

# APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE FILTRAÇÃO EM MARGENS EM UM RESERVATÓRIO EUTROFIZADO NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

Laércio Leal dos Santos; Jaime J. S. P. Cabral; Roberto Theodózio de Melo  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
[laercioeng@yahoo.com.br](mailto:laercioeng@yahoo.com.br) ; [jcabral@ufpe.br](mailto:jcabral@ufpe.br) ; [theodozio@ig.com.br](mailto:theodozio@ig.com.br)

Renato José Reis Molica; Timóteo Herculino da Silva Barros  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
[rmolica@ufrpe.br](mailto:rmolica@ufrpe.br) ; [thymoteo\\_herculino\\_3@hotmail.com](mailto:thymoteo_herculino_3@hotmail.com)

## ABSTRACT

One of the main environmental problems of aquatic ecosystems is eutrophication, which causes adverse environmental, economic and health. In semi-arid, water bodies tend to hold this process. One consequence of eutrophication is the blooming of phytoplankton species, especially cyanobacteria, which can release toxins that are considered causes of animal and human poisoning. To minimize these problems in filtration technology Margin (FM) was applied in the public water supply reservoir Mundaú in semi-arid northeast of the city Garanhuns-PE. A well was built on the banks of the spring and through a continuous pumping, produces a difference in hydraulic head induced the water to pass through the porous medium to the well. In this passage, water has an attenuation or elimination of their contaminants. The results, though preliminary, suggests a technical efficiency in the elimination and reduction of physical and chemical contaminants and cyanobacteria.

**Palavras-Chave:** Filtração em Margem, Cianobactérias, Eutrofização.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

As ações antrópicas têm modificado o clima em diversas regiões e muitas vezes as condições necessárias à manutenção da vida têm sido prejudicadas. A conscientização da importância dos recursos hídricos na qualidade de vida da população vem originando demandas crescentes de informações para a elaboração de projetos, principalmente em pequenas bacias hidrográficas.

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade para os diversos usos, em especial, água para abastecimento humano, é uma preocupação da humanidade e tem sido debatido em diversas regiões, principalmente as semi-áridas.

Com o aumento da população ao longo dos anos, a gama de usos de água cresceu juntamente com as restrições relativas à sua qualidade. Os usos da água evoluíram ao longo do tempo, envolvendo a alimentação e higiene pessoal, agricultura, navegação, produção industrial, resfriamento de termelétricas e usinas nucleares e atividades recreativas.

Desde o início da humanidade a água tem sido utilizada como meio de disposição, depuração, dispersão e transporte de águas residuárias (domésticas e industriais, águas de drenagem de minas, de drenagem urbana, águas de retorno da irrigação, por exemplo) (Gastaudini, 2003). Qualquer uso da água provoca impactos sobre a qualidade do meio ambiente aquático. Além dos diversos usos diretos, várias atividades humanas tem efeitos indiretos e indesejáveis sobre os ambientes aquáticos, a saber: desmatamento e urbanização, liberação acidental de substâncias químicas e de águas residuárias, lixiviação de resíduos sólidos e excessivo uso de fertilizantes e agrotóxicos.

Derivado das atividades humanas citadas acima, um dos principais problemas ambientais dos ecossistemas aquáticos é o processo de eutrofização (enriquecimento de nutrientes), que causa grandes e negativos impactos ecológicos, econômicos e de saúde, mediante a deterioração da água.

No semi-árido nordestino, a eutrofização de reservatórios é ainda mais alarmante pelo fato de, naturalmente, os corpos d'água apresentar tendência a esse processo. Isso porque a concentração de nutrientes tende a aumentar devido à afluência de água aos reservatórios ocorrer apenas durante a estação chuvosa (cerca de quatro meses no ano) e possuir uma alta taxa de evaporação.

Uma das conseqüências da eutrofização é a floração de espécies fitoplanctônicas, especialmente de cianobactérias, que durante as florações podem liberar toxinas. Algumas espécies de cianobactérias têm sido apontadas como causadoras de envenenamento animal e humano, através da contaminação de águas usadas para recreação e abastecimento (Molica et al., 2005).

Segundo Molica et. al. (2009) o enriquecimento das águas com nutrientes provenientes de esgotos urbanos, efluentes provenientes de atividades agropastoris e industriais, principalmente nitrogênio e fósforo, é considerado a principal causa da ocorrência de florações de cianobactérias.

No Brasil, há algumas publicações que relacionam a ocorrência de florações de cianobactérias com o processo de eutrofização em corpos d'água. Por exemplo, Bouvy et al. (2000), que estudaram 39 reservatórios do semi-árido Pernambuco, concluíram - baseando-se na relação clorofila-a/fósforo total como parâmetro de classificação trófica - que 90% desses sistemas estavam eutrofizados, e destes, 70% apresentavam dominância de cianobactérias.

Alguns dos reservatórios com fins de abastecimento humano no Estado de Pernambuco encontram-se em avançado processo de eutrofização. A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) consegue ainda tratar e fornecer a água desses reservatórios em condições satisfatórias para população, aumentando para isso, o custo com o tratamento e, muitas vezes, optando por construir ou adotar outro reservatório.

A maioria dos corpos hídricos utilizados para o abastecimento público nas regiões semi-áridas possui água de baixa qualidade. Em quase todos os casos, esse fator negativo é atribuído ao alto índice de eutrofização do meio aquático devido à poluição causada por atividades antrópicas.

Os efluentes originados das atividades humanas como esgoto urbano, atividades agropastoris e industriais, enriquece as águas com nutrientes principalmente o nitrogênio e o fósforo, que são considerados a principal causa da ocorrência de florações de cianobactérias. De acordo com Tundisi (2003), o aumento da concentração de nitrogênio e fósforo desempenha um papel importante na formação das florações porque são elementos que compõem diversos componentes celulares (proteínas, ácidos nucléicos, membranas fosfolipídicas, etc.), todavia, naturalmente, suas concentrações são baixas nos ecossistemas aquáticos. Além disso, o pH neutro a alcalino e temperaturas acima de 20°C, também favorecerem a ocorrência de florações nos ecossistemas aquáticos (Chorus e Bartram 1999).

Sendo assim, a presença de florações de cianobactérias é muito comum nas regiões semi-áridas. Tais florações podem liberar toxinas que são altamente prejudiciais ao homem e aos animais que consomem tal recurso.

Sendo, muitas vezes, a única fonte hídrica da região, os reservatórios e rios são ainda utilizados pelas companhias de abastecimento para suprir a necessidade hídrica de milhares de pessoas. No estado

de Pernambuco, a COMPESA, ainda consegue utilizar esses mananciais, porém o tratamento desse recurso torna-se muito dispendioso.

Apesar de grandes avanços no desenvolvimento de tecnologias para o tratamento das águas para abastecimento público nos últimos 100 anos, ainda existem muitas dificuldades na busca por soluções seguras para garantir a produção de água potável a partir de mananciais superficiais. Essa busca torna-se incessante, uma vez que, a cada dia, novos compostos naturais e industriais são produzidos e até mesmo gerados durante o próprio tratamento de água que pode manifestar-se em concentrações potencialmente perigosas para a saúde humana.

Neste sentido, torna-se necessário o desenvolvimento de sistemas alternativos de tratamento de água utilizada para o abastecimento, seja um reservatório ou um rio, que sejam eficazes, de baixo custo e que possam contribuir com a qualidade ambiental e de vida das populações.

É com essa intenção que a Técnica de Filtração em Margem (FM) está sendo utilizada como uma tecnologia sustentável de tratamento da água utilizada para o abastecimento público em um reservatório que se encontra eutrofizado no semi-árido pernambucano, na cidade de Garanhuns-PE. A tecnologia de FM, consiste basicamente na captação da água no subsolo por um poço localizado a margem de um manancial. Desta forma, ocorre o rebaixamento do lençol freático adjacente ao manancial por bombeamento, formando um cone de depressão que favorece a infiltração induzida do corpo d'água superficial no solo/subsolo.

## 2.0 – ESTADO DA ARTE

### 2.1 - Filtração em Margens

A Filtração em margem (FM) que pode ser em lago (FML) ou em rio (FMR) é um tratamento de água alternativo que se mostra interessante por seu baixo custo e alta eficiência no tratamento de água. Essa tecnologia tem sido utilizada em muitos países, a exemplo de Alemanha e Estados Unidos (BANKFILTRATION, 2005). A Companhia de Água do Reino Unido (Glasgow Waterworks) foi uma das primeiras a utilizar a técnica de FM com o objetivo de abastecimento público, utilizando tubulações paralelas ao rio Clyde por volta de 1810 (Ray et al., 2002).

A FM é um processo simples e que pode ser empregado como um pré-tratamento ou como único tratamento antes da desinfecção na produção de água potável dependendo das condições da água a ser tratada (Mondardo, 2009).

Também conhecida como BankFiltration (BF), a FM utiliza os materiais sedimentares das margens e do fundo de um manancial superficial como meio filtrante. Para isso, são construídos poços de captação em suas margens, realizando-se um bombeamento contínuo, criando artificialmente, uma diferença de nível entre o manancial e o lençol freático, induzindo o escoamento da água em direção ao poço, com o objetivo de filtrar a água realizando a eliminação ou minimização dos contaminantes presentes na água superficial através da passagem da água pelo solo.

A água que chega ao poço é, na maioria das vezes, uma mistura entre as águas infiltradas recentemente através das margens e a do lençol freático. A proporção dessa mistura dependerá principalmente da distância do poço até a margem e de suas características como: vazão bombeada, condições hidrogeológicas locais, etc..

