

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Trabalho de Conclusão de Curso

**Eficiência de Coagulantes na Remoção de Diferentes
Concentrações de Ferro e Manganês para ETA
Terras Baixas**

Bruno Vasconcellos Lopes

Pelotas, 2014

Bruno Vasconcellos Lopes

**Eficiência de Coagulantes na Remoção de Diferentes
Concentrações de Ferro e Manganês para ETA
Terras Baixas**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, da Universidade
Federal de Pelotas, como requisito
parcial à obtenção do título de
Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Robson Andreazza

Co-orientador: Diego Pereira Viegas

Pelotas, 2014

Banca examinadora:

Prof. Dr. Robson Andreazza – Centro de Engenharias/UFPel

Prof. Tito Roberto Cadaval Junior – Centro de Engenharias/UFPel

Bacharel em Química Ambiental Ana Paula Kruger – Embrapa

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rodinei e Margarete, pelo amor incondicional, apoio e confiança depositada em mim ao longo de minha formação pessoal e profissional.

Ao meu orientador professor Dr. Robson Andreazza pelo auxílio e contribuições ao longo do trabalho e da vida acadêmica.

Ao meu co-orientador e responsável técnico pela ETA Terras baixas, Diego Viegas pelas contribuições, auxílio e disponibilidade ao longo da pesquisa.

À Profa. Luciara Bilhalva Corrêa pela orientação, apoio e dedicação durante a realização deste trabalho.

Aos professores da banca, Tito e Ana Paula, pela disponibilidade e valiosas contribuições para o enriquecimento deste trabalho.

A minha namorada Kelly pelo incentivo, apoio e carinho ao longo desta jornada. Muito obrigado por toda dedicação nesta etapa final, Te Amo!

Aos meus irmãos, Júnior e Bernardo pelo apoio incondicional e por existirem. Agradeço, a minha Irmã, Caroline, pelo carinho em todos os momentos desta caminhada na universidade.

Agradeço a todos colegas da ETA Terras Baixas e a Embrapa Clima Temperado pela disponibilidade do laboratório para realização das técnicas e análises.

Aos meus amigos e colegas, e todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho e da minha formação acadêmica.

A todos professores da faculdade de Engenharia Ambiental e Sanitária, pela dedicação e aprendizado ao longo de minha formação.

“Eu não posso querer mudar o mundo, mas eu tenho que me colocar diante
do mundo que eu vejo.”

Eduardo Marinho

RESUMO

LOPES, V. Bruno. **Eficiência de Coagulantes na Remoção de Diferentes Concentrações de Ferro e Manganês para ETA Terras Baixas**, 2014. 51p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O aumento da demanda mundial de água devido ao crescimento da população, acompanhado da poluição ambiental decorrente do sistema econômico, contribuiu para tornar ainda mais oneroso o tratamento de água para abastecimento humano. No Brasil, muitas regiões apresentam problemas relacionados à presença de sais de Ferro e Manganês, sendo este um dos problemas da Estação de Tratamento de Água (ETA) Terras Baixas, localizada no Município do Capão do Leão. Desta forma, o presente trabalho buscou um estudo comparativo sobre a eficiência de remoção dos íons de Ferro e Manganês na água bruta sem adição da solução padrão, e da água bruta com adição de 2 e 6 ppm de Mn por três diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio, Tanino Vegetal e Policloreto de Alumínio (PAC). Dos resultados obtidos, para a remoção de Ferro, os três produtos químicos utilizados se mostraram eficientes, entretanto para a remoção de Manganês, os coagulantes Tanino Vegetal e Policloreto de Alumínio (PAC) apresentaram os melhores resultados, sendo a maior eficiência na remoção do Tanino Vegetal para a água bruta sem adição e para a água bruta com adição de 2 ppm de Manganês. O Policloreto de Alumínio (PAC) obteve maior eficiência quando comparado ao Tanino Vegetal para a água bruta com adição de 6 ppm de Mn. Foram analisados também, os dados trimestrais da ETA Terras Baixas, em função da remoção de Ferro e Manganês do tratamento utilizado nos meses de Janeiro (Permanganato de Potássio e Sulfato de Alumínio), Fevereiro (Tanino Vegetal) e Março (Sulfato de Alumínio). Desta segunda análise, o Sulfato de Alumínio empregado com o pré-oxidante Permanganato de Potássio obteve os melhores resultados de remoção do Manganês, comprovando sua eficiência como tratamento para a água bruta com elevados níveis de Ferro e Manganês.

Palavras-chaves: Tratamento de água, Coagulante, Manganês, Ferro.

ABSTRACT

LOPES, V. Bruno. **Efficiency of Coagulants on the Removal of Different Concentrations of iron and manganese from ETA Terras Baixas**, 2014. 51p. Course Conclusion Paper (TCC). Graduation in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The increases of global demand for water due increasing population, together with the environmental pollution resulting from the economic system helped to make difficult the treatment of water for human consumption. In Brazil, many regions have been problems related to the presence of salts of iron and manganese, which are some of the water treatment problems in the municipality ETA of Capão do Leão. Thus, this study sought to evaluate the efficiency of removal of iron and manganese ions in raw water without the addition of the standard solution, and the raw water with the addition of 2 and 6 ppm of Mn for three different coagulants: Sulphate Aluminum, Tannin and Poly Aluminium (PAC). Three chemicals were effective on removal of iron; however for the removal of manganese, only coagulants of Tannin and Poly Aluminium (PAC) were positive, with the highest removal of Vegetable Tannin in raw water and with the addition of 2 ppm of manganese. The Poly Aluminum (PAC) was more efficient when compared to Tannin for raw water with the addition of 6 ppm of manganese. It was also analyzed quarterly data from the treatment station due to the removal of manganese coagulants used in January (aluminum sulfate and potassium permanganate), February (Plant Tannin) and March (Aluminum Sulfate). In this second analysis, the Aluminum Sulfate used with the oxidant potassium permanganate achieved the best results for removing manganese.

Keywords: Water Treatment, Coagulant, Manganese, Iron.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Estação de Tratamento de Água.....	15
2.1.1	Coagulação.....	15
2.1.2	Floculação.....	16
2.1.3	Decantação.....	17
2.1.4	Filtração.....	18
2.1.5	Desinfecção.....	18
2.1.6	Fluoretação.....	19
2.2	Problemas no Tratamento de Água.....	20
2.3	Coagulantes utilizados.....	21
2.3.1	Tanino Vegetal.....	21
2.3.2	Sulfato de Alumínio.....	23
2.3.3	Policloreto de Alumínio.....	24
2.3.4	Outros coagulantes.....	24
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	Local do estudo.....	25
3.2	Análise da água da ETA.....	26

3.3	Procedimento dos Ensaios.....	27
3.3.1	Teste de Jarros.....	27
3.4	Padrões para qualidade da água.....	29
3.4.1	Turbidez.....	29
3.4.2	pH.....	30
3.4.3	Condutividade Elétrica.....	30
3.4.4	Análise de Ferro (Fe) e Manganês (Mn).....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5	CONCLUSÕES.....	41
6	REFERÊNCIAS.....	42
	ANEXOS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Local da área de estudo. Fonte Google Earth (2014)	25
Figura 2	Etapas físico-químicas da Estação de Tratamento de Água	26
Figura 3	Teste de Jarro durante a mistura rápida.	27
Figura 4	Teste de jarro realizando a mistura lenta	28
Figura 5	Figura 5. Teste de Jarros realizados na Estação de Tratamento Águas Terras Baixas após a adição dos diferentes coagulantes: Tanino, PAC e Sulfato de Alumínio	28
Figura 6	Material usado nas análises pHmetro, Condutivímetro e Turbidímetro.	31
Figura 7	Kit Fotocolorímetro para análise de Ferro e Manganês	31
Figura 8	Concentração de remoção de manganês da água bruta tratada (ABT) com adição de 2 (2 Mn) e 6 (6 Mn) mg L ⁻¹ de manganês.	34
Figura 9	Figura 9. Relação da concentração de mg L ⁻¹ com a eficiência em porcentagem de remoção de Mn.	35
Figura 10	Concentração de todas as amostras (mg L ⁻¹) relacionado com a eficiência em porcentagem de remoção.	35
Figura 11	Remoção de Ferro da Água Bruta Tratada (ABT) com adição de 2 (2 Mn) e 6 (6 Mn) mg L ⁻¹ de manganês nos diferentes tratamentos: água bruta sem tratamento (●), sulfato de alumínio (○), Policloreto de Alumínio (PAC) (▼), e tanino (Δ).	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valor médio encontrado nas análises de turbidez, pH e condutividade elétrica da água bruta (AB) e após o tratamento utilizando sulfato de alumínio (Sulf. Al), Policloreto de Alumínio (PAC) e Tanino vegetal..	35
Tabela 2	. Porcentagem de remoção de manganês da água bruta tratada (ABT), com adição de 2 mg L ⁻¹ (2 Mn) e 6 mg L ⁻¹ (6 Mn) de manganês após a adição dos diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio, Policloreto de Alumínio e Tanino.	36
Tabela 3	Percentual de remoção de Ferro Total da Água Bruta Tratada (ABT), com adição de 2 mg L ⁻¹ (2 Mn) e 6 mg L ⁻¹ (6 Mn) de manganês após a adição dos diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio, Policloreto de Alumínio e Tanino Vegetal.	37
Tabela 4	Remoção média de manganês (mg L ⁻¹) da água bruta (AB), e água após passagem pelos filtros (AT) nos três meses com a adição de permanganato de potássio e sulfato de alumínio (Janeiro), tanino (Fevereiro) e sulfato de alumínio (Março).	38
Tabela 5	Remoção média de Ferro (mg L ⁻¹) da água bruta (AB), e água após passagem pelos filtros (AT) em três meses com a adição de permanganato de potássio e sulfato de alumínio (Janeiro), tanino (Fevereiro) e sulfato de alumínio (Março).	39

SIGLAS E ABREVIATURAS

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETA: Estação de Tratamento de Água

Fe: Ferro

NTU: Unidade Nefelométrica de Turbidez

Mn: Manganês

MS: Ministério da Saúde

PAC: Policloreto de Alumínio

pH: Potencial Hidrogeniônico

s/m: Siemens por metro

1. INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população, evidenciado nas últimas décadas gera uma alta pressão na indústria de alimentos, materiais e insumos para que estes acompanhem essa alta demanda. Contudo, esta demanda de água é um dos principais fatores limitantes a disponibilidade hídrica global (AUGUSTO, 2012). Além disso, o processo de industrialização, iniciado a partir do século XVIII, assim como o rápido aumento populacional, a concentração das populações nas cidades e o surgimento de novas tecnologias, foram fatores que contribuíram para o surgimento de vários problemas ambientais e sociais (PRADINI, 1995).

