

## AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE AERADOR DE TABULEIRO, LEITO DE CONTATO SIMPLES E CONJUNTO DE FILTRO RÁPIDO COMPOSTO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO CAROÇO DE AÇAÍ E ZEÓLITA A, NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE FERRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Ângelo Tiago Campo Rêgo Filho (\*), Francisco Freitas Filho<sup>2</sup>, José Cláudio Ferreira dos Reis Junior<sup>3</sup>, Edvaldo Junior de Souza Lemos<sup>4</sup>, Caio Augusto Nogueira Rodrigues<sup>5</sup>

\* Universidade Federal do Oeste do Pará – angelotiago\_campos@hotmail.com

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência de remoção de ferro de água subterrânea. Para isto foram analisados parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em seis pontos de coleta de amostras. Com esse estudo, foi possível verificar que o emprego de carvão ativado no filtro rápido houve melhoras nos parâmetros cor e odor, assim como a neutralização do pH e a retenção de impurezas da água bruta. Os resultados de eficiência de remoção de ferro por unidade do sistema, foram de 18,94% (aerador), 32,95% (Leito de Contato), 90,33% (Filtro de carvão ativado), 56,52% (Filtro de Zeólita), 64,00% (Desinfecção), e eficiência global da estação de tratamento foi de 99,17%. Vale ressaltar que analisando de forma isolada a utilização de zeólita como camada filtrante, observou-se um percentual de 100% de remoção de ferro. Dessa forma pode-se concluir que a utilização de carvão ativado proveniente do caroço de açaí e zeólita, demonstraram-se eficientes como camadas filtrantes na remoção de ferro total de águas subterrâneas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de água, aerador tabuleiro, leito de contato, filtro rápido.

### INTRODUÇÃO

Para que se obtenha água de qualidade, é necessário selecionar processos de tratamento que permitam a remoção ou redução de alguns dos elementos da água bruta. Desse modo, a natureza da água bruta e a potabilidade da água que se deseja tratar se fazem na condição principal da seleção dos processos unitários (RICHTER, 2009).

Cada vez mais utilizadas no abastecimento, as águas subterrâneas podem apresentar elevada concentração de elementos e compostos químicos, como o ferro, conferindo características como gosto, odor e cor a água. Segundo Moruzzi e Reali (2012), o tratamento de água para esses casos envolve duas etapas principais interdependentes: a oxidação e a remoção do precipitado formado. A oxidação pode ser realizada por meio da utilização de um aerado e a remoção do precipitado por meio de filtração.

Richter e Azevedo Netto (2007) destacam os aeradores de queda por gravidade do tipo tabuleiro como os melhores e mais apropriados para oxidação de compostos ferrosos e manganosos por meio da inserção de oxigênio. Os aeradores por sua vez, são dispositivos que se destinam a introduzir ar na água para remoção de compostos voláteis e gases indesejáveis (ABNT, 1992). Durante a aeração da água ocorre a formação de precipitado ferrosos e, após esse processo a desferrização deve seguir para filtração em meio granulado garantindo dessa maneira a qualidade desejada da água (MORUZZI; REALI, 2012).

A filtração é um processo que separa o sólido do líquido, onde empregam-se fenômenos físicos, químicos e em algumas vezes, biológicos (filtros lentos). O objetivo de sua utilização se dá na retirada de impurezas suspensas na água e por passar em um meio poroso (areia). Sua velocidade de passagem pelo leito filtrante determina sua denominação, quando baixa (filtro lento) e quando elevada (filtro rápido) (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2011). Richter (2009) ressalta que a remoção da matéria que fica em suspensão pelo filtro e o seu desempenho hidráulico sofrem grande influência dos tamanhos dos grãos e os vazios dos poros.

A filtração rápida consiste em uma instalação pequena, que vem evoluindo com o passar dos anos, anteriormente eram filtros apenas com uma camada de areia, hoje já existem com mais camadas filtrantes, sendo estes últimos usam menos água na lavagem (RICHTER; AZEVEDO NETO, 2011).