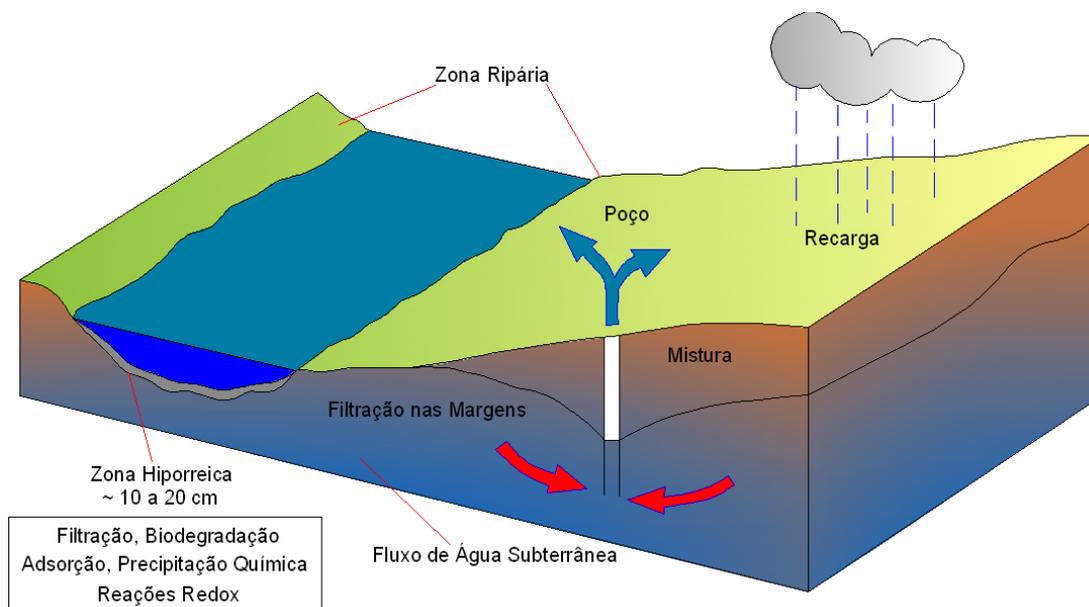
No Brasil, a FM não é geralmente aplicada para o abastecimento público, porém há casos em que é utilizada inconscientemente como, por exemplo, no Alto-Vale do Itajaí, no Estado de Santa Catarina, onde o abastecimento é realizado com água de boa qualidade, construindo-se poços, normalmente de 1,2 a 1,5 m de diâmetro, ao longo dos rios Itajaí do Sul, Itajaí do Oeste, Itajaí do Norte, todos afluentes do rio Itajaí Açu (Sens, et al. (2006) - PROSAB 4).

De acordo com Mondardo (2009) outro fator importante é o modo pelo qual a água se move no solo. Esse movimento depende de três forças que agem sobre ela, a saber:

- **Adsorção:** responsável por reter uma fina película de água em volta das partículas do solo, por atração molecular;
- **Capilaridade:** esse movimento retém ou move a água em pequenas aberturas, como resultado da tensão superficial;
- **Gravidade:** a gravidade move a água através dos poros maiores, por diferença de carga ou quando existe um gradiente hidráulico. A resultante dessas forças depende, em parte, da quantidade de umidade presente em relação ao espaço livre do material poroso.

Os fenômenos e princípios envolvidos na filtração da água pelo solo não são completamente conhecidos. Sabe-se que o processo da percolação remove muitos contaminantes e poluentes e evita que

alcancem o reservatório de água subterrânea ou o poço de FM. Os principais processos envolvidos na FM são: filtração (coagulação), biodegradação, sedimentação, adsorção, dispersão e mistura com águas subterrâneas (diluição). A Figura 2.1 apresenta o funcionamento da filtração em margem através de um poço, do qual se extrai uma vazão Q, localizado próximo de um manancial superficial.



**Figura 2.1** - Diagrama esquemático dos processos que afetam a qualidade da água durante a filtração em margens.

A FM depende essencialmente das características do solo, tanto pela produtividade do sistema, como pelas características da água pretendida. As seguintes ações podem ocorrer durante a filtração:

- **Hidrodinâmica:** advecção, dispersão e difusão;
- **Mecânica:** arraste de partículas nos espaços porosos;
- **Biológica:** degradação da matéria orgânica e mineralização de substâncias secundárias;
- **Físico-química:** adsorção, precipitação, oxiredução e troca iônica.

Segundo Soares, et al. (2006), os mecanismos dominantes no transporte de colóides em aquíferos são: advecção com o escoamento da água, dispersão, agregação e desagregação. Esses últimos são primeiramente relacionados com o tipo de solo e com a variabilidade da condutividade hidráulica. Segundo Donald et al. (2006), para locação do sistema de FM, é importante levantar as seguintes informações sobre o tipo de solo:

- **Condutividade hidráulica:** é recomendável que o valor seja pelo menos de 1 a 2 m/d;
- **Porosidade:** quanto maior o tamanho dos grãos e o valor da porosidade, maior será a porosidade específica ou vazão específica do aquífero;
- **Análise granulométrica:** quanto maior o tamanho dos grãos, maior será o tamanho dos poros;
- **Teor de matéria orgânica:** a presença de camadas ou bolsões de solo com matéria orgânica pode conferir à água características indesejáveis como, cor, sabor e odor, presença de ferro, manganês, sulfetos e outros íons.

Essas informações devem ser buscadas por meio da realização de estudos envolvendo: sondagens, ensaios de permeabilidade, testes de bombeamento e ensaios laboratoriais para análise do material que forma o aquífero.

Além da possível remoção dos contaminantes, há dois benefícios imediatos no uso dessa técnica: a diminuição do consumo de produtos químicos na desinfecção e na coagulação das águas, e a diminuição nos custos de operação das estações de tratamento de água, como por exemplo, a duração da carreira de filtração, tornando-as mais longas (Sens et al. (2006) - PROSAB 4).

Na Europa Ocidental, uma das primeiras utilizações de FM foi construída na região mais baixa do vale do Reno. Por causa dos baixos recursos hídricos da região, foi utilizada a FM para obtenção de água potável a uma população de 600 mil habitantes.

Segundo Ray et al., (2003) há mais de 100 anos a FM, principalmente a Filtração em Margens em Rios (FMR) vem sendo aplicada na Europa, com mais freqüência ao longo dos rios Reno, Elbe e Danúbio, produzindo água para abastecimento.

Ainda, segundo Ray et al., (2003) em 1892 houve uma grande explosão de cólera em Hamburgo na Alemanha, causada pelo uso direto das águas do rio Elbe para o abastecimento público. Isso conduziu ao uso de passagens naturais ou artificiais da água do rio pelo subsolo como nova forma de captação de água para o consumo humano. Na Alemanha as fontes de água usadas para o abastecimento obedecem à seguinte distribuição: 63,6% de água subterrânea, 15,3% de mistura de FMR, 13,3% da água superficial e 7,8% de nascentes.

Segundo estatísticas européias as fontes de abastecimento de água por membros da associação de saneamento do rio Reno, incluem 49,0% de FM, 33,0% de água subterrânea, 17,0% de água superficial e 1,0% de nascentes. A quantidade de água total filtrada nas margens do rio Reno totaliza um volume de 250 milhões m<sup>3</sup>/ano sendo que parte dessa água coletada é extraída ao longo de uma seção de 120 km do vale mais baixo do rio entre os rios Sieg e o rio Ruhr. A distância entre os poços e as margens do rio variam entre 50 a 250 m. Outras estações de FM de grande porte na Alemanha ficam situadas ao longo do rio Elbe (trecho superior) em torno das cidades de Dresden, de Meissen e de Torgau (Ray et al., 2003).

Algumas instalações de FM no rio Danúbio operam há mais de um século, como em torno de Viena, Áustria, a cidade de Bratislava na República Eslováquia. Outras instalações de FM podem ser observadas em Budapeste, na cidade de Belgrado na Iugoslávia.

Devido ao baixo custo que envolve a sua utilização, a FM vem se difundindo e, podem-se encontrar instalações nos Estados Unidos, com a utilização de coletores horizontais para captar grandes vazões em pequenas áreas como em: Lincoln, Nebraska, Louisville, Kentucky e cidade de Kansas.

### **2.1.1 - Funcionamento Hidráulico da FM**

A tecnologia de FM, como já mencionado, consiste basicamente na captação da água no subsolo por um poço localizado a margem de um manancial. Desta forma, ocorre o rebaixamento do lençol freático adjacente ao manancial por bombeamento, formando um cone de depressão que favorece a infiltração induzida do corpo d'água superficial no solo/subsolo.

Quando a capacidade de recarga do aquífero se iguala a vazão bombeada pelo poço, o cone de depressão e conseqüentemente, o nível dinâmico se estabiliza. Como mencionado à técnica utiliza os sedimentos do manancial como meio filtrante, assim, poços de captação são construídos nas margens do corpo d'água para que se forme artificialmente, através de bombeamento, um gradiente hidráulico capaz de levar água do manancial até o poço de produção, desta maneira, os contaminantes serão removidos no percurso.

Na implantação da FM, deve-se considerar vários aspectos e avaliar uma série de parâmetros que podem afetar o desempenho do sistema, tais como (Ray et al., 2002; Sens et al., 2006; Paiva, 2009):

- A capacidade de indução de água no aquífero pelo manancial;
- A qualidade da água superficial a ser utilizada;
- As velocidades de escoamento da água, em caso de rio;
- Características geológicas do entorno e do fundo do manancial;
- Sazonalidade do escoamento;
- Estabilidade do leito do manancial.

Uma investigação hidrogeológica do entorno do local onde se pretende instalar o poço de produção é de fundamental importância, pois desta maneira consegue-se avaliar as características hidráulicas das diferentes formações geológicas para que se possa selecionar a formação mais adequada para a FM.

Estas investigações são indispensáveis na seleção do método mais eficiente de escavação do poço de filtração em margem, utilizando assim o máximo rendimento deste (Ray et al., 2002; Sens et al., 2006).

Segundo Schubert (2001), informações hidrogeológicas devem ser consideradas para que se retarde o processo de colmatção do fundo do manancial.

### **2.1.2 - Processos Durante a Infiltração**

Segundo Paiva (2009) os fatores que influenciam os processos na filtração em margem, de um rio ou lago, dependem e variam pelas condições específicas locais. As propriedades dos sedimentos tais como distribuição no tamanho dos grãos, permeabilidade e porosidade, assim como o regime de bombeamento, controlam a velocidade de infiltração. A distribuição sazonal e espacial de matéria orgânica e suspensa na superfície da água influencia a drenança pela obstrução dos sedimentos no leito do rio.

Segundo Tufenkji et al. (2002) a interface entre água superficial e água subterrânea dentro do aquífero aluvial é reconhecido como um meio ambiente biogeoquímico distinto. Esta zona de transição

dinâmica ou “zona hiporreica”, comumente caracterizado pelos gradientes de luz, temperatura, pH, potencial redox, oxigênio, e carbono orgânico, controla a qualidade da filtração em margem. Com a água infiltrada através das margens do rio para o aquífero, ocorrem mudanças químicas descritas por quatro tipos de reações: transferência elétrica, intemperismo, mudança iônica, e mudança de gases. Inúmeros estudos apontam como sendo a atividade biológica o principal agente de mudanças químicas, tais como degradação da matéria orgânica ou poluentes orgânicos, e esta atividade ocorre nos primeiros metros da infiltração.

