

APLICAÇÃO DA *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Remoção de poluentes por coagulação-floculação

ANA TERESA ALVES RIBEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

ÁREA DE ESPECIALIZAÇÃO: PROJECTO

Orientador (FEUP): Doutor Rui Alfredo da Rocha Boaventura

Orientador (FEUAN): Professora Doutora Anabela Alexandre Leitão

JANEIRO DE 2010

Desde Angola que tento escrever esta página da tese e não consigo encontrar as palavras certas...
Acabei de escrever a tese. Já a reli uma centena de vezes e continuo a achar que esta não diz tudo.

Foram tantos ensaios laboratoriais, tantas horas de trabalho, tantos nervos e insegurança...

E mais importante que tudo isto, tantos dias em que tu chegaste atrasado ao teu trabalho, tantas horas que passaste no trânsito caótico de Luanda, tantas horas de espera dentro do carro, tantos dias a comer a minha comida...

Quando era pequena lembro-me que te achava mais poderoso que o Super-homem, mais desenrascado que o Macgyver e mais forte que o mais forte dos homens. Não te que queria largar e fazia tudo para chamar a tua atenção.

Fui crescendo e até à minha ida para Angola pensava que tinhas perdido todos os teus super poderes e que estávamos destinados a discordar por tudo e por nada...

Felizmente não...mesmo que a *Moringa* e esta tese não sejam brilhantes, eu sinto que esta foi a experiência mais importante da minha vida pois vi-te como nunca te vi, e fizeste o que eu nunca imaginei que fizesses por mim.

Dizes que és pai, e que é normal, mas eu digo-te que não é. Nestes meses em Angola tu não foste só Pai; foste Pai, Mãe, melhor amigo, psicólogo, médico, mediador, motorista e tiveste coragem e força que valeram pelos dois...

Fizeste um esforço desumano para me levar e trazer todos os dias da faculdade, fizeste-me rir quando o que só me apetecia era chorar, acreditaste no meu trabalho, deste-me ânimo, coragem e tiveste uma paciência inacreditável...

Acho que ao longo da vida crescemos e nunca conhecemos totalmente as pessoas quem temos a nosso lado. Mas pensamos que sim...

Eu tenho de agradecer à *Moringa*, pois sem esta semente de cheiro esquisito, eu não tinha conhecido esse teu lado tão maravilhoso, e não seria tão feliz e nem estaria tão orgulhosa por ter-te como Pai.

Esta tese é dedicada a ti, Pai. Pois se não estivesses ao pé de mim não a teria conseguido fazer.

AGRADECIMENTOS

À Professora Anabela Leitão, minha orientadora da Universidade Agostinho Neto pois mais do que orientadora em termos científicos foi uma pessoa que me compreendeu e procurou sempre salvaguardar o meu bem-estar.

Ao Professor Rui Boaventura, meu orientador da Universidade do Porto pela sua paciência, preocupação e ânimo durante este trabalho.

Ao BFA, que me apoio monetariamente demonstrando vontade em fomentar a investigação em Angola.

À Professora Conceição Alvim e ao Professor Góis, pois sem a sua intervenção esta experiência em Angola não teria sido possível.

Aos Professores Paulo Monteiro, Fonseca de Almeida e Cheng, pela disponibilidade e apoio.

Aos profissionais de ambas as universidades: Eng^a Rosalina, Eng^a Josefa, Eng^a Liliana, Eng^a Patrícia, D^a Maria do Céu, D^a Elisa, Cátia e Eng^a Joana.

Esta tese é o culminar de uma fase de 5 anos. Mais do que agradecer às pessoas que estiveram a meu lado nesta fase final, quero agradecer a todas as pessoas que me acompanharam durante estes anos:

Ao Paulo que será sempre uma das pessoas mais importantes da minha vida e que esteve a meu lado estes 5 anos.

Aos amigos Miguel Saraiva e Inês Antunes sempre cheios de paciência.

Às minhas amigas de sempre: Elsa Sequeiros, Ana Carolina, Raquel Barros, Catarina e Lúcia Barriga Negra e Leonor Martins. Os anos passam mas a amizade fica...

Aos amigos João Certo, Nuno Cordeiro, Simão, Ricardo Oliveira, Rui Gil, Fábio e Nuno Pereira.

Aos eternos amigos do colégio: Rui, Tiago Costa, João Carneiro, João Aguiar, Miguel, Hélio.

Às minhas afilhadas lindas, com quem criei uma verdadeira família dentro e fora da faculdade: Vanessa, Ariana, Sara, Catarina, Teresinha, Stephanie, Mariana e Isabel.

Aos maravilhosos amigos de curso com quem passei os melhores e piores momentos na FEUP: Helena, Teresa, Diogo, João, Mariana, Tiago Orlando, Daniela, Gil, Ana Raquel, Liliana, Raquel Lemos, André Brito, Dânia, Marta, Liliana Santos, Gustavo Pizarro, Antonieta França, Raquel, Inês Vaz, Inês Vale, Giovanni, Emílio...

Ao grupo de todos os cortejos: João, Luís, Amorim, Marta, XL, Barbara, Valente.

Aos amigos da *Pen drive*, rádio, Comissariado Cultural da FEUP e do canto jazz, com quem me diverti muito...

À minha Mãe que é a mulher mais importante e linda deste mundo. Obrigado pela preocupação em todas as noites que não dormi e em todos dias que não comi preocupada com exames e trabalhos.

Ao meu irmão Gonçalo, que amo como a mim própria.

Aos meus padrinhos, Ana Carvalho e José Ribeiro, apesar de longe estiveram sempre perto.

Ao meu avô João, que é um exemplo de força de viver, tio Manuel e às minhas avós Adelaide e Providência.

À família Angolana que me recebeu de braços abertos neste que é agora o nosso país, e me apoiou e animou nestes meses: a meiga e forte prima Cátia, e os primos Mizé, Paulo, Didi, Dinho e Neto.

À minha família portuguesa: tios, tias, primos e primas de Guimarães e de Amarante.

RESUMO

A *Moringa oleifera* é uma planta nativa da Índia e cresce actualmente em vários países tropicais. Em Angola, esta planta pode ser encontrada na província do Kwanza -Sul, parecendo haver, no entanto, em território Angolano, mais zonas propícias ao seu crescimento. Este trabalho pretende testar a aplicabilidade do extracto aquoso e semente da *Moringa oleifera* em duas etapas de tratamento de uma água superficial destinada a consumo humano: coagulação e floculação. A água utilizada no estudo é proveniente do Rio Bengo, uma das origens para abastecimento de água à cidade de Luanda.

O estudo revelou que a dose óptima de extracto de *Moringa oleifera* é o correspondente a 80 mg_{semente}/L, sendo o pH óptimo 7. Nestas condições a percentagem de remoção de turvação é cerca de 96% obtendo-se um valor residual inferior a 0.7 NTU. O tratamento nas condições óptimas revela como principal desvantagem a introdução de matéria orgânica. Para a dosagem óptima de extracto, a oxidabilidade ao KMnO₄ passou para o valor de 31, 2 mg O₂/L.

A determinação do conteúdo orgânico do extracto aquoso de *Moringa oleifera* conduziu a um valor de oxidabilidade ao KMnO₄ de 3360 mg/L O₂ e a um valor de carbono orgânico total (COT) de 1226 mg COT/L.

Em relação à semente em bruto de *Moringa oleifera*, os melhores resultados foram atingidos para uma dosagem de 40 mg_{semente}/L, sendo o pH óptimo 7. Nestas condições, a percentagem de remoção de turvação é de 93%, obtendo-se um valor residual inferior a 1.5 NTU. Também nestas condições, o aumento da concentração de matéria orgânica na água é a principal desvantagem, detectando-se um valor de oxidabilidade ao KMnO₄ de 23,7 mg/L O₂.

PALAVRAS-CHAVE: *Moringa oleifera*, Tratamento de água, Coagulação química, Floculação, Água para Consumo Humano, Rio Bengo.

ABSTRACT

Moringa oleifera is a native plant from India, and it grows nowadays in several tropical countries. In Angola, this plant can be found in the province of South Kwanza, although it seems that there are other areas in the country favorable to its growth. This study tested the applicability of the aqueous extract and seed of *Moringa oleifera* in two steps of treatment of a superficial water for human consumption: coagulation and flocculation. The tested water comes from Bengo river, one of the water supply origins for the city of Luanda.

This study showed that the ideal dose of *Moringa oleifera* extract is the one which corresponds to 80 mg_{seed}/L, and the ideal pH equal to 7. In these conditions the percentage of turbation removal is about 96%, obtaining a residual value inferior to 0.7 NTU. The treatment in perfect conditions shows as main disadvantage the introduction of organic matter into the water. For the ideal extract dosage the KMnO₄ oxidability turned into 31,2 mg O₂/L.

By determinating the organic content of *Moringa oleifera* extract, the obtained value for KMnO₄ oxidability was 3360 mg O₂/L and the TOC (total organic carbon) value was 1226 mg TOC/L.

Regarding the raw seed of *Moringa oleifera*, the best results were obtained for a dosage of 40 mg_{seed}/L at pH =7. In these conditions the percentage of turbation removal is 93%, obtaining a residual value inferior to 1.5 NTU. Also in these conditions, the higher concentration of organic matter in the water is the main disadvantage, detecting a KMnO₄ oxidability value of 23,7 mg O₂/L.

KEYWORDS: *Moringa oleifera*, Water Treatment, Chemical Coagulation, Flocculation, Water for Human Consumption, Bengo River.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE GERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	xi
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. TRATAMENTO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	5
2.1. TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUAS SUPERFICIAIS NA PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	5
2.2. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO QUÍMICA	8
2.2.1. COAGULAÇÃO QUÍMICA.....	8
2.2.2. COAGULANTES – ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	10
2.2.3. FLOCULAÇÃO QUÍMICA.....	11
2.2.4. FLOCULANTES – ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	11
2.3. NORMAS DE QUALIDADE	12
3. A MORINGA OLEIFERA.....	19
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	25
4.1. PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA ETA DO KIFANGONDO	25
4.2. MATERIAIS E MÉTODOS ANALÍTICOS	30
4.3. PROTOCOLO EXPERIMENTAL	33
4.3.1. PREPARAÇÃO DA <i>MORINGA OLEIFERA</i> COMO COAGULANTE/FLOCULANTE	33
4.3.1.1. Extracção do componente activo da semente de <i>Moringa oleifera</i>	33
4.3.1.2. Preparação da semente de <i>Moringa oleifera</i>	35
4.3.2. OPERAÇÃO EM <i>JAR TEST</i>	35
4.3.2.1. Utilização do extracto aquoso de <i>Moringa oleifera</i>	35
4.3.2.2. Utilização da semente de <i>Moringa oleifera</i>	36

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. EXTRACTO AQUOSO DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	39
5.2. OPERAÇÃO EM <i>JAR TEST</i>	40
5.2.1. OPERAÇÃO EM <i>JAR TEST</i> UTILIZANDO O EXTRACTO ACTIVO DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	41
5.2.1.1. Determinação de parâmetros de qualidade após operação em <i>Jar Test</i> com extracto ativo de <i>Moringa oleifera</i>	45
5.2.2. OPERAÇÃO EM <i>JAR TEST</i> UTILIZANDO A SEMENTE DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	47
5.2.2.1. Determinação de parâmetros de qualidade após operação em <i>Jar test</i> com semente de <i>Moringa oleifera</i>	51
5.3. OXIDABILIDADE DA <i>MORINGA OLEIFERA</i>	53
5.3.1. ENSAIOS COMPLEMENTARES COM O EXTRACTO ACTIVO DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	53
5.3.2. ENSAIOS COMPLEMENTARES COM A SEMENTE DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	55
5.4. EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	57
6. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	A

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Relação entre os diferentes graus de tratamento e sua eficácia	6
Fig. 2 – Camadas iónicas de uma partícula em suspensão	9
Fig. 3 – Símbolo da ETA do Kifangondo	26
Fig. 4 – Rio Bengo visto da ETA do Kifangondo	26
Fig. 5 – Esquema de tratamento utilizado pela ETA do Kifangondo	26
Fig. 6 – Zona de gradagem da ETA do Kifangondo.....	27
Fig. 7 – Zona de mistura do sulfato de alumínio da ETA do Kifangondo.....	27
Fig. 8 – Zona de mistura rápida (coagulação) da ETA do Kifangondo	28
Fig. 9 – Zona de floculação e decantação da ETA do Kifangondo	28
Fig. 10 – Zona de filtração da ETA do Kifangondo	29
Fig. 11 – Zona de cloragem da ETA do Kifangondo	29
Fig. 12 – Aparelho <i>Jar Test</i>	30
Fig. 13 – Semente da <i>Moringa oleifera</i> com casca.....	33
Fig. 14 – Semente da <i>Moringa oleifera</i> sem casca.....	34
Fig. 15 – Pó da semente da <i>Moringa oleifera</i>	34
Fig. 16 – Extracção do composto activo da <i>Moringa oleifera</i>	35
Fig. 17 – Filtração do composto activo da <i>Moringa oleifera</i>	39
Fig. 18 – Variação da turvação final com a dose de extracto da <i>Moringa oleifera</i>	41
Fig. 19 – Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de extracto da <i>Moringa oleifera</i>	42
Fig. 20 – Variação da turvação final com o valor de pH, a dose de extracto de <i>Moringa</i> <i>Oleifera</i> fixa	43
Fig. 21 – Variação da percentagem de remoção de turvação com o valor de pH, a dose de extracto de <i>Moringa</i> fixa	43
Fig. 22 – Variação da turvação final com a dose de extracto de <i>Moringa oleifera</i> , a pH fixo.....	44
Fig. 23 – Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de extracto de <i>Moringa oleifera</i> , a pH fixo	44
Fig. 24 – Variação da turvação final com a dose de semente de <i>Moringa oleifera</i>	47
Fig. 25 – Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de semente de <i>Moringa oleifera</i>	48
Fig. 26 – Variação da turvação final com o pH, a dose de semente de <i>Moringa oleifera</i> fixa.....	48

Fig. 27 – Variação da percentagem de remoção de turvação com o pH, a dose de semente de <i>Moringa oleifera</i> fixa	49
Fig. 28 – Variação da turvação final com a dose de semente de <i>Moringa oleifera</i> , a pH fixo	50
Fig. 29 – Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de semente de <i>Moringa oleifera</i> , a pH fixo.....	50
Fig. 30 – Variação da turvação com a dose de extracto de <i>Moringa oleifera</i> , a baixa temperatura	58
Fig. 31 – Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de <i>Moringa Oleifera</i> , a baixa temperatura	59
Fig. B1 – Determinação dos SST e dos SDT	B
Fig. C1 – Turbidímetro utilizado no procedimento experimental	C
Fig. D1 – Recta de calibração da cor	D
Fig. D2 – Eléctrodo de amónio utilizado no procedimento experimental	D
Fig. E1 – Recta de calibração de Nitratos	E
Fig. F1 – Recta de calibração de Fósforo	F
Fig. G1 – Determinação da oxidabilidade	G
Fig. G2 – Aparelho COT utilizado no procedimento experimental.....	G
Fig. H1 – Exsiccador utilizado no procedimento experimental	H
Fig. H2 – Balança analítica utilizado no procedimento experimental.....	H
Fig. H3 – Peneiro de poro 1 mm	H
Fig. I1 – Moinho de café utilizado no procedimento experimental	I

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros típicos do processo de coagulação	10
Tabela 2 – Valores recomendados pela OMS para a qualidade de água bruta e água destinada ao consumo humano.....	13
Tabela 3 – Normas relativas à qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção para consumo humano estipuladas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto	15
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade da água bruta considerados pelo Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto	16
Tabela 5– Valores paramétricos de qualidade da água destinada ao consumo humano, utilizados pela EPAL e pela legislação portuguesa	17
Tabela 6 – Plantas que apresentam propriedades coagulantes	19
Tabela 7 – Espécies mais comuns de <i>Moringa</i> e sua distribuição pelo mundo	20
Tabela 8 – Parâmetros e métodos de análise utilizados no procedimento experimental	31
Tabela 9 – Materiais utilizados durante o procedimento experimental	32
Tabela 10 – Variáveis operacionais utilizadas no <i>Jar Test</i>	37
Tabela 11 – Análise do extracto de <i>Moringa oleifera</i>	39
Tabela 12 – Percentagem média de remoção de turvação obtida pela água bruta após ensaios <i>Jar Test</i>	40
Tabela 13 – Parâmetros de qualidade de água antes e após procedimento <i>Jar Test</i> com extracto de <i>Moringa oleifera</i>	45
Tabela 14 – Parâmetros de qualidade de água antes e após procedimento <i>Jar Test</i> com semente em bruto de <i>Moringa oleifera</i>	51
Tabela 15 – Análise de COT e da capacidade de remoção de turvação do 1.º e 2º extractos de <i>Moringa oleifera</i>	53
Tabela 16 – Manipulações do extracto activo de <i>Moringa oleifera</i> usando diferentes filtros	54
Tabela 17 – Oxidabilidade da água após contacto com semente de <i>Moringa oleifera</i>	55
Tabela 18 – Análise de COT introduzido pela semente de <i>Moringa oleifera</i>	56
Tabela 19 – Análise do comportamento do extracto de <i>Moringa oleifera</i> a baixa temperatura	57

Tabela J1 – Normas relativas à qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção para consumo humano estipuladas no *Anexo I do Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto*J

Tabela M1 – Valores paramétricos de qualidade de água, destinada ao consumo humano, utilizadas pela EPAL e pela legislação portuguesa no *Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto* M

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação A1 – Determinação dos SST	A
Equação B1 – Determinação dos SDT	B
Equação F1 – Determinação de oxidabilidade	F

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

cm – centímetro

°C – grau Celsius

h – hora

Kg – quilograma

Km – quilómetro

L – litro

m – metro

m³ – metro cúbico

µg – micrograma

µm – micrómetro

µS - microSiemen

mL - mililitro

mg – miligrama

mm – milímetro

NTU – Unidade Nefelométrica de Turvação

CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CQO – Carência Química de Oxigénio

EPAL – Empresa Pública de Águas de Luanda

ETA – Estação de Tratamento de Águas

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

LESRA – Laboratório de Engenharia da Separação, da Reacção Química e do Ambiente

OMS – Organização Mundial de Saúde

SST – Sólidos Suspensos Totais

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valor Máximo Recomendado

1

INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XIX, a Medicina não dispunha de meios nem de técnicas apropriadas ao combate de doenças. Com o aumento da população portuguesa, várias doenças como a febre tifóide, a cólera, a disenteria, a meningite e a gastroenterite dispersaram nos grandes aglomerados populacionais, sem condições estruturais para tanta gente nem hábitos higiénico-sanitários. Apercebendo-se da relação entre a qualidade da água, nessa altura praticamente sensorial, e a dissipação destas doenças, Portugal iniciou nesta época o longo processo de adopção de medidas legais e de construção de infra-estruturas capazes de melhorar a qualidade de água para consumo. (Cosme, 2006).

Uma das principais preocupações nas fases de projecto e operação de uma Estação de Tratamento de Águas (ETA), cujo objectivo é abastecer uma determinada população com água potável, é a disponibilidade e a qualidade da água bruta captada. Para além destes dados, é importante definir-se o número de habitantes a ser abastecidos, a taxa de crescimento que a cidade irá sofrer durante o tempo de vida da ETA, os custos associados, o tipo de processos necessários para o correcto tratamento da água e os impactos ambientais associados à instalação.

A água para consumo humano pode ter dois tipos de origem: subterrânea, como por exemplo aquíferos, e superficial como rios (Boaventura, 2008). As águas subterrâneas são principalmente utilizadas pelo sector industrial e a sua quantidade e qualidade dependem sobretudo de factores geológicos. As águas superficiais são aquelas que normalmente apresentam características mais favoráveis ao tratamento para consumo humano, a baixo custo, e cuja longevidade é maior, sendo a sua captação simples de efectuar.

Relativamente à capacidade de abastecimento, deve considerar-se que quanto maior a população a abastecer maior será a necessidade de espaço de implantação, podendo este ser um dos factores limitantes. Assim, o projecto de uma ETA deve ser feito tendo em consideração a taxa de crescimento populacional existente, de forma a suprir as necessidades de abastecimento existentes, e salvaguardando as necessidades futuras.

O acesso à água potável deve ser considerado como um direito fundamental do Homem. Porém,

embora a água natural apareça superficialmente como um recurso livre, a água tratada é de facto um bem económico cuja produção e distribuição estão sujeitas às interligações e interações entre a escala de produção, o custo, o preço e o consumidor (Cheng, 2009). Na maioria dos sistemas de tratamento, verifica-se uma apreciável economia de escala (Martins, 2009).

Os processos a usar para o tratamento de água para consumo humano podem variar consoante os critérios estéticos, económicos e higiénicos, estabelecidos pela ETA, sendo que a segurança e satisfação do consumidor devem ser asseguradas. Além disto, existem normas que referem quais os limites recomendáveis para os diferentes parâmetros de qualidade de uma água visando a protecção da saúde dos consumidores e do ambiente.

Como em qualquer outra indústria, o funcionamento de uma ETA implica a consideração de diferentes aspectos ambientais, com maior ou menor impacto, que devem ser identificados e regularmente monitorizados. Assim, aspectos como o consumo de produtos químicos, a produção de resíduos como lamas, as emissões gasosas, o consumo de energia e a própria captação de água, devem ser considerados de forma a serem minimizados os impactos ambientais que accionam no solo, ar, meio hídrico, recursos naturais, ecossistemas e nas comunidades afectadas.

Em Angola, as principais fontes de captação de água bruta com vista ao tratamento para consumo humano são os rios. Estes, porém, encontram-se cada vez mais poluídos devido ao incremento da industrialização, urbanização e intervenções humanas na dinâmica dos próprios sistemas ribeirinhos. Um rio, ou sistema aquático, possui uma capacidade natural de limpeza designada por auto-depuração. Este mecanismo de auto-regulação faz com que o seu leito consiga diluir substâncias poluentes através das plantas e de outros pequenos organismos existentes na sua fauna. Com o crescimento incontrolado das cidades, aumentaram as descargas poluentes para os rios, e a capacidade de auto-depuração é cada vez mais limitada, não sendo de todo suficiente para manter o equilíbrio dos cursos de água e dos ecossistemas ribeirinhos. Como os rios têm o seu leito a terminar no mar, observa-se também que as zonas costeiras do país apresentam cada vez mais indicadores de poluição, fomentando assim a necessidade de implementar medidas de controlo à poluição.