De acordo com Carvalho (2005), o uso de carvão ativado por adsorção tem sido muito utilizado para a remoção de metais pesados, como os resíduos de: casa do grão do algodão, o sabugo de milho, pó de serra de coqueiro, casca do cacau, casca de jaca, bagaço de cana-de-açúcar, restos de couro e entre outros; todos os resultados com carvões foram satisfatórios para a remoção dos íons metálicos em soluções aquosas.

A remoção de íons de ferro da água alcançada pelo uso de zeólitas naturais e sintéticas é resultado do processo de oxidação e/ou adsorção, não sendo necessário o uso de regenerantes, apresentando-se assim como um método eficiente e de baixo custo (PERGHER et al., 2005).

## OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo geral verificar a eficiência de remoção de ferro de água subterrânea

## METODOLOGIA

Foi determinada a eficiência de remoção de ferro por unidade de tratamento da estação piloto. Para isto foram realizados 18 coletas e determinações laboratoriais dos parâmetros: pH, ferro total, cor aparente e turbidez. Os métodos analíticos para a determinação de todos os parâmetros seguiram o recomendado por APHA Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (APHA, 2005). Vale observar que os pontos de amostragem foram caracterizados segundo os valores máximos permissíveis (VMP) recomendados pela Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, publicado em 12 de dezembro de 2012. As coletas das amostras foram realizadas conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011). Para o procedimento de coleta foram utilizados frascos de polipropileno com volume de 1L para os parâmetros físico-químicos e com volume de 250 mL para as análises microbiológicas. Para o cálculo do grau de eficiência da filtração na remoção de ferro nas unidades da estação piloto foi adotada a Equação 1:

$$E = \frac{EAB \times 100}{EAF}$$

equação (1)

Onde

E= eficiência de filtração (%)

EAB= Concentração de ferro na água bruta (mg/L)

EAF= concentração de ferro na água final (mg/L)

No tratamento dos dados foi utilizado software *STATISTICA 7.0*, e suas ferramentas, tais como: análise de estatística descritiva, e plotagem de gráficos, que segundo Lima (2006), é o conjunto de técnicas utilizadas para resumir o conjunto de todos os dados coletados na investigação à relativamente poucos números e gráficos. Através dos dados foi possível identificar quais as concentrações dos parâmetros analisados para cada unidade do sistema. Com isso foi possível determinar qual a eficiência da unidade de tratamento, e quais as etapas que necessitam de ajustes.

Nesta etapa de avaliação e tratamento dos dados foram analisadas as seguintes medidas de posição: média, mediana e quartis e medidas de dispersão como: variância e desvio padrão. O teste estatístico Análise de Variância (ANOVA) fatorial sem repetição, foi realizado para verificar a existência ou não, de diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os parâmetros analisados, considerando como fatores os seis pontos de coleta estudados. Para a melhor compreensão dos resultados foram utilizados alguns gráficos: Gráfico de colunas, Gráfico de linhas e gráficos de linhas com eixos invertidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores absolutos das concentrações dos parâmetros físico-químicos em todos os pontos estudados nas unidades do sistema piloto de tratamento de água estão sistematizados em triplicata, no Quadro 1. Os resultados das amostras foram comparados com os padrões estabelecidos pela Portaria 2.914 de 2011, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre o padrão de potabilidade de água para o consumo humano.