Segundo Tufenkji (2002), quando a atividade microbiana for intensa nos sedimentos do leito do rio, há um consumo de oxigênio maior do que é repostado pela água do rio infiltrada.

Mudança na temperatura da água pode afetar a taxa de infiltração, pois com o aumento da temperatura a viscosidade da água diminui e então, a condutividade hidráulica aumenta. Pelas condições dinâmicas naturais e processos na interação água superficial e água subterrânea é sugerido que estudos de sistemas com FM sejam conduzidos por um período extenso.

São relatados problemas na filtração de águas oriundas de rios que carregam partículas coloidais e de argila, pois estes entopem o meio filtrante, prejudicando as filtrações posteriores.

Segundo Paiva (2009) o método não é adequado para remover a cor da água (remoção abaixo de 25%). Uma fina camada de matéria orgânica chamada “película suja” cresce na parede do filtro, a qual melhora a filtração. Pois, atua como uma barreira de remoção de contaminantes como sólidos suspensos, e também ajuda na degradação de partículas biológicas. No entanto, esta película com o tempo entope os poros do filtro, sendo então necessário a desobstrução. A turbidez da água filtrada pode chegar a menos de 0,5 uT (Unidade de Turbidez).

O processo FM tem algumas similaridades ao desempenho da Filtração Lenta em Areia. Matéria orgânica, similar a “película suja”, pode criar uma interface aquífero/rio, especialmente quando a velocidade do fluxo é baixa. Uma cheia no rio poderia limpar esta camada; todavia, com subseqüentes períodos de fluxo baixo, pode ser restabelecida. Os sistemas FM podem ficar mais vulneráveis quando estas camadas de matéria orgânica e/ou sedimentos são levados embora num fluxo alto. A velocidade de infiltração na interface aquífero/rio varia, dependendo da localização dos poços coletores. Em Louisville, Kentucky/EUA, mediu-se uma velocidade de 0,12 a 0,16 m/h; sendo uma taxa equivalente a filtração lenta em areia.

Um grande problema que afeta a taxa de infiltração na interface de água superficial - água subterrânea é a colmatação, porém também pode ocorrer em zonas de recarga artificial. A colmatação pode ser causada por processos químicos, físicos e biológicos. Segundo Bouwer (2002) os processos físicos compreendem a acumulação de sólidos suspensos, orgânicos e inorgânicos; os processos biológicos são a acumulação de flocos de algas e bactérias na água e na superfície da interface manancial / meio filtrante; e os processos químicos incluem a precipitação de carbonato de cálcio, gipsita, fosfatos e outros compostos químicos sobre o solo e dentro dele.

Para o controle da qualidade da água nas águas superficiais e na produção de água potável alguns parâmetros precisam ser analisados e acompanhados durante o processo de tratamento. Com relação aos contaminantes podemos dividi-los em físicos, químicos e biológicos (Ray et al., 2002).

Conforme Mendonça (2003) existe grande variação em tempos de residência da água em diferentes tipos de corpos d'água, devido aos diferentes regimes de fluxo. As características hidrodinâmicas de cada tipo de corpo d'água são largamente dependentes do tamanho e das condições climáticas na bacia de drenagem. O fator mais importante para rios é seu regime hidrológico, ou o tempo de residência da água e pelo regime térmico que tem por conseqüência os padrões e estratificação. Aquíferos subterrâneos dependem largamente do regime de recarga, que permite a sua renovação.

Na passagem da água pelo meio granular inúmeros processos físicos e químicos ocorrem favorecendo a eliminação ou diminuição dos contaminantes, melhorando dessa forma a qualidade do recurso hídrico. Muitas vezes, a água captada é uma mistura da água mais recente infiltrada através da margem e a água do lençol freático. Essa mistura, segundo Sens et al. (2006) dependerá da distância do poço até a margem do manancial e de suas características como: vazão bombeada, condições hidrogeológicas locais, entre outros aspectos.

### ➤ **Contaminantes Físicos**

A temperatura pode variar nas estações com fontes de águas superficiais, porém permanece relativamente constante nas águas subterrâneas. A variação da temperatura pode variar em função do bombeamento, locação do ponto de monitoramento, distância do poço ao rio, construção do poço, ou fatores hidrogeológicos (Paiva, 2009). Variações na temperatura podem influenciar a performance do tratamento d'água. É um parâmetro que deve ser observado, porém no Brasil, mais especificamente nas regiões norte e nordeste, não ocorre uma variação de temperatura tão grande nas fontes d'água tanto superficial quanto subterrânea.

A turbidez diz respeito aos rios que atravessam formações ricas em argila. Dados de monitoramento no rio Ohio próximo a Louisville, Kentucky/EUA, mostraram uma variação de 2 uT (julho/99) a 1500 uT (março/97) durante um período de 5 anos (97-02); todavia os poços coletores tiveram turbidez em torno de 0,1uT, o que é significativamente abaixo do padrão americano de 0,5 uT.

### ➤ Contaminantes Químicos

De acordo com Paiva (2009) podem ser divididos em quatro grupos principais: inorgânicos; orgânicos sintéticos (pesticidas e orgânicos voláteis/semi-voláteis); matéria orgânica natural; farmacêuticos e outros químicos emergentes.

- A) **Inorgânicos:** a dureza da água é um importante parâmetro para a remoção em estações de tratamento. A dureza pode ser reduzida durante os picos de cheia, quando a contribuição de água subterrânea é baixa. As concentrações observadas variam pelas condições locais. Altas concentrações de bromito pode indicar formação do brometo (que é cancerígeno) durante a ozonação. Nitrogênio e outras formas de fertilizantes também são importantes. Rios que passam por regiões agrícolas, podem receber uma grande quantidade de contaminantes por escoamento superficial ou por descarga de drenos.
- B) **Orgânicos Sintéticos e Pesticidas:** são os mais preocupantes para o tratamento de águas superficiais. Os picos de concentração normalmente coincidem com os picos de cheias, carreando águas poluídas da agricultura. Rios navegáveis também estão sujeitos a derramamento de produtos de petróleo e outros químicos industriais, tais como compostos clorados.
- C) **Matéria Orgânica (MO):** na água superficial é importante, principalmente em estações onde se usa cloretos como desinfetante. O cloreto combinado com a matéria orgânica forma um subproduto, tal como o trihalometano (TAM) e ácidos haloacéticos (HAA), os quais são potencialmente cancerígenos. As concentrações de matéria orgânica variam de acordo com a estação, características da bacia, e fluxo do rio. Parâmetros mais usuais que indicam a qualidade da água com relação a MO: Carbono Orgânico Total; Carbono Orgânico Dissolvido; DBO; absorção ultravioleta de água em 254 nanômetros; carbono orgânico assimilativo.
- D) **Produtos farmacêuticos e produtos de higiene pessoal:** são micropoluentes de recente interesse, pois são encontrados em esgotos domésticos e muitos são químicos rompedores de endócrina. Por muitos desses compostos serem encontrados em concentração extremamente baixa, uma determinação analítica é difícil e requer instrumentação complexa.
- E) **Contaminantes Biológicos:** Contaminantes biológicos na água superficial incluem protozoários, bactérias e vírus. Giárdia e Cryptosporidium são os protozoários principais. Coliformes totais e fecais são as bactérias monitoradas pelos órgãos ambientais e de vigilância sanitária.

### 2.1.3 - Vantagens e Desvantagens da FM

Como todo tratamento de água, a filtração em margens tem vantagens e desvantagens. Esta filtração permite a remoção de partículas, bactérias, algas, vírus, parasitas, compostos facilmente biodegradáveis, contaminantes orgânicos persistentes e altas concentrações de metais pesados.

Segundo Schubert (2006) a filtração em margem é capaz de remover matéria orgânica natural e, conseqüentemente, capaz de remover precursores da formação de trihalometanos (TAM). A redução da atividade mutagênica nos microrganismos através da redução de agentes físicos, químicos ou biológicos e a compensação na variação de carga no manancial superficial também são vantagens apontadas pelo pesquisador. Além disso, a filtração em margem funciona como pré-tratamento, onde utiliza processos naturais para assegurar a sustentabilidade da água bruta e permite a otimização no processo de tratamento.

Dentre os benefícios imediatos da FM, está a redução no uso de produtos químicos nas diferentes etapas de tratamento, bem como o custo de operação dos sistemas de tratamento (Ray et al., 2002; Sens et al., 2006).

Segundo Ray et al. (2002) o sistema de FM pode ajudar as companhias de abastecimento de várias formas. Os vários serviços de água potável de alta qualidade têm valores não mensuráveis. Como por exemplo, a melhora da qualidade da água fornecida, com garantias contra contaminações de eventos extremos, pois há tempo hábil para tomada de decisões e principalmente a manutenção de um meio ambiente sustentável.

A FM reduz o efeito de picos de concentração de poluentes numa captação superficial devido às variações sazonais. Há alguns compostos orgânicos persistentes, como os pesticidas e farmacêuticos, que não são removidos após a passagem pelo meio filtrante natural e apenas se misturam a água subterrânea não sendo suficiente apenas a FM como forma de tratamento (Kuehn e Muller, 2000).

Dentre as desvantagens da utilização dessa tecnologia inclui a dificuldade no processo de monitoramento. Segundo Stuyfzand et al., (2006), a FM possui as desvantagens de impedir a infiltração de água no solo quando tem-se água bruta de qualidade não desejável, a ocorrência de reações químicas durante o processo de infiltração quando há depósitos de lodo no leito, podem aumentar a concentração de  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , As,  $NH_4^+$ ,  $CH_4$ ,  $Ca^{2+}$  e  $HCO_3^-$  e o risco de colmatação do fundo do manancial.

Hiscock e Grischek (2002), afirmam ainda que esta técnica tenha pouca eficiência se utilizada como único tratamento de água com muita cor, dureza elevada e grande número de produtos orgânicos sintéticos. Assim, de acordo com a qualidade da água, a filtração em margem não deve ser utilizada como única forma de tratamento, e sim, como pré-tratamento de água.

