

# DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO FLUXO SUBTERRÂNEO NO ANTIGO LIXÃO DO ROGER EM JOÃO PESSOA E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA LOCAL

*Diego Rodrigo dos Santos Machado<sup>1</sup>; Gilson Barbosa Athayde Junior<sup>2</sup>; Claudia Coutinho Nóbrega<sup>3</sup>; Carmem Lúcia Moreira Gadelha<sup>4</sup> & Elson Santos da Silva<sup>5</sup>*

**RESUMO** - A maioria da água doce disponível no planeta situa-se nos mananciais subterrâneos, tornando-os a principal fonte hídrica para a população, objetos merecedores de grande atenção no que diz respeito à sua conservação. Embora em menor grau que as superficiais, as águas subterrâneas têm sido degradadas por algumas atividades humanas a exemplo da deposição inadequada de resíduos sólidos. Os lixões são considerados a forma mais danosa de acúmulo de lixo, trazendo inúmeras consequências negativas à população e ao ambiente circunvizinho, incluindo a poluição do ar, solo e das águas subterrâneas. O antigo Lixão do Roger, durante o período de 1958 a 2003, acumulou resíduos sólidos da grande João Pessoa. O presente trabalho consistiu na determinação da direção predominante do fluxo subterrâneo na área do Lixão e sua relação com a qualidade da água coletada em dois poços à montante e à jusante do mesmo. Os resultados das análises da água coletada foram comparados com os padrões de Potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde e apresentaram-se acima dos limites permitidos com o poço de jusante possuindo qualidade inferior ao de montante, comprovando a influência da massa de lixo na contaminação das águas subterrâneas locais.

**ABSTRACT** – Most of freshwater available on the planet is located in underground aquifers, being the main water resource for population and receiving a great attention related to its conservation. Although to a lesser extent than surface water, groundwater has been degraded by some human activities such as the improper disposal of solid waste. The open dumps are considered the most harmful way of garbage accumulation, bringing numerous negative consequences to the population and to the surrounding environment, including the pollution of air, soil and groundwater. The former Roger's open dump, during the period of 1958 to 2003, has accumulated solid waste from João Pessoa. This work consisted in determining the predominant direction of underground stream in the area of the Landfill and its relationship with the quality of the water collected in two wells upstream and downstream of it. The results of the analyses of the water collected were compared to those Drinking water standards established by *Portaria* 2914/2011 from the Ministry of Health and showed up the limits allowed with downstream well below the amount having quality, proving the influence of mass of garbage in groundwater contamination sites.

**Palavras chave** - Água Subterrânea, Fluxo, Lixão do Roger

---

1) Graduando em Engenharia Ambiental - UFPB, R. Francisca Gonçalves de Abrantes, 120/302, João Pessoa-PB, 58037-055. (83) 88983531. Email: [dirmsmachado@yahoo.com.br](mailto:dirmsmachado@yahoo.com.br)  
2) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - UFPB. Campus Universitário, João Pessoa – PB; CEP 58.059-900. (83) 32167355. Email: [gilson@ct.ufpb.br](mailto:gilson@ct.ufpb.br)  
3) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - UFPB. Campus Universitário, João Pessoa – PB; CEP 58.059-900. (83) 32167684. Email: [claudiacn@uol.com.br](mailto:claudiacn@uol.com.br)  
4) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - UFPB. Campus Universitário, João Pessoa – PB; CEP 58.059-900. (83) 32167684. Email: [carmemgadelha@yahoo.com.br](mailto:carmemgadelha@yahoo.com.br)  
5) Laboratório de Saneamento –CT-UFPB. Campus Universitário, João Pessoa – PB; CEP 58.059-900. (83) 32167739. Email: [elsonsspb@bol.com.br](mailto:elsonsspb@bol.com.br)

## INTRODUÇÃO

Ao contrário do que se imagina, a maioria da água doce disponível na Terra é encontrada nos mananciais subterrâneos e não nos depósitos superficiais como rios lagos e barragens. As águas superficiais, por estarem mais expostas aos poluentes das mais diversas origens, se apresentam mais degradadas em relação às subterrâneas que, teoricamente, são naturalmente mais bem protegidas. No entanto, sabe-se que algumas atividades humanas vêm contribuindo para a diminuição da qualidade das águas subterrâneas.

A ocupação e uso ilegal ou inadequado do solo, o lançamento de esgotos domésticos, de efluentes industriais, a construção de sumidouros nas proximidades de aquíferos, a utilização indiscriminada de agrotóxicos, a fuga de redes de esgotos e de galerias de águas pluviais, vazamentos de poços de serviço, a má disposição final de resíduos sólidos e a presença de cemitérios, constituem as principais formas de poluição das águas subterrâneas.

O aumento da industrialização associado à intensa urbanização passou a gerar um grande volume de resíduos sólidos que por sua vez exigiu áreas para a sua deposição. Existem três tipos de ambientes para o depósito do lixo: os aterros sanitários, aterros controlados e os lixões. Segundo Souza & Naval (2000), os aterros sanitários, mesmo aqueles que possuem todas as instalações de proteção ambiental, não podem ser considerados como obras herméticas. Os lixões estão presentes na maioria dos municípios brasileiros e são a forma mais danosa ao ambiente e às águas subterrâneas, devido ao arraste do chorume pelas águas da chuva até o lenço freático.

Desse modo, o conhecimento da direção predominante do fluxo subterrâneo constitui uma importante ferramenta para assegurar que tais atividades de uso e ocupação do solo tragam o mínimo risco à qualidade das águas subterrâneas.

O município de João Pessoa, durante 45 anos, também viveu a realidade brasileira no que diz respeito à deposição do lixo. Criado em 1958, o Lixão do Roger acumulou durante esses anos resíduos de João Pessoa, além de também comportar os resíduos de Bayeux e Cabedelo nos últimos anos de funcionamento. O antigo Lixão somente foi desativado no ano de 2003, e contribuiu de forma significativa para o aumento dos problemas ambientais, sociais e de saúde da população circunvizinha.

O manancial subterrâneo é muitas vezes usado pela população pessoense sem que haja nenhum tratamento prévio. Este trabalho tem como finalidade estudar qualitativamente a água subterrânea na área do antigo Lixão do Róger comparando-a com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, além de verificar se a direção predominante do fluxo subterrâneo influencia a qualidade da água e avaliar se o depósito de lixo ainda contribui significativamente para a degradação desse precioso recurso hídrico.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

### **Poluição e Contaminação das águas**

A poluição das águas é principalmente resultante da adição de substâncias que alteram a natureza do corpo hídrico e prejudicam seus usos subsequentes (VON SPERLING, 2005). Porém esse conceito de poluição é muito relativo, uma vez que uma classe de água pode ser considerada adequada para um determinado uso e ao mesmo tempo imprópria para outro. A contaminação está associada à presença de microorganismos patogênicos que a tornam inadequada ao consumo humano. As fontes que poluem as águas podem ser diversas como: poluição natural, poluição causada por esgotos domésticos, por efluentes industriais e pela drenagem de áreas agrícolas e urbanas.