Com a redução da qualidade da água bruta disponível, os tratamentos numa ETA exigem cada vez maior especificidade e eficiência de modo a garantir a segurança do meio ambiente e da saúde humana. Medidas de controlo, de higiene e de qualidade, aliadas à boa gestão da vertente económica, determinam um bom desempenho e utilização sustentável dos recursos disponíveis.

A utilização de produtos naturais no tratamento de águas demonstra ser uma forma pouco prejudicial ao ambiente e aos consumidores. Ao envolver baixos custos de produção, podem ser usados por toda a população de Angola. Além disso, tratando-se de um país em desenvolvimento, a aplicação de recursos naturais no tratamento de águas poderá ser uma forma de aproveitar e impulsionar o capital humano e natural do país.

Este projecto realizou-se em Angola, no Laboratório de Engenharia da Separação, da Reacção Química e do Ambiente (LESRA) da Universidade Agostinho Neto de Luanda. A água utilizada nos testes laboratoriais foi colhida no rio Bengo, sendo o local de amostragem o ponto de captação de água

bruta da ETA do Kifangondo.

Este trabalho pretende testar a capacidade purificante da semente da *Moringa oleifera* de modo a concluir sobre a viabilidade da sua utilização nas etapas de coagulação e floculação. A experimentação do método de tratamento foi feita em laboratório utilizando como coagulantes e floculantes, em *Jar Test*, o extracto aquoso do composto coagulante retirado da semente, assim como a semente em bruto.

Sendo esta planta um recurso natural angolano, e no caso de provada a viabilidade da sua utilização, seriam poupados recursos económicos de importação de coagulantes químicos utilizados nas várias ETA do país, e também ajudaria a melhorar a qualidade de vida de populações sem água canalizada nem recursos económicos, para além de óbvias consequências positivas a nível ambiental.

Em trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos:

- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica sobre os processos convencionais de tratamento de água para consumo humano, quais os objectivos de cada etapa de tratamento e o enquadramento legal dos critérios de qualidade usados para garantir a segurança do consumidor. Ainda neste ponto são explicados mais intensivamente os processos de coagulação e floculação, referindo alguns dos compostos mais usados nestes processos;
- Capítulo 3 – Revisão bibliográfica sobre a *Moringa oleifera*, referindo algumas das suas aplicações e estudos já realizados, bem como referências a outras plantas com propriedades coagulantes;
- Capítulo 4 – Componente experimental do trabalho, descrevendo inicialmente o processo de tratamento utilizado na ETA do Kifangondo, seguindo-se os diferentes protocolos experimentais relacionados com a aplicação da *Moringa oleifera*, os materiais utilizados e os métodos analíticos;
- Capítulo 5 – Os resultados experimentais são aqui referidos e discutidos;
- Capítulo 6 – São apresentadas as conclusões, recomendações e futuras linhas de investigação.

2

TRATAMENTO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

2.1. TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUAS SUPERFICIAIS NA PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Consoante o clima, características geológicas, biológicas e actividades antropogénicas existentes, as características da água e suas necessidades de tratamento variam. Além disto, o espaço disponível em cada país para a construção de uma unidade de tratamento, entre outros factores, determina a sequência e tipo de processos de tratamento. Em Angola, por evidentes questões históricas e de investimento, a maior parte das ETA foram construídas considerando o processo de tratamento convencionalmente adoptado por Portugal.

Em Portugal, as características das águas superficiais usadas para a produção de água potável são semelhantes; por esta razão, os processos de tratamento também são parecidos, e seguem convencionalmente a mesma sequência. As etapas de tratamento respondem a um conjunto de normas e critérios, tendo como base considerações de ordem higiénica, estética e económica (Alves, 2007):

- Critérios higiénicos – estes são os critérios fundamentais pois interferem directamente com a saúde do consumidor. Os principais objectivos são a redução de bactérias, da mineralização excessiva, de teores elevados de compostos orgânicos, e também a eliminação de elementos tóxicos ou nocivos, de protozoários e outros microrganismos;
- Critérios estéticos – estes não representam por si só um risco para a saúde do consumidor; porém, a cor, o sabor e a turvação podem ser condicionantes na aceitação da água de abastecimento pelo consumidor;
- Critérios económicos - pretende-se que o tratamento seja feito de forma eficiente, eliminando características que podem afectar o bom funcionamento dos vários processos e operações de tratamento. Assim, devem aplicar-se critérios como a redução da corrosibilidade, da dureza, do odor e do ferro, entre outros que, podendo requerer maiores encargos financeiros a curto prazo, proporcionam maior tempo de vida às instalações e

aos equipamentos, e portanto menores custos a longo prazo.

Consoante a qualidade da água bruta, pode ser necessário executar diferentes graus de tratamento: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário; a cada grau, a eficácia do tratamento é superior.

A implementação de cada um destes graus compreende operações e processos unitários de tratamento distintos:

- Operações físicas – exemplos são gradagem, equalização, mistura, sedimentação, flutuação, filtração, transferência gasosa, volatilização, microtamização, desarenação, arejamento, floculação;
- Processos químicos – precipitação química, adsorção, desinfecção, coagulação, estabilização, fluoretação, osmose inversa, electrodiálise;
- Processos biológicos – processos aeróbios, anaeróbios ou mistos (Martins, 2009).

A criação dos processos convencionais de tratamento veio facilitar a troca de informação e cooperação entre as várias ETA. Além disso, o estabelecimento de condições de operação semelhantes e de normas de qualidade despertaram um maior grau de confiança nos consumidores.

Como referido anteriormente, a grande maioria das ETA são instaladas em locais onde as águas superficiais apresentam características de qualidade semelhantes, para assim ser-lhes aplicável o tratamento adequado, constituído pela sequência dos graus de tratamento enumerados na *Figura 1* e que se descreve em seguida:

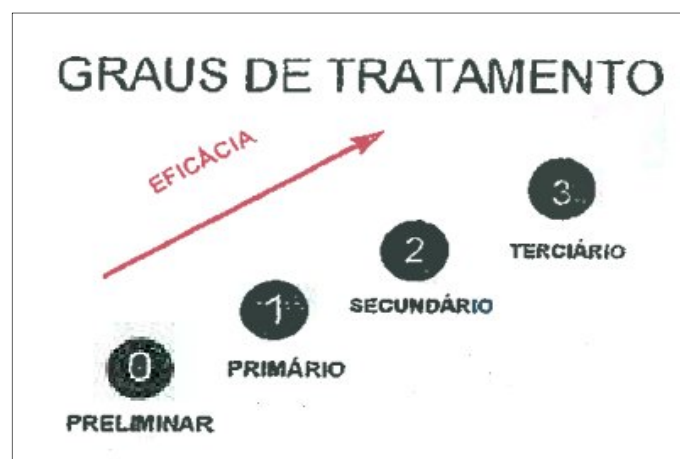


Fig.1 – Relação entre os diferentes graus de tratamento e sua eficácia¹

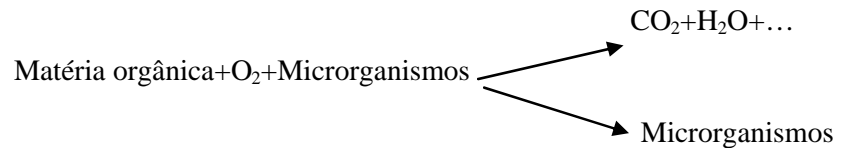
¹ Fonte: (Martins, 2009).

- Tratamento preliminar – É a primeira fase de tratamento e tem como principal objectivo remover substâncias que podem prejudicar o funcionamento das etapas seguintes, como por exemplo, entupimento do sistema de bombagem.
Este tipo de tratamento é constituído unicamente por métodos físicos que removem sólidos grosseiros, areia e gorduras presentes na água. Para isto, são utilizados sistemas de retenção de sólidos em suspensão, como sistema de grades (gradagem) ou caixas de areia;

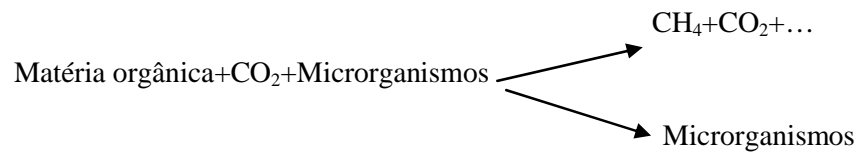
- Tratamento primário – O principal objectivo deste tratamento é a remoção de substâncias sólidas em suspensão, de menor dimensão, que não foram retiradas na etapa anterior, usando processos físicos e químicos, como sedimentação ou decantação e precipitação química. As etapas deste tratamento compreendem:
 - a) Coagulação: nesta fase, são normalmente adicionadas substâncias coagulantes como, por exemplo, sulfato de alumínio – coagulação química – que promovem a aglutinação das partículas sólidas em suspensão, formando pequenos flocos;
 - b) Floculação: é um processo que vem normalmente acoplado ao de coagulação, consistindo na formação de flocos através da introdução de energia mecânica na massa líquida, a fim de favorecer o contacto entre os colóides, agregando-os de forma a estes serem susceptíveis de sedimentar rapidamente;
 - c) Decantação: após a agregação das substâncias sólidas, estas ficam mais pesadas e sedimentam por acção da gravidade;
 - d) Filtração: esta etapa pretende a remoção final das partículas e substâncias que não foram removidas, ou então que foram geradas ao longo do processo de tratamento. A filtração clarifica a água por acção de filtros, os quais capturam as partículas sólidas mais pequenas. Nas estações de tratamento, os filtros são normalmente compostos por areias de diferentes granulometrias, de forma a reter até os flocos de menor dimensão;
 - e) Desinfecção: a água para consumo humano deve ser previamente sujeita a um tratamento de desinfecção destinado a eliminar totalmente quaisquer microrganismos patogénicos, mesmo que as suas características físicas, químicas e bacteriológicas satisfaçam os padrões de qualidade (Alves, 2007) (Engidro, 1998). Esta etapa é feita normalmente pela adição de cloro (gasoso ou hipoclorito). A cloragem deve ser feita garantindo o efeito residual necessário para que a água chegue isenta de microrganismos a todos os seus consumidores.
Além do cloro, o ozono também é uma hipótese viável ao tratamento de águas. Não tem a desvantagem do cloro, que em associação com algumas substâncias orgânicas dá origem a compostos organoclorados como os triclorometanos, que podem causar problemas na saúde humana. A principal desvantagem do ozono é não ter efeito residual de desinfecção (Alves, 2007).

- Tratamento secundário – Este tipo de tratamento engloba processos biológicos e físico-químicos. Os processos físico-químicos são constituídos por sedimentadores ou decantadores primários e secundários. Os processos biológicos podem ser na presença ou não de oxigénio, respectivamente (Martins, 2009):

a) Aeróbio:



b) Anaeróbio:



- Tratamento terciário – consiste na remoção de poluentes que não foram afectados pelos tratamentos aplicados anteriormente, como bactérias, cor, espuma ou substâncias poluentes que se encontram no estado coloidal. É particularmente importante no tratamento de águas residuais, pois permite remover nutrientes que podem causar eutrofização no meio receptor. Compreende operações físicas, processos biológicos e químicos:
 - a) Desinfecção – por cloração ou ozonização para remoção de organismos patogénicos;
 - b) Filtração - para remoção de cor, cheiro e sabor dependendo da natureza do meio, e eliminação da CBO e CQO, respectivamente, carência bioquímica de oxigénio e carência química de oxigénio;
 - c) Adsorção – actualmente, o carvão activado é o adsorvente mais utilizados nas estações de tratamento.

2.2 COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO QUÍMICA

2.2.1. COAGULAÇÃO QUÍMICA

Mesmo uma água superficial bruta de boa qualidade, pouco poluída, possui partículas que podem ter diferentes dimensões. A variação de calibre faz com que, em termos de tratamento, não se consiga definir um tempo de sedimentação preciso, pois a área interfere com a velocidade de sedimentação respectiva. As partículas em suspensão com diâmetros compreendidos entre 0,01 e 1 μm são denominadas colóides, entre 1 e 100 μm são supra-coloidais, e ainda podem existir partículas de tamanho inferior dificilmente sedimentáveis. Um dos objectivos mais difíceis no tratamento, que compreende as das diferentes etapas referidas no ponto 2.1., é a correcta e eficiente remoção das

partículas de muito pequena dimensão (Alves, 2007).

Na maior parte dos casos, em termos de carga, as partículas coloidais possuem uma carga eléctrica superficial negativa (*Figura 2*). A sua carga negativa faz com que atraiam para a sua superfície cations em solução. Uma camada de iões presentes na solução une-se à partícula, formando a camada fixa; e, sobre esta camada, forma-se ainda uma camada denominada difusa (*Figura 2*). A carga eléctrica que se desenvolve em redor das partículas coloidais faz com que estas se repilam umas às outras, dificultando a sua estabilidade na solução e consequentemente a sua deposição, não conseguindo haver uma extracção eficiente.

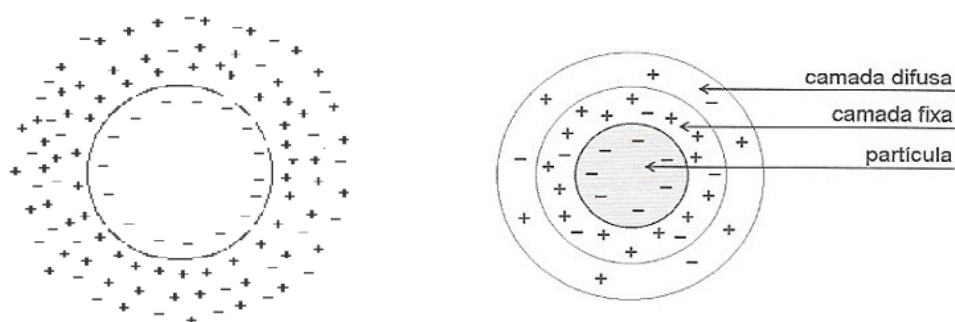


Fig.2 – Camadas iónicas de uma partícula em suspensão²

A coagulação é o mecanismo que tem como objectivo desestabilizar as partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração.

Os mecanismos físico-químicos utilizados, tendo em conta o coagulante escolhido, podem ser por compressão da camada dupla, adsorção e neutralização de carga, aprisionamento das partículas num precipitado ou ainda por adsorção e formação de pontes entre as partículas:

- a) Compressão da camada dupla - ocorre quando se utilizam iões hidrolisantes. Neste processo há geração de um balanço de duas forças, uma devido à existência de forças Van de Waals (atractivas) e outra devido às camadas iónicas da partícula (repulsivas). Com a adição de sais há uma compressão da camada dupla iónica fazendo com que as forças atractivas sejam dominantes e a aglomeração das partículas ocorra;
- b) Adsorção e neutralização de carga - ocorre, por exemplo, com a adição de coagulantes metálicos à água, formando iões aquametálicos; estes tornam-se parte da nuvem iónica que envolve as partículas sendo posteriormente adsorvidos por estas. Ou seja, neste mecanismo, a adição de coagulantes permite que a carga superficial seja neutralizada favorecendo a aglomeração das partículas;
- c) Aprisionamento das partículas num precipitado - é feita pela adição de sais metálicos trivalentes, como $Al_2(SO_4)_3$, em concentrações elevadas, de modo a que o produto de

²Fonte: (Alves, 2007).

solubilidade do respectivo hidróxido formado seja excedido, e assim haver formação de um precipitado com características gelatinosas, floculentas e amorfas. Ao sedimentarem por gravidade, estas aprisionam os colóides, facilitando a sua remoção;

- d) Adsorção e formação de pontes entre as partículas - ocorre quando são adicionados polímeros orgânicos (polielectrólitos) de características aniónicas ou não iónicas. A aglomeração e sedimentação ocorrem devido à adsorção de partículas coloidais pelos polímeros, formando pontes entre si; seguidamente, estes agregados de polímero-partícula enredam-se com outros agregados formando redes com boas características de sedimentação (Alves, 2007).

Para o correcto dimensionamento e estudo da etapa de coagulação, são determinantes na eficiência do processo dois factores: o tempo de mistura e o gradiente de velocidade; isto porque a acção do coagulante depende do tempo de contacto entre este e a solução, estando esta ligação relacionada com as características de dissolução de ambos. O gradiente de velocidade está directamente relacionado com o grau e rapidez de mistura e é determinante, pois pretende-se a máxima mistura entre o coagulante e a solução. Normalmente, estes dois parâmetros estão compreendidos nas gamas apresentadas na *Tabela 1*:

Tabela 1- Parâmetros típicos do processo de coagulação

Tempo de mistura (s)	20	30	40	>40
Gradiente de velocidade (s ⁻¹)	1000	900	790	700

2.2.2. COAGULANTES – ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Em função do tipo de processo de clarificação da água, os reagentes de coagulação podem-se classificar como coagulantes, alcalinizantes ou adjuvantes.

Em seguida são apresentados alguns exemplos de aplicação destes compostos e sua forma de acção.

- Coagulantes – actuam de forma a desestabilizar as partículas em suspensão, podendo a sua origem ser inorgânica, como os sais metálicos, orgânica como os polielectrólitos, ou natural como a *Moringa oleifera* (Alves, 2007) (Okuda *et al*, 1999). Os sais de alumínio e ferro são os compostos mais utilizados actualmente nas estações de tratamento, sob a forma de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) ou sulfato ferroso (FeSO₄). Também em termos científicos são encontrados estudos sobre as suas propriedades revelando que, além da remoção de partículas coloidais em suspensão, estes compostos têm capacidade de desinfecção e de parcialmente degradar e/ou oxidar as impurezas orgânicas e inorgânicas. Porém, a sua utilização é cada vez mais apontada como responsável por efeitos adversos na saúde humana e nos próprios processos de tratamento de águas. Além disto, outra desvantagem da sua utilização é o facto da eficiência deste depender do valor de pH

presente na solução, sendo necessária a adição de outros compostos (Katayon *et al*, 2006) (Jiang, Lloyd; 2002);

- Alcalinizantes – estes compostos, como por exemplo a cal ou o hidróxido de cálcio, conferem alcalinidade à água. Na literatura estão disponíveis estudos relatando que a eficiência de remoção de turvação e de substâncias corantes é melhorada significativamente quando é, por exemplo, misturada uma certa porção de cal a materiais de argila (Vimonses *et al*, 2009);
- Adjuvantes – são compostos úteis em situações de má formação de flocos nas etapas de coagulação-floculação, melhorando com a sua adição a eficiência da operação. Os exemplos mais comuns são a sílica activada e os polielectrólitos. Além de tratamento de água para abastecimento, estes últimos são referidos em vários estudos, como eficazes na etapa de floculação de efluentes industriais e residuais (Menkhaus *et al*, 2010).

2.2.3. FLOCULAÇÃO QUÍMICA

A floculação promove a colisão entre as partículas desestabilizadas, favorecendo a sua agregação em flocos de grande dimensão que sedimentam mais facilmente por gravidade. Para isso, a mistura deve ser lenta porém intensa, de forma a ser capaz de favorecer o contacto entre as partículas e consequentemente a sua aglomeração em flocos de maiores dimensões. Os valores de tempo para a etapa de floculação variam entre 15 a 45 minutos, e o gradiente de velocidade entre 10 a 60 s⁻¹.

A formação de flocos pode desencadear-se por dois mecanismos: floculação pericinética ou floculação ortocinética:

- Floculação pericinética - as partículas colidem devido à sua movimentação aleatória. Os gradientes de velocidade são devidos a movimentos Brownianos;
- Floculação ortocinética - as partículas colidem devido à turbulência gerada na água por forças mecânicas exteriores.

As partículas pequenas (< 1µm) sofrem floculação pericinética, enquanto que as de maior tamanho são submetidas à ortocinética devido ao gradiente de velocidade do líquido (Alves, 2007).

Na etapa de floculação são introduzidos floculantes, que são produtos que auxiliam as etapas de coagulação e filtração. A sua presença favorece a velocidade de formação dos flocos (aumenta a velocidade da floculação), e pode ainda melhorar a qualidade dos flocos obtidos (maior peso, volume e coesão).

2.2.4. FLOCULANTES – ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Os floculantes podem ser classificados do seguinte modo:

- a) Quanto à natureza – Minerais - são substâncias coloidais, onde a adsorção e neutralização de cargas fazem parte dos mecanismos actuantes. Exemplos são a sílica activada, algumas argilas coloidais como a bentonite e alguns hidróxidos metálicos com estrutura polimérica como hidróxido de ferro e alumínio. A sílica activada apresenta bons resultados sobretudo quando associada ao sulfato de alumínio (coagulante) (Alves, 2007);
 - Orgânicos – compostos fabricados a partir de produtos naturais como os alginatos, amidos, derivados da celulose ou de borracha, ou sintéticos, como por exemplo as poliacrilamidas e as poliaminas;
- b) Quanto à origem – Naturais – os mais comuns são os derivados do amido, os polissacarídeos (ex, goma de guar) e os alginatos;
 - Sintéticos - as poliacrilamidas são polímeros não iónicos. Os floculantes poliméricos são largamente usados no tratamento de águas pela sua capacidade demonstrada em aumentar a densidade dos flocos e em auxiliar na deposição na etapa de clarificação (Rawlings *et al*, 2006);
- c) Quanto à carga eléctrica - em aniónicos, catiónicos e não iónicos.

2.3. NORMAS DE QUALIDADE

As substâncias na água podem ser classificadas de acordo com as suas propriedades específicas (inorgânicas, biológicas, radiológicas, etc.) ou de acordo com outras características associadas, por exemplo, aos seus usos e funções.

As normas de qualidade são o instrumento quantitativo que expressa as características mínimas a que a água destinada ao consumo humano deve obedecer (Alves, 2007). Cada país deve estipular os seus critérios legais tendo em consideração os seguintes objectivos:

- Inexistência de substâncias químicas em concentrações tóxicas e de microrganismos patogénicos;
- Inexistência de características prejudiciais à manutenção do sistema de abastecimento;
- Ser incolor, inodora, fresca, de sabor agradável e isenta de macroorganismos (Alves, 2007).

