



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
ESCOLA SUPERIOR DE DESENVOLVIMENTO RURAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

Avaliação da eficiência na remoção de turbidez usando o Sulfato de Alumínio $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]$

Caso de Estudo: ETA-Mutua/FIPAG-Beira

Engenharia Rural com especialização de Água e Saneamento

Autor:

Azarias Da Silva Vilanculo

Vilanculo, Abril de 2014

Azarias Da Silva Vilanculo

Avaliação da eficiência na remoção de turbidez usando o Sulfato de Alumínio [Al₂(SO₄)₃.10H₂O]

Caso de Estudo: ETA-Mutua/FIPAG-Beira

Pesquisa aplicada apresentada ao Departamento de Engenharia Rural para a obtenção do grau acadêmico de licenciatura em Engenharia Rural e especialização em Água e Saneamento

Supervisor:
dr. Lário Moisés Luís Herculano, MSc

O Júri

O Presidente

O Supervisor

O Oponente

Data

____/____/____

Vilanculo, Abril de 2014

Índice

Declaração de honra	iv
Dedicatória.....	v
Agradecimentos	vi
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	vii
Lista de tabelas	viii
Lista de figuras	ix
Lista de apêndice e anexo	x
Resumo	xi
1.Introdução.....	1
1.1. Problema.....	2
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Objectivos.....	3
1.3.1.Geral	3
1.3.2. Específicos.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	4
2.1. Disponibilidade e qualidade das águas superficiais	4
2.2. Regulamento Moçambicano sobre Qualidade de Água para Consumo Humano	5
2.3. Características Físicas e Organolépticas da Água	6
2.3.1. Cheiro e Sabor	7
2.3.2. Cor	7
2.3.3. Temperatura.....	8
2.3.4. Condutividade eléctrica	8
2.3.5. Turbidez.....	9
a) Determinação da eficiência de remoção de turbidez.....	10
2.4. Principais Características Químicas da Água.....	11
2.4.1. Potencial de Hidrogénio (pH).....	12
2.4.2. Dureza.....	13
2.4.3. Alcalinidade.....	13
2.5. Tratamento de Água	14
2.5.1. Processos Convencionais de Tratamento de Água para remoção de Turbidez	15
I. Câmara de Mistura	15
a) Mistura Rápida	15
II. Coagulação e Flocculação	16
II.I. Produtos químicos utilizados no tratamento de água na etapa de coagulação e flocculação.....	17
a) Sulfato de Alumínio [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O$].....	18
b) Hidróxido de Cálcio [$Ca(OH)_2$]	19
II.II. Ensaio de flocculação (Jar test/teste de jarro).....	20
III. Decantação ou Sedimentação	21
a) Velocidade de sedimentação	22
b) Objectivos da decantação ou sedimentação	22
c) Tempo de decantação	23
d) Taxa de escoamento superficial	23
IV. Filtração.....	24
a) Filtros ascendentes.....	24
b) Filtros descendentes	24
IV.I. Lavagem de filtros	25
3. Metodologia.....	26

3.1. Descrição do local de estágio	26
3.2. Técnicas de Colecta de Dados	27
3.3. Métodos de análise e interpretação dos dados.....	28
4. Resultados e Discussão.....	29
5. Conclusão e recomendações	37
5.1. Conclusão	37
5.2. Recomendações	38
Referencias Bibliográficas.....	39
Apêndices e Anexos	I

Declaração de honra

Eu, Azarias Da Silva Vilanculo, declaro por minha honra que o presente trabalho é resultado de uma pesquisa por mim feita e nunca foi publicado ou apresentado para a obtenção de qualquer grau acadêmico.

Por ser verdade, subscrevo-me

(Azarias Da Silva Vilanculo)

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais, *Augusto Vilanculo e Sara Mutondo*, pelos ensinamentos que deram-me e a forma sábia como souberam conduzir-me à encarar a vida, encorajando-me que todos os sonhos são possíveis de realizar-se. Em memória da minha irmã *Hermenigilda Esperança Vilanculo (Sofia)*, que em vida deu o seu apoio incondicional para minha formação. Pais, maninha amo-vos e sempre terei-vos em meu coração.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida, aos meus pais pela paciência e compreensão.

Aos meus tios Pedro Vilanculo e Helena Mutondo, que desde o primeiro dia da minha formação deram-me um lar, tios nunca esquecerei de tudo o que por mim fizeram.

Aos meus irmãos Carlitos, Filipe, Isabel, Leonarda, Lurdes, pelo apoio, carinho e ajuda incondicional nos momentos que mais precisei, a minha falecida irmã Hermenigilda pela oportunidade de poder cursar uma faculdade, e ao meu irmão Gil que de tudo faz para alcançar seus objectivos.

Aos meus primos Adão e Nunes, o meu agrado vai pela paciência que tiveram comigo durante o período da minha formação.

Aos meus amigos e sobrinhos, pelo apoio e encorajamento.

Aos meus colegas de trincheira Amarildo, Edson, Ivete Chicico e a minha colega de turma e estágio Joaquina o meu agrado vai a vocês pela força e apoio. A todos colegas da Engenharia Rural e em especial aos do curso de Água e Saneamento, colegas sempre terei-vos em meu coração.

Ao meu supervisor Mestre Lário Herculano, pela paciência e valiosas contribuições para a realização deste trabalho.

Aos funcionários do FIPAG-Beira, e em especial aos da ETA de Mutua pela dedicação e atenção sempre que precisei.

Agradeço também a Universidade Eduardo Mondlane, em particular aos docentes da Escola Superior de Desenvolvimento Rural que de forma sábia transmitiram-me conhecimentos suficientes que culminaram com a realização deste trabalho e a todos que directa ou indirectamente contribuíram para minha formação o meu...

Nzibongile.

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

Alc - Alcalinidade

ANA - Agência Nacional de Água

APDA - Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água

CaCO₃ - Carbonato de Cálcio

Cl₂ - Cloro

CO₂ - Dióxido de carbono

DBO - Demanda biológica de oxigênio

DQO - Demanda química de oxigênio

D - Decantador

Ef - Eficiência

EN6 - Estrada Nacional número 6

ETA - Estação de tratamento de água

F - Filtro

FIPAG - Fundo de Investimento e Patrimônio do Abastecimento de Água

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

g/L - grama por litro

g/m³ - grama por metro cúbico

h - Hora

LMA - Limite máximo admissível

LNHAA - Laboratório Nacional de Higiene Alimentos e Águas

MISAU - Ministério da Saúde

m³/h - Metro cúbico por hora

mm - Milímetro

mm/s - Milímetro por segundo

m³/m².h- Metro cubico por metro quadrado por hora

mho - Inverso da unidade de resistência ohm

NTU - Unidade nefelométricas de turbidez

OMS - Organização Mundial de Saúde

PT - Processo de tratamento

RPSP- Risco para saúde pública

S - Siemens

SAAE - Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto

SANEAGO - Saneamento de Goiás

T - Temperatura

TCU - Unidade de cor ou unidade de Hazen

Turb - Turbidez

Vol - Volume

$\mu\text{S/cm}$ - Micro Siemens por centímetro

$\mu\text{mho/cm}$ - Micro ohm por centímetro

μm - Micro metro

Lista de tabelas

Tabela 1. Características de Diferente Condutividade Eléctrica

Tabela 2. Variações da Dosagem Óptima em Consequência das Variações de Turbidez

Tabela 3. Velocidade de Sedimentação a 20° C, de Partícula com Densidade de 2,65

Tabela 4. Taxas de Escoamento Superficial Dotadas em Função da Qualidade da Água

Tabela 5. Expectativas da Eficiência de Remoção de Alguns Parâmetros Através de um Filtro Lento

Tabela 6. Eficiência de Remoção Avaliados Antes e Depois do Tratamento Durante o Período de Pesquisa

Tabela 7. Turbidez Medida na Saída dos Decantadores e Filtros da ETA1

Tabela 8. Turbidez Medida na Saída dos Decantadores e Filtros da ETA3

Tabela 9. Eficiência Média de Remoção dos Parâmetros Avaliados Durante o Período de Pesquisa

Tabela 10. Dosagem Média da de Sulfato de Alumínio em Águas com Turbidez que Varia de 63 a 83 NTU

Lista de figuras

Figura 1. Turbidímetro

Figura 2. Processo de um Sistema Convencional de Tratamento de Água

Figura 3. Jar test/teste de jarros

Figura 4. Diagrama da metodologia

Figura 5. Comparação da Turbidez da Água Bruta e Tratada em Relação ao LMA

Lista de apêndices e anexos

Apêndice I. Amostra Colectada no dia 27.08.2013 e Análises Laboratoriais Realizadas no Dia 28.08.2013

Apêndice II. A esquerda uma Cuba para Preparo dos Químicos e a Direita um Filtro em Manutenção

Apêndice III. Filtros com Deficiência do Material Filtrante

Apêndice IV. Comparador de pH

Anexo I. Padrão de Aceitação de Água para o Consumo Humano

Anexo II. Controlo Diário da Qualidade de Água

Anexo III. Boletim de Controlo Mensal da Qualidade de Água

Resumo

O objectivo de produzir água de boa qualidade deve ser alcançado ao menor custo possível, seja na construção e manutenção das unidades ou na utilização de produtos químicos. Dentro deste contexto o presente trabalho tem como objectivo avaliar a eficiência na remoção de turbidez, da estação de tratamento de Mutua do FIPAG da cidade da Beira usando o sulfato de alumínio como coagulante principal para a formação de flocos, confortando os valores de turbidez obtidos com os valores recomendados pelo regulamento sobre a qualidade de água para o consumo humano aprovado pelo Ministério da Saúde no seu Diploma Ministerial nº 180 de 15 de Setembro de 2004. O desenvolvimento do presente trabalho consistiu na análise de alguns parâmetros físico-químico, sobretudo teores de turbidez, realizada na água retirada da fonte de captação, entre os processos de tratamento e após o tratamento. De uma forma discriminada a remoção de teores de turbidez consistiu na aplicação de um coagulante (neste caso o sulfato de alumínio) para a formação de flocos e de um coadjuvante na correcção de pH e aumento de peso dos flocos, posteriormente uma sedimentação que ocorrerá nos decantadores e subseqüentemente uma filtração. As análises realizadas na água bruta (água superficial) mostraram claramente que a fonte de captação possui altos teores de turbidez chegando a atingir aproximadamente a 84 NTU. Os resultados obtidos após o tratamento apresentaram uma eficiência média de remoção de teores turbidez de cerca de 82,54%. Apesar da eficiência observada na estação de tratamento estar a um nível de aproximadamente a 83%, os níveis de turbidez encontrados na água tratada ainda continuam fora dos padrões recomendados pelo MISAU.