**Quadro 1: Dados Brutos dos pontos de coleta**  
Fonte: Autor do Trabalho

CÓDIGO DAS AMOSTRAS	PONTO DE COLETA	COR	PH	FERRO	TURB <sup>5</sup>
P1.1	Água bruta	20	5,23	4,35	0,02
P1.2	Água bruta	20	5,22	4,41	0,02
P1.3	Água bruta	20	5,26	4,39	0,02
P2.1	Aerador	0	5,97	3,64	4,19
P2.2	Aerador	0	6,11	3,53	3,54
P2.3	Aerador	0	6,12	3,49	4,73
P3.1	Leito de Contato	0	5,85	2,37	1,73
P3.2	Leito de Contato	0	5,70	2,39	1,31
P3.3	Leito de Contato	0	5,72	2,40	1,61
P4.1	Filtro C.A.	0	5,62	0,241	0,02
P4.2	Filtro C.A.	0	5,64	0,239	0,02
P4.3	Filtro C.A.	0	5,60	0,235	0,02
P5.1	Filtro Z.A.	0	5,65	0,099	0,37
P5.2	Filtro Z.A.	0	5,73	0,103	0,02
P5.3	Filtro Z.A.	0	5,69	0,103	0,17
P6.1	Água tratada	0	6,22	0,035	0,34
P6.2	Água tratada	0	6,23	0,031	0,42
P6.3	Água tratada	0	6,41	0,044	0,24
<b>Valor máximo permitido</b>		<b>15</b>	<b>6-9,5</b>	<b>0,30</b>	<b>5,0</b>
<b>Unidade</b>		<b>uH</b>	<b>-</b>	<b>mg/L</b>	<b>NTU</b>

No Quadro 2 é apresentada a estatística descritiva dos resultados das amostras de água, com maior expressividade, obtidos para as unidades intermediárias do sistema piloto de tratamento de água, conforme apresentados.

**Quadro 2: Dados da estatística descritiva das unidades da estação piloto**  
Fonte: Autor do Trabalho

PARÂMETRO	P2			P3		
	pH	FERRO	TURBIDEZ	pH	FERRO	TURBIDEZ
Média	6,066667	3,55333	4,153333	5,75667	2,38	1,55
Mediana	6,11	3,53	4,19	5,72	2,39	1,61
Variância	7E-03	6E-03	0,355033	0,00663	2E-04	0,0468
Desvio Padrão	8,3E-02	7,7E-02	0,595847	0,08145	0,015	0,216333
Mínimo	5,97	3,49	3,54	5,70	2,37	1,31
Máximo	6,12	3,64	4,73	5,85	2,40	1,73
Q1	6,04	3,51	3,86	5,71	2,38	1,46
Q2	6,11	3,53	4,19	5,72	2,39	1,61
Q3	6,115	3,58	4,46	5,78	2,39	1,67
PARÂMETRO	P4			P5		
	pH	FERRO	TURBIDEZ	pH	FERRO	TURBIDEZ
Média	5,62	0,238333	0,02	5,69	0,101667	0,186667
Mediana	5,62	0,239	0,02	5,69	0,103	0,17
Variância	4E-04	9E-06	0	0,0016	5,33E-06	0,030833
Desvio Padrão	0,02	0,003055	0	0,04	0,002309	0,175594
Mínimo	5,60	0,23	0,02	5,65	0,09	0,02
Máximo	5,64	0,24	0,02	5,73	0,10	0,37
Q1	5,61	0,23	0,02	5,67	0,10	0,09
Q2	5,62	0,23	0,02	5,69	0,10	0,17
Q3	5,63	0,24	0,02	5,71	0,10	0,27

### POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)

Todas as amostras coletadas apresentaram pH menor que 7,0. Esses resultados são justificados pelas características naturais das águas subterrâneas do sistema hidrogeológico da formação Alter do Chão (TANCREDI, 1996). Segundo