Segundo Von Sperling (2006) estima-se entre $1,36 \times 10^9$ a $1,46 \times 10^9$, é o volume de água no Planeta Terra e que aproximadamente 97% corresponde aos mares, oceanos e lagos de água salgada e que apenas o restante trata-se de água doce. Todavia, a parcela mais significativa de água doce, disponível nas calotas polares, é praticamente inaproveitável para fins de abastecimento para quase totalidade da população terrestre (LIBÂNIO, 2010)

Neste contexto, a contaminação das águas causada por esgoto doméstico e industrial, resíduos sólidos e também pelas águas de drenagem urbana e agrícola torna-se um dos maiores problemas atuais, sendo cada vez mais difícil o tratamento da água (CARVALHO, 2013).

Recentemente esse problema já se encontra presente em várias regiões do mundo, fazendo com que os órgãos públicos e as organizações não governamentais, estimulem, e ao mesmo tempo, orientem a população para o uso racional da água, que consiste em métodos e práticas de redução do consumo e conscientização contra o desperdício (SANTOS, 2013). Deste modo, a população tem cada vez mais conscientização quanto à deterioração do meio ambiente e à necessidade de se reverter ou ao menos minimizar este processo (CARVALHO, 2013).

Segundo Amaral *et al.* (2013) um eficiente tratamento de água é capaz de evitar contaminações, uma vez que os padrões estabelecidos para

qualidade de água não sejam cumpridos, a população está sujeita a enfermidades de natureza infecciosa. Deste modo, a avaliação da qualidade da água é de suma importância para o bem estar e saúde da população.

De acordo com a Legislação Federal, portaria Nº 2.914/11 do Ministério da Saúde, uma Estação de Tratamento:

VI - Um sistema de abastecimento de água para consumo humano: instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.

Notoriamente a Estação de Tratamento de Água Terras Baixas localizada no Município do Capão do Leão-RS é empregada no tratamento de água doce bruta, no sentido de obter água com qualidade satisfatória para Campus do Capão do Leão – UFPel, Empresa Embrapa Clima Temperado, Escola M. E. F. Prof.^a Margarida Gastal e domicílios que os permeiam, de acordo com padrões indicados pela Legislação Federal, Portaria Nº. 2914 de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL – MS, 2011).

Um dos problemas enfrentados na Estação de Tratamento de Água Terras Baixas é a presença de íons de Ferro e Manganês nas águas destinadas ao abastecimento, causando depósitos, incrustações e possibilitando o aparecimento de bactérias ferruginosas prejudiciais às redes de abastecimento, além de serem responsáveis pelo aparecimento de gosto e odor na água de consumo assim como manchas em roupas e aparelhos sanitários além de interferirem em processos de pesquisa dentro da universidade. Assim, o presente trabalho visou o estudo comparativo dos diferentes produtos químicos usados no tratamento da água bruta capazes de retirar esses íons.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar o melhor processo para remoção de Ferro e Manganês na água bruta utilizando o Teste de Jarros e os dados obtidos do controle da Estação de Tratamento de Água Terras Baixas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a água bruta a fim de se obter maiores informações sobre os elementos Ferro e Manganês presentes e suas quantidades;
- Analisar os três diferentes coagulantes traçando um perfil sobre a eficiência na remoção dos íons de Ferro e Manganês na água bruta com adição de diferentes concentrações de Mn;
- Comparar os tratamentos utilizados pela ETA Terras Baixas no primeiro trimestre de 2014 verificando a eficiência na remoção de Fe e Mn.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estação de Tratamento de Água

As grandes civilizações nasceram às margens de cursos de água, sendo esta o insumo principal para a vida e a agricultura. Por isso, à medida que a densidade demográfica foi se intensificando com a formação das cidades, passou a existir o problema do alto consumo de água, o qual foi fortalecido com a construção de grandes obras destinadas a captação, transporte e armazenamento deste líquido (SCHINIFF, 1996).

Com esta crescente demanda de água, houve o surgimento de novos compostos e o aumento de agentes poluidores existentes nos mananciais de captação da água. No século XIX, devido a uma maior preocupação com a poluição ocorreu o desenvolvimento de estudos científicos no campo do tratamento de águas a fim de torná-las próprias para consumo humano, surgindo assim as primeiras estações de tratamento de águas convencionais para abastecimento público (RICHTER, 2009).

Assim, as formas de tratamento de água são estabelecidas pelas características físicas, químicas e biológicas da água bruta e da sua utilização, que pode ser para indústria, agricultura ou consumo humano. Para o abastecimento público no Brasil é utilizado principalmente Tratamento Convencional, que apresenta as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (RICHTER, 2009).

2.1.1. Coagulação

De acordo com Richter (2009) o processo de coagulação envolve a adição de produtos químicos para a precipitação de compostos presentes em solução, os quais não seriam removidos com a decantação ou com uma simples filtração. A aplicação dos coagulantes diminui as forças que mantêm separadas as partículas em suspensão na água, desestabilizando-as, podendo assim agregarem-se a outras partículas.

A decisão sobre a escolha do coagulante utilizado frequentemente pauta-se em fatores de ordem econômica, relacionados à adequabilidade, à água bruta, à tecnologia de tratamento, ao custo e também à preservação dos tanques e dosadores (RICHTER E AZEVEDO, 1991).

Ao longo das últimas décadas, diversos sais têm sido utilizados como coagulantes. Basicamente, os coagulantes mais comuns empregados nas Estações de Tratamento de Água no Brasil são: Sulfato de Alumínio; Cloreto Férrico; Sulfato Ferroso Clorado; Sulfato Férrico e o Policloreto de Alumínio (PAC). Devido a grande gama de produtos químicos e à natureza distinta das águas brutas, é essencial a realização de experimentos em instalação-piloto ou em Teste de Jarros para definir as condições adequadas de coagulação e mistura rápida, mistura lenta e decantação (DEMPSEY, 1984).

Diversos fatores interferem no processo de coagulação, dentre eles, os mais importantes são: pH, alcalinidade, natureza das partículas coloidais, tamanho das partículas e quantidade de matéria orgânica e inorgânica. Segundo Libânio *et al.* (1997) é importante ressaltar outros fatores capazes de interferir no processo, como a concentração e a validade do coagulante, temperatura, mecanismo de absorção, gradiente de velocidade e tempo de agitação da mistura rápida.

2.1.2. Flocculação

Os processos de uma Estação de Tratamento de Água ocorrem em sequência, logo após a coagulação vem à flocculação, que pode ser definido como processo de agrupar partículas coaguladas ou desestabilizadas para formação de flocos maiores de forma a se sedimentar ao longo do processo. Para que as partículas se agrupem existem duas ações essenciais, uma delas é a colisão causada pelo movimento das moléculas ou movimento browniano, de viscosidade e energia térmica e a segunda é a colisão causada pelo movimento das águas (RICHTER, 2009).

É compreendido que quanto maior for o gradiente de velocidade, maior será a probabilidade de ocorrer contato entre as partículas, possibilitando à agregação dos flocos e visando o aumento do tamanho dos mesmos. Porém,

não se devem exceder as velocidades, visto que provocarão protrusão nos flocos já formados. No processo de floculação ocorrem dois fenômenos que se contrapõem: agregação das partículas e a ruptura dos flocos, desta forma tornam-se importante os ensaios laboratoriais, nos quais, é possível estabelecer um equilíbrio entre esses fenômenos. Na prática, tem-se observado que o valor do gradiente de velocidade média eficiente diminui à medida que aumenta o tempo de floculação (WAJSMAN, 2014).

2.1.3. Decantação

A sedimentação de partículas após a floculação é usualmente chamada de decantação. O processo de remoção de partículas sólidas em suspensão ocorre horizontalmente, fazendo com que a água percorra a maior distância possível para que as forças gravitacionais atuem separando as partículas com densidades superiores. Normalmente estas partículas têm estruturas retangulares que se movimentam no sentido da água. Desta forma, a água mais límpida estará na extremidade superior sendo retirada do processo, enquanto que as partículas mais pesadas se depositarão no fundo do decantador (RICHTER, 2009).

De acordo com Wajzman (2014) na decantação convencional, o resíduo se deposita no fundo do reservatório, sendo assim, necessária uma manutenção na unidade. A limpeza pode ser feita mecanicamente ou manualmente. A frequência dessa operação dependerá da concentração de sólidos suspensos presentes na água. Em todo caso, o intervalo decorrido entre duas remoções não deve ser longo a ponto de possibilitar a solubilização de metais e outras substâncias nocivas à saúde humana que estejam presentes na forma de precipitado no lodo da ETA.

A eficiência da unidade de decantação é reduzida à medida que ocorre um funcionamento inadequado das unidades de coagulação e floculação, o que pode ocorrer devido a problemas operacionais ou até mesmo quando a água bruta apresenta baixa concentração de partículas, dificultando o processo de coagulação, uma vez que a baixa concentração resulta em uma menor taxa de

contato entre as partículas e os produtos da hidrólise do coagulante, limitando o transporte de massa (WAJSMAN, 2014).

2.1.4. Filtração

No processo de filtração ocorre à separação sólido-líquido, advindo fenômenos físicos, químicos e, às vezes, biológicos, visando a remoção das impurezas da água por sua passagem através de um meio poroso (RICHTER E AZEVEDO, 1991).

Os filtros podem ser classificados em rápidos e lentos, de acordo com a vazão tratada por unidade de área do filtro. No caso de abastecimento urbano, o uso dos filtros rápidos se torna fundamental devido à alta demanda de um grande volume de água em pouco tempo (LIBÂNIO, 2010).

Na filtração, o material mais comum é a areia, seguido do antracito, da areia de granada e do carvão ativado granular (RICHER, 2009). Entretanto, é comum a utilização de diferentes materiais em conjunto para uma maior eficiência neste processo.

