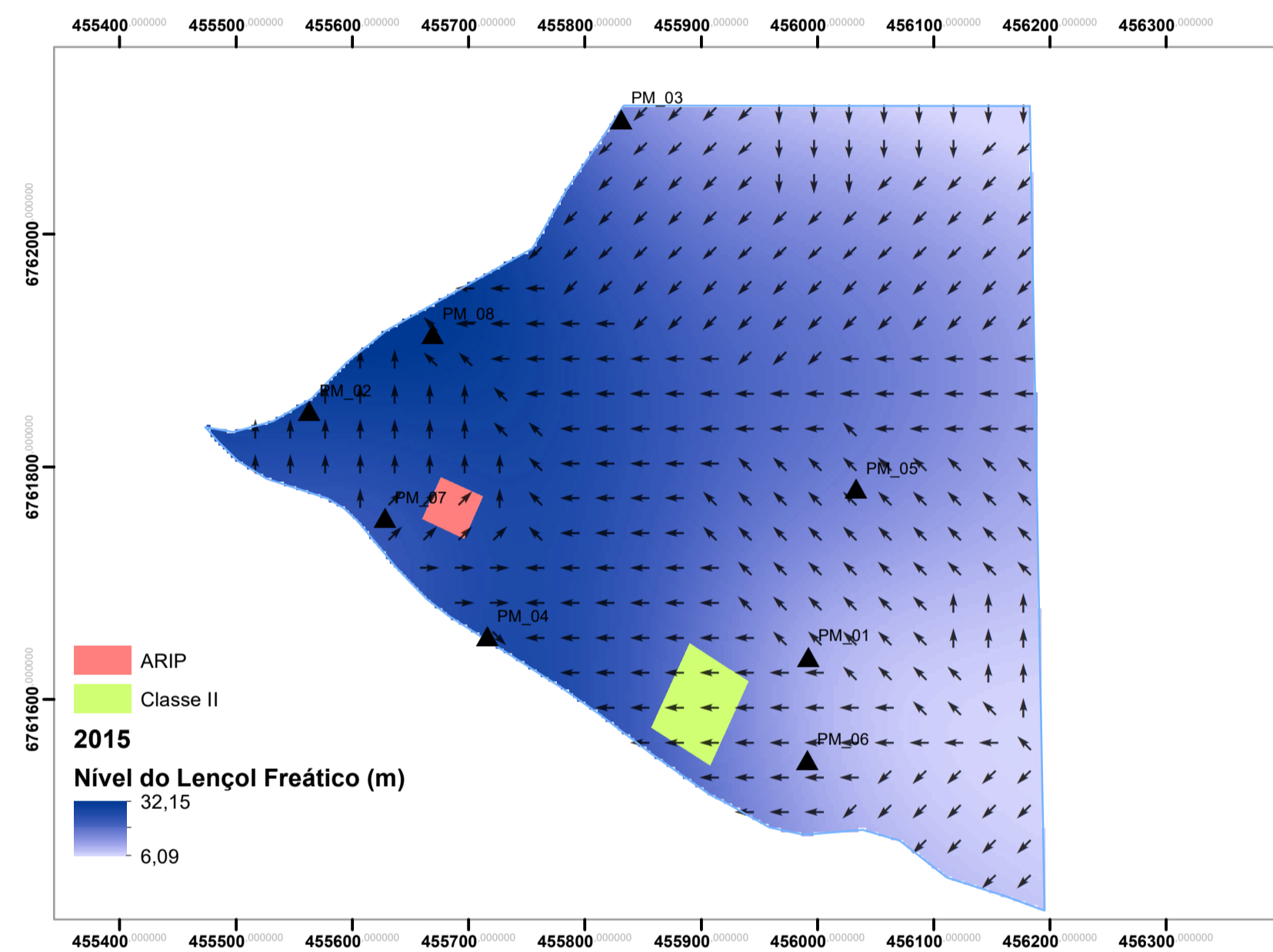
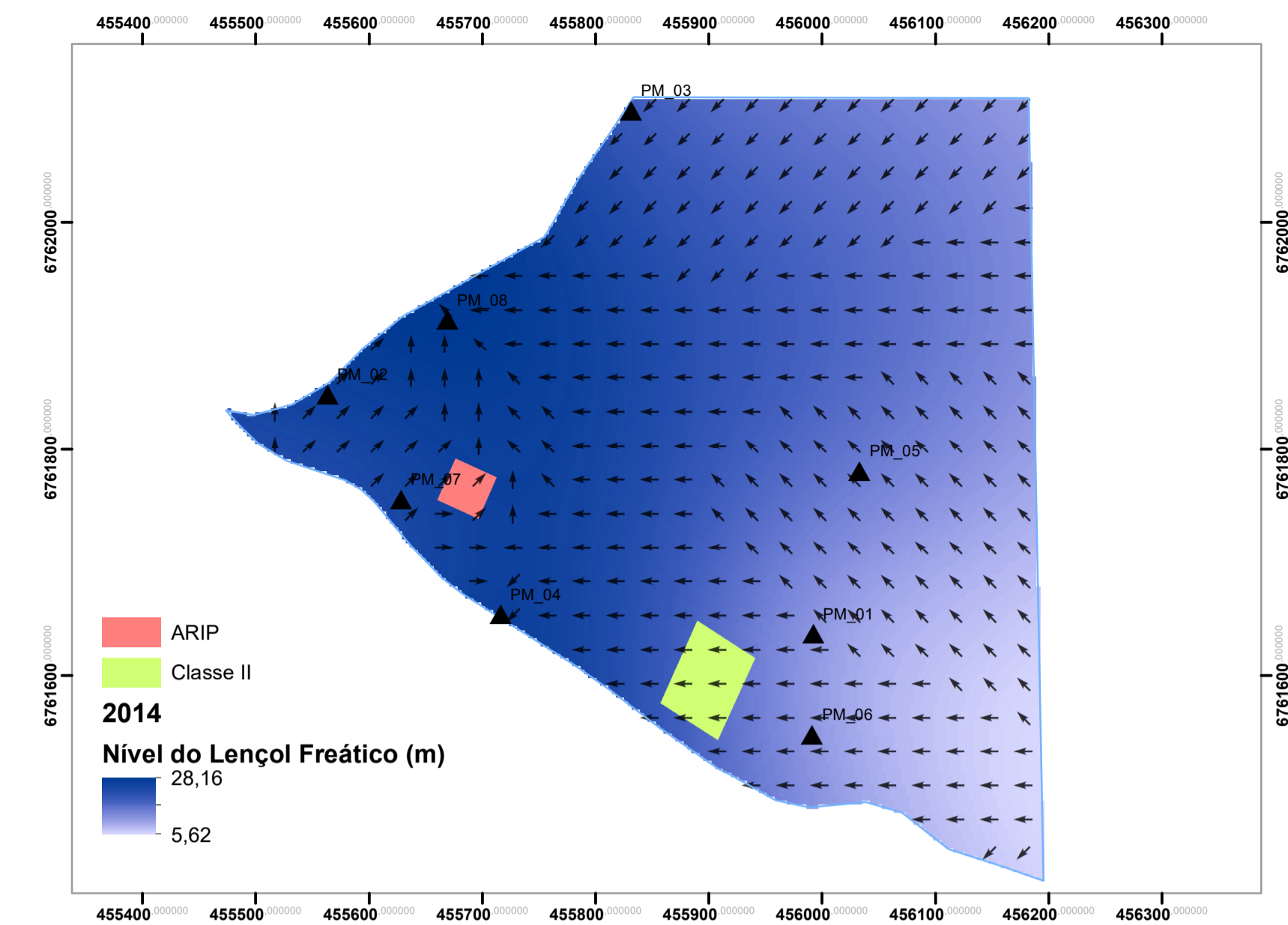
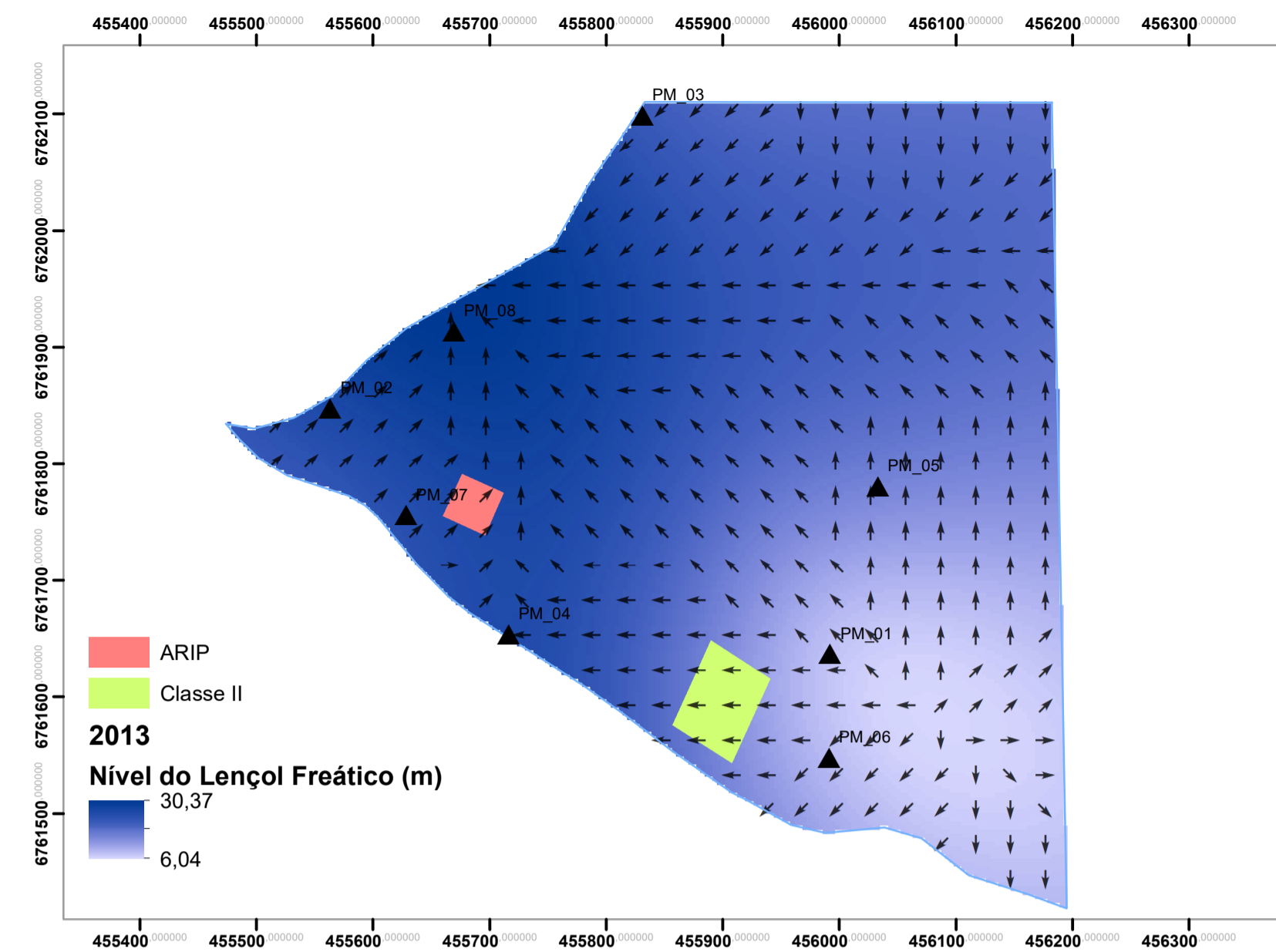