Por razões históricas, Portugal e Angola estiveram ligados constitucionalmente durante muitos anos. Após a independência, Angola deixou de utilizar a legislação portuguesa e teve necessidade de criar as suas próprias leis; porém, até à data, este país ainda não possui legislação própria vigente relativa às normas de qualidade de águas destinadas ao abastecimento.

De forma a colmatar esta lacuna legal, as entidades responsáveis pelo tratamento e distribuição de água utilizam uma mescla entre os critérios decretados pela legislação portuguesa e recomendadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) de modo a garantir a segurança dos consumidores.

Ao longo dos anos, a OMS tem-se preocupado em actualizar nas suas *guidelines* as diferentes substâncias que podem ser encontradas na água bruta e na água destinada ao consumo humano. Além das recomendações, esta organização refere nas suas publicações quais as consequências e problemas que diferentes substâncias podem causar à saúde humana, assim como os diferentes motivos que podem levar à não aceitação da água por parte dos consumidores.

A *Tabela 2* refere os valores limite aconselhados pela OMS para os parâmetros de qualidade de água que serão avaliados neste trabalho. As recomendações para os restantes parâmetros poderão ser consultadas nas “*Guidelines for Drinking-Water Quality*” desta organização.

Tabela 2 - Valores recomendados pela OMS para a qualidade de água bruta e água destinada ao consumo humano.

	Água Bruta ³		Água potável ⁴		Comentários da OMS
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Nitratos (mg/L NO₃)	50	100	-	44	Para valores superiores a 100 mg/L tem efeitos cancerígenos. Em teores elevados, pode causar meta-hemoglobinemia (cianose).
Cor (UCV)	-	-	-	15	Cores acima de 15 UCV (Unidades de cor verdadeira) pode ser detectado em um copo de água pela maioria das pessoas. Cores abaixo dos 15 UCV são geralmente aceitáveis para os consumidores, mas a aceitação pode variar de acordo com as circunstâncias locais.
Fósforo (mg/L P)	-	-	-	-	
Amónia (mg/L NH₄)	0,05	-	-	1,5	Amónia na água é um indicador de esgoto bacteriana, possível e poluição de resíduos animais sendo que se pretende que seja < 1,5 mg/L
Oxidabilidade ao KMnO₄ (mg/L O₂)	-	-	-	-	-
Alcalinidade Total (mg CaCO₃/L)	-	-	-	-	-

³ Administração Regional das Águas do Sul - <http://www.ara-sul.co.mz/>

⁴ WHO (2008). *Guidelines for drinking-water quality*: World Health Organization, 3ª edição, Geneva.

	Água Bruta ⁵		Água potável ⁶		Comentários da OMS
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
pH	7	8,5	6,5	8.5	Irritação nos olhos e exacerbação de problemas de pele quando superior a 11
Turvação (NTU)	-	-	-	5	Altos níveis de turvação podem proteger os microrganismos dos efeitos da desinfecção e pode estimular o crescimento bacteriano. Em todos os casos onde a água é desinfectada, o valor de turvação deve ser o mais baixo possível para que a desinfecção seja eficaz
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	-	-	-	1000	A presença de altos níveis de SDT na água pode ser desagradável para os consumidores. A palatibilidade da água com um nível de SDT inferior a 600 mg / L é considerada geralmente boa; a água potável torna-se cada vez mais intragável para níveis de SDT superiores a 1200 mg / L.
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	500	1500	-	-	
Condutividade (µS/cm)	750	2250	750	2250	

Relativamente ao tipo de tratamento que a água bruta superficial destinada ao abastecimento, irrigação e indústria deve sofrer, a OMS, além de referir métodos de tratamento de água para uso doméstico (como a cloração doméstica, a utilização de filtros de areia lentos e a fervura ou ponto de ebulição)⁷, recomenda a sequência de etapas do tratamento primário, referidas em 2.1.

Apesar de ter em consideração os riscos e as recomendações apresentadas pela OMS por forma a balizar os critérios de qualidade da água para abastecimento público, a caracterização da água bruta pela legislação portuguesa é feita classificando-a em três tipos directamente ligados ao tratamento que deve sofrer para ficar potável:

- Tratamento A1 - corresponde a um tratamento físico e desinfecção - filtração rápida e desinfecção;

⁵ Fontes: Administração Regional das Águas do Sul - <http://www.ara-sul.co.mz/>

WHO (2008). *Guidelines for drinking-water quality*: World Health Organization, 3ª edição, Geneva.

Guidelines for drinking-water quality standards in developing countries.
(<http://mail.cruzroja.org/salud/redcamp/docs/aguasan-e/pdf/eng/doc14577/doc14577.pdf>)

- Tratamento A2 - corresponde a um tratamento físico, químico e desinfecção - pré-oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção;
- Tratamento A3 - corresponde a um tratamento físico, químico, de afinação e desinfecção - pré-oxidação, coagulação, floculação, adsorção em carvão activado, decantação, filtração, desinfecção final.

A Tabela 3 apresenta, para alguns parâmetros, as normas relativas à qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano. A tabela completa do *Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto*⁸, está disponível no *Anexo III*.

Tabela 3- Normas relativas à qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção para consumo humano estipuladas no Anexo I do *Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto*

Parâmetros	Expressão de resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
pH, 25°C	Escala de Sorensen	6,5-8,5	-	5,5-9,0	-	5,5	-
Cor (após filtração simples)	Escala Pt-Co	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos suspensos totais	mg/L	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(O) 25	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade	uS/cm, 20°C	1000	-	1000	-	1000	-
Nitratos (*)	mg/L NO ₃	25	(O) 50	-	(O) 50	-	(O) 50
Azoto amoniacal	mg/L NO ₄	1	-	-	1	1,5	(O) 4,00

(O) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais (n.º1 do artigo 10º)

(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de pouca profundidade e baixa taxa de renovação

⁸Fonte: Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. *Diário da Republica* n.º164 – 1 Série A. Ministério do Ambiente.

A *Tabela 3* refere os limites máximos recomendados (VMR) e máximos admissíveis (VMA) para alguns dos diferentes parâmetros organolépticos, microbiológicos, físico-químicos e relativos a substâncias tóxicas indesejáveis. Estes limites são estipulados pela legislação nacional para águas brutas de três classes destinadas à produção de água potável, mediante os tratamentos A1, A2 e A3 (Alves, 2007) (Rodrigues *et al*, 2001).

Após este tratamento, para abastecer a população, a água deve cumprir as normas do *Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto*⁹, que agrupa os parâmetros de qualidade de água da forma descrita na *Tabela 4*:

Tabela 4- Parâmetros de qualidade de água considerados pelo *Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto*

Parte I	Parte II	Parte III
Parâmetros microbiológicos	Parâmetros químicos	Parâmetros indicadores
<i>Escherichia coli</i> , enterococos, <i>Pseudomona aeruginosa</i> ;	Acetilamida, Antimónio, Arsénio, Benzeno, Boro, Bromatos, Benzo(a)pireno Cádmio, Crómio, Cobre, Cianetos, 1,2 dicloroetano, Epicloridrina, Fluoretos, Chumbo Mercúrio, Níquel, Nitratos, Nitritos, Pesticida individual, Pesticidas-total, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos Selénio, Tetracloroetano e tricloroetano Trihalometanos- total (THM) Cloreto de vinilo	Alumínio, Amónio, Cálcio, Cloretos, <i>Clostridium perfringens</i> , Cor, Condutividade, Dureza total, ph, Ferro, Magnésio, Manganês, Microcistinas, Cheiro a 25 °C, Número de colónias, Bactérias coliformes, Carbono orgânico total, Turvação, α -total, β -total, Trítio, Dose indicativa total, Desinfetante residual

Para cada um dos parâmetros referidos na *Tabela 4*, a legislação estipula um valor indicador que deve ser considerado como valor guia de forma a assegurar a qualidade da água aos consumidores. Os valores legislados para os parâmetros utilizados neste trabalho estão referidos na *Tabela 5*.

⁹Fonte: Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto. *Diário da República* n.º164 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Os critérios de qualidade da água para consumo humano utilizados pela ETA do Kifangondo, administrada pela Empresa Pública de Águas de Luanda (EPAL), estão em conformidade com os estabelecidos pela OMS e pela legislação portuguesa. Os valores admissíveis pela EPAL e pela legislação portuguesa, para os parâmetros determinados neste trabalho estão também referidos na *Tabela 5*. A consulta dos restantes parâmetros de qualidade pode ser feita no *Anexo III*.

Tabela 5- Valores paramétricos de qualidade de água, destinada ao consumo humano, utilizados pela EPAL e pela legislação portuguesa.¹⁰

	Valor Máximo Admissível	
	EPAL	Portugal
Nitratos (mg/L NO_3)	50	50
Cor (mg/L PtCo)*	15	20
Fósforo (mg/L P)	-	-
Amónia (mg/L NH_4)	0,50	0,50
Oxidabilidade ao $KMnO_4$ (mg/L O_2)	2,0	5,0
Alcalinidade Total (mg $CaCO_3$ /L)	-	-
pH	6,5<pH<8,5	6,5<pH<9,0
Turvação (NTU)	5,0	4,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	-	-

¹⁰ Fontes: Silva 2009; Decreto-Lei n° 306/2007, de 27 de Agosto. *Diário da Republica* n°164 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

	Valor Máximo Admissível	
	EPAL	Portugal
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	-	-
Condutividade (μS/cm)	500	2500

*(verdadeira)

3

A MORINGA OLEIFERA

São cada vez mais as contra-indicações, ambientais e para a saúde humana, apresentadas pelo uso de compostos químicos no tratamento de águas residuais ou na produção de águas potáveis.

A produção de lamas ricas em metais resultantes dos processos de coagulação e floculação utilizando compostos como 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; a libertação de contaminantes pela lixiviação dos materiais construtivos das tubulações que podem danificar o aspecto estético ou económico das águas; ou ainda em relação aos compostos de alumínio, a evidência de que a sua utilização no tratamento de águas pode provocar lesões cerebrais características de doença de Alzheimer (Okuda *et al*, 2001a); entre outros, 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 inócuos ao meio ambiente e à saúde humana.

Em vários países do mundo são conhecidas espécies de plantas utilizadas como coagulantes naturais. A *Tabela 6* apresenta algumas famílias e o número de espécies por família de plantas cuja semente tem propriedades coagulantes (Mendes, Coelho; 2007).

Tabela 6 – Plantas que apresentam propriedades coagulantes ¹¹

Família	Número de espécies usadas para clarificar água bruta
<i>Papilionideae</i>	13
<i>Cactaceae</i>	11
<i>Capparidaceae</i>	8
<i>Moringaceae</i>	7

¹¹ Fontes: (Mendes, Coelho; 2007)

Família	Número de espécies usadas para clarificar água bruta
<i>Tiliaceae</i>	7
<i>Anacardiaceae</i>	5
<i>Malvaceae</i>	5
<i>Annonaceae</i>	3
<i>Acanthaceae</i>	3
<i>Araceae</i>	2

A *Moringa oleifera* é uma das espécies da família *Moringaceae*. É uma planta originária da Índia, mas cresce actualmente em vários países tropicais (Tabela 7). O seu crescimento é rápido mesmo em solos com pouca humidade (Kwaambwa, Maikokera; 2008). Estão também referenciados exemplares desta planta desde o nível do mar até 1800 metros de altura (Bhuptawat *et al* 2006).

São várias as aplicações conhecidas dos constituintes desta planta como:

- A utilização das suas folhas na alimentação, pois são ricas em cálcio, ferro e ácido ascórbico (Katayon *et al*, 2006), caroteno, metionina e cistina (estes dois últimos aminoácidos essenciais) (Sánchez *et al*, 2006);
- A utilização das raízes da árvore como produtos hortícolas;
- A utilização das sementes, ricas em proteínas (Okuda *et al*, 1999) como substitutos proteicos, a sua aplicação farmacológica como anti-inflamatórios e anti-microbianos, na preparação de cosméticos, lubrificantes em equipamentos de precisão (Mani *et al*, 2007), e ainda a sua utilização como purificante de águas.

A análise da cadeia de aminoácido da semente de *Moringa* revela que esta contém altos teores de glutamina, arginina e prolina (Kwaambwa, Maikokera; 2008).

Tabela 7 – Espécies mais comuns de *Moringa* e sua distribuição pelo mundo¹²

Ordem: Cappridales	
Família: Moringaceae	
Espécies	Distribuição pelo mundo
<i>Moringa oleifera</i>	Pantropical
<i>Moringa concanensis</i>	Índia
<i>Moringa peregrina</i>	Egipto, Sudão, Península Arábica

¹² Fonte: (Mendes, Coelho; 2007)

Espécies	Distribuição pelo mundo
<i>Moringa stenopetala</i>	Etiópia, Quênia
<i>Moringa longituba</i>	Somália
<i>Moringa drouhardii</i>	Madagascar
<i>Moringa ovalifolia</i>	Namíbia

Tradicionalmente, em pequenas comunidades rurais, a polpa da semente da *Moringa oleifera*, ou “Lírio Branco” como é conhecida (Okuda *et al*, 1999), é utilizada para remover a turvação de águas para consumo (coagulação-floculação). O método utilizado consiste em colocar num recipiente água bruta em contacto com 2 a 3 sementes de *Moringa* por cada litro de água, dependendo da turvação desta. Após 2 horas de permanência é retirado o sobrenadante, e este é utilizado para consumo (Mendes, Coelho; 2007).

A actividade da *Moringa oleifera* como coagulante deve-se ao facto de as proteínas catiónicas, presentes na composição da sua semente, serem solúveis em água e em contacto com as partículas de carga negativa actuarem, principalmente, pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas.

Desde os anos 80 que são publicados estudos da aplicação da *Moringa oleifera*, extracto activo e sementes com ou sem casca, em vários tratamentos de águas para consumo humano, efluentes industriais e águas residuais, e é feita a análise do seu potencial em macro escala¹³.

Relativamente ao tratamento por coagulação-floculação de águas residuais ou destinadas ao consumo humano, estudos demonstram que a percentagem de remoção de turvação utilizando tanto a semente como o extracto aquoso da *Moringa oleifera* é de 80 a 99% (Okuda *et al*, 1999). Em relação ainda à utilização da semente como coagulante, os testes podem ser feitos utilizando ou não a casca, sendo que sementes sem casca são referidas como mais eficazes (Ndbigengesere, Narasiah; 1998).

A eficiência de remoção da turvação nas etapas de coagulação-floculação utilizando a *Moringa oleifera* é dependente do valor da turvação inicial das amostras de água, sendo o potencial coagulante superior para valores muito elevados de turvação (Bhatia *et al*, 2007a) (Katayon *et al*, 2006).

Tanto a utilização da semente como do extracto aquoso como coagulantes não afecta consideravelmente o pH e a condutividade da água, e sendo a *Moringa oleifera* um produto natural, a sua aplicação, principalmente em águas residuais, é descrita como promissora pois pode reduzir o custo dos produtos químicos utilizados no ajuste de pH (Bhatti *et al*, 2007b).

Na tentativa de melhorar as capacidades coagulantes do extracto activo da *Moringa oleifera* têm sido,

¹³ Ver, por exemplo: (Okuda *et al*, 2001b), (Sharma *et al*, 2007), (Bhuptawat *et al*, 2006), (Akhtar *et al*, 2007), (Mani *et al*, 2007) (Heredia, Martin; 2008), (Bhattacharya *et al*; 1982)

ao longo dos anos, testados vários procedimentos de extracção.

Como referido anteriormente, no componente activo da semente de *Moringa oleifera* foram encontradas proteínas, de elevado peso molecular, que actuam como polímeros orgânicos naturais. Considerando o facto de a solubilidade das proteínas aumentar com a concentração de sal para valores baixos da força iónica do sal (Okuda *et al*, 2001a), são vários os métodos de extracção utilizando sais (como NaCl, KCl) de forma a ampliar a solubilidade do composto activo em soluções aquosas.

Os resultados obtidos utilizando esta técnica revelam que o aumento da eficiência de extracção proporcionado pela solução salina garante um incremento da capacidade de coagulação em cerca de 7,4 vezes, em relação à extracção apenas por água destilada (Okuda *et al*, 2001a). Ainda com a utilização da solução salina NaCl, verifica-se que não há aumento de carbono orgânico dissolvido (COD), desvantagem encontrada na extracção com água destilada (Okuda *et al*, 2001a).

Além de novos meios de extracção, técnicas como a diálise e a utilização de compostos como clorofórmio e butanol, têm demonstrado ser vantajosos na diminuição da matéria orgânica libertada pela *Moringa oleifera*, considerada como fonte de cor, sabor e odor para a água (Okuda *et al*, 1999).

Além da utilização da semente de *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de águas, a sua aplicação pode ser feita como adsorvente.

Relativamente ao tratamento por coagulação-floculação de águas industriais, estudos como Batti em 2007 ou Heredia em 2008, referem a utilização benéfica da semente na remoção de compostos como zinco, cobre, ferro, alumínio, cádmio, crómio e níquel por processos de coagulação-floculação.

Como adsorvente, a semente de *Moringa oleifera* têm demonstrado uma *performance* favorável, como por exemplo, na remoção de compostos orgânicos como o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e o isopropilbenzeno (Akhtar *et al* 2007).

Tanto nos processos de coagulação-floculação ou adsorção, utilizando a semente, a eficiência remoção dos diferentes compostos varia consoante o composto e o seu teor na amostra. Considerando por exemplo os resultados obtidos no estudo de Akhtar em 2007, a remoção do isopropilbenzeno foi considerada a mais eficiente, demonstrando-se com elevado potencial de aplicação em termos industriais no tratamento de águas residuais a baixo custo.

Outros resultados obtidos na remoção de prata e manganês, referem que a semente é particularmente eficaz em águas que apresentam alto teor destes metais (Mendes, Coelho; 2007).

Além de tratamentos usando exclusivamente *Moringa oleifera*, estão também publicados estudos utilizando-a associada a outros compostos químicos. Um exemplo deste tipo de aplicação é a utilização do extracto activo juntamente com floculantes químicos, como NALCO7751, de forma a potenciar o método de clarificação (Bhatia *et al*, 2007b).

A aplicação da *Moringa oleifera* em macro escala, no tratamento de águas (residuais, industriais e para

consumo humano) ainda não reuniu consenso.

As principais dúvidas são de natureza económica, pois a sua aplicação nem sempre se apresenta como a mais vantajosa em comparação com a utilização de compostos químicos (como por exemplo o sulfato de alumínio nas etapas de coagulação floculação).

Em relação ao ambiente também ainda não estão identificados os possíveis impactos que a produção intensiva desta planta pode provocar e quais as suas implicações.

No próprio tratamento de águas para consumo humano, a maior preocupação é em relação ao extracto aquoso da *Moringa oleifera*, pois sendo rico em matéria orgânica (Ghebremichael *et al*, 2005), em nutrientes e em vitaminas, pode interferir com os desinfectantes utilizados nas ETA e fazer aumentar a carga orgânica. Além disto a existência destes compostos é considerada uma desvantagem pois pode favorecer o crescimento microbológico (Bhuptawat *et al*, 2006) (Okuda *et al*, 2001b). A existência de matéria orgânica em excesso pode ainda ser considerada como uma fonte de cor, sabor e odor à água, tornando-a não apreciada pelos consumidores, e fazendo com que tanto a água tratada com o extracto aquoso como com a semente em bruto não deva ser armazenada por mais de 24 horas (Ghebremichael *et al*, 2005).

4

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA ETA DO KIFANGONDO

A Empresa Pública de Águas de Luanda (EPAL) é a instituição responsável pelo tratamento e distribuição de água nesta Província; assim, além de gerir as várias ETA que produzem água para consumo, é responsável pela manutenção e construção das infra-estruturas de abastecimento.

Luanda é abastecida por três estações de tratamento: a ETA de Luanda Sudeste abastecida pelo rio Kwanza, com capacidade actual de tratamento de 135 000 m³/dia; a ETA do Kifangondo com capacidade actual de 138 000 m³/dia de água proveniente do rio Bengo; e a ETA do Candelabro com capacidade actual de 60 000 m³/dia também abastecida pelo rio Bengo.

O conjunto de estações de tratamento que abastece a cidade é semelhante entre si, procedendo, em geral, à mesma sequência de etapas de tratamento. A ETA do Kifangondo (*Figura 3*) está situada na cidade do Bengo, e a água bruta captada, como referido anteriormente, é proveniente do rio com o mesmo nome. Esta ETA foi construída no ano de 1971; porém, a sua estrutura, com o aumento da população em Luanda, foi sendo adaptada às novas necessidades de abastecimento, aumentando a sua capacidade de tratamento.

A ETA do Kifangondo está construída numa das margens do rio, a cerca de 30 km da cidade de Luanda. Neste local, a paisagem envolvente é de vegetação tropical densa e há poucas habitações próximas (*Figura 4*).

Devido aos problemas constantes de energia, esta estação de tratamento foi construída de forma a que, temporariamente, algumas das etapas constituintes do processo de tratamento pudessem ser efectuadas mesmo sem energia (por gravidade).



Fig.3 – Símbolo da ETA o Kifangondo



Fig.4 – Rio Bengo visto da ETA do Kifangondo

A qualidade da água bruta varia ao longo do ano devido ao facto da época das chuvas ocorrer entre os meses de Novembro e Fevereiro, provocando cheias. Nesta época a água é mais turva, apresentando maior quantidade de sólidos em suspensão. As lamas resultantes do processo de tratamento são encaminhadas por bombagem novamente para o rio, a jusante do ponto de captação.

A sequência de tratamento na ETA do Kifangondo (*Figura 5*) é constituída por:

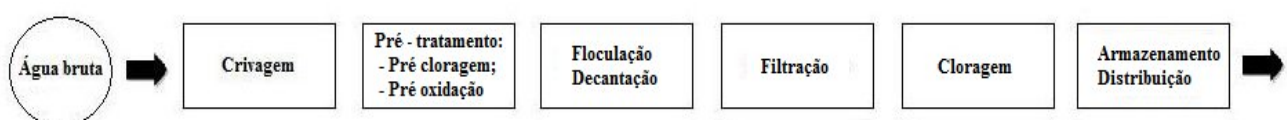


Fig.5 – Esquema de tratamento utilizado pela ETA do Kifangondo

- I. Crivagem - No ponto de captação de água bruta existe um sistema de crivagem (*Figura 6*) que não permite a passagem de folhas ou resíduos sólidos de grandes dimensões, os quais podem entupir o sistema de bombagem e tratamento. A água bruta é captada por um sistema de bombagem constituído por 5 bombas de água bruta com caudal de 1512 m³/h, e é encaminhada para um tanque, *Figura 7*, onde lhe é adicionado manualmente sulfato de alumínio em grão (cerca de 160 sacos, de 50 kg cada um, por dia);



Fig.6 – Zona de gradagem na ETA do Kifangondo



Fig.7 – Zona de mistura de sulfato de alumínio da ETA do Kifangondo

- II. Pré-tratamento: Esta etapa ocorre em condições de mistura rápida (*Figura 8*) para que o sulfato de alumínio adicionado anteriormente actue como coagulante. Também é feita uma pré-cloragem.