### 3.0 – METODOLOGIA

Com o objetivo de conhecer o funcionamento da técnica e de suas aplicações foram propostas várias atividades dentre elas:

- Seleção da área de estudo de caso – projeto piloto;
- Identificação de atividades e de fatores que comprometam a qualidade do ecossistema aquático em estudo, desfavorecendo o uso da água para o consumo humano:
  - Realizar visitas de reconhecimento da área do entorno do reservatório georeferenciando as fontes pontuais e difusas de poluição;
- Avaliação detalhada do reservatório selecionado para implantação do Sistema de Filtração em Margem:
  - Avaliar a qualidade da água e das condições ambientais do reservatório;
  - Caracterizar o solo nas margens do reservatório através de perfuração de sondagens, para determinação da locação do poço a ser instalado;
  - Coletar amostras de solo no fundo do reservatório para a análise granulométrica;
  - Definição da geometria do poço de acordo com as condições para construção e posterior implantação do Sistema.
- Avaliação da eficiência de tratamento da água do reservatório escolhido através do sistema de Filtração em Margem:
  - Monitorar os parâmetros físico-químicos;

### 3.1 – Área de Estudo

O reservatório selecionado para a implantação da técnica de FM é utilizada para fins de abastecimento público e está degradado por diversos fatores, dentre eles o uso do solo em suas margens, os efluentes de esgoto que chegam ao reservatório e à alta concentração de cianobactérias. Além disso, foi escolhido pelo fato de estar localizado em uma região semi-árida.

O reconhecimento em campo das atividades que são realizadas no entorno do reservatório são de grande valia para a identificação da área em estudo. Programas de geoprocessamento como o ARCGIS foi utilizado para a identificação dessas atividades localizando cada área na imagem de satélite para facilitar a compreensão do estudo.

#### 3.1.1 - Reservatório de Abastecimento Público de Mundaú – Garanhuns-PE

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – PERH, a bacia hidrográfica do rio Mundaú está localizada nos Estados de Pernambuco e Alagoas. A porção compreendida no território pernambucano (Unidade de Planejamento Hídrico UP6) localiza-se entre as coordenadas 08° 41' 34" e 09° 14' 00" de latitude sul, e 36° 03' 36" e 36° 37' 27" de longitude oeste.

A bacia do rio Mundaú limita-se ao norte com a bacia do rio Una (UP5), ao sul com Estado de Alagoas e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 1 - G11 (UP20), a leste com a bacia do rio Una e com o Estado de Alagoas e, a oeste, com o grupo G11 e com a bacia do rio Una. O rio Mundaú nasce no município de Garanhuns, com cerca de 69 km percorrendo áreas do Estado de Pernambuco. Os principais afluentes do rio Mundaú no estado de Pernambuco são: pela margem direita, riacho Conceição, riacho Salgado, rio Correntes e rio Mundauzinho; e, pela margem esquerda, o rio Canhoto. O rio canhoto, que deságua no rio Mundaú em território alagoano, é o tributário mais importante do rio Mundaú e tem, por sua vez, como principal contribuinte o rio Inhaúma, que drena todo o município de Palmeirinha. Quatro municípios estão inseridos em sua totalidade, quais sejam Angelim, Correntes, Palmerina e São João. Os municípios com sede na bacia são Caetés, Canhotinho, Garanhuns e Lagoa do Ouro. Os municípios de Brejão, Calçado, Capoeiras, Jucati, Jurema, Jupi e Lajedo estão parcialmente inseridos na bacia.

A bacia do rio Mundaú, em toda sua extensão, tem uma área de 4.090,39 km<sup>2</sup>, dos quais 2.154,26 km<sup>2</sup> no Estado de Pernambuco (2,19% da área do estado). A área de drenagem da bacia em Pernambuco envolve 15 municípios.

O reservatório de Mundaú, possui a capacidade máxima de acumulação de 1.968.600 m<sup>3</sup>, construído pelo DNOCS e o principal objetivo é o abastecimento da cidade de Garanhuns. Está localizado no município de Garanhuns no Planalto da Borborema, mesorregião do agreste de Pernambuco. A população do município segundo dados do IBGE em 2010 é de 129.392 habitantes. Sua altitude média é de 900 m e seu ponto mais alto é o Monte Magano com 1.030 m de altitude.

Esse reservatório foi escolhido por apresentar avançados estágios de eutrofização, caracterizando-se por constantes florações tóxicas de cianobactérias (Molica, 2008 comunicação pessoal).

## 3.2 – Diagnóstico Ambiental da Área do Reservatório Mundaú

### 3.2.1 – Clima e condições meteorológicas

Os dados utilizados para caracterizar o clima e as condições meteorológicas são os dados das Normais Meteorológicas da Estação nº 82.893 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada dentro da área da bacia hidrográfica da bacia. Essas normais climatológicas são obtidas através do cálculo de médias para períodos uniformes de 30 anos, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Os dados da Normal Climatológica da Estação Meteorológica de Garanhuns são dos anos de 2009 a 2010 e são apresentados na Tabela 2.1.

**Tabela 3.1 – Parâmetros climáticos observados na Estação Meteorológica de Garanhuns (nº82.893) do INMET (2009-2010)**

Parâmetro	Verão			Outono			Inverno			Primavera			Ano	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Precipitação total (mm)	45	57,5	99,8	115,4	104,3	122,2	132,7	73,3	47,4	32,5	18	21,9	870,4	
Precipitação máxima em 24	(mm)	65,2	92,5	91,3	81,7	76,7	49,6	73	33,3	39	68,7	55,7	39,7	92,5
	(dia/ano)	24/69	13/76	fev/72	19/84	out/89	mai/82	dez/89	30/89	dez/86	mai/65	dez/68	ago/88	13/76
Temperatura Média (°C)	21,9	21,2	22	20,3	20,4	19,1	18,5	18,8	18,5	20,9	21,7	22,2	20,5	
Temperatura Máxima (°C)	27,5	26,7	27,6	23,9	24,6	23	21,2	23,1	23,7	27,1	28,9	28,7	25,5	
Temperatura Mínima (°C)	17,2	17,3	18,5	16,6	17,7	16,7	16	15,7	15,4	16,8	17,2	17,7	16,9	
Temperatura Máxima Absoluta(°C)	33,5	33,2	33,1	31	29,6	29,5	29,5	28,3	30,3	34,7	32,8	33,8	34,7	
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	15,4	15	14,7	15	15	13	11,7	10,9	10	14	14,4	14,9	10	
Umidade Relativa (%)	76,8	74,4	81	79,2	88	90,1	91,6	88,8	81,3	77,8	71,9	74,7	81,3	
Evaporação total (mm)	148,2	97,2	101,7	65,8	50,6	41,9	41,7	56,6	71,4	109,7	138,5	154,6	1.077,80	

### 3.2.2 – Precipitação

A precipitação anual média na estação é igual a 870,4 mm. O período mais chuvoso ocorre entre os meses de março e agosto, sendo o mês de julho aquele que apresenta o maior valor médio mensal (132,7 mm).

O período mais seco ocorre entre outubro e dezembro, sendo o mês de novembro aquele que apresenta a menor média mensal (18,0 mm).

Em relação à precipitação máxima em 24 horas, observa-se que o mês de fevereiro é quando se registrou a maior lâmina de chuva (92,5mm), valor esse bem superior a média do mês (57,5mm).

### 3.2.3 – Temperatura

Verifica-se que a temperatura mensal média registrada em Garanhuns é igual a 20,5 °C. O mês de dezembro é aquele que apresenta a maior média de temperatura (22,2 °C) e os meses de julho e setembro apresentam a menor média (18,5 °C).

Em relação às temperaturas máximas, observa-se uma média anual igual a 25,5 °C. Verifica-se também que os meses compreendidos entre outubro e março (primavera e verão) apresentam uma média igual a 27,8°C, enquanto os meses entre abril e setembro (outono e inverno) apresentam uma média igual a 23,3°C, ou seja, há uma variação de 4,5°C nas temperaturas máximas mensais observadas entre as

estações quentes e frias do ano. A temperatura mínima média anual é igual a 16,9°C, sendo os meses de julho e setembro (inverno) os que registram as menores médias mensais. A amplitude média entre as temperaturas máximas e mínimas nas estações quentes é igual a 10,3°C e nas estações frias é igual a 6,9°C, ou seja, os meses frios apresentam menores amplitudes térmicas.

### **3.2.4 – Umidade Relativa**

A umidade relativa é a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade da mistura do mesmo ar em seu ponto de saturação (tendo como base a mesma temperatura para as duas situações).

De acordo com os dados, a umidade relativa média supera os 70% em todos os meses do ano, sendo maior em julho (91,6%) e menor em novembro (71,9%), que são também os meses de maior e menor precipitação média, respectivamente. Observa-se que a umidade relativa tende a diminuir quando aumenta a temperatura. Assim, são os meses mais quentes que a umidade relativa é menor e são nos meses mais frios que a umidade relativa é maior.

### **3.2.5 – Evaporação e Evapotranspiração Potencial**

A evaporação e evapotranspiração ocorrem quando a água líquida é convertida para vapor de água e transferida, nesse estado, para a atmosfera (TUCCI, 2000). Enquanto a evaporação se refere à transferência de superfície líquida, a evapotranspiração engloba também a perda de água do solo e da vegetação. Esse último também recebe a denominação de evapotranspiração potencial quando se refere à quantidade de água transferida para a atmosfera a partir de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água.

Nos estudos hidrológicos, a evaporação é de extrema importância quando se deseja avaliar as perdas diretas de água em superfície líquida (lagos e reservatórios). Já a utilidade de dados de evapotranspiração reside fundamentalmente na sua importância para estimar as perdas de água de uma bacia hidrográfica.

De acordo com os dados da estação do INMET analisada, a evaporação total anual é igual a 1.077,8 mm, ou seja, superior ao total anual precipitado de 870,3mm. Assim, conclui-se que a demanda hídrica atmosférica total anual sobre superfícies líquidas é maior que a quantidade de chuva no mesmo período. Tendo em vista a relação natural existente entre a temperatura do ar e a evaporação, observa-se que os meses mais quentes (outubro e março) também são aqueles de maior evaporação e que os meses mais frios (abril a setembro) são os de menores evaporação.

A evapotranspiração potencial foi calculada por diversos métodos baseados em relações empíricas e conceituais envolvendo basicamente a temperatura do ar e a radiação solar no topo da atmosfera. Para o cálculo da evapotranspiração real da região foram utilizados os dados do INMET e dados do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP). Pelo Método Combinado de Penman o resultado a evapotranspiração da região é de 1.475,7 mm anual.

