



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**



**FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

ESTÁGIO LABORAL



Estudo da possibilidade da reutilização da água de lavagem de filtros da estação de tratamento de água do Umbeluzi com uso de coagulantes (Moringa e Quiabo)

AUTOR: MAUAIE, Rui Felizardo

Maputo, Setembro de 2015



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

ESTÁGIO LABORAL



Estudo da possibilidade da reutilização da água de lavagem de filtros da estação de tratamento de água do Umbeluzi com uso de coagulantes (Moringa e Quiabo)

AUTOR: MAUAIE, Rui Felizardo

SUPERVISORA: Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova

CO-SUPERVISORA: dr.^a Cesaltina Monjane

Maputo, Setembro de 2015

DEDICATÓRIA

Ao soberano Deus

Pelo dom da vida, saúde e força

Aos meus pais

Felizardo Samuel Mauaie e Rabeca Francisco Síbinda

Pela educação, amor, paciência e companheirismo durante a minha escolaridade

Aos meus irmãos

Félix Felizardo Mauaie

Aleixo Felizardo Mauaie

Lurdes Felizardo Mauaie

Felizardo Samuel Mauaie

Ocílio Felizardo Mauaie

Altenor Felizardo Mauaie

Pela atenção e encorajamento por eles proporcionado

À todos meus parentes e amigos em geral que, de uma forma directa ou indirectamente, apoiaram para a materialização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Altíssimo Deus pelo dom da vida, pela saúde, protecção e acima de tudo pelo direccionamento que me proporcionou até á concretização deste sonho.

Um especial agradecimento vai para a minha supervisora **Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova** pela dedicação, ensinamento, paciência e todo o apoio prestado para a realização deste trabalho.

À co-supervisora **dr.^a Cesaltina Monjane** pelo companheirismo, ajuda e apoio em todos os momentos e disponibilidade imediata.

Ao corpo docente do Departamento de Química da Universidade Eduardo Mondlane pela transmissão de conhecimentos durante a formação em especial endereço o meu agradecimento a Prof. Doutora. **Fung Dai Kin** pela correcção do trabalho.

Ao Sr. João Macuácuva o meu muito obrigado pela companhia e pela consideração para comigo e acima de tudo pela sua ajuda.

À **Águas da Região de Maputo** vai o meu agradecimento pela oportunidade da realização deste trabalho. A todos os colegas de estágio Filipe, Wilson, Ofélia, Armando, Mário, Adércio, Jacob, Faquir e Arlindo pelos momentos únicos que juntos passamos o meu muito obrigado.

O meu muito obrigado vai a trabalhadores do Laboratório da ETA nomeadamente a Letícia, Emicina por partilhar momentos agradáveis comigo.

Aos colegas, dr. Alberto Nhatave, dr. Agnaldo Luís, dr. Isménio Nhaca, Sérgio Chilengue, António Albino, Erasmo Domingos, Onízia Felizarda, Nelma Catarina, João Sambo, Gerço Djesse vai o meu muito obrigado pela amizade proporcionada e pela partilha de conhecimentos durante o período de formação.

Um obrigado especial vai para o Mestre Mirage Boane Gume pelo companheirismo, simplicidade, disponibilidade e acima de tudo por ter sido um óptimo amigo.

Aos meus amigos, dr. Francisco Salão Mata, dr. Raimundo Satela, Hilário Paulo Tui, Joaquim Bento e a Miséria Flora pela amizade que me proporcionam dia após dia.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Rui Felizardo Mauaie, declaro por minha honra que o presente trabalho foi da minha autoria e que, para a sua realização, servi-me dos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos de formação e das consultas bibliográficas sobre águas e coagulantes.

O autor

(Rui Felizardo Mauaie)

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

ALF	Água de Lavagem de Filtros
ETA	Estação de Tratamento de Água
“PAC”	Policloreto de Alumínio
“NTU”	Unidades de Turvação Nefelométrica
NMP	Numero Mais Provável
“TDS”	Sólidos Totais Dissolvidos
DPST	Direcção de Projectos e Suporte Técnico
AAOMETA	Abastecimento de Água, Operação e Manutenção de Estações de Tratamento de Água
CE	Condutividade Eléctrica
mL	Mililitro
°C	Graus Centígrados
rpm	Rotações Por Minuto
mg	Miligramas
mg/L	Miligramas Por Litro
m ³	Metros Cúbicos
CDs	Centros Distribuidores
ΔC	Variaco de Concentraco
ΔC_{10}	Variaco da Concentraco em 10 mg/L
ΔC_{20}	Variaco da Concentraco em 20 mg/L
AB	Água Bruta
EM	Extracto de Moringa
EQ	Extracto de Quiabo

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objectivos.....	2
1.1.1	Geral	2
1.1.2	Específicos.....	2
1.2	Metodologia.....	2
1.3	Justificativa da escolha do tema	3
1.4	Pergunta de pesquisa	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Água	4
2.2	Avaliação das necessidades de água.....	4
2.3	Perdas e desperdícios.....	4
2.4	Parâmetros indicadores de qualidade da água	5
2.4.1	Parâmetros físicos.....	5
2.4.2	Parâmetros químicos	6
2.4.3	Parâmetros biológicos	7
2.5	Tratamento de água	7
2.5.1	Principais processos de tratamento de água	8
2.5.2	Resíduos das ETA's	10
2.5.3	Reuso na ETA.....	10
2.5.4	Recirculação da ALF	12
2.5.5	Influência da recirculação da ALF sem tratamento.....	12
2.6	Coagulantes	12

2.6.1	Coagulantes naturais.....	13
2.6.1.1	Moringa	14
2.6.1.2	Quiabo (<i>Abelmoschus eschulentus</i>).....	16
2.7	Coagulantes químicos.....	17
2.8	Distrito de Boane	18
2.9	Descrição da área de estudo.....	18
2.10	Laboratório	21
2.11	Descrição do processo de tratamento da água da ETA Umbeluzi.....	21
2.12	Sistema de lavagem de filtros	25
2.13	Lavagem com auxílio do ar comprimido usado na ETA do Umbeluzi	26
3.	PARTE EXPERIMENTAL.....	28
3.1	Técnica de amostragem	28
3.2	Materiais e Equipamento	29
3.3	Reagentes.....	29
3.4	Procedimento para determinação dos parâmetros da análise	29
3.5	Processamento de espécies vegetais	34
3.6	Preparação das soluções	35
3.7	Operação em Ensaio de Jar Test.....	35
4.	RESULTADOS, SUA ANÁLISE E DISCUSSÃO	37
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
5.1.	Conclusões.....	46
5.2.	Recomendações	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	Anexos 1. Preparação de soluções operacionais	b
	Anexo2. Resultados do estudo das amostras da ALF dos 4 filtros da ETA ₁ nos vários dias de amostragem	c

Anexo 3. Gráfico de variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem de filtros.....	W
Anexo 4. Opção de recirculação	Z

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Análise de dados de perdas no tratamento na ETA	5
Tabela 2: Limite de turvação para escolha de tecnologias	8
Tabela 3: Plantas que apresentam propriedades coagulantes	13
Tabela 4: Classificação filogenética do <i>Abelmoschus Esculentus</i>	16
Tabela 5: Caudais de captação e elevação referentes a Maio, Junho e Julho de 2015 ...	20
Tabela 6: Fornecedor de matéria-prima para Estação de tratamento de água de Umbeluzi	21
Tabela 7: Volume descartado nas operações de lavagem dos filtros para ETA ₁	27
Tabela 8: Valores operacionais utilizados no Jar Test	36
Tabela 9: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EM com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{10}	37
Tabela 10: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EQ com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{10}	37
Tabela 11: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EM com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{20}	38
Tabela 12: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EQ com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{20}	38
Tabela 13: Resultados de Jar Test da Mistura de AB e a ALF (24.07.15).....	39
Tabela 14: Resultados de Jar Test da Mistura de AB e a ALF (27.07.15).....	39
Tabela 15: Resultados de Jar Test da Mistura de AB e a ALF (28.07.15).....	40
Tabela 16: Eficiência de remoção da turvação	41
Tabela 17: Resultados dos parâmetros microbiológicos de coliformes fecais e totais...	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Semente de Moringa oleífera	14
Figura 2: Estrutura molecular do glucosinolato presente na semente de Moringa.....	15
Figura 3: Planta e frutos de Quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	16
Figura 4: Mapa indicativo da Estação de Tratamento de Água de Umbeluzi	18
Figura 5: Sistema de tratamento da água da Estação de Tratamento	19
Figura 6: Esquema de tratamento de água de origem superficial.....	22
Figura 7: Pré-cloração	22
Figura 8: Coagulação - Flocculação.....	23
Figura 9: Flocculação - Sedimentação	23
Figura 10: Filtração	24
Figura 11: Neutralização da água	24
Figura 12: Valores dos principais parâmetros para cada filtro em comparação com AB	43

RESUMO

Na indústria da água, a água bruta (AB) recebe produtos químicos e mediante operações e processos transforma-se em água tratada. Como em todo o processo industrial de tratamento de água também ocorre um elevado consumo de recursos hídricos, na limpeza e lavagem de decantadores e filtros, gerando um volume de resíduos. O crescimento contínuo do consumo de água e o aumento da degradação dos corpos hídricos são factores que de forma determinante exercem influência nas Estações de Tratamento de Água (ETA's). A queda da qualidade da AB a ser tratada implica maior consumo de produtos químicos e consequentemente maior produção de resíduos passíveis de tratamento e disposição em local adequado.

O presente relatório é produto de estágio laboral com a duração de três meses na ETA de Umbeluzi que é constituída por três ETA's, enriquecido com experiência profissional e realização de ensaios laboratoriais ligados ao tema. As amostras foram colhidas na ETA₁, no mês de Julho 2015. Para o estudo, foram determinados os seguintes parâmetros: pH, turvação, TDS, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, cloretos, matéria orgânica e coliformes totais e fecais. Salientar que a turvação e coliformes foram determinados antes e o restante dos parâmetros foram determinados depois do tratamento com coagulantes.

Nas amostras analisadas foi detectado um nível de turvação e coliformes muito elevados. O coagulante químico que é usado na ETA (sulfato de alumínio) apresenta os problemas ecológicos, produção de lodo não biodegradável. Por esta razão no trabalho foram testados os extractos de coagulantes naturais preparados na base de sementes de Moringa e Quiabo com variação de 2 - 12 e 4 - 24 mg/L para a diminuição da turvação das amostras da água em estudo.

Na base do ensaio de "Jar Test" houve abaixamento da turvação nas amostras analisadas (179 até 7,22 NTU), e redução significativa de coliformes. No presente trabalho foi feita também a comparação da eficiência de remoção de turvação de ambos os coagulantes no tratamento da ALF. De acordo com os cálculos de eficiência constatou-se que a EM apresentou em média 95% de remoção contra 89% de EQ na variação de 2mg/L - 12 mg/L; para variação de 4mg/L - 24 mg/L, apresentou 97% de remoção contra 93%. Os resultados mostram que tanto o extracto de EM como o EQ apresentam-se como coagulantes eficientes no tratamento da ALF.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de água tem aumentado bastante nas últimas décadas, devido essencialmente ao seu consumo excessivo por parte dos sectores populacionais, agrícolas e indústrias, como consequência do aumento exponencial da população mundial. O aumento do consumo de água, a nível mundial, traduz-se num enorme desequilíbrio entre as suas necessidades e disponibilidades (Cordeiro 2012).

Desta forma, torna-se fundamental fazer o seu uso de forma racional para evitar desperdícios e simultaneamente desenvolver actividades que minimizem a sua degradação, ou ainda actividades de reutilização de águas residuais, tentando assim aproveitá-las da melhor forma (Cordeiro, 2012).

O reaproveitamento da água deve ser apenas uma parte de projectos de uso eficiente da água, sendo precedido por controlo de perdas e desperdícios, como também pela minimização do consumo de água e da produção de efluentes (Filho, 2009).

É importante ter em mente que antes de se pensar no reaproveitamento de efluentes da própria empresa, é preciso implantar medidas para a optimização do consumo e redução de perdas e desperdícios, além de programas de conscientização e treinamento. Acções desta natureza também têm reflexos directos e potenciais na imagem das empresas, demonstrando a crescente conscientização do sector com relação à preservação ambiental e responsabilidade social (Lobo, 2004).

A reutilização das águas residuais é uma busca pela minimização da necessidade sobre os mananciais de água, pois assim substituir-se-ia o uso de água potável por uma água de qualidade inferior. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico. Dessa forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados pelo reaproveitamento quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir desse recurso dentro dos padrões de potabilidade. Assim, o reaproveitamento da água é uma bandeira que deve ser erguida como forma de garantir o futuro hídrico de nosso planeta (Cindy, 2007).

1.1 Objectivos

1.1.1 Geral

- ∞ Estudar as possibilidades de reutilização da água de lavagem de filtros com uso de coagulantes naturais

1.1.2 Específicos

- ∞ Efectuar ensaios de Jar Test para clarificação da água de lavagem de filtros usando extractos de Moringa e Quiabo
- ∞ Determinar parâmetros físico-químicos e microbiológicos na água de lavagem de filtros clarificada
- ∞ Comparar a eficiência da remoção da turvação usando Moringa e Quiabo
- ∞ Avaliar a possibilidade da recirculação da água de lavagem de filtros

1.2 Metodologia

De modo a alcançar os objectivos traçados, o trabalho foi realizado obedecendo às seguintes etapas:

∞ Revisão Bibliográfica

Consistiu na pesquisa de fundamentos teóricos nas bibliotecas físicas e virtuais como forma de efectuar um enquadramento teórico adequado à elaboração deste trabalho.

∞ Trabalho de campo

Consistiu em:

- ∞ Preparação dos extractos de Moringa e Quiabo
- ∞ Recolha das amostras e sua conservação.
- ∞ *Análise das amostras*
- ∞ *Tratamento dos resultados*
- ∞ *Elaboração do relatório final*

1.3 Justificativa da escolha do tema

Tomando por base os aspectos do aumento do consumo, a diminuição das reservas disponíveis e o crescente aumento da poluição dos recursos hídricos, vem à tona o tema " **Estudo da possibilidade da reutilização da água de lavagem de filtros com uso de coagulantes naturais** "

A ETA que reutiliza suas águas reduz os caudais de captação, lançamento, uso de compostos químicos. Dependendo das vazões utilizadas, o montante de recursos economizados com a redução do uso de grandes quantidades de produtos em função do reaproveitamento pode cobrir os custos de instalação de um sistema de reaproveitamento da ALF.

Entretanto a ETA de Umbeluzi tem vindo a verificar grandes problemas de perdas excessivas de ALF, havendo necessidade de encontrar soluções que visam diminuir as perdas e implantar medidas com vista à minimização das mesmas. Neste contexto, a reutilização da ALF na base do seu tratamento com uso de coagulantes naturais é um projecto de uso eficiente da água dentre as várias possíveis medidas, mas não só reduz as perdas da ALF como também reduz a geração de efluente.

1.4 Pergunta de pesquisa

Diminuição da turvação e coliformes da ALF pode ser efectuada com uso de extractos de Moringa e Quiabo?

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Água

A água é uma substância química cujas moléculas são formadas por dois átomos de hidrogénio e um átomo de oxigénio. À sua fórmula química é H₂O.

É abundante no Universo, inclusive na Terra, onde cobre grande parte da sua superfície. As temperaturas do planeta permitem a ocorrência da água em três estados físicos principais. A água líquida, que em pequenas quantidades é incolor, constitui os oceanos, rios e lagos que cobrem quase três quartos da superfície do planeta (CARAVETTI, 2009).

2.2 Avaliação das necessidades de água

Na avaliação são identificadas as diferentes necessidades de água e poderão ser apontadas algumas medidas para otimizar os consumos, minimizar efluentes e restringir o número de perdas. Esta identificação, só será possível através da identificação dessas mesmas perdas, de uma análise cuidadosa dos processos e equipamentos e cruzamento dos mesmos dados com os índices de qualidade requeridos (OLIVEIRA, 2009).