Fig.8 – Zona de mistura rápida (coagulação) da ETA do Kifangondo

- III. Floculação e Decantação: Nesta etapa existem repartidores (*Figura 9*) que encaminham a água, por gravidade, para quatro decantadores. Ao longo deste processo de repartição e permanência em tanque, pretende-se que ocorram conjuntamente as etapas de floculação e decantação.



Fig.9 – Zona de floculação e decantação da ETA do Kifangondo

- IV. Filtração: Esta etapa ocorre em tanques (*Figura 10*) cujo fundo está preenchido por areia (cerca de 0,90 m de altura). A água entra pela zona superior do tanque e, por gravidade, é filtrada no leito de areia, lavado a cada três meses.



Fig.10 – Zona de filtração da ETA do Kifangondo

- V. Cloragem: Nesta fase, antes de a água ser encaminhada para um reservatório de água tratada, é adicionada uma última dose de cloro gasoso (cerca de 12 kg/h), *Figura 11*.



Fig.11 – Zona de cloragem da ETA do Kifangondo

A estação de tratamento de águas do Kifangondo é antiga, pelo que só algumas etapas de tratamento são automáticas. A etapa de coagulação é uma das etapas que ainda é feita manualmente introduzindo-se sulfato de alumínio granulado em intervalos de tempo definidos. Esta opção manual também demonstra ser viável pois Luanda tem ainda problemas na sua rede eléctrica, e considerando esta etapa de tratamento primordial, a coagulação será sempre efectuada mesmo com falta de energia.

Em relação à floculação, esta etapa é feita no mesmo tanque que a decantação, não sendo adicionado nenhum produto floculante ao processo. Apesar de, desta forma, estarem envolvidos menores custos em produtos químicos, verifica-se que a decantação não é feita de forma eficiente. A causa mais provável é a pequena dimensão dos flocos formados.

Apesar da sua eficácia, a utilização de sulfato de alumínio na ETA não é uma hipótese sustentável visto que os custos de importação deste composto são elevados. Também o facto de as importações para este país não serem estáveis, é necessário manter este produto em stock sendo que as condições de conservação nem sempre são as mais favoráveis, podendo haver deterioração. As lamas produzidas, ricas em metais, são descarregadas no rio, apresentando um risco ao meio ambiente.

4.2. MATERIAIS E MÉTODOS ANALÍTICOS

A água utilizada nas experiências em laboratório foi colhida na zona de gradagem (*Figura 6*) da ETA. Foram feitas cinco recolhas de água, nas seguintes datas: 22 de Setembro, 2 de Outubro, 6 de Outubro, 3 de Novembro e 19 de Novembro de 2009. Após cada colheita, a água foi transportada para o LESRA em garrações de 50 L.

A temperatura da água bruta após as colheitas, era aproximadamente, aproximadamente 24,7 °C. Já no laboratório a água foi conservada dentro dos garrações à temperatura de 4 °C.

As experiências em laboratório consistiram na realização de ensaios em jarros *Jar Test* para determinação das condições óptimas das etapas de coagulação-floculação usando a semente de *Moringa oleifera* (em bruto e extracto aquoso) como coagulante.

Antes da realização das experiências colocava-se a quantidade de água necessária fora do frigorífico para adquirir a temperatura ambiente (entre 22 e 27 °C). Antes de qualquer ensaio, as amostras eram homogeneizadas.

Os ensaios de coagulação-floculação foram realizados em jarros (aparelho *Jar Test*) de marca Fisher, Bioblock Scientific – Flocculator 11197 (*Figura 12*). A capacidade do equipamento é de 4 jarros em simultâneo, nos quais foram usadas amostras de 1000 mL de água bruta.



Fig.12 – Aparelho *Jar Test*

Para o controlo de pH nos ensaios em jarros (*Jar Test*), utilizaram-se uma solução alcalina e uma solução ácida, respectivamente: solução de Hidróxido de Sódio 6 N e solução de Ácido Clorídrico 6

N. O acerto de pH em cada um dos jarros foi feito antes do início do procedimento operacional em *Jar Test*.

No caso das experiências utilizando como coagulante o extracto activo da *Moringa oleifera*, no fim do tempo de decantação, foi retirada simultaneamente de cada jarro uma amostra para pequenos gobelés, para posterior medição dos valores de pH, turvação e temperatura.

Nas experiências efectuadas com a semente como coagulante, devido à permanência de uma camada de sementes flutuante, as amostras foram retiradas utilizando uma pipeta graduada introduzida a cerca de 2 cm do nível da água. Nas amostras retiradas de 20 mL, foram também medidos os valores de turvação, pH e temperatura com o objectivo de determinar as condições de maior remoção de turvação.

Após a determinação das condições óptimas das etapas de coagulação-floculação, procedeu-se à análise de vários parâmetros de qualidade na água bruta e na água tratada com a *Moringa oleifera* (extracto e semente em bruto).

Para a determinação dos diferentes parâmetros de qualidade, em concordância com o método analítico usado, foram feitas as respectivas calibrações, que podem ser consultadas no *Anexo I*.

Os métodos de análise utilizados são referidos na *Tabela 8* e descritos no *Anexo I*.

Tabela 8- Parâmetros e métodos de análise utilizados no procedimento experimental

Parâmetros analisados	Métodos de análise utilizados	Equipamentos
Nitratos (mg/L NO_3)	Colorimetria (método da brucina)	Espectrofotómetro de marca Cecil CE 292 – Digital Ultraviolet Spectrophotometer $\lambda=410nm$
Cor (mg/L PtCo)	Fotometria	Espectrofotómetro de marca Cecil CE 292 – Digital Ultraviolet Spectrophotometer $\lambda=402nm$
Cor (mg/L PtCo)	Fotometria após filtração	Espectrofotómetro de marca Cecil CE 292 – Digital Ultraviolet Spectrophotometer $\lambda=402nm$
Fósforo (mg/L P)	Colorimetria (método do ácido ascórbico)	Espectrofotómetro de marca Cecil CE 292 – Digital Ultraviolet Spectrophotometer $\lambda=880nm$
Amónia (mg/L NH_4)	Eléctrodo de ião selectivo de amónia	Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH NH 500/2

Parâmetros analisados	Métodos de análise utilizados	Equipamentos
Oxidabilidade ao KMnO_4 (mg/L O_2)	Volumétrico de oxidação-redução	Placa de aquecimento; Agitador magnético – CB 161
Alcalinidade Total (mg CaCO_3 /L)	Titrimetria	Agitador magnético – Stuart stir CB 161
pH	Electrometria	pH by Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (WTW)
Turvação (NTU)	Turbidimetria	Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (TWT) Turb 550
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Gravimetria	Balança - Metter AE 160
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Gravimetria	Balança - Metter AE 160
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Electrometria	Wissenschaftlich-Technische Werkstätten

Durante o trabalho prático usou-se material de vidro como balões, matrizes e pipetas graduadas, assim como vários compostos químicos, referidos em cada método analítico (*Anexo I*). Adicionalmente, foram também utilizados os materiais referidos na *Tabela 9*:

Tabela 9- Materiais utilizados durante o procedimento experimental

Materiais	Marca
Moinho eléctrico	TAURUS
Peneiro (poro 1 mm)	Retsch,
Filtro papel (16 μm)	Whatman – Scheicher & Schuell
Filtro membrana (0,45 μm)	Pall – GelmanSciences
Filtro SST (1,2 μm)	Whatman – Scheicher & Schuell
Bomba de vácuo	Edwars
Estufa	Memmert
COT	Shimadzu, modelo TOC V-CSN

4.3. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

A aplicação da *Moringa oleifera*, como coagulante-floculante neste trabalho foi feita de duas formas: utilizando o seu composto activo extraído com água destilada, e utilizando a semente em bruto.

Como referido anteriormente (*Capítulo 3*), estão citados na literatura vários métodos laboratoriais de extracção do composto activo e de tratamento da semente da *Moringa oleifera* com a finalidade de potenciar as suas propriedades coagulantes (Akhtar *et al*, 2007). Porém, conhecendo o contexto social de Angola, onde as discrepâncias sociais e económicas entre as capitais de província e as aldeias inóspitas são enormes (falta de electricidade, inexistência de redes de saneamento e de estruturas de conhecimento), a utilização deste produto natural terá interesse se a sua aplicação não necessitar de adição de produtos químicos e a sua utilização for simples.

Além disto, sabendo da utilização da semente em estado bruto por pequenas populações, pretende-se estudar até que ponto o método tradicional (contacto da semente em bruto com água) é eficiente, quais os seus inconvenientes, e que vantagens apresenta em relação aos métodos químicos utilizados nas ETA das grandes cidades.

A extracção do composto activo com água destilada mostra ser um método simples, de fácil ensinamento e aplicação, que poderá ser implementado até nas zonas mais carenciadas não necessitando de equipamentos eléctricos nem de elevados custos.

4.3.1. PREPARAÇÃO DA *MORINGA OLEIFERA* COMO COAGULANTE/FLOCULANTE

4.3.1.1. Extracção do componente activo da semente de *Moringa oleifera*

Estão disponíveis na literatura vários processos de extracção do componente activo de *Moringa oleifera*; porém, o procedimento utilizado neste trabalho foi baseado no descrito por Katayon e Noor (2006), como se reporta a seguir:

- a) As sementes (*Figura 13*) foram descascadas (*Figura 14*) e o seu miolo foi triturado num moinho de café;



Fig.13 – Semente da *Moringa oleifera* com casca



Fig.14 – Semente da *Moringa oleifera* sem casca

- b) O pó proveniente da trituração (*Figura 15*) foi posteriormente peneirado para obtenção duma fracção inferior a 1 mm;



Fig.15 – Pó da semente da *Moringa oleifera*

- c) A extracção do composto activo foi feita colocando-se 5000 mg de pó de *Moringa oleifera* em 0,2 L de água destilada (*Figura 16*), com elevada agitação proporcionada por um agitador magnético durante 2 minutos.



Fig.16 – Extração do composto activo da *Moringa oleifera*

- d) O extracto obtido foi filtrado através dum filtro de papel de poro 16 μm e o filtrado foi posteriormente colocado num balão de 500 mL perfazendo-se o volume com água destilada. O extracto obtido nestas condições corresponde uma concentração de 10000 mg de *Moringa oleifera* /L.

Da mistura entre a *Moringa oleifera* e a água destilada resulta um líquido esbranquiçado, de cheiro intenso. Há uma grande formação de espuma que não facilita a filtração. O seu tempo de conservação é limitado visto que se começa a degradar (biodegradação). Por esta razão, procedeu-se à sua produção nos dias de execução dos ensaios em *Jar Test*.

4.3.1.2. Preparação da semente de *Moringa oleifera*

A sua preparação neste trabalho foi feita utilizando um procedimento simples, semelhante ao utilizado pelas comunidades do interior de Angola.

As sementes foram descascadas (*Figura 14*) e o seu miolo foi triturado num moinho de café. O pó foi posteriormente peneirado para obtenção de fracção inferior a 1 mm (*Figura 15*).

4.3.2. OPERAÇÃO EM *JAR TEST*

4.3.2.1. Utilização do extracto aquoso de *Moringa oleifera*

- 1ª Fase dos ensaios *Jar Test* – estudo do efeito da variação da dose de extracto de *Moringa oleifera*:

Para testar a capacidade de remoção de turvação da água bruta com o extracto de *Moringa oleifera*, fez-se variar o volume de extracto adicionado à água bruta ao seu pH

natural nos diferentes jarros do equipamento. Assim, foram adicionados volumes entre 1 e 12 mL de extracto aquoso, a que correspondem concentrações de 10 a 120 mg *Moringa oleifera* /L, respectivamente.

- 2ª Fase dos ensaios *Jar Test* – estudo do efeito da variação de pH:

Nesta etapa pretende-se encontrar o valor óptimo de pH a que deve ser efectuada a coagulação-floculação, usando a dose óptima de extracto de *Moringa oleifera* encontrada na etapa anterior.

- 3ª Fase dos ensaios *Jar Test* – confirmação da dose óptima de coagulante:

Tomando como óptimo o valor de pH encontrado na etapa 2, fez-se variar novamente o volume adicionado de extracto de *Moringa oleifera*, considerando agora uma gama mais estreita de valores.

4.3.2.2. Utilização da semente de *Moringa oleifera*

- 1ª Fase dos ensaios *Jar Test* – estudo do efeito da variação da dose de semente de *Moringa oleifera*:

Para testar a capacidade de remoção de turvação da água bruta usando a semente de *Moringa oleifera* moída, fez-se variar a sua quantidade entre 20 mg e 120 mg nos diferentes jarros do equipamento, a que correspondem concentrações de 20 a 120 mg *Moringa oleifera* /L.

Nesta primeira fase, os ensaios foram realizados ao pH natural da água bruta.

- 2ª Fase dos ensaios de *Jar Test* – estudo do efeito da variação de pH:

Nesta etapa pretende-se encontrar o valor óptimo de pH a que deve ser efectuada a coagulação-floculação, usando a dose óptima de *Moringa oleifera* encontrada na etapa anterior. Assim, procedeu-se à variação dos valores de pH entre 4 e 12.

- 3ª Fase dos ensaios *Jar Test* – confirmação da dose óptima de coagulante:

Tomando como óptimo, o valor de pH encontrado nesta etapa 2, fez-se variar novamente a dose de *Moringa oleifera*.

Cada uma das fases usando o extracto activo ou a semente de *Moringa oleifera* como coagulante

compreende três etapas, coagulação, floculação e sedimentação, cujos tempos e velocidades de agitação são mostrados na *Tabela 10*.

Tabela 10- Variáveis operacionais utilizadas 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)
120	4	30	25	30

Como referido anteriormente, nas fases do estudo da variação de pH, o seu acerto em cada jarro, foi feito antes do procedimento operacional descrito na *Tabela 10*.

Finalizadas as etapas de mistura rápida, lenta e de sedimentação, foram medidos em todos os ensaios os valores de pH, turvação e temperatura. O ensaio com as condições ótimas foi aquele que apresentou menor valor de turvação final.

Em paralelo a todos os ensaios experimentais fez-se também um ensaio em branco, isto é, água bruta ao seu pH natural sujeita aos tempos e agitações definidos, e sem adição de coagulante. Os valores de turvação final e respectiva percentagem de remoção estão definidos na *Tabela 12*.

Após a determinação do ensaio nas condições ótimas do uso de cada coagulante, procedeu-se à determinação de parâmetros de qualidade na água bruta e na água tratada.

5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. EXTRACTO AQUOSO DE *MORINGA OLEIFERA*

Antes da utilização do extracto activo de *Moringa oleifera* (Figura 17), procedeu-se à análise de algumas das suas propriedades, que são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11- Análise do extracto de *Moringa oleifera*

Análise efectuada	Oxidabilidade (mg/L O ₂)	pH	Turvação (NTU)
Extracto de <i>Moringa oleifera</i>	3360	6,4	34,8



Fig.17 Filtração do composto activo da *Moringa oleifera*

A *Tabela 11* mostra que o extracto de *Moringa oleifera* tem um pH ácido e uma turvação muito elevada. Ao longo do tempo, verifica-se que há formação de flocos que vão depositando.

Também se verificou que o valor de oxidabilidade do extracto é muito elevado, indicando uma grande quantidade de matéria orgânica na constituição no extracto de *Moringa oleifera*.

5.2. OPERAÇÃO EM JAR TEST

Como referido anteriormente, todos os ensaios foram acompanhados de um ensaio em branco, ou seja, com água bruta ao seu pH natural sem adição de coagulante. Os valores obtidos de turvação final, percentagem de remoção de turvação, entre outros, estão descritos na *Tabela 12*.

Tabela 12- Percentagem média de remoção de turvação obtida pela água bruta após ensaios *Jar Test*

V_{moringa} (mL)	pH	Temperatura (°C)	Turvação inicial (NTU)	Turvação final (NTU)	%Remoção de turvação
0	7,5	24,6	18,0	6,61	63,3
0	7,5	25,7	17,0	5,60	67,1
0	7,5	25,7	17,0	5,73	66,3
0	7,6	25,5	19,0	8,55	55,0
0	7,4	26,5	25,0	13,9	44,4
0	7,5	24,5	13,0	5,50	57,7
0	7,6	25,5	19,1	8,60	54,9
0	7,5	24,6	15,8	8,37	47,0
Percentagem de remoção média (%)					56,9

Como se verifica na tabela anterior, a temperatura da água esteve na gama desejada.

A água bruta sem qualquer adição de coagulante apresenta uma percentagem de remoção de turvação, consequência da sedimentação natural das partículas em suspensão, de 56,9%. Também pela análise da *Tabela 12* verifica-se que a quantidade de partículas sedimentáveis ao fim do tempo, não é proporcional ao total de partículas.

O pH médio da água bruta é cerca de 7,5. Este valor está compreendido na gama permitida pela legislação portuguesa (*Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto*), a qual estabelece que o pH de uma água destinada ao consumo humano deve situar-se na gama $6,5 < \text{pH} < 9,0$.

5.2.1. OPERAÇÃO EM *JAR TEST* UTILIZANDO O EXTRACTO ACTIVO DE *MORINGA OLEIFERA*

- 1ª Fase dos ensaios *Jar Test* – estudo do efeito da variação da dose de extracto de *Moringa oleifera*:

Como referido anteriormente, nesta fase dos ensaios, foram adicionados às amostras de água bruta ao seu pH natural, diferentes volumes de extracto de *Moringa oleifera*.

Assim, com o objectivo de determinar a dose de *Moringa* para a qual ocorre a maior remoção de turvação, foram medidos em todos os jarros os valores de pH, temperatura e turvação antes e após cada ensaio que compreende as etapas de coagulação, floculação e sedimentação.

O valor de turvação final obtido e a percentagem de remoção da turvação em função da dose de *Moringa oleifera*, estão representadas nas Figuras 18 e 19.

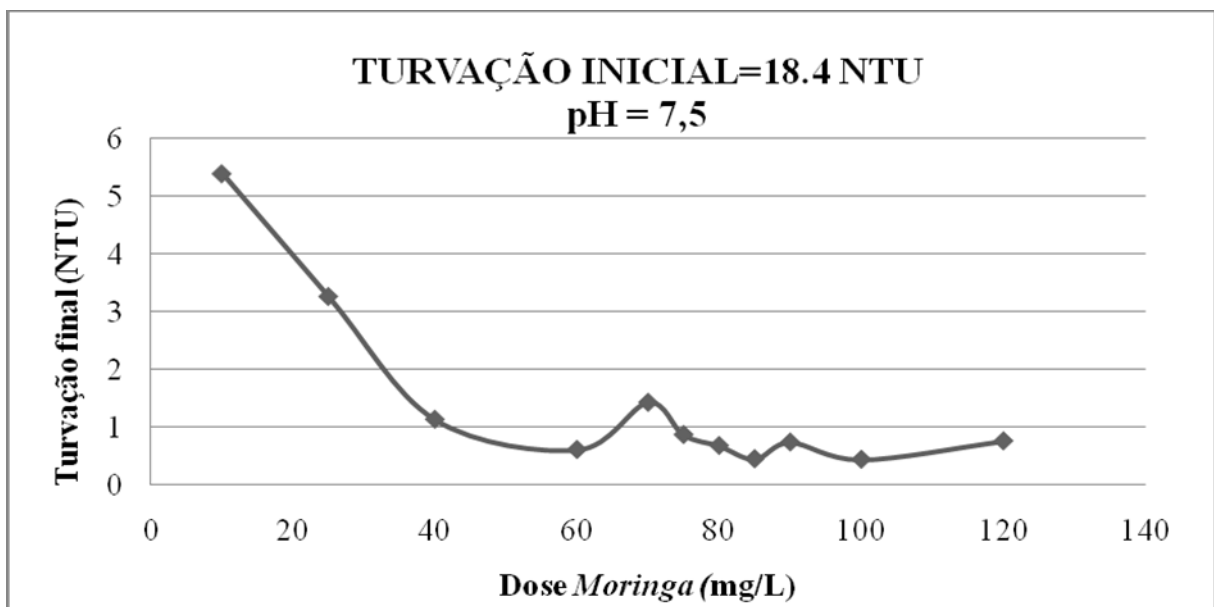


Fig.18 Variação da turvação final com a dose de extracto da *Moringa oleifera*

A Figura 18 mostra que para doses de *Moringa oleifera* superiores a 20 mg/L o valor da turvação final obtido é inferior a 4 NTU.

Observa-se ainda que para doses superiores a 80 mg/L a turvação final obtida é inferior a 1 NTU.

A dose óptima de coagulante é aproximadamente 80 mg/L, sendo este o valor para o qual o extracto de *Moringa oleifera* tem maior capacidade de remoção de turvação.