De acordo com o uso que se faz da água, devem ser atendidos padrões específicos de qualidade. No Brasil, foram estabelecidos pela primeira vez em 1990 os padrões de potabilidade, através da portaria nº 36 do Ministério da Saúde que fixava valores máximos para as características físicas, químicas, organolépticas e bacteriológicas da água, além de definir critérios para as coletas das amostras. No entanto, no ano de 2000 ela foi revogada pela portaria nº 1469, que por sua vez, foi substituída pela de nº 518 do ano de 2004 e finalmente revogada pela Portaria nº 2914/2011 todas do Ministério da Saúde.

### **Fluxo de Água Subterrânea**

A direção do fluxo das águas subterrâneas de um aquífero segue uma trajetória que vai dos locais onde o nível da água do lençol é mais alto para áreas de nível mais baixo, ou seja, o lençol freático flui das chamadas zonas de recarga para as zonas de descarga. As zonas de recarga são os locais onde ocorre a infiltração capaz de alimentar o aquífero. Em aquíferos confinados constitui a região em que o mesmo aflora na superfície onde o nível piezométrico local está mais elevado que a pressão da parte saturada do aquífero. Áreas de descarga são os locais onde as águas subterrâneas emergem do sistema, em vales, constituindo nascentes e alimentando rios ou até mesmo mares. A profundidade do lençol freático varia de acordo com a topografia local e com o clima predominante (OTUTU, 2010).

A facilidade com que a água pode fluir através de um maciço rochoso depende de uma combinação entre o tamanho dos poros e do grau em que eles estão interligados.

FREEZE & CHERRY (2002) afirma que o fluxo da água subterrânea nos aquíferos nem sempre reflete o fluxo das águas nas superfícies, por tanto, é necessário saber a direção do fluxo do lençol freático e tomar medidas para assegurar que os usos da terra nas áreas de recarga não representem uma ameaça à qualidade das águas subterrâneas.

MANGORE & TAIGBEN (2004) relatam que o fluxo dos aquíferos é muito mais lento que o das águas superficiais e por esse motivo variações temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade são mais reduzidas em sistemas de águas subterrâneas.

### **Disposição de Resíduos e Cuidados com o Manancial Subterrâneo**

Qualquer aterro sanitário deve ser construído e operado de modo a manter as qualidades das águas subterrâneas atendendo a recomendação da NBR – 13.896. Esta norma afirma que a qualidade das águas subterrâneas deve atender aos padrões de potabilidade da legislação vigente (ABNT, 1997).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua resolução de nº 396 de 03 de abril de 2008 (BRASIL, 2008) classifica as águas subterrâneas em:

- Classe I – Classe especial: água dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

- Classe II – Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

- Classe III – Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

- Classe IV – Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

- Classe V – Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;

- Classe VI – Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

No Brasil, os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade são estabelecidos pela Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Em outras palavras, a Portaria define os valores máximos permissíveis para as características físicas, químicas,

organolépticas e bacteriológicas da água quando esta tem por finalidade o consumo humano. A tabela 1 abaixo traz os parâmetros utilizados nesse projeto com seus respectivos valores máximos permitidos pelo Ministério da Saúde.

Tabela 1: Valores Máximos citados pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde

| <b>Parâmetro Analisado</b>                   | <b>Valor Máximo Permitido (VMP)</b> |
|--|-------------------------------------|
| pH   | 6,0 – 9,5                           |
| Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )           | ND                                  |
| Alcalinidade ( $\text{mg/L CaCO}_2$ )        | ND                                  |
| Dureza ( $\text{mg/L CaCO}_3$ )              | 500 $\text{mg/L}$                   |
| Cor ( $\text{mg/L Pt}$ )                     | 15,0 uH                             |
| Turbidez (NTU)                               | 1 NTU                               |
| Sólidos Totais Dissolvidos ( $\text{mg/L}$ ) | 1000 $\text{mg/L}$                  |
| DBO ( $\text{mg/L}$ )                        | 5 $\text{mg/L}$                     |
| DQO ( $\text{mg/L}$ )                        | ND                                  |
| Óleos e graxas                               | ND                                  |
| Cloretos ( $\text{mg/L Cl}$ )                | 250 $\text{mg/L}$                   |
| Amônia ( $\text{mg/L N}$ )                   | 1,5 $\text{mg/L}$                   |
| Nitrito ( $\text{mg/L N}$ )                  | 1 $\text{mg/L}$                     |
| Nitrato ( $\text{mg/L N}$ )                  | 10 $\text{mg/L}$                    |
| Sulfato ( $\text{mg/L SO}_4$ )               | 250 $\text{mg/L}$                   |
| Fósforo ( $\text{mg/L P}$ )                  | ND                                  |
| Alumínio ( $\text{mg/L Al}$ )                | 0,2 $\text{mg/L}$                   |
| Chumbo ( $\text{mg/L}$ )                     | 0,01 $\text{mg/L}$                  |
| Coliformes termotolerantes<br>NMP/100mL      | Ausentes                            |

**Fonte:** Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

## **METODOLOGIA**

Margeado pelo manguezal do rio Sanhauá, com uma área de 17 ha, o antigo lixão do Roger, durante 45 anos, acumulou resíduos de João Pessoa a céu aberto, trazendo conseqüências e impactos negativos ao ambiente nas áreas de seu interior e além de suas fronteiras, em áreas próximas. Em seus últimos anos de operação também recebeu resíduos oriundos também dos municípios de Bayeux e Cabedelo.

A determinação da direção predominante do fluxo da água subterrânea foi obtida através de seis poços localizados no interior do antigo lixão, denominados de PA, PB, PC, PD, PE e PF. Dentre esses, os poços PA(P5) e PE(P6), já existiam, sendo utilizados para coleta da água e posterior análise de suas características físico-químicas e biológicas, já os demais poços foram

perfurados em Dezembro de 2010, quando se iniciou o estudo do fluxo subterrâneo. Vale salientar que todos os poços são rasos, com profundidade de aproximadamente sete metros, ou seja, não ultrapassam a camada impermeável que separa o aquífero livre do confinado. Um levantamento topográfico foi realizado no interior do lixão para que fosse possível a obtenção das cotas do lençol freático nos poços citados acima. A partir do nível freático nos seis poços foi possível encontrar a direção predominante do escoamento da água subterrânea através do georeferenciamento dos dados e da sua interpolação com o software Surfer8 da Golden software, que nos forneceu mapas tridimensionais da direção predominante do fluxo subterrâneo. A figura ilustra a localização espacial dos poços de medição do nível freático no interior do antigo lixão do Roger, e as coordenadas UTM dos piezômetros estão contidas na tabela 1.



Figura 1: Imagem de satélite do antigo Lixão do Róger ilustrando os pontos de medição do nível freático. Fonte: Google Earth.