Todavia, os meios filtrantes são influenciados por um conjunto de fatores, sendo eles, a espessura e comprimento do filtro assim como tamanho, distribuição, esfericidade, densidade e porosidade dos grãos (LIBÂNIO, 2010).

2.1.5. Desinfecção

Desinfecção é um processo em que se pode usar um agente químico ou não, no qual se tem por finalidade a destruição de microrganismos patogênicos presentes na água como bactérias, protozoários, algas e vírus (RICHER, 2009). É importante destacar que desinfecção não é o mesmo que esterilização, pois a esterilização visa à destruição de todos os organismos enquanto a desinfecção é um processo seletivo, que não destrói todas as formas vivas e nem sempre elimina todos os organismos patogênicos.

Atualmente o processo mais comum e eficiente de desinfecção empregado em uma Estação de Tratamento de Água é a adição de cloro no qual, o cloro pode ser facilmente empregado na forma gasosa como Cloro Elementar (Cl_2), ou na forma líquida como Hipoclorito de Sódio e ainda na forma sólida como Hipoclorido de Cálcio (RICHER, 2009).

Em se tratando da adição de cloro para desinfecção, fica exposto abaixo a posição do Ministério da Saúde no Art. 34 da Portaria Nº2914/11:

“É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede)”.

A importância de manter o cloro residual livre é para que não ocorra aparecimento de microrganismos patogênicos no transporte da água pela canalização durante a distribuição.

Entretanto, há um maior interesse pelo uso de desinfetantes alternativos, em decorrência da possibilidade da formação de trihalometanos e compostos organoclorados pelo cloro, que podem causar riscos à saúde pública. Desse modo, existem outras formas alternativas de desinfecção como utilização do Ozônio, Peróxido de Hidrogênio, Radiação Ultravioleta, Permanganato de Potássio entre outros, porém essas técnicas ainda não foram disseminadas para as Estações de Tratamento de Água (RICHTER, 2009).

2.1.6. Fluoretação

O procedimento de fluoretação é realizado visando proporcionar uma medida segura e econômica de auxílio na prevenção da cárie infantil. Nas Estações de Tratamento de Água e nos poços artesianos é utilizado o flúor sob a forma mais comum de Ácido Fluossilícico (MAIA, 2013). As dosagens de flúor utilizados para o tratamento da água seguem um guia de recomendações para o uso de fluoretos no Brasil (BRASIL – MS, 2009)

2.2. Problemas no tratamento de água

As impurezas presentes na água são condicionadas muitas vezes pelo ambiente onde a água se encontra, e também pelo caminho que percorre. É importante ressaltar, que além da existência de compostos de Ferro, existem também impurezas geradas pelo Manganês (RICHTER, 2009).

A presença de Ferro no solo como Óxido férrico insolúvel e do Manganês como Dióxido Mangânico, assim com estes na forma de carbonatos insolúveis como siderita (FeCO_3) e Rodocrosita (MnCO_3), são alguns dos principais problemas enfrentados no tratamento de água (WALDE, 1985).

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991, p 48.), teores elevados de Ferro são encontrados, com maior frequência nos seguintes casos:

“Em águas superficiais, com matéria orgânica, nas quais o ferro se apresenta ligado ou combinado com a matéria orgânica e, frequentemente, em estado coloidal; águas subterrâneas (poços, fontes e galerias de infiltração), agressivas (pH baixo, ricas em gás carbônico e sem oxigênio dissolvido), sob a forma de bicarbonato ferroso dissolvido; águas poluídas por certos resíduos industriais ou algumas atividades de mineração.”

Os elementos Ferro e o Manganês quando presentes em águas naturais de baixo pH e com ausência de oxigênio, estão sob as formas quimicamente reduzidas (Fe^{+2}) sendo solúveis e incolores. Entretanto, quando o material é oxidado pela aeração ou pela aplicação de cloro, os minerais são precipitados conferindo a água uma aparência de vermelho a preto, no caso de presença de ferro, e de púrpura à preto nos casos de altas concentrações de manganês (MORUZZI, 2012).

Segundo o Ministério da Saúde, Portaria Nº 2914/11, que estabelece os Padrões de Potabilidade de Água no Brasil, classifica o Ferro e o Manganês dentro do Anexo X onde estão as substâncias químicas de padrão organoléptico de potabilidade, com os valores máximos permitidos de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ para o Ferro e $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ para o Manganês (BRASIL - MS, 2011).

A existência destes minerais na água de abastecimento pode ocasionar diferentes problemas. Altas taxas de Ferro na água podem promover o

surgimento de manchas em tecidos, manchas nos utensílios sanitários, sabor desagradável na água, prejudicar a preparação de alimentos e interferir em processos industriais. Além disso, o alto teor de Ferro e Manganês pode causar o aparecimento de bactérias ferruginosas nocivas assim como depósitos e incrustações (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). Segundo o autor, a acumulação destes minerais precipitados na encanação favorece o crescimento de bactérias ferruginosas no sistema de distribuição. A consequência deste processo normalmente é a formação de coloração e odor na rede. Assim, a dificuldade torna-se a remoção do ferro e do manganês, antes da sua entrada nos sistemas de distribuição.

Segundo Labunska *et al.* (2000), a exposição de manganês em altos níveis pode causar graves problemas de saúde. Quando em exposição no ar deste elemento o ser humano pode-se desenvolver uma doença denominada manganismo onde seus sintomas são distúrbios mentais e emocionais, além de apresentarem movimentos do corpo mais lentos e descoordenados, registros de humanos expostos à água de abastecimento contaminada com Mn desenvolveram sintomas similares aos vistos em mineradores expostos à altos teores de manganês no ambiente que estavam inseridos, mas não se sabe ao certo se os efeitos foram causados pelo manganês isoladamente ou outros elementos presentes danosos a saúde na água de abastecimento.

2.3. Coagulantes utilizados

O processo de coagulação consiste em envolver simultaneamente fenômenos químicos e físicos melhorando assim, a qualidade da água e o aspecto visual da mesma para o consumo humano. Em outras palavras, essencialmente, é a desestabilização das partículas coloidais e suspensas realizada pela conjunção de ações físicas e reações químicas.

2.3.1. Tanino Vegetal

Não há uma definição técnica específica para a palavra tanino. Quimicamente são constituídos por polifenóis simples, carboidratos, aminoácidos e gomas hidroxidolodais e possuem a propriedade de transformar-

se com processos industriais em anticorrosivos, cola, flocculante e outros produtos (SILVA, 1999).

Os taninos são encontrados em árvores de grande e pequeno porte. A madeira é constituída de dois grandes grupos: o grupo que forma a parte da estrutura celular vegetal e o grupo de substâncias extraíveis que são os polifenóis que são o subgrupo mais importante e numeroso. Os polifenóis se dividem em taninos, ligninas e polifenóis simples (polifenóis menores, flavonóides e outros) (SILVA, 1999). No mercado, os principais tipos de taninos são: taninos hidrolizáveis, galotaninos, elagitaninos, oligoméricos complexos e taninos condensados (MARTINEZ, 1996).

O tanino condensado é o mais utilizado como flocculante por ser mais viscoso que o hidrolizável. Devido à existência de toxidez, será necessário acréscimo de poliamidas ou proteínas em sua estrutura. Pois nas substâncias hidrolizáveis já existe uma maior concentração de glicose em sua estrutura nuclear obtendo assim, uma menor toxidez.

Quando utilizado o tanino para o tratamento de águas para abastecimento, a concentração utilizada como coagulante está abaixo das concentrações capazes de intoxicar, visto que, uma grande dosagem não necessariamente resultará na floculação ideal. É importante destacar que os taninos condensados são agentes antimicrobianos (fungicidas, algicidas e antibacterianos), por serem reguladores de crescimento e germinação de plantas e funções correlacionadas a estas (MARTINEZ, 1996).

Os coagulantes naturais a base de tanino apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis, e ainda produzirem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (KAWAMURA, 1991). Com esta finalidade, os taninos atuam em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação (GRAHAM et al., 2008).

O tanino não altera o pH da água tratada por não consumir alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em larga faixa de pH de 4,5 – 8,0 (BARRADAS, 2004).

O principal mecanismo de ação dos taninos é a formação de quelante. A sua principal característica de reatividade é dada pela presença de ferro na constituição do polieletrólito que age como transportador de elétrons formando as pontes necessárias para oxidação de outros metais. Um exemplo disso foi o emprego do tanino para inibir a corrosão em caldeiras por depósito de metais em meio alcalino (NEVES, 1976).

2.3.2. Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

O Sulfato de Alumínio em solução aquosa é um ácido corrosivo, e provavelmente, a substância química mais amplamente utilizada para coagulação no Tratamento de Água para abastecimentos públicos, pois se trata de um excelente formador de floco, além de sua relativa economia e facilidade de manuseio (RICHTER, 2009).

É importante ressaltar que a quantidade de Sulfato de Alumínio necessário para provocar uma coagulação é fácil mente pressentida através de teste de jarros. Atualmente utilizam-se mais quantidades práticas, pois parte dos íons de alumínio parecem se combinar diretamente com as impurezas da água (LIBÂNIO, 2010).

O Sulfato de Alumínio é fácil de transportar e de manejar além de ter custo baixo e produção em várias regiões brasileiras. Contudo, ainda é necessário ser armazenado em tanques de plásticos, madeira, borracha ou aço inoxidável para melhor durabilidade. Sua característica física de fornecimento comercial pode ser em formato de pedras/granular, ou na forma líquida. O pH utilizado pode variar de 5,0 a 7,0, visto que fora dessa faixa é impraticável a sua coagulação (RICHTER, 2009).

2.3.3. Policloreto de Alumínio ($\text{Al}_n(\text{OH})_m(\text{Cl}_3)_{n-m}$)

Coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) é um Polímero catiônico desenvolvido no Japão e amplamente aceito no mercado pela sua eficiência e capacidade de atuar numa amplitude de pH maior, muito recomendado para uso em estações de tratamento de água afim de substituir os coagulantes convencionais usados, os sais de alumínio e sais de ferro, o PAC possui uma melhor eficiência de clarificação porem seu valor de mercado é superior aos coagulantes costumeiros. (PRATI; *et al.*, 2005).