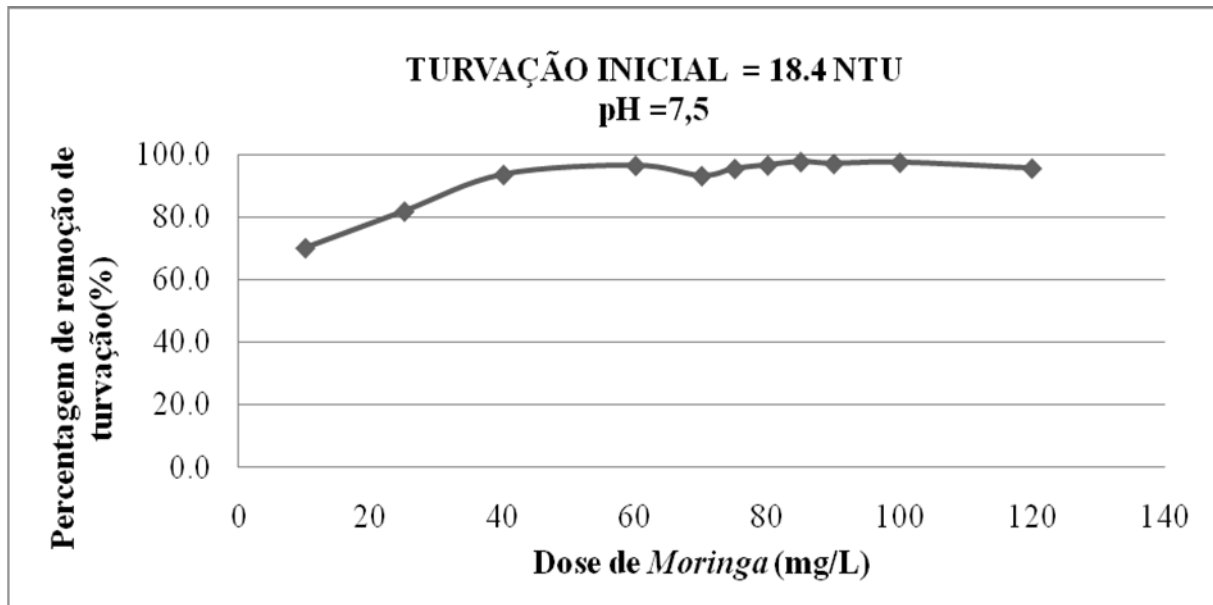


Fig.19 Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de extracto da *Moringa oleifera*

A Figura 19 mostra que com doses superiores a 60 mg/L já se consegue uma percentagem de remoção de turvação superior a 90%.

Também se observa que, mesmo utilizando uma dose de 10 mg/L, a percentagem de remoção de turvação é superior à média obtida nos ensaios em branco (Tabela 11).

- 2ª Fase dos ensaios *Jar Test* – estudo do efeito da variação de pH:

Esta fase teve como principal objectivo encontrar o valor óptimo de pH a que deve ser efectuada a coagulação, usando a dose óptima de *Moringa oleifera* encontrada na etapa anterior (80 mg/L).

Assim, variou-se o valor de pH entre 4 e 12 de forma a abranger as gamas de pH alcalino e pH ácido.

Os valores de turvação final e percentagem de remoção em função dos diferentes valores de pH estão representados nas Figuras 20 e 21:

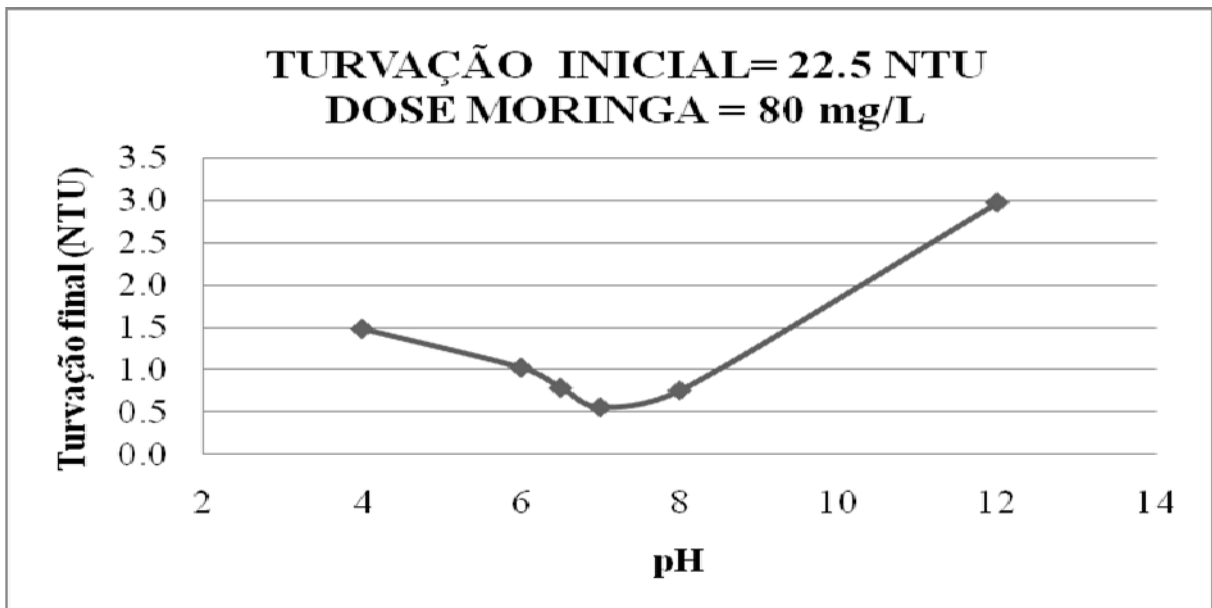


Fig.20 Variação da turbidez final com o valor de pH, a dose de extracto de *Moringa oleifera* fixa

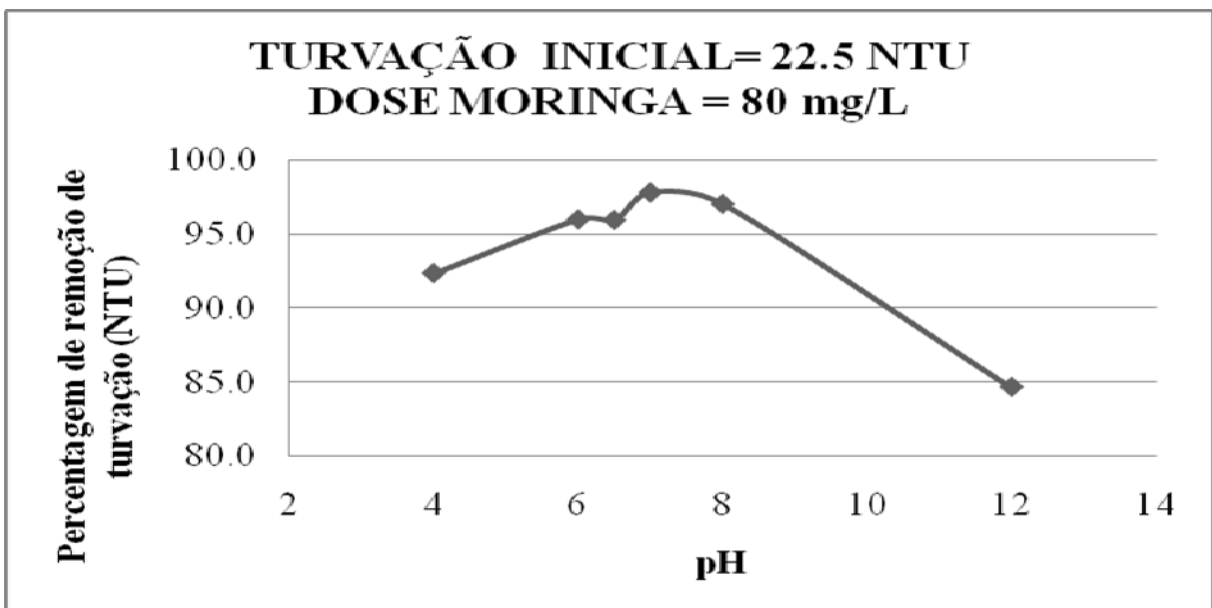


Fig.21 Variação da percentagem de remoção da turbidez com valor de pH, a dose de extracto de *Moringa* fixa

Nas Figuras 20 e 21 verifica-se que a eficiência de remoção da turbidez não é muito dependente dos valores de pH. Porém, observa-se que foram obtidos menores valores de turbidez nas amostras a pH ácido e neutro (entre pH 4 e 7).

O pH óptimo encontrado foi 7 e este valor encontra-se na gama desejada para águas destinadas ao consumo humano.

- 3ª Fase dos ensaios de *Jar Test* – confirmação da dose óptima de coagulante:

Tomando como óptimo o pH 7, encontrou-se novamente o volume adicionado de extracto de *Moringa oleifera* considerando agora uma gama mais estreita de valores (6 a 9 mL).

Os resultados obtidos para a turvação final e percentagem de remoção de turvação estão representados nas Figuras 22 e 23.

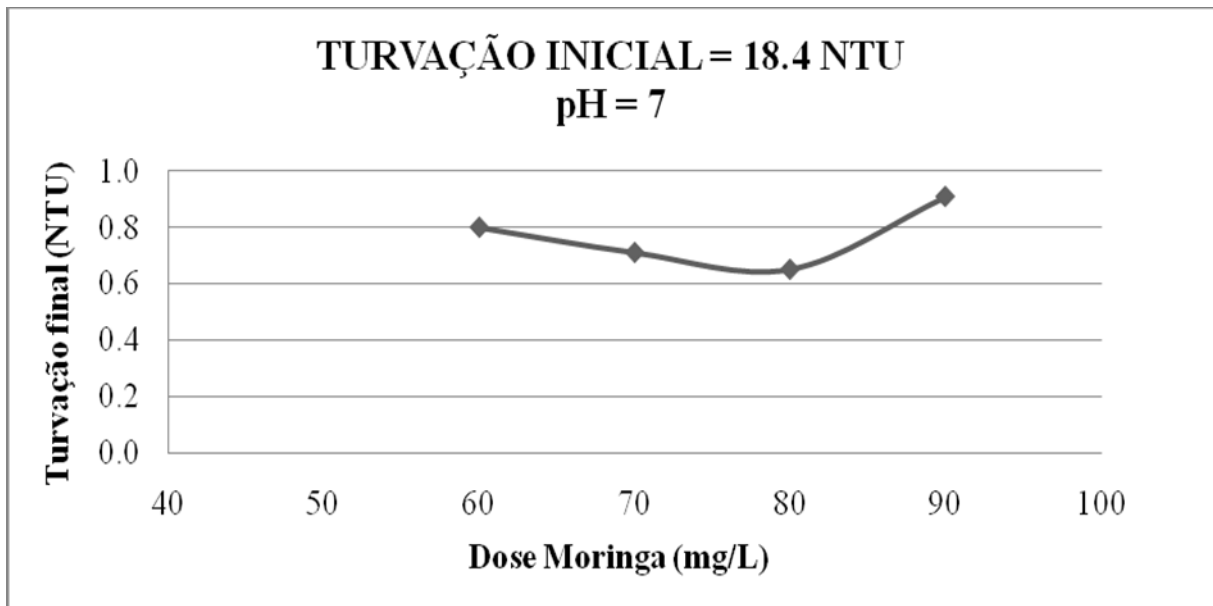


Fig.22 Variação da turvação final com a dose de extracto de *Moringa oleifera*, a pH fixo

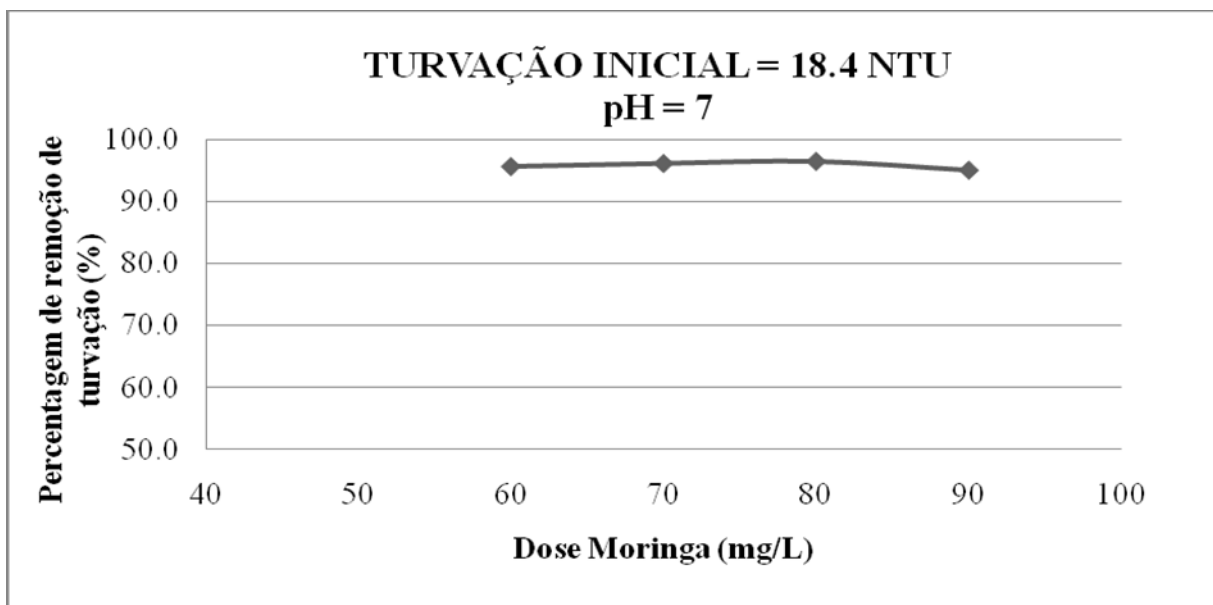


Fig.23 Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de extracto de *Moringa oleifera*, a pH fixo

As Figuras 22 e 23 demonstram, mais uma vez, que a dose de coagulante óptima a pH óptimo é 80 mg/L. Nestas condições, o valor obtido de turvação final é inferior a 0.7 NTU, correspondendo uma percentagem de remoção superior a 96%.

5.2.1.2. Determinação de parâmetros de qualidade após operação em *Jar Test* com extracto activo de *Moringa oleifera*

Encontradas as condições óptimas em *Jar Test*, procedeu-se à determinação de vários parâmetros de qualidade da água, quer em bruto, quer após o ensaio de coagulação-floculação. O objectivo destas determinações é perceber de que forma o tratamento efectuado com extracto de *Moringa oleifera* tem influência nos valores dos vários parâmetros analisados, e determinar assim a viabilidade do processo de purificação.

A Tabela 13 mostra os resultados obtidos nas diferentes análises, o método de análise utilizado e os limites legais estabelecidos no *Decreto-Lei n° 306/2007, de 27 de Agosto* e pela EPAL, para os vários parâmetros de qualidade de água para consumo humano.

Tabela 13- Parâmetros de qualidade de água antes e após procedimento *Jar Test* com extracto de *Moringa oleifera*

	Método de análise utilizado	Água Bruta	Água tratada (condições óptimas)	Valor máximo admissível <i>Decreto-Lei n° 306/2007</i> ¹⁴	Valor decretado pela EPAL
Nitratos (mg/L NO_3)	Colorimetria (método da brucina)	< 1,0	< 1,0	50	50
Cor (mg/L PtCo)	Fotometria	35,5	<1,0	-	-
Cor (mg/L PtCo)	Fotometria após filtração	<1,0	<1,0	20	15

¹⁴ Decreto-Lei n° 306/2007, de 27 de Agosto. *Diário da Republica* n°164 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

	Método de análise utilizado	Água Bruta	Água tratada (condições óptimas)	Valor máximo admissível decreto-lei n° 306/2007	Valor decretado pela EPAL
Fósforo (mg/L P)	Colorimetria (método do ácido ascórbico)	<0,15	<0,15	-	-
Amónia (mg/L NH₄)	Eléctrodo de ião selectivo de amónia	0,18	0,19	0,50	0,50
Oxidabilidade ao KMnO₄ (mg/L O₂)	Volumétrico de oxidação-redução	8,1	31,2	5,0	2,0
Alcalinidade Total (mg CaCO₃/L)	Titrimetria	100,9	100,9	-	-
pH	Electrometria	7,5	7,5	6,5<pH<9,0	6,5<pH<8,5
Turvação (NTU)	Turbidimetria	18.4	0.7	4.0	5.0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Gravimetria	134,3	-	-	-
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Gravimetria	-	-	-	-
Condutividade (µS/cm)	Electrometria	196	246	2500	500

Conclui-se a partir da Tabela 13 que, exceptuando o valor da oxidabilidade, todos os outros parâmetros se encontram abaixo do valor estipulado pela legislação portuguesa e pelas normas de qualidade da EPAL.

O tratamento com o extracto aquoso de *Moringa oleifera* faz diminuir substancialmente a cor e a turvação da água.

Relativamente ao fósforo, verifica-se que o seu valor está abaixo do limite de detecção do método utilizado. A concentração em nitratos é inferior aos limites estabelecidos.

A turvação é reduzida a 0.7 NTU. Com a redução de turvação, não existem praticamente sólidos no sobrenadante após o tratamento.

A condutividade eléctrica aumenta após o tratamento nas condições óptimas; contudo, os valores são inferiores aos valores normativos.

Após o tratamento, o valor de oxidabilidade ultrapassa os limites impostos tanto pela legislação como pela EPAL.

Relativamente à água bruta, esta enquadra-se na classe A1, segundo a legislação portuguesa referida na *Tabela 5*, que classifica as águas superficiais relativamente ao tipo de tratamento para posterior abastecimento, estando os diferentes parâmetros compreendidos entes os limites estipulados.

5.2.2. OPERAÇÃO EM *JAR TEST* UTILIZANDO A SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA*

- 1ª Fase dos ensaios *Jar Test* – estudo do efeito da variação da dose de semente de *Moringa oleifera*:

Para testar a capacidade de remoção de turvação da semente em bruto de *Moringa oleifera*, fez-se variar a sua concentração nos vários ensaios em *Jar Test*. Assim, foram adicionadas massas de semente na gama de 20 mg a 120 mg, a que correspondem concentrações de 20 a 120 mg *Moringa oleifera* /L, respectivamente.

O pH médio da água bruta está novamente compreendido na gama permitida pelas normas de qualidade de água para consumo humano.

As *Figuras 24 e 25* mostram respectivamente a turvação final e a percentagem de remoção obtida nos vários ensaios utilizando a semente em bruto.

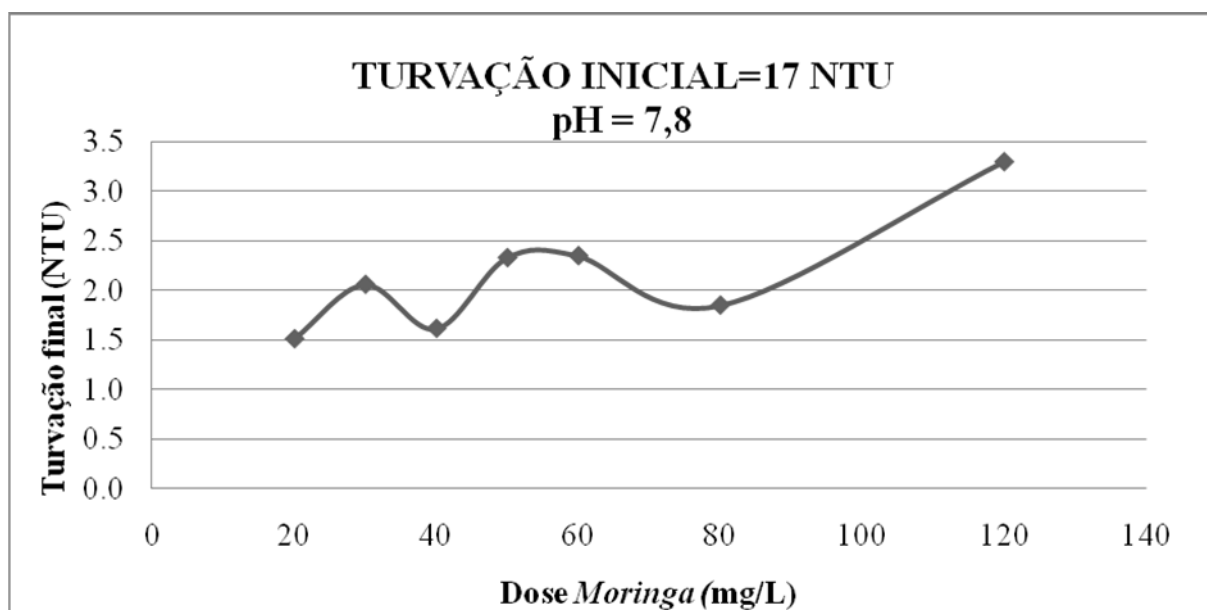


Fig.24 Variação da turvação final com a dose de semente da *Moringa oleifera*

Pela análise da *Figura 24* observa-se que para doses de semente entre 20 e 80 mg/L, os valores de turvação final encontram-se abaixo de 2.5 NTU.

A *Figura 24* mostra ainda que para doses de *Moringa oleifera* superiores a 80 mg/L o valor da turvação final é superior ao obtido nas restantes concentrações.

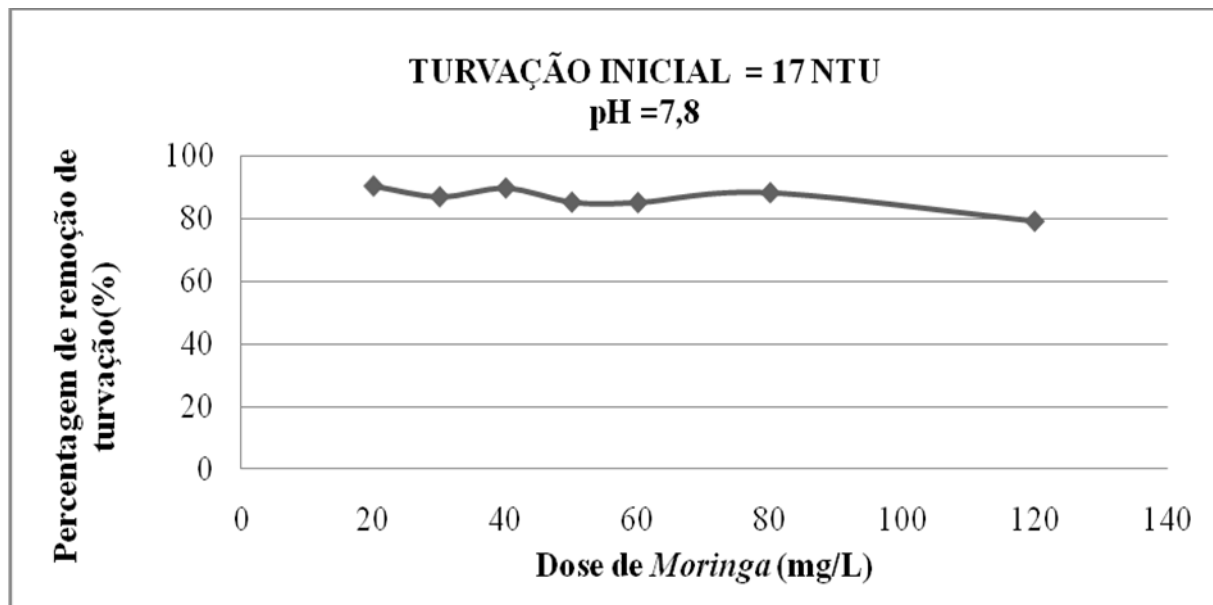


Fig.25 Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de semente de *Moringa oleifera*

Pela análise da *Figura 25*, a dose óptima de coagulante é 40 mg/L sendo este o valor para o qual a massa de semente de *Moringa oleifera* tem maior capacidade de remoção de turvação. Para qualquer dosagem de coagulante, os valores de percentagem de remoção de turvação são superiores a 80%.