Tabela 2- Coordenadas UTM dos seis poços de medição de nível freático.

| POÇOS | PA (P5)   | PB        | PC        | PD        | PE (P6)   | PF        |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| X     | 291870,2  | 291975,5  | 291871,6  | 291671,4  | 291617,5  | 291559,6  |
| Y     | 9213857,7 | 9214081,1 | 9214209,5 | 9214138,2 | 9213873,5 | 9213703,6 |

Para a determinação de suas características físico-químicas e microbiológicas, a água subterrânea foi coletada em dois poços rasos, isto é, acima da camada calcária confinante, com profundidade de sete metros, chamados de P5 e P6, sendo o primeiro situado à montante e o último a jusante do antigo lixão do Roger. Esses poços correspondem respectivamente aos poços PA e PE, e foram assim denominados pelo fato de fazerem parte de um monitoramento com mais poços numerados. As coletas de água subterrânea tiveram início em Março de 2006. Todas as coletas foram realizadas no período da manhã entre 8:00 h e 12:00 h, e em cada um dos poços, foram

retiradas 7 amostras, sendo 3 delas armazenadas em recipientes escuros (evitando a ação da luz), 3 em recipientes transparentes e a última constituindo uma pequena amostra armazenada em um saco plástico estéril para a análise microbiológica.

Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade, alcalinidade, dureza, cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas, cloretos, amônia, nitrito, nitrato, sulfato, fósforo total, alumínio, chumbo e coliformes termotolerantes, todos examinados em laboratório através *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al, 1995)*.

Os resultados obtidos a partir das análises nos poços à montante e à jusante do antigo lixão em conjunto com a informação relativa à direção predominante do fluxo subterrâneo nos permitiu averiguar se o antigo lixão do Roger contribui significativamente para a degradação do aquífero local.

Foi realizada a análise de variância, que se constitui em um procedimento estatístico para teste de hipóteses com a finalidade de comparar as médias de dois ou mais grupos amostrais. O resultado deste teste é uma razão F, onde a variação entre grupos é representada pelo numerador e a variação dentro dos grupos é composta pelo denominador. Os grupos a serem formados foram referentes aos valores dos parâmetros de qualidade da água analisados nos poços P5 e P6, situados à montante e à jusante do antigo lixão, respectivamente. Depois de calculado o valor de F, o passo seguinte foi compará-lo com o valor  $F_c$  crítico da distribuição F para um nível de significância de 5%, obtida através da tabela Fisher. Se  $F < F_c$ , as médias não são significativamente diferentes, caso contrário, pode-se dizer que as médias diferem significativamente.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Fluxo subterrâneo**

Foram realizadas oito medições de nível do lençol freático nos seis poços nas seguintes datas: 09/02/2011, 16/02/2011, 04/04/2011, 28/07/2011, 17/11/2011, 21/12/2011, 27/04/2012 e 24/05/2012. A tabela 3 contém os valores das cotas do aquífero medidas nos seis poços nas respectivas datas.

O município de João Pessoa está inserido no clima quente e úmido do tipo As', segundo a classificação de Koeppen, apresentando chuvas do outono-inverno com período de estiagem de 5 a 6 meses. É no outono que ocorre maior umidade com a atuação da Massa Equatorial Atlântica e os ventos alísios de sudeste que no inverno unem-se às Massas Polares de Sul produzindo chuvas abundantes. Praticamente só existem duas estações no ano na cidade: o inverno com temperatura média na faixa de 24° C, época em que ocorre o período de chuvas nos meses de março a agosto

com máxima pluviometria em junho (389,6 mm) e o verão com temperatura média na faixa de 26° C, em que ocorre o período com poucas chuvas ou seco, nos meses de setembro a fevereiro com mínima pluviometria em novembro (32,8 mm). A média pluviométrica anual é de 1.740 mm, enquanto que a evaporação média anual medida em tanque classe A é de 1313,5 mm. (NÓBREGA, 2002). A figura 3 ilustra as médias pluviométricas mensais, obtidas na estação climatológica do INMET, na BR-101.

Tabela 3- Cotas Topográficas da superfície freática medidas nos seis poços do antigo lixão

| Cotas do Nível da Água Subterrânea (metros) |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Datas                                       | PA    | PB    | PC    | PD    | PE    | PF    |
| 09/02/2011                                  | 18,96 | 16,08 | 16,14 | 16,16 | 16,13 | 15,97 |
| 16/02/2011                                  | 18,98 | 16,11 | 16,16 | 16,19 | 16,12 | 15,97 |
| 04/04/2011                                  | 19,11 | 16,11 | 16,16 | 16,17 | 16,15 | 16,02 |
| 28/07/2011                                  | 19,44 | 16,37 | 16,52 | 16,34 | 16,32 | 16,2  |
| 17/11/2011                                  | 19,14 | 16,09 | 16,09 | 16,02 | 16,13 | 15,97 |
| 21/12/2011                                  | 19,03 | 15,97 | 15,89 | 15,76 | 16,07 | 15,92 |
| 27/04/2012                                  | 18,89 | 16,03 | 15,92 | 15,81 | 16,07 | 15,96 |
| 24/05/2012                                  | 18,84 | 16,28 | 16,28 | 16,18 | 16,15 | 16,21 |

A figura 2 ilustra um gráfico com os valores das cotas medidas em campo para os poços estudados.

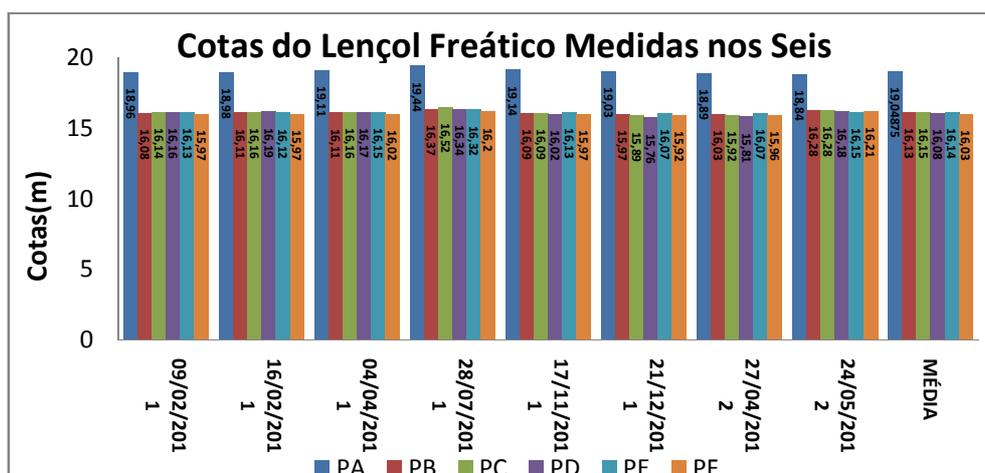


Figura 2: Gráfico com todas as medições do nível do aquífero nos poços estudados

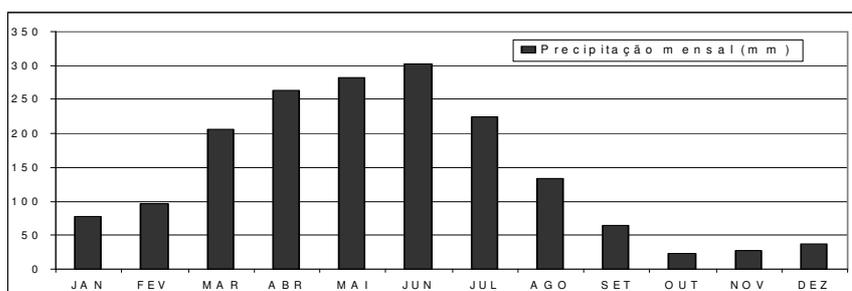


Figura 3: Precipitação Média Mensal em João Pessoa

Com o início do período chuvoso no município, o manancial subterrâneo é frequentemente alimentado através das zonas de recarga. Esse fato foi observado através das medições de nível do lençol freático no ano de 2011. Em 2012, esse fato não foi observado, pois este ano está sendo considerado seco e apresentou precipitações abaixo da média até a última medida realizada.