2.3.4. Outros Coagulantes

Ainda existem outros coagulantes não citados com detalhes no presente trabalho. Um exemplo disso é o Sulfato Ferroso muito útil para tratar águas que apresentem pH elevado na faixa de 8,5 à 11, e o Sulfato Férrico conveniente para tratamento de águas altamente coloridas ou ácidas com pH na faixa de 5,0 a 11; e ainda o Cloreto Férrico que produz bons flocos em amplo intervalo de pH (entre 5,0 e 11,0) (VIANNA,1997).

Na família dos compostos orgânicos, apresentam-se outros coagulantes que podem ser utilizados como coagulantes primários ou floculadores. Os Polieletrólitos que são polímeros orgânicos naturais ou sintéticos com longa cadeia molecular e elevado número de cargas. Seu emprego reduz consumo do coagulante e de alcalinizante gerando flocos compactos (menor volume de lodo com fácil desidratação) e mais resistência à ruptura. Entretanto, estes coagulantes podem apresentar contaminantes orgânicos em sua composição (acrilamida, precursores de THM, etc.) o que requer maior cuidado na sua utilização (WAJSMAN, 2014).

Cada coagulante requer um pH adequado para então ser ajustado o parâmetro do componente químico escolhido. Utiliza-se na maioria das vezes hidróxido de cálcio ou carbonato de sódio para elevação o pH da água enquanto que o ácido sulfúrico para redução (MORUZZI, 2012).

3. METODOLOGIA

3.1. Local do estudo

Os dados e o procedimento experimental foram obtidos no Arroio Padre Doutor, fonte principal de águas de abastecimento público da Estação de Tratamento de Água Terras Baixas administrada pela Empresa Embrapa Clima Temperado juntamente com Universidade Federal de Pelotas, localizado no município do Capão do Leão ($31^{\circ}48'22.89''$ S e $52^{\circ}24'47.83''$ O) (Figura 1).

As análises foram realizadas no laboratório do controle de processo da Estação de Tratamento de Água Terras Baixas. Foram analisados a qualidade de água pela turbidez, pH, condutividade e as concentrações de Ferro e Manganês após os diferentes tratamentos.

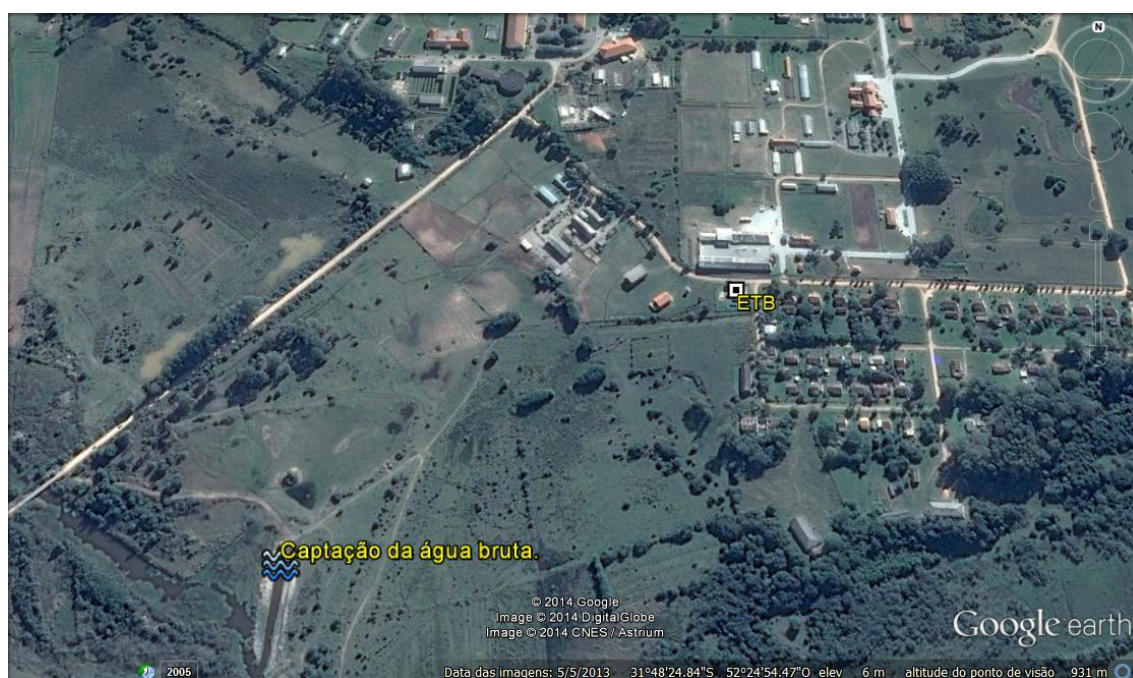


Figura 1: Local da área de estudo. Fonte: Google Earth (2014)

3.2. Análises da Água da ETA.

O tratamento da água para consumo da população é realizado na ETA Terras Baixas conforme as seguintes etapas demonstradas na Figura 2.

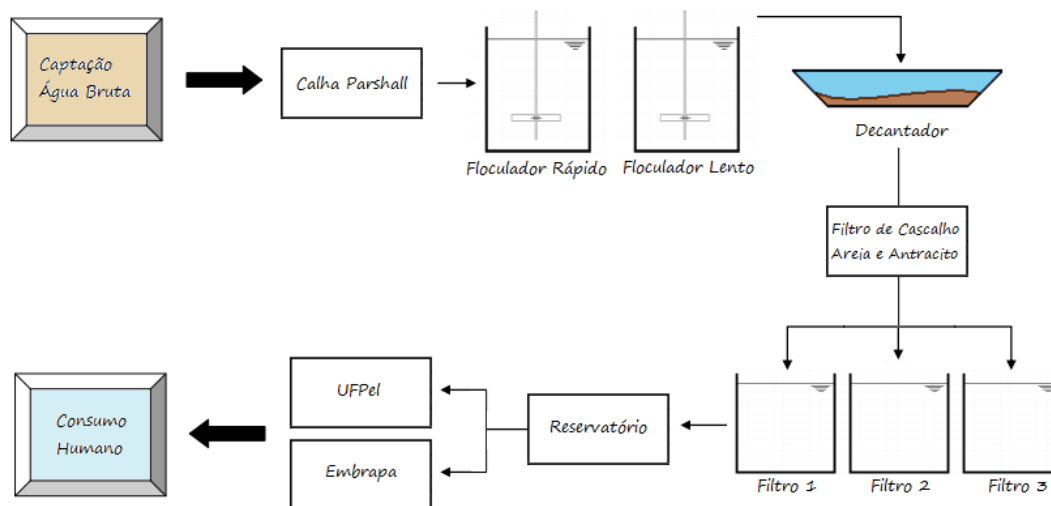


Figura 2. Etapas físico-químicas da Estação de Tratamento de Água.

O critério da qualidade da água tratada é dado pelas análises a cada duas horas, diariamente, das águas localizadas no processo de Captação da Água Bruta, Floculação, Decantação e do Reservatório. Neste processo ocorre as análises de turbidez, pH, condutividade, quantidade de cloro residual e também verificação da dosagem do coagulante e do corretor de pH, também são realizadas amostras diárias da concentração de Ferro e Manganês da água bruta e tratada.

Foram utilizados os dados da ETA Terras Baixas verificando sua precisão e exatidão para que desta forma seja possível a remoção dos possíveis erros. Posteriormente, foram escolhidos 15 pontos de análises de Ferro e Manganês dos 3 primeiros meses no ano de 2014.

Após, foram obtidos os percentuais de remoção dos 3 diferentes processos já utilizados na ETA, nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março os quais foram utilizados Permanganato de Potássio no primeiro mês como um oxidante que juntamente com Sulfato de Alumínio potencializa sua remoção de Ferro e Manganês, assim como o Tanino em Fevereiro como um coagulante

orgânico. Por fim, no mês de Março, foi utilizado apenas o Sulfato de Alumínio como coagulante.

Os resultados foram plotados com o software Sigma plot 10.0.

3.3. Procedimentos dos Ensaio

3.3.1. Teste de Jarros

A metodologia Standart Methods for Examination of Water and Wastewater (1995) se mostrou a mais indicada, para comparar pelo Teste de Jarros, com os três diferentes coagulantes, sendo o modelo do Teste de Jarros utilizado Floc-control da marca Policontrol.

A mistura rápida foi simulada na adição dos diferentes coagulantes na água por 1,0 min, com uma rotação de 250 rpm (Figura 3).



Figura 3. Teste de Jarro durante a mistura rápida.

A mistura lenta foi simulada a uma velocidade de 40 rpm durante 12 min, não gerando assim a quebra dos flocos que foram formados e proporcionando a ligação dos mesmos em partículas maiores como observado na Figura 4.

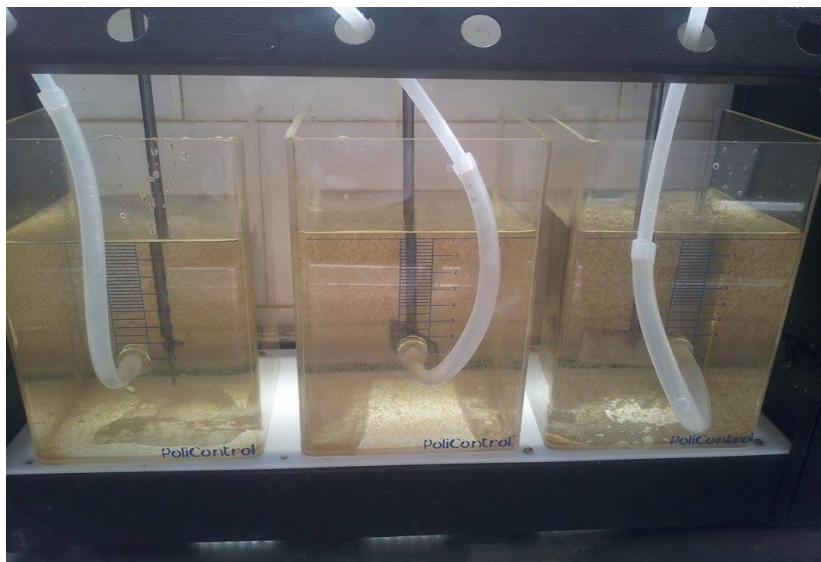


Figura 4. Teste de jarro realizando a mistura lenta.