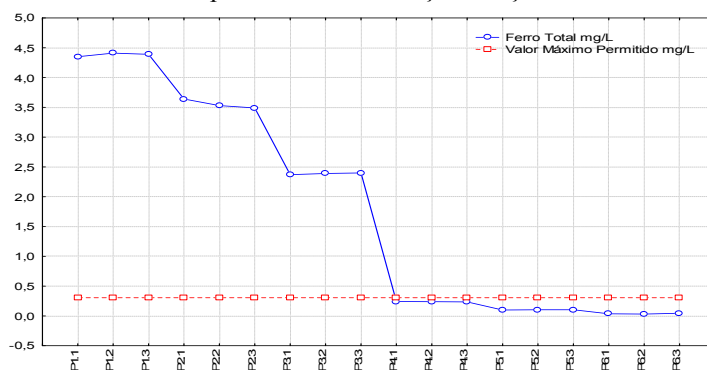
Araújo e Peleja (2009), os poços localizados nas áreas urbanas da cidade de Santarém, também evidenciaram um pH ácido em desacordo com o mínimo estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. O valor médio de pH encontrado na água bruta do sistema foi de 5,23, porém, após a água percorrer as unidades do sistema piloto de tratamento, o pH foi aumentando até chegar a um valor médio de 6,28, estando assim, dentro dos padrões de potabilidade.

## TURBIDEZ

Os dados de turbidez analisados, apresentaram valores iniciais no limite do valor máximo permitido que é de 4,73 NTU, não o ultrapassando em nenhum ponto de coleta, conforme apresentado nas análises.

## FERRO TOTAL

Conforme mostrado na Figura 1 a concentração média de ferro é bastante elevada nos pontos iniciais P1 (entrada de água) apresentou uma concentração de 4,38mg/L, P2 (saída do aerador) a concentração de ferro obtida foi de 3,55 mg/L e P3 (saída do leito de contato) cujo a concentração de ferro foi de 2,38 mg/L, sendo os pontos de entrada de água bruta, após o aerador e após o leito de contato, respectivamente, o que demonstra a necessidade de ações de intervenção para a diminuição destes valores para o estabelecido pela Portaria 2.914 do Ministério da Saúde que institui 0,3 mg/L. Pode-se afirmar também com base nestes valores que houve uma pequena redução nos teores de ferro após as unidades de aeração e leito de contato. É possível observar também que do ponto P3 para o ponto P4 (Filtro - Carvão ativado de caroços de açaí), houve uma importante redução na concentração de ferro total que passou de 2,38 mg/L para 0,23mg/L, sendo este valor abaixo do máximo permitido para potabilidade, fato este que comprova a viabilidade de utilização de carvão ativado produzido com caroços de açaí.

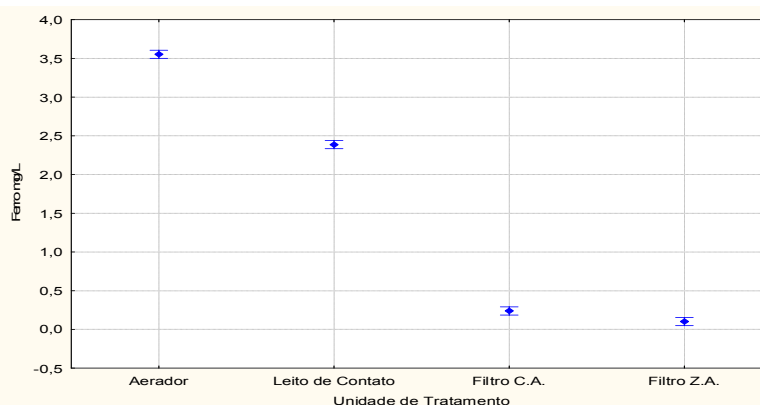


**Figura 1: Resultados das análises de ferro total em todos os pontos de coleta.**

**Fonte: Autor do Trabalho**

Também se observa que do ponto P4 para o ponto P5 (Filtro II – Zeólita A) a redução da concentração de ferro continuou decaindo passando de 0,23mg/L para 0,10mg/L, o que mostra a eficácia da utilização de zeólita A na remoção de ferro em água para consumo humano. Outro parâmetro que merece atenção é a cor aparente que reduziu em 100% do ponto de entrada do sistema (P1) até o ponto de saída (P6), porém, é importante observar que o valor mínimo de detecção de cor do aparelho que foi utilizado para este trabalho é de 10uH

Para os dados de Ferro Total presente na água, os resultados foram consideráveis entre as unidades do sistema, sobretudo no Filtro de C.A. ( $F(3, 8)=5431,9, p=,00000$ ). O maior valor médio de Ferro Total atingiu 3,55 mg/L na unidade de aeração, já o menor valor médio foi observado no Filtro de C.A. sendo 0,101 mg/L. Na Figura 2 são representados os valores mínimos e máximos e a média do Ferro total das unidades do sistema, mostrando a variação expressiva da concentração de ferro presente ao longo das unidades.



**Figura 2: Resultados de concentração de ferro total por unidade da estação piloto de tratamento de água.**  
**Fonte: Autor do trabalho**

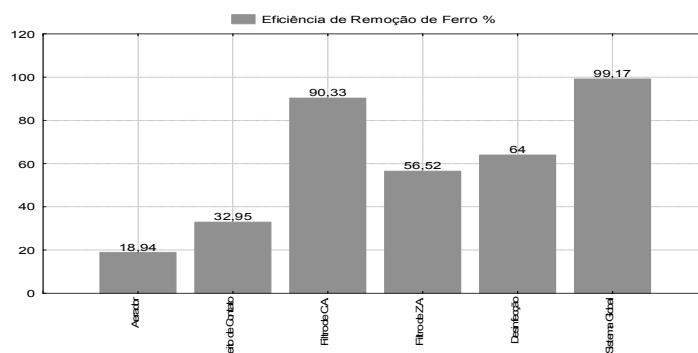
Os valores de ferro total após as unidades de tratamento variaram em média de 3,53 a 0,10mg/L. Pode-se perceber que a maior parcela de ferro tratada foi na unidade do Filtro de C.A, onde pode-se verificar já uma expressiva remoção de ferro na unidade. Pode-se observar que os valores de ferro total para o Filtro de C.A. já se encontram adequados ao consumo humano, ou seja, inferiores ao limite estabelecido pela Portaria nº 2914/2012 do Ministério da Saúde, que é de 0,3mg/L. No monitoramento das unidades é observado que o ferro total ao passar pela unidade de aeração esteve em média 3,53 mg/L, desvio padrão de 0,077 e variância de 0,00603. Já para a unidade do leito de contato o ferro total esteve em média a 2,38 mg/L, desvio padrão de 0,00023 e variância de 0,015. Para a unidade do filtro de C.A. na média do valor de ferro total esteve em média 0,23 mg/L, desvio padrão de 9,23 e variância de 0,0030. Para a última unidade do sistema o filtro composto por zeólita a média do ferro total foi de 0,10 mg/L, desvio padrão de 5,33 e variância de 0,0023.

Observando os valores de pH do ponto P2, nota-se que o valor médio ficou em torno de 6,06 porem como já enfatizado anteriormente as características do pH da região para a água subterrânea e levemente ácido, portanto mesmo ficando fora do recomendado é aceitável. Foi observado que o valor de pH após a unidade de aeração foi em média a 6.06, com desvio padrão de 0,0837 e variância de 0,0070. Já para a unidade do leito de contato esteve em média a 5.75, desvio padrão de 0,081 e variância de 0,0066. Para a unidade do filtro de C.A. o valor médio do esteve em torno de 5.62, desvio padrão de 0,02 e variância de 0,0004. Para a última unidade do sistema o filtro composto por zeólita à média foi de 5.69, desvio padrão de 0,04 e variância de 0,0016.

Observando os valores de turbidez, percebe-se diferenças significativas entre as unidades do sistema ( $F(3, 8)=101,29$ ,  $p=,00000$ ). Para o ponto P2, foi observado valores, com média de 4,15 uT, de acordo com a legislação vigente que estabelece o valor máximo permissível - VMP de 5 uT. O comportamento da variável turbidez para as unidades do sistema piloto. Assim a turbidez após a unidade de aeração foi em média de 4.15 uT, com desvio padrão de 0,59 e variância de 0,35. Já para a unidade do leito de contato foi em média a 1.55 uT, desvio padrão de 0,21 e variância de 0,046. Para a unidade do filtro de C.A. o valor médio foi de 0.02 uT, com desvio padrão de 0 e variância de 0. Para a última unidade do sistema o filtro composto por zeólita à média foi de 0,18 uT, desvio padrão de 0,030 e variância de 0,17. Portanto, percebeu-se que houve uma variação bem significativa da turbidez ao passar pelo filtro de C.A. chegando próximo a zero, portanto esta unidade foi de grande importância para a estação piloto.

Os valores de eficiência de remoção do ferro total para as unidades do sistema, concentraram-se nas faixas: 18,94% a 64%. Porem vale ressaltar que o Filtro com carvão ativado de caroço de açaí obteve uma eficiência de 90,33% de remoção de ferro sendo um valor muito importante para a pesquisa. Portanto verificou-se uma excelente eficiência das unidades do Sistema Piloto de tratamento de água – tipo desferrização composto por aerador, seguido de leito de contato ascendente, seguido de conjunto de filtro rápido descendente composto de carvão ativado proveniente do caroço de açaí e de zeólita A. A Figura 3 apresenta a eficiência da remoção de ferro.





**Figura 3: Eficiência de remoção de ferro**  
**Fonte: Autor do Trabalho**

A eficiência global do Sistema Piloto de tratamento de água foi de 99,17% para remoção de ferro em água subterrânea, assim após passagem da água bruta pelo sistema a mesma ficou dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria 2914/2011 para o parâmetro Ferro Total.

## CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos no estudo, pode-se concluir que o sistema de tratamento teve uma eficiência de 99,17% de remoção de ferro através das unidades propostas e implantadas. O carvão ativado produzido a partir do caroço do açaí demonstrou-se eficiente na remoção de ferro total de águas subterrâneas com uma eficiência de 90,33% do ferro, assim como para outros parâmetros. A zeólita produzida a partir da caulinita também se demonstrou eficiente na remoção de ferro total de águas subterrâneas, porém, foi observado a necessidade de modo a tornar viável o controle e operação em estações piloto de pequeno, médio e grande porte, necessita de mais experimentos para estudar seu comportamento, características e eficiência em estações de tratamento piloto de água

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for Examination of Water and WasteWater**. 18th. Washington, 2005. 9-26 p.
2. ARAÚJO, G. C.; PELEJA, J. R. P. Perfil da **Qualidade da Água Subterrânea de Poços Tubulares na Zona Urbana do Município de Santarém, Pará, Brasil**. 61ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC. Manaus, Amazonas. 2009.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: projetos de sistemas de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. **Diário Oficial** (da) República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2011.
5. CARVALHO, M.N. et.al. **Remoção do Ferro da Água Potável da Grande Recife Por Adsorção em Materiais Naturais: Fase II – Avaliação Comparativa da Baronesa com Bagaço de Cana-de-açúcar**. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. *Anais*. Campo Grande: UFPA, 2005
6. COMPANHIA AMBIANTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Brasília - DF, 2011.
7. LIMA, R. F. **Influência do Leito de Contato na Eficiência de Remoção de Ferro de Águas Subterrâneas**. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Belém - Pará, 2006
8. MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 4, n. 1, p.29-43, abr. 2012.
9. PERGHER, S. B. C.; CAOVIOLA, M.; DETONI, C. Remoção de Cu+2 de soluções aquosas em zeólita NaX. Efeito da granulometria. **Revista quim. Nova**. V28, n° 3, p. 397-401, 2005.
10. RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO; J.M. **Tratamento de Água: tecnologia atualizada**. 7ª ed. São Paulo: Blucher, 2007.
11. RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO; J.M. **Tratamento de Água: tecnologia atualizada**. 9ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2011
12. RICHTER, C.A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.
13. TANCREDI, A. C. F. N. S. Recursos Hídricos Subterrâneos de Santarém: Fundamentos para Uso e Proteção. Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 1996