Dentre os resultados das cotas obtidos em campo, escolheram-se os das medições de 28/07/2011 e 21/12/2011 para representar os períodos úmido e chuvoso do município, respectivamente.

Os seis poços foram georeferenciados no software AturoCAD e as informações foram importadas para o programa Surfer 8, que fez interpolação desses dados utilizando a Krigagem, gerando mapas em 3D indicando a direção predominante do fluxo subterrâneo. Foram gerados dois mapas referentes ao período úmido (28/07/2011) e seco (21/12/2011), com a finalidade de assegurar que não há alteração na direção predominante do fluxo subterrâneo durante esses períodos. As figuras 3 e 4 ilustram a direção predominante do fluxo subterrâneo nos períodos chuvoso e seco, geradas pelo Surfer.

**Fluxo Subterrâneo - Período Chuvoso**

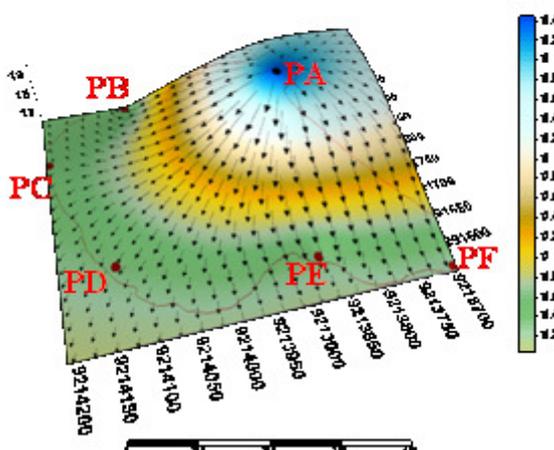


Figura 4: direção predominante do fluxo subterrâneo no período úmido

### Fluxo Subterrâneo - Período Seco

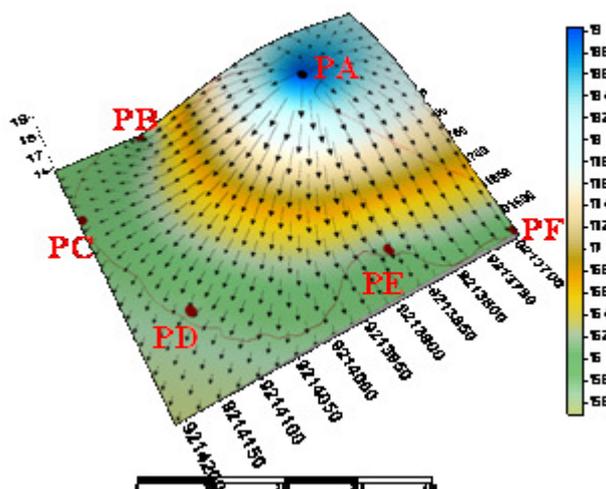


Figura 5: direção predominante do fluxo subterrâneo no período seco

Os mapas tridimensionais gerados mostram que o fluxo subterrâneo vai do ponto PA para os demais (PB, PC, PD, PE e PF). Esse resultado já era esperado devido à existência do manguezal do rio Sanhauá, que circunda todo o antigo Lixão do Róger, que provavelmente é uma zona de descarga do aquífero.

### Qualidade da Água Subterrânea

Seguem abaixo os resultados referentes às análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea (P5 e P6) realizadas em laboratório.

- Potencial Hidrogeniônico – pH

A variação temporal do pH nos poços estudados é ilustrada pela figura 6.

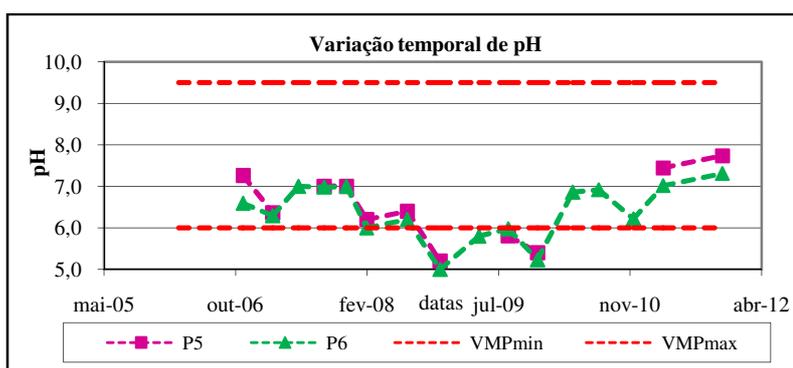


Figura 6: Variação temporal do pH nos poços P5 e P6

A figura 6 mostra que os valores de pH se mantiveram dentro do limite permitido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, com exceção de 3 e 5 coletas para os poços P5 e P6, respectivamente.

- Condutividade Elétrica

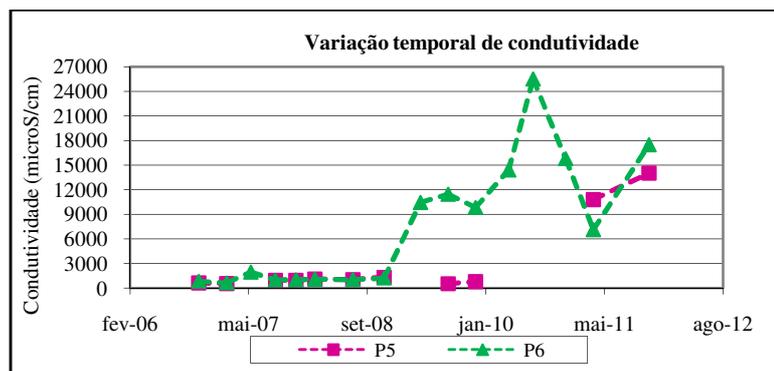


Figura 7: Variação Temporal da Condutividade Elétrica (µS/cm)

A condutividade elétrica da água não é um parâmetro citado pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Para o poço P5 os valores da CE oscilaram na faixa entre 500-14000 µS/cm enquanto que o P6 apresentou valores superiores em algumas coletas, chegando a um máximo de 25500 µS/cm, como é possível observar na figura 7.