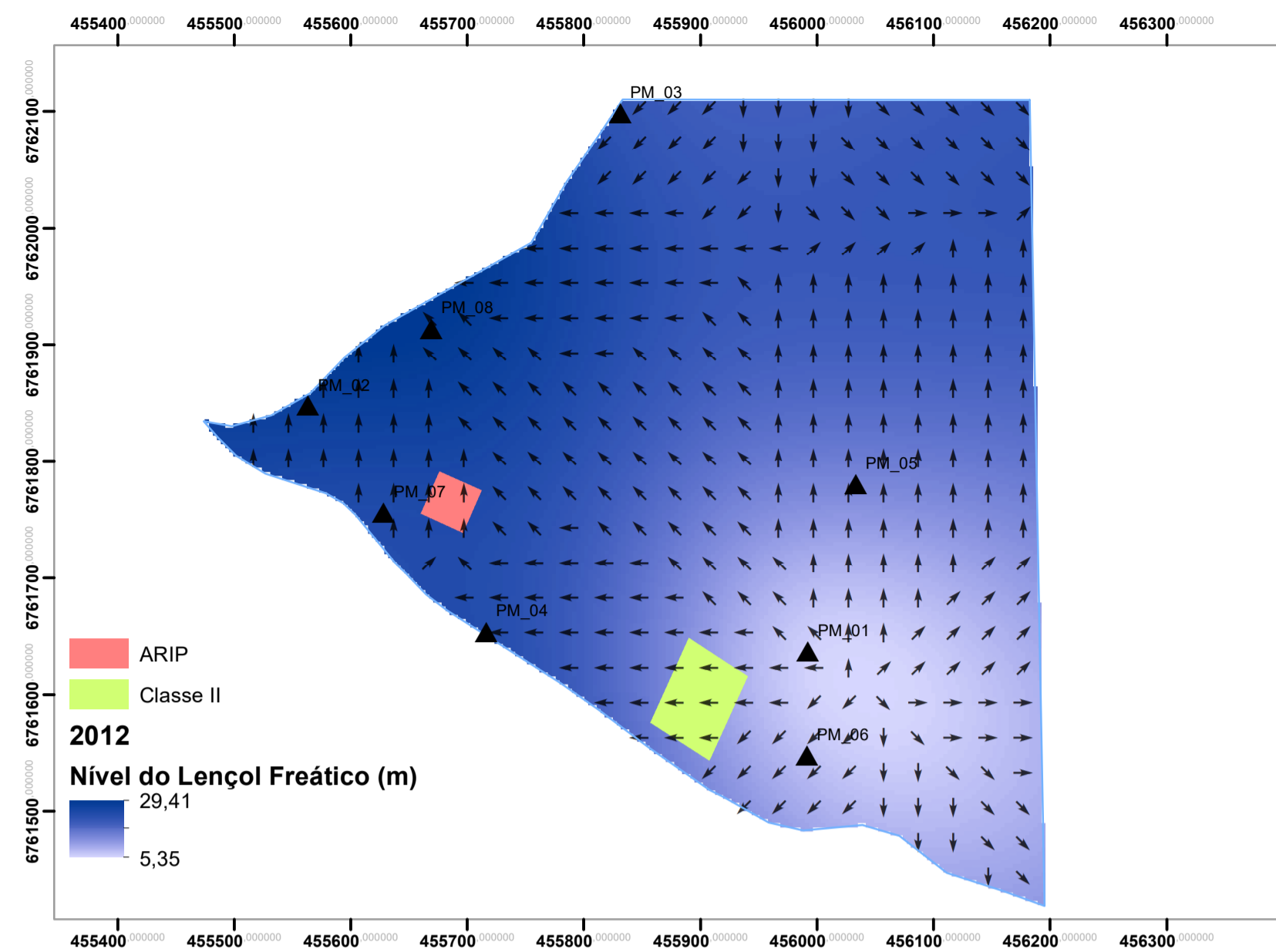
ANEXO A – TABELA TRIMESTRAL DE NÍVEL FREÁTICO

Profundidade representada em metros.

