



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Mestrado em Química e Processamento de Recursos Locais

Dissertação de Mestrado



**Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão
activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da
matéria orgânica na ETA do Umbeluzi**

AUTOR: MUIANGA, Armando Pinto

Maputo, Setembro de 2024



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Mestrado em Química e Processamento de Recursos Locais

Dissertação de Mestrado



**Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão
activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da
matéria orgânica na ETA do Umbeluzi**

AUTOR: MUIANGA, Armando Pinto

SUPERVISORA: Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova

CO-SUPERVISOR: Prof. Doutor Arão Manhique

Maputo, Setembro de 2024

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO EM QUÍMICA E PROCESSAMENTO DE RECURSOS LOCAIS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA COAGULAÇÃO SEGUIDA DA
ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO EM PÓ E CARVÃO VEGETAL DE
PRODUÇÃO LOCAL NA REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NA ETA DO
UMBELUZI**

ARMANDO PINTO MUIANGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Química da Universidade Eduardo Mondlane, como
parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre
em Química e Processamento dos Recursos Locais

Aprovado em 30 de Setembro de 2024 por:



Prof. Doutor Alcides Siteo

(Arguente – UEM)



Prof. Doutor Jaime Mandlate

(Presidente do Juri – UEM)



Prof. Doutora Tatiana Kuleshova

(Supervisora – UEM)



Prof. Doutor Arão Manhique

(Supervisor – UEM)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais

Pinto Celina Cossa e Luísa Filipe Mandlhate

Pela educação minuciosa, cautelosa, paciente, sábia e encorajamento nos primeiros anos de escolaridade e durante todo o meu percurso estudantil.

À minha companheira

Esmeralda Francisco Muchanga

Pelo apoio inabalável e carinho constante nos momentos mais difíceis da caminhada profissional e estudantil.

Aos meus irmãos

Nádia Teresa Sabão;

Tânia Pinto Muianga;

Filipe Pinto Muianga;

Pinto Celina Cossa Júnior;

Edson Pinto Muianga; e

Gabriel Pinto Cossa,

Pelo carinho e fortalecimento que me deram e me têm dado ao longo de toda minha vida estudantil.

A todos parentes e amigos que directa ou indirectamente, apoiaram e fizeram com que este sonho se tornasse uma realidade!

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial:

A Deus, pela sua infinita bondade de mais uma conquista na vida, dando-me forças e esperança nos momentos mais difíceis da caminhada.

Sempre faltarão palavras ou mesmo actos para expressar a minha inteira gratidão aos meus supervisores, Prof. Doutora Tatiana Kuleshova e Prof. Doutor Arão Manhique por sua especial atenção e contribuições, e a todas pessoas que mesmo não sendo meus supervisores prestaram seu apoio e atenção para a realização deste trabalho, muito obrigado, que Deus vos abençoe!

A todos os docentes da turma do Mestrado, pelos conhecimentos transmitidos na minha área de formação.

A todos os meus colegas da turma do Mestrado em Química (2019-2020) e meus amigos doutros cursos na UEM e noutras Instituições: Assane Cassimo, Bartels Mbula, Clóvis Maguengue, Egnélio Maeria, Fernando Macuácuá, Gerson Tomo, Hélder Muiambo, Manuel Macuácuá, dentre outros deixo ficar um carinhoso obrigado e sucessos nas suas carreiras profissionais!

Ao CTA que directa ou indirectamente contribuiu para a minha caminhada ao longo do curso e em especial na elaboração deste trabalho, deixo ficar o meu muito obrigado!

DECLARAÇÃO SOBRE COMPROMISSO DE HONRA

Eu, Armando Pinto Muianga, declaro por minha honra que o presente trabalho académico foi por mim elaborado. Não se recorreu a quaisquer outras fontes, para além das indicadas, e todas