- Alcalinidade

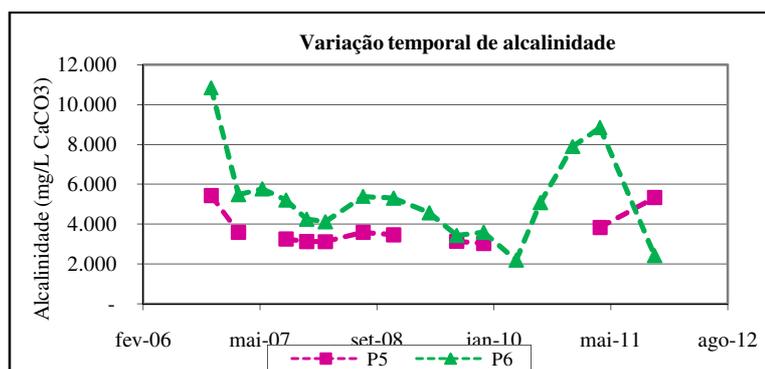


Figura 8: Variação Temporal da Alcalinidade.

A alcalinidade da água é outro parâmetro não citado pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. De acordo com a figura 8, observa-se que no poço P5 o valor deste parâmetro varia entre 3000 e 5600 mg/L CaCO<sub>3</sub> enquanto que no poço P6, observa-se valores mais elevados com um pico próximo de 11000 mg/L CaCO<sub>3</sub>, que podem ser justificados pela localização do mesmo à jusante da massa de lixo.

- Dureza

O Ministério da Saúde fixa, em sua Portaria 2914/2011, um valor máximo permitido de 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub> para a dureza da água. Nos poços P5 e P6 os valores de dureza estiveram sempre acima do VMP, com o poço a montante oscilando entre 600 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, e o de jusante com valores entre 1800 e 12000 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

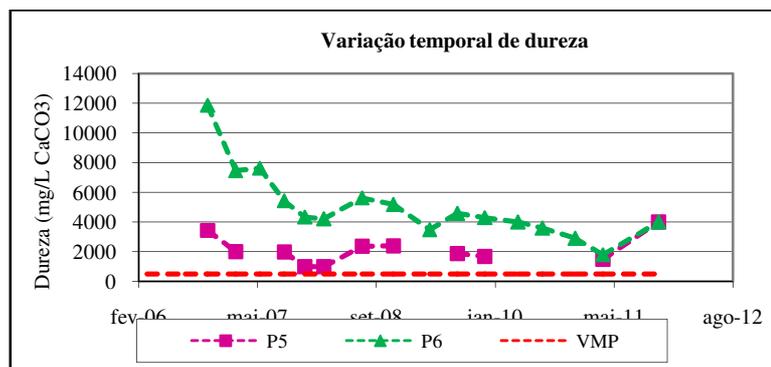


Figura 9: variação temporal da dureza para os poços P5 e P6.

• Cor Aparente

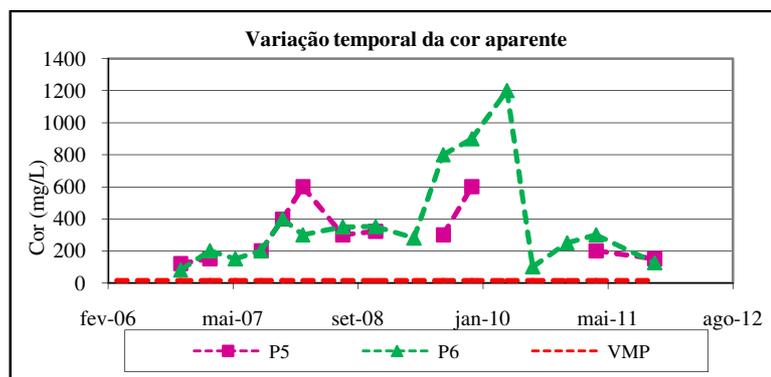


Figura 10: Variação temporal da cor aparente para os poços P5 e P6.

A figura 10 mostra que os poços P5 e P6 apresentaram valores de cor aparente sempre acima do máximo permitido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que é de 15 unidades Hazen (uH), com o poço a jusante apresentando valores quase sempre superiores aos observados no poço de montante nas respectivas datas de coleta.

• Turbidez

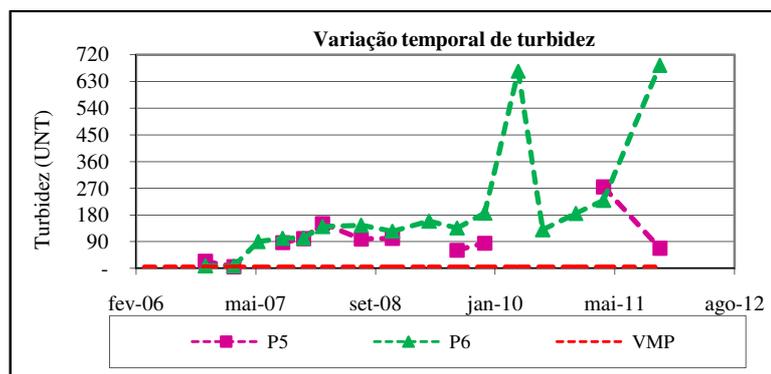


Figura 11: Variação temporal da turbidez para os poços P5 e P6.

A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde fixa um valor máximo de 5 UNT para a turbidez. A figura 11 mostra que os poços estudados estiveram sempre acima do limite permitido, exceto nas duas primeiras coletas, com o P5 apresentando um pico próximo de 270 UNT e o P6 atingindo um valor máximo próximo de 700 UNT.

- Sólidos Totais Dissolvidos

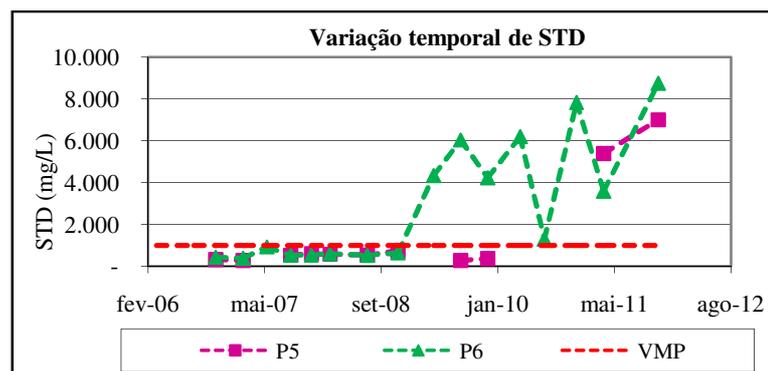


Figura 12: Variação Temporal dos Sólidos Totais Dissolvidos nos poços P5 e P6

A figura 12 mostra que os valores de STD para o poço P5 se encontraram abaixo do máximo permitido pelo Ministério da Saúde (1000 mg/L) nas nove primeiras coletas e depois disso se manteve acima desse limite atingindo um valor próximo de 7000 mg/L. Observou-se que o poço P6 se manteve acima do máximo permitido na oito últimas coletas estando abaixo desse limite nas primeiras coletas. O comportamento dos dados de STD se assemelhou bastante ao dos dados de condutividade, o que já era esperado, devido à relação que existe entre esses dois parâmetros.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5</sub>

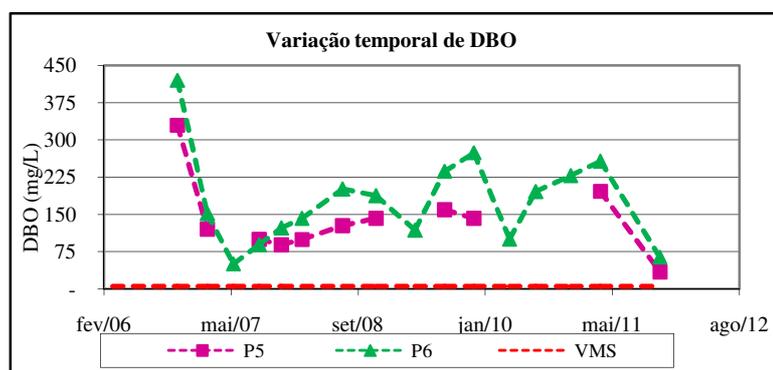


Figura 13: Variação Temporal da DBO<sub>5</sub> nos poços P5 e P6

A DBO<sub>5</sub> apresentou um comportamento semelhante nos dois poços de estudo com o P6 apresentando valores ligeiramente superiores ao P5. Este parâmetro variou no intervalo de 50 a 450 mg/L. A Demanda Bioquímica de Oxigênio não é citada pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, porém alguns autores como Ferreira & Pádua (2006) sugerem que em águas não poluídas este parâmetro não ultrapasse 5 mg/L, e ambos os poços de estudo apresentaram valores superiores ao VMS em todas as coletas.

- Demanda Química de Oxigênio- DQO

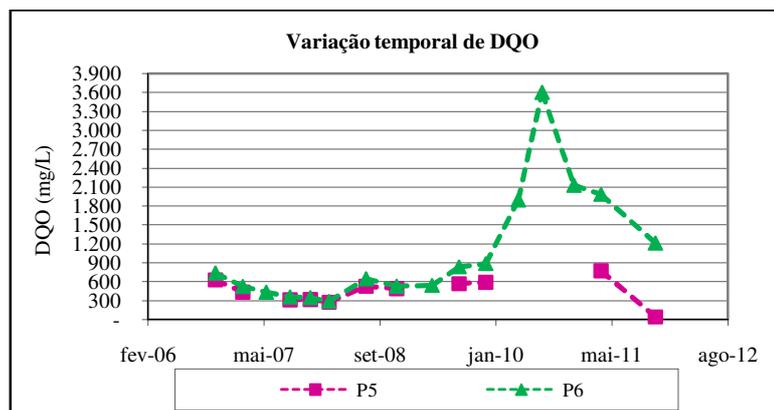


Figura 14: Variação Temporal da DQO nos poços P5 e P6

A figura 14 ilustra a variação da DQO ao longo do tempo. É possível notar que os poços P5 e P6 apresentam comportamento semelhante assim como na DBO<sub>5</sub>, com valores entre 45 e 3600 mg/L. O Ministério as Saúde não cita a DQO em sua Portaria de número 2914/2011, que trata dos padrões de potabilidade da água.

- Óleos e Graxas

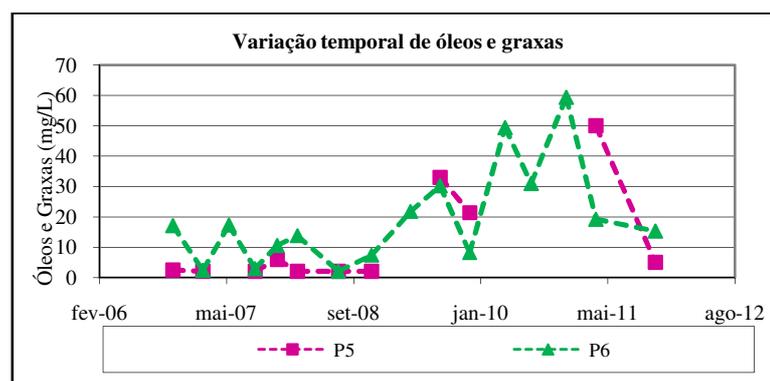


Figura 15: Variação Temporal dos Óleos e Graxas nos poços P5 e P6.

Os poços P5 e P6 apresentaram óleos e graxas em todas as coletas, com o P6 atingindo um pico de 59,4 mg/L. Em águas destinadas ao abastecimento público esse parâmetro deve estar ausente. Ver Figura 15.

- Cloretos

A variação temporal dos Cloretos no par de poços estudado é ilustrada pela figura 16. É possível notar que em todas as coletas foi detectada a presença de cloretos acima do máximo permitido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde que é de 250mg/L.

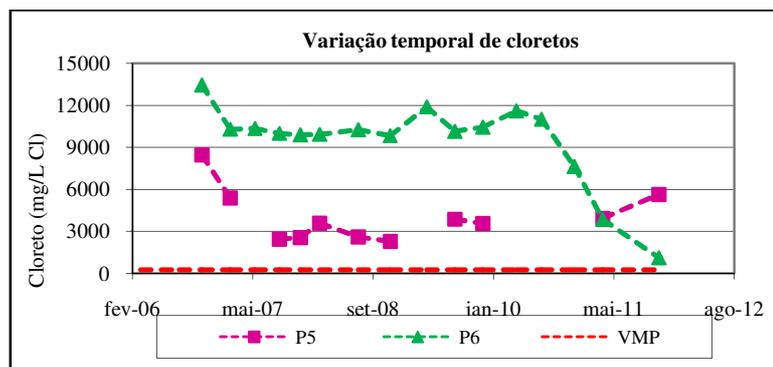


Figura 16: Variação Temporal dos Cloretos nos poços P5 e P6.

- Amônia

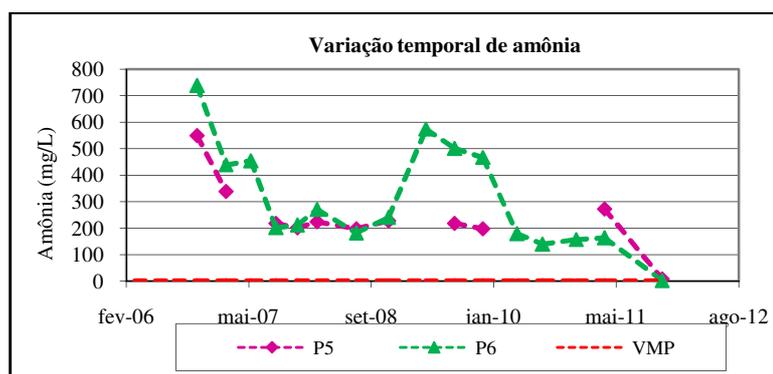


Figura 17: Variação Temporal da Amônia nos poços P5 e P6.

A amônia variou no intervalo de 2 a 720 mg/L nas coletas realizadas (figura 17), quando deveria ser de no máximo 1,5 mg/L de acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, caso fosse utilizada para abastecimento humano.

- Nitrito

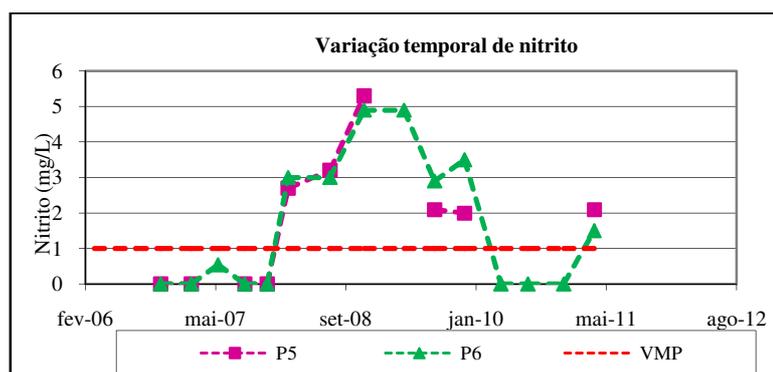


Figura 18: Variação Temporal do Nitrito nos poços P5 e P6.

A figura 18 mostra que a concentração de nitrito variou de 0 a 5,3 mg/L no conjunto de poços estudados. O Ministério da Saúde fixa um valor máximo de 1 mg/L para Nitrito em sua Portaria de número 2914/2011. No poço P5, a concentração para este parâmetro esteve acima do máximo permitido em seis coletas, enquanto o P6 apresentou sete valores acima de 1 mg/L.

- Nitrato

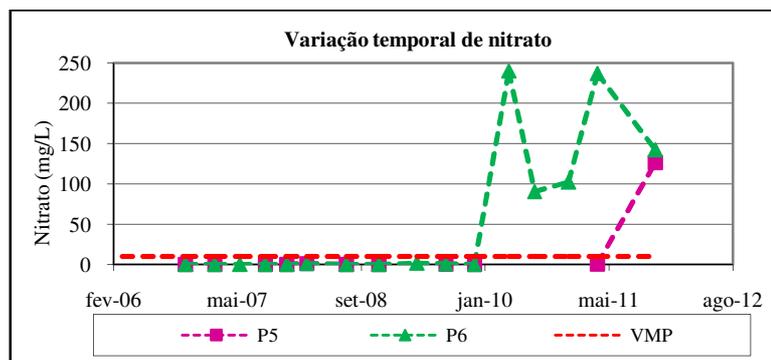


Figura 19: Variação Temporal do Nitrato nos poços P5 e P6.

Com exceção das cinco últimas coletas do poço P6 e das duas últimas do poço P5, os valores de nitrato se mantiveram abaixo de 10 mg/L, que é o máximo permitido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Ver figura 19.

• Sulfato

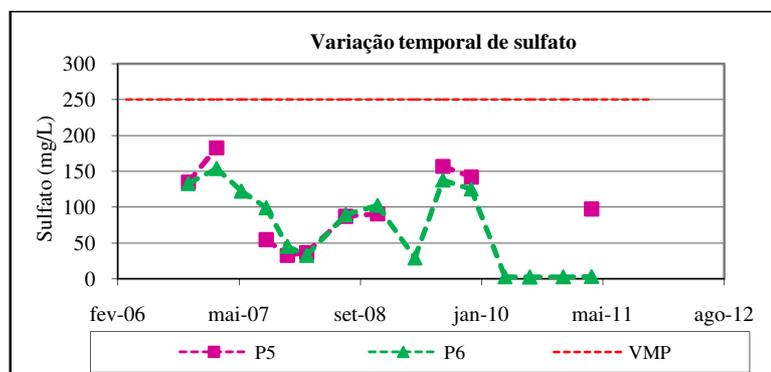


Figura 20: Variação Temporal do Sulfato nos poços P5 e P6.

A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde fixa um valor máximo de 250 mg/L. De acordo com a figura 20 os poços P5 e P6 apresentaram um comportamento bastante semelhante e em nenhum momento ultrapassaram o limite máximo estabelecido, apresentando picos inferiores a 200 mg/L.

• Fósforo Total

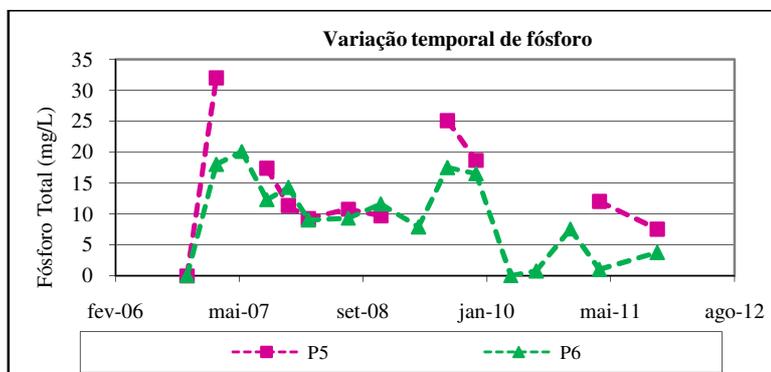


Figura 21: Variação Temporal de Fósforo Total nos poços P5 e P6.

A concentração de Fósforo Total variou de 0 a 32 mg/L nos poços estudados, com o P5 apresentando valores superiores que o P6 na maioria das coletas. O Ministério da Saúde não cita o parâmetro fósforo total em sua Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

- Alumínio

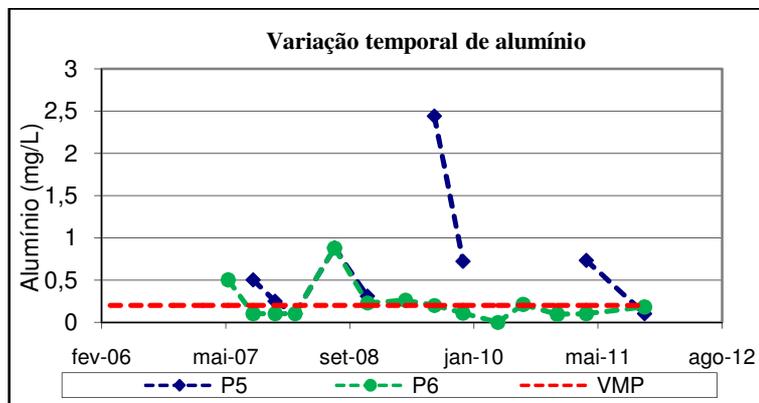


Figura 22: Variação Temporal de Alumínio nos poços P5 e P6.

Para o Alumínio, os valores da concentração do poço P5 foram superiores ao máximo permitido pelo Ministério da Saúde (0,2 mg/L) e aos valores encontrados nas coletas do poço P6, este último apresentando valores, na maioria das coletas, abaixo do limite permitido pela Portaria 2914/2011. Ver figura 22.

- Chumbo

A figura 23 mostra um comportamento praticamente idêntico da concentração de chumbo nos dois poços analisados. A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde fixa um valor máximo de 0,01 mg/L para o chumbo na água. O limite foi superado pelos poços na maioria das coletas.

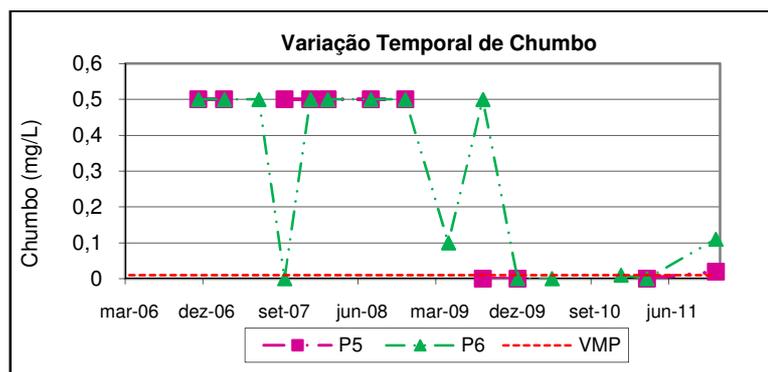


Figura 23: Variação Temporal de Chumbo nos poços P5 e P6.

- Coliformes Termotolerantes

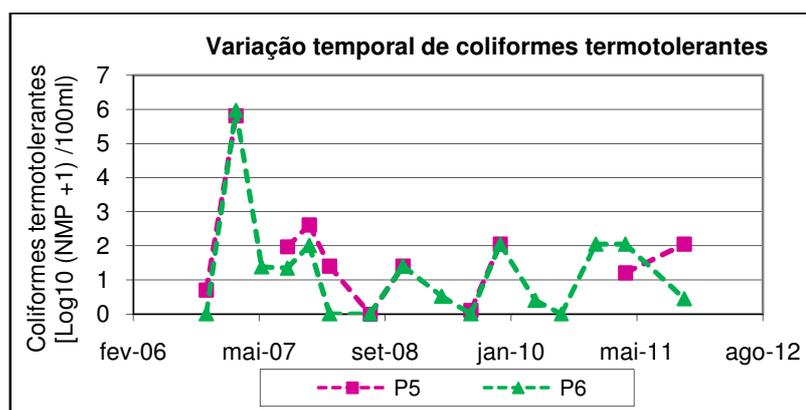


Figura 24: Variação Temporal dos Coliformes Termotolerantes nos poços P5 e P6.

Os coliformes termotolerantes estiveram presentes na grande maioria dos casos, chegando até cerca de  $10^6$  NMP/100 mL nos pontos P5 e P6 quando deveriam estar ausentes segundo a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Ver figura 24.

### Análise Estatística – Teste da Variância

Tabela 4- Análise de Variância entre os poços P5 e P6.

| Parâmetro                  | F     | Fc   | Resultado | Conclusão                      |
|----------------------------|-------|------|-----------|--------------------------------|
| pH                         | 0,2   | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Condutividade              | 3,04  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Alcalinidade               | 4,62  | 4,24 | Fc<F      | Diferem Significativamente     |
| Dureza                     | 15,04 | 4,24 | Fc<F      | Diferem Significativamente     |
| Cor                        | 0,45  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Turbidez                   | 2,45  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| STD                        | 1,76  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| DBO <sub>5</sub>           | 1,20  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| DQO                        | 4,69  | 4,24 | Fc<F      | Diferem Significativamente     |
| Óleos e Graxas             | 1,41  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Cloretos                   | 28,18 | 4,24 | Fc<F      | Diferem Significativamente     |
| Amônia                     | 0,96  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Nitrito                    | 0,03  | 4,28 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Nitrato                    | 2,00  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Sulfato                    | 1,75  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Fósforo total              | 2,36  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Alumínio                   | 4,86  | 4,32 | Fc<F      | Diferem Significativamente     |
| Chumbo                     | 0,16  | 4,26 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |
| Coliformes Termotolerantes | 0,77  | 4,24 | F<Fc      | Não diferem Significativamente |

## CONDERAÇÕES FINAIS

O estudo da direção predominante do fluxo subterrâneo no antigo lixão do Roger mostrou que a água vai do poço PA (P5) para os demais (PB, PC, PD, PE (P6) e PF). Esse resultado era esperado uma vez que o lixão é margeado por um manguezal, que provavelmente é alimentado pela água subterrânea constituindo assim uma zona de descarga (baixas cotas). De acordo com os dados medidos em campo referentes à cota do lençol freático, pode-se concluir que não há alteração desse fluxo nos períodos chuvoso e seco, ocorrendo apenas uma elevação do nível freático.

A análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea coletadas nos poços P5 e P6 mostra que a mesma não deve ser consumida pela população sem que haja tratamento, pois todos os parâmetros citados pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde estiveram acima do máximo permitido, com exceção do sulfato.

Alguns parâmetros como amônia e fósforo indicam poluição orgânica recente, e outros como os cloretos são característicos de efluentes domésticos, o que nos leva a crer que existem outras fontes poluidoras interferentes na qualidade da água na área de estudo. A presença de coliformes termotolerantes na maioria das coletas reforça esta hipótese.

O teste da análise de variância mostrou que as médias entre os dois poços estudados foram significativamente diferentes apenas para a alcalinidade, dureza, DQO, cloretos e alumínio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896: **Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

APHA.AWWA & WEF, Standart Methods of the Examination of Water and Wastewater.19<sup>th</sup> edition. New York: Public Health Association Inc, 1995.

BRASIL. **Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011**: Estabelece os procedimentos e responsabilidades referentes ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde. Brasília – DF. 2011

BRASIL. **Resolução 396 de 03 de Abril de 2008**: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providencias. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília – DF. 2008.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**.Prentice-Hall, Englewwod Cliffs, New Jersey.1979. 604 p.

MANGORE, E.; TAIGBENU A.E. **Land-use Impacts on the Quality of Groundwater in Bulawayo**. Water SA, v.30, n.4, p. 453 – 464, 2004.

NÓBREGA, Cláudia Coutinho. **Viabilidade Econômica com Valoração Ambiental e Social de Sistemas de coleta Seletiva – estudo de caso: João Pessoa/ PB. 2003**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). UFCG/CCT, Campina Grande – PB.

OTUTU, Julius Oseji. **Determination of Groundwater Flow Direction at Meu and Ogume Kingdoms/Nigeria**. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, v.5, n.3, p. 310 – 314, 2010.

SOUZA, Alice Rocha de; NAVAL, Liliana Pena. **Caracterização das águas sob influência do aterro sanitário de Palmas**. In: IX SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, **Anais...** Porto Seguro, 2000. CD-ROM.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Editora UFMG. 2005.