1. Introdução

A água é um recurso fundamental para a existência da vida. O abastecimento com água de boa qualidade é um dos factores mais importantes para o desenvolvimento das sociedades modernas, estando directamente relacionado ao controle e eliminação de doenças, bem como ao aumento da qualidade de vida das populações. A boa gestão da água deve ser objecto de um plano que contemple os múltiplos usos desse recurso, desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas de utilização, tratamento e recuperação de nossos mananciais (GRASSI, 2001 e MIRANDA & MONTEGGIA, 2007).

As águas superficiais possuem múltiplos usos, servindo para o abastecimento público, processos industriais, agricultura, turismo, navegação e mais. Porém um dos principais desafios mundiais na actualidade é o atendimento à demanda por água de boa qualidade, mas os mananciais são directamente utilizadas como receptoras de despejos industriais e domésticos. Indirectamente, são influenciadas por fontes difusas de poluição como agro-tóxicos ou resíduos sólidos, devido ao crescimento populacional. A necessidade de produção de alimentos e o desenvolvimento industrial vão produzir sérios problemas na demanda de água de boa qualidade. As cargas atmosféricas também atingem as águas pelas chuvas ou mesmo directamente através da queda de partículas em suspensão. Para garantir a qualidade das águas são necessárias medidas de protecção e controle através das análises físico-organolépticas, químicas e biológicas (MIRANDA & MONTEGGIA, 2007).

De acordo com o LABORATÓRIO NACIONAL de HIGIENE, ALIMENTOS E ÁGUA (LNHAA, 2002), um dos parâmetros afectados é a turbidez, pois a água potável não deve ser turva, e ela é definida como LMA pela legislação moçambicana de cinco (5) NTU.

A pesquisa focar-se-á na avaliação da eficiência de remoção de turbidez na ETA de Mutua, do FIPAG-Beira, analisando algumas características principais das águas que influenciam na turbidez. Este baseou-se na colecta de dados antes, entre o processo e depois do processo de tratamento, e analisados laboratorialmente de modo a expressar numericamente a eficiência da estação de tratamento de água instalado e sugerir possíveis modificações para melhoria da mesma.

1.1. Problema

A qualidade da água consumida pela população da cidade Beira e do distrito de Dondo encontra-se fora dos parâmetros de potabilidade no que se refere a teores de turbidez requeridos pelo regulamento sobre a qualidade de água para o consumo humano do MISAU. Esta situação é devido a baixa eficiência na remoção de turbidez no processo de tratamento, pondo desse modo em risco a saúde e a qualidade de vida da população, o que nos leva a seguinte problemática:

“De que forma pode-se aumentar a eficiência da ETA de Mutua de modo a garantir maior remoção de turbidez na ordem superior ou equivalente à 95%?”

1.2. Justificativa

A água é um bem social, económico e indispensável para manter a qualidade de vida do Homem, contudo, o alto índice de crescimento populacional em quase todas as regiões de Moçambique, tem conduzido ao alto nível da demanda de água em quantidade suficientes, o que torna maior a exigência da qualidade desse recurso. Além da procura de quantidades desejáveis ou suficientes, nota-se que a qualidade desse recurso é fundamental para garantir uma óptima manutenção da vida humana, por isso, seu tratamento deve garantir uma eficiência e eficaz na remoção de parâmetros presentes na água bruta como é o caso da turbidez, de modo a garantir uma óptima qualidade aos consumidores.

Quando a água bruta depois de tratada não apresente um grau de potabilidade recomendado pelo MISAU, torna-se prejudicial a saúde humana e até também ao sistema de abastecimento instalado, por isso, a avaliação da eficiência do sistema de tratamento de águas, garantirá um possível controlo percentual na eficiência de remoção de turbidez.

1.3. Objectivos:

1.3.1. Geral:

- ✓ Avaliar a eficiência na remoção de turbidez na ETA de Mutua do FIPAG- Beira, usando o sulfato de alumínio

1.3.2. Específicos:

1. Descrever as principais características da água antes e após o tratamento;
2. Comparar os parâmetros analisados, após o tratamento em relação aos padrões de potabilidade exigidos pelo MISAU;
3. Avaliar os processos de tratamento usado na ETA-Mutua/FIPAG-Beira para remoção de turbidez;
4. Sugerir medidas que aumentem a eficiência da ETA.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Disponibilidade e qualidade das águas superficiais

A água é recurso natural com um valor social, económico e indispensável para a manutenção da vida do planeta, porém pequena quantidade desse recurso está disponível para o consumo humano (CLAUDINO, 2009).

De acordo com SOARES (2004), água superficial é pequena fracção da água total que constitui boa parte da água utilizável pelo homem, enquanto o SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTO (SAAE, 2006), diz que a água superficial compreende a água captada de diferentes cursos de água, tais como: rio, córrego, ribeirão, lago, lagoa, açude, represa etc.

De acordo com FILHO (s/d), a água é a substância mais simples que existe no planeta Terra, e que cerca de 97,4% corresponde a água salgada e pode ser encontrada nos mares e oceanos, 2% da água total encontra-se sob a forma de neve ou gelo, no topo das grandes cadeias de montanhas ou nas zonas polares. Assim apenas cerca de 0,6 % do total encontra-se disponível como água doce nos aquíferos subterrâneos (0,5959 %). Os rios e lagos superficiais (0,0140 %) e na atmosfera na forma de vapor de água (0,001 %). Diante desta situação, é de importância fundamental para o futuro da humanidade, e sua própria sobrevivência, que se valorize a preservação dos recursos hídricos do planeta em suas condições naturais.

As águas superficiais são as de mais fácil captação e por isso há uma tendência de ser a mais utilizadas no consumo humano, mas, a escolha do manancial, também deve ser levado em consideração ao consumo actual provável, bem como a previsão de crescimento da comunidade ou não de o manancial satisfazer a essa comunidade (FILHO, s/d).

Esta quantidade de água é consumida e distribuída no planeta de forma desigual. Estima-se que uma pessoa em zona rural de Moçambique necessita de 20 litros por dia para suprir suas necessidades básicas, e de 155 litros por dia em Amsterdam para viver confortavelmente, em certos casos chegando a atingir cerca de 500 litros por dia como é o caso do México (RIETVELD, 2012).

Em virtude do abastecimento, aliada a impressão ilusória da grande disponibilidade deste bem, não parece haver ainda por parte da sociedade, uma exacta noção da importância valiosa deste recurso. O facto é que o planeta não esta a perder água, mais sim a qualidade disponível é que esta diminuindo, os mananciais usados para diversos

fins acabam comprometidos pelo lançamento de águas residuais, originando doenças, organismos patogênicos, substâncias tóxicas, entre outros usos que acabam tornando-a imprópria para sua utilização (MACÊDO, 2001 e ANA, 2006).

De acordo com o MINISTÉRIO DA SAÚDE (MISAU, 2004), no âmbito das políticas do Governo em curso, visando aumentar o abastecimento de água nas zonas rurais e urbanas para a satisfação das necessidades básicas da população, impõe-se a tomada de medidas para que a água disponibilizada, tenha uma qualidade aceitável para o consumo humano, o que irá contribuir para a redução das doenças associadas e define água potável como “aquela que é própria para o consumo humano, pelas suas qualidades organolépticas, físicas, químicas e biológicas”.

De acordo com DI BERNARDO & DANTAS (2005), do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser, em princípio, transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo de água como fonte de abastecimento. Existe uma relação intrínseca entre o meio ambiente e as tecnologias de tratamento, isto é, em função da qualidade da água de um determinado manancial e suas relações com o meio ambiente, há tecnologias específicas para que o tratamento seja eficientemente realizado.

De acordo com FEITOSA & FILHO (1997), para uma especificação e conferência das características das águas é necessário que se façam as análises químicas, físicas, sanitárias e biológicas.

2.2. Regulamento Moçambicano sobre Qualidade de Água para Consumo Humano

O MISAU, através do seu Diploma Ministerial n° 180/2004 de 15 de Setembro de 2004, dispõe no âmbito das políticas do Governo em curso visando aumentar o abastecimento de água nas zonas rurais e urbanas para a satisfação das necessidades básicas da população, um regulamento sobre a qualidade da água para o consumo humano, o que irá contribuir para a redução das doenças associadas, onde sobre qual entende-se por:

“Água destinada ao consumo humano: toda a água no seu estado original ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, a preparar alimentos ou para outros fins domésticos, independentemente da sua origem e de ser fornecida a partir de um sistema de abastecimento de água com ou sem fins comerciais, ou ainda toda a água utilizada

numa empresa da indústria alimentar para o fabrico, transformação, conservação ou comercialização de produtos destinados ao consumo humano.”

“**Controlo de Qualidade:** conjunto de acções realizadas pela Autoridade Competente e Entidade Gestora dos sistemas de abastecimento de água com vista à manutenção permanente da sua qualidade, em conformidade com as normas legalmente estabelecidas.”

Além disso, o regulamento ainda define em seu artigo 7, os parâmetros de qualidade aplicáveis obrigatoriamente à água destinada ao consumo humano, determinando a necessidade do enquadramento no seu fornecimento para manter em conformidade a distribuição de água, garantindo que a mesma fique dentro dos padrões de aceitação de consumo humano, conforme ilustrados alguns desses parâmetros em anexo I.

2.3. Características Físicas e Organolépticas da Água

De acordo com DE ANDRADE (2004), as principais características físicas da água são: cor, turbidez, sabor, *odor* (cheiro) e temperatura. Estas características envolvem aspectos de ordem estética e psicológica, exercendo uma certa influência no consumidor leigo. Entretanto, dentro de determinados limites, não apresentam inconvenientes de ordem sanitária. Contudo, por serem perceptíveis pelo usuário, independente de exame, o seu acentuado teor pode causar certa repugnância aos consumidores. Podem também favorecer para se utilizar águas de melhor aparência, porém de má qualidade sanitária, com risco a saúde, porém, PAVANELLI (2001), salienta que as principais medidas que podem ser feitas na água são cor e turbidez.

2.3.1. Cheiro e Sabor

De acordo com BRASIL-MISAU (2006), a conceituação de sabor envolve uma interacção de gosto (salgado, doce, azedo e amargo) com o odor. No entanto, genericamente usa-se a expressão conjunta: sabor e odor. Sua origem está associada tanto à presença de substâncias químicas ou gases dissolvidos, quanto à actuação de alguns microorganismos, notadamente algas. Neste último caso são obtidos odores que podem até mesmo ser agradáveis (odor de gerânio e de terra molhada), além daqueles considerados repulsivos (odor de ovo podre, por exemplo).

De acordo com o LNHAA (2002), os exames destas características é muito importante na avaliação da qualidade de água. Uma água potável deve ser constantemente límpida,

sem cheiro e sabor. Não se propõem que o cheiro e sabor sejam valores fixos de ponto de vista sanitário.