- 2ª Fase dos ensaios *Jar Test* – estudo do efeito da variação de pH:
Esta fase teve como objectivo encontrar o valor óptimo de pH a que deve ser efectuada a coagulação, usando a dose óptima de semente de *Moringa oleifera* encontrada na etapa anterior (40 mg/L). Os valores de turvação final e respectiva percentagem de remoção de turvação podem ser encontrados nas *Figuras 26 e 27*.

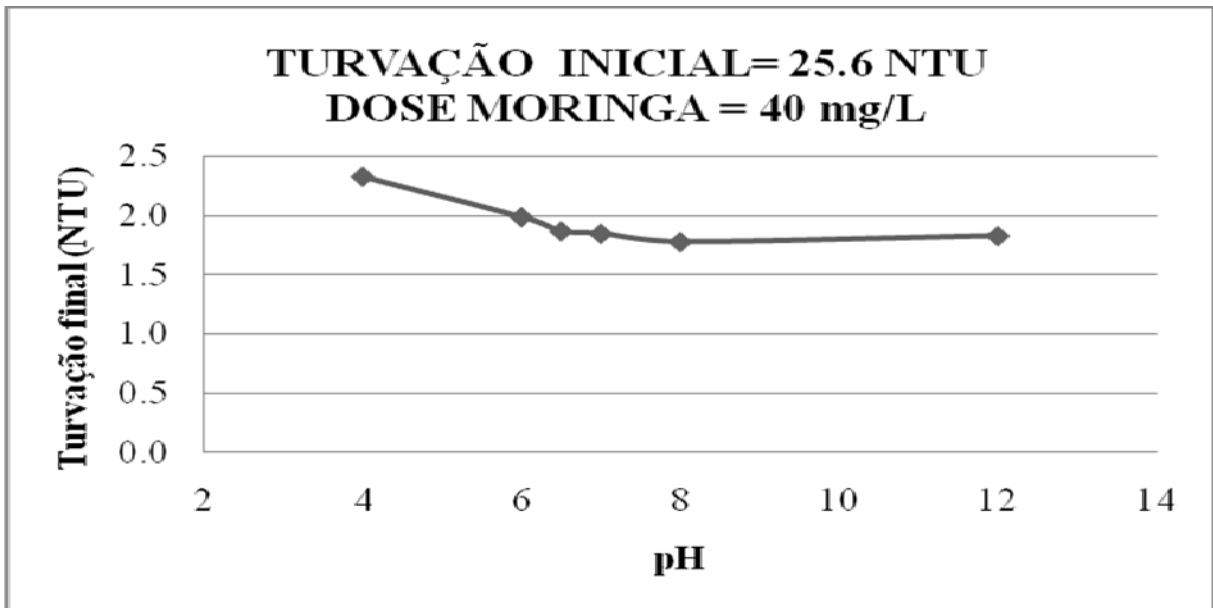


Fig.26 Variação da turbidez final como o pH, a dose de semente de *Moringa oleifera* fixa

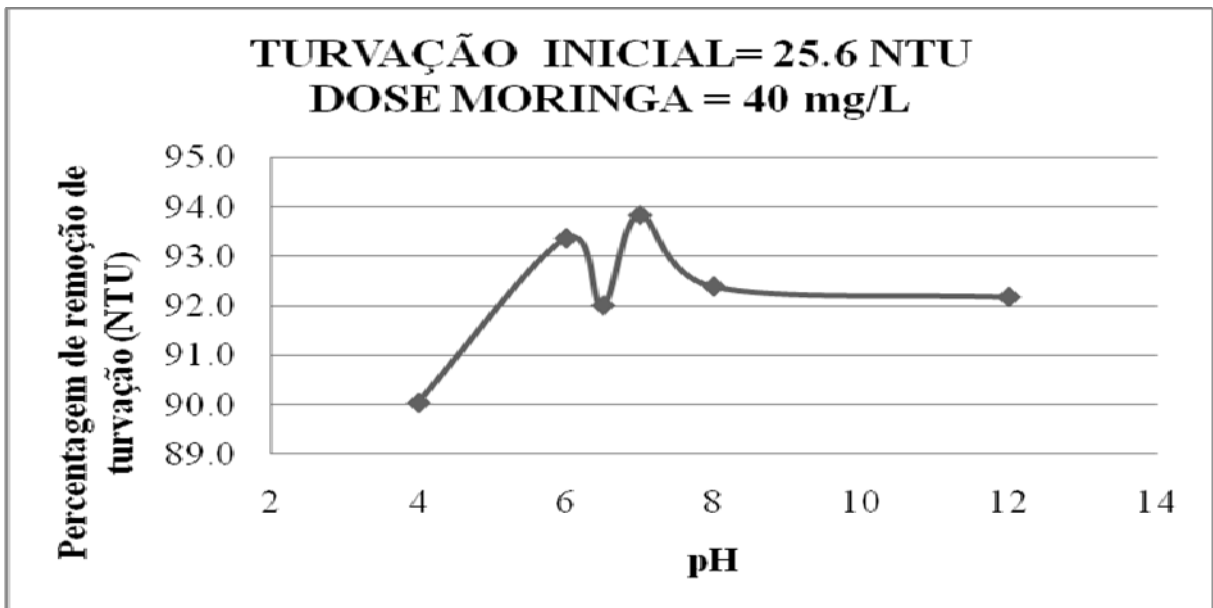


Fig.27 – Variação da porcentagem de remoção da turbidez com o pH, a dose de semente de *Moringa oleifera* fixa

Apesar da porcentagem de remoção da turbidez ser sempre superior a 90%, o comportamento da remoção de turbidez usando a semente de *Moringa oleifera* altera com a variação do pH.

Para valores de pH alcalino e neutro, a porcentagem de remoção de turbidez é superior à observada na gama ácida.

O pH ótimo encontrado foi 7 sendo para este valor a porcentagem de remoção de turbidez de 94% a

que corresponde uma turvação final de 1.7 NTU.

Este valor de pH encontra-se na gama pretendida para águas destinadas ao consumo humano.

- 3ª Fase dos ensaios *Jar Test* – confirmação da dose ótima de semente:

Tomando como ótimo o pH=7, encontrou-se novamente a dose de *Moringa oleifera*.

Os resultados obtidos para a turvação final e percentagem de remoção de turvação estão representados *Figuras 28 e 29*.

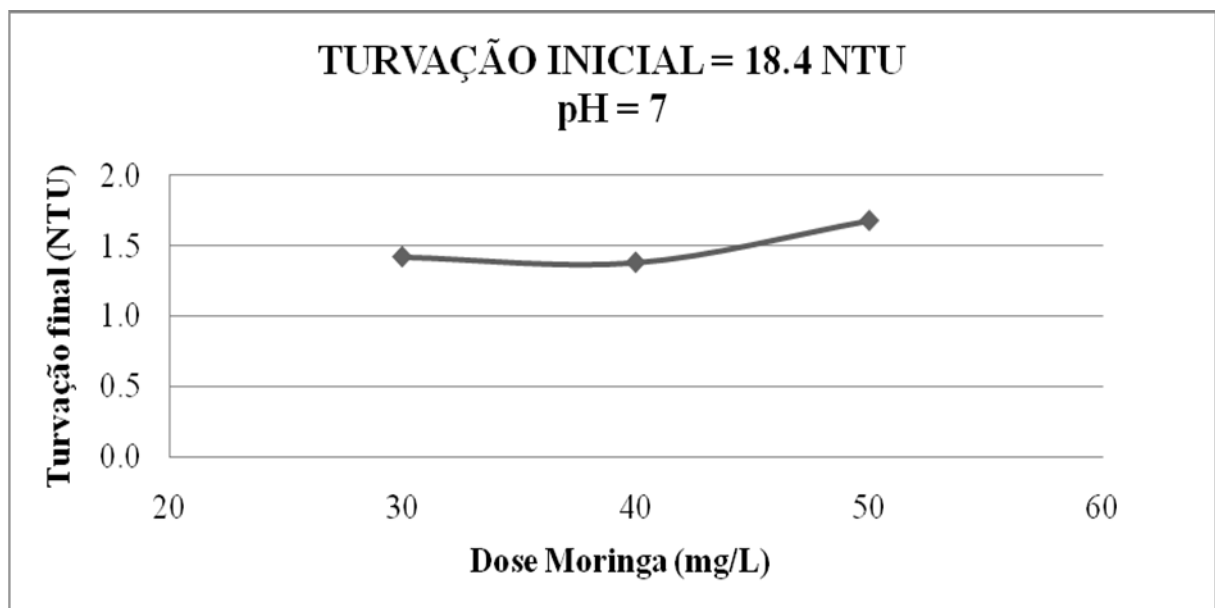


Fig.28 Variação da turvação final com a dose de semente de *Moringa oleifera*, a pH fixo

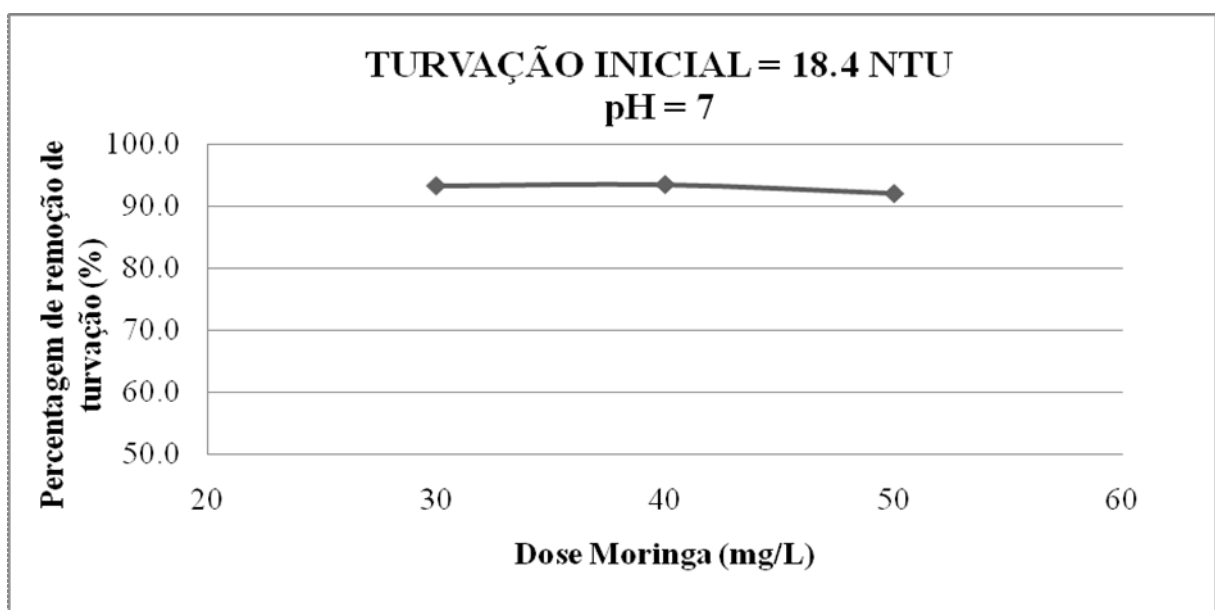


Fig.29 Variação da percentagem de remoção de turvação com a dose de semente de *Moringa oleifera*, a pH fixo

As Figuras 28 e 29 demonstram, mais uma vez, que a dose óptima de semente moída a pH óptimo é 40 mg/L. Com esta dose, o valor obtido de turvação final é inferior a 1.5 NTU, correspondendo uma percentagem de remoção superior a 93%.

Nas fases anteriores verifica-se que, com a utilização da semente *Moringa oleifera* como coagulante, a redução de turvação é sempre superior à obtida nos ensaios em branco.

5.2.2.1. Determinação de parâmetros de qualidade após operação em *Jar Test* com a semente de *Moringa oleifera*

Mais uma vez foram encontradas as condições óptimas no *Jar Test*, e procedeu-se à determinação de vários parâmetros de qualidade da água, quer em bruto, quer após o ensaio de coagulação-floculação. O objectivo destas determinações é perceber de que forma o tratamento com a semente de *Moringa oleifera* influi nos valores dos parâmetros analisados, e determinar assim a viabilidade do processo de purificação.

A Tabela 14 indica os resultados obtidos nas diferentes análises, o método de análise e os valores guia estabelecidos pela EPAL e pela legislação portuguesa, para os diferentes parâmetros de qualidade de água para consumo humano.

Tabela 14- Parâmetros de qualidade de água antes e após procedimento *Jar Test* com semente em bruto de *Moringa oleifera*

	Método de análise utilizado	Água Bruta	Água tratada (condições óptimas)	Valor máximo admissível Decreto-lei nº 306/2007 ¹⁵	Valor decretado pela EPAL
Nitratos (mg/L NO₃)	Colorimetria (método da brucina)	3,7	5,3	50	50
Cor (mg/L PtCo)	Fotometria	41,7	15,9	-	-
Cor (mg/L PtCo)	Fotometria após filtração	<1,0	<1,0	20	15

¹⁵Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto. *Diário da Republica* nº164 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

	Método de análise utilizado	Água Bruta	Água tratada (condições ótimas)	Valor máximo admissível Decreto-lei n° 306/2007 ¹⁶	Valor decretado pela EPAL
Fósforo (mg/L P)	Colorimetria (método do ácido ascórbico)	<0,15	<0,15	-	-
Amónia (mg/L NH₄)	Eléctrodo de ião selectivo de amónia	1,84	2,50	0,50	0,50
Oxidabilidade ao KMnO₄ (mg/L O₂)	Volumétrico de oxidação-redução	5,9	23,7	5,0	2,0
Alcalinidade Total (mg CaCO₃/L)	Titrimetria	283,2	188,8	-	-
pH	Electrometria	7,5	7,2	6,5<pH<9,0	6,5<pH<8,5
Turvação (NTU)	Turbidimetria	15,8	1,86	4,0	5,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Electrometria	85	148	-	-
Condutividade (µS/cm)	Electrometria	193	337	2500	500

Pela análise da *Tabela 14*, verifica-se que a amostra de água bruta usada neste estudo tem uma qualidade inferior à da colheita usada para o estudo do extracto da *Moringa oleifera*; mesmo assim, enquadra-se, segundo a legislação portuguesa, na classificação de água bruta que pode ser utilizada para abastecimento público mediante tratamento A1.

A utilização de semente de *Moringa oleifera* como coagulante/floculante nas condições ótimas determinadas em *Jar Test* faz aumentar a concentração de nitratos. Porém, tanto a água bruta como a água tratada estão dentro dos limites estipulados por Portugal e pela EPAL de Angola.

Em relação à cor aparente, verifica-se que em comparação com o extracto activo, a semente não tem o mesmo poder de remoção.

¹⁶ Fonte: Decreto-Lei n° 306/2007, de 27 de Agosto. *Diário da Republica* n°164 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

A cor determinada é resultado da semente *Moringa oleifera* permanecer na superfície do sobrenadante, e necessitar de um tempo de decantação mais elevado.

A concentração de fósforo é inferior ao limite de detecção do método de análise.

O valor de amónia não cumpre os limites indicados tanto na amostra em bruto como na amostra utilizando as condições óptimas.

O valor de oxidabilidade da água tratada é superior ao valor estabelecido pelas normas de qualidade; contudo, o valor obtido é mais favorável, comparando com o valor determinado na utilização do extracto activo.

O valor da alcalinidade é reduzido após o tratamento com a semente de *Moringa oleifera*.

Com a redução de turvação, existem sólidos em suspensão na superfície do sobrenadante.

A condutividade eléctrica aumenta após o tratamento nas condições óptimas, mas os valores são aceitáveis.

5.3. OXIDABILIDADE DA *MORINGA OLEIFERA*

A partir da análise dos parâmetros da qualidade da água tratada, mostradas nas *Tabelas 13 e 14*, constata-se que, tanto o extracto aquoso activo como a semente em bruto da *Moringa oleifera* libertam para a amostra de água bruta uma quantidade elevada de matéria orgânica.

Na tentativa de colmatar esta desvantagem no processo de tratamento da água bruta com a *Moringa*, procedeu-se à realização de alguns ensaios laboratoriais que se descrevem em seguida.

5.3.1. ENSAIOS COMPLEMENTARES COM O EXTRACTO ACTIVO DA *MORINGA OLEIFERA*

A análise da *Tabela 13* revela que, após o tratamento da água bruta com o extracto da *Moringa oleifera* o valor da oxidabilidade da água tratada, medido em meio alcalino a quente, é muito elevado.

Na tentativa de investigar se o extracto da *Moringa oleifera* (4.3.1.1) poderia estar a afectar a análise de oxidabilidade, procedeu-se à determinação do seu teor de Carbono Orgânico Total (COT).

Utilizando a semente sujeita a um primeiro procedimento de extracção (4.3.1.1), executou-se uma segunda extracção do composto activo da *Moringa oleifera* e analisou-se também o seu valor de COT. Após detectar que este segundo extracto tinha um teor de COT inferior ao do primeiro extracto, como mostra a *Tabela 15*, procedeu-se a um ensaio *Jar Test* com ambos os extractos, nas condições óptimas, de modo a averiguar se o extracto resultante da segunda extracção mantinha o poder coagulante.

Na *Tabela 15* são também referidos os valores de turvação inicial de água bruta e de turvação final de água tratada com os dois tipos de extracto de *Moringa oleifera*.

Tabela 15- Análise de COT e da capacidade de remoção de turvação do 1º e 2º extractos de *Moringa oleifera*

Análise efectuada	COT (mg/L COT)	Turvação inicial (NTU)	Turvação final (NTU)	% Remoção de turvação após ensaio <i>Jar Test</i>
1º Extracto de <i>Moringa oleifera</i>	1266,6	19.8	1.91	90,4
2º Extracto de <i>Moringa oleifera</i>	74,72	19.8	8.92	54,9

O extracto resultante de uma segunda extracção da semente de *Moringa oleifera*, como referido anteriormente, possui uma menor quantidade de COT; contudo, quando submetido ao ensaio *Jar Test* nas condições óptimas, revela um poder coagulante muito inferior ao do primeiro extracto de *Moringa oleifera*.

Ainda na tentativa de verificar se, ao alterar alguma variável do procedimento experimental de preparação do extracto de *Moringa* se conseguia reduzir o valor da oxidabilidade da água tratada com esse extracto, fez-se também a filtração do extracto do composto activo utilizando um filtro de membrana de poro 0,45 µm. Os resultados são mostrados na *Tabela 16*.

Tabela 16- Manipulações do extracto activo de *Moringa oleifera* usando diferentes filtros

		pH	Oxidabilidade (mg/L O ₂)	Turvação (NTU)	Percentagem de remoção de turvação (%)
Extracto <i>Moringa</i>	Filtro papel 16 µm.	6,4	3360	37	-
	Filtro membrana 0,45 µm	6,4	2960	3.57	-
Condições iniciais Antes <i>Jar Test</i>	Água bruta	7,5	8,08	15.8	-

		pH	Oxidabilidade (mg/L O ₂)	Turvação (NTU)	Percentagem de remoção de turvação (%)
Condições finais Após Jar Test	Água tratada Filtro papel 16 µm	7	31,2	2.43	84,6
	Água tratada Filtro membrana 0,45 µm	7	29,6	1.78	88,7
	Branco	7,6	6,24	8.37	47,0

Como se verifica na *Tabela 16*, existe uma grande diferença entre os valores de turvação apresentados pelos dois extractos, sendo o extracto obtido pelo filtro de papel muito mais turvo que o obtido por filtro de membrana. O valor do pH de ambos os extractos é igual.

Em relação à oxidabilidade, a do extracto de filtro de 0,45 µm é inferior à do filtro de papel; consequentemente, é também menor a introdução de matéria orgânica na amostra após ensaios nas condições óptimas do *Jar Test*.

Ainda na *Tabela 16*, verifica-se que o filtro utilizado na filtração do extracto não interfere no poder de coagulação do extracto, sendo que a percentagem de remoção de turvação obtida pelos dois filtros é muito semelhante.

Apesar da água tratada com o filtro de membrana apresentar uma redução no valor de oxidabilidade, o valor de matéria orgânica é ainda superior aos limites de aceitação.

A água bruta tem um valor de oxidabilidade superior ao limite legal.

Pela análise do comportamento da água bruta antes e depois do ensaio *Jar Test*, as partículas em suspensão contribuem igualmente para a oxidabilidade sendo que, mesmo não havendo introdução de composto activo, há uma redução de turvação na amostra, havendo também diminuição do valor da matéria orgânica.

5.3.2. ENSAIOS COMPLEMENTARES COM A SEMENTE DA *MORINGA OLEIFERA*

Para averiguar o grau de introdução de matéria orgânica na água pela semente de *Moringa oleifera*, procedeu-se a um estudo mais intensivo deste fenómeno.

Assim, foram colocadas diferentes doses de semente de *Moringa oleifera* (4.3.1.2) em contacto com água destilada e com água bruta durante 24 horas à temperatura de 25 °C. Após o contacto, as amostras foram filtradas em filtro de membrana de poro 0,45 µm de porosidade. Os resultados obtidos podem ser consultados na *Tabela 17*.

Tabela 17- Oxidabilidade da água após contacto com a semente da *Moringa oleifera*

Tipo de água	Massa de Moringa (g)	Oxidabilidade (mg/L O ₂)
Água bruta	0	5,33
Água destilada	0	0,39
Água bruta	0,0050	5,49
Água bruta	0,0103	6,12
Água destilada	0,0049	3,4
Água destilada	0,0105	3,61

Pela análise da Tabela 17, conclui-se que em contacto com a água bruta durante 24 horas, a massa de 0,0050 g praticamente não faz alterar a quantidade de matéria orgânica na amostra.

Porém, em contacto com água bruta em dose superior, a *Moringa oleifera* faz aumentar em cerca de 20 % a matéria orgânica da amostra.

A amostra de água destilada, após o contacto de 24 horas com a semente de *Moringa oleifera*, apresenta-se com um teor de matéria orgânica muito semelhante nas duas dosagens.

A água bruta tem uma oxidabilidade superior à permitida legalmente.

De forma a compreender o valor de COT libertado pela semente, procedeu-se à sua análise utilizando os seguintes procedimentos:

- Colocou-se a semente de *Moringa oleifera* em bruto (4.3.1.2) em contacto com 100 mL de água destilada durante 24 horas;
- Procedeu-se à extracção do composto activo (4.3.1.1). A semente sem extracto foi submetida a secagem durante dois dias a 60 °C. Depois de seca, foi colocada em contacto com 100 mL de água destilada durante 24 horas;

Durante o tempo de contacto as amostras foram sujeitas a agitação rápida (com agitador magnético) à temperatura de 25 °C. Após os ensaios, as amostras foram filtradas por filtros de diferentes tamanhos de poro. Os resultados obtidos são referidos na Tabela 18.

Tabela 18- Análise de COT introduzido pela semente de *Moringa oleifera*

Tipo de semente de Moringa	Massa (g)	Tipo filtro (Particle retention em μm)	COT (mg COT /L)
Bruto	0,3106	0,2	314,3
Bruto	0,3112	0,2	306,7
Após extracção	0,0818	8	39,65
Após extracção	0,0810	8	41,42
Após extracção	0,0810	0,2	22,70
Após extracção	0,0810	0,2	22,85

Da análise da *Tabela 18*, verifica-se que a amostra em contacto com a semente sem extracto tem um teor de COT muito inferior ao obtido com a semente em bruto.

Em relação à semente em bruto, esta introduz na água destilada uma quantidade média de 310,5 mg COT/L.

O tamanho do poro do filtro interfere na quantidade de matéria orgânica detectada pelo método de análise, sendo que a filtração por filtro de menor tamanho de poro faz com que o teor de COT seja menor.

5.4. EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO

A temperatura desempenha um papel de grande importância sobre a viscosidade da água, havendo uma redução da viscosidade com o aumento da temperatura.

Durante a execução dos ensaios em *Jar Test* a temperatura foi mantida sempre numa gama de valores definida, pois ensaios com a mesma água a temperaturas diferentes podem conduzir a resultados desiguais, uma vez que a temperatura influi significativamente na viscosidade da água, fazendo com que a deposição das partículas seja diferente.

Neste subcapítulo, fizeram-se experiências de modo a estudar o comportamento do extracto coagulante da *Moringa oleifera* numa água bruta com temperatura inferior à existente nos rios em Angola.

Assim, considerando que o clima deste país é tropical e a temperatura da água bruta é raramente

inferior a 17 °C, as amostras de água bruta utilizadas na experiência seguinte foram mantidas abaixo desta temperatura.

Depois de determinadas as condições ótimas de aplicação do extracto de *Moringa oleifera* à temperatura ambiente (5.2.1), fizeram-se paralelamente dois ensaios, um à temperatura ambiente e outro à temperatura de 14 °C. Na *Tabela 19* estão referidos os valores obtidos após o ensaio em *Jar Test*.

Tabela 19- Análise do comportamento do extracto de *Moringa oleifera* a baixa temperatura

Dose <i>Moringa</i> (mL)	pH	Temperatura (°C)	Turvação inicial (NTU)	Turvação final (NTU)	%Remoção turvação
80	7	22,1	13	0.76	94,2
80	7	14,0	13	0.9	93,1
0	7	22,1	13	5.6	56,9
0	7,5	22,1	13	5.5	57,7

A remoção de turvação a baixa temperatura foi ligeiramente inferior à encontrada nos ensaios a temperatura ambiente; contudo, em ambos os casos, a turvação final está muito abaixo do limite legal.

Comparando os valores obtidos neste ensaio em *Jar Test* com os obtidos em condições semelhantes anteriormente (5.2.1), a percentagem de remoção de turvação foi inferior. Isto poderá ser consequência do facto de amostra de água bruta utilizada ter uma turvação inicial inferior, e a *Moringa oleifera* ter maior poder coagulante em águas de turvação elevada.

De forma a verificar o comportamento da água fria tratada com diferentes doses de extracto de *Moringa*, fez-se a primeira fase de ensaios *Jar Test* fazendo variar o volume de extracto aquoso de *Moringa oleifera*. As *Figuras 30 e 31* mostram os resultados obtidos nestas experiências.

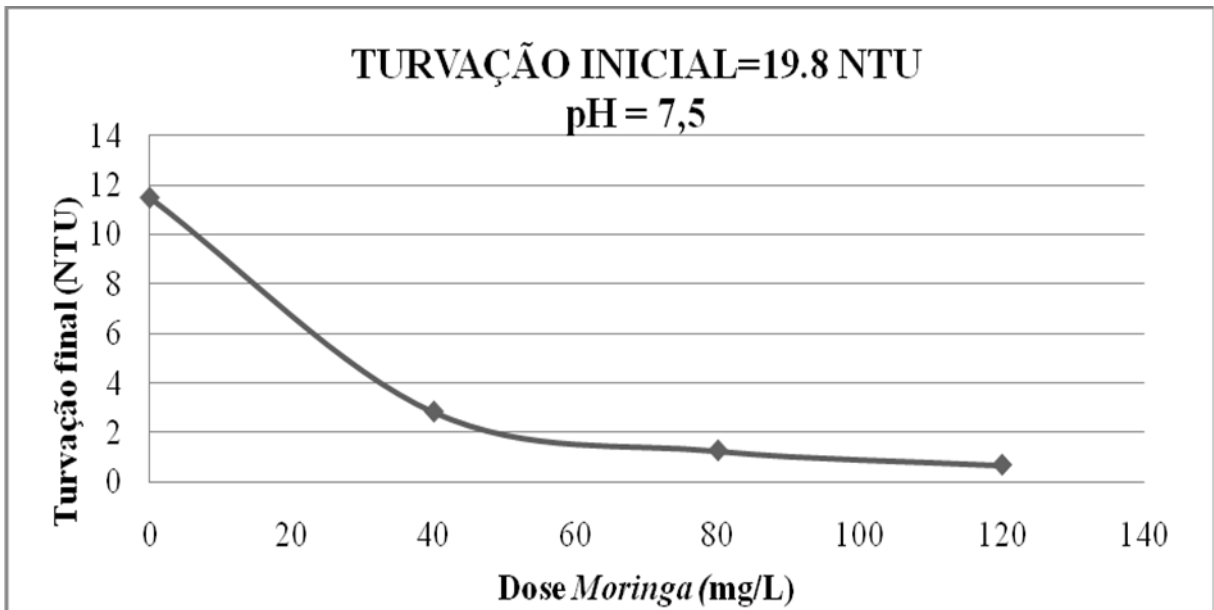


Fig.30 Variação da turbidez com a dose de extracto de *Moringa oleifera*, a baixa temperatura

A Figura 30 mostra que o valor de turbidez vai diminuindo à medida que se aumenta a dose de coagulante.

A dose de 120 mg/L é aquela que apresenta um valor de turbidez final mínimo (inferior a 1 NTU).

Ainda se verifica que com doses superiores a 40 mg/L se obtém uma turbidez final inferior à exigida legalmente.

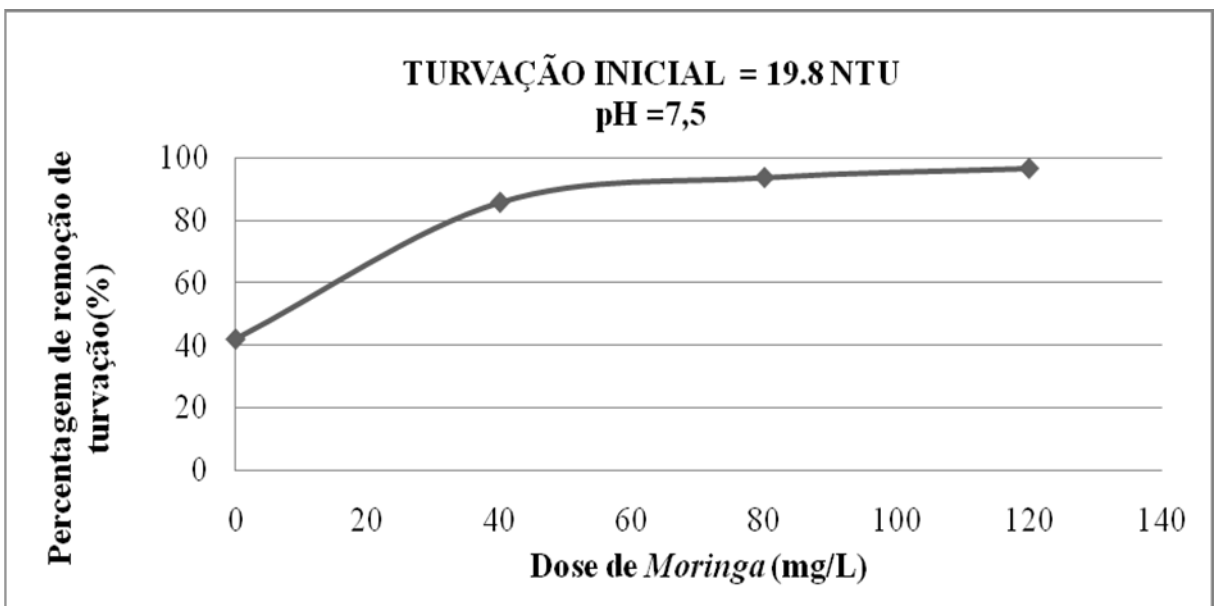


Fig.31 Variação da percentagem de remoção de turbidez com a dose de *Moringa oleifera* a baixa temperatura

A *Figura 31* mostra que a percentagem de remoção de turvação na água fria varia consoante a dose de *Moringa oleifera* adicionada.

Para doses superiores a 40 mg/L a percentagem de remoção de turvação é superior a 80%.

A dose óptima de coagulante é 120 mg/L, sendo este o valor para o qual o extracto de *Moringa oleifera* possui uma maior capacidade de remoção de turvação a temperatura reduzida.

6

CONCLUSÕES

Este estudo pretendeu verificar a viabilidade da aplicação do extracto activo e da semente em bruto da *Moringa oleifera* no tratamento de água para consumo humano.

Em relação ao comportamento do extracto da *Moringa oleifera* conclui-se que a sua eficiência de remoção da turvação não é muito dependente dos valores de pH; porém, são obtidos menores valores de turvação final nas amostras a pH ácido e neutro.

Para doses de *Moringa oleifera* superiores a 20 mg/L, o valor da turvação final obtido é inferior ao limite estabelecido pelas normas legais.

Nas condições óptimas, dose de 80 mg/L e pH 7, o extracto activo apresenta valores de percentagem de remoção de turvação superiores a 94%.

Após o tratamento nas condições óptimas, a água tratada apresenta valores de oxidabilidade superiores aos admissíveis; isto é consequência de o extracto aquoso apresentar alto teor de matéria orgânica.

Os restantes parâmetros analisados após o tratamento com o extracto de *Moringa oleifera* apresentam-se abaixo dos limites estipulados.

Apesar de se detectar a sua degradação ao longo do tempo, o extracto activo mantém o seu poder de remoção de turvação.

Relativamente à semente em bruto da *Moringa oleifera*, a sua eficiência como coagulante, em baixas dosagens, é superior à obtida pelo extracto aquoso, apresentando menores valores de turvação final.

Em relação à variação de pH, conclui-se que para valores de pH alcalino e neutro, as percentagens de remoção de turvação são superiores.

Nas condições óptimas, dose de 40 mg/L e pH 7, a percentagem de remoção de turvação é de 93%.

A utilização da semente apresenta, além do aumento de oxidabilidade, um incremento do valor de amónio, sendo estes os parâmetros que ultrapassam os limites recomendados.

A semente tem ainda o inconveniente de não decantar rapidamente, sendo que numa ETA, a sua remoção poderá ser preferível utilizando um sistema de flutuação de ar dissolvido.

As tentativas efectuadas para reduzir o valor da oxidabilidade do extracto revelaram-se falhadas, visto que, apesar do composto aquoso resultante de uma segunda extracção da *Moringa oleifera* ter um valor inferior de matéria orgânica, a sua remoção de turvação não é elevada.

A filtração do extracto aquoso em filtro de membrana (de menor poro) mantém o mesmo poder coagulante; porém, o valor de oxidabilidade não é reduzido para os valores limite estipulados tanto pelo *Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto* como pelas normas da EPAL.

Os ensaios efectuados para o COT comprovam os elevados teores em matéria orgânica do extracto.

Em relação aos ensaios complementares efectuados à semente, conclui-se que esta liberta diferentes quantidades de matéria orgânica consoante o meio aquoso (água destilada ou água bruta) e a dosagem.

A semente resultante de uma primeira extracção apresenta valores de COT muito inferiores à semente em bruto, mas estes são ainda elevados.

O comportamento do extracto da *Moringa oleifera* numa água a baixa temperatura não é muito diferente ao apresentado à temperatura ambiente, sendo tanto maior a percentagem de remoção de turvação quanto maior a dose de coagulante adicionada.

Tanto a água tratada com semente em bruto como a tratada com extracto aquoso, mostraram não ter a qualidade exigida à água destinada ao consumo humano, devido principalmente ao valor da oxidabilidade. Porém, considerando que as percentagens de remoção de turvação foram excelentes, não se deve inviabilizar a *Moringa oleifera* no tratamento de águas mas sim prosseguir com os estudos e tentar ultrapassar as desvantagens no processo.

Como linhas futuras de investigação sugiro os seguintes estudos:

- Testar como coagulante a semente previamente sujeita a uma primeira extracção do composto aquoso;
- Estudar se uma etapa de filtração após as etapas de coagulação, floculação e decantação, utilizando tanto o extracto como a semente em bruto da *Moringa oleifera*, pode diminuir o excesso de oxidabilidade na água tratada;
- Estudar que outras variáveis operacionais, como tempo de decantação, poderão beneficiar o processo de tratamento, reduzindo não só os valores de oxidabilidade como outros parâmetros de qualidade de água;
- Executar o tratamento com a *Moringa oleifera* e avaliar os restantes parâmetros de qualidade de água estipulados pela legislação portuguesa;

- Avaliar numa gama mais alargada de temperaturas, o comportamento coagulante da *Moringa oleifera*;
- Fazer ensaios de adsorção de metais pesados com a semente em bruto;
- Testar o poder coagulante da *Moringa* em águas com diferentes valores de turvação inicial;
- Estudar a viabilidade da aplicação da *Moringa oleifera* com o sulfato de alumínio na ETA do Kifangondo;
- Em relação às ETAR de Angola, testar a viabilidade da aplicação da *Moringa* no tratamento de águas residuais;
- Avaliar economicamente a produção da *Moringa oleifera* em Angola;
- Estudar quais os principais impactos da produção da *Moringa* neste país;
- Em relação a Portugal, considerando que em algumas ETA são usados adsorventes como o carvão activado, testar a aplicação da *Moringa* como coagulante nestas estações de tratamento.

São muitas as linhas de investigação, e é da investigação que nasce a ciência.

Mas sem dúvida, para crescer, a ciência deve nascer para melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas.

Foi com essa vontade que esta investigação surgiu, e creio que é com este objectivo que os novos estudos devem crescer...

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhtar, M., Hasany, S., Bhangar, M. *et al* (2007). *Sorption potential of Moringa oleifera pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions*. Journal of Hazardous Materials, Vol. 141, pp. 546-556.
- Alves, C. (2007). *Tratamento de Águas de Abastecimento*. Publindústria, Porto, 2.^a edição
- Bhatia, S., Othman, Z., Ahmad, A. (2007a). *Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using Moringa oleifera seeds as natural coagulant*. Journal of Hazardous Materials, Vol. 145, pp. 120-126.
- Bhatia, S., Othman, Z., Ahmad, A. (2007b). *Coagulation-flocculation process for POME treatment using Moringa oleifera seeds extract: Optimization studies*. Chemical Engineering Journal, Vol. 133, pp. 205-212.
- Bhattacharya, S., Das, A., Banerji, N. (1982). *Chemical investigations on the gum exudate from sajna (Moringa oleifera)*. Carbohydrate Research Vol. 102, n.º 1, pp. 253-262.
- Bhatti, H., Mumtaz, B., Mumtaz, B. *et al*. (2007). *Removal of Zn (II) ions from aqueous solution using Moringa oleifera Lam. (horseradish tree) biomass*. Process Biochemistry, Vol. 42, pp. 547-553.
- Bhuptawat, H., Folkard, G., Chaudhari, S. (2006). *Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant*. Journal of Hazardous Material, Vol. 142, pp. 477-482.
- Cosme, J. (2006). *As Preocupações Higiêno-Sanitárias em Portugal (2.^a metade do século XIX e princípio do século XX)*. Revista da Faculdade de Letras – História, III Série, Vol. 7, pp. 181-195, Porto.
- Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. *Diário da República* n.º 164 – I Série A. Ministério do Ambiente.

- Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto. *Diário da Republica* nº164 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Engidro – Estudos de Engenharia Lda (1998). *Manual de tecnologias de saneamento básico apropriadas a pequenos aglomerados*. Direcção Geral da Qualidade do Ambiente.
- Ghebremichael, K., Gunaratna, K., Henriksson, H. *et al* (2005). *A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed*. *Water research*, volume 39, pp. 2338-2344.
- Heredia, J., Martín, J. (2008). *Removing heavy metals from polluted surface water with a tannin-based flocculant agent*. *Journal of Hazardous Materials*, Badajoz, Espanha.
- Jiang, J., Lloyd, B. (2002). *Progress in the development and use of ferrate (VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment*. *Water Research*, Vol. 36, pp. 1397-1408.
- Katayon, S., Noor, M., Asma, M. *et al* (2006). *Effects of storage conditions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation*. *Bioresource Technology*, Vol. 97, pp. 1455-1460.
- Kwaambwa, H., Maikokera, R. (2008). *Infrared and circular dichroism spectroscopic characterisation of secondary structure components of a water treatment coagulant protein extracted from Moringa oleifera seeds*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 64, pp. 118-125.
- Mani, S., Jaya, S., Vadivambal, R. (2007). *Optimization of solvent extraction of Moringa (Moringa oleifera) seed kernel oil using response surface methodology*. *ICChemE*, Vol. 85, pp. 328-335.
- Mendes, F., Coelho, N. (2007). *Estudo do uso da Moringa oleifera para remoção de prata e manganês em águas*. Horizonte Científico, Uberlândia, Brasil.
- Menkhous, T., Anderson, J., Lane, S. *et al* (2010). *Polyelectrolyte flocculation of grain stillage for improved clarification and water recovery within bioethanol production facilities*. *Bioresource Technology*, Vol. 101, N.º 7, pp. 2280-2286.

- Ndbigengesere, A., Narasiah, K. (1998). *Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa oleifera seeds*. Water Resources, Vol. 32, n.º 3, pp. 781-791.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W. *et al* (1999). *Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed*. Water Research, Vol. 33, N.º 15, pp. 3373-3378.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W. *et al* (2001a). *Isolation and characterization of coagulant extracted from Moringa oleifera seed by salt solution*. Water Research, Vol. 35, N.º 2, pp. 405-410.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W. *et al* (2001b). *Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in Moringa oleifera seeds*. Water Research, Vol. 35, n.º 3, pp. 830-834.
- Rawlings, M., Fitzpatrick, C., Gregory, J. *et al* (2006). *The effect of polymeric flocculants on floc strength and filter performance*. Water Science Technology, Vol. 53, n.º 7, pp. 77 a 85.
- Rodrigues, E., Justino A., Santana, V. (2001). *Gestão e Ambiente: A Água e a Indústria*. Editora Pergaminho, 1.ª edição, Cascais.
- Sánchez, N., Spordly, E., Ledin, I. (2006). *Effect of feeding different levels of foliage of Moringa oleifera to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition*. Livestock Science, Vol. 10, pp. 24-31.
- Sharma, P., Kumari, P., Srivastava, M. *et al* (2007). *Ternary biosorption studies of Cd (II), Cr (III) and Ni (II) on shelled Moringa oleifera seeds*. Biosource Technology, Vol. 98, pp. 474-477.
- Silva, E. (2009). *Optimização da etapa de coagulação-floculação numa estação de tratamento de água usando um coagulante natural*. Dissertação de Licenciatura, Universidade Agostinho Neto.

- WHO (2008). *Guidelines for drinking-water quality*: World Health Organization, 3ª edição, Geneva
- Vimonses, V., Jin, B., Chow, W. *et al* (2009). *Enhancing removal efficiency of anionic dye by combination and calcination of clay materials and calcium hydroxide*. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 171, N.º 1-3, pp. 941-947.

Páginas da Internet

- http://www.addp.pt/pt/dados.php?ref=desempenho_ambiental, acessido em Dezembro de 2009
- <http://www.arasul.co.mz/subindex.asp?lang=pt&page=wquality>, acessido em Dezembro de 2009
- <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd63/diretrizes/PL3.pdf>, acessido em Dezembro de 2009
- <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=23&sid=98&tpl=printerview>, acessido em Novembro de 2009
- <http://mail.cruzroja.org/salud/redcamp/docs/aguasan-e/pdf/eng/doc14577/doc14577.pdf> acessido em Dezembro de 2009
- http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol1c.pdf, acessido em Dezembro de 2009
- http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/om/wsh9241562153/en/index.html, acessido em Janeiro de 2010

Outros

- Apontamentos da disciplina de Tratamento de Águas I, leccionada pelo Doutor Rui Boaventura, 2008

- Apontamentos da disciplina de Tratamento de Águas I, leccionada pelo Professor Doutor Cheng Chia-Yau, 2009
- Apontamentos da disciplina de Tratamento de Águas II, leccionada pelo Professor Doutor Poças Martins, 2009.

ANEXOS

ANEXO I - MÉTODOS ANALÍTICOS

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE PH

A medição do pH foi efectuada em todas as amostras de água por potenciometria, quantificando os iões H^+ através de uma sonda com eléctrodo medidor de pH.

O pH é medido em escala de Sorensen, medida da concentração hidrogeniónica de uma água.

O valor de pH numa solução líquida pode ser ácido ($pH < 7$), neutro ($pH = 7$), ou básico/alcalino ($pH > 7$).

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE CONDUTIVIDADE

A medição da condutividade foi efectuada utilizando um medidor com sonda de condutividade; este valor permitiu detectar as variações dos minerais dissolvidos e diagnosticar qualitativamente os sólidos dissolvidos presentes nas amostras.

A condutividade é definida como a capacidade de conduzir corrente eléctrica, e é expressa em microSiemens por centímetro ($\mu S/cm$).

Uma água com um valor de condutividade elevada implica uma elevada concentração em iões como por exemplo sódio e cloretos.

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS E SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS

A filtração de um determinado volume de água por um filtro de fibra de vidro, previamente pesado e seco em estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$, permite quantificar os sólidos suspensos totais (SST), obtendo um valor em g/L.

Uma amostra de 500 mL foi filtrada, e o seu filtro foi colocado na estufa a secar até aferir um peso aproximadamente constante (variação inferior a 4 %)

A pesagem foi feita em balança analítica.

Após o procedimento foram efectuados os cálculos seguintes:

$$\frac{SST}{g/L} = 1000 * \frac{(b-a)/g}{V/mL} \quad (\text{Equação A1})$$

Sendo b e a respectivamente massa do filtro mais resíduo e massa do filtro.

Os SDT foram determinados colocando num cadinho previamente pesado (massa a) uma amostra de água de 100 mL. Seguidamente, colocou-se o cadinho em banho-maria, onde permaneceu em ebulição até completa secura. Nesse momento, enxaguou-se e levou-se o cadinho à estufa durante duas horas.

O cadinho foi colocado num exsiccador até arrefecimento completo, sendo que a sua massa final (massa b) deve ser considerada.

O cálculo efectuado para o cálculo dos SDT em g/L foi:

$$\frac{SDT}{g/L} = 1000 \times \frac{(b-a)/g}{V/mL} \quad (\text{Equação B1})$$



Fig.B1 Determinação dos SST e SDT

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA TURVAÇÃO

É a expressão da propriedade óptica que ocorre quando há dispersão da radiação em vez de transmissão em linha recta. O grau de turvação depende da quantidade de matéria em suspensão, nomeadamente substâncias inorgânicas e orgânicas. As unidades de turvação são NTU.

O método utilizado foi o Nefelométrico cujo princípio consiste na comparação da intensidade da luz dispersa pela amostra, com a intensidade da luz dispersa por um padrão de referência, ambos nas mesmas condições definidas.



Fig.C1 Turbidímetro utilizado no procedimento experimental

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA ALCALINIDADE

É a medida da capacidade de tamponização de uma água, e deve-se à presença de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, e em menor grau de boratos, silicatos, fosfatos e substâncias orgânicas.

A sua determinação foi feita por um método volumétrico, por titulação com uma solução aferida de um ácido forte. O titulante usado foi o Ácido Sulfúrico.

A alcalinidade à fenolftaleína determina-se usando a fenolftaleína como indicador, correspondendo ao valor de pH de 8,3 na solução; assim, é detectado o ponto de equivalência correspondente ao bicarbonato.

Para saber qual o valor de alcalinidade total, continua-se a adicionar ácido à solução até esta obter um pH de 4,5.

O valor de alcalinidade total é referido em mg de CaCO_3 por litro de amostra de água.

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA COR

O termo cor é por norma usado para indicar a cor verdadeira, ou seja, a cor da água à qual foi eliminada a turvação. A cor aparente é relativa à cor devida a substâncias em suspensão na solução. Ao contrário da primeira, a cor aparente é obtida sem filtrar a amostra original, e a sua cor deve-se à presença de iões metálicos como o ferro e o manganésio, assim como de plâncton, húmus e turfa.

A determinação da cor é efectuada através da utilização de um espectrofotómetro a comprimento de onda de 402nm. Antes da medição deste parâmetro fez-se previamente a calibração do aparelho obtendo-se a recta de calibração seguinte.

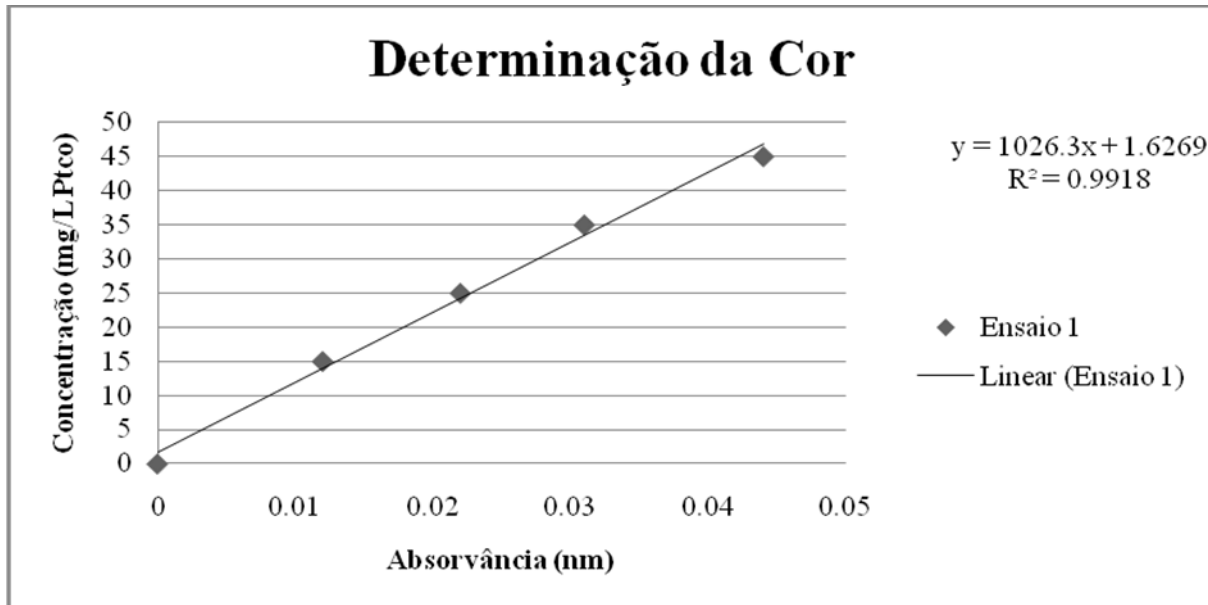


Fig.D1 Recta de calibração da cor

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DO AZOTO AMONICAL

O amoníaco (NH_3) pode surgir nas águas como consequência da degradação incompleta da matéria orgânica, mas também devido ao arrastamento de fertilizantes de solos agrícolas, entre outros.

O azoto existe em diversos estados de oxidação: Nitratos, Nitritos, Azoto Amoniacal e Azoto Orgânico. O azoto Kjeldhal representa a totalidade de azoto amoniacal e orgânico.

Neste trabalho o teor de azoto amoniacal do determinado utilizando um utilizando um eléctrodo selectivo de amónio. Antes da leitura das diferentes amostras de água procedeu-se à calibração do eléctrodo.



Fig.D2 Eléctrodo de amónio utilizado no procedimento experimental

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE NITRATOS

Os nitratos são compostos que se formam devido à oxidação do azoto. Estes compostos são muito solúveis em água, representando um risco para a saúde humana, como por exemplo favorecer a contaminação de aquíferos.

O “bloco”azotado (nitratos, nitritos e amónia) é na maior parte das vezes acompanhado de teores elevados de cloretos, sulfatos e fosfatos.

A sua detecção é difícil e os métodos utilizados para a sua determinação são o Método da Brucina ou colorimétrico.

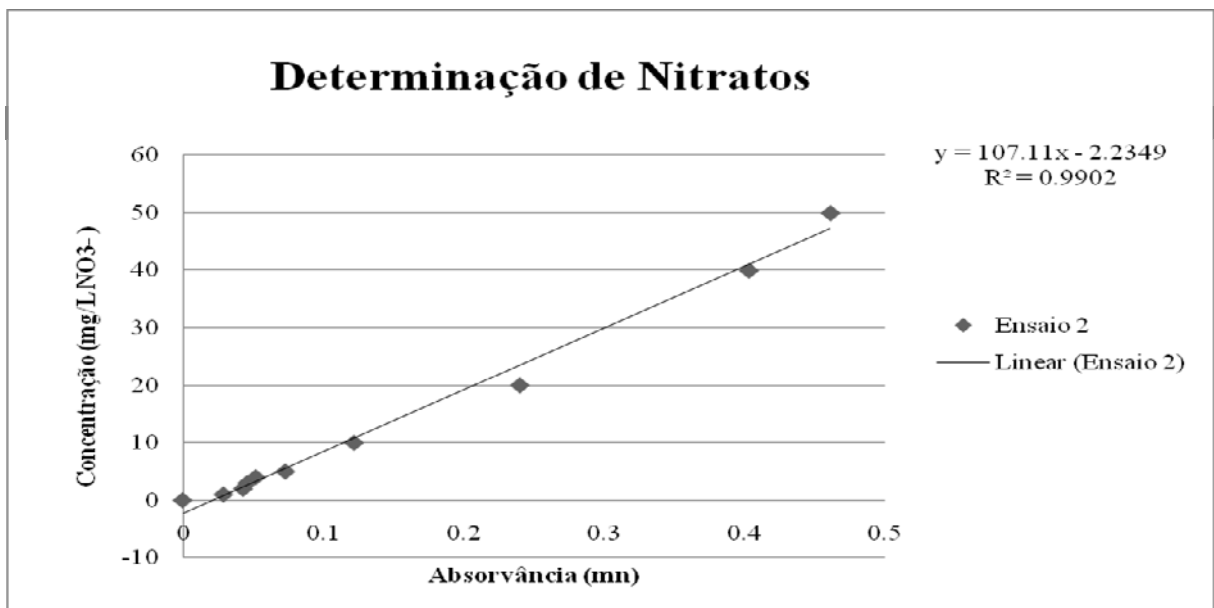


Fig.E1 Recta de calibração de Nitratos

O ião nitrato reage com a brucina em meio ácido, resultando num composto de coloração amarela, cuja absorvância é medida em espectrofotómetro a 410 nm. Este método apenas é viável para concentrações de nitrato em solução entre 1 e 50 mg de NO₃⁻ por litro. (mg/L NO₃⁻):

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE FOSFATOS

No ambiente, o fósforo encontra-se principalmente na forma de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Os fosfatos são sais de ácido fosfórico (H₃PO₄), constituindo um dos aniões mais importantes presentes nas águas (PO₄³⁻). A sua presença contribui para a eutrofização de rios.

A experimentação laboratorial dos polifosfatos (fosfato hidrolisável) e do fósforo orgânico requer a sua prévia transformação em ortofosfatos, através, respectivamente, de uma hidrólise ácida e de uma digestão. Se a amostra inicial for filtrada obtêm-se as formas solúveis, se não o forem, são as totais.

O método utilizado para a determinação do fósforo solúvel foi o Método do ácido ascórbico. O reagente molibdato de amónio reage com o ortofosfato em meio ácido, originando o ácido fosfomolibdico, o qual é reduzido a um complexo de cor azul pela adição de ácido ascórbico. Este complexo formado pode ser lido no espectrofotómetro no comprimento de onda de 880 nm. À temperatura ambiente, a presença de tartarato duplo de potássio e antimónio torna a coloração mais intensa e a reacção mais célere.

O valor de fósforo presente foi determinado através da leitura da absorvância e utilizando respectiva curva de calibração.

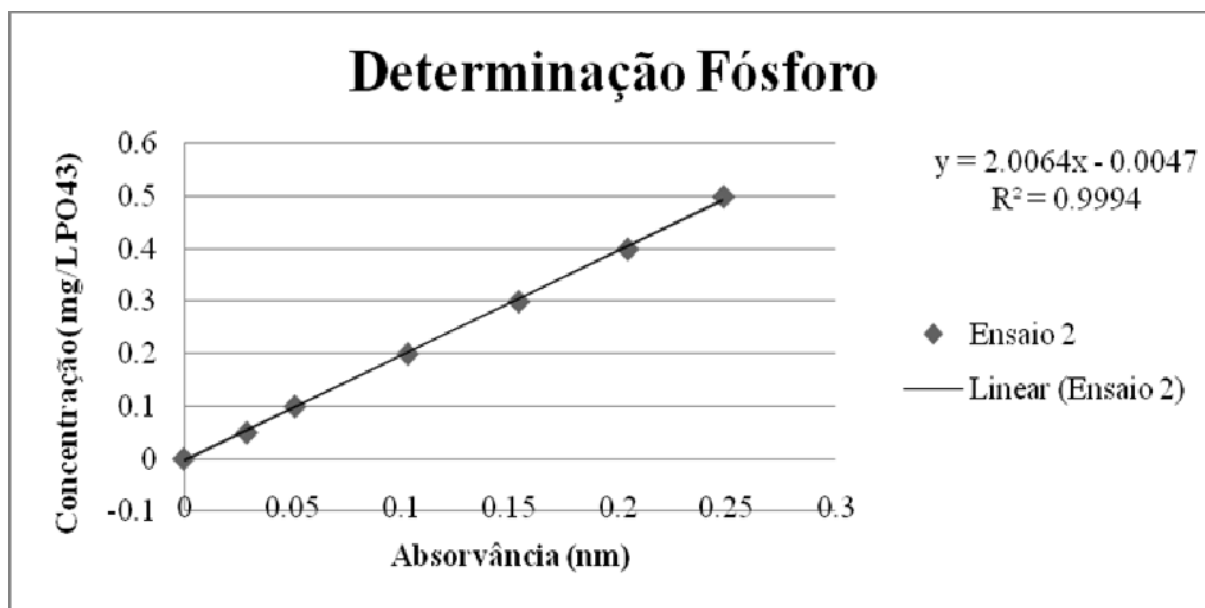


Fig.F1 Recta de calibração de Fósforo

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA OXIDABILIDADE AO KMnO₄:

É o parâmetro relativo a substâncias indesejáveis, e constitui um teste quantitativo da matéria orgânica presente na água ao incluir as substâncias redutoras susceptíveis de serem oxidadas pelo permanganato de potássio (oxidante forte).

A determinação da oxidabilidade foi feita em meio alcalino, a quente, considerando o fenómeno da oxidação-redução, cujo princípio baseia-se na quantidade de oxigénio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica presente na amostra. O oxigénio equivalente à matéria orgânica presente na amostra é medido pelo consumo do permanganato de potássio usado, que actua como oxidante. O valor da oxidabilidade é expresso em mg O₂/L.

Após o procedimento experimental utilizado no LESRA, procedeu-se ao seguinte cálculo:

$$(a) \times F \times 0,8$$

Equação F1

Sendo (a) o volume da solução de permanganato de potássio 0,01 N em mL, F o factor para a solução de permanganato de potássio 0,01 N ($F = 15 \text{ mL/volume de permanganato de potássio } 0,01 \text{ N gasto na titulação de } 15 \text{ mL de ácido oxálico}$).

A equação G1 baseia-se no facto de que 1 mL da solução de permanganato de potássio 0,01 N (0,002 M) corresponde a 0,08 mg de oxigénio.



Fig.G1 Determinação da oxidabilidade

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL

A determinação deste parâmetro foi feita utilizando um aparelho de combustão a alta temperatura. O carbono orgânico é uma medida do carbono orgânico presente na água, sendo um indicador da sua degradação. A maior parte dos compostos orgânicos são substâncias húmicas.

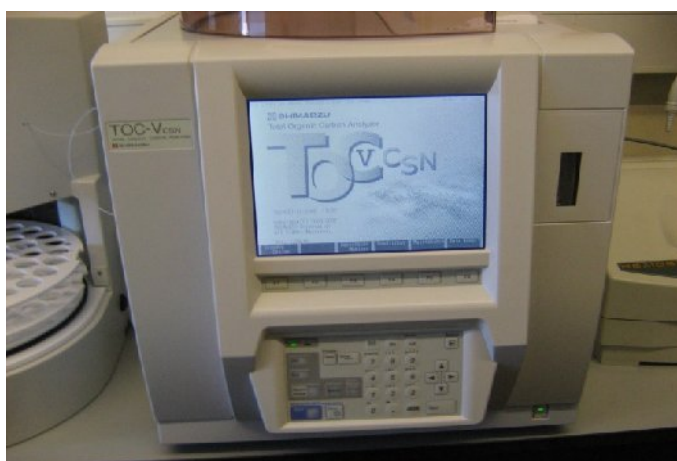


Fig.G2 Aparelho COT utilizado do procedimento experimental

**ANEXO II – MATERIAIS/EQUIPAMENTOS RELEVANTES
NOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**



Fig.H1 exsiccador utilizado do procedimento experimental



Fig.H2 Balança analítica utilizada no procedimento experimental



Fig.H3 Peneiro de poro 1 mm



Fig.11 Moinho de café utilizado no procedimento experimental

ANEXO III – LEGISLAÇÃO

Tabela J1- Normas relativas à qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção para consumo humano estipuladas no Anexo I do *Decreto-Lei* nº 236/98, de 1 de Agosto ¹

Parâmetros	Expressão de resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
pH, 25°C	Escala de Sorensen	6,5-8,5	-	5,5-9,0	-	5,5	-
Cor (após filtração simples)	Escala Pt-Co	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos suspensos totais	mg/L	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(O) 25	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade	uS/cm, 20°C	1000	-	1000	-	1000	-
Nitratos ^(*)	mg/L NO ₃	25	(O) 50	-	(O) 50	-	(O) 50
Azoto amoniacal	mg/L NO ₄	1	-	-	1	1,5	(O) 4,00
Cheiro	Factor de diluição a 25 °C	22	(O) 25	2	(O) 25	22	(O) 25
Fluoretos ⁽¹⁾	mg/L F	0,7-1,0	1,5	0,7-1,7	-	0,7-1,7	-
Ferro dissolvido ^(*)	mg/L Fe	0,1	0,3	1,0	2,0	1,0	-

¹ Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. *Diário da Republica* nº164 – I Série A. Ministério do Ambiente.

Manganésio ^(*)	mg/L Mn	0,05	-	0,10	-	1,00	-
Cobre	mg/L Cu	0,02	(O) 0,05	0,05	-	1,00	-
Zinco	mg/L Zn	0,5	3,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Arsénio	mg/L As	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,10
Cádmio	mg/L Cd	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Crómio Total	mg/L Cr	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Chumbo	mg/L Pb	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Selénio	mg/L Se	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Mercúrio	mg/L Hg	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010
Bário	mg/L Ba	-	0,1	-	1,0	-	1,0
Cianetos	mg/L CN	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/L SO ₄	150	250	150	(O) 250	150	(O) 250
Cloretos	mg/L Cl	200	-	200	-	200	-
Substâncias tensioactivas	mg/L, sulfato de lauril e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos ^{(*)(2)}	mg/L P ₂ O ₅	0,5	-	0,7	-	0,7	-
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	-	0,001	0,001	0,005	0,010	0,100
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/L	-	0,2	-	0,2	-	1,00

Pesticidas totais	µg/L	-	1,0	-	2,5	-	5,0
Oxigênio dissolvido ^(*) (3)	% saturação de O ₂	70	-	50	-	30	-
CBO ₅ , 20 °C ^(*)	mg/L O ₂	3	-	5	-	7	-
Azoto Kjeldhal (excluindo o azoto de NO ₂ e NO ₃)	mg/L N	1	-	2	-	3	-
Substâncias extraíveis com cloroformio	mg/L	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Coliformes totais	/100 mL	50	-	5000	-	50000	-
Coliformes fecais	/100 mL	20	-	2000	-	20000	-
Estreptococos fecais	/100 mL	20	-	1000	-	10000	-
Salmonelas		Ausência em 5000 mL	-	Ausência em 1000 mL	-	-	-
Boro	mg/L B	1,0	-	1,0	-	1,0	-

(O) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais (nº1 do artigo 10º).

(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de pouca profundidade e baixa taxa de renovação.

(1) Os valores indicados constituem os limites inferior e superior das concentrações, determinados em função da média anual das temperaturas máximas diárias.

(2) Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas de certos meios.

(3) Refere-se a um VMR.

Tabela M1- Valores paramétricos de qualidade de água, destinada ao consumo humano, utilizados pela EPAL e pela legislação portuguesa no *Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto*.²

	Valor Máximo Admissível	
	EPAL	Portugal
Nitratos (mg/L NO_3)	50	50
Cor (mg/L PtCo)*	15	20
Fósforo (mg/L P)	-	0,40
Amónia (mg/L NH_4)	0,50	0,50
Oxidabilidade ao $KMnO_4$ (mg/L O_2)	2,0	5,0
Alcalinidade Total (mg $CaCO_3/L$)	-	-
pH	6,5<pH<8,5	6,5<pH<9,0
Turvação (NTU)	5,0	4,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	-	-
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	-	-
Alumínio ($\mu g/L$ Al)	200	200
Cálcio (mg/L Ca)	75	-
Cloretos (mg/L Cl)	200	250
<i>Clostridium perfringens</i>(incluindo esporos) em N/100 mL	0	0

² Fontes : Silva 2009; Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto. *Diário da Republica* nº164 – 1ª Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Dureza total (°F)	30	-
Ferro (µg/L Fe)	300	200
Magnésio (mg/L Mg)	30	-
Manganês (µg/L Mn)	300	50
Microcistinas – LR total (µg/L)	-	1
Cheiro a 25 °C (factor de diluição)	Nulo	3
Sulfatos (mg/L SO₄)	250	250
Sódio (mg/L Na)	200	200
Nº de colónias a 22 °C (N/mL)	O nº de germes totais por si só não é significativo na apreciação da potabilidade da água	Sem alteração anormal
Nº de colónias a 37 °C (N/mL)	O nº de germes totais por si só não é significativo na apreciação da potabilidade da água	Sem alteração anormal
Bactérias coliformes (N/100 mL)	0	0
COT (mg/L C)	-	Sem alteração anormal
Sabor a 25 °C (factor de diluição)	Nulo	3
Condutividade (µS/cm)	500	2500
Desinfectante residual (mg/L)	-	-