Na decantação, a fase de sedimentação dos flocos, as paletas ficaram estáticas e o tempo de espera foi de 12 min, de modo a permitir a decantação dos flocos e a clarificação.

Em seguida, ocorreu a filtração e então foram retirados 300 mL de amostra para as análises como demonstrado na Figura 5. Para a realização das análises com diferentes concentrações de manganês utilizou-se uma solução padrão de Sulfato de Manganês diluído em água destilada.

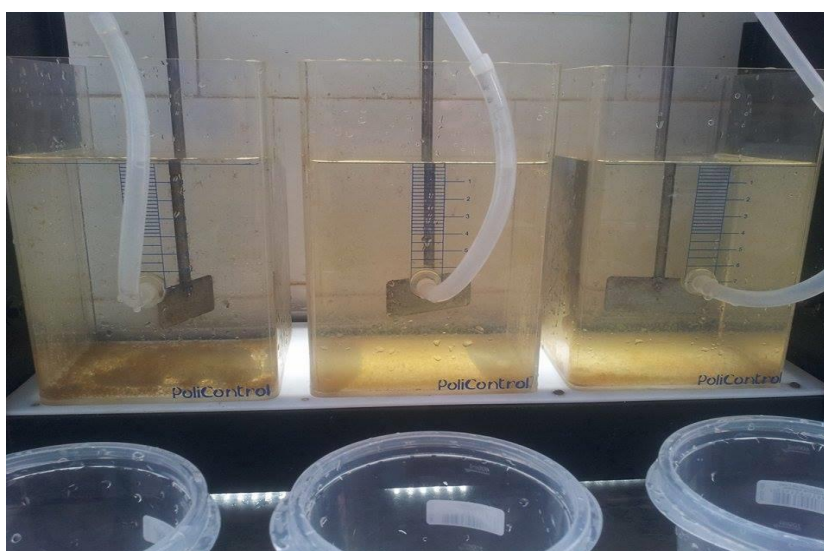


Figura 5. Teste de Jarros realizados na Estação de Tratamento Águas Terras Baixas após a adição dos diferentes coagulantes: Tanino, PAC e Sulfato de Alumínio.

Na primeira fase do experimento, do Teste de Jarros, foi utilizada água bruta para os três tipos de coagulantes, e feito os testes no mesmo instante e sem adição da solução padrão de manganês; além disso, foram realizadas simulações em diferentes dias, os dados das simulações só eram utilizados caso os três coagulantes atingissem uma turbidez igual ou inferior a 0,02 NTU, para simular uma coagulação eficiente. Também foram realizadas análises de pH, condutividade, concentração de Ferro Total e Manganês.

As análises foram conduzidas em três etapas, sendo a primeira etapa constituída de 15 análises, cinco para cada coagulante, a fim de traçar um perfil comparativo das eficiências na remoção do Manganês na água bruta.

Na segunda etapa o experimento foi conduzido nas amostras com adição de 2 ppm de Manganês através de uma solução padrão a 4% Mn em cada Jarro com água bruta e a partir disso foi feito o Teste de Jarros e então realizada as 5 análises em triplicata no qual deixou a elevada concentração com uma média de $2,3 \text{ mg L}^{-1}$ em cada jarro do experimento de bancada. Os mesmos parâmetros da primeira fase foram utilizados nessa etapa.

Por fim, na terceira etapa, a análise laboratorial anteriormente descrita foi realizada nas amostras com adição de 6 ppm de Manganês em cada jarro contendo água bruta. Nos experimentos com alta concentração, a adição de Mn obteve uma média de $6,27 \text{ mg L}^{-1}$ de manganês. Também se seguiu os mesmos parâmetros das fases anteriores.

Este estudo foi feito para comparar as diferentes concentrações de Manganês presente na água bruta, a fim de obter-se um maior conhecimento sobre as características de cada coagulante na remoção de Mn.

3.4. Padrões para qualidade da água

3.4.1. Turbidez

A turbidez foi medida em um Turbidímetro AP2000 fabricado pela Policontrol, em NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Este parâmetro

analisado representa o grau de interferência devido à matéria em suspensão na água (argila, silte, matéria orgânica, etc.) capaz de afetar sua transparência e a capacidade da passagem de luz através da água. A turbidez é uma característica que consiste na medição da resistência oferecida pelas águas à passagem dos raios luminosos, que varia de acordo com a razão inversa da transparência (VON SPERLING, 2006). Essa interferência luminosa quando de origem orgânica pode ser nociva à saúde humana. Por outro lado, quando a natureza desta interferência é inorgânica muitas vezes não é detectada facilmente pelos equipamentos.

3.4.2. pH

O pH tem grande influência no processo de tratamento de água pois está relacionado diretamente com a eficiência do coagulante onde caso seja necessário, poderá ser ajustado com produtos alcalinizantes para que ocorra a floculação na ETA. As propriedades ácidas de uma solução, aumentam quando a concentração de íons de H^+ aumenta, a qual é uma medida de acidez ionizada das soluções podendo assim caracterizar acidez ou alcalinidade de uma água (VON SPERLING, 2006).

Para medição do pH das amostras de água bruta, após o tratamento cada jarro foi utilizado o pH-metro – GRQ-018 (Figura 4).

3.4.3. Condutividade Elétrica

A medição da condutividade elétrica é um procedimento muito sensível para a medição de concentrações iônicas, pois qualquer espécie iônica com carga elétrica presente numa solução, contribuirá para a condutância total.

As medições também podem ser usadas para determinar o ponto final de muitas titulações, mas o uso está limitado a sistemas relativamente simples, nos quais não há quantidade excessiva de reagentes presentes. Assim, muitas titulações de oxidação, que exigem a presença de quantidades relativamente grandes de ácidos, não são apropriadas para a titulação condutimétrica.

No tratamento de água, considera-se este parâmetro para a noção sobre a quantidade de metais possíveis presentes em água de uma forma mais ágil e rápida. No presente estudo, esta medição foi realizada pelo aparelho Conductivity Meter – Modelo CD-4301 (Figura 6).



Figura 6. Material usado nas análises pHmetro, Condutivímetro e Turbidímetro.



Figura 7. Kit Fotocolorímetro para análise de Ferro e Manganês.

3.4.4. Análise de Ferro (Fe) e Manganês (Mn)

Para as análises de Ferro e Manganês foi utilizado o fotolorímetro AT100P da fabricante ALFAKIT (Figura 5) que possui uma margem de erro de 3% no qual o método analítico do Tiocianato é usado para aquisição dos resultados do ferro total com comprimento de onda de 480 nm.

O método analítico utilizado para obtenção dos resultados do manganês total foi o da formaldoxima usando o comprimento de onda de 450nm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água do arroio Padre Doutor foi coletada em diferentes dias e realizada as análises imediatamente após cada coleta com os três coagulantes para evitar variações de turbidez, pH, temperatura e condutividade elétrica.

Após a adição dos diferentes coagulantes, observou-se a eficiência na remoção da turbidez da água bruta, obtendo valores de turbidez de 0,02 NUT para ambos os produtos utilizados e observou-se também que o pH manteve-se entre 6,15 e 6,27. Para os parâmetros descritos obtiveram-se resultados superiores a Resolução 2.914/11 a todos os coagulantes utilizados no que se refere à qualidade da água tratada (Tabela 1). Já na condutividade elétrica, o Sulfato de Alumínio proporcionou a maior condutividade quando comparado aos outros coagulantes. Isto ocorre devido a adição do íon alumínio, que de acordo com Guimarães (2013), esse aumento está relacionado à presença de alumínio residual na água após o tratamento aumentando a condutividade da água. Outro dado relevante foi a temperatura média da água bruta de 17,3°C para a realização das análises.

Tabela 1. Valor médio encontrado nas análises de turbidez, pH e condutividade elétrica da água bruta (AB) e após o tratamento utilizando sulfato de alumínio (Sulf. Al), Policloreto de Alumínio (PAC) e Tanino vegetal.

	Turbidez (NUT)	pH	Cond. Elétrica (s/m)
AB	13,82±2,27*	6,34±0,10	99,24±14,01
Sul. Al	0,02±0	6,16±0,19	167,72±48,31
PAC	0,02±0	6,27±0,16	158,32±18,97
Tanino	0,02±0	6,15±0,13	122,67±10,93
Res. 2914/11	2,0	De 6,0 a 9,5	-

*Valores são médias ± desvio padrão das médias.

Analisando os resultados obtidos na Tabela 1, no que diz respeito à turbidez, pode-se perceber que a água bruta (AB) com valor de turbidez de 13,82 NUT, segundo a legislação do CONAMA (2005), seria classificada como Classe 1. Entretanto, a turbidez da água bruta sofre mudanças ao longo do ano, devido às variações climáticas da região podendo aumentar com a seca e fortes chuvas, eventos estes comuns no verão da região.

Para ser eficiente a coagulação das águas tratadas com os polímeros catiônicos: Policloreto de Alumínio (PAC) e Tanino Vegetal (Tanino) e com o polietrólito: Sulfato de Alumínio (Sul. Al) estes teriam que obter uma baixa turbidez após o procedimento. A turbidez encontrada foi de 0,02 NTU demonstrando assim, uma boa eficiência dos coagulantes.

Após análises de turbidez, pH e condutividade elétrica, foi analisada a remoção de manganês da água bruta e com adições de 2 e 6 ppm de manganês (Figura 8). É possível perceber uma baixa eficiência dos três coagulantes utilizados no experimento para a remoção de Mn da água. Essa baixa eficiência também foi encontrada na dissertação descrita por Prianti *et al.* (2005) no qual comparou os coagulantes: Policloreto de Alumínio, Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico.