### **3.2.6 – Geologia**

A região em estudo é denominada pelo complexo pré-cambriano constituído de rochas predominantemente metamórficas e, secundariamente, por rochas plutônicas, principalmente de composição granítica ou diorítica, de acordo com o estudo do Mapa Geológico do Estado de Pernambuco - Ministério de Minas e Energia (DNPM/CPRM)

### **3.2.7 - Atividades Realizadas no Reservatório de Mundaú**

O reservatório de Mundaú foi escolhido, pois o mesmo apresenta em certos períodos do ano, avançado processo de eutrofização, no qual apresenta florações de cianobactérias, de acordo com os dados da Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco - CPRH.

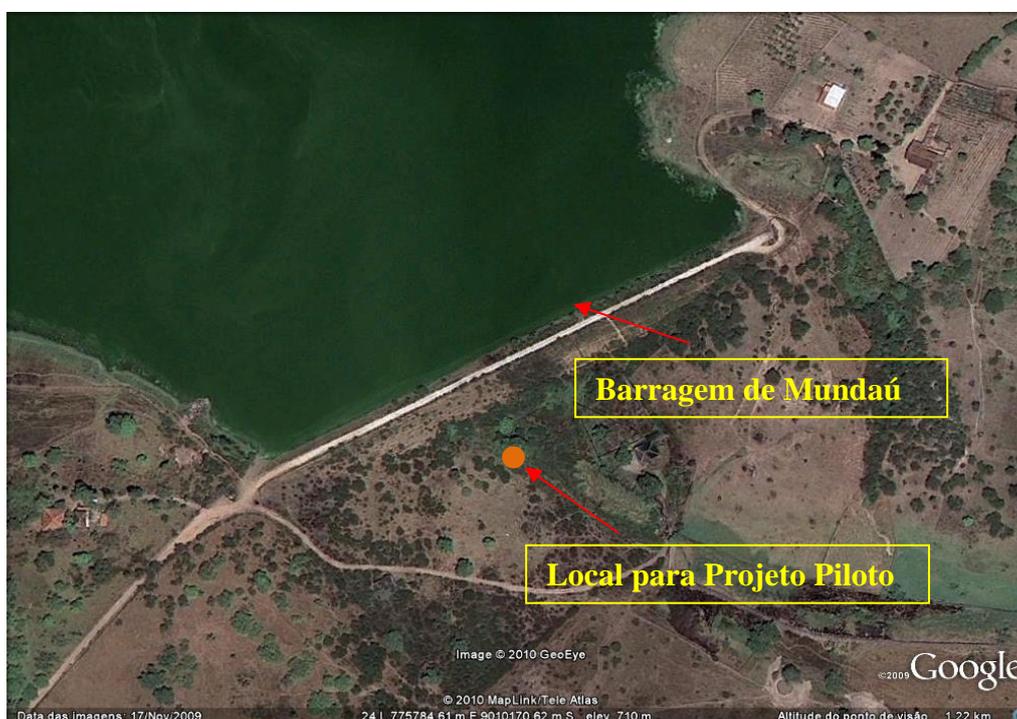
Durante as visitas de reconhecimento das margens do reservatório, foram realizadas sondagens do terreno com a ajuda de um trado com capacidade para 5 m de profundidade.

Foram realizadas perfurações em todas as pequenas unidades rurais e fazendas da região, sempre as margens do reservatório. Em inúmeros pontos a profundidade máxima de perfuração foi da ordem de 50 cm onde já era possível encontrar a base cristalina (rocha). Em dois locais foi possível a perfuração de três metros de profundidade, porém o solo era bastante argiloso, impedindo assim a conexão de água entre o reservatório e o furo realizado.

A opção, enfim analisada, foi à aplicação da técnica de FM a poucos metros a jusante da barragem onde naturalmente a água percola pelo solo realizando o processo naturalmente. Foram realizadas várias sondagens, cujas profundidades não ultrapassaram dois metros, porém, o solo apresenta-se favorável a técnica.

### 3.2.8 – Local para Construção do Poço

Após as visitas e as sondagens realizadas nas margens do reservatório foi observado que o mesmo não possui em suas margens condições hidrogeológicas adequadas para a construção de um poço com uma profundidade adequada para a implantação da técnica. Porém, no terreno pertencente à COMPESA que fica a jusante da barragem, conforme Foto 3.1, existe um local com características que possibilita a implantação do projeto piloto com a vantagem do local pertencer a própria empresa de abastecimento do estado.



**Foto 3.1** – Local para implantação do projeto piloto

Nesse local foi observado também que a água do reservatório, por um processo natural, percola pela parede da barragem para o aluvião a jusante da barragem e que pode ser coletada através da construção do projeto piloto desenvolvido. Sendo assim, esse local apresenta condições para a construção de um poço para implantação da técnica.

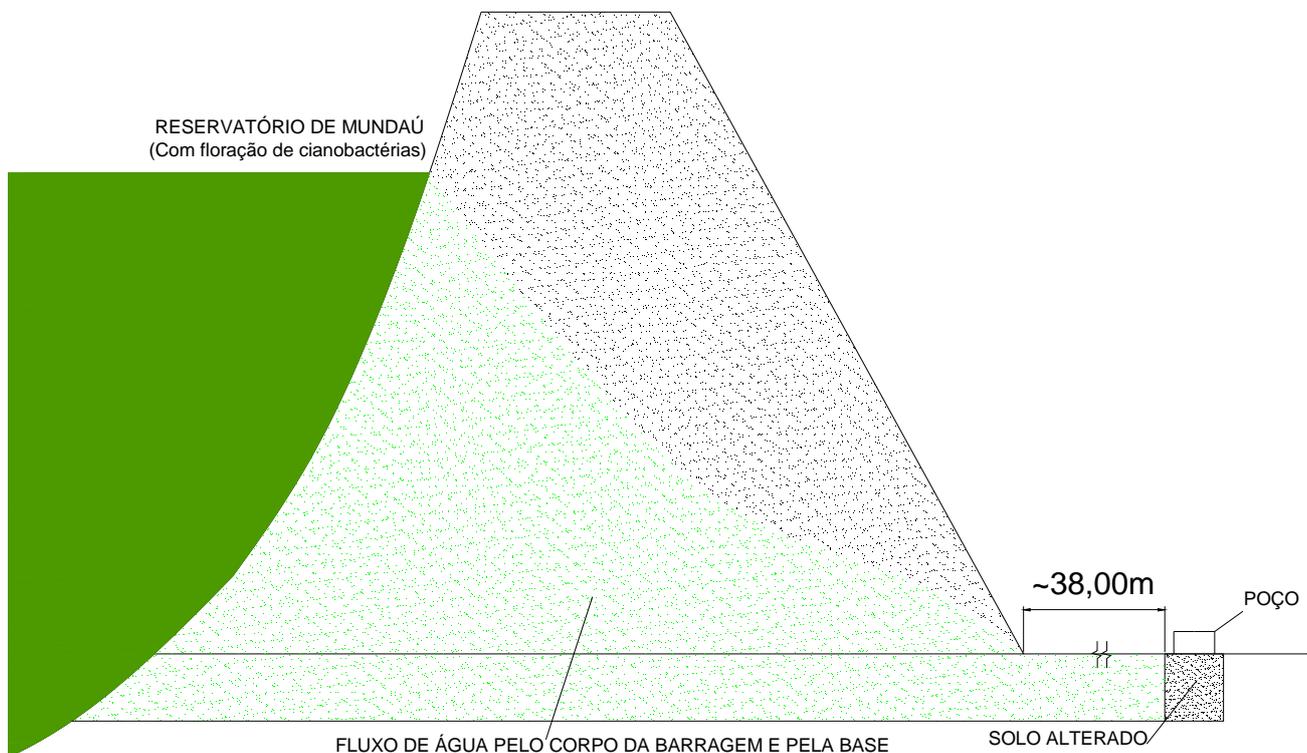
### 3.2.9 - Análises físico-químicas / monitoramento

A atenuação da poluição resulta principalmente dos processos de diluição, biodegradação e sorção em duas zonas principais: 1- o leito do reservatório por onde ocorre a sedimentação e colmatação, com grande atividade biológica, onde ocorre grande parte da biodegradação e adsorção mesmo com períodos de residência curtos (Zona Hiporreica); 2 – as margens do reservatório onde a capacidade de sorção e degradação são menores, mas os processos físicos de diluição são maiores (Zona Ripária) (HISCOCK e GRISCHEK, 2002).

Além dos parâmetros hidrológicos e hidrogeológicos, haverá necessidade de monitorar os parâmetros de qualidade da água no reservatório de abastecimento e na saída do poço instalado. Os parâmetros a serem monitorados serão: os parâmetros físicos, químicos medidos in loco com os equipamentos do CENLAG/UFRPE/Garanhus-PE, a saber: Turbidez, Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade Elétrica. Todas as medições serão realizadas no reservatório e no poço de FM.

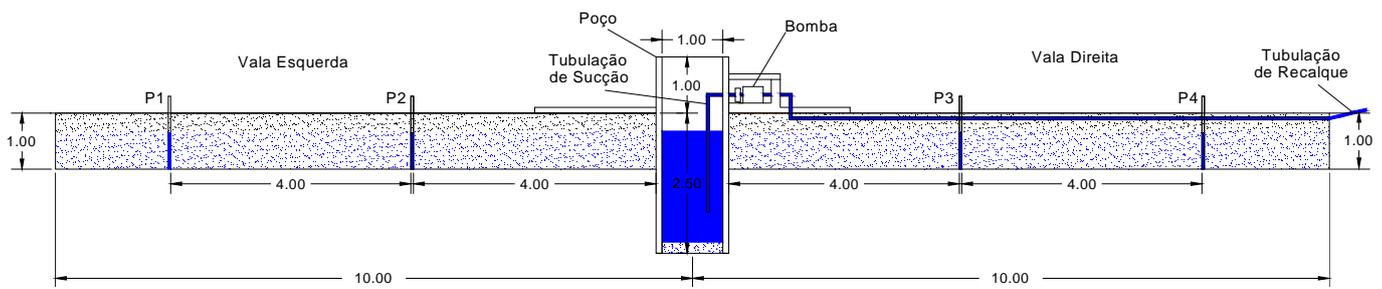
### 3.2.10 - Projeto Piloto no Reservatório Mundaú

Como mencionado, a Técnica de FM utiliza poços nas margens de rios ou reservatórios para o seu funcionamento. O local escolhido para implantação da técnica de FM fica a jusante da barragem do reservatório de mundaú distante aproximadamente 38 m do início da barragem conforme a Figura 3.1.