| | PM_1 | PM_2 | PM_3 | PM_4 | PM_5 | PM_6 | PM_7 | PM_8 |
|--------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|
| jan/12 | 5,8 | 31 | 17,1 | 23,4 | 13 | 19 | 25 | 25,7 |
| fev/12 | 5 | 29 | 22 | 23,8 | 13 | 5,4 | 23,7 | 24 |
| mar/12 | 6 | 31 | 22,8 | 24 | 13 | 5,8 | 24,2 | 22 |
| abr/12 | 5 | 29,2 | 22,4 | 24,3 | 13 | 5,2 | 24 | 28,3 |
| mai/12 | 5,4 | 29,6 | 23 | 24,8 | 13,6 | 6 | 24,4 | 29 |
| jun/12 | 5 | 30 | 23 | 24 | 12,6 | 5 | 24,4 | 31 |
| jul/12 | 5 | 25 | 1 | 18,3 | 13,6 | 4,5 | 24 | 31 |
| ago/12 | 5 | 18,6 | 22 | 21,5 | 13 | 6 | 23 | 32 |
| set/12 | 4,2 | 17,4 | 20 | 19,5 | 12 | 5,2 | 21,5 | 30 |
| out/12 | 5,3 | 29 | 28 | 25 | 12 | 6 | 24 | 32 |
| nov/12 | 6,5 | 30 | 29 | 26 | 13 | 6 | 24,5 | 34 |
| dez/12 | 6 | 30 | 30 | 26 | 15 | 7 | 25 | 34 |
| jan/13 | 6 | 29,6 | 29 | 25 | 13 | 6,3 | 24 | 33 |