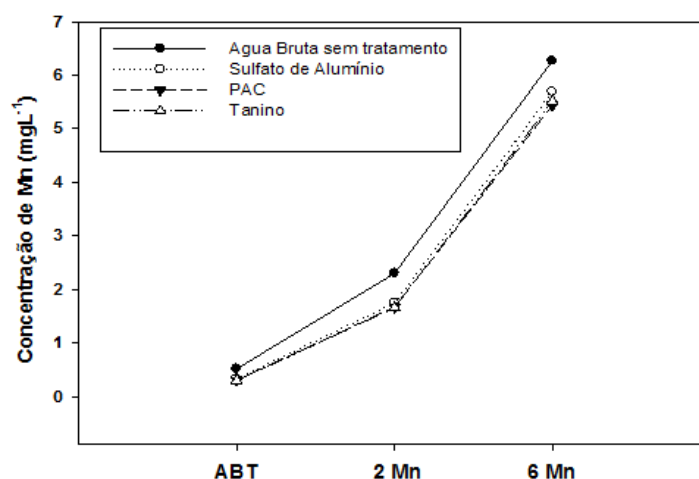


Figura 8. Concentração de remoção de manganês da água bruta tratada (ABT) com adição de 2 (2 Mn) e 6 (6 Mn) mg L⁻¹ de manganês.

Plotando todas as amostras utilizadas com os diferentes coagulantes (Figura 9) é possível notar que, embora haja uma maior eficiência do PAC (com adição de 6 mg L⁻¹ de Mn) e do Tanino (com adição de 2 mg L⁻¹ de Mn), há uma tendência parecida de remoção com um alto R² (acima de 0,9), mostrando uma tendência confiável das análises. Além disso, plotando todos os resultados em uma única curva, nota-se uma tendência similar com os demais resultados, com um R² similar aos das curvas separadas (Figura 10). Em outras palavras, em virtude da remoção de manganês os coagulantes não diferem profundamente entre eles, pois as porcentagens de remoção são baixas

quando comparadas com o valor máximo permitido por lei, remanescente a portaria Nº 2914/11 o qual é $0,1 \text{ mg L}^{-1}$.

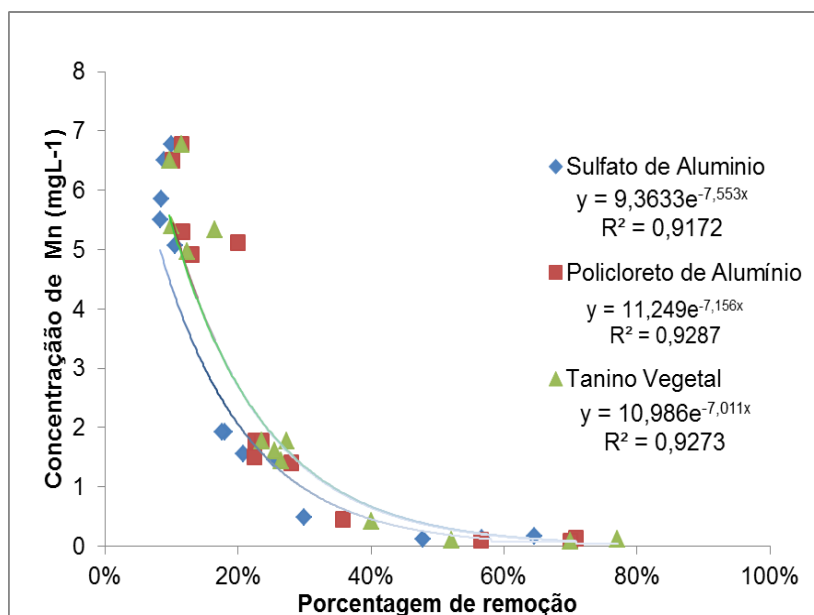


Figura 9. Relação da concentração (mg L^{-1}) com a eficiência em porcentagem de remoção de Mn.

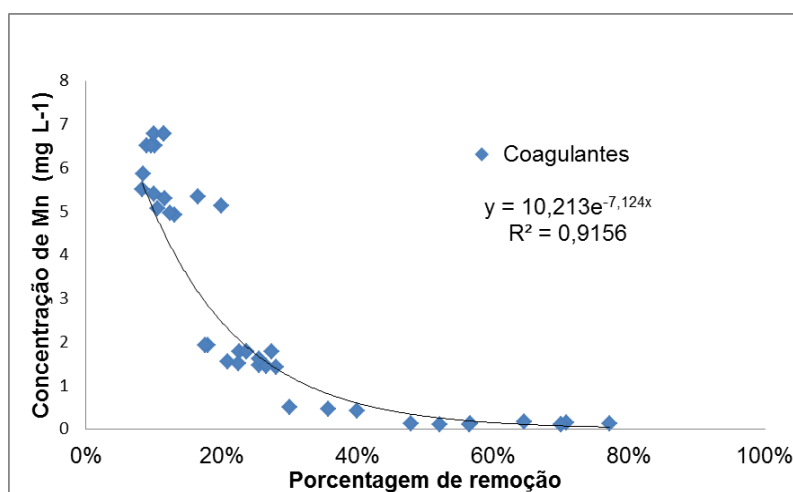


Figura 10. Concentração de todas as amostras (mg L^{-1}) relacionado com a eficiência em porcentagem de remoção.

O percentual de remoção de manganês, para a água bruta com uma concentração média de Mn em $0,52 \text{ mg L}^{-1}$ com o coagulante Tanino Vegetal obteve o melhor resultado de remoção seguido do coagulante PAC, já com a adição de 2 mg L^{-1} percebeu-se que o PAC e o Tanino Vegetal apresentam resultados similares de remoção (Tabela 2). Com a água bruta e adição de 6 mg L^{-1} observa-se que o PAC obtém a melhor remoção, ou seja, os coagulantes Tanino e Policloreto de Alumínio (PAC) demonstraram uma melhor

remoção de manganês tanto na água bruta tratada sem adição quanto nas águas com adição de 2 e 6 mg L⁻¹ de manganês usando a solução padrão. O Sulfato de Alumínio se mostrou pouco eficiente comparado com os outros coagulantes. É importante ressaltar que quanto mais elevada a concentração de manganês na água bruta menor é a eficiência de remoção de manganês para os três coagulantes utilizados neste estudo.

Tabela 2. Porcentagem de remoção de manganês da água bruta tratada (ABT), com adição de 2 (2 Mn) e 6 (6 Mn) mg L⁻¹ de manganês após a adição dos diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio, Policloreto de Alumínio e Tanino.

	Sulfato de Alumínio (%)	Policloreto de Alumínio (%)	Tanino (%)
ABT	46,92	53,08	54,23
2 Mn	24,00	27,43	27,91
6 Mn	9,25	13,27	12,03

Em experimentos utilizando o coagulante orgânico de Moringa Oleifera realizados por Miranda *et al.* (2007) aplicado para amostras de água de torneira com a concentração de manganês encontrada de 2,0 mg L⁻¹ e 5,0 mg L⁻¹, observou-se uma redução de 50,9% e 39,6% de manganês, respectivamente com 50 mg de massa de moringa, podendo então, observar que quanto maior a concentração de Mn, menor é a eficiência do coagulante na remoção.

Já Morizzi *et al.* (2004), demonstrou que a remoção do manganês utilizando o Cloreto Férrico (FeCl₃ - 6H₂O) apresentou eficiência superior a 36% e este resultado foi obtido através das funções de variações de pH e de variações de dosagens do coagulante, sendo o seu melhor resultado quando utilizou a dosagem de Cloreto Férrico à 30 mg L⁻¹ no valor de pH de 5,85 obtendo uma eficiência de remoção do manganês de 64%.

A remoção de Ferro Total para todos os coagulantes usados nos experimentos foram eficientes sendo viável a utilização no tratamento de água para abastecimento humano. A média de remoção do Ferro Total foi 97,6% (Figura 11, Tabela 3).

Um estudo realizado por Moruzzi *et al.* (2004) também obteve uma grande percentual de remoção do Ferro Total chegando a 95% com o pH e

dosagem ideal, porém neste trabalho foi utilizando o oxidante Cloreto Férrico e flotação por ar dissolvido (FAD).

Tabela 3. Percentual de remoção de Ferro Total da Água Bruta Tratada (ABT), com adição de 2 mg L⁻¹ (2 Mn) e 6 mg L⁻¹ (6 Mn) de manganês após a adição dos diferentes coagulantes: Sulfato de Alumínio, Policloreto de Alumínio e Tanino Vegetal.

	Sulfato de Alumínio (%)	Policloreto de Alumínio (%)	Tanino (%)
ABT	97,79	95,65	98,70
2 Mn	95,21	96,96	98,85
6 Mn	96,38	99,87	98,52

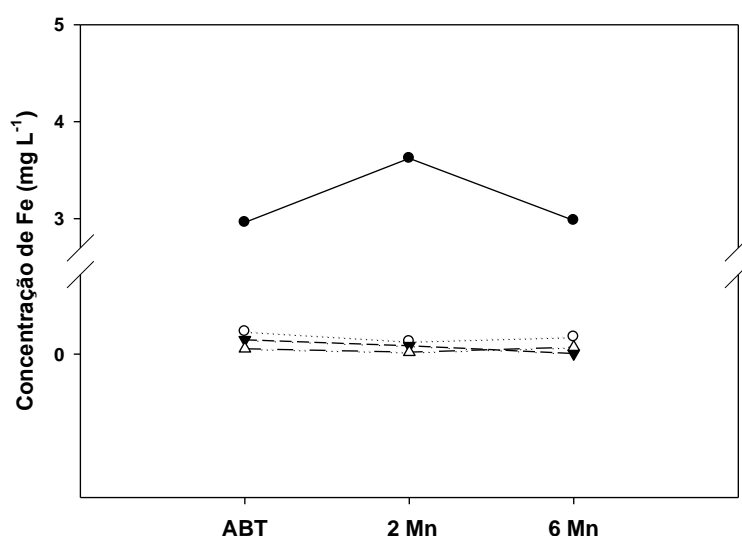


Figura 11. Remoção de Ferro da Água Bruta Tratada (ABT) com adição de 2 (2 Mn) e 6 (6 Mn) mg L⁻¹ de manganês nos diferentes tratamentos: água bruta sem tratamento (●), sulfato de alumínio (○), Policloreto de Alumínio (PAC) (▼), e tanino (Δ).

O tanino obteve os melhores percentuais de remoção de Fe em todos os tratamentos comparados aos outros coagulantes (Tabela 3). Além disso, nota-se que o aumento das concentrações de Mn na água bruta, não afetou consideravelmente a remoção do Fe.