2.3.2. Cor

De acordo com DE ANDRADE (2004), a cor é uma característica devido a existência de substâncias dissolvidas, que, na grande maioria dos casos, são de natureza orgânica, e PEIXOTO (2008), diz que a existência na água de partículas coloidais ou em suspensão determina o aparecimento de cor. Essas partículas provêm do contacto da água com substâncias orgânicas como folhas, madeira, etc., em estado de decomposição, da existência de compostos de ferro ou de outras matérias coloidais em suspensão ou dissolvidas. Pode-se distinguir:

- ✓ Cor real – devida à presença de matérias orgânicas dissolvidas ou coloidais.
- ✓ Cor aparente – devida à existência de matérias em suspensão.

A natureza das partículas que dão cor real ou aparente à água determina o tipo de processo de remoção a adoptar. Assim, a cor real, devida a partículas coloidais normalmente negativas, pode remover-se por processos de coagulação-floculação, em que a adição dum coagulante (cal, sal de ferro ou sal de alumínio), capaz de fornecer partículas positivamente carregadas, proporciona a aglutinação dos colóides, permitindo a sua separação posterior na forma de flocos, através de sedimentação. A cor aparente é susceptível de ser removida pelos processos clássicos de separação de matéria em suspensão (filtração, clarificação).

De acordo com LNHA (2002), a água potável deve ser incolor. É aconselhável que uma água para beber tenha um valor inferior a 15 TCU.

2.3.3. Temperatura

A temperatura da água está ligada a temperatura do ambiente circundante. Temperaturas elevadas favorecem a proliferação de microorganismos e afectam o sabor e cheiro, cor e corrosão (LNHA, 2002).

De acordo com MACIEL (1999) e PAVANELLI (2001), a variação da temperatura age acelerando ou inibindo as reacções químicas de hidrólise do coagulante, na eficiência da desinfecção, na solubilidade dos gases, na sensação de sabor e odor, e em especial no desempenho das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração. Por isso determinação é imprescindível para que as análises laboratoriais sejam bem interpretadas.

2.3.4. Condutividade eléctrica

De acordo com CLESCERI *et al.* (1999), citado por PARRON *et al.* (2011) a condutividade eléctrica (CE) se refere à capacidade que uma solução aquosa possui em conduzir corrente eléctrica. Esta capacidade depende basicamente da presença de iões, da concentração total, mobilidade, valência, concentrações relativas e medidas de temperatura. Soluções da maior parte de ácidos, bases e sais inorgânicos são relativamente boas condutoras. As moléculas de compostos orgânicos que não dissociam em solução aquosa, em sua maioria, conduzem pouca corrente eléctrica. A condutividade é medida por um condutivímetro e é expressa em μS ou em mho^1 por unidade de comprimento (geralmente comprimento ou metro). Muito embora não se possa esperar uma relação directa entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal correlação é possível para águas de determinadas regiões onde exista a predominância bem definida de um determinado ião em solução. As águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por águas residuais domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (BRASIL-MISAU, 2006).

A título de referência pode-se utilizar a escala mencionada na tabela 1, para caracterizar diferentes condutividades eléctricas em águas:

Tabela 1. Características de Diferente CE

CE em $\mu\text{mho}/\text{cm}$	Tipo de água
0,5-2	Água destilada
50-2000	Água potável
2000-25000	Água salobre
30000- \geq 60000	Água do mar

Fonte: Adaptado do LNHA (2002)

2.3.5. Turbidez

A turbidez ou turvação é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada e absorvida e não transmitida em linha recta através da amostra (PARRON *et al.*, 2011), ou ainda pode ser definida de acordo com BRASIL-MISAU (2006), como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido.

¹ Inverso da unidade de resistência OHM

A turbidez duma água é decorrente de substância em suspensão na água, ou seja de sólidos suspensos, de tamanho e natureza variadas, tais como, lamas, areias, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos corados solúveis, plâncton e outros organismos microscópicos (DE ANDRADE, 2004 E PEIXOTO, 2008).

De acordo com CLESCERI *et al*, (1999), citado por PARRON *et al*, (2011), a clareza de um corpo de água natural é um dos principais determinantes da sua condição e produtividade. A turbidez também é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para o abastecimento público, é medida por um turbidímetro e é expressa em NTU (Unidade nefelométricas ou unidade de Jackson).

De acordo com PEIXOTO (2007), do ponto de vista sanitário, a importância da turbidez deve-se fundamentalmente a razões:

- ✓ Estéticas: é comum considerar-se uma água turva como poluída.
- ✓ De filtrabilidade: em tratamento de águas, a filtração torna-se mais difícil, ou mesmo mais onerosa, com o aumento da turvação.
- ✓ De desinfecção: a desinfecção duma água é tanto mais difícil quanto maior é a sua turvação, uma vez que esta diminui o contacto do desinfectante com os microrganismos.

De acordo com LNHAÁ (2002), a água potável não deve ser turva. A turbidez é devido a presença de sólidos em suspensão e em níveis excessivos pode provocar irritações gastrointestinais e que sob o ponto de vista sanitário a água potável deve ser inferior a cinco (5) NTU.

Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, actuando como escudo aos microorganismos patogénicos e assim minimizando a acção do desinfectante. Um outro parâmetro directamente associado à turbidez é a transparência da água, a qual é usada principalmente no caso de lagos e represas. A turbidez dos corpos de água é particularmente alta em regiões com solos erodíveis, onde a precipitação pluviométrica pode trazer consigo partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. Grande parte das águas de rios é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agro-pecuárias muitas vezes inadequadas. Ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto,

reduzida por sedimentação. Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água pode também ser causada por lançamentos de águas residuais domésticos ou industriais (BRASIL-MISAU, 2006).

a) Determinação da eficiência de remoção de turbidez

De acordo com PEIXOTO (2007), existem vários métodos de determinação da turbidez, tais como:

- ✓ Visuais: comparação directa da amostra com soluções-padrão de diferente turvação previamente preparadas.
- ✓ Instrumentais: método nefelométrico – utilização de um dispositivo óptico (ver a figura 2) que mede a razão entre as intensidades de luz dispersa numa determinada direcção (normalmente perpendicular à incidência), e de luz transmitida.
- ✓ Método espectro-fotométrico: medição da razão entre as intensidades de luz transmitida e de luz emitida, através de um espectro-fotométrico.



Figura 1. Turbidímetro

Fonte: O autor

2.4. Principais Características Químicas da Água

De acordo com FILHO (s/d), a importância química da água está no facto do seu poder de dissolver em maior ou menor intensidade de quase todas as substâncias. Após a precipitação, especialmente na forma de chuva, a água escoia superficialmente ou se infiltra. Por isso, todas as águas naturais contêm gases e sais minerais em solução

adquiridos através do contacto da água com o ar e, principalmente, com o solo. Em áreas já habitadas ou exploradas pelo homem a qualidade da água está sujeita ao uso e ocupação do solo. A presença humana normalmente produz despejos domésticos e de processos de transformação, mesmo que a ocupação seja eminentemente rural, esses tipos de impurezas estarão presentes, embora na maioria das vezes mais dispersas. Em áreas agrícolas a qualidade natural da água pode ser perigosamente alterada pela incorporação de defensivos que atingem o solo e são carregados pelo escoamento superficial, especialmente quando da ocorrência de precipitações atmosféricas.

MIRANDA & MONTEGGIA (2007), acrescentam a grande importância das características químicas para se caracterizar a qualidade da água, pois permitem:

- ✓ Classificar a água por seu conteúdo mineral;
- ✓ Determinar o grau de contaminação, verificando-se também a origem dos poluentes;
- ✓ Caracterizar picos de concentração de poluentes tóxicos e as possíveis fontes;
- ✓ Avaliar o equilíbrio bioquímico que é necessário para manutenção da vida aquática, avaliar as necessidades de nutrientes.

Algumas características mais importantes para se qualificar quimicamente uma água são: pH, alcalinidade, dureza, elementos e compostos especiais e gases dissolvidos (FILHO, s/d).

2.4.1. Potencial de Hidrogénio (pH)

De acordo com SANEAMENTO DE GOIÁS (SANEAGO, 2006) e LNHA (2002), o potencial de hidrogénio (pH), é usado universalmente para exprimir a intensidade que determina se a solução é ácida ou alcalina. Diz-se que a solução é ácida se seu pH é inferior a 7; quando inferior a 6 indica acidez excessiva provocando corrosão a tubagem, gostos desagradável e irritações; é considerada alcalina se seu pH é superior a 7, e uma solução cujo pH é igual a 7 é neutra.

O pH é um dos parâmetros mais importantes na determinação da maioria das espécies químicas de interesse da análise de águas potáveis, sendo, pois, uma das mais comuns e importantes determinações no contexto da química da água. No campo do abastecimento de água o pH intervém na coagulação química, controle da corrosão,

floculação, decantação e desinfecção. Águas com baixos valores de pH tendem a ser agressivas para instalações metálicas (FILHO, s/d e SANEAGO, 2006).

De acordo com SANEAGO (2006), a Organização Mundial da Saúde (OMS), prefere não fixar valores limites para o pH da água potável, mesmo admitindo que irritações oculares e certas infecções cutâneas possam estar associadas a valores de pH superiores a 11. Enquanto o LNHA (2002) e MISAU (2004), afirmam que o pH das águas naturais varia na maioria dos casos, entre 4 à 9, e na água potável deve estar entre 6,5 à 8,5.

2.4.2. Dureza

A dureza da água é a soma de cátions bivalentes presentes na sua constituição e expressa em termos da quantidade equivalente de CaCO_3 . Os principais íons metálicos que garantem dureza à água são alcalinos-terrosos, como cálcio e manganês, que quase sempre estão associados a íons sulfatos (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

De acordo com LNHA (2002), uma água dura, isto é, com um elevado teor de em sais de cálcio e magnésio, tem várias características negativas, entre as quais de deixar abundantes depósitos de calcário nas canalizações (incrustações nas tubulações), de tornar-se turva quando aquecida e não forma espuma com sabão.

2.4.3. Alcalinidade

De acordo com PEIXOTO (2007), a alcalinidade das águas naturais é fundamentalmente devida a hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, em condições praticamente alcalinas. Estas substâncias são capazes de neutralizar ácidos pelo que se considera a alcalinidade dum água como a medida da sua capacidade para neutralizar ácidos, ou como reflectindo a sua capacidade protónica. Habitualmente, em águas naturais, a alcalinidade, como CaCO_3 , varia entre 10 mg/L e 350 mg/L. A alcalinidade não tem significado relevante, mesmo para valores elevados (ex. 400 mg/L de CaCO_3). No entanto as águas de alta alcalinidade são desagradáveis ao paladar e a associação com pH elevado, excesso de dureza e de sólidos dissolvidos, em conjunto, é que podem ser prejudiciais. Nos processos de tratamento de água potável, a alcalinidade tem grande importância sempre que estão envolvidas operações como a coagulação ou o amaciamento. A alcalinidade é também um parâmetro fundamental na prevenção de incrustações e da corrosão de canalizações de ferro fundido.