2.3 Perdas e desperdícios

Com a sectorização dos consumos e acompanhamento dos processos produtivos poder-se-á verificar se algum consumo considerado significativo está relacionado com algum género de perda e/ou desperdício. Estas perdas e/ou desperdícios podem estar ligadas a dois aspectos principais:

- *Vazamentos* – roturas em tubagens, reservatórios e equipamentos
- *Mau desempenho dos sistemas* - um sistema de recuperação de água mal projectado

Estas situações, quando identificadas, poderão ser vistas como oportunidades de poupanças de água sem grandes investimentos de capital (OLIVEIRA, 2009).

Dentre várias perdas que se constata na empresa Águas da Região de Maputo podemos encontrar: perdas na Adução e CD's, perdas na distribuição, perdas no sistema de abastecimento de água, perdas no tratamento (Relatório da Gestão da DPST, 2014).

A análise de dados de perdas no tratamento na ETA realizado no ano de 2014 culminou com os seguintes resultados segundo a tabela 1.

Tabela 1: Análise de dados de perdas no tratamento na ETA

Descrição	Volume (m ³)	% do Vol. Captado
Água captada	7.332.145	
Perdas no processo de tratamento		
Lavagem de Filtros	812.634	11.08%
Descarga de Lamas	290.160	3.96%
Fugas*	13.950	0.19%
Total	1.116.744	15.23%

Fonte: Relatório da Gestão da DPST (2014)

* Problemas de infra-estruturas (degradação das infra-estruturas)

2.4 Parâmetros indicadores de qualidade da água

Os parâmetros da água podem ser biológicos, físicos e químicos. Não se pretende neste capítulo uma abordagem exaustiva de todos os constituintes de água nem de todos os parâmetros que podem ser utilizados para caracterização da mesma, mas apenas descrever os parâmetros que foram utilizados na análise das amostras.

2.4.1 Parâmetros físicos

Temperatura: é um parâmetro muito importante, medida de movimento térmico das moléculas, pois influencia em algumas propriedades da água (viscosidade, densidade e oxigénio dissolvidos). A temperatura pode variar de acordo com as fontes naturais (energia solar) e fontes antropogénicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas)

Turvação: é a presença de matéria em suspensão na água. É causada principalmente por areia, argila e microrganismos em geral

Sólidos dissolvidos: material que passa através do filtro. Representam a matéria em solução ou em estado coloidal presente na amostra do efluente (RIBEIRO, 2010)

Condutividade eléctrica: traduz-se pela capacidade que a água tem de conduzir a corrente eléctrica, resultante do teor de iões dissolvidos na água. A condutividade

depende da quantidade de substâncias dissolvidas, quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água (GOMES, 2011)

2.4.2 Parâmetros químicos

pH: expressa a acidez de uma solução. É um parâmetro importante, principalmente nas etapas de coagulação, controle de corrosão. Águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concretos. Águas com valores elevados de pH tendem a formar incrustações (ZIPF, 2010).

Alcalinidade: causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio; mede a capacidade da água neutralizar os ácidos; em teores elevados, pode proporcionar sabor desagradável à água, tem influência nos processos de tratamento da água (RIBEIRO, 2010).



Dureza: resulta da presença principalmente de sais de metais alcalino terrosos (cálcio e magnésio) ou de outros metais bivalentes, causa sabor desagradável e efeitos laxativos, reduz a formação da espuma do sabão aumentando o seu consumo, provoca incrustações nas tubulações e caldeiras (RIBEIRO, 2010).

Classificação das águas, em termos de dureza (em CaCO_3):

- ∞ Menor que 50 mg/L CaCO_3 – Água mole;
- ∞ Entre 50 e 150 mg/L CaCO_3 – Água com dureza moderada
- ∞ Entre 150 e 300 mg/L CaCO_3 – Água dura
- ∞ Maior que 300 mg/L CaCO_3 – Água muito dura

Cloretos: são dos sais mais abundantes na natureza, principalmente na água do mar (GOMES, 2010). A sua presença na água doce pode provir da dissolução de minerais ou da intrusão de água do mar, também pode vir dos esgotos domésticos ou industriais; em altas concentrações, conferem sabor salgado à água ou propriedades laxativas (RIBEIRO, 2010).

Cálcio e Magnésio: são os elementos mais abundantes na água, podendo as suas concentrações variarem entre zero e centenas de mg/L dependendo da fonte, tipo da água e das características geológicas. As principais fontes são a existência de rochas nas

margens ou no fundo do rio; concentrações excessivas de magnésio dão à água um sabor amargo característico (BOANA, 2011).

Matéria orgânica: é necessária aos seres heterotróficos, na sua nutrição, e aos autotróficos, como fonte de sais nutrientes e gás carbônico em grandes quantidades; no entanto, pode causar alguns problemas, como: cor, odor, turvação, consumo de oxigênio dissolvido (RIBEIRO, 2010).

2.4.3 Parâmetros biológicos

A presença de microrganismo numa água tem grande significado na sua qualidade. Alguns desses organismos, como bactérias, vírus e protozoários, são patogênicos, e por isso são perigosos à saúde humana.

Coliformes: são indicadores de presença de microrganismo patogênico na água. Os coliformes fecais existem em grande quantidade nas fezes humanas e, quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos, podendo conter microrganismos causadores de doenças (RIBEIRO, 2010).

Coliformes totais: são bactérias *Gram-negativas*, com forma de bacilos não esporulados, aeróbicas ou anaeróbicas facultativas, com capacidade de fermentar a lactose a 37°C, num espaço de 48 horas, produzindo ácido e gás. Como bactérias deste grupo são as do género *Escherchia*, *Enterobacter* (GOMES, 2010).

Coliformes fecais: englobam as bactérias do grupo coliforme, que num período inferior a 24 horas e a uma temperatura de 44°C, provocam a fermentação da lactose, produzindo ácido e gás (GOMES, 2010).

2.5 Tratamento de água

As características físicas e químicas da água são importantes na escolha de tecnologia para o seu tratamento. As características químicas, produzidas por sais ou compostos orgânicos, interferem, ou até mesmo inviabilizam, a utilização de determinada tecnologia de tratamento.

As tecnologias de tratamento de água evoluíram consideravelmente, a ponto de se poder afirmar que, teoricamente, água de qualquer qualidade pode ser tratada. Porém os riscos e custos do tratamento de água muito contaminada podem ser extremamente elevados.

O tratamento de águas de abastecimento pode ser definido como o conjunto de processos e operações realizados com a finalidade de adequar as características físico-químicas e biológicas da AB, de forma a se obter uma água com padrão de potabilidade recomendável (ZIPF, 2010).

2.5.1 Principais processos de tratamento de água

❖ Tecnologias de tratamento

A escolha do conjunto de técnicas mais adequadas para tratar a água está directamente relacionada a qualidade da água e aos custos de implantação e de operação do sistema de tratamento. Na tabela 2 estão apresentadas diversas tecnologias de tratamento em função de limite de turvação (AAOMETA, 2008).

Tabela 2: Limite de turvação para escolha de tecnologias

Tipos de tratamento	Turvação (NTU)
Filtração lenta	10
Tratamento convencional	250
Dupla filtração	150
Filtração directa ascendente	100
Filtração directa descendente	25
Filtração em múltiplas etapas	100

Fonte: AAOMETA (2008)

⊕ Filtração lenta

Neste tipo de filtração, não se faz a coagulação química. O tratamento da água é realizado por processo biológico. Neste processo a AB chega à ETA e vai directamente para o filtro lento. Após a filtração da água, faz-se a desinfecção, a correcção de pH quando necessária e a fluoração (AAOMETA, 2008).

O filtro lento é constituído por um tanque de concreto, no qual há uma camada de pedras e uma camada de areia; em baixo da camada de areia, há tubos para colectar a água filtrada. No filtro lento forma-se uma camada biológica sobre a areia e, quando a água passa através dessa camada, os microrganismos retiram a sujidade contida na água, e outra parte fica retida na areia (AAOMETA, 2008).

⊕ **Tratamento convencional**

O sistema convencional, também chamado de tratamento de ciclo completo, trata água com teores elevados de impurezas. Durante o tratamento, a água passa pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoração (AAOMETA, 2008).

⊕ **Filtração directa**

O sistema de tratamento por filtração directa é recomendável para tratar água com menos impurezas. A água a ser tratada passa pelas seguintes etapas: coagulação, filtração e desinfecção, fluoração e correcção de pH, quando necessário. A filtração pode ser ascendente ou descendente (AAOMETA, 2008).

⊕ **Filtros ascendentes**

Nesses filtros, a camada suporte e o meio filtrante são compostos de seixos e areia. O escoamento da água a ser filtrada é de baixo para cima. A água filtrada pelo filtro ascendente é recolhida em calhas que ficam acima do leito filtrante e, então, a água é conduzida para um tanque para se fazer a desinfecção (AAOMETA, 2008).

⊕ **Filtros descendentes**

Nestes filtros, a camada suporte é formada de seixos e o meio filtrante, de areia. O escoamento da água a ser filtrada é de cima para baixo. A lavagem dos filtros, tanto descendentes quanto ascendentes é sempre feita pela introdução de água (ou ar e água) de baixo para cima. É o que se denomina retro-lavagem (AAOMETA, 2008).

⊕ **Dupla filtração**

A água a ser tratada passa pelas seguintes etapas: coagulação, filtração ascendente, filtração descendente, desinfecção, fluoração e correcção de pH, quando necessário (AAOMETA, 2008).

⊕ **Filtração em múltiplas etapas**

A AB passa por uma pré-filtração dinâmica. Em seguida, passa por outra filtração em pedras e areia grossa e, depois, pela filtração lenta. Os pré-filtros são compostos de pedras e areia grossa. O emprego do pré-tratamento na filtração em múltiplas etapas é previsto para não sobrecarregar os Filtros lentos, principalmente em períodos de chuvas em que a turvação da água se eleva (AAOMETA, 2008).

2.5.2 Resíduos das ETA's

As ETA's representam uma necessidade básica visto que têm a finalidade de produzir água de boa qualidade, porém no processo de tratamento da água também ocorre um elevado consumo de ALF e decantadores gerando uma quantidade de efluentes. O tratamento de água visando torná-la potável gera uma quantidade de resíduos, que podem ser de diferentes tipos, dependendo da concepção do sistema de tratamento (ZIPF, 2010).

Segundo AAOMETA (2008), os resíduos gerados na ETA podem ser:

- ☞ Lodo dos decantadores;
 - ☞ ALF e da limpeza dos filtros;
 - ☞ Restos dos produtos químicos que ficam nos recipientes onde são armazenados.
- As características desses resíduos podem variar em função da qualidade da água bruta, da quantidade e dos tipos de produtos químicos utilizados durante o tratamento da água.

Segundo (ZIPF, 2010) os resíduos produzidos nas ETA's convencionais, caracterizam-se por possuírem grande humidade, geralmente maior que 95%, estando sob forma fluida. Em termos de volume, a maior quantidade de resíduos é proveniente da lavagem dos filtros e, em termos de massa de sólidos, as maiores quantidades são geradas nos decantadores.

2.5.3 Reuso na ETA

Uma das principais técnicas de produção mais limpa consiste na reutilização da água, que gera uma redução na captação da mesma e minimiza a geração de efluentes. Esta é uma prática que promove a redução da demanda sobre os mananciais de água,

constituindo-se numa alternativa bastante significativa para auxiliar na solução da problemática da escassez dos recursos hídricos (ZIPF,2010).

O crescimento contínuo do consumo de água e o aumento da degradação dos corpos hídricos são os factores que de forma determinante exercem influência nas ETA's. A queda da qualidade da AB a ser tratada implica maior consumo de produtos químicos e, conseqüentemente, maior produção de resíduos passíveis de tratamento e disposição em local adequado. Os tratamentos existentes consistem na redução da quantidade dos resíduos na água para atender aos padrões de lançamento exigidos, em alguns casos o líquido clarificado é recirculado no sistema de tratamento (ZIPF,2010).

Devido à importância em realizar o tratamento dos despejos líquidos gerados bem como a necessidade de reaproveitamento, devido à falta de mananciais em condições, desperta o interesse em realizar ensaios de clarificação da ALF para futuro reaproveitamento do sobrenadante e disposição adequada do sedimento (ZIPF,2010).

O reuso de água pode proporcionar benefícios seguintes:

Benefícios ambientais:

- ☞ Redução do lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos, possibilitando melhorar a qualidade das águas;
- ☞ Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada;
- ☞ Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc.

Benefícios económicos:

- ☞ Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor inserção dos produtos nos mercados internacionais;
- ☞ Redução dos custos de produção.

Benefícios sociais:

- ☞ Melhoria da imagem do sector produtivo junto a sociedade.
- ☞ Ampliação na geração de empregos.
- ☞ Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos.

2.5.4 Recirculação da ALF

A ALF pode ter como destino final os corpos hídricos, alternativamente, ser recirculada dentro da própria estação. As ETA's que fazem a recirculação da ALF promovem o retorno do efluente, usualmente entre o ponto da chegada da AB da estação e o decantador. A ALF pode ser reintroduzida na estação sem tratamento, passando por um tanque de equalização e/ou por processo de tratamento (USEPA 2002).

As ETA's são projectadas para operarem dentro de uma faixa de vazão exclusiva. Quando uma vazão adicional é inserida pontualmente na estação por meio da recirculação directa da ALF, todas as condições hidráulicas de funcionamento da ETA podem ser modificadas. Segundo (USEPA, 2002), encontram-se relatos de que durante a recirculação directa da ALF a elevação da taxa de filtração compromete a remoção de agentes patogénicos, principalmente cistos de protozoários.

Segundo USEPA (2002), recomenda que a vazão de recirculação permaneça abaixo de 10% da vazão da ETA, porém indica também que a percentagem deve ser estabelecida para cada ETA com o intuito de impactar da menor forma possível a qualidade final da água.

Salientar que esta recomendação é feita de modo que não haja nenhum prejuízo no processo de coagulação-floculação, dosagem de coagulante e sobrecarga hidráulica temporária nas unidades de tratamento (USEPA, 2002).

2.5.5 Influência da recirculação da ALF sem tratamento

A recirculação da ALF sem tratamento prévio pode-se configurar como introdução de perigos no processo de tratamento, podendo trazer risco à sociedade consumidora, associado na grande maioria de casos, à presença de cistos de protozoários na ALF. Isso porque na decorrência das suas dimensões e da sua forma encistada, os protozoários principalmente o cryptosporidium podem passar pelos filtros e são pouco susceptíveis à doses de cloro utilizadas nas ETA's (USEPA, 2002).

2.6 Coagulantes

Actualmente existem muitas indicações relacionadas à ambiente e a saúde humana, apresentadas pelo uso de compostos químicos no tratamento de águas residuais ou na produção de água potável. A produção de lamas ricas em metais resultante dos processos de coagulação e floculação utilizando o sulfato de alumínio que contaminam

física, química ou biologicamente o ambiente, a formação de subprodutos potencialmente cancerígenos, como os trihalometanos, resultantes da associação do cloro com a matéria orgânica, ou ainda em relação aos compostos de alumínio, há evidência de que à sua utilização no tratamento de águas pode provocar lesões cerebrais características de doenças de Alzheimer, entre outras são algumas das razões para que sejam cada vez mais os estudos envolvendo a utilização de produtos naturais com o mesmo potencial de tratamento, biodegradáveis e que não sejam prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (RIBEIRO, 2010).

Em vários países do mundo, diferentes espécies de plantas já são utilizadas como coagulantes naturais para clarificar águas turvas que se destinem ao consumo humano. A maioria dessas plantas são usadas de forma tradicional e algumas foram descobertas em laboratórios (BORBA, 2001). A tabela 3 apresenta algumas famílias e o número de espécies por família de plantas cuja semente tem propriedades coagulantes.