| fev/13 | 6,7 | 29 | 28 | 26 | 12 | 6 | 25 | 32 |
| mar/13 | 6 | 30 | 1 | 23 | 13,5 | 5,5 | 25 | 35 |
| abr/13 | 6 | 30 | 29 | 26 | 14 | 6 | 25 | 34 |
| mai/13 | 6 | 29 | 18 | 24,5 | 12,5 | 6 | 23 | 34 |
| jun/13 | 6 | 30 | 29 | 25 | 16 | 6 | 24 | 35 |
| jul/13 | 6 | 18 | 27 | 24 | 18 | 6 | 23 | 33 |
| ago/13 | 4,5 | 26 | 27 | 21 | 13 | 4 | 21 | 31 |
| set/13 | 8,3 | 13,5 | 11,75 | 18,4 | 16,6 | 16,55 | 20,25 | 18 |
| out/13 | 6 | 27 | 29 | 28 | 11 | 6 | 24 | 28 |
| nov/13 | 6 | 20 | 10 | 28 | 10 | 7 | 24 | 28 |
| dez/13 | 5 | 20 | 11 | 25 | 10 | 5 | 24 | 23,5 |
| jan/14 | 5 | 20 | 13 | 26 | 9 | 5 | 23 | 25 |
| fev/14 | 5 | 11 | 14 | 24 | 9 | 5 | 22 | 24 |
| mar/14 | 6 | 29 | 1 | 25 | 10 | 5 | 24 | 30 |
| abr/14 | 6 | 19 | 6 | 23 | 11 | 6 | 22 | 28 |
| mai/14 | 6 | 30 | 28 | 26 | 12 | 6 | 25 | 30 |
| jun/14 | 5 | 28 | 28 | 24 | 10 | 6 | 23 | 28 |