Para avaliar correctamente as características químicas da água no seu conjunto o valor de alcalinidade devese estar de acordo com os resultados de outras determinações. Em

particular esta ligado ao valor da dureza, do pH e do CO₂ e deve ser com eles comparado (LNHAA, 2002).

2.5. Tratamento de Água

Para remover os materiais causadores de turbidez em água destinada à produção de água para consumo humano deverá, antes da desinfecção, ser sujeita a processos de clarificação após desestabilização química. O processo de clarificação dos sólidos suspensos existentes e/ou gerados pós-coagulação, pode ser através de floculação, sedimentação, filtração. A turbidez pode ser ainda um indicador da presença de metais, pode ter um impacto negativo na aceitabilidade da água pelos consumidores e quando em excesso, pode causar cheiro e sabor indesejáveis (APDA, 2012).

De acordo com DE OLIVEIRA (2008), a figura abaixo, representa o processo de tratamento de água em ciclo completo. Inicialmente ocorre a captação da água no manancial, e a água é bombeada para a estação de tratamento. Em seguida, a água é coagulada e submetida à agitação lenta até que os flocos alcancem tamanho e massa específica suficientes para uma posterior remoção nos decantadores, e depois é encaminhada para unidades filtrantes.



Figura 2: Processo de um Sistema Convencional de Tratamento de Água

Fonte: SAAE (2006)

2.5.1. Processos Convencionais de Tratamento de Água para remoção de Turbidez

O procedimento convencional começa pelos ensaios de turbidez, cor e pH. A etapa seguinte consiste em ligar esses ensaios às operações de floculação, decantação e filtração. Em geral o primeiro produto químico colocado na água é o coagulante, assim chamado em virtude de sua função (FILHO, s/d).

As ETA's têm o objectivo transformar água bruta e imprópria para consumo humano, em água potável. O tratamento da água passa pelas seguintes fases:

I. Câmara de Mistura

A etapa de mistura é a fase crucial do tratamento de água, dessa fase depende muitas vezes o sucesso de todo o restante tratamento. Nela é adicionado o produto químico responsável pela desestabilização e posterior aglutinação das substâncias e/ou partículas que desejamos remover da água (MIRANDA & MONTEGGIA, 2007).

O agente físico para a realização tanto da coagulação como da floculação é a agitação mais ou menos intensa da água, através da operação de mistura com a denominação de:

- ✓ Mistura rápida: associada a etapa de coagulação
- ✓ Mistura lenta: associada a etapa de floculação

A eficiência da coagulação é portanto uma das fases subsequentes do tratamento, pois está relacionada com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolisados, cuja composição depende das condições da água no momento e no ponto em que entram em contacto (MIRANDA & MONTEGGIA, 2007).

a) Mistura Rápida

Assim chamada porque são praticamente instantâneas as reacções químicas, entre o floculante e as partículas que desejamos remover. Nela é adicionado, em local de grande turbulência, o produto químico responsável pela desestabilização e posterior aglutinação das matérias que desejamos remover da água.

Essas matérias estão sob a forma de:

- ✓ Suspensões, resultado de erosão dos solos, provoca turbidez;
- ✓ Colóides, resultado da decomposição de vegetais, provoca cor real.

II. Coagulação e Floculação

A água de origem superficial apresenta normalmente valores relativamente elevados de turbidez, consequência da presença de partículas de natureza coloidal. A dimensão deste tipo de partículas ($<1\mu\text{m}$) e o facto de serem portadoras de carga eléctrica superficial, torna difícil a sua remoção por acção da gravidade. Por esta razão, é necessário recorrer a um agente coagulante, de forma a provocar a desestabilização das partículas coloidais (coagulação) e a consequente agregação em flocos (floculação) separáveis por decantação (RODRIGO *et al.*, 2007).

A eficácia do coagulante, normalmente sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O]$, depende principalmente, do ajuste conveniente do pH, existindo para cada coagulante uma zona ótima, à qual ocorre o máximo de precipitação. Com vista a melhorar a operação de floculação, ao nível da velocidade das reacções e da qualidade do floco produzido, pode ser aplicado um coadjuvante da floculação (RODRIGO *et al.*, 2007).

No caso apresentado, admite-se a aplicação de sulfato de alumínio, como coagulante, e do hidróxido de cálcio (cal hidratada) como um coadjuvante da floculação.

- ✓ Coagulação: fase na qual são adicionados na água reagentes químicos como o sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O]$ e o cloreto férrico ($FeCl_3$) com a finalidade de reduzir as forças electrostáticas de repulsão, que mantêm separadas as partículas em suspensão, e facilitar a posterior remoção por sedimentação e/ou filtração.
- ✓ Floculação: ocorre através de aglutinação das partículas já coaguladas, onde as mesmas entram em choque devido à agitação lenta imposta ao escoamento da água. A formação dos flocos de impurezas facilita sua posterior remoção.

Para haja a formação de flocos, a água deve ser submetida a uma agitação lenta, durante um tempo que pode variar, na maioria dos casos, de vinte (20) a quarenta (40) minutos. Normalmente, iniciamos a floculação com muita agitação da água em tratamento (isto é, gradientes de velocidade mais elevados). Ao longo do floculador, esse grau de agitação vai sendo reduzido (isto é, o gradiente de velocidade vai sendo reduzido). Com isto, os flocos vão crescendo e se tornando mais pesados (SANEAGO, 2006).

É importante esclarecer que não há dosagem ótima de coagulante, tampouco pH de coagulação ótimo. Na verdade existe um par de valores “dosagem de coagulante x pH de coagulação” apropriados para cada situação, levando em conta a necessidade de utilização de acidificante e alcalinizante, os custos dos produtos químicos, a turbidez remanescente utilizada, etc. (DI BERNAARDO & DANTAS, 2005).

De acordo com MIRANDA & MONTEGGIA (2007), dentro do tratamento de água, o processo de coagulação-floculação tem entre vários objectivos os:

- ✓ Remoção de turbidez orgânica ou inorgânica que não sedimenta rapidamente;
- ✓ Remoção de cor verdadeira e aparente;

II.I. Produtos químicos utilizados no tratamento de água na etapa de coagulação e floculação

De acordo com SANEAGO (2006), os tipos de produtos químicos utilizados numa ETA podem variar muito, em função da qualidade da água a ser tratada e do próprio mercado fornecedor.

Os produtos químicos mais usados em Moçambique nas ETA's com fins de coagulação e/ou floculação são $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O]$ e o $Ca(OH)_2$ (cal hidratada), devido à facilidade de transporte e de utilização, além de possuir baixo custo e ser amplamente utilizado em ETA's. O primeiro é usado para a formação de flocos através da desestabilização das partículas em suspensão e o segundo possui uma função dupla, por ser usado como coadjuvante na formação de flocos² e ser responsável pela correcção do pH (MATSINHE & RIETVELD, 1992).

O $Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O$ além de possibilitar uma facilidade de transporte e utilização é um electrólito trivalente, o que lhe confere a maior vantagem de ser o agente coagulante mais usado no tratamento de água. Entretanto, outros sais também são utilizados, tais como o cloreto férrico ($FeCl_3$), sulfato ferroso, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e, mais recentemente o cloreto de polialumínio. Para que um produto seja empregado como agente coagulante, é evidentemente necessário que sua aplicação não cause problemas à saúde dos consumidores da água tratada (MIRANDA & MONTEGGIA, 2007).

a) Sulfato de Alumínio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O]$

Segundo PIANTÁ (2008), o produto químico mais utilizado como coagulante no tratamento da água é o sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O]$. O alumínio é bastante eficiente em relação a redução da cor, turbidez, DQO e DBO, diminuindo estas concentrações em 43%.

Quase sempre é fornecido sob forma sólida. Entretanto, pode também ser fornecido sob forma líquida. O sulfato de alumínio utilizado para o tratamento da água não exige especificação rigorosa, excepto no que diz respeito à granulometria do produto sólido, no caso de dosagem a seco, e quanto ao teor de impurezas insolúveis e humidade excessiva, com o conseqüente elevado teor de ácido livre, o que indica que o produto foi mal fabricado (SANEAGO, 2006).

² Na formação de flocos a cal hidratada age como um agente químico responsável em atribuir mais peso nos flocos o que facilitara os mesmos na fase da sedimentação

De acordo com DE ANDRADE (2004), as dosagens ótimas para a remoção de turbidez variam durante o ano, em consequência da variação da qualidade da água bruta como ilustra a tabela 2.

Tabela 2. Variações da Dosagem Ótima em Consequência das Variações de Turbidez

Turbidez (NTU)	Sulfato de alumínio (mg/L)			Turbidez (NTU)	Sulfato de alumínio (mg/L)		
	Mínimo	Máximo	Médio		Mínimo	Máximo	Médio
10	5	17	10	100	16	32	24
15	8	20	14	120	18	37	27
20	11	22	17	140	19	42	30
40	13	25	19	160	21	51	36
60	14	28	21	180	22	62	39
80	15	30	22	200	23	70	42

Fonte: Adaptado do LNHA (2002)

De acordo com MIRANDA & MONTEGGIA (2007), o custo, a disponibilidade e o tipo de água são factores decisivos na escolha do coagulante mais adequado, por exemplo:

- ✓ O sulfato de alumínio é fácil de transportar e manejar, seu custo é baixo e é produzido em várias regiões;
- ✓ O cloreto férrico produz bons flocos em amplo intervalo de pH;
- ✓ O sulfato ferroso é muito útil para tratar águas que apresentem pH elevado.

b) Hidróxido de Cálcio [Ca(OH)₂]

De acordo com o SANEAGO (2006), o Ca(OH)₂ é o alcalinizantes mais popular utilizados nas ETA's. É fornecida sob forma de pó, e pode ser dosada por via seca ou via húmida, sendo essa última a mais comum em pequenas ETA's. Na dosagem por via seca, não é necessário preparo preliminar, desde que a cal hidratada seja fornecida dentro das especificações exigidas pelo equipamento doseador. Em tal caso, a granulometria desse produto tem-se mostrado de fundamental importância para o correcto funcionamento do equipamento doseador.

No caso de dosagem por via húmida, normalmente prepara-se o denominado leite de cal, que é a suspensão do produto, em concentrações variando entre 2% e 10%. De

modo geral, esse preparo é realizado em tanques a cal hidratada comercial de algumas procedências costuma apresentar teor de insolúveis acima do desejado (SANEAGO, 2006).

II.II. Ensaio de floculação (Jar test/teste de jarro)

De acordo com MATSINHE & RIETVELD (1992), para a determinação prática da melhor maneira de se provocar a formação de flocos sedimentáveis (para um certo processo de sedimentação), é necessário realizar-se ensaios laboratoriais, através de equipamento de “teste de jarros”.

O teste de jarro (jar test) é muito utilizado para o controle de operações de ETA's, sendo um teste que serve para indicar as *dosagens químicas ótimas* para remoção de turbidez e cor, incluindo testes auxiliares tais com ajustes de pH, dosagens de polielectrólitos, etc. Além disso, produz grande quantidade de informação qualitativa, sobre a taxa de aglomeração como função de insumo de energia (velocidade da pá) a sedimentabilidade do floco formado, e a claridade da água sobre nadante (que poderá ser relacionada com o tempo subsequente de passagem pelo filtro), ou como avaliação e revisão do dimensionamento de estações já implantadas e em funcionamento, como objectivo de otimizar o processo de clarificação (MIRANDA & MONTEGGIA, 2007 E PIANTÁ, 2008).

Na execução deste ensaio utilizam-se cubas, feitas de vidros ou de acrílico, com agitadores, conforme ilustra a figura 3.

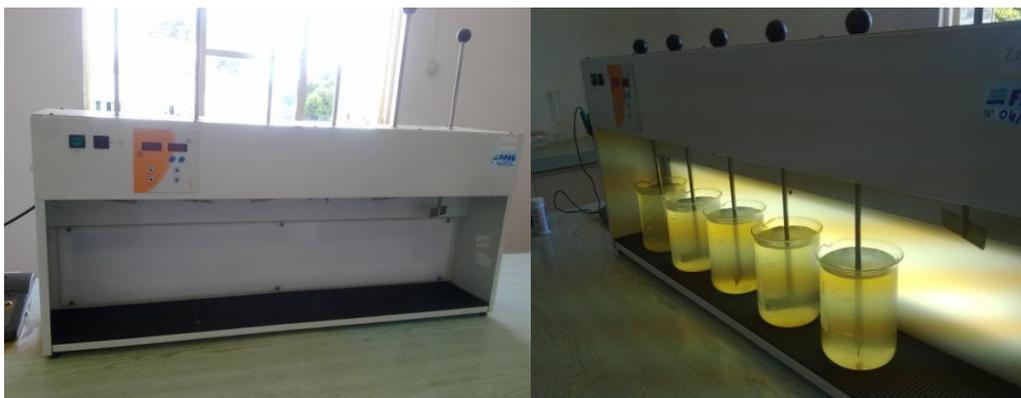


Figura 3. Jar Test/Teste de Jarro

Fonte: O autor

De acordo com MIRANDA & MONTEGGIA (2007) e PIANTÁ (2008), estas cubas de volumes determinados (1Litro) de água bruta são adicionados pequenos volumes da solução coagulante de forma a produzir diferentes dosagens, posteriormente às rotinas de ensaio, é possível então, com os dados colectados, a determinação da dosagem que

permitirá a máxima eficiência de remoção de turbidez ou a menor concentração residual destes parâmetros, a esta dosagem corresponderá à dosagem ótima, e calcula-se usando as expressões abaixo:

$$\{[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]/\text{Ca}(\text{OH})_2\} = \frac{\text{massa do produto químico}}{\text{vol do tanque}} \quad (\text{g/l}) \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Vol da Solução} = \frac{Q_{AB} \times \text{TO}}{[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]/\text{Ca}(\text{OH})_2} \quad \text{Equação 2}$$

$$T(1\text{L}) = \frac{3600}{\text{Vol da Solução}} \quad (\text{s}) \quad \text{Equação 3}$$

Fonte: Adaptado do LNHA (2002)

Onde:

TO - Taxa ótima em g/m^3

Q_{AB} - Caudal da água bruta em m^3/h

$[\text{Al}_2\text{SO}_4/\text{Ca}(\text{OH})_2]$ - Concentração da solução de sulfato de alumínio ou da cal hidratada

T (1L), tempo necessário para doseamento de 1L da solução.

III. Decantação ou Sedimentação

A decantação é a operação unitária que se segue à coagulação/floculação, permitindo a remoção dos flocos formados, através da sua sedimentação por ação da gravidade. Os flocos acumulam-se no fundo do decantador, constituindo as lamas (RODRIGO *et al.*, 2007).

De acordo com JÚNIOR (s/d), as partículas que não são removidas na sedimentação, seja por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima a da água, deverão ser removidas na filtração. A sedimentação, com coagulação prévia, é um processo de clarificação usado na maioria das estações de tratamento, visando reduzir a carga de sólidos aplicada aos filtros.

a) Velocidade de sedimentação

De acordo com De ANDRADE (2004), os sedimentos relativamente grandes (com diâmetros $\geq 10\text{mm}$) precipitam-se em movimento acelerado, os relativamente pequenos

(diâmetros <0,1mm) precipitam-se com velocidade constante. Os sedimentos extremamente pequenos, da ordem de um milésimo de mm e menores não se precipitam.

Tabela 3. Velocidade de Sedimentação a 20° C de Partícula com Densidade de 2,65.

Partículas	Tamanho	Velocidade	Tempo aproximado cair 3,00 m
Areia	0,20mm	21mm/s	2 minutos
Areia Fina	0,10mm	9mm/s	6 minutos
Silte	0,01mm	0,001mm/s	8 minutos

Fonte: DE ANDRADE (2004)

b) Objectivos da decantação ou sedimentação

- ✓ Remoção de areia: para evitar erosão, depósitos e entupimentos em bombas e instalações mecânicas;
- ✓ Remoção de partículas sedimentáveis finas (sem coagulação): quando se utilizam águas de rios com grande transporte de sólido (alta turbidez);
- ✓ Retenção de flocos: decantação após coagulação: quando se utilizam processos de coagulação para remoção de matéria coloidal, cor e turbidez, após floculação química.

De acordo com RODRIGO *et al.* (2007), para o bom desempenho operacional dos decantadores, devem ser respeitados os seus valores de dimensionamento, tempo de retenção (h) e carga hidráulica superficial ($m^3/m^2.h$). Pela mesma razão, os dispositivos de entrada e de saída da água nos decantadores devem assegurar uma distribuição/descarga da água homogênea, de modo a inibir a formação de turbulência hidráulica em toda a zona de sedimentação.

c) Tempo de decantação

(JÚNIOR, s/d), o tempo de detenção corresponde ao necessário para encher o decantador com a vazão Q. Na secção de montante, a distribuição de partículas é uniforme e de diversos tamanhos. As partículas suspensas descem com velocidade constante, sem interferência mútuas, mantendo inalteradas sua forma, peso e tamanho, numa água que apresenta temperatura uniforme e invariável. Cada partícula que atinge o fundo é automaticamente eliminada, ou seja, fica em repouso.

$$T = \frac{C}{Q} \quad \text{Equação 4}$$

Fonte: JÚNIOR (s/d)

Onde:

T - Tempo de detenção (h)

C - Capacidade do decantador (m^3)

Q - Vazão (m^3/h)

d) Taxa de escoamento superficial

De acordo com DE ANDRADE (2004), tem sido comprovado que a área superficial dos decantadores constitui uma importante característica e que a performance dos decantadores depende da relação vazão/unidade de superfície. Por esse motivo, os decantadores são dimensionados com a adoção de taxas de escoamento superficial, levando-se em conta, naturalmente, a qualidade da água.

A eficiência de um decantador está relacionada com a taxa de escoamento superficial/tempo, expressa em m^3 de água por m^2 de superfície de decantação por dia, como ilustrado na tabela 4.

Tabela 4. Taxas de Escoamento Superficial Dotadas em Função da Qualidade da Água

Tipo de sedimentação	Taxa ($m^3/m^2/dia$)
Remoção de areia	600 a 1200
Sedimentação Simples (s/ coagulação)	5 a 20
Clarificação de águas coloidais	15 a 45
Clarificação de águas turvas	30 a 60

Fonte: De ANDRADE (2004)

IV. Filtração

A filtração é uma operação unitária que tem como objectivo a remoção do material em suspensão que não foi removido durante a etapa de decantação. No controlo da filtração são parâmetros relevantes a velocidade de filtração, o caudal de entrada no filtro, a turvação e a cor da água filtrada. A filtração pode ser lenta ou rápida, dependendo da granulometria do material filtrante utilizado e da própria configuração da unidade de filtração (RODRIGO *et al.*, 2007).

Segundo o SANEAGO (2006), os filtros podem ser classificados de acordo o seu fluxo e podem ser:

a) Filtros ascendentes

Os filtros ascendentes são também denominados de clarificadores de contacto. Nenhum desses nomes faz justiça ao que esses filtros são, de facto. No interior dos filtros

ascendentes, ocorrem, simultaneamente, a floculação, a decantação e a filtração. Basicamente os filtros ascendentes são constituídos de uma camada de areia cerca de 2 m de espessura colocada sob uma camada suporte de seixos rolados (cerca de 60 cm) (MIRANDA & MONTEGGIA, 2007).

b) Filtros descendentes

São os filtros mais utilizados em estações clássicas de tratamento de água. A água a filtrar é introduzida na parte superior do filtro; percola, em seguida, através do leito filtrante e, logo após, através da camada suporte; atravessa o fundo falso e é encaminhada, finalmente, ao outro ou reservatório de água filtrada (SANEAGO, 2006).

Tabela 5. Expectativas da Eficiência de Remoção de Alguns Parâmetros Através de um Filtro Lento

Parâmetro	Eficiência de remoção em percentagem (%)
Turbidez	100
Cor	<30
Ferro	Até 60
Odor e sabor	Boa ³
Bactérias	>95

Fonte: Adaptado de FILHO (s/d)

IV.I. Lavagem de filtros

À medida que vão retendo a sujeira, os filtros vão se tornando mais colmatados, isto é, mais sujos. Assim, sendo, de tempo em tempos precisam ser lavados. O que determina a necessidade de se lavar o filtro é um dos seguintes factores:

- ✓ Se o filtro sujar mais, a ETA transborda;
- ✓ Se continuar filtrando, a turbidez da água filtrada aumenta.

³ FILHO (s/d) não especifica valores percentuais para remoção de *odor* e *sabor* mais garante-se boa remoção

3. Metodologia

A presente pesquisa aplicada foi realizada a partir da necessidade de avaliar a eficiência da ETA de Mutua, na remoção de teores de turbidez da água superficial usada para o abastecimento público da cidade Beira e do distrito do Dondo, na província de Sofala.

O desenvolvimento da pesquisa consistiu-se na revisão bibliográfica, no estudo de alguns parâmetros físico-químico, sobretudo teores de turbidez realizados na água retirada directamente do canal (fonte de captação), entre o processo de tratamento e após tratamento, verificando a eficiência desta estação na remoção deste poluente para água destinada ao consumo humano.

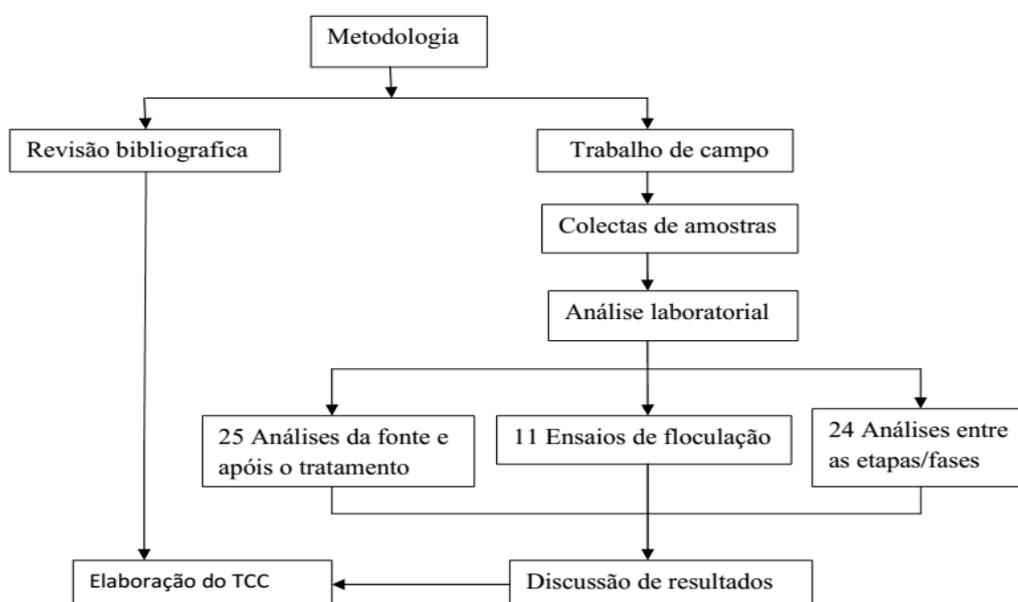


Figura 4. Diagrama da metodologia

Fonte: O autor

3.1. Descrição do local de estágio

O distrito de Dondo situa-se na margem esquerda do rio Púnguè, que vai desaguar junto da cidade da Beira, estendendo-se ao longo deste rio até aos limites actuais do município da Beira, com uma superfície de 2.306 km² e uma população estimada em cerca de 157.594 habitantes e uma densidade populacional de 68,3 habitantes/km².

O FIPAG-Beira, tem a sua ETA no distrito de Dondo, Posto Administrativo de Mafambisse, na localidade de Mutua mais precisamente nas margens da EN6.

A estação é composta por três (3) ETA's, distinguidas por ETA1, ETA2 e ETA3. A ETA1, é a mais pequena ao nível de caudal de entrada de água bruta com capacidade de receber $1080\text{m}^3/\text{h}$, com uma câmara de mistura de $2,5\text{m}^3$, quatro (4) decantadores e oito (8) filtros de areia. A ETA2, encontra-se fora de funcionamento devido a avarias da sua estrutura. A ETA3 possui maior capacidade ao nível de entrada de água bruta com cerca de $1100\text{m}^3/\text{h}$, possui ainda uma câmara de mistura de 10m^3 , um floculador, dois (2) decantadores e quatro (4) filtros de areia.

3.2. Técnicas de Colecta de Dados

Para avaliação da eficiência de remoção de teores de turbidez no processo de tratamento usando o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ como coagulante principal, foram analisadas vinte e cinco (25) amostras da água retirada directamente da fonte de captação e após o processo de tratamento de modo facilitar quantificação da eficiência da estação, e vinte e quatro (24) amostras entre as etapas/fases de tratamento para mostrar claramente qual das fases possui uma melhor eficiência. Também foram realizados onze (11) ensaios de floculação (jar test/teste de jarro). Em todos ensaios realizados, foi avaliado o comportamento da turbidez nas diferentes dosagens de sulfato de alumínio (como ilustra a tabela 10), com o objectivo de se estimar a dosagem química.

No ensaio de floculação também foram adicionados quantidades específicas da solução de hidróxido de cálcio (cal hidratada), com finalidade de corrigir o pH da água bruta de modo a facilitar uma óptima reacção da coagulação.

Para todos os testes foi medida a turbidez remanescentes e iniciais com a ajuda de um turbidímetro (ver a figura 2 em apêndice). O turbidímetro utilizado foi da marca Hach®, modelo 2100 P, com resolução de 0,01 NTU e exactidão de $\pm 2\%$. Para a avaliação da eficiência de remoção de turbidez, o turbidímetro utiliza o método Nefelométrica para a leitura de turbidez, que consiste na emissão de um feixe de luz sobre a amostra, e dependendo da quantidade de material particulado que esta amostra contiver, o feixe de luz emitido será mais ou menos dispersado. O equipamento, então, compara a intensidade da luz dispersada pela amostra com a intensidade da luz dispersada por uma amostra padrão (utilizada para a calibração do aparelho). Quanto mais elevada a intensidade de luz dispersada, maior será a turbidez da amostra.

Tendo como objectivo eliminar os teores de turbidez que possibilitam uma má aparência da água tratada e dificulta a desinfecção, foi realizado a escolha das análises para determinação de parâmetros analíticos:

- ✓ Turbidez;
- ✓ Temperatura;
- ✓ pH;
- ✓ Alcalinidade.

As amostras do pH foram analisadas pelo método de comparação, usando dez gotas da solução de azul de brotimil. A alcalinidade foi analisada usando o método de titulação com a solução de alaranjado de metilo (três gotas), e a solução de ácido clorídrico (HCl), controlando o volume de solução (ácido clorídrico) gasto em 50ml da amostra de água bruta até a viragem da cor e multiplicado pelo factor de correção 20 (Alcalinidade em ml=Volume de ácido clorídrico×20). A turbidez e a temperatura foram analisadas através do método de espectrometria usando turbidímetro e o pHmetro respectivamente, observando-se posteriormente os valores marcados nos equipamentos e registrando-se no mapa de controlo diário da qualidade de água em anexo.

3.3. Métodos de análise e interpretação dos dados

As análises laboratoriais forneceram dados de turbidez da água bruta, tratada e entre os processos de tratamento, disponibilizados em planilhas de cálculo e estimada a eficiência de remoção de turbidez através da equação 5 e interpretados estatisticamente.

$$Ef(\%) = \left[1 - \left(\frac{\text{turbidez remanescente}}{\text{turbidez inicial}} \right) \right] \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Fonte: De Oliveira (2008)

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados das análises desenvolvidas para o tratamento da água superficial, com o objectivo de avaliar a eficiência de remoção de teores de turbidez.

Conforme ilustrado na Tabela 6, as análises laboratoriais foram realizadas em vinte cinco (25) amostras, uma das amostras é ilustrada em Apêndice I e a média global destas é apresentada na figura 4.

As colectas efectuadas permitiram avaliar as diversas variações da qualidade da água superficial dentro do período de pesquisa, permitiram também avaliar se essas variações podiam alterar a eficiência da ETA, e comparando os resultados obtidos com os valores recomendados pelo regulamento sobre a qualidade de água para o consumo humano, que define os padrões de potabilidade de água para o consumo humano.

Os resultados adquiridos são apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8 abaixo e referem-se aos valores obtidos para os parâmetros analisados nas diferentes amostras colectadas e ilustram também o comportamento de remoção de turbidez entre os diferentes processos de tratamento na ETA. A figura 4, ilustra a média da turbidez da água bruta e tratada da Tabela 9 e comparada com o LMA da turbidez recomendada pelo MISAU.

Tabela 6. Eficiência de Remoção Média Avaliados Antes e Depois do Tratamento Durante o Período de Pesquisa

Data/parâmetro	Água Bruta				Água Tratada			
	T (°C)	Turb (NTU)	Alc (mg/L)	pH	T (°C)	Turb (NTU)	pH	Ef. de rem. d Turb (%)
22.07	27,08	68,50	S/R ⁴	S/R	21,30	10,50	S/R	84,67
23.07	21,70	63,25	S/R	7,00	20,30	12,40	6,40	80,40
24.07	22,00	66,77	S/R	7,00	20,70	11,37	6,80	82,97
25.07	22,80	70,00	S/R	7,20	21,70	15,10	6,70	78,43
26.07	22,30	67,98	S/R	7,00	20,80	12,38	6,60	81,79
29.07	23,00	63,75	48,00	7,00	22,60	10,30	6,40	83,84
30.07	23,80	63,27	48,00	7,00	22,50	9,57	6,80	84,87
31.07	23,80	70,85	50,00	7,00	22,50	10,48	6,80	85,21
01.08	23,80	75,60	36,00	7,00	22,00	14,85	6,80	80,36
02.08	22,50	63,80	58,00	7,00	23,60	11,97	6,60	81,24
05.08	22,40	80,27	34,00	7,00	22,00	13,05	6,40	83,74
06.08	23,50	64,40	18,00	7,00	22,70	13,10	6,40	79,66
08.08	23,70	75,80	28,00	7,60	22,90	18,06	6,80	76,17
09.08	24,4	78,10	10,00	7,00	23,90	12,00	6,60	84,64
12.08	25,20	80,70	84,00	7,00	24,30	13,24	6,40	83,59
13.08	24,90	78,50	34,00	7,00	24,30	14,13	6,60	82,00
14.08	24,90	80,37	96,00	7,00	24,20	10,87	6,40	86,48
15.08	24,80	83,67	36,00	7,00	24,40	9,87	6,40	88,20
16.08	25,10	82,25	30,00	7,00	24,30	10,55	6,70	87,17
19.08	25,40	76,20	40,00	7,00	25,10	19,30	6,60	74,67
22.08	24,10	69,5	46,00	7,00	23,40	10,43	6,47	84,99
26.08	25,50	70,50	38,00	7,00	25,00	11,50	6,40	83,69
27.08	23,90	74,43	34,00	6,80	22,20	17,27	7,00	76,80
29.08	25,70	71,37	56,00	7,13	24,70	11,63	6,40	83,70

A Tabela 6, mostra que o pH da água bruta é quase constante, tendo pequenas alterações mais não significativas, deste modo variando apenas de 6,8 a 7,6 unidades, o que lhe torna propício para que ocorram precipitados de hidróxido de alumínio, juntamente com partículas coloidais (responsáveis pela turbidez), quando doseado 30 mg/L de sulfato de alumínio. É de ressaltar que este caso acontece com a tecnologia de tratamento completo, pois os flocos obtidos são de tamanho maior, sendo facilmente removidos pelos decantadores.

Em quase todas amostras o pH da água tratada encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos pelo MISAU, com exceção de algumas amostras em que o pH foi de 6,40; pois não houve aplicação nestes dias do Hidróxido de Cálcio para o ajuste do pH.

⁴ Sem reagente

A alcalinidade da água é principalmente devida à presença de sais de ácidos fracos e/ou as bases fortes ou fracas e ela são importantes no processo de tratamento de água sempre que estão envolvidos operações de coagulação, pois, se a alcalinidade for maior que 20mg/L pode haver descidas rápidas do pH em épocas chuvosas e dificultando o processo de coagulação; mas de acordo com os dados apresentados na Tabela 6, esta variou de 10 a 96 mg/L, o que acarreta custos, pois será necessário a aplicação de um coadjuvante (como a Cal hidratada), para correção do pH e criar mais peso nos flocos facilitando o processo da decantação/sedimentação.

A eficiência na remoção de turbidez foi significativa no dia 15 de Agosto, em cerca de 88,20%; mas apesar de esta eficiência ser elevada ela não é satisfatório conforme o MISAU estabelece. Neste dia houve uma aplicação do sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O$ e de hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ em 40 e 15 mg/L respectivamente.

Tabela 7. Turbidez Medida na Saída dos Decantadores e Filtros da ETA1

Data/ PT	D1	D2	D3	D4	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
22.07	7,55	8,10	6,70	7,55	2,60	10,40	#2	8,20	#2	7,0	1,05	0,70
23.07	8,93	8,50	7,80	7,90	1,90	10,73	#2	8,33	#2	8,25	1,75	2,13
24.07	8,70	8,70	7,30	8,60	1,20	9,15	#2	7,90	#2	8,05	1,60	1,35
25.07	9,75	7,92	8,47	8,90	0,30	8,30	#2	8,60	#2	8,80	0,30	0,29
26.07	11,67	11,70	10,10	10,53	1,56	13,18	#2	11,92	#2	12,10	2,20	1,37
29.07	8,00	7,68	7,18	8,28	1,43	8,25	#2	7,63	#2	8,15	2,33	2,33
30.07	6,70	5,37	5,40	5,57	0,83	5,63	17,20	5,83	#2	7,13	0,51	0,62
31.07	7,85	7,38	7,40	7,33	1,35	#2	2,55	9,05	#2	8,68	0,70	0,53
01.08	13,70	13,50	12,88	14,25	4,33	#2	8,15	15,65	#2	17,78	2,70	3,43
02.08	5,53	6,90	7,40	7,77	0,47	#2	0,93	6,90	#2	8,37	0,73	0,70
05.08	9,07	9,37	7,91	7,54	0,91	#2	1,33	8,01	#2	7,01	0,92	1,12
06.08	10,43	11,17	12,46	10,57	1,20	#2	1,58	8,50	#2	8,43	1,06	1,22
08.08	9,62	10,33	9,07	8,69	0,70	#2	0,98	10,13	#2	8,35	0,91	1,17
09.08	11,52	12,40	11,86	13,80	1,43	#2	3,23	12,27	#2	10,39	1,92	2,89
12.08	10,66	11,38	11,40	11,70	2,60	#2	1,33	10,07	#2	8,82	0,98	2,93
13.08	10,22	10,16	9,39	9,93	1,18	#2	3,08	10,08	#2	8,22	1,10	1,10
14.08	14,45	15,56	6,72	15,61	2,25	#2	2,73	13,95	#2	13,32	2,32	1,28
15.08	9,25	9,51	8,47	10,67	1,98	#2	3,57	9,66	#2	8,96	2,99	3,11
16.08	10,13	10,08	8,85	10,80	1,32	#2	3,75	10,50	#2	8,12	1,91	1,97
19.08	7,68	7,70	7,11	7,46	2,63	#2	3,83	7,37	#2	6,71	3,32	2,70
22.08	8,22	7,68	8,16	9,03	0,83	#2	6,16	8,36	#2	8,94	2,72	2,86
26.08	#3	7,37	7,05	11,50	2,75	#2	5,95	9,62	#2	12,00	6,28	5,53
27.08	7,10	#3	6,26	12,08	1,27	#2	4,89		#2	9,96	5,16	4,20
29.08	7,27	7,40	6,10	7,29	1,84	#2	5,11	7,25	#2	5,72	2,96	2,26

#2- Unidade em manutenção

#3-Unidade em limpeza

Tabela 8. Turbidez Medida na Saída dos Decantadores e Filtros da ETA3

Data/PT	D1	D2	F1	F2	F3	F4
22.07	9,55	9,65	#1	11,60	11,00	
23.07	13,28	15,85	#1	13,03	14,83	17,43
24.07	10,97	14,60	#1	12,10	14,53	27,00
25.07	#3	24,65	#1	20,70	26,60	24,45
26.07	11,86	#3	#1	11,94	12,56	14,43
29.07	8,58	9,23	#1	7,98	8,43	8,20
30.07	9,70	6,80	#1	8,20	7,90	9,40
31.07	9,18	9,00	#1	10,55	10,93	12,38
01.08	7,78	8,05	#1	10,13	10,13	11,75
02.08	10,27	11,17	#1	12,73	11,23	13,47
05.08	10,50	9,50	#1	13,20	14,05	14,55
06.08	13,03	12,81	#1	11,73	12,80	13,43
08.08	13,97	13,20	#1	12,34	12,49	14,27
09.08	13,50	13,83	#1	13,95	14,79	15,60
12.08	12,37	14,23	#1	13,07	12,70	13,74
13.08	18,67	14,47	#1	14,47	17,25	16,90
14.08	12,00	12,60	#1	10,00	12,70	13,00
15.08	10,55	13,10	#1	10,20	10,83	11,13
16.08	12,05	11,30	#1	10,80	11,05	12,10
19.08	#3	16,90	#1	29,40	25,40	23,60
22.08	9,17	9,65	#1	12,23	10,92	10,18
26.08	12,10	9,91	#1	14,00	12,50	11,00
27.08	8,87	12,23	#1	11,67	11,27	11,33
29.08	14,53	13,57	#1	14,20	15,07	15,37

#1-Unidade avariada

As Tabelas 7 e 8, apresentam os dados de turbidez nas saídas dos decantadores e filtros da ETA 1 e 3, onde possivelmente pode-se prever qual das etapas ou processo de tratamento não apresenta uma boa retenção de flocos. Estas tabelas mostram que a sedimentação varia de 87,25 à 89,88% nos decantadores da ETA1 e de 84,35 à 87,39% nos decantadores da ETA3, entretanto a variação na remoção de turbidez nos filtros é relativamente inferior quando comparados a turbidez da água floculada, e mostram claramente uma ineficiência nos filtros.

Os valores de turbidez verificado nas Tabelas 7 e 8, são referentes a turbidez na saída dos decantadores e dos filtros. Após sair do floculador, espera-se que praticamente toda a matéria em suspensão existente na água bruta esteja aglutinada entre si, constituindo o que denominamos de flocos, da mesma forma, esperamos que esses flocos tenham adquirido tamanho e peso suficientes para que possam ser separados da água em tratamento através da decantação, entretanto, acrescenta-se que a decantação é uma operação que permite reduzir o teor de certos parâmetros da água, como a turbidez, conferindo-lhe melhor qualidade para ser posteriormente filtrada. A filtração é uma

operação que tem o objectivo a remoção do material em suspensão que não foi removido durante a etapa de decantação.

Verificou-se ainda que durante o período de pesquisa a ETA 1 possui quatro (4) filtros com capacidade de remover turbidez até valores estabelecidos pelo MISAU, nomeadamente os filtros 1, 3, 7 e 8, onde cada um deles apresentou como menor e maior turbidez na saída dos filtros os seguintes valores 0,30 e 4,33; 0,93 e 17,20; 0,30 e 6,28 e 0,29 e 5,53 NTU respectivamente. O filtro 3 apresentou uma turbidez acima de 17NTU, pois este acabava de entrar em funcionamento e que ainda não havia atingido a sua maturação.

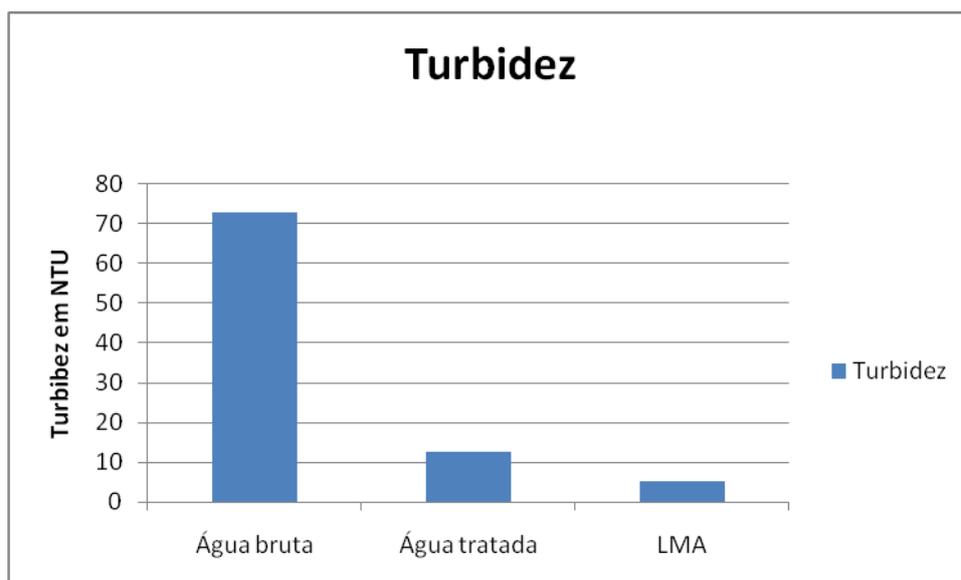
Nas análises da Tabela 8, observou-se que todos os filtros da ETA 3 apresentaram valores de turbidez fora dos padrões de aceitabilidade de água potável, pois os filtros desta estação possuem camadas ou espessuras filtrantes bastante menor (quase sem o leito filtrante).

Tabela 9. Eficiência Média de Remoção dos Parâmetros Avaliados Durante o Período de Pesquisa

Parâmetro	Água Bruta	Água Tratada	LMA	Eficiência (%)
Temperatura (°C)	23,03	22,03	----- ⁵	-----
pH	7,03	6,59	6,5-8,5	-----
Alcalinidade (mg/L)	43,47	----- ⁶	-----	-----
Turbidez (NTU)	72,49	12,66	5,00	82,54

⁵ O Regulamento sobre a qualidade de água não estabelece o LMA para alcalinidade

⁶ Durante a colecta de dados não fez-se o teste de alcalinidade na água tratada

Figura 4. Comparação da Turbidez da Água Bruta e Tratada em Relação ao LMA

A Tabela 9 representa as médias dos parâmetros previamente definidos. Tem como objectivo dar uma visão geral da eficiência de remoção de turbidez durante o período de pesquisa, onde observou-se que em geral a ETA-Mutua/FIPAG-Beira tem um valor de pH dentro dos padrões de aceitabilidade requerido pelo MISAU.

Em geral a turbidez inicial e remanescente é de 72,49 e 12,66 NTU's respectivamente, e que a estação possui uma eficiência para a remoção do tal parâmetro de mais de 82%, porém a turbidez remanescente ainda está acima do LMA pelo regulamento sobre a qualidade de água para o consumo humano do MISAU, conforme mostrado na figura 4.

Tabela 10. Dosagem Média de Sulfato de Alumínio em Águas com Turbidez que Varia de 63 à 83 NTU

Al_2SO_4 (mg/L)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
Turb (NTU)	25,15	11,17	8,16	7,69	9,27	11,91	8,49	7,78	18,50	15,35	24,0

Segundo PAVANELLI (2001), para que ocorra a formação de precipitados de hidróxido de alumínio, juntamente com as partículas coloidais aprisionados aos mesmos, é necessário que a água bruta tenha um pH compreendido entre 5,5 a 9 e que as dosagens do coagulante (sulfato de alumínio) sejam acima de 30 mg/L, e onde há aplicação de tecnologia de tratamento com estações completas, ou seja, com decantadores antecedendo aos filtros, pois os flocos obtidos são de tamanho maior e facilmente podem ser removidos pelos decantadores. A Tabela 10, apresenta os valores médios da

turbidez na aplicação de varias quantidades da solução coagulante, onde verificou-se que dosagem química óptima de Sulfato de alumínio para coagulação e/ou floculação encontra-se em torno de 30 a 50 mg/L.

5. Conclusão e recomendações

5.1. Conclusão

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- ✓ Os valores médios de pH, estão em acordo com os valores preconizados pelo Ministério da Saúde. Porém ressalta-se que apenas algumas amostras da água tratada estiveram fora dos padrões exigidos pela legislação, o que foi influenciado pelo do aparelho usado (comparador de pH), que não é significativamente preciso na leitura do pH, por estar limitado a sua faixa de comparação.
- ✓ Em relação à média de concentrações de teores de turbidez na água tratada, conclui-se que há uma redução significativa de cerca de 82,53%, quando comparado com o teor médio de turbidez da água bruta. Porém, apesar da aparentemente eficiência quantificada, ela não é altamente significativa, pois a turbidez da água tratada está acima da turbidez preconizada pelo Ministério da Saúde.
- ✓ Os processos de tratamentos usados são do tipo de uma estação completa, onde a filtração é precedida pela decantação e esta pela coagulação-floculação, o que torna esta estação propícia para remoção de turbidez usando o sulfato de alumínio como coagulante principal.

5.2. Recomendações

Com base nos resultados e nas conclusões, recomenda-se:

- ✓ A manutenção dos filtros da ETA 3 e os filtros 2, 4, 5 e 6 da ETA 1, repondo o leito filtrante em espessuras de camadas ideais;
- ✓ Devido as variações do caudal da fonte captação, recomenda-se a montagem de um hidrômetro na ETA 1, o que facilitara o cálculo da dosagem química ótima;
- ✓ O aumento de mais ETA's de modo a garantir a demanda e não sob carregar as estações com um caudal de entrada superior as capacidades da qual essas foram desenhadas, pois verificou-se uma sob carga do caudal de entrada de água bruta nas ETA's para poder suprir a demanda;
- ✓ Para um maior entendimento das características dos flocos, recomenda-se um estudo sobre as características dos flocos formados em relação a coagulação usando o sulfato de alumínio e uma formação aos operadores em relação ao manuseamento dos equipamentos como o turbidímetro de modo a continuar com as análises durante o período noturno e aos fins de semanas;

Referencias Bibliográficas

- ANA - Agência Nacional de Águas. (2006). Águas: Factos e Tendências. Ministério do Meio Ambiente. Brasil.
- APDA-Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (2012). Turvação. Comissão Especializada de Qualidade da Água. Portugal.
- AQUAAMBIENTE. (2004). Tratamento de Águas Potáveis. Brasil.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE (2006). Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília.
- CLAUDINO, C. R. (2009). Avaliação da eficiência na remoção de ferro e manganês em estação de tratamento de água pelo método de flotação por ar disperso. Criciúma.
- DE ANDRADE, J. B. (2004). Saneamento Básico-Sistema de Abastecimento de Água. Universidade Católica de Goiás. Goiás. Brasil.
- DI BERNARDO, L. et al., (2005). Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. São Carlos.
- DI BERNARDO, L. & DANTAS, A. D. B. (2005). Métodos e técnicas de Tratamento de Água. 2ª ed. RIMA. São Carlos.
- FEITOSA, F. A. C & FILHO, J. M. (1997) Hidrologia: Conceitos e aplicações. ed. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE.
- FILHO, C. F. M (s/d). Abastecimento de Água. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande. <Disponível em www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/abastece> [Acesso em: Abril de 2013].
- FUNASA-MISAU. (2004). Manual Prático de Análise de Água. Brasília.
- GRASSI, M. T. (2001). As águas do Planeta Terra. ed. Especial.
- INÁCIO, S. T. (1995). Análise Físico e Química de Águas e Produtos para Tratamento de Águas. Universidade Federal de Santa Carolina. Florianópolis.
- JÚNIOR, M. H. G. (s/d). Sistema de Tratamento de Água e Esgoto. UNIP-São Paulo. <Disponível em www.slideshare.net/.../sistema-individual-de-tratamento-esgoto>[Acesso em: Maio de 2013].
- MACÊDO, J. A. B. (2001). Águas e Águas. São Paulo. Varela.
- MACIEL, N. M. (1999). Remoção de ferro e manganês em águas de abastecimento através de reactores granulares de fluxo ascendente: Aplicação em poços profundos. UNICAMP, Campinas, São Paulo.
- MATSINHE, N. & RIETVELD, L. (1992). Abastecimento de Água. Maputo. Moçambique.

- MIRANDA, L. A. S. & MONTEGGIA, L. O. (2007). ReCESA, Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento. Guia do profissional em treinamento, Nível 2. Brasil.
- PARRON, L. M. et al (2011). Manual de procedimentos de amostragem e análises físico-química de água. Embrapa Floresta. 1ª edição. Brasil.
- PAVANELLI, G. (2001). Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação de mestrado em Hidráulica e Saneamento apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. Brasil.
- PEIXOTO, J. (2007). Análise Físico-químicas; Cor, Turbidez, PH, Temperatura, Alcalinidade e Dureza. Laboratórios de Tecnologias Ambientais.
- DE OLIVEIRA, D. S. (2008). Avaliação da eficiência de remoção de turbidez em função de variações no comprimento de floculadores tubulares helicoidais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- PIANTÁ, C. A. V. (2008). Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água. Porto Alegre. Brasil.
- PIVELI, R. P. (s/d). Qualidade das Águas e Poluição. Aspectos Físico-químico. <Disponível em books.bv.fapesp.br/pt/pesquisador/33464/roque-passos-piveli> [Acesso em: Maio de 2013].
- POERSCH, F. C. A. (2012). Sistema de Filtros Lentos Descendentes com Retrolavagem sem Reservatório Elevado. Universidade Federal de Santa Carolina. Florianópolis. Brasil.
- REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE. Boletim da Republica. Ministério da Saúde. (2004). Regulamento sobre Qualidade da Água para o Consumo Humano. Diploma Ministerial nº180 de 15 de Setembro. Maputo.
- RIETVELD, L. (2012). Abastecimento de Água: Necessidade em água. in notas de aulas, s/ed.
- RODRIGO et al (2007). Controlo Operacional em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. ed. IRAR, Portugal.
- SAAE- Serviço Autónomo de Água e Esgoto. (2006). Sistemas de Tratamento de Água. Aracruz. Brasil.
- SANEAGO- Saneamento de Goiás. (2006). Operação de Estação de Tratamento de Água. Goiás.

SOARES, J. V. (2004). Introdução a Hidrologia de Florestas. s/ed.

TSUTIYA, M. T. & SOBRINHO, P. A. (s/d). Abastecimento de Água. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo. Brasil. <Disponível em <https://uspdigital.usp.br/tycho/curriculoLattesMostrar?dcnpq>> [Acesso em: Abril de 2013].

Apêndices e Anexos

Apêndice I. Amostra Colectada no dia 27.08.2013 e Analise Laboratorial Realizada no dia 28.08.2013

Parâmetro	Unidade	Água Bruta	Água Tratada
T	°C	23,9	22,2
pH	----- ⁷	7,0	6,8
Turbidez	NTU	73,2	11,8
CE	µS/Cm	61	86
SS ⁸	mg/L	30,05	43
Dureza	mg/L de CaCO ₃	24	22
Ca	mg/L	4,80	8,02
Mg	mg/L	4,68	3,41

Apêndice II. A esquerda uma Cuba para Preparo dos Químicos e a Direita um Filtro em Manutenção



⁷ O pH é unidimensional

⁸ A quantidade de sólidos solúveis é equivalente a metade da CE

Apêndice III. Filtros com Deficiência do Material Filtrante



Apêndice IV. Comparador de pH



Anexo I. Padrão de Aceitação de Água para o Consumo Humano

Parâmetros	LMA	Unidades	RPSP
T	----- ⁹	°C	-----
pH	6,5-8,5	----	Sabor, corrosão, irritação da pele
Turbidez	5	NTU	Aparência, dificulta a desinfecção, Gastrointestinais ¹⁰
CE	50-2000	µhmo/Cm	----- ¹¹
SS	100	mg/L	Sabor, corrosão
Cloro Residual	0,2-0,5	mg/L	Sabor e cheiro desagradável
Dureza	500	mg/L de CaCO ₃	Depósito, corrosão e espuma
Ca	50	mg/L	Aumenta a dureza da água
Mg	50	mg/L	Sabor desagradável

Fonte: Adaptado do MISAU (2004)

Anexo II. Controle Diário da Qualidade da Água

⁹ O MISAU não estabelece o limite máximo admissível para a temperatura e nem seu risco para a saúde pública

¹⁰ O risco para a saúde pública de gastrointestinais é mencionado pelo LNHAA

¹¹ O MISAU não apresenta ou não estabelece os riscos para saúde pública causados pela condutividade eléctrica



BEIRA

Data: ___/___/___

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – MUTUA

CONTROLO DIÁRIO DA QUALIDADE DA ÁGUA

ETA-3

Hora	Água Bruta			Dec-1	Dec-2	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Tratada		
	Turv	Alc	pH							Turv	pH	Cloro
06:00												
08:00												
10:00												
12:00												
14:00												
16:00												
18:00												
Unid.	NTU	mg/l	-	NTU	NTU	NTU	NTU	NTU	NTU	NTU	-	mg/l

ETA-1

Hora	Dec-1	Dec-2	Dec-3	Dec-4	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6	Filtro 7	Filtro 8
06:00												
08:00												
10:00												
12:00												
14:00												
16:00												
18:00												

Jar test

Sulf. Alumínio	mg/l							Cal (mg/l)						
Turvação	NTU							Turvação						
Dosagem Óptima								Sulfato de Alumínio						
								Cal						

Observações

O Técnico Analista:

Anexo III. Boletim de Controlo Mensal da Qualidade de Água



Departamento Técnico

Secção de Produção-Mutua

Estação de Tratamento de Água-Mutua

Boletim de controlo mensal da qualidade de água

Mês: 2013

Água Tratada

<i>Dia</i>	<i>Turvação [NTU]</i>	<i>PH</i>	<i>T° [°C]</i>	<i>Cloro [mg/L]</i>
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				

O Técnico Analista

/ /