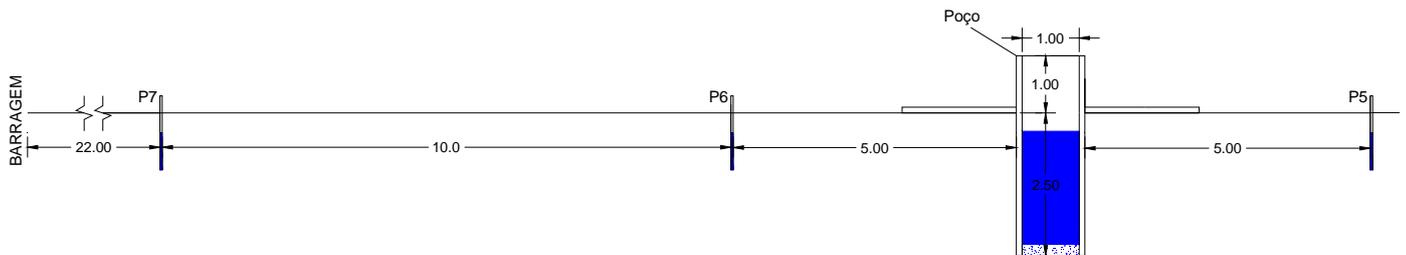


**Figura 3.1** – Distância do local do poço de FM para a barragem.

Para a aplicação da técnica no local escolhido foi necessário alterar o solo, de forma a se obter um maior volume de água, já que, a região não possui grandes camadas de sedimentos possíveis de armazenar água. Diante disso, a Figura 3.2 apresenta o corte paralelo à barragem do projeto proposto para aplicação da tecnologia de FM no reservatório de Mundaú e a Figura 3.3 apresenta o corte perpendicular a barragem.



**Figura 3.2** – Corte Paralelo a Barragem do Projeto executado no reservatório de Mundaú.



**Figura 3.3** – Corte Perpendicular a Barragem do Projeto executado no reservatório de Mundaú.

As valas laterais do experimento possuem as seguintes dimensões: comprimento 10,00 m, largura 1,00 m e profundidade 1,00 m. Após o aterramento das valas e do entorno do poço, foi construído a casa da bomba com alvenaria de tijolos e uma laje pré-moldada. Pode-se ver também nessas fotos as tubulações de recalque de água e de energia em amarelo.

O objetivo da construção das valas laterais, vistas na Figura 3.2 foi de propiciar um ambiente favorável para melhor percolação de água até o poço de produção, já que as mesmas foram preenchidas com areia, e também obter um maior volume de água, já que as camadas de solo nas regiões semi-áridas são muito rasas, dessa forma, toda a água que seguramente passaria subterraneamente por esse espaço será captada e armazenada nesse bolsão de areia formado e com o bombeamento contínuo do poço de produção essa água percolará facilmente até o poço.

A Figura 3.4 e 3.5 apresentam o poço de FM construído no reservatório de Mundaú em Garanhuns. O poço tem uma profundidade de 2,5 m e diâmetro de 1 m.

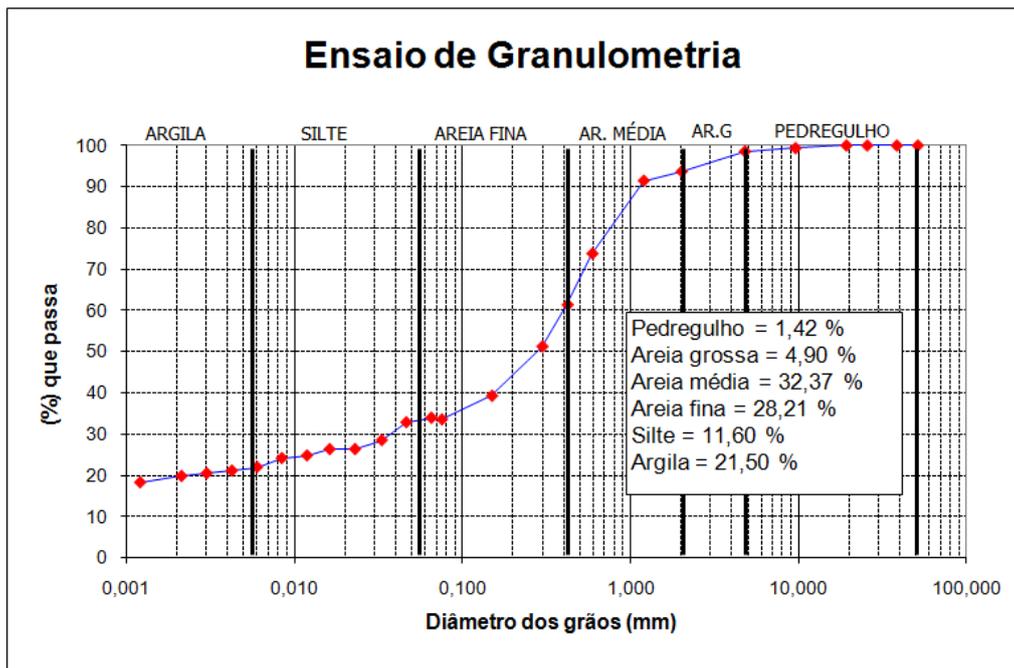


**Foto 3.4** – Poço de FM

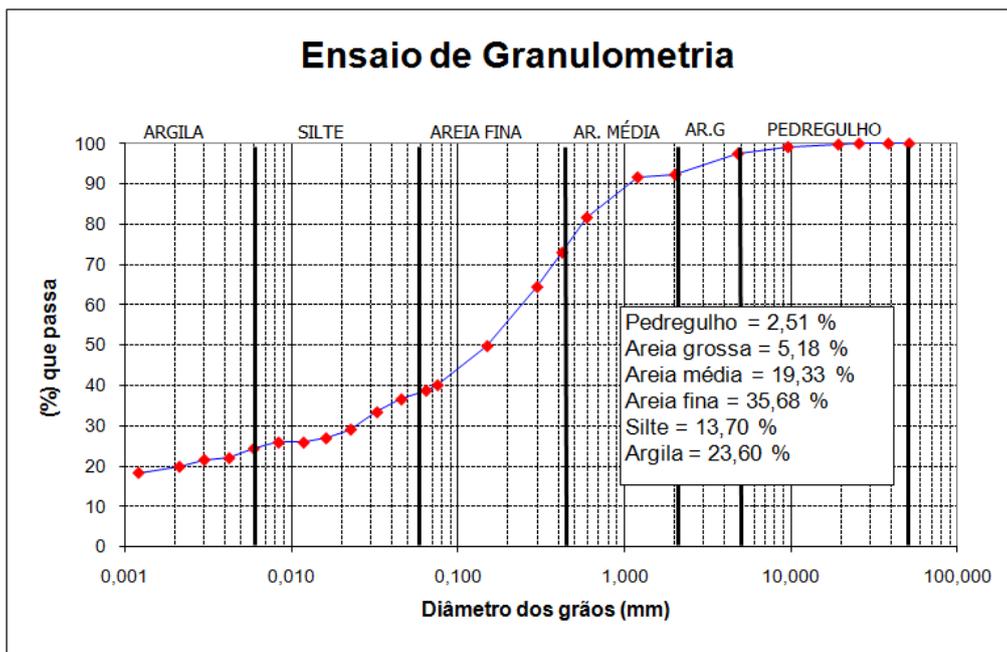


**Foto 3.5** – Visão interna do poço de FM

Foram retiradas amostras de solo do local de construção do poço de 1,00 m e de 2,50 m de profundidade. Foram realizados ensaios de granulometria em laboratório com o solo coletado. Os resultados desses ensaios são apresentados nas Figuras 3.4 e 3.5.



**Figura 3.4** – Análise granulométrica do solo a 1,00 m de profundidade.



**Figura 3.5** – Análise granulométrica do solo a 2,50 m de profundidade.

Observa-se através das análises granulométricas que as composições dos solos a 1,00 m e 2,50 m de profundidade são bem parecidas, sendo a maior parte de areia média a fina com um bom percentual de argila.

Antes da instalação do sistema hidráulico e elétrico foi realizada uma limpeza do poço onde foram retirados bastante sedimentos e lama.

Com a construção da casa de bomba finalizada foi possível iniciar a instalação do sistema hidráulico e elétrico. Para a instalação da bomba foi utilizado uma bóia com um dispositivo automático que aciona e desativa a bomba de acordo com os níveis hidráulicos especificados. Esse dispositivo foi utilizado, uma vez que, a bomba ligada diretamente poderia recalcar a água do poço e ficar funcionando sem água o que poderia danificá-la ou inutilizá-la. Logo, com esse dispositivo instalado, a bomba fica sempre ligada e quando o nível de água fica muito baixo, o dispositivo automaticamente desliga a bomba. Quando o nível de água do poço se recupera, também de forma automática, a bomba entra novamente em funcionamento. Esse sistema faz com que a bomba fique bombeando durante 3 minutos e 27 segundos e após esse período ela se desliga automaticamente, ficando desligada durante 16 minutos e 21 segundos.

Verificando a vazão da bomba na saída da tubulação de recalque, através de um recipiente graduado, obteve-se uma vazão de 0,38 L/s. Como, o período de funcionamento é de 3 minutos e 27 segundos, o volume total bombeado em cada período de funcionamento da bomba é de 78,66 L. Em uma hora, a bomba funciona aproximadamente 3,70 vezes, totalizando um volume bombeado de 291 L. O volume total bombeado em um dia é de 6.980 L, ou aproximadamente, 7,00 m<sup>3</sup>.