O estudo de caso realizado por Costa (2004) utilizando três tipos de coagulantes (Cloreto Férrico, Sulfato Férrico e Sulfato de Alumínio) e um oxidante (Cloro), demonstra que todos os coagulantes, quando aplicados corretamente, confirmam a eficiência na remoção do ferro, sendo passíveis de utilização, de acordo com a Portaria vigente (Brasil – MS, 2011). Porém,

considerar que os teores de Ferro presentes no trabalho de COSTA (2004) estão entre 1,9 a 0,22 mg L⁻¹ na água bruta.

Observando a Tabela 4 é possível constatar que o maior percentual de remoção de manganês se dá com a utilização do Permanganato de Potássio (KMnO₄) como oxidante, juntamente com o Sulfato de Alumínio, se aproximando de 64% de remoção. Outro fator importante, é que o mês de fevereiro apresentou as concentrações mais elevadas de manganês na água bruta.

Além disso, é importante ressaltar que a remoção do Mn nos três meses avaliados, se mostraram ineficientes, obtendo suas médias superiores a da Legislação Federal, Portaria Nº 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) o qual limita o manganês em 0,1 mg L⁻¹.

Tabela 4. Remoção média de manganês (mg L⁻¹) da água bruta (AB), e água após passagem pelos filtros (AT) nos três meses com a adição de permanganato de potássio e sulfato de alumínio (Janeiro), tanino (Fevereiro) e sulfato de alumínio (Março).

	Janeiro		Fevereiro		Março	
	AB	AT	AB	AT	AB	AT
	-----mg L ⁻¹ -----					
Média	1,53	0,55	1,92	1,1533	0,82	0,49
Mínima	0,58	0,21	0,08	0,01	0,22	0,12
Máxima	2,64	0,97	4,18	2,74	2,18	1,59
% de remoção		64		40		40

De acordo com Carlson *et al.* (1997) citado por Moruzzi *et al.* (2012), apenas a adição de um oxidante químico no tratamento não é capaz de retirar as espécies coloidais de ferro e manganês presentes, deste modo, se faz necessário a utilização de processos de separação sólido-líquido adequados.

Observando a Tabela 5, é possível ver que no mês de março quando foi empregado o coagulante Sulfato de Alumínio no tratamento da água, a remoção de ferro se mostrou pouco eficiente, ou seja, ultrapassou os limites do Padrão de Potabilidade da Portaria Nº 2.914/11 do Ministério da Saúde para qualidade da água, no qual o limite de ferro é de 0,3 mg L⁻¹, mas nos meses de

janeiro e fevereiro utilizando os outros tratamentos não excederam a legislação vigente.

Tabela 5. Remoção média de Ferro (mg L^{-1}) da água bruta (AB), e água após passagem pelos filtros (AT) em três meses com a adição de permanganato de potássio e sulfato de alumínio (Janeiro), tanino (Fevereiro) e sulfato de alumínio (Março).

	Janeiro		Fevereiro		Março	
	AB	AT	AB	AT	AB	AT
	----- mg L^{-1} -----					
Média	5,62	0,08	6,04	0,15	5,52	0,42
Mínima	2,49	0	0,37	0	3,48	0
Máxima	9,8	0,26	12,36	0,55	7,76	2,39
% de remoção		99		97		92

Observando a tabela 5 observa-se que a pré-oxidação utilizando o permanganato de potássio com o coagulante Sulfato de Alumínio obteve a melhor eficiência de chegando a 99% de remoção do ferro.

5. CONCLUSÃO

Nos resultados obtidos na primeira etapa do estudo, utilizando teste de jarros, para remoção de manganês da água bruta do arroio Padre Doutor pode-se constatar que o coagulante a base de Tanino Vegetal apresentou os melhores resultados para a água bruta sem a adição da solução padrão de manganês e para água bruta com a adição de 2 mg L^{-1} de Mn. Entretanto, o Policloreto de Alumínio (PAC) apresentou semelhantes resultados e se mostrou mais eficiente, quando comparado ao Tanino, para remoção de manganês na água bruta com adição de 6 mg L^{-1} de Mn. A baixa eficiência do Sulfato de Alumínio pode estar associada a menor complexidade molecular do sal de alumínio quando comparado aos polímeros catiônicos: Policloreto de Alumínio (PAC) e Tanino Vegetal.

Os tratamentos na qual foram analisados o pH, condutividade elétrica, turbidez e remoção de ferro alcançaram os padrões de qualidade de água de acordo com a Portaria de Potabilidade da Água nº 2.914/11 do Ministério da Saúde, porém os resultados indicaram que os teores de manganês se mostraram superiores aos aceitados pela portaria vigente demonstrando assim sua dificuldade de remoção com o tratamento convencional.

Finalizando a primeira etapa é aconselhável a realização de estudos mais específicos utilizando os coagulantes, Tanino Vegetal e Policloreto de Alumínio, com diferentes concentrações e em diferentes épocas do ano, tendo em vista a variação da água bruta na qual está relacionada com a sazonalidade da região visando a sua aplicação na estação de tratamento de água Terras Baixas.

Posteriormente, na segunda etapa, foi analisada a atuação dos três diferentes tratamentos utilizados nos três primeiros meses de 2014. O tratamento usando um pré-oxidante (permanganato de potássio) juntamente com o Sulfato de Alumínio no mês de Janeiro apresentou melhores resultados com remoção de 64% do manganês e 99% de remoção de ferro, sendo assim, se mostrou o melhor tratamento em comparação aos outros utilizados. Portanto, é recomendável seu uso nos meses de novembro a março, quando

há alta concentração de metais na água bruta, entretanto, essa alta eficiência do tratamento citado se mostrou ineficaz ultrapassando o máximo de manganês permitido pela legislação atual vigente.

O tanino no teste de jarros para baixas concentrações de manganês se mostrou mais eficiente que os demais coagulantes e sem a necessidade de um corretor de pH, tornando mais viável economicamente sua aplicação. Desde modo, é aconselhável sua aplicação nos meses de abril a outubro onde o histórico da ETA Terras Baixas apresenta baixas concentrações de metais na água bruta quando comparado ao período de escassez de chuva.

Para concluir, são necessários estudos aprofundados sobre os diferentes coagulantes presentes no mercado e suas características, a fim de se obter um maior conhecimento destes para tratamento de água, visando assim, a remoção de manganês. Para maior precisão, seria imprescindível a utilização de equipamentos mais modernos e se possível à realização de estudos e projetos para futuras mudanças estruturais na Estação de Tratamento de Água Terras Baixas buscando melhorias no tratamento, distribuição e abastecimento da população com uma água de mais qualidade.

6. REFERÊNCIAS

AUGUSTO; *et al.* O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 9, 2012.

AMARAL, Luiz Augusto *et al.* Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista Saúde Pública**, v. 37, n. 4, p. 510-4, 2003.

BARRADAS, J. L. D. **Tanino** - Uma solução ecologicamente correta: agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água. Novo Hamburgo: Publicação Técnica, 2004.

BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 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 União, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia de recomendações para o uso de fluoretos no Brasil**. Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – Brasília 2009.

CARLSON, K.H.; *et al.* Optimizing treatment through Fe and Mn fractionation. **Journal AWWA**, v.89, n.4, p.162-171. 1997

CARVALHO, J. A. **Levantamento de estudos de degradação de contaminantes utilizando tecnologia de tratamento de água**. Seminário Regional Sobre Gestão de Recursos Hídricos, v. 3, 2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federal do Brasil, Brasília, 2005.

COSTA, E. R. H. *et al.* **Estudos de tratabilidade para redução do consumo de coagulante e remoção eficiente de ferro e do manganês (estudo de caso).** In: Saneamento ambiental Brasileiro. ABES, 2004.

GRAHAM, N.; GANG, F.; FOWLER, G.; WATTS, M. Characterisation and coagulation performance of a tannin based cationic polymer: a preliminary assessment. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 327, n. 1-3, p. 9-16, 2008.

GUIMARÃES, P. S. **Tratamento de Águas Residuárias Oriundas da Purificação do Biodiesel por Coagulação Empregando Sulfato de Alumínio e Quitosana: Avaliação Preliminar.** 2013. 77 p Tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos Universidade de Brasília, Brasília

KAWAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal American Water Works Association**, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991.

LABUNSKA, I.; STRINGER, R.; BRIGDEN, K. **Poluição por metais e compostos orgânicos associada à unidade da Bayer em Belford Roxo, Rio de Janeiro, Brasil.** 2000. Exeter: Laboratórios de Pesquisa do Greenpeace, Universidade de Exeter.

LEME F. P. **Engenharia do Saneamento Ambiental.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

LIBÂNIO, M. *et al.* **Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada.** In: Trabalhos técnicos. ABES, 1997.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3^o Edição. Campinas: Editora Átomo, 2010.

MAIA, A. A. *et al.* Automação para tratamento de água por floculação e flotação. **Revista de Controle e Automação**, v. 1, n. 1, 2013.

MARTINEZ, F. L. **Taninos Vegetais e suas aplicações**. Universidade de Havana/Cuba. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Outubro de 1996.

MIRANDA M, F. Estudo do uso da Moringa oleifera para remoção de prata e manganês em águas. **Horizonte Científico**, v. 1, n. 1, 2007.

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**, v. 4, n. 1, p. Páginas 29-43, 2012.

MORUZZI, Rodrigo Braga et al. Remoção de ferro e manganês complexados com ácido húmico presentes em águas para abastecimento utilizando a flotação. In: **Saneamento ambiental: desafio para o século 21**. ABES, 2001.

MORUZZI, R.B, *et al*. EvIEWS free movie iron and manganese complexes by using dissolved air flotation. In: **Water and Environment Management Series**. Young Researches, 2004. International Water Association (IWA) Publishing. ISSN 1476- 1785. 2004.

NEVES A. **Tecnologia de Tratamento de água**. Rio de Janeiro: Almeida Neves Editores LTDA, 1976.

RICHER C. A. Água: **Métodos e tecnologia de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2009.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. de. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

SANTOS, José Ozildo dos et al. A qualidade da água para o consumo humano: Uma discussão necessária. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**. v. 7, n. 2, p. 19-26, 2013.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 87 f. Tese de Mestrado na área de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

SCHINIFF J. P., **Nuevos Desafios para Potabilización del Agua**. Buenos Aires: Eco Web, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – princípios do tratamento biológico das águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte, Vol. 1, DESA/UFMG, 2006.

WALDE, D. H. G. **Geologia do manganês**. Brasil. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. Principais depósitos minerais do Brasil, 1985.