| jul/14 | 6 | 27 | 28 | 23 | 10 | 5 | 22 | 27 |
| ago/14 | 6 | 26,5 | 29 | 25 | 10 | 5,5 | 24 | 29 |
| set/14 | 6 | 26 | 28 | 25 | 11 | 6 | 23 | 28 |
| out/14 | 6,3 | 25 | 27 | 25 | 10 | 6 | 22 | 26 |
| nov/14 | 6 | 28 | 1 | 28 | 10 | 6 | 23 | 32 |
| dez/14 | 6 | 27 | 1 | 28 | 9 | 6 | 24 | 31 |
| jan/15 | 5 | 24 | 3 | 25 | 9 | 5 | 20 | 29 |
| fev/15 | 8 | 28 | 16 | 29 | 11,2 | 9 | 25 | 32 |
| mar/15 | 6,4 | 30 | 15 | 26,5 | 12,4 | 9,2 | 24,4 | 33 |
| abr/15 | 6 | 30 | 21 | 26 | 10,5 | 6 | 23 | 33 |

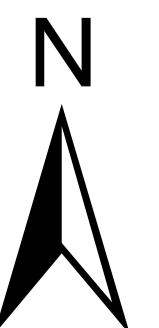
| | PM_1 | PM_2 | PM_3 | PM_4 | PM_5 | PM_6 | PM_7 | PM_8 |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| mai/15 | 6 | 27 | 20 | 22 | 9 | 5 | 22 | 30 |
| jun/15 | 5,8 | 29,56 | 0,28 | 25,73 | 13,04 | 5,88 | 23 | 34 |
| jul/15 | 5,8 | 29,5 | 1 | 25,2 | 12,8 | 5 | 22,1 | 33 |
| ago/15 | 5,9 | 29,62 | 13 | 25,6 | 12,96 | 5,8 | 22,8 | 33,6 |
| set/15 | 6,4 | 29 | 14,6 | 26 | 13,8 | 6,5 | 23 | 34,5 |
| out/15 | 6,3 | 28 | 14 | 25 | 13 | 7 | 23,5 | 34 |
| nov/15 | 5,6 | 29 | 12 | 25 | 12,8 | 5 | 22,2 | 32,2 |
| dez/15 | 5,96 | 26,15 | 17,32 | 25,33 | 9,3 | 5,8 | 18 | 27,5 |
| jan/16 | 6 | 29 | 28 | 26,5 | 26 | 10 | 18,5 | 33 |
| fev/16 | 6 | 29,5 | 29 | 26 | 26 | 11 | 19 | 32 |
| mar/16 | 6,12 | 30 | 18 | 25,7 | 12 | 6 | 19 | 34 |
| abr/16 | 6 | 30 | 17,8 | 26 | 12 | 6,5 | 20 | 33 |
| mai/16 | 6,2 | 29 | 18 | 26 | 12,2 | 7 | 19 | 32 |
| jun/16 | 6 | 28 | 18 | 25,6 | 12 | 7 | 18 | 31 |
| jul/16 | 5,9 | 27 | 17,2 | 25 | 12 | 6 | 16,8 | 30 |
| ago/16 | 5,9 | 35 | 18 | 26 | 12,2 | 6 | 19 | 34 |
| set/16 | 6,23 | - | 12,54 | 25 | 12 | 16 | 21 | 30,7 |
| out/16 | 6,25 | - | 12,5 | 25 | 12 | 16 | 21 | 31 |
| nov/16 | 6 | - | 12,2 | 25 | 11,5 | 16 | 21 | 29,8 |
| dez/16 | 6 | - | 12 | 24,9 | 11 | 15,8 | 21 | 30 |
| jan/17 | 7 | - | 13 | 25,2 | 12 | 16 | 21,3 | 30,26 |
| fev/17 | 6,12 | - | 12 | 24,3 | 11,4 | 15 | 20,6 | 31 |
| mar/17 | 5 | 19,53 | 0,35 | 25 | 13,4 | 5,7 | 21 | 34,2 |
| abr/17 | 6,18 | 30,76 | 12 | 25 | 11,6 | 17 | 21 | 29,8 |
| mai/17 | 5,02 | 19,53 | 0,35 | 25,5 | 13,42 | 5,75 | 20,95 | 34,2 |
| jun/17 | 6,62 | 26,32 | 17,57 | 26,94 | 11,46 | 6,15 | 22,77 | 31,97 |
| ago/17 | 6,4 | 29,1 | 11,51 | 25,2 | 12,7 | 6,1 | 22,9 | 33,1 |
| set/17 | 6,38 | 29,65 | 15,3 | 25,16 | 12,87 | 6,14 | 22,99 | 33,36 |
| out/17 | 5,7 | 27,1 | 14,25 | 25,1 | 12,4 | 6 | 21,8 | 33,9 |
| nov/17 | 5,5 | 25,2 | 3,6 | 25,25 | 12,25 | 5,9 | 22,8 | 34,3 |
| dez/17 | 6,4 | 29,7 | 17,7 | 25,3 | 12,6 | 6 | 23 | 34,4 |

ANEXO B – MAPAS DE NÍVEL FREÁTICO (M)

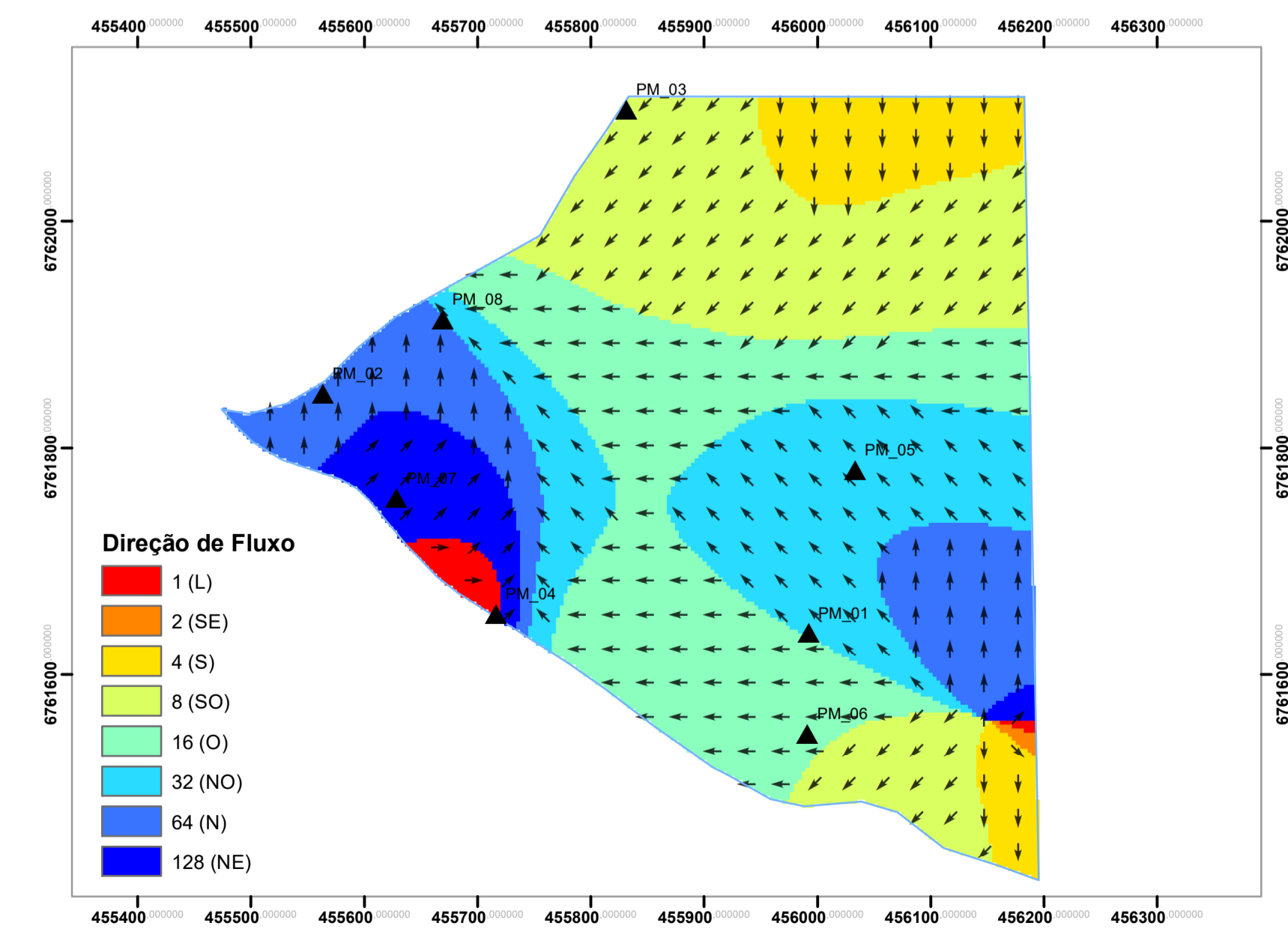
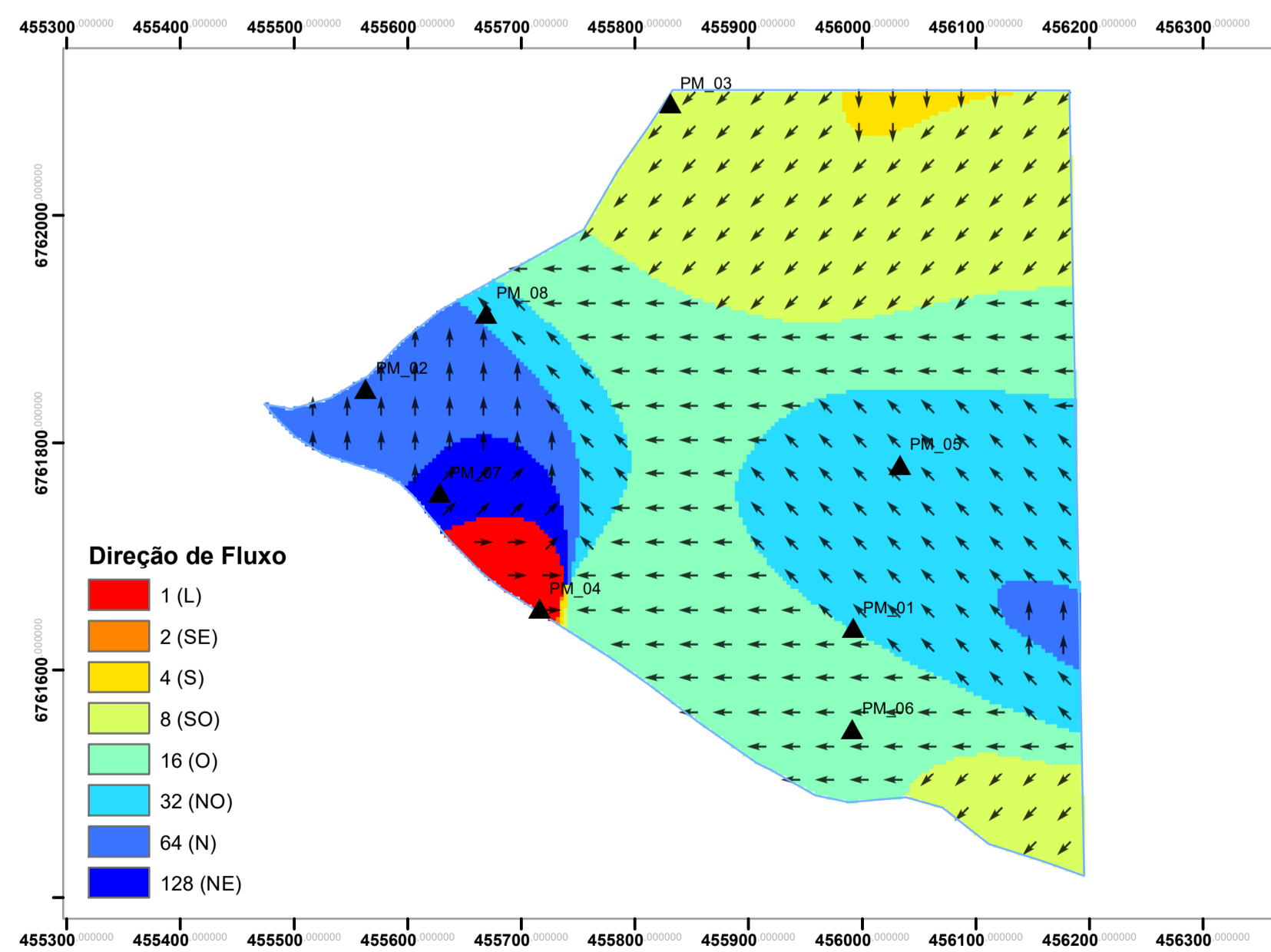
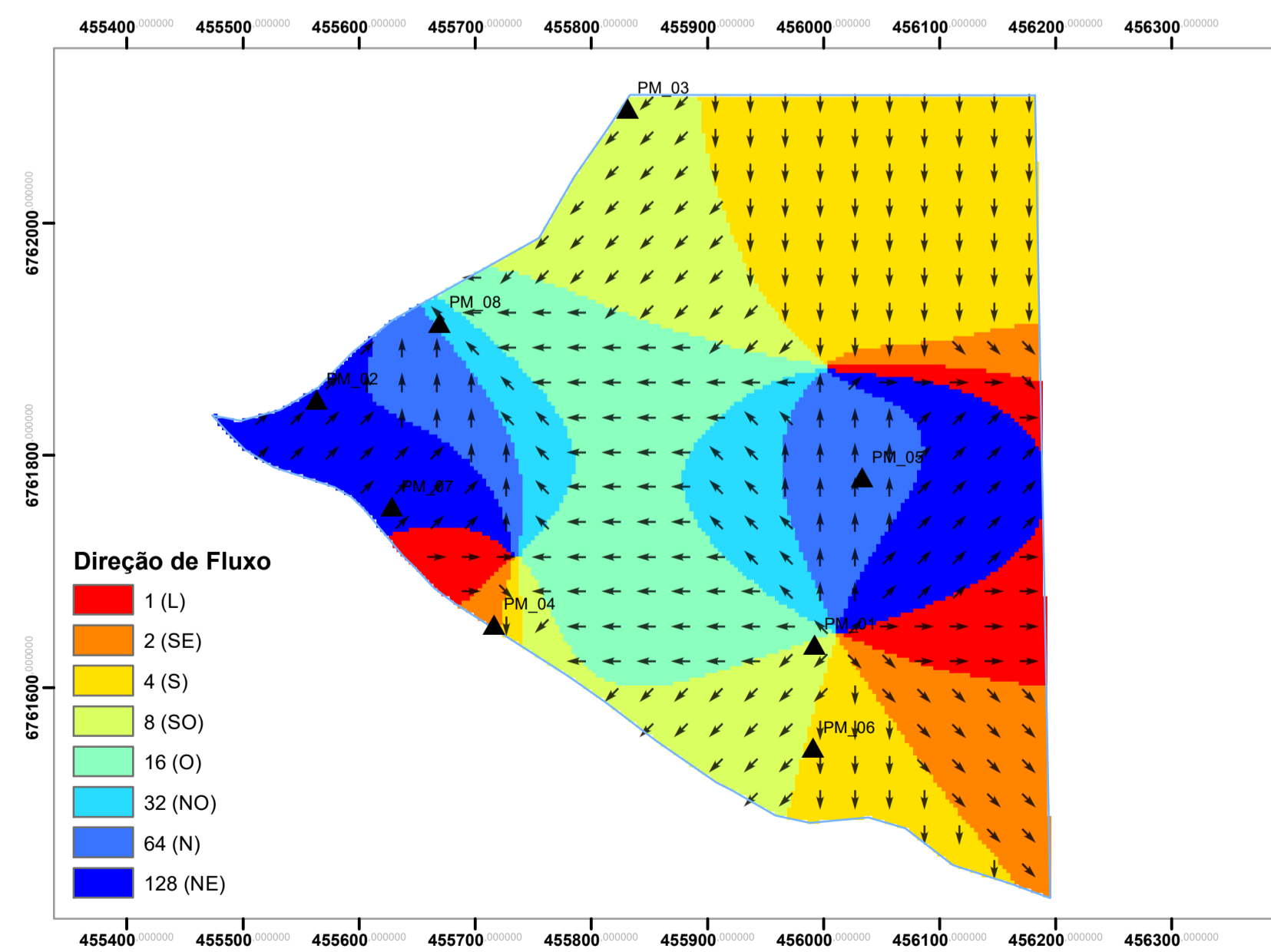
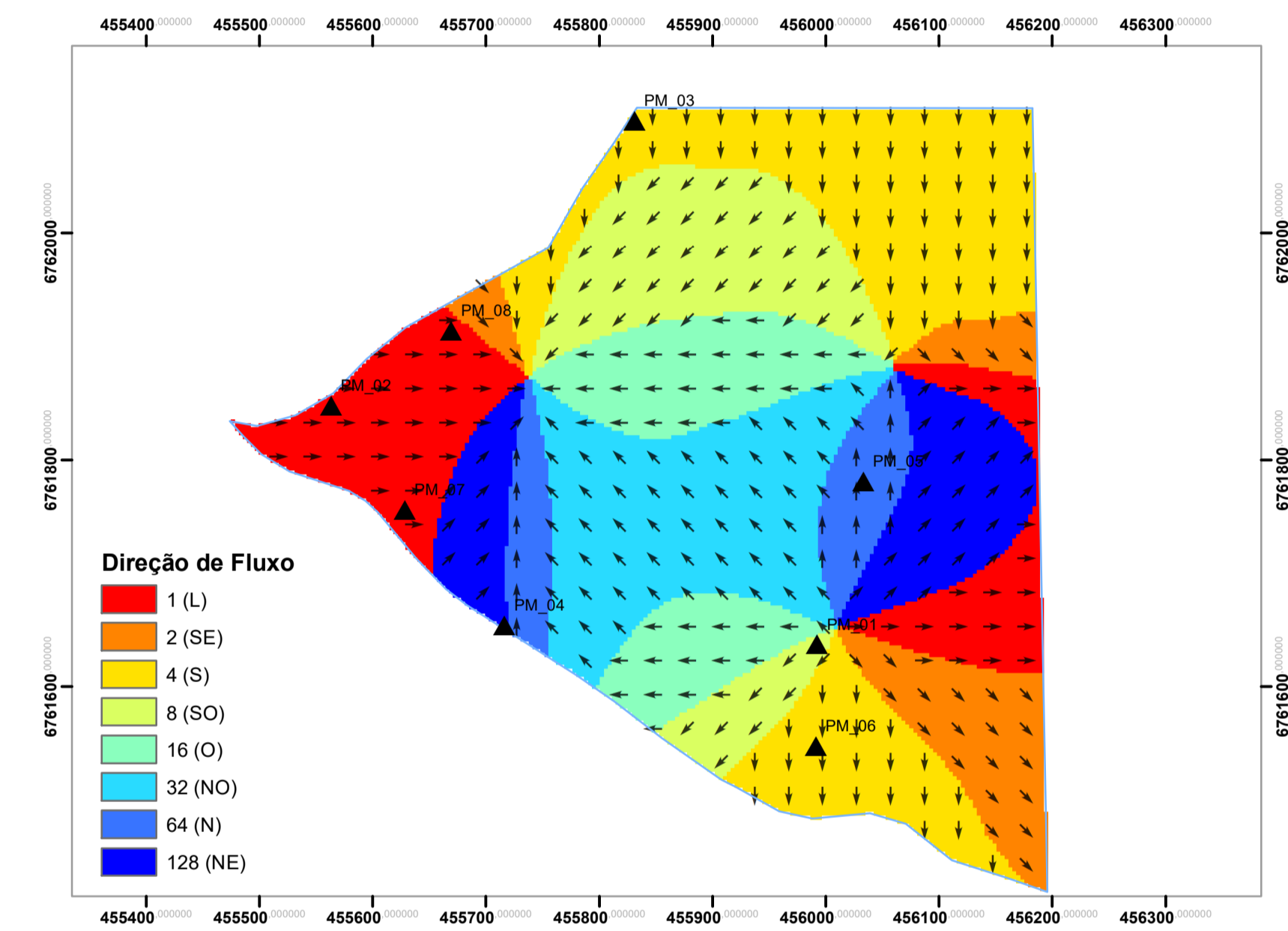
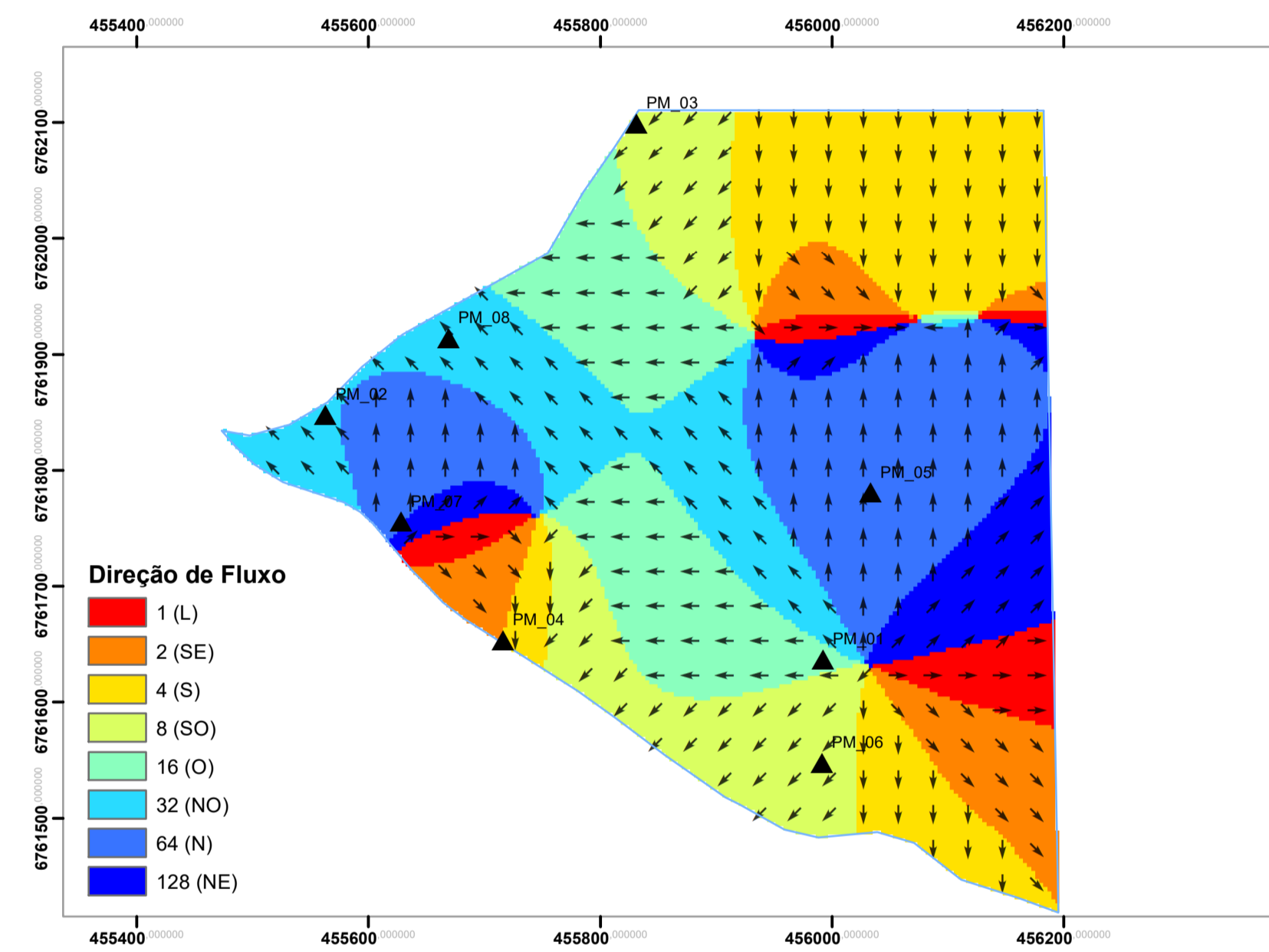
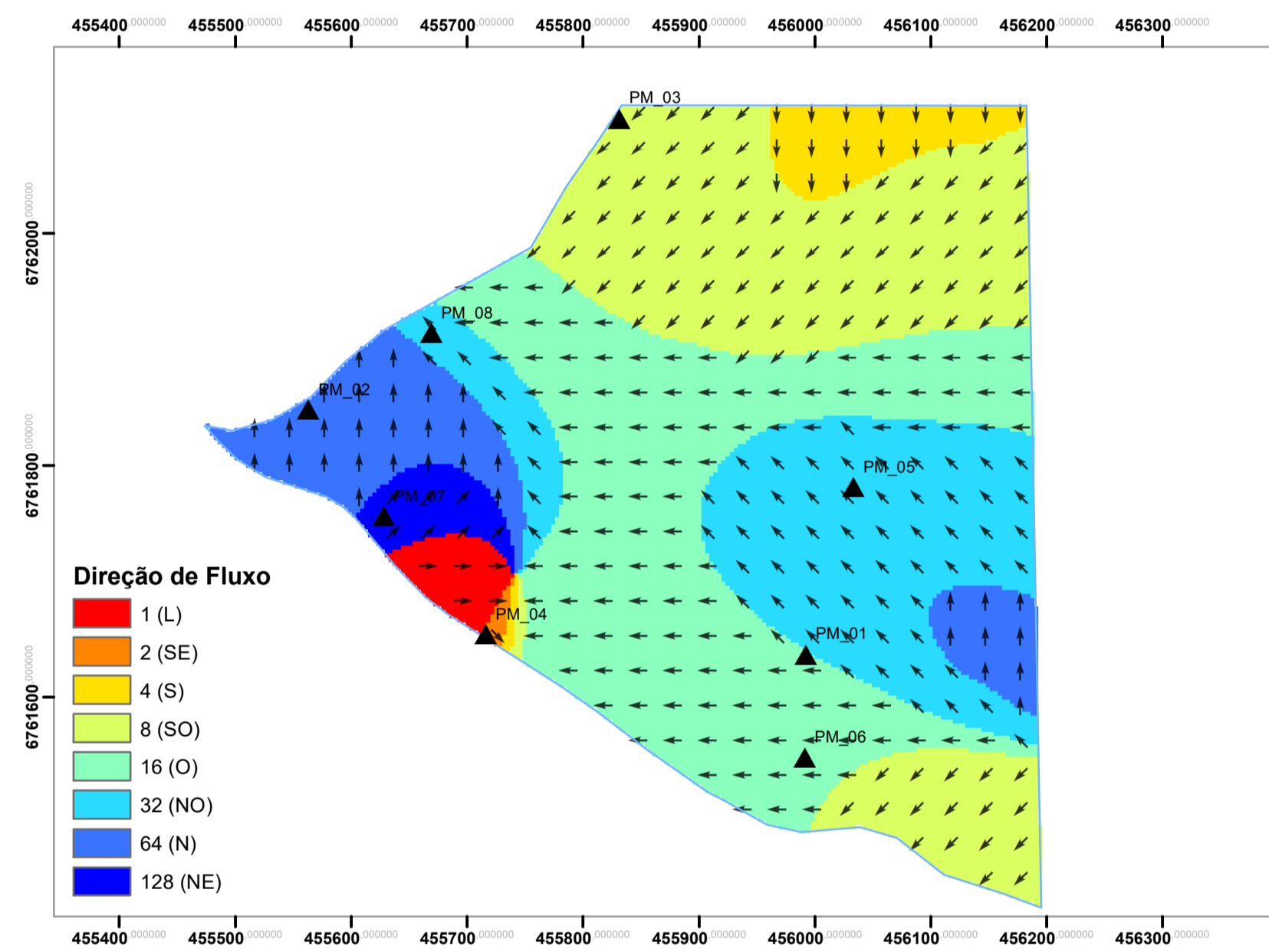
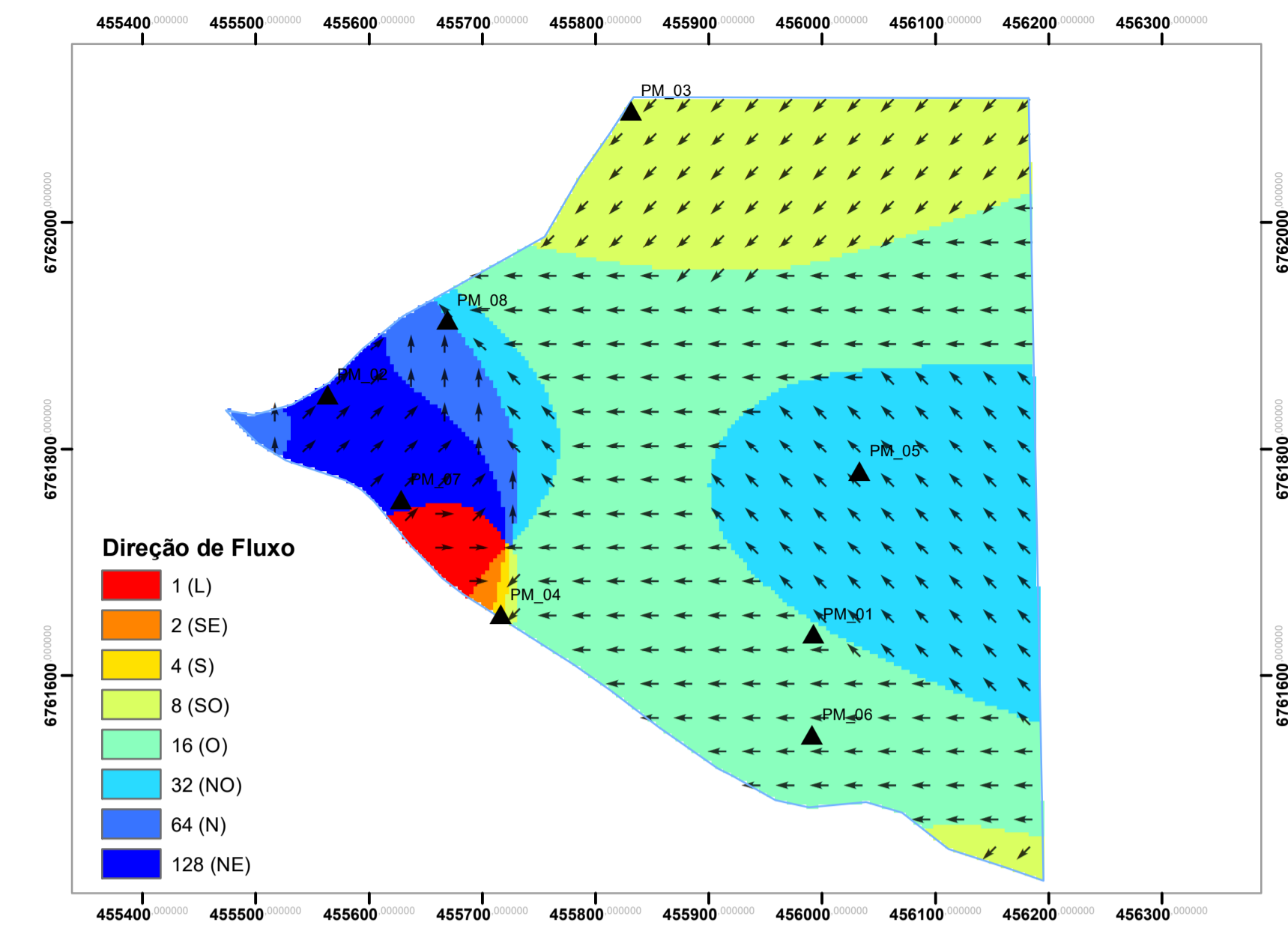
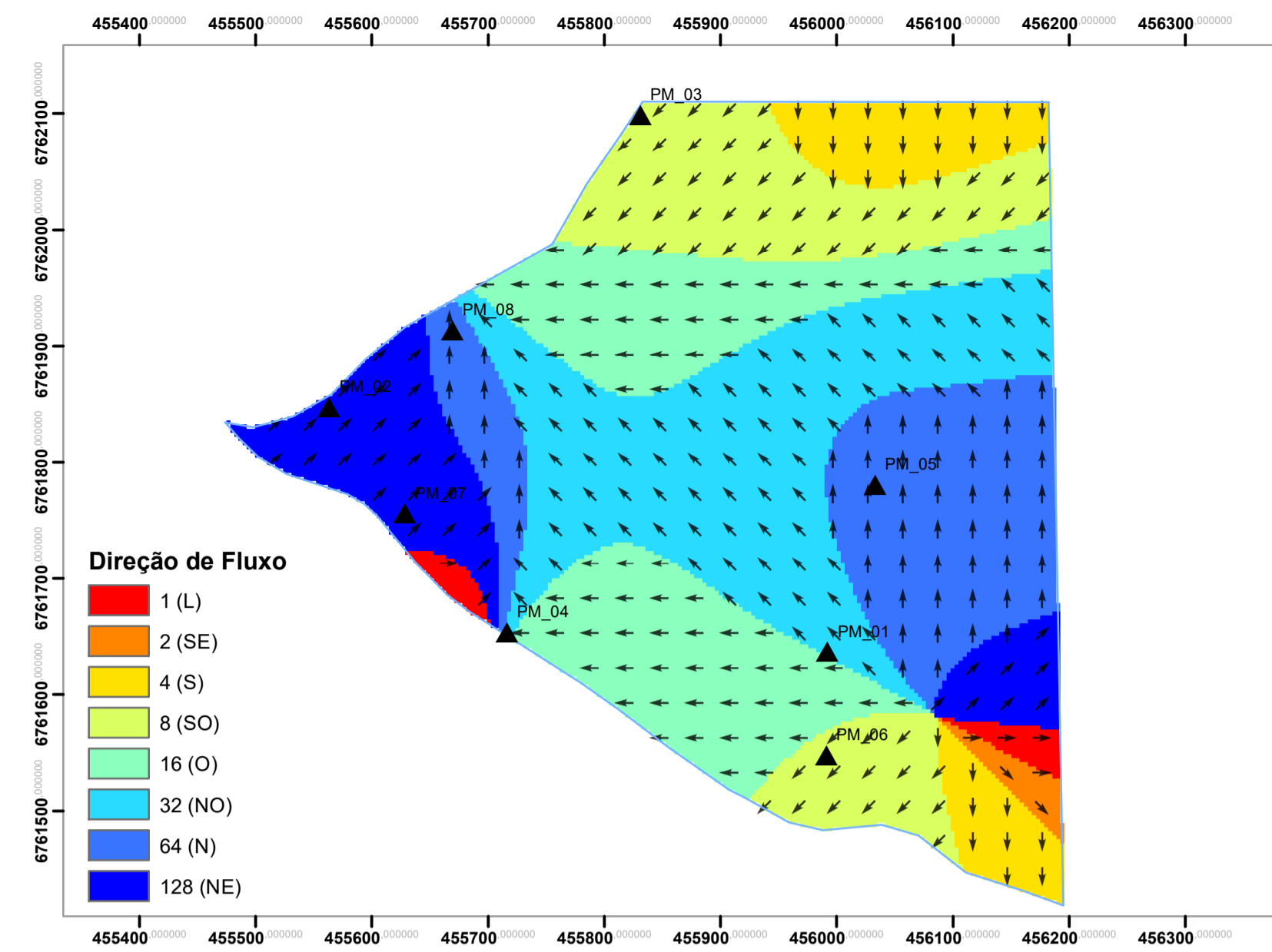
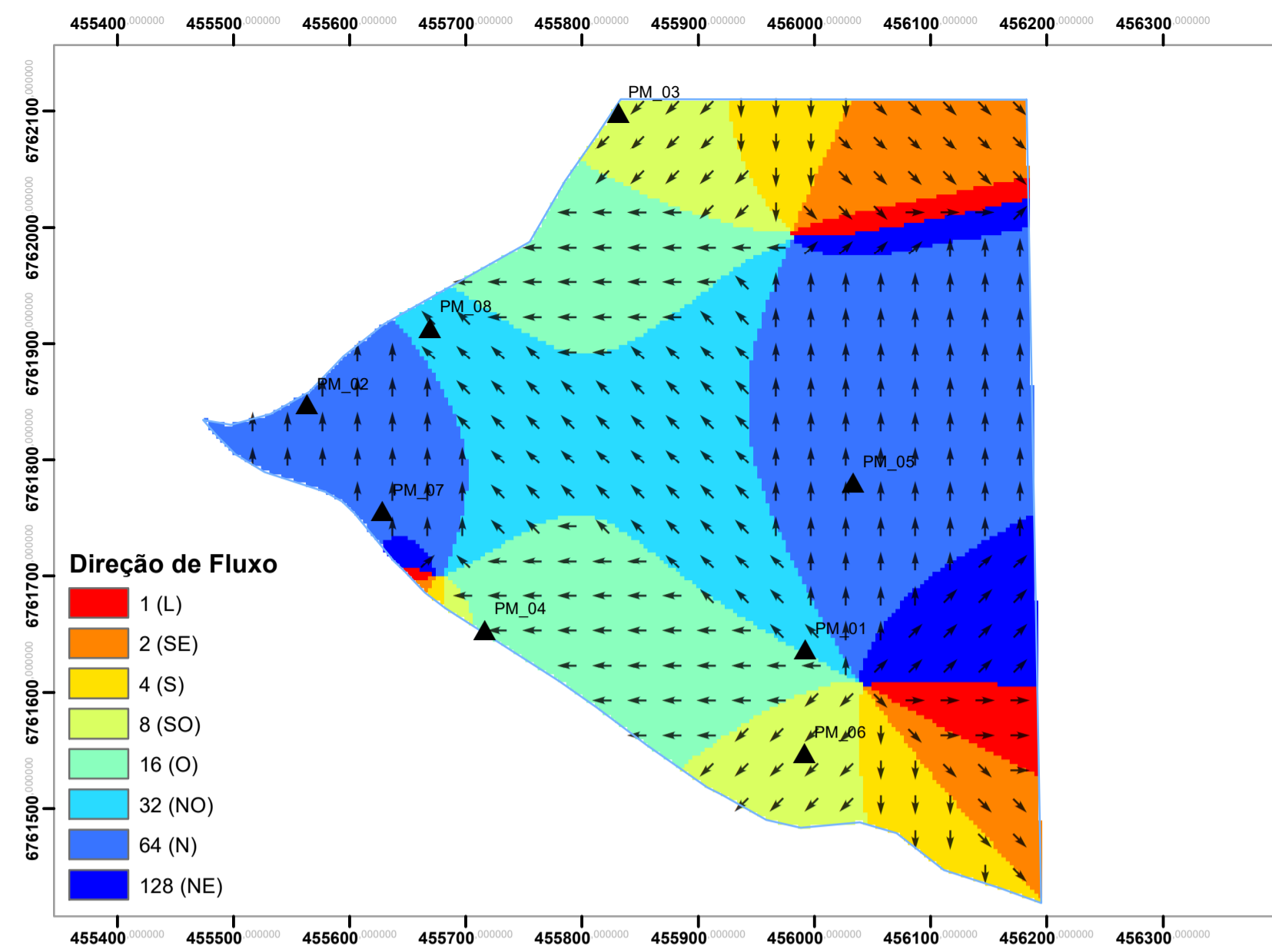


Mapas de Nível Freático

1: 5.000
Projeção: UTM
(Universal Transversor Mercator)
Datum: SIRGAS 2000

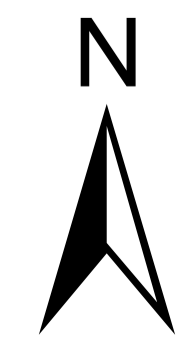
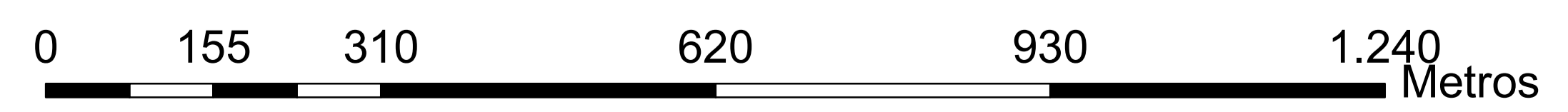


ANEXO C – MAPAS DE SENTIDO DE FLUXO



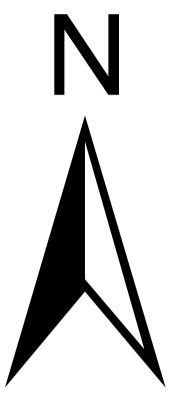
Mapas de Direção de Fluxo

1: 5.000
 Projeção: UTM
 (Universal Transversor Mercator)
 Datum: SIRGAS 2000



ANEXO D – MAPAS DA VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE

0 5110 220 330 440
Metros



1: 5.000
Projeção: UTM
(Universal Transversor Mercator)
Datum: SIRGAS 2000