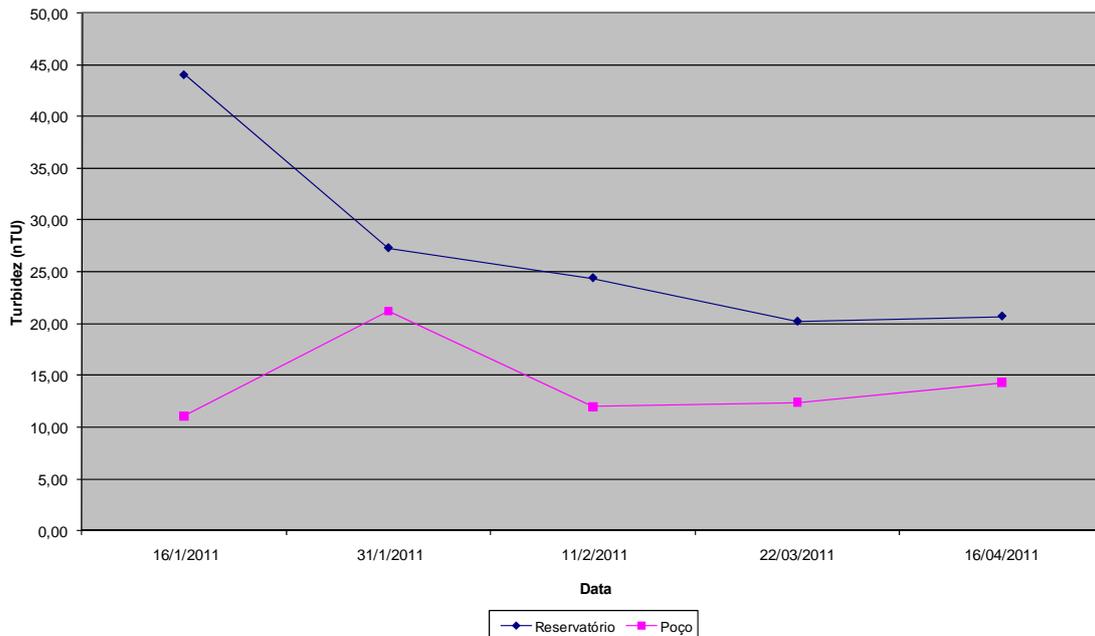
#### 4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o fim da construção do poço de bombeamento foi possível coletar as amostras para realizar as análises físico-química *in loco* com os equipamentos do Centro de Análises Laboratoriais de Garanhuns – CENLAG. Os parâmetros medidos e as respectivas datas e resultados das análises estão contidos na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** – Resultados dos parâmetros *in loco* das amostras do reservatório e poço de FM.

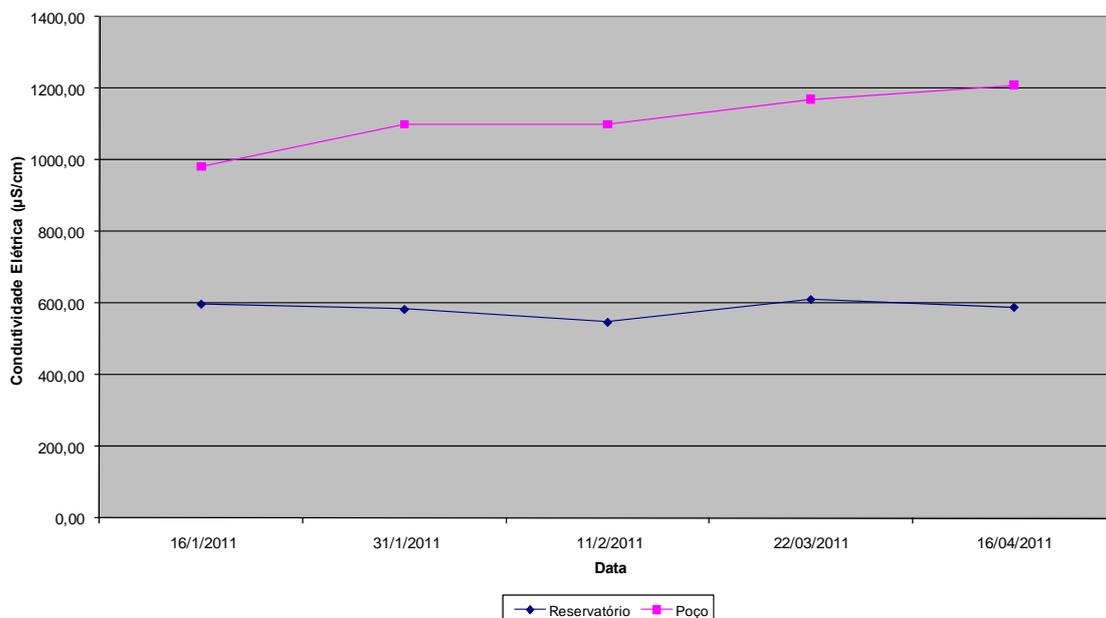
Parâmetro	Unidade	16/1/2011	31/1/2011	11/2/2011	22/03/2011	16/04/2011
		Reservatório	Reservatório	Reservatório	Reservatório	Reservatório
		09h00	09h00	09h00	09h00	09h00
Turbidez	nTU	44,00	27,30	24,40	20,20	20,7
Condutividade Elétrica	µS	599,00	584,00	548,00	612,00	590
Temperatura da água	°C	26,70	28,50	28,80	29,30	27,9
Oxigênio Dissolvido	mg/L	11,10	6,60	5,10	9,50	3,7
pH		8,34	7,80	8,90	8,83	8,42
Parâmetro	Unidade	16/1/2011	31/1/2011	11/2/2011	22/03/2011	16/04/2011
		Poço	Poço	Poço	Poço	Poço
		09h30	09h30	09h30	09h30	09h30
Turbidez	nTU	11,10	21,20	12,00	12,40	14,30
Condutividade Elétrica	µS	982,00	1100,00	1100,00	1170,00	1209,00
Temperatura da água	°C	23,00	25,00	25,30	25,40	25,70
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,10	4,50	2,00	3,10	2,20
pH		6,13	6,08	6,43	6,18	6,43

Em relação à turbidez os resultados apresentam a capacidade da Filtração em Margem em reduzir significativamente esse parâmetro. Todas as medições comprovam que a FM é muito eficiente na diminuição da turbidez. A Figura 4.1 apresenta um gráfico mostrando a medição desse parâmetro em todas as datas verificadas e observa-se que na água do poço a medição da turbidez sempre se encontra abaixo da água do reservatório. Na data de 31/01/11 houve um aumento na turbidez do poço causado pela limpeza do mesmo, onde a água foi agitada no dia anterior, logo esse acréscimo no valor medido pode ter sido ocasionado por esse fato.



**Figura 4.1** – Análise do parâmetro de Turbidez em todas as datas

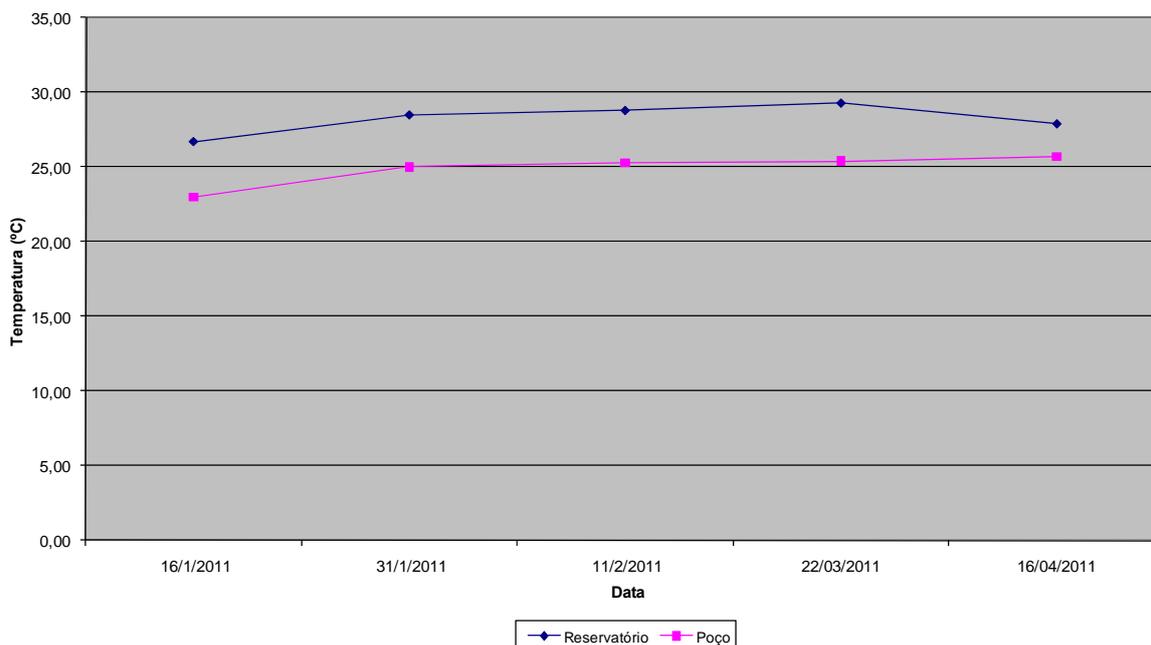
Em relação à condutividade elétrica, foi possível observar, que na água do poço, o valor é bem superior do que no reservatório. Isso pode ocorrer devido ao solo do entorno do poço possuir um teor de sais elevado. Uma outra possibilidade é a lavagem do solo que foi substituído através da construção das valas laterais, onde foi utilizado areia para aterrâ-las e que pode possuir um teor de sais elevado, com o decorrer das análises isso poderá ser verificado. Além disso, o poço durante esse tempo foi mantido descoberto, e a evaporação pode contribuir para o aumento da salinidade da água. A Figura 4.2 apresenta o resultado da condutividade elétrica para todas as medições realizadas. Também é possível notar através das duas curvas certa tendência, já que, quando a condutividade da água do poço se eleva, ocorre uma elevação também na água do reservatório, o que pode explicar que o sistema está em conexão, e com a passagem da água do reservatório pelo solo até o poço ocorre a elevação da sua salinidade.