WAJSMAN, E. N.. **concepção de estação piloto de tratamento de água no centro experimental de saneamento ambiental**. 77p. 2014 .Monografia Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PRADINI, F.L. Manual de gerenciamento integrado. São Paulo. Instituto de pesquisa tecnológicas/ cempre, 1995.

PRATI, P; MORETTI, R. H.; CARDELLO, H. M. A. B. Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e sucos de frutas ácidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 147-152, 2005.

PRIANTI JR, N. G. et al. **Remoção e controle de ferro e manganês em águas para consumo humano**. Assembléia Nacional da ASSEMAE, v. 35, 2005.

ANEXOS

Tabela 6. Análises da 1 a 5 referente aos teste de jarros para a água bruta(AB) sem adição de Mn, após o teste de jarros tratada com o coagulante Sulfato de alumínio (Tra. Sulf Al), tratada com policloreto de alumínio (Tra. PAC) e tratada com Tanino Vegetal (Tra. Tanino).

Análise 1				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	13,1	0,02	0,02	0,02
pH	6,23	6,16	6,34	6,31
Condutividade	72,3	134	121	109
Mn mg L⁻¹	0,23	0,12	0,1	0,11
Fe mg L⁻¹	3,43	0,03	0,05	0
Dosagem de coag.(ppm)		50	40	85
Temperatura °C	15,9			
Análise 2				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	19,7	0,02	0,02	0,02
pH	6,19	5,81	5,89	6,02
Condutividade	91	171	168	127
Mn mg L⁻¹	0,48	0,17	0,14	0,11
Fe mg L⁻¹	4,74	0,08	0,08	0,02
Dosagem de coag.(ppm)		70	65	120
Temperatura °C	16			
Análise 3				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	13,2	0,02	0,02	0,02
pH	6,25	6,56	6,58	6,2
Condutividade	76	185	1,84	110
Mn mg L⁻¹	0,3	0,13	0,09	0,09
Fe mg L⁻¹	3,68	0,17	0,1	0,01
Dosagem de coag.(ppm)		50	40	85
Temperatura °C	20			
Análise 4				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	14	0,02	0,02	0,02
pH	6,36	6,12	6,44	6,36
Condutividade	102	194	175	145
Mn mg L⁻¹	0,7	0,39	0,35	0,32
Fe mg L⁻¹	3,2	0,07	0	0
Dosagem de coag.(ppm)		60	45	95
Temperatura °C	15,9			

Análise 5

	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	13,8	0,02	0,02	0,02
pH	6,41	5,9	6,09	6,07
Condutividade	102	170	157	123
Mn mg L⁻¹	0,89	0,57	0,54	0,56
Fe mg L⁻¹	3,06	0,05	0,03	0,03
Dosagem de coag.(ppm)		60	55	100
Temperatura °C	17,4			

Tabela 7. Tabela 6. Análises da 6 a 10 referente aos teste de jarros para a água bruta(AB) com adição de 2 p.p.m de Mn, após o teste de jarros tratada com o coagulante Sulfato de alumínio (Tra. Sulf Al), tratada com policloreto de alumínio (Tra. PAC) e tratada com Tanino Vegetal (Tra. Tanino).

Análise 6

	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	14	0,02	0,05	0,02
pH	6,27	6,16	6,32	6,03
Condutividade	88,8	159	154	113
Mn mg L⁻¹	1,96	1,46	1,41	1,44
Fe mg L⁻¹	2,75	0,14	0,26	0,07
Dosagem de coag.(ppm)		55	50	90
Temperatura °C	17,7			

Análise 7

	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	14,5	0,02	0,02	0,02
pH	6,42	6,2	6,12	6
Condutividade	92	160	158	114
Mn mg L⁻¹	2,49	1,55	1,5	1,6
Fe mg L⁻¹	2,94	0,15	0,15	0,09
Dosagem de coag.(ppm)				
Temperatura °C	18			

Análise 8

	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	17,4	0,07	0,02	0,02
pH	6,35	6,3	6,12	6
Condutividade	89,5	187	158	114
Mn mg L⁻¹	2,56	2,1	1,98	1,86
Fe mg L⁻¹	2,87	0,06	0,04	0,01
Dosagem de coag.(ppm)		55	50	95
Temperatura °C	17,5			

Análise 9				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	14	0,05	0,02	0,02
pH	6,51	6,24	6,3	6
Condutividade	100	177	175	114
Mn mg L⁻¹	2,16	1,71	1,675	1,61
Fe mg L⁻¹	3,07	0,25	0	0
Dosagem de coag.(ppm)		55	50	90
Temperatura °C	19			
Análise 10				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	13,4	0,02	0,02	0,02
pH	6,54	5,99	6,3	6
Condutividade	105	1,81	175	114
Mn mg L⁻¹	2,33	1,92	1,78	1,78
Fe mg L⁻¹	3,18	0,11	0	0
Dosagem de coag.(ppm)		45	43	90
Temperatura °C	17,7			

Tabela 8. Análises da 11 a 15 referente aos teste de jarros para a água bruta(AB) com adição de 2 p.p.m de Mn, após o teste de jarros tratada com o coagulante Sulfato de alumínio (Tra. Sulf Al), tratada com policloreto de alumínio (Tra. PAC) e tratada com Tanino Vegetal (Tra. Tanino).

Análise 11				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	10,8	0,02	0,02	0,02
pH	6,34	6,05	6,19	6,25
Condutividade	113	187	176	133
Mn mg L⁻¹	6,5	5,92	5,84	5,87
Fe mg L⁻¹	2,97	0	0	0
Dosagem de coag.(ppm)		40	35	80
Temperatura °C	16,4			
Análise 12				
	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	12,2	0,02	0,02	0,02
pH	6,27	6,23	6,25	6,31
Condutividade	113	200	196	131
Mn mg L⁻¹	6,4	5,86	5,12	5,34
Fe mg L⁻¹	3,15	0,18	0	0,12
Dosagem de coag.(ppm)		40	35	80
Temperatura °C	16,2			

Análise 13

	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	11,9	0,02	0,02	0,02
pH	6,28	6,3	6,31	6,22
Condutividade	118	202	195	135
Mn mg L⁻¹	6,78	6,1	6	6
Fe mg L⁻¹	2,82	0,21	0	0
Dosagem de coag.(ppm)		40	35	75
Temperatura °C	16,4			

Análise 14

	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	12,3	0,02	0,02	0,02
pH	6,25	6,05	6,28	6,17
Condutividade	112	191	181	127
Mn mg L⁻¹	5,66	5,06	4,92	4,96
Fe mg L⁻¹	2,93	0	0	0
Dosagem de coag.(ppm)		40	35	80
Temperatura °C	16,6			

Análise 15

	AB	Tra .Sulf Al	Tra. PAC	Tra. Tanino
Turbidez (NTU)	11,5	0,02	0,02	0,02
pH	6,25	5,92	6,14	6,13
Condutividade	114	197	184	131
Mn mg L⁻¹	6	5,5	5,3	5,4
Fe mg L⁻¹	3,04	0,15	0,02	0,1
Dosagem de coag.(ppm)		40	35	75
Temperatura °C	16,3			

Tabela 9. Amostras retiradas dos dados da ETA Terras Baixa no primeiro trimestre de 2014 relacionando as concentrações de manganês de água bruta (AB) e as concentrações de manganês da água após a filtração(AT).

Remoção de Mn no processo de tratamento da ETA Terras Baixas						
	Janeiro		Fevereiro		Março	
	AB	AT	AB	AT	AB	AT
A1	0,58	0,21	0,08	0,01	0,22	0,12
A2	0,59	0,3	0,39	0,08	0,43	0,13
A3	0,95	0,68	0,62	0,31	0,44	0,34
A4	0,97	0,45	0,97	0,53	0,44	0,34
A5	1,01	0,49	1,06	0,7	0,47	0,27
A6	1,02	0,5	1,07	0,54	0,55	0,45
A7	1,15	0,34	1,44	1,25	0,55	0,45
A8	1,24	0,69	1,47	1,04	0,6	0,24
A9	1,27	0,97	1,8	1,58	0,8	0,3
A10	2,03	0,59	1,87	0,77	0,85	0,61
A11	2,12	0,43	3,17	2,39	0,87	0,43
A12	2,33	0,89	3,33	2,15	0,91	0,48
A13	2,5	0,69	3,39	1,82	1,43	0,96
A14	2,61	0,54	3,96	1,39	1,55	0,68
A15	2,64	0,49	4,18	2,74	2,18	1,59
Média	1,534	0,5507	1,92	1,1533	0,8193	0,4927
minima	0,58	0,21	0,08	0,01	0,22	0,12
maxima	2,64	0,97	4,18	2,74	2,18	1,59
%	64%		40%		40%	

Tabela 10. Amostras retiradas dos dados da ETA Terras Baixa no primeiro trimestre de 2014 relacionando as concentrações de Ferro de água bruta (AB) e as concentrações de ferro da água após a filtração(AT).

Remoção de Fe no processo de tratamento						
Janeiro			Fevereiro		Março	
	AB	AT	AB	AT	AB	AT
A1	2,49	0,04	0,37	0	3,48	0,06
A2	3,6	0	0,52	0	4,25	0,15
A3	4,4	0,21	2,38	0,07	4,37	0,42
A4	4,5	0,17	4,98	0,11	4,51	2,39
A5	4,56	0,2	5,4	0	4,7	0,28
A6	4,62	0,26	5,48	0	4,82	0,44
A7	5,22	0	5,8	0,02	4,91	0,16
A8	5,32	0	6,84	0,17	4,92	0
A9	5,54	0	6,96	0,25	4,95	0,67
A10	5,64	0,25	7,24	0	5,8	0,23
A11	6,1	0,3	7,3	0,3	6,38	0,49
A12	6,48	0,02	7,58	0	6,92	0
A13	7,44	0	7,7	0,55	7,44	0,65
A14	8,72	0,03	9,7	0,28	7,6	0,3
A15	9,8	0	12,36	0,54	7,76	0,15
Média	5,6287	0,0843	6,0407	0,1527	5,5207	0,426
minima	2,49	0	0,37	0	3,48	0
maxima	9,8	0,26	12,36	0,55	7,76	2,39
%	99%		97%		92%	