Tabela 3: Plantas que apresentam propriedades coagulantes

<i>Família</i>	<i>Número de espécies usadas para clarificar AB</i>
<i>Papilionideae</i>	13
<i>Cactaceae</i>	11
<i>Capparidaceae</i>	8
<i>Moringaceae</i>	7
<i>Malvaceae</i>	5
<i>Annonaceae</i>	3

Fonte: (RIBEIRO, 2010)

2.6.1 Coagulantes naturais

Em muitos casos no tratamento da água são utilizados os coagulantes químicos de forma que a água esteja dentro dos padrões de potabilidade recomendada onde muitas das vezes se utilizam coagulantes químicos como sulfato de alumínio e cloreto férrico que às vezes não estão disponíveis a um preço razoável para as empresas de tratamento de água, para minimizar essa dificuldade e para se obter água de boa qualidade com custos mínimos, os coagulantes naturais são empregados.

Estes coagulantes naturais apresentam grandes vantagens: redução do volume do lodo nos decantadores, redução da ocorrência da disposição de lodo na rede de distribuição,

redução dos gastos com produtos químicos, sendo também de relevância para a ecologia e o ambiente (NOGUEIRA, 2012).

Como tipos de coagulantes naturais temos: *Moringa oleífera*, *Albemoschus esculentus* (Quiabo), Taninos, Caseínas, amido, Trombina, e outros.

2.6.1.1 Moringa

A Moringa (*Moringa oleífera*) (Figura 1) pertence à família Moringaceae, que é composta apenas de um género (Moringa) e catorze espécies conhecidas. Nativa do Norte da Índia desenvolve-se actualmente em vários países tropicais. É uma espécie de crescimento rápido, com casca de cor clara podendo alcançar entre 10 a 12 metros de altura. É tolerante a longos períodos de estiagem, solos pobres em nutrientes e desenvolve-se bem em condições semi-áridas. O pH do solo para plantio da Moringa varia na faixa entre 5 à 9. A planta pode alcançar até 4 m de altura em um ano, sendo cultivada num espaço de 3 metros (NOGUEIRA, 2012).

A *Moringa oleífera* é uma das espécies mais amplamente cultivadas. As suas sementes são cápsulas arredondadas com três asas equidistantes que são revestidas por uma casca com certa dureza.



Figura 1: Semente de Moringa oleífera

Fonte. NOGUEIRA (2012)

O seu desenvolvimento ocorre em clima quente em temperaturas na faixa de 25-35°C, podendo suportar até 48 °C por períodos limitados. É tolerante á seca, preferindo solos arenosos bem drenados ou solos com terra vegetal. É uma planta de múltiplos usos: por ser fonte de vitamina A, B e C, cálcio, ferro e proteínas, é usada na alimentação humana. As sementes são utilizadas na clarificação de águas turvas. Os estudos realizados mostraram uma eficiência na remoção da turvação e cor aparente, de

respectivamente, 90% e 95% em média nos processos de filtração e sedimentação com uso da solução à base de *Moringa oleífera* (FRANCO, 2010).

O mecanismo de coagulação/ floculação da água, provocado pela proteína existente na *Moringa oleífera*, assemelha-se ao mecanismo da coagulação/ floculação provocado pelos polielectrólitos, que são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou natural. A capacidade de coagulação deve-se à presença glucosinolato presente na semente de Moringa que, quando colocada em contacto com impurezas da água, as macromoléculas da proteína como qualquer polielectrólito catiónico, ionizam-se formando entidades hidrolisadas que provocam a desestabilização das partículas do material que está disperso nela e conseqüentemente o desequilíbrio electrocinético da solução para, em seguida à medida que se vão aproximando, devido ao movimento browniano das partículas, se atraírem mutuamente, alcançando novamente a estabilização de todos os sólidos que estão na água em tratamento, atingindo um novo equilíbrio electrocinético da solução (CAMILO, 2014).

Testes fitoquímicos e estudos espectrais conduziram à elucidação de um glicosídeo esteroideal como um agente bioactivo na semente e que o responsável pela acção coagulante da Moringa é um composto amídico. As sementes de Moringa contêm entre 8 e 10% de glucosinolatos, que são uma classe homogénea de combinações de tiossacarídeos naturais. Estes podem ser hidrolisados por meio da enzima mirosinase e conseqüentemente produzir D-glicose, particularmente isotiocianatos (DA SILVA, 2008).

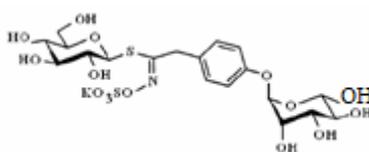


Figura 2: Estrutura molecular do glucosinolato presente na semente de Moringa

Fonte: DA SILVA (2008)

A eficiência da coagulação é devida aos compostos activos presentes nas sementes da Moringa, as quais são compostas entre outras substâncias, por estruturas proteicas catiónicas solúveis, com alto peso molecular.

2.6.1.2 Quiabo (*Abelmoschus esculentus*)

O Quiabo *Abelmoschus esculentus* (tabela 4), pertence à classe das Magnoliopsida, família Malvaceae, tratando-se de uma planta arbustiva anual, com caule erecto esverdeado ou avermelhado, e atinge de 1 a 1,7 metros de altura (RITTER, 2013). O Quiabo apresenta preferência por regiões ricamente iluminadas, quentes, (25°C ou mais), húmidas e férteis. As suas flores (Figura 3) são hermafroditas e apresentam coloração amarela com a região central variando de vermelho a rosa. Os frutos longos, esverdeados são do tipo cápsula e possuem seis câmaras de textura fibrosa rica em sementes oleaginosas, seus frutos são ricos em fonte de carboidratos, proteínas, lípidos, vitaminas e minerais (MELINA, 2014).

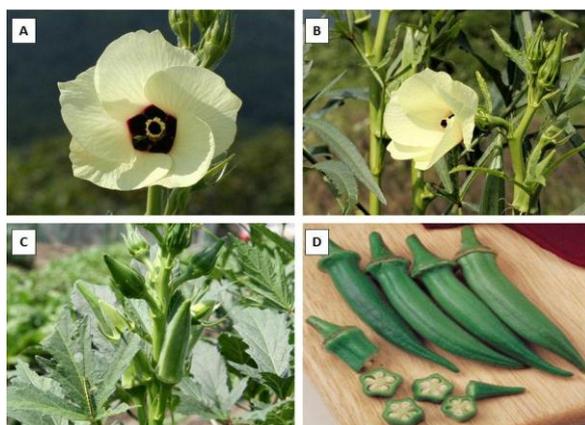


Figura 3: Planta e frutos de Quiabo (*Abelmoschus esculentus*)

Fonte: MELINA (2014)

NOTA: A e B- Flor, C- Planta, D- Frutos

Tabela 4: Classificação filogenética do *Abelmoschus Esculentus*

Reino	Plantae
Divisão	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordem	Malvales
Família	Malvaceae
Gênero	<i>Abelmoschus</i>
Espécie	<i>Abelmoschus esculentus</i>

Fonte: MELINA, 2014

As propriedades coloidais do pó das sementes permitem a retenção de impurezas, com substituição do sulfato de alumínio na purificação de água. O quiabo também apresenta bom desempenho quando utilizado como auxiliar de floculação e também tem mais possibilidade de utilização, devido à forma de comercialização deste vegetal, em que o consumidor rejeita o fruto maduro, utilizável no tratamento de águas. Quando moído, o pó faz-se a solução, que é doseado em conjunto com os coagulantes metálicos de alumínio e ferro melhorando a eficiência da floculação e das etapas posteriores (ABREU, 2007)

Segundo AGARWAL (2001 e 2003) citado por ABREU (2007) o quiabo possui um polissacarídeo aniônico, que pode ser usado como floculante, por ser polímero natural, biodegradável, e não tóxico.

2.7 Coagulantes químicos

Como exemplos de coagulantes químicos temos: sulfato férrico, cloreto férrico, Policloreto de Alumínio (PAC) e sulfato de alumínio.

O sulfato de alumínio tem sido o coagulante químico de uso generalizado no mundo, na forma líquida ou granulada. As suas principais vantagens são o preço, a produção e transporte, assim como a ótima eficiência na coagulação da maioria das águas superficiais. A principal desvantagem diz respeito ao alumínio residual na água, pois concentrações acima do padrão podem produzir floculações na rede de distribuição de água e causa danos à saúde. Estudos têm relacionado a elevada concentração de alumínio residual com a doença de Alzheimer (ABREU, 2007)

Segundo ESNARRIAGA (2013) citado por CAMILO (2014), o mecanismo de coagulação do sulfato de alumínio ocorre com reacção de neutralização entre acidez do coagulante e a alcalinidade natural ou adicionada à água, formando espécies hidrolisadas com cargas positivas que por atracção electrostática, adsorvem em redor de si, as partículas negativas das impurezas que se encontram na água, formando flocos, que facilitam posteriormente o processo de decantação.

2.8 Distrito de Boane

O distrito de Boane fica situada na província de Maputo, no extremo meridional de Moçambique, entre os paralelos 25° e 26° 15'S e entre os meridianos 32° 15' e 32° 30'E e ocupa uma área de 815 Km². É limitado a norte pelo distrito da Moamba e a nordeste pela cidade da Matola. A sul é limitado pelos distritos de Matutuine e Namaacha (Água da Região de Maputo, 2015).

2.9 Descrição da área de estudo

A estação de tratamento de água do Umbeluzi existe desde 1989, está localizada a 35 Km da cidade de Maputo, cujo objectivo é de captar, tratar e abastecer água nas cidades municipais de Maputo, Matola e município do distrito de Boane, através de vários centros de distribuição. É do tipo convencional composta de três unidades de tratamento (ETA₁, ETA₂ e ETA₃), dentro de um perímetro de vedação, ocupando uma área de 196.204,2 m², construídas em épocas diferentes, estes têm o mesmo sistema de funcionamento: pré-cloração, decantadores pulsator e filtros de areia por gravitação, neutralização e desinfecção (Água da Região de Maputo, 2015).



Figura 4: Mapa indicativo da Estação de Tratamento de Água de Umbeluzi

Fonte: <https://www.google.co.uk/maps/search/umbeluzi+Maputo/@-26.0662445,32.3712538,20z>

Esta estação recebe água proveniente da albufeira de Pequenos Libombos, através do rio Umbeluzi. A figura abaixo, apresenta-se o sistema de tratamento de água da ETA.

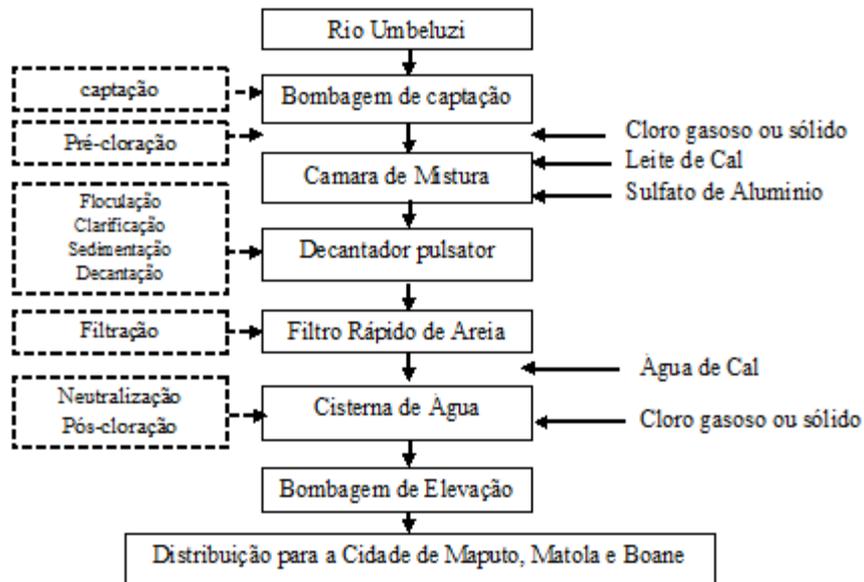


Figura 5: Sistema de tratamento da água da Estação de Tratamento

⊕ **ETA de Umbeluzi e sua capacidade**

Segundo a FIPAG (2012), a ETA tem uma capacidade actual de 228.000,00 m³/d, sendo constituído por três ETAs das quais duas operam desde a década de 70 e a mais recente opera desde 2011. Na câmara de coagulação (mistura rápida) foi instalado um agitador mecânico digital Fisatom, modelo 713D, que passou a operar com o gradiente de mistura rápida de GMR = 200rpm. Na câmara de floculação (mistura lenta) foi instalado um motor que opera com gradiente de mistura lenta de (GML=30rpm), reproduzindo as condições da ETA.

Os filtros são de 12×4×0,75 m³ na ETA 1, 10×7×0,75 para ETA 2 e 3, com camadas filtrantes. Esses filtros possuem uma camada filtrante, neste caso, areia com diâmetro efectivo que varia de 0,45 mm a 2 mm. A camada suporte é constituída por uma placa em aço inoxidável, com abertura de 0,2 mm.

Os filtros possuem sistemas de retro-lavagem. Foram instalados, a montante das ETA's, com capacidades de 36,0 m³, 52,6 m³ e 83,7 m³ para ETA₁, ETA₂ e ETA₃ respectivamente, que representam o manancial supridor. A Água é recalçada para cada ETA por meio de uma bomba doseadora digital Prominent-Sigma, modelo 53CA. A jusante da estação de tratamento foram instalados quatro cisternas, cada com capacidade

de 337, 305, 1360, 1360 metros cúbicos respectivamente que funcionam como reservatório de Água tratada.

Para aplicação dos coagulantes foram instalado duas bombas doseadoras em cada ETA, sendo uma Masterflex-Cole-Parmer, modelo 7553-70, outra digital, Gilson, modelo Miniplus 3, que operam separadamente.

A ETA de Umbeluzi tem três ETAs nomeadamente ETA₁ com o caudal máximo de 3100 m³/h, floculador com seis câmaras, dois decantadores circulares e um rectangular de 22,86 m de diâmetro e 4,34 m de profundidade e 27×15,75×4,55 m³ respectivamente e doze filtros rápidos; ETA₂ com caudal máximo de 2700 m³/h, com duas séries de floculadores em paralelo, dois decantadores rectangulares em paralelo com 27×15,75×4,55 m³ de seis filtros rápidos; ETA₃ caudal máximo de 4200 m³/h, floculador central com duas câmaras e fluxo posteriormente subdividido entre duas séries de floculadores, com cinco decantadores rectangulares com 27×15,75×4,55 m³ cada e dez filtros rápidos. A sua lavagem é efectuada de 5 em 5 meses através da injeção de grande volume e pressão de água liberadas sendo assim todas as impurezas e sólidos indesejáveis vão para duas calhas e em seguida caem directo para o esgoto da ETA que desagua no rio Umbeluzi.

Durante o período de três meses de realização de estágio os caudais de captação e elevação foram os seguintes:

Tabela 5: Caudais de captação e elevação referentes a Maio, Junho e Julho de 2015

Mês	Captação	Elevação
Maio	7559056 m ³	6000000 m ³
Junho	7440000 m ³	6750000 m ³
Julho	7090000 m ³	6450000 m ³

⊕ Consumo de matéria-prima

Tabela 6: Fornecedor de matéria-prima para Estação de tratamento de água de Umbeluzi

Matéria-prima	Fornecedor/Proveniência
Sulfato de Alumínio	Africa do Sul
Sudfloc	Africa do Sul
Cal apagada	Africa do Sul
Cloro gasoso	Africa do Sul
HTH	Africa do Sul

2.10 Laboratório

Todos os ensaios analíticos referentes ao presente trabalho foram realizados no laboratório interno da Estação de tratamento de Água de Umbeluzi. O laboratório é constituído por dois sectores principais nomeadamente:

- ∞ Sector de análises microbiológicas de águas
- ∞ Sector de análises físico-químicas de águas

2.11 Descrição do processo de tratamento da água da ETA Umbeluzi

A estação de tratamento de água (ETA) de Umbeluzi é composta por um sistema de bombagem de água bruta que alimenta as instalações de tratamento; um conjunto de processos de tratamento e um sistema de bombagem de água tratada para os diversos centros distribuidores.

A instalação em termos processuais de tratamentos é usada os seguintes, em sequência: captação, pré-cloração, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, neutralização e desinfecção Figura (6).

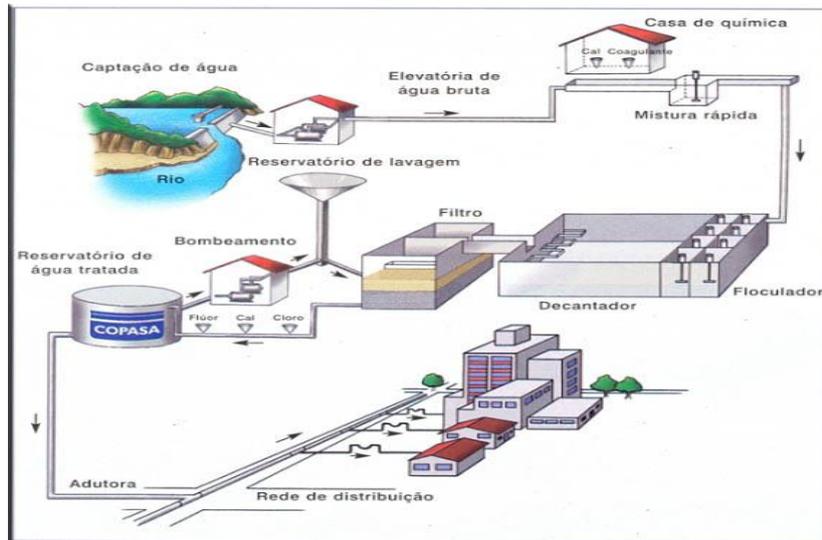


Figura 6: Esquema de tratamento de água de origem superficial

Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABpGIAE/estacao-tratamento>

⊕ **Captação**

Entende-se por obra de captação o conjunto de estruturas e dispositivos construídos ou montados junto ao local onde se retira a AB destinada ao sistema de tratamento. Para o caso de estação de tratamento de Umbeluzi, AB é captada no rio Umbeluzi, por meio de bombas e sob pressão é conduzida através duma conduta que tem em determinado ponto um medidor de caudal até a câmara de mistura.

⊕ **Pré - cloração**

A Água captada no rio Umbeluzi passa através de condutas até ao ponto onde se faz a pré-cloração (Figura 7)



Figura 7: Pré-cloração

Consiste na aplicação do cloro por forma a atingir-se o teor de cloro residual na ordem de 0,5 mg/L à saída dos filtros. A função deste processo é de oxidação de compostos

orgânicos, amónia e essencialmente, a inibição de odores e da proliferação de algas nos decantadores e filtros.

⊕ **Coagulação – floculação**

Depois da pré-cloração a água passa até á câmara de mistura onde é aplicado o coagulante sulfato de alumínio e o polielectrólito (figura 8).



Figura 8: Coagulação - Floculação

Consiste na reacção química entre o sulfato de alumínio e a alcalinidade da água (Carbonatos), seguida da atracção electrostática entre os coágulos, carregados positivamente, e partículas coloidais carregadas negativamente, resultando assim na chamada floculação. A floculação tem como objectivo a agregação da matéria em suspensão, remoção de cor e outras substâncias, por forma a facilitar a clarificação da AB.

⊕ **Floculação – sedimentação**

Após a formação de flóculos na câmara de mistura a água passa até ao decantador onde ocorre sedimentação (figura 9).



Figura 9: Floculação - Sedimentação

A sedimentação consiste na queda dos flóculos de maior densidade que a água, permitindo assim a clarificação preliminar da água. Uma vez que nem todos os flóculos têm densidade suficiente para se sedimentarem, a água passa ao processo seguinte para uma efectiva clarificação. Na ETA do Umbeluzi, a remoção do sedimento, sob a forma de lamas, é feita automaticamente.

⊕ **Filtração**

Depois da clarificação preliminar da água nos decantadores esta passa aos Filtros onde ocorre a clarificação final da mesma (Figura 10).



Figura 10: Filtração

O sistema de filtração usado na ETA do Umbeluzi é a filtração rápida em leito de areia. Ela consiste em fazer passar a água decantada por meio de um leito poroso de areia com granulometria seleccionada para o efeito. A essência deste processo é remover os flóculos remanescentes do efluente da decantação.

⊕ **Neutralização**

Feita a filtração final, a água é conduzida até á cisterna onde, antes de distribuída até centros se faz a correcção do pH da mesma (Figura 11).



Figura 11: Neutralização da água

Consiste na correcção do estado calco carbónico da água, por forma a evitar que ela seja corrosiva, portanto para efeitos de protecção das canalizações tanto do sistema de transporte como da distribuição. Este processo desenrola-se adicionando água de cal.

⊕ **Pós – cloração**

É feita para desinfectar a água tratada, mas serve também para compensar possíveis falhas ocorridas na pré – cloração.

A água tratada em cada uma das estações é armazenada nas respectivas cisternas, misturando-se apenas quando canalizada para distribuição pública.

2.12 Sistema de lavagem de filtros

À medida que o filtro vai funcionando, acumula impurezas entre os intervalos do leito filtrante, aumentando progressivamente a perda de carga e redução na sua capacidade de filtração. Quando essa perda atinge um valor pré-estabelecido ou a turvação do efluente atinge além do máximo de operação, deve ser feita a lavagem. O tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outra consecutiva é chamado de carreira de filtração. Existem duas condições para determinar a hora de lavagem de um filtro, assim como dois critérios para a escolha do filtro a ser lavado:

1. Quando o nível de água atingir um certo limite, lava-se o filtro que estiver operando à mais tempo
2. Se houver controlo de turvação no efluente de cada filtro lava-se o filtro que apresentar pior resultado

A lavagem de filtros pode ser feita através de bombas. Deve ser dada atenção especial ao controle da vazão de lavagem, que pode ser feito através de duas válvulas. É recomendável que se tenha mais de um conjunto moto-bomba para que se tenha maior flexibilidade no controle da vazão durante a lavagem. Usa-se a lavagem por ar e água (com bombas ou reservatório) usa-se esse sistema para filtros com areia de grande espessura, onde o ar envolve os grãos e a água lava o espaço entre eles.

A ETA do Umbeluzi utiliza filtros de areia rápidos por gravidade, são utilizados no tratamento de água para a remoção de flocos não decantáveis, após a coagulação química e decantação. Em geral durante a filtração a água passa de cima para baixo,

através do filtro, devido a uma pressão somada à sucção do fundo. Os filtros são limpos por retrolavagem, revertendo-se o fluxo do leito. Um meio filtrante possui diâmetro suficientemente grande para formar poros de dimensão capazes de reter grandes quantidades de flocos e diâmetro suficientemente pequeno para evitar a passagem de sólidos em suspensão. Possui também profundidade adequada para permitir corridas de filtração suficientemente longas.

Um meio duplo de areia-carvão permite o uso de carvão com relativamente maior granulometria sobre uma camada de areia fina. Os flocos maiores são adsorvidos e retidos na camada de carvão, enquanto que o material mais fino é retido na camada de areia.

2.13 Lavagem com auxílio do ar comprimido usado na ETA do Umbeluzi

A operação de lavagem de filtros apenas com água no sentido ascendente, concorre para a geração de um volume maior de água, quando comparada com uma outra forma de lavagem, como a que utiliza a aplicação de fluxo de ar, com velocidades controladas, seguida da aplicação da fase líquida. Enquanto o ar revolve as partículas de areia provocando, com isto, a remoção da sujidade retida, a água lava o espaço entre as partículas, levando consigo a sujidade. A ETA do Umbeluzi adopta a seguinte prática:

- ∞ Verifica-se a existência de água suficiente na cisterna, caso não contacta-se o operador de bombas;
- ∞ Inicia-se a preparação do filtro a lavar interrompendo o acesso de água decantada ao seu interior;
- ∞ Abrir a válvula de admissão de ar durante um tempo de 3 minutos;
- ∞ Depois fecha-se a válvula de ar e abre-se a válvula de lavagem com velocidade ascensional adequada para a obtenção de expansão do leito essa lavagem deve durar 5 minutos;
- ∞ Cessa-se a operação da lavagem no momento em que for fácil a visibilidade da areia do filtro, e depois coloca-se o filtro em operação.

Considerando que este processo é feito uma vez ao dia no período seco para cada filtro, o volume de efluente gerado diariamente seria em torno de 160 m³ e

mensalmente seria 19840 m³ segundo a tabela 7. Com a expressão abaixo calcula-se o volume gasto (Água da Região de Maputo, 2015).

$$V = Q \cdot t \text{ onde } Q - \text{ vazão de lavagem e } t - \text{ tempo de lavagem}$$

Sabendo que o caudal de lavagem em 10 min é 960 m³/h

Para 4 filtros $V = 640 \text{ m}^3$ para ETA₁. A ETA possui 3 estações de tratamento de Água, para ETA₃ que possui 10 filtros a água gasta é $ETA_3 \geq 1600 \text{ m}^3$, Para ETA₂ possui 6 filtros $ETA \geq 960 \text{ m}^3$, a soma destes valores podem equivaler a 3200 m³ gastos na lavagem de filtros.

Tabela 7: Volume descartado nas operações de lavagem dos filtros para ETA₁

Volume descartado na operação de Lavagem de 1 filtro	Volume descartado na operação de Lavagem de 4 filtro	Volume descartado em um mês
160 m ³	640 m ³	19840 m ³

3. PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental deste trabalho foi realizada no laboratório da ETA.

3.1 Técnica de amostragem

Para amostragem da ALF existem muitas técnicas, mas escolheu-se a técnica proposta por ZIPF (2010).

Durante o tempo de lavagem do filtro, foram colectadas amostras em intervalos de tempo para formar uma amostra em série. Parou-se o processo de filtração da água e iniciou-se a retrolavagem. A colecta iniciou-se no primeiro momento em que a água começou a transbordar e depois realizou-se a colecta de dois em dois minutos. A lavagem dos filtros foi realizada durante 10 minutos, sendo colectadas então amostras nos tempos 0, 2, 4, 6, 8, 10 minutos, durante as quais a vazão de lavagem permaneceu constante ($960 \text{ m}^3/\text{h}$).

Após a colecta em série, juntaram-se todas as quantidades das amostras obtidas a fim de caracterizar uma amostra composta.

Realizou-se colecta nos quatro filtros da ETA₁ no momento do transbordo. As amostras foram colectadas manualmente e condicionadas em recipientes de 2 litros cada um. Para a amostra composta juntou-se as amostras de cada tempo e homogeneizou-se em outro recipiente.

Das amostras individuais foram efectuadas leituras de turvação e mediram-se as concentrações de sólidos totais dissolvidos com a finalidade de determinar a variação desses parâmetros durante a lavagem dos filtros, representados por uma curva de remoção de impurezas da humidade filtrante.

Para a amostra composta, realizou-se a sua clarificação através do Jar Test e caracterizou-se segundo os seguintes parâmetros: turvação, sólidos, pH, alcalinidade, dureza, matéria orgânica, cálcio, magnésio, cloretos, coliformes totais e fecais (presença ou ausência).

Para avaliação da possibilidade de recirculação da ALF foi realizado o ensaio de Jar Test para testar a eficiência do método de reciclo proposto que é a recirculação da água ao processo após uma sedimentação com uso de EM e EQ. À fixação da proporção de água de lavagem a ser adicionada ao início de tratamento, esta definida em uma mistura

de 90% de AB e 10% de ALF estes valores foram adoptados com base em revisão bibliográfica, onde até uma percentagem de 15% da ALF em mistura com AB não representa alterações significativas para o tratamento da água (USEPA, 2002).

3.2 Materiais e Equipamento

Proveta de 50 e 100 mL; copos de Becker de 50 mL; balões de fundo chato de 250 e 1000 mL; pipetas graduadas de 1, 5, 10 e 25 mL; espátula; funil de separação; Erlenmeyer de 500 mL; balança eléctrica; estufa de secagem (Brender), agitador magnético (Labcon); JarTest (Flocumatic P-select), pHmetro (eco Test pH2), condutivímetro (PCSTestr35), colorímetro (HACH 5870062)

3.3 Reagentes

Ácido sulfúrico (1:3), tiosulfato de sódio (0,01N), Ácido acético glacial, iodeto de potássio, amido, indicador fenolftaleína, indicador misto, indicador preto de eriocromo T, EDTA (0,02N), Hidróxido de sódio, Nitrato de prata, ácido oxálico 0,01N, solução tampão, Murexida, permanganato de potássio (0.01N), cromato de potássio, ácido sulfúrico (0.02N)

3.4 Procedimento para determinação dos parâmetros da análise

⊕ Determinação dos parâmetros medidos “*in-situ*”

Para a determinação desses parâmetros a leitura dos seus valores foi directa nos respectivos aparelhos, não tendo sido necessário efectuar quaisquer cálculos. O pH, TDS e Turvação foram determinados usando o pH-metro, condutímetro e turbidímetro respectivamente.

⊕ Determinação de cloretos (Método de Mohr)

O método usado para a determinação de Cl^- foi o método de Mohr, titulação de precipitação. A determinação do ião Cl^- é feita adicionando à amostra uma solução padrão de nitrato de prata na presença do indicador cromato de potássio, precipitando o cloro como cloreto de prata de cor branca. O ponto final da titulação é indicado pela formação do cromato de prata de cor vermelho-tijolo.

Procedimentos de análise:

Titularam-se 50mL da amostra, contendo o indicador K_2CrO_4 com a solução de AgNO_3 a 0,1N, até o aparecimento do precipitado da cor vermelho – tijolo. O teor de cloretos nas amostras de água foi determinado a partir da fórmula (1)

$$Cl^{-} (mg/L) = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 35,5}{V} \times 1000 \quad (1)$$

onde:

N: Normalidade da solução titulante

V₁: volume do titulante gasto na titulação da amostra (mL)

V₂: volume do titulante gasto na titulação do branco (mL)

V: volume da amostra em análise

⊕ **Determinação de Dureza**

Mediu-se 50 mL da amostra para Erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 1 mL de solução tampão e 5 gotas de indicador negro de eriocromo T. De seguida titulou-se a solução com EDTA a 0,02N até à viragem da cor vermelha a azul. A dureza total das amostras de água foi determinada a partir da fórmula (2)

$$CaCO_3 \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{1000 \cdot V_1}{V} \quad (2)$$

onde:

V = o volume da Água em análise

V₁ = o volume da solução titulante gasto na titulação

⊕ **Alcalinidade**

A determinação é feita titulando a amostra em exame com um ácido forte mineral (HCl ou H₂SO₄) até aos dois sucessivos pontos de viragem da fenolftaleína (pH = 8; alcalinidade à fenolftaleína) e do indicador misto verde de bromocresol/vermelho de metilo (pH= 5; alcalinidade ao indicador misto ou alcalinidade total).

Pipetou-se 50mL de amostra num copo, juntam-se 3-4 gotas de indicador fenolftaleína e titulou-se com a solução de ácido sulfúrico até desaparecimento da cor encarnada.

Nota: se não aparecer alguma cor encarnada proceder directamente com o indicador misto.

Anota-se o volume do titulante gasto, juntam-se 3-4 gotas do indicador misto e continua-se a titulação até à viragem da cor verde-azul para azul-cinzento. Agitou-se durante alguns minutos para eliminar o CO₂, e se o indicador volta à coloração verde-azul continua-se a titulação até viragem estável para a cor azul-cinzento (pH = 5). Para a determinação da alcalinidade à fenolftaleína usa-se a fórmula (3)

$$mg/L. CaCO_3 = \frac{a. N. 1000.50}{c} \quad (3)$$

Alcalinidade total (ao indicador misto)

$$\frac{mg}{L}. CaCO_3 = \frac{b. N. 1000.50}{c}$$

onde:

a = mL de titulante gastos até à viragem da fenolftaleína;

b = mL de titulante gastos até à viragem do indicador misto (incluindo a);

c = mL da amostra;

N = normalidade do titulante

⊕ **Cálcio (Método titrimétrico com EDTA).**

Procedimento de análise:

Colocam-se 50mL da água em exame num frasco de Erlenmeyer, juntam-se 2mL da solução de NaOH e 5 gotas do indicador murexida e agita-se. Titula-se com a solução do EDTA a 0,02N até à viragem da cor rosa a púrpura. A titulação deve ser feita logo depois da adição do indicador, sendo este instável em ambiente alcalino.

O teor do ião cálcio é dado pela relação da fórmula (4):

$$Ca^{2+} mg/L = \frac{V_1. 400,8}{V} \quad (4)$$

onde:

V₁ = o volume da solução gasto na titulação;

V = o volume da toma de amostras

⊕ **Determinação de Magnésio (Método por Cálculos)**

A soma dos íons cálcio e magnésio constitui a dureza total da água.

A concentração do íon magnésio pode ser determinada por diferença quando sejam conhecidos a dureza total e o teor em cálcio, aplicando a fórmula (5) seguinte:

$$Mg^{2+} \left(\frac{mg}{L} \right) = (A - B) \cdot 0,244 \quad (5)$$

sendo:

A = dureza total em mg/L CaCO₃

B = concentração em cálcio, expressa em mg/L de CaCO₃.

⊕ **Determinação da Matéria Orgânica-Oxibilidade (Método de KÜBEL)**

Preparação da cápsula de porcelana ou Erlenmeyer:

Mede-se 100 mL de água destilada para a cápsula ou o Erlenmeyer. Adiciona-se 10 mL da solução do ácido sulfúrico e agita-se com uma vareta. Juntam-se em seguida utilizando pipeta, 5 mL da solução de permanganato de potássio e agita-se novamente. Aquece-se depois até à ebulição, que se mantém durante 10 minutos. Durante este tempo e com o auxílio da vareta, molha-se constantemente a superfície interna da cápsula, a fim de se dar a destruição completa da matéria orgânica.

Procedimento

Medem-se 100 mL de água a analisar para a cápsula de porcelana preparada no passo anterior. Adiciona-se 10 mL de ácido sulfúrico e através da bureta 10 mL de permanganato de potássio 0,01 N. Ferver durante 10 minutos. Se durante a fervura desaparecer a cor do permanganato rejeitar o conteúdo da cápsula e repetir a pesquisa com um volume superior de permanganato.

Adicionar a quente, através da bureta um volume de ácido oxálico 0,01 N igual ao do permanganato e titular a quente o excesso de ácido oxálico com permanganato de potássio 0,01 N até ao aparecimento da coloração rósea persistente.

Retira-se então da chama. Em seguida adiciona-se agitando, solução de ácido oxálico 0,01 N até completo desaparecimento da cor devido ao permanganato. Juntam-se então gotas de solução do permanganato até obter coloração rósea persistente. A cápsula só será esvaziada no momento da utilização. A quantidade de matéria orgânica presente na água expressa em mg de oxigénio consumido por litro é determinada segundo a fórmula (6):

$$mg \cdot \frac{O_2}{L} = \frac{(a \cdot Na - b \cdot Nb) \cdot 8.1000}{c} \quad (6)$$

onde:

Na = normalidade da solução de permanganato;

Nb = normalidade da solução de ácido oxálico;

a = mL totais de permanganato utilizados;

c = mL de amostras analisados;

b = mL do ácido oxálico

⊕ **Determinação de coliformes fecais e totais**

Os coliformes totais e fecais foram determinados com o uso do método de membrana filtrante.

Procedimento de análise:

Primeiramente fez-se a esterilização com álcool etílico do filtro de sucção, as cápsulas metálicas e a pinça que previamente foram limpas com água destilada e secadas na estufa. As membranas foram colocadas no filtro de sucção com auxílio da pinça e filtrou-se 100 mL da amostra de água, depois retirou-se a membrana cuidadosamente e colocou-se nas placas de Petri que continham uma esponja molhada com solução nutriente. A temperatura para obtenção dos coliformes fecais é de 44° C e dos coliformes totais é de 37° C.

3.5 Processamento de espécies vegetais

Para processamento de Quiabo e Moringa usaram-se os métodos propostos por Ribeiro (2010):

❖ Processamento de Quiabo (*Abelmoschus esculentus*)

A desidratação do Quiabo consistiu em 5 etapas: higienização, secagem, trituração, moagem e peneiramento para a obtenção do pó da amostra.

⊕ Higienização

A amostra usada como coagulante foi lavado com água em contra-corrente para retirar impurezas.

⊕ Secagem

A secagem da amostra de Quiabo ocorreu de forma experimental por várias tentativas até serem encontrados o tempo e a temperatura ideal, não foi utilizado um método específico. O tempo e a temperatura usadas foram de 24 horas e 121°C na estufa.

⊕ Trituração

A trituração foi feita manualmente pois a amostra de Quiabo, estando seca permitia a trituração usando a mão de forma a diminuir a granulometria do mesmo. Não foi estipulado tempo de trituração.

⊕ Moagem

A moagem realizou-se num moinho (ETA1.012).

⊕ Peneiramento

A amostra após a moagem foi peneirada utilizando uma peneira de poro 1 mm. Quando se atingiu o pó do Quiabo este foi armazenado num recipiente fechado.

❖ MORINGA (*Moringa oleífera*)

⊕ Secagem

As amostras de Moringa obtidas seguiram a mesma linhagem no processo de secagem do quiabo.

⊕ **Moagem**

A moagem realizou-se num moinho da marca (ETA1.012).

⊕ **Peneiramento**

A amostra após a moagem foi peneirada utilizando uma peneira de poro 1 mm. Quando se atingiu o pó do Moringa este foi armazenado em um recipiente fechado.

3.6 Preparação das soluções

Para a preparação da solução de Quiabo e Moringa, foram utilizada 5,0 g para cada um deles para fazer a dissolução em 0,5 L de água destilada, resultando numa “solução-mãe” com concentração de 10 g.L⁻¹, que foi novamente diluída para 2g.L⁻¹ para os ensaios em Jar Test.

3.7 Operação em Ensaio de Jar Test

∞ Estudo do efeito da variação da dose de extracto de Moringa (*Moringa oleífera*)

Para testar a capacidade de remoção de turvação da ALF com o extracto de *Moringa oleífera*, fez-se variar o volume de extracto adicionado à ALF nos diferentes jarros do equipamento. Assim foram adicionados volumes entre 1 a 6 mL de extracto aquoso e foi-se aumentando a variação do extracto (2 -12 mL).

∞ Estudo do efeito da variação da dose de extracto de Quiabo (*Abelmoschus esculentus*)

Para testar a capacidade de remoção de turvação da ALF com o extracto de *Moringa oleífera*, fez-se variar o volume de extracto adicionado à ALF nos diferentes jarros do equipamento. Assim foram adicionados volumes entre 1 a 6 mL de extracto aquoso e foi-se aumentando a variação do extracto (2 -12 mL).

Cada quantidade de extracto que foi colocado nos copos de Jar Test foi correspondente à uma determinada concentração. Usou-se o volume de 1 - 6 mL de ambos os extractos para os copos de Jar Test de capacidade de 1L onde neste caso a concentração correspondeu a variação de 2-12 mg/L, variação essa que representou-se por ΔC_{10} pois indica que de 2 – 12 mg/L a variação foi de 10 mg/L e para a variação de 4 – 24 mg/L

representou-se por ΔC_{20} que indica variação de 20 mg/L essa concentração corresponde ao volume de 2- 12 mL.

Cada uma das fases usando o extracto activo da Moringa ou Quiabo compreendeu três etapas, coagulação, floculação e sedimentação, cujos tempos e velocidades de agitação são mostrados na tabela 8.

Tabela 8: Valores operacionais utilizados no Jar Test

Mistura Rápida coagulação velocidade (rpm)	Mistura Rápida coagulação duração (min)	Mistura Lenta floculação velocidade (rpm)	Mistura Lenta floculação duração (min)	Tempo de Sedimentação (min)
150	3	45	15	15

4. RESULTADOS, SUA ANÁLISE E DISCUSSÃO

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos quatro filtros em estudo são apresentados em forma de tabelas no anexo 2. Para a avaliação da possibilidade da recirculação da água realizou-se uma comparação da água clarificada com o uso dos EM e EQ onde se fez uma comparação com a AB segundo as tabelas 9-12:

Tabela 9: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EM com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{10}

Amostra	Turvação	pH	Alcalinidade	Dureza	Cálcio	Magnésio	Cloretos	M. orgânica
	(NTU)							
Água bruta	17,0	7,7	148	143	29,6	35,2	87,9	7,0
Filtro 1	2,99	8,4	153	155	23,0	32,2	87,2	3,2
Filtro 2	6,11	8,3	150	140	24,0	28,2	86,8	4,8
Filtro 3	4,97	8,4	155	153	23,0	31,7	85,4	4,1
Filtro 4	1,98	8,4	156	153	24,8	31,2	85,0	2,8
Media	4,01	8,3	153	150	23,7	30,8	86,1	3,7

Tabela 10: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EQ com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{10}

Amostra	Turvação	pH	Alcalinidade	Dureza	Cálcio	Magnésio	Cloretos	M. orgânica
	(NTU)							
Água bruta	17,3	7,7	148	143	29,6	35,2	87,9	7
Filtro 1	8,4	8,2	174	160	28,0	32,9	86,8	3,6
Filtro 2	6,0	8,4	155	174	24,8	36,4	85,2	6,72
Filtro 3	5,8	8,6	154	167	23,0	34,7	84,3	3,80
Filtro 4	9,5	8,6	152	149	24,4	21,4	85,0	2,80
Media	7,4	8,4	158	162	26,2	31,0	86,0	4,20

Tabela 11: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EM com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{20}

Amostra	Turvação	pH	Alcalinidade	Dureza	Cálcio	Magnésio	Cloretos	M. orgânica
	(NTU)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Água bruta	10,3	7,7	148	143	26	40,0	90,1	4,8
Filtro 1	6,42	8,5	151	150	20,8	31,5	79,9	2,8
Filtro 2	7,22	8,8	153	140	22,5	28,6	87,5	2,9
Filtro 3	1,96	8,8	154	180	23,2	38,2	84,0	4,3
Filtro 4	1,18	8,5	147	150	24,0	30,7	88,6	3,3
Media	4,19	8,6	151	155	22,6	32,2	85	3,8

Tabela 12: Comparação dos parâmetros (após Jar - Test) usando EQ com AB para os melhores copos obtidos à concentração de ΔC_{20}

Amostra	Turvação	pH	Alcalinidade	Dureza	Cálcio	Magnésio	Cloretos	M. orgânica
	(NTU)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Água bruta	10,3	7,7	148	143	26,0	40,0	90,1	4,8
Filtro 1	9,28	8,3	155	190	26,4	39,9	87,9	3,0
Filtro 2	7,53	8,7	159	151	19,2	32,1	90,0	2,6
Filtro 3	6,23	8,3	161	170	24,4	35,3	85,4	4,2
Filtro 4	4,02	8,3	148	151	24,8	21,4	87,9	2,7
Media	6,70	8,4	155	165	23,7	32,1	87,8	3,1

Para a análise dos valores descritos nas tabelas (9 até 12) recorreu-se a apresentação dos mesmos de forma gráfica (página 43) apresentando-se a média dos valores tratados com EQ e EM para todos os filtros e sua comparação com os valores de AB. A apresentação da média partiu da consideração de que a junção da água de todos os filtros será num único reservatório.

⊕ Avaliação da possibilidade da recirculação da ALF

A água proveniente da lavagem dos filtros pode ser recirculada a montante do ponto de aplicação do sulfato de alumínio na estação, lembrando ainda que para ETA's de ciclo completo esse reaproveitamento da água de Lavagem reduzem além das perdas, a dosagem do coagulante.

Com esse intuito realizaram-se o Jar Test simulando a mistura da ALF com a AB que chega á estação, mistura essa realizada na proporção de 90% de AB para 10% de ALF. As condições de operação estão apresentadas na tabela 8. Os testes foram realizados para que se pudesse determinar uma boa dosagem de coagulante (no caso deste foi o sulfato de alumínio), que não comprometeria a qualidade final da água tratada, caso ocorra a recirculação do efluente.

Esses resultados estão apresentados nas tabelas 13-15 a seguir:

Tabela 13: Resultados de Jar Test da Mistura de AB e a ALF (24.07.15)

Condições	AB: 14,9NTU, pH:6,49					
	ALF: 42NTU, pH: 6,44					
Ensaio	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	8	10	12	14	16	18
Turvação final da água de mistura (NTU)	0,5	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4
pH final da água de mistura	6,7	6,4	7,0	6,9	6,6	6,8

Tabela 14: Resultados de Jar Test da Mistura de AB e a ALF (27.07.15)

Condições	AB: 5 NTU, pH: 7,4					
	ALF: 40 NTU, pH: 7,27					
Ensaio	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	8	10	12	14	16	18
Turvação final da água de mistura (NTU)	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
pH final da água de mistura	7,2	6,9	7,1	7,1	6,6	6,8

Tabela 15: Resultados de Jar Test da Mistura de AB e a ALF (28.07.15)

Condições	AB: 5 NTU, pH: 6,49					
	ALF: 42 NTU, pH: 6,44					
Ensaio	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	8	10	12	14	16	18
Turvação final da água de mistura (NTU)	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6
pH final da água de mistura	6,6	6,7	7,1	6,5	6,6	6,8

Os resultados obtidos durante os ensaios expostos nas tabelas (13-15) retratam as colectas realizadas durante o período de seca, e como durante esse período o rio Umbeluzi possui uma boa qualidade da água, pode-se testar duas opções para a realização do Jar test.

Nas tabelas (13-14) são mostrados os resultados obtidos com a primeira opção, que é a simulação de um tanque sedimentador para provocar a sedimentação da maior parte dos flocos presentes na ALF, onde durante os ensaios a ALF foi submetida a clarificação com EM e EQ e em seguida o efluente e AB ficaram em repouso por um período de 30 minutos; para o ensaio foi usada a proporção anteriormente descrita.

Já a tabela (15) mostra a outra possibilidade analisada foi a realização da recirculação directa do efluente para o início do tratamento, sem nenhuma sedimentação precedente; devido à boa qualidade da AB, os resultados encontrados para os parâmetros turvação e pH foram satisfatórios.

Com relação à dosagem de coagulante utilizado - no caso destes ensaios o sulfato de alumínio esta dosagem foi inferior à dosagem utilizada na ETA, sendo este valor inferior devido à presença de resíduos do coagulante nos flocos presentes na ALF que foi reutilizada, flocos estes que funcionam como núcleos facilitadores na formação de outros flocos maiores e mais densos, exigindo assim uma menor quantidade do coagulante e facilitando o processo de floculação.

Podendo salientar que a segunda opção de recirculação directa é descartada no período chuvoso visto que a qualidade do rio diminui.

Eficiência da remoção da Turvação

Tabela 16: Eficiência de remoção da turvação

Concentração	(2mg/L – 12 mg/L)				
	EM				
Filtros	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Media
Eficiência	92 %	95 %	95 %	98 %	95%
	EQ				
Filtros	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Media
Eficiência	78 %	95 %	95%	90 %	89%
Concentração	(4mg/L – 24 mg/L)				
	EM				
Filtros	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Media
Eficiência	95 %	96 %	98%	98 %	97%
	EQ				
Filtros	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Media
Eficiência	92%	96%	94%	91%	93 %

Nota: os valores apresentados correspondem aos melhores copos encontrados na floculação

No cálculo da eficiência da remoção usou-se a seguinte expressão matemática

$$\% \text{ Remoção} = \frac{\text{Valor da Turvação da ALF} - \text{Valor da Turvação clarificada}}{\text{Valor da Turvação da ALF}}$$

Analisando a eficiência de remoção para ambos os coagulantes (tabela 16) constata-se que a EM apresentou-se como sendo mais eficiente em relação ao EQ, pois as médias de remoção de turvação em ambas as variações de concentração foram maiores em comparação as do EQ.

O gráfico 1 ilustra a variação da turvação na ALF. O comportamento da eliminação dos resíduos retidos no meio filtrante tem a característica de seguir a forma decrescente como se nota no gráfico 1.

Gráfico comparativo de variação de valores de turvação para 4 Filtros

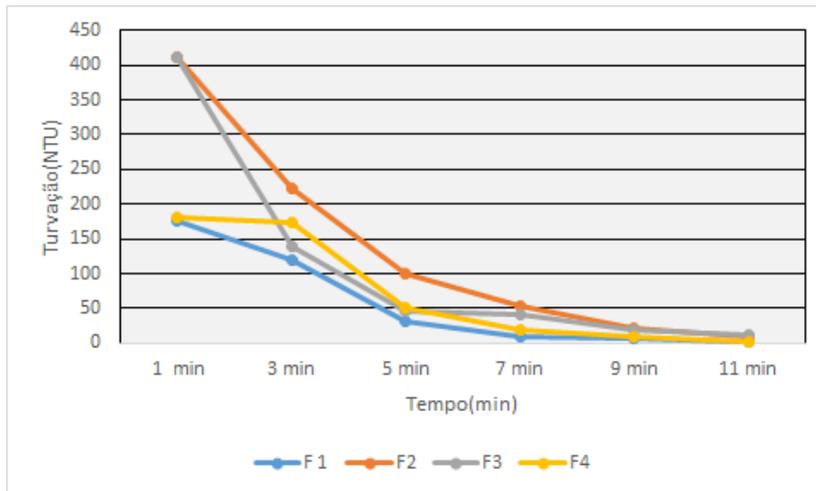


Gráfico 1: variação da turvação ao longo da lavagem

Observou-se que grande parte do material retido é eliminado no terceiro minuto, exceptuando o filtro 4, que apresentou alguns problemas durante a filtração pois a bomba de água de lavagem parou durante o processo de lavagem, foi necessário voltar a ligar a mesma, ocasionando a sedimentação do material que já se encontrava em suspensão o que elevou o valor da turvação. Nota-se nos quatro filtros que nos primeiros minutos, a turvação atinge seu valor máximo. Até o término do minuto 5, grande parte do material retido é eliminada. Para os quatro filtros a turvação segue diminuindo durante o terceiro, quinto e sétimos minutos. Após este tempo, tende a permanecer constante.

Fica claro a importância do monitoramento do tempo de lavagem dos filtros. Considerando que a turvação está relacionada com a presença de sólidos, lavagens muito longas geram grandes quantidades de volume com concentrações de sólidos relativamente baixos. De acordo com o gráfico 1, o tempo de 9 minutos seria suficiente para limpar filtros.

Apesar do objectivo principal deste estudo ter sido estudar as possibilidades da reutilização da ALF da ETA Umbeluzi com uso de coagulantes naturais, a análise da água do rio Umbeluzi foi feita somente para comparar as suas características com aquelas que foram tratadas com coagulantes tendo-se, desta forma, uma ideia da viabilidade técnica do reuso do efluente em questão. Podendo salientar que todos os parâmetros analisados não foram controlados com o material de referência, mas sim foram analisados em relação à AB de forma a se verificar a viabilidade da recirculação da ALF.

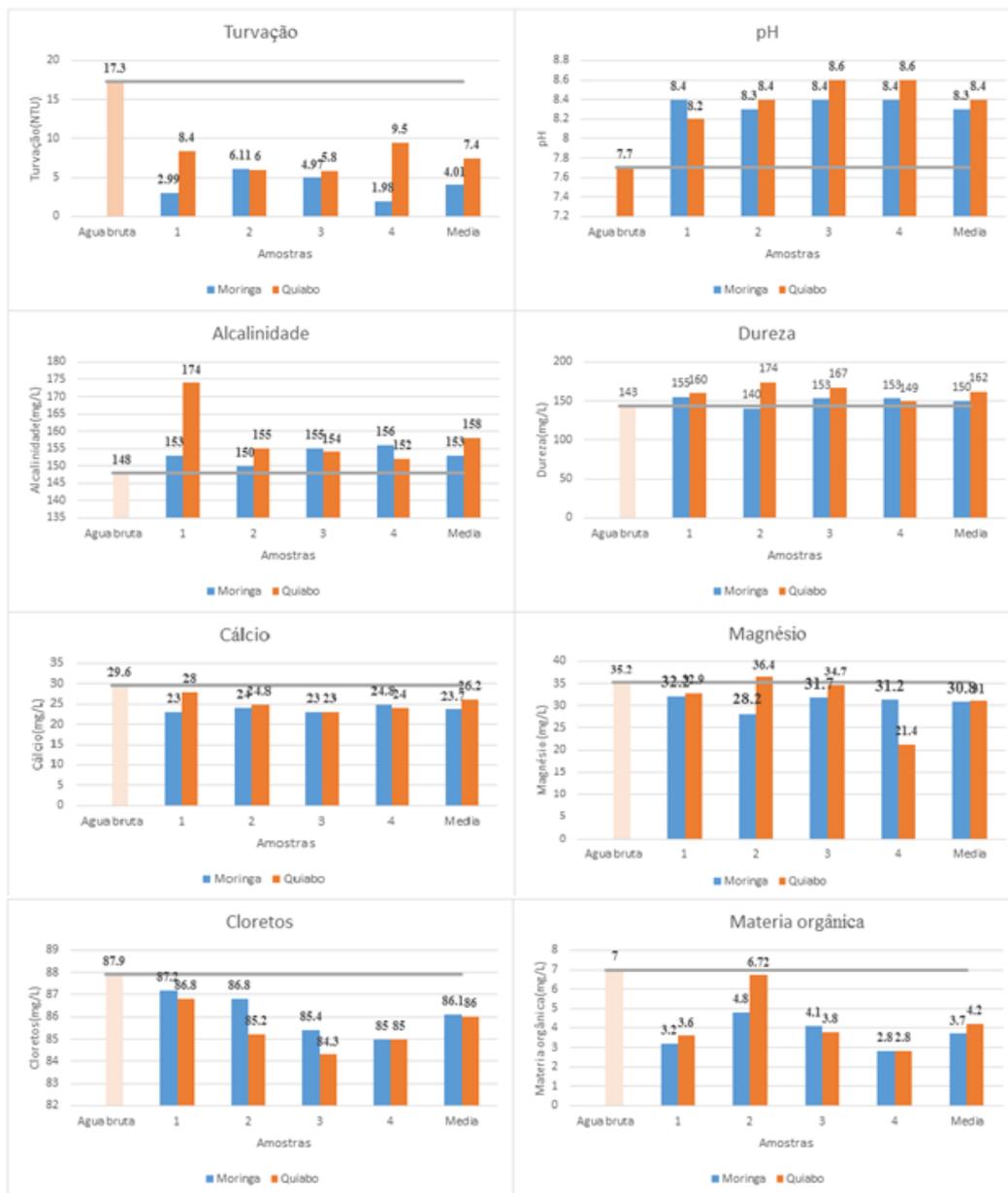


Figura 12: Valores dos principais parâmetros para cada filtro em comparação com AB

a-turbidez, b-pH, c-alcalinidade, d-dureza, e-cálcio, f-magnésio, g- cloretos, h-M. Orgânica

De acordo com os resultados obtidos nas análises do sobrenadante para os melhores resultados de floculação para EM e EQ, verificou-se que as características físico-químicas do efluente tratado com os coagulantes acima citados apresentaram em geral valores melhores que os da AB, captada no rio Umbeluzi. Excepção ocorreu para os parâmetros dureza, alcalinidade e pH em que na água tratada ambos os coagulantes apresentaram valores um pouco elevados porém esses parâmetros não impedem a recirculação da água.

A dureza resulta da presença, principalmente de sais alcalino terrosos (cálcio e magnésio) e de outros metais bivalentes que não interferem no processo de tratamento, pois em teores elevados causam sabor desagradável, reduzem a formação da espuma do sabão, aumentando o seu consumo. Apesar do efluente tratado com EQ ter apresentado valor de dureza um pouco elevado que o da AB, ainda assim é um valor considerado baixo, não podendo prejudicar o processo da recirculação.

O pH permite verificar qual o carácter da água (ácido, neutro ou alcalino), para ambos os coagulantes os valores de pH estiveram na faixa alcalina, como a água que é captada apresenta grau de acidez para neutralizar essa acidez é necessário a adição de compostos alcalinos como CaCO_3 , Na_2CO_3 , CaO de modo a se elevar o pH. Sendo o processo de filtração uma operação de concentração de sólidos, nos flóculos por fim são retidos os carbonatos, bicarbonatos o que confere essa faixa de pH.

No caso da alcalinidade, a água de origem superficial apresenta algum teor em anidrido carbónico (CO_2), o que confere acidez à água. Para neutralizar essa acidez da água é necessário a utilização de sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio. Quando esses sais reagem com o sulfato que é adicionado na água que tem carácter ácido ocorre a formação de um precipitado de hidróxido de alumínio. Podendo salientar que os valores altos de alcalinidades nas águas do rio Umbeluzi devem-se às características geológicas da Região já que a Água que chega à ETA atravessa zonas com rocha calcárias e carbonadas pois isso influencia no aumento da alcalinidade.

A restrição da recirculação da ALF é quando esta água apresenta uma quantidade microbiológica não satisfatória, uma vez que a ALF pode conter concentrações mais elevadas de coliformes do que a própria AB. Segundo a tabela 17 a ALF apresentou quantidade um pouco elevado de coliformes durante o tratamento com ambos os

coagulantes houve uma redução, sendo que essa quantidade não seria prejudicial ao processo de recirculação.

Tabela 17: Resultados dos parâmetros microbiológicos de coliformes fecais e totais

Parâmetros		Moringa				Quiabo			
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
Totais	Início	18	0,0	10	0,0	12	0,0	0,0	12
	Final	2,0	0,0	3,0	0,0	1,0	0,0	0,0	7,0
Fecais	Início	0,0	0,0	0,0	0,0	24	10	0,0	0,0
	Final	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	2,0	0,0	0,0
Parâmetros		Moringa*				Quiabo*			
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
Totais	Início	21	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	13	0,0
	Final	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0
Fecais	Início	37	0,0	0,0	2,0	11	0,0	0,0	0,0
	Final	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* Corresponde à concentração de (4 mg/L- 24mg/L), os valores apresentados são dos melhores copos obtidos na etapa de floculação, ALF- Água de Lavagem de Filtros

Podendo salientar que tanto para as concentrações de 4mg/L – 24 mg/L os parâmetros que foram elevados em relação à AB foram o pH, alcalinidade e dureza onde a interpretação seria a mesma.

De forma paralela fez-se alguns ensaios em branco (sem adição de coagulante) após uma sedimentação em cone de Imhoff (vide no anexo A2-41), obteve-se uma redução na turvação da água resultante da lavagem de filtros que podia ser melhorada com adição do coagulante, mas como o intervalo da lavagem de um filtro em relação ao outro é curto o método não seria eficiente pois para se obter uma boa sedimentação precisa-se de um tempo elevado.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Como resposta aos objetivos traçados, tomando em conta a análise dos resultados e a comparação da eficiência dos dois coagulantes pode-se concluir que:

Os parâmetros pH, TDS, turvação foram determinados logo após a amostragem, seguindo a determinação dos parâmetros como alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, matéria orgânica e coliformes. Os valores foram analisados em relação à água Bruta (AB) de modo a avaliar-se a viabilidade do método. Todos os parâmetros analisados após o tratamento com os coagulantes Moringa e Quiabo apresentaram em geral valores menores que os da AB, exceptuando a alcalinidade, dureza e pH que apresentaram valores maiores que os da água bruta contudo, não condicionando a recirculação da ALF.

O sobrenadante decorrente da clarificação com uso dos dois coagulantes apresentou características que permitem sua recirculação, pois os valores de turvação, coliformes, matéria orgânica e outros parâmetros mostraram-se inferiores aos da AB.

A opção para a recirculação do sobrenadante do efluente após o mesmo ter sofrido uma sedimentação precedente.

Foi determinada a eficiência da remoção da turvação usando EM e EQ e ambos apresentaram uma boa eficiência na remoção de turvação, o que possibilita o seu uso.

5.2. Recomendações

Recomenda-se:

- ∞ A instalação de medidores de vazão e totalizadores de fluxo nas condutas da saída da ALF de forma a permitir levantar informações sobre a quantidade gasta de água na lavagem dos filtros;
- ∞ Recomenda-se que se use um sistema de filtração de múltiplas camadas, o que irá aumentar a carreira de filtração e conseqüentemente menores gastos durante a lavagem;
- ∞ Que se faça um estudo microbiológico da mistura da AB e da ALF na proporção descrita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. G. J. (2007). *Uso de Polímero Natural do Quiabo como Auxiliar de Floculação e Filtração em Tratamento de Água e Esgoto*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Água da Região de Maputo (2015). *Manual de Indução para Controlo e Tratamento da Água*.

Abastecimento de Água, Operação e Manutenção de Estações de Tratamento de Água. Belo Horizonte (2008). AAOMETA. Nível 2.

BOANA, F. M. (2011). *Estudo da Qualidade da Água dos rios Umbeluzi e Incomáti para fins de consumo Doméstico e de Irrigação*, Trabalho de Licenciatura, Departamento de Química, UEM, Maputo.

BORBA, L. R. (2001). *Viabilidade do uso da Moringa Oleífera Lam no tratamento simplificado de Água para pequenas Comunidades*. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. Brasil.

CAMILO, N. M. J. F. (2014). *Estudo das Potencialidades do uso dos Coagulantes Naturais no Tratamento das Águas do rio Infulene*, Trabalho de Licenciatura, Departamento de Química, UEM, Maputo.

CARAVETTI, A. E. (2009). *Princípios de reuso de Água na Indústria*. São Paulo: Conselho Regional de Química.

CINDY MINOWA, D. N. (2007). *Reuso de Água*. São Paulo: EPU. pp. 3-5.

CORDEIRO, D.C.O. (2012). *Estudo da Reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa.

DA SILVA, F. J. A.; DE MATOS, J. E. X. (2008). Sobre dispersões de Moringa Oleífera <http://somelseripbomsaber.blogspot.com/2008/12/Moringa-globorural.html>. Acessado em Julho 2015.

FILHO, A. S. (2009). *Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando o reuso*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Escola de Química.

FIPAG (2012). *Estudo Ambientais e Sociais para o Sistema de Abastecimento de Água do Grande Maputo*, Vol.2, Relatório final.

FRANCO, M. (2010). *Uso de coagulante extraído de semente de Moringa oleífera como Auxiliar no Tratamento de Água por Filtração em Múltiplas etapas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, na Área de Concentração em Água e Solo. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.

GOMES, J.M.C. (2011). *Contribuição para o Estudo de Sistemas de Tratamento de Água a Adoptar em Zonas Economicamente Desfavorável*, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

LOBO, L. P. (2004). *Análise comparativa dos processos de filtração em membranas e clarificação físico-química para reuso de Água na indústria*. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

NOGUEIRA, F. C. B. (2012). *Sementes de Moringa e pó de Quiabo no tratamento de efluente sanitário*, Dissertação de Mestrado em Ciência Animal. Universidade José do Rosário Vellano. Alfenas.

OLIVEIRA, A. M. (2009). *Optimização do uso da Água na indústria, O Caso de Estudo da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas*, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.

Relatório de Gestão da Direcção de Projectos e Suporte Técnico. (2014).

RIBEIRO, A.T.A. (2010). *Aplicação de Moringa oleífera no Tratamento de Água para consumo Humano*, Dissertação de Mestrado Engenharia do Ambiente. Universidade do porto. Portugal.

RITTER, C.M. (2013). *Estudo da Utilização de Polímeros Naturais *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Malvaceae) e *Moringa oleífera* LAM (Moringaceae) no*

Tratamento de Água de Abastecimento, Trabalho de Bacharel em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

MELINA, S. (2014). *Caracterização Química dos Polissacarídeos Provenientes dos Frutos de Abelmoschus esculentus L. Moench e suas Atividades Biológicas in vitro*, dissertação de Mestrado em ciências- Bioquímica. Universidade Federal do paraná, Curitiba.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2002). *Filter backwash recycling rule. Technical guidance manual*. Washington, DC: UESPA.´

ZIPF, M.S. (2010). *Caracterização e Estudo de Reuso da Água de Lavagem dos Filtros de uma Estação de Tratamento de Água de uma Indústria Têxtil de Blumenau-Sc*, Trabalho de Licenciatura em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

ANEXOS

Anexos 1. Preparação de soluções operacionais

Solução de negro de ericromo T

Dissolve-se 0,25 g de negro de ericromo T e 4,5 g de cloridrato de hidroxilamina em 100 cm³ de álcool etílico a 94°

Solução tampão

Dissolve-se 6,75 g de cloreto de amônio em 57 cm³ de amônio a 22% de NH₃ e dilui-se a 100 cm³ com água destilada.

Solução titulante

Dissolve-se 4 g de sal dissódico do ácido etileno-diamina-tetracético e 0,1 g de MgCl₂ em 750 a 800 cm³ de água destilada.

Solução de AgNO₃

Dissolve-se 1.7 g de AgNO₃ num balão de 100mL e preenche-se o volume com água destilada. A solução deve ser conservada no frasco escuro.

Indicador de cromato de potássio

Dissolveram-se 1,25 g de K₂CrO₄ numa pequena quantidade de água, adicionou-se o AgNO₃ até à formação do precipitado cor de tijolo. Deixou-se decantar aproximadamente até 12h, filtrou-se e dilui-se o filtrado com água destilada até 25mL

Solução meio de cultura

Para coliformes totais: dissolve-se 7,2 g de Membrane lauryl sulfate Broth num balão de 100mL e preenche-se o volume com água destilada. A conservação deve ser à temperatura de 4°C.

Para coliformes fecais: dissolve-se 5 g de m-Fc Agar num balão de 100mL e preenche-se o volume com água destilada. A conservação deve ser à temperatura de 4°C.

Anexo2. Resultados do estudo das amostras da ALF dos 4 filtros da ETA₁ nos vários dias de amostragem

Os resultados das análises da ALF com uso de EM e EQ estão apresentados nas tabelas de A2-1 – A2-40, onde apresentou-se primeiro as tabelas da ΔC_{10} e por fim da ΔC_{20} .

Filtro 1: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 03 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 9 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 1.

Tabela A2-1: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 1

Amostra	Turvação (NTU)	TDS
1 min	176	444
3 min	119	401
5 min	31,6	395
7 min	8,14	393
9 min	6,53	391
11 min	2,73	390
Composta	38,5	396

Como descrito na metodologia da amostragem, juntaram-se as amostras a fim de constituir a amostra composta. Os resultados das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentadas nas tabelas 10-13.

Tabela A2-2: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (3 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		5ºCopo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1º	2º	3º	4º	5º	6º
EM	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
pH (final)		8,30	8,50	8,60	8,70	8,40	8,40
Turvação (inicial)	NTU	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5
Turvação (final)	NTU	3,27	3,47	3,79	3,03	2,99	3,75
Melhor copo						x	

Tabela A2-3: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		<i>3 de Julho de 2015</i>
Parâmetros analisados	Unidades	5° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	87,2
Turvação	NTU	2,99
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	23,0
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	155
Alcalinidade total	mg/L	153
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	32,2
Matéria orgânica	mg/L	3,2

Tabela A2-4: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (*3 de Julho de 2015*)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		1° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EQ	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
pH (final)		8,20	8,50	8,60	8,40	8,60	8,40
Turvação (inicial)	NTU	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5
Turvação (final)	NTU	8,42	9,07	10,6	8,83	8,86	10,6
Melhor copo		x					

Tabela A2-5: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		<i>3 de Julho de 2015</i>
Parâmetros analisados	Unidades	1º Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	86,8
Turvação	NTU	8,42
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	28,05
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	160
Alcalinidade total	mg/L	174
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	32,1
Matéria orgânica	mg/L	3,6

Filtro 2: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 07 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 14 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 2.

Tabela A2-6: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 2

Amostra	Turvação (NTU)	TDS (mg/L)
1 min	411	396
3 min	222	394
5 min	99,2	390
7 min	53,9	383
9 min	20,9	379
11 min	10,5	370
Composta	115	390

Os resultados das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentados nas tabelas 15-18 onde se usou o EM e EQ a mesma ΔC_{10} .

Tabela A2-7: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (7 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		5° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EM	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
pH (final)		8,70	8,70	8,60	8,50	8,40	8,40
Turvação (inicial)	NTU	115	115	115	115	115	115
Turvação (final)	NTU	6,46	6,86	6,75	6,99	6,11	7,10
Melhor copo						x	

Tabela A2-8: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		7 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	5° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	86,8
Turvação	NTU	6,11
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	24,04
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	140
Alcalinidade total	mg/L	150
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	28,2
Matéria orgânica	mg/L	4,8

Tabela A2-9: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (7 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		3º Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1º	2º	3º	4º	5º	6º
EQ	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
pH (final)		8,50	8,50	8,40	8,50	8,30	8,40
Turvação (inicial)	NTU	115	115	115	115	115	115
Turvação (final)	NTU	6,54	6,94	6,07	7,19	6,69	7,80
Melhor copo				x			

Tabela A2-10: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		7 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	3º Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	85,2
Turvação	NTU	6,07
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	24,8
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	174
Alcalinidade total	mg/L	155
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	36,4
Matéria orgânica	mg/L	6,72

Filtro 3: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 10 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 19 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 3.

Tabela A2-11: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 3

Amostra	Turvação (NTU)	TDS
1 min	410	420
3 min	140	405
5 min	46,2	400
7 min	41,9	396
9 min	19,9	396
11 min	11,4	391
Composta	103	395

Os resultados das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentados nas tabelas 20-23 onde se usou o EM e EQ a mesma ΔC_{10} .

Tabela A2-12: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (10 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		6 °Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EM	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
pH (final)		8,40	8,50	8,60	8,40	8,50	8,30
Turvação (inicial)	NTU	103	103	103	103	103	103
Turvação (final)	NTU	6,72	5,92	6,58	5,98	5,54	4,97
Melhor copo							x

Tabela A2-13: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		<i>10 de Julho de 2015</i>
Parâmetros analisados	Unidades	6° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	85,40
Turvação	NTU	4,97
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	23,0
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	153
Alcalinidade total	mg/L	155
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	31,72
Matéria orgânica	mg/L	4,1

Tabela A2-14: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (*10 de Julho de 2015*)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		3 ° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EQ	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
pH (final)		8,50	8,60	8,60	8,40	8,40	8,40
Turvação (inicial)	NTU	103	103	103	103	103	103
Turvação (final)	NTU	6,41	6,24	5,87	7,33	6,92	7,43
Melhor copo				x			

Tabela A2-15: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		10 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	3º Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	84,37
Turvação	NTU	5,87
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	26,0
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	167
Alcalinidade total	mg/L	154
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	34,4
Matéria orgânica	mg/L	3,8

Filtro 4: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 14 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 24 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 4.

Tabela A2-16: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 4

Amostra	Turvação (NTU)	TDS
1 min	180	389
3 min	174	380
5 min	51,6	365
7 min	19,53	363
9 min	8,14	357
11 min	2,73	350
Composta	93	396

Os resultados das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentados nas tabelas 25-28 onde se usou o EM e EQ a mesma ΔC_{10} .

Tabela A2-17: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (14 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		5° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EM	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10
pH (final)		8,30	8,50	8,60	8,70	8,10	8,40
Turvação (inicial)	NTU	93	93	93	93	93	93
Turvação (final)	NTU	5,46	3,96	3,41	2,46	1,98	2,0
Melhor copo						x	

Tabela A2-18: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		<i>14 de Julho de 2015</i>
Parâmetros analisados	Unidades	5° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	85,08
Turvação	NTU	1,98
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	24,8
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	153
Alcalinidade total	mg/L	156
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	31,2
Matéria orgânica	mg/L	2,8

Tabela A2-19: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (14 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		3º Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1º	2º	3º	4º	5º	6º
EQ	mg/L	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
pH (inicial)		8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10
pH (final)		8,20	8,50	8,60	8,40	8,60	8,40
Turvação (inicial)	NTU	93	93	93	93	93	93
Turvação (final)	NTU	10,4	10,1	9,58	9,64	10,4	9,76
Melhor copo				x			

Tabela A2-20: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{10}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		Tuesday, July14, 2015
Parâmetros analisados	Unidades	3º Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	85,0
Turvação	NTU	9,58
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	24,4
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	149
Alcalinidade total	mg/L	152
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	21,47
Matéria orgânica	mg/L	2,85

As tabelas abaixo representam os resultados das análises da ALF com uso de EM e EQ na ΔC_{20} .

Filtro 1: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 17 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 29 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 1.

Tabela A2-21: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 1

Amostra	Turvação (NTU)	TDS
1 min	435	420
3 min	340	408
5 min	316	397
7 min	113	394
9 min	50	390
11 min	48	389
Composta	117	400

Os resultados das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentados nas tabelas 30-33 onde se usou o EM e EQ com a mesma ΔC_{20}

Tabela A2-22: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (17 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		6° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EM	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
pH (final)		8,90	8,70	8,70	8,70	8,50	8,50
Turvação (inicial)	NTU	117	117	117	117	117	117
Turvação (final)	NTU	9,89	9,32	8,93	7,94	7,51	6,42
Melhor copo							x

Tabela A2-23: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		<i>17 de Julho de 2015</i>
Parâmetros analisados	Unidades	6° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	79,7
Turvação	NTU	6,42
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	20,8
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	150
Alcalinidade total	mg/L	151
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	31,5
Matéria orgânica	mg/L	4,8

Tabela A2-24: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (*17 de Julho de 2015*)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		6° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EQ	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
pH (final)		8,80	8,60	8,50	8,40	8,30	8,30
Turvação (inicial)	NTU	117	117	117	117	117	117
Turvação (final)	NTU	9,83	10,5	10,0	9,99	10,2	9,28
Melhor copo							x

Tabela A2-25: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		<i>17 de Julho de 2015</i>
Parâmetros analisados	Unidades	6º Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	87,9
Turvação	NTU	9,28
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	26,45
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	190
Alcalinidade total	mg/L	155
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	39,9
Matéria orgânica	mg/L	3,0

Filtro 2: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 20 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 34 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 2.

Tabela A2-26: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 2

Amostra	Turvação (NTU)	TDS
1 min	400	395
3 min	278	391
5 min	51,7	389
7 min	28,9	370
9 min	9,44	365
11 min	7,17	350
Composta	179	392

Os resultados das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentados nas tabelas 35-38 onde se usou o EM e EQ com a mesma ΔC_{20}

Tabela A2-27: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (20 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		3° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EM	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
pH (final)		8,70	8,90	8,80	8,70	8,60	8,60
Turvação (inicial)	NTU	179	179	179	179	179	179
Turvação (final)	NTU	8,74	7,77	7,22	8,83	7,79	7,37
Melhor copo				x			

Tabela A2-28: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		20 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	3° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	87,5
Turvação	NTU	7,22
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	22,5
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	140
Alcalinidade total	mg/L	153
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	28,6
Matéria orgânica	mg/L	2,9

Tabela A2-29: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (20 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		1º Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1º	2º	3º	4º	5º	6º
EQ	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
pH (final)		8,70	8,40	8,60	8,50	8,50	8,40
Turvação (inicial)	NTU	179	179	179	179	179	179
Turvação (final)	NTU	7,53	9,66	8,64	8,00	8,81	9,17
Melhor copo		X					

Tabela A2-30: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		20 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	1º Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	90,0
Turvação	NTU	7,53
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	19,23
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	151
Alcalinidade total	mg/L	159
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	32,1
Matéria orgânica	mg/L	2,6

Filtro 3: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 23 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 39 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 3.

Tabela A2-31: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 3

Amostra	Turvação (NTU)	TDS
1 min	378	397
3 min	259	379
5 min	74,6	339
7 min	50,2	331
9 min	34,7	320
11 min	9,85	312
Composta	109	393

O resultado das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentados nas tabelas 40 - 43 onde se usou o EM e EQ com a mesma ΔC_{20} .

Tabela A2-32: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (23 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		6º Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1º	2º	3º	4º	5º	6º
EM	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
pH (final)		8,40	8,50	8,60	8,60	8,70	8,80
Turvação (inicial)	NTU	109	109	109	109	109	109
Turvação (final)	NTU	4,39	3,73	2,73	3,74	2,91	1,96
Melhor copo							x

Tabela A2-33: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		<i>23 de Julho de 2015</i>
Parâmetros analisados	Unidades	6° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	84,01
Turvação	NTU	1,96
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	23,20
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	180
Alcalinidade total	mg/L	154
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	38,2
Matéria orgânica	mg/L	4,3

Tabela A2-34: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (*23 de Julho de 2015*)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		2° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EQ	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
pH (final)		8,20	8,30	8,20	8,30	8,30	8,50
Turvação (inicial)	NTU	109	109	109	109	109	109
Turvação (final)	NTU	6,33	6,23	6,76	7,33	8,17	8,02
Melhor copo			x				

Tabela A2-35: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		23 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	2º Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	85,43
Turvação	NTU	6,23
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	24,4
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	170
Alcalinidade total	mg/L	161,8
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	35,3
Matéria orgânica	mg/L	4,2

Filtro 4: A colecta do primeiro filtro foi realizada no dia 24 de Julho de 2015. O filtro estava 24 horas sem lavar. A tabela 44 mostra a variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem para o filtro 4.

Tabela A2-36: Valores de turvação e TDS para as amostras do filtro 4

Amostra	Turvação (NTU)	TDS
1 min	257	628
3 min	59,4	403
5 min	17,3	390
7 min	6,97	388
9 min	5,0	376
11 min	4,26	350
Composta	48	400

Os resultados das análises físico-químicas para os melhores copos obtidos no ensaio de Jar Test estão apresentados nas tabelas 44-48 onde se usou o EM e EQ com a mesma ΔC_{20}

Tabela A2-37: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EM (24 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		5° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EM	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
pH (final)		8,90	8,70	8,70	8,70	8,50	8,50
Turvação (inicial)	NTU	48	48	48	48	48	48
Turvação (final)	NTU	2,77	1,79	1,60	1,53	1,18	1,39
Melhor copo						x	

Tabela A2-38: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EM na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		24 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	5° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	88,6
Turvação	NTU	1,18
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	24,05
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	150
Alcalinidade total	mg/L	147
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	30,7
Matéria orgânica	mg/L	3,3

Tabela A2-39: Resultados de Jar Test para o ensaio com uso de EQ (24 de Julho de 2015)

Resultados finais sobre os ensaios de floculação		5° Copo					
Substância adicionada/Parâmetros analisados	Unidades	1°	2°	3°	4°	5°	6°
EQ	mg/L	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
pH (inicial)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
pH (final)		8,80	8,60	8,50	8,40	8,30	8,30
Turvação (inicial)	NTU	48	48	48	48	48	48
Turvação (final)	NTU	4,12	4,79	4,91	4,66	4,02	4,60
Melhores copos						x	

Tabela A2-40: Características físico-químicas do sobrenadante do melhor copo para água tratada com EQ na ΔC_{20}

Avaliação de parâmetros para o melhor copo após o ensaio de floculação		24 de Julho de 2015
Parâmetros analisados	Unidades	5° Copo
Cloretos (Cl ⁻)	mg/L	87,9
Turvação	NTU	4,02
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	24,8
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	151
Alcalinidade total	mg/L	148
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	21,4
Matéria orgânica	mg/L	2,70

Tabela A2-41: Sedimentação em cone de Imhof sem adição de coagulante

Tempo (h)	Turvação (NTU)				
	27-Julho	28-Julho	29-Julho	30-Julho	31-Julho
0	134	143	174	154	151
0.5	19.9	18.7	26.5	25	23.6
1	15.1	15.9	20.8	20.2	19.4
1.5	14.8	15.1	17.7	17.9	16.2
2	12.3	13.8	15.2	16.8	14.3
2.5	10.9	11.4	12.3	13.9	13
3	10.5	9.79	11.8	12.1	11.6
DATA	27-Julho	28-Julho	29-Julho	30-Julho	31-Julho

Anexo 3. Gráfico de variação da turvação e TDS em função do tempo de lavagem de filtros

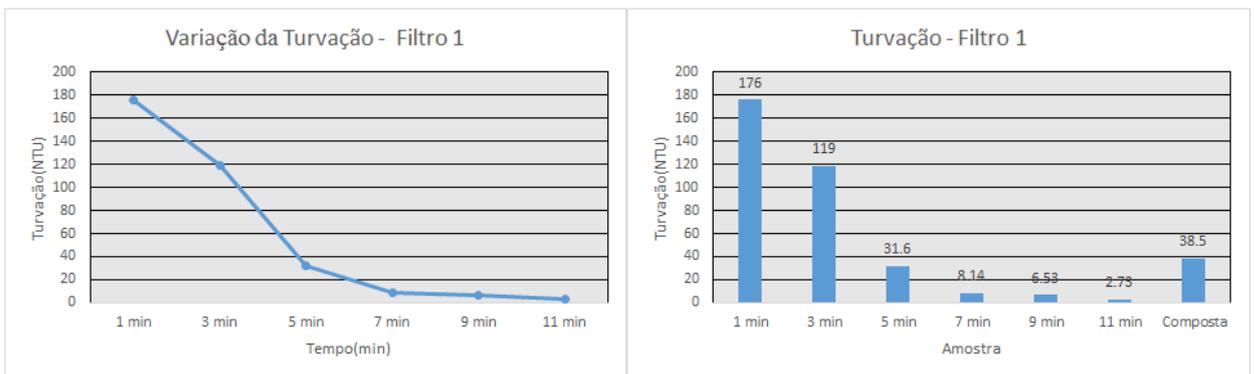


Gráfico 2: Variação da turvação ao longo do tempo de lavagem

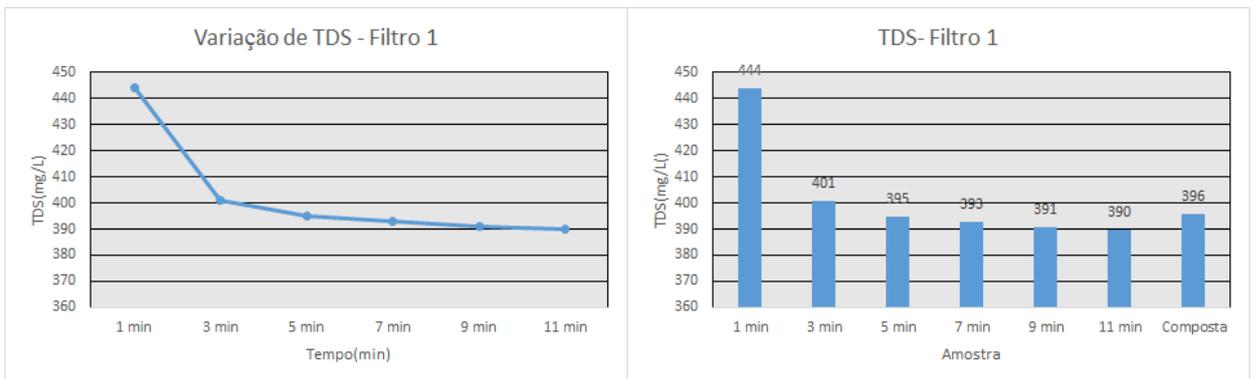


Gráfico 3: Variação de TDS ao longo do tempo de lavagem

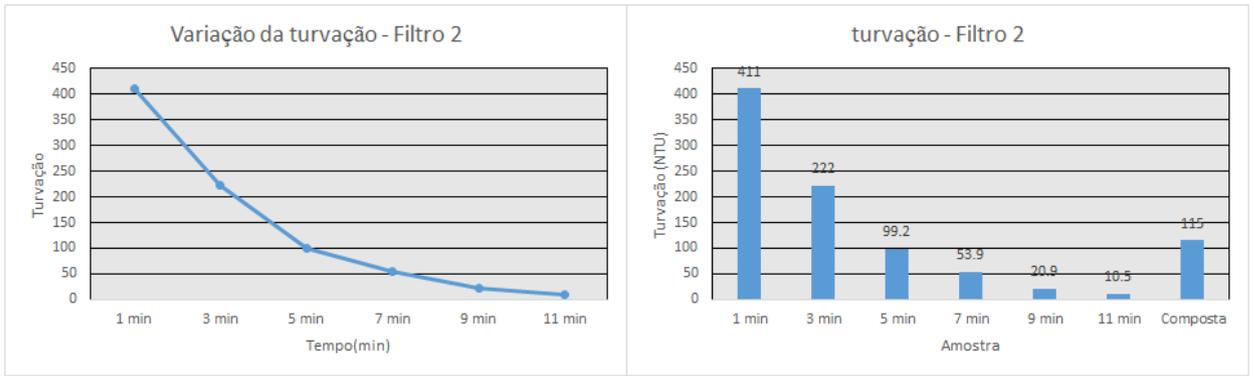


Gráfico 4: Variação da turvação ao longo do tempo de lavagem

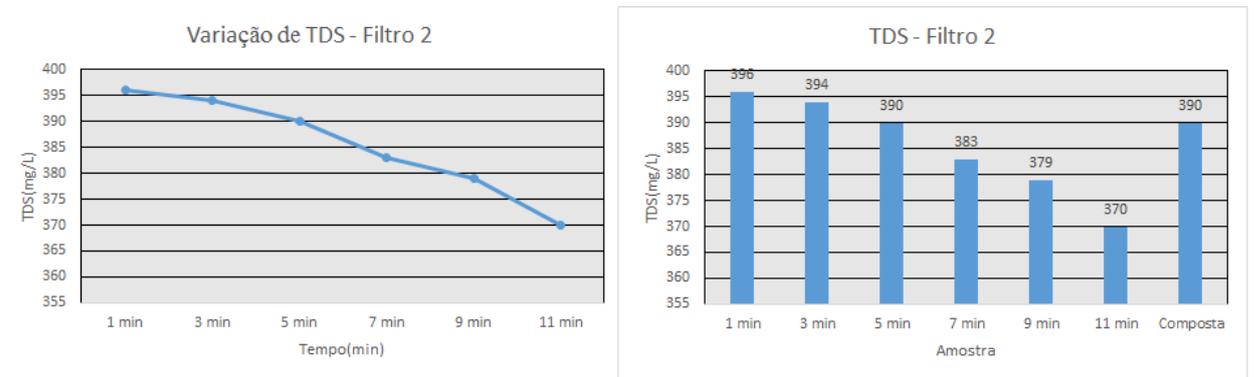


Gráfico 5: Variação de TDS ao longo do tempo de lavagem

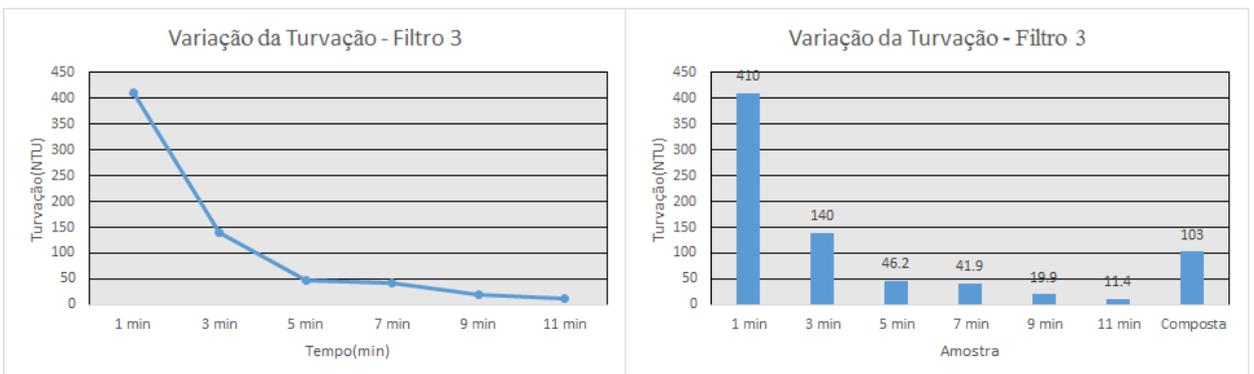


Gráfico 6: Variação da turvação ao longo do tempo de lavagem

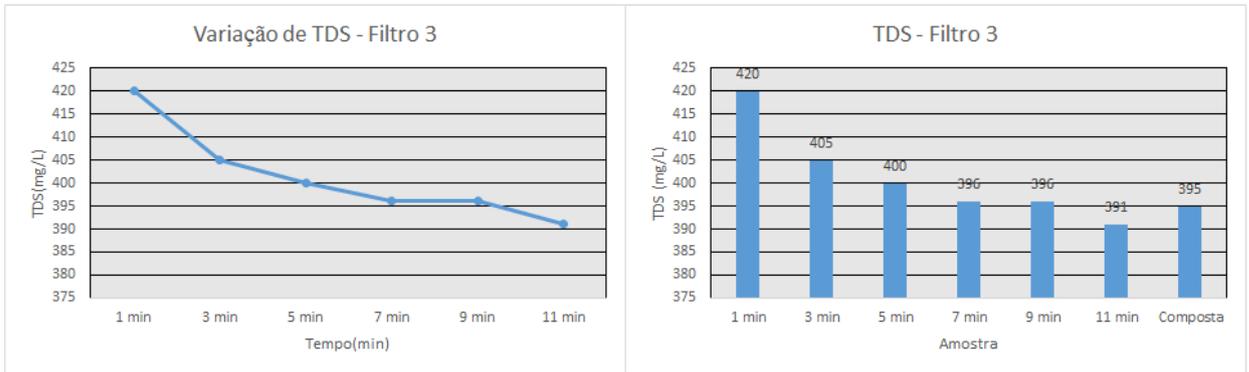


Gráfico 7: Variação de TDS ao longo do tempo de lavagem

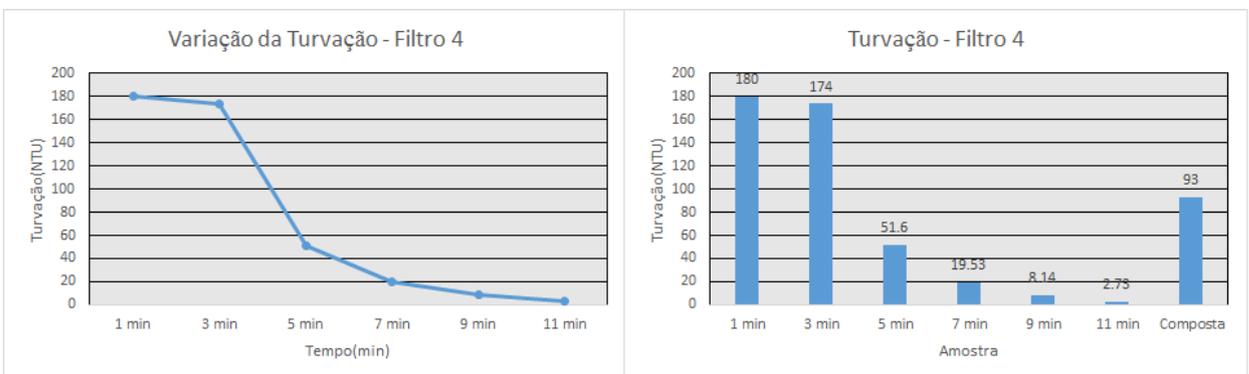


Gráfico 8: Variação da turvação ao longo do tempo de lavagem

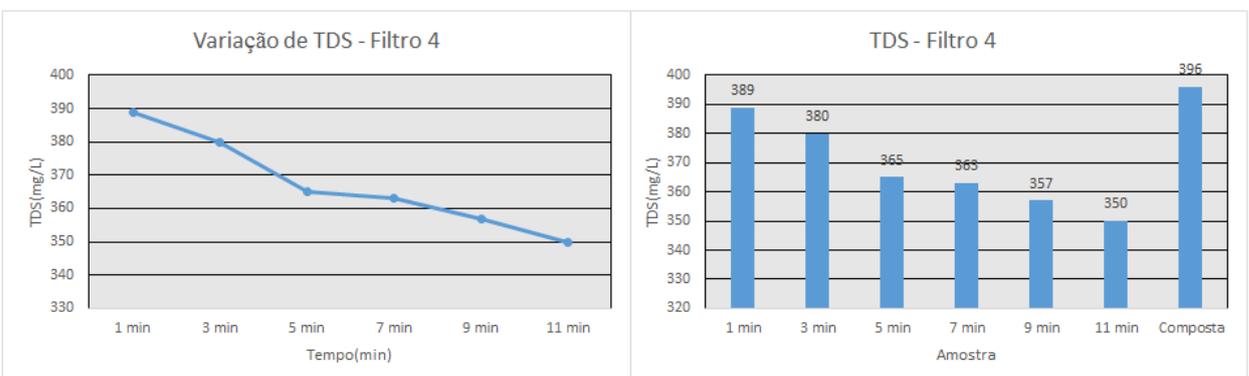


Gráfico 9: Variação de TDS ao longo do tempo de lavagem

Anexo 4. Opção de recirculação

- ⊕ Equalização: serve para reduzir impactos da recirculação no processo de tratamento

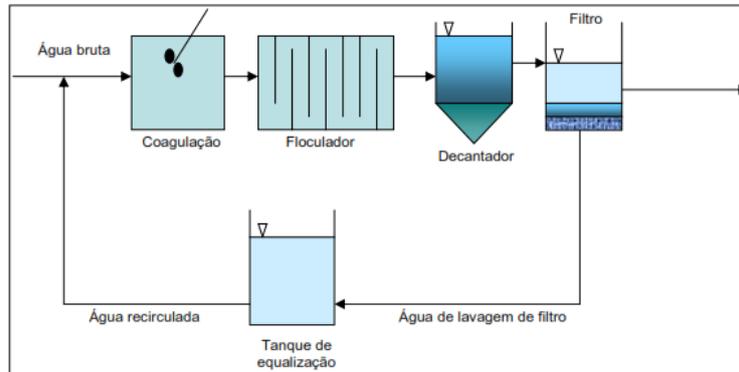


Figura A4: Equalização de vazões de águas de lavagem de filtros

Fonte: USEPA (2002)

Este tipo de recirculação faz-se a uma taxa inferior a 10% da vazão da ETA, de forma contínua, sendo uma forma segura e prática pois não interfere no processo de tratamento por se usar um coagulante a sedimentação dos flocos e resíduos é rápido, caso a sedimentabilidade seja lenta deve-se fazer a optimização do coagulante. A água clarificada é reintroduzida na estação antes da coagulação, como a vazão é de 10% não fará diferença significativa na dosagem dos produtos químicos. Se os filtros forem lavados exactamente no horário estabelecido, durante 10 minutos cada lavagem, o reservatório poderá ter um volume de aproximadamente 160 m^3 , adicionando-se ainda o volume mínimo para o funcionamento da bomba, e as bombas ficam ligadas continuamente numa mesma vazão.

Vantagens da equalização

- ⊗ Minimização de sobrecargas hidráulicas nos decantadores, filtros ou outro sistema;
- ⊗ Melhor controle das operações de coagulação e floculação.

Desvantagens da equalização

- ⊗ Os custos considerados na implantação;
- ⊗ Se o tanque de equalização não funcionar de maneira contínua pode existir a sedimentação de lodo e posterior produção de odor.

Anexo 5. Extractos de Moringa e Quiabo e Equipamento de Jar Test



Figura A5-1: Jar Test “PHIPPS & BIRD TM, RICHMOND, VA USA (800)



Figura A5-2: Extractos de Moringa e Quiabo