**Figura 4.2** – Análise do parâmetro de Condutividade Elétrica em todas as datas

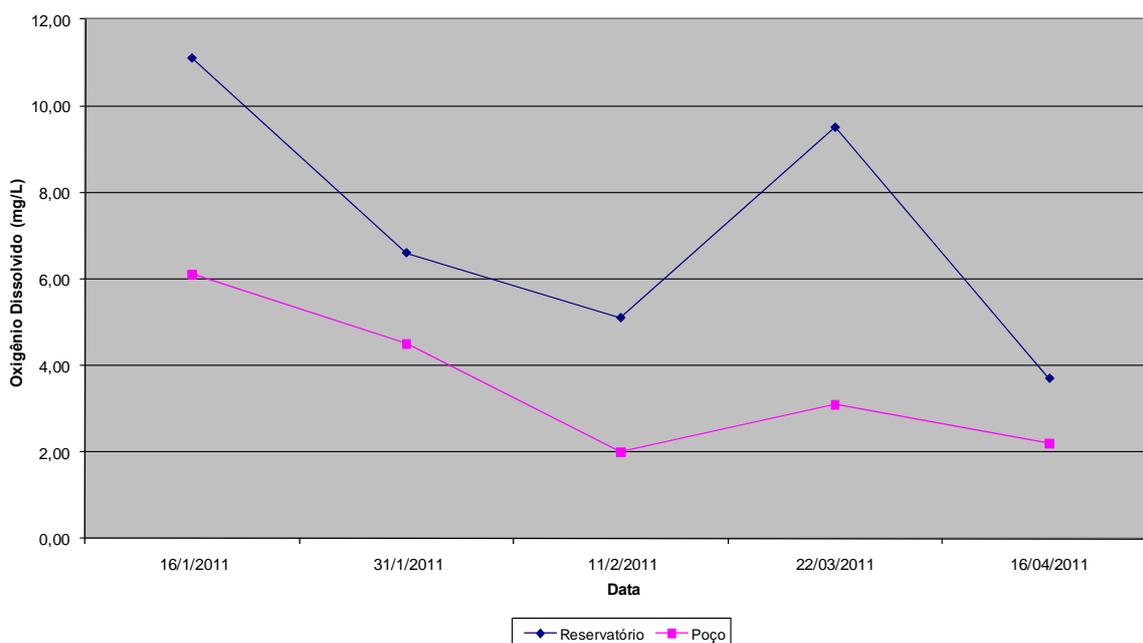
Como a água do poço é uma mistura da água subterrânea com a água do reservatório que se infiltrou, a temperatura da água no poço é mais baixa do que no reservatório em todas as análises. A

Figura 4.3 apresenta um gráfico onde é possível observar que a temperatura da água do poço é mais baixa em todas as medições.



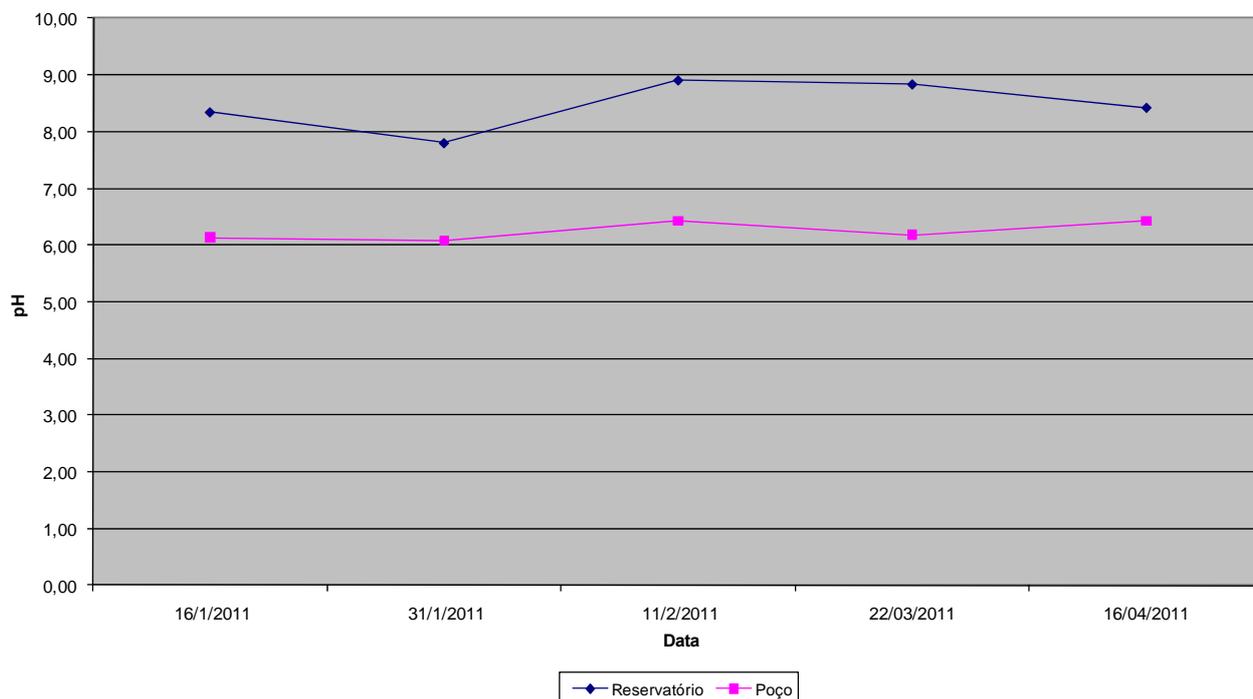
**Figura 4.3** – Análise do parâmetro de Temperatura em todas as datas

Na análise do parâmetro de oxigênio dissolvido observa-se que o mesmo em todas as análises é inferior no poço do que no reservatório. A Figura 4.4 apresenta as duas curvas onde na água do reservatório o nível de oxigênio dissolvido é mais elevado do que na água do poço. Pode-se dizer que parte do oxigênio contido na água do reservatório é consumida pelos microorganismos presentes no subsolo reduzindo a quantidade de oxigênio produzindo um ambiente quase anaeróbio. Nas curvas desse parâmetro, mais uma vez fica observado que, ao subir a quantidade de oxigênio dissolvido na água do reservatório, sobe também a quantidade de oxigênio dissolvido na água do poço, mostrando que existe uma conectividade entre a água do reservatório e do poço de FM. É claro que a água do reservatório que se infiltra no solo até chegar ao poço de FM leva certo tempo, talvez dias, porém a tendência de elevação ou caimento é muito importante nesse processo.



**Figura 4.4** – Análise do parâmetro de Oxigênio Dissolvido em todas as datas

Em relação ao pH observa-se através da Figura 4.5 que na água do reservatório o parâmetro medido quase sempre está acima da casa de 8.0 indicando um ambiente alcalino enquanto que na água do poço a água sempre está sempre abaixo de 7 indicando um ambiente pouco ácido porém em níveis de aceitação de potabilidade de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde 518/2004.



**Figura 4.5** – Análise do parâmetro de pH em todas as datas

## 5.0 – CONCLUSÕES

A partir do projeto piloto proposto e implementado nas margens do açude de abastecimento público de Garanhuns, pode-se concluir o que a tecnologia de Filtração em Margens é eficiente na redução da turbidez, do oxigênio dissolvido e do pH.

Também fica evidenciado que a mistura da água do reservatório com a água do subsolo, proporciona uma salinidade maior, o que foi evidenciado na água coletada no poço, indicando que a técnica não consegue reter os sais contidos na água ao passar pelo solo, e ao longo do percurso da água do reservatório ao poço de FM, a água absorve uma maior quantidade de sais.

Apesar dos resultados serem ainda preliminares, a tecnologia de Filtração em Margens mostra-se bastante eficiente na redução dos parâmetros analisados até o momento. Espera-se com o prosseguimento da pesquisa, evidenciar a capacidade de redução ou eliminação de organismos fitoplanctônicos presentes na água do reservatório, especialmente de cianobactérias.

## 6.0 – BIBLIOGRAFIA

- GASTAUDINI, M. C.; MENDONÇA, A. S. F. – Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Capítulo IV: Conceitos para Avaliação da Qualidade da Água. FINEP – RECOPE/REHIDRO/SUB-REDE 1. 2003.
- MOLICA, R.J.R.; OLIVEIRA, E.J.A.; CARVALHO, P.V.V.C.; COSTA, A.N.S.F.; CUNHA, M.C.C.; MELO, G.L. & AZEVEDO, S.M.F.O. Occurrence of saxitoxins and anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply. *Harmful Algae*, 4: 743-753. 2005.
- MOLICA, R. J. R., AZEVEDO, S. - ECOFISIOLOGIA DE CIANOBACTÉRIAS PRODUTORAS DE CIANOTOXINAS. *Oecol. Bras.*, 13(2): 229-246, 2009
- TUNDISI, J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. : Rima, São Carlos. 248 p. 2003.
- CHORUS, I., BARTRAM, J. Toxic Cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN SPON, New York. 416p. 1999.
- RAY et al. Introduction. Riverbank Filtration: improving source-water quality. Kluwer Academic Publishers. California, USA. 2002. p.1-17
- MONDARDO, R. I. – Influencia da Pré-oxidação na Tratabilidade das Águas Via Filtração Direta Descendente em Manancial com Elevadas Concentrações de Microalgas e Cianobactérias. Tese de Doutorado em Engenharia Sanitária e ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2009.
- SENS, M.L. et. al. Filtração em Margem. In: PROSAB. (Org.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano, Capítulo 5. PROSAB, ABES. Rio de Janeiro. 2006.
- SOARES, P. S. MOREIRA; Y.; FREIRE, L.; CARVALHO, D. D. Cetem (centro de Tecnologia Mineral) (Org.). Série Tecnologia Ambiental: Transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Cetem, 2005. 29p. Relatório. Disponível em: <[www.cetem.gov.br/publicação/cetem\\_sta\\_33.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicação/cetem_sta_33.pdf)>. Acesso em: 22 março 2006.
- RAY, C., MELIN, G. & LINSKY, R.B. Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality Water Science and Technology Library, USA. Kluwer Academic Publishers, 2003, 364p.
- RAY et al. Introduction. Riverbank Filtration: improving source-water quality. Kluwer Academic Publishers. California, USA. 2002. p.1-17.
- PAIVA, A. L. R. – O Processo de Filtração em Margem e um Estudo de Caso no Rio Beberibe. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2009.
- SCHUBERT, Jürgen. Hydraulics aspects of riverbank filtration. *Journal Of Hydrology*, Dülsseldorf, p. 145-161. 01 ago. 2001.
- TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; E ELIMELECH, M. Bank filtration: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water. *Environmental Science & Technology*. Colorado, USA, 2002. p. 423 – 428.
- BOUWER, H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Journal of Hydrogeology*. v.10, p.121-142, 2002.
- SCHUBERT, Jürgen. Significance of hydrologic aspects on the RBF performance. *Nato Science series Iv: Earth And Environmental Sciences: Riverbank Filtration Hydrology*, Alemanha(düsseldorf ), v. 60, n. p.1-20, 2006
- KUEHN, W; e MULLER, U. Riverbank Filtration. An overview. *J. AWWA*. V.92, n.12,p.60-69. 2000.
- HISCOCK, K.M., GRISCHEK, T. Attenuation of Groudwater Pollution by Bank Filtration. *Journal of Hydrology*. V266, p139-144, 2002.
- STUYFZAND, Pieter J.; JUHÁSZ-HOLTERMAN, Maria H.A.; LANGE, Willem J. de. Riverbank filtration in the Netherlands: well fields, clogging and geochemical reactions. *Netherlands(Amsterdam): Stephen A. Hubbs (Ed.)*, p. 119-153. 2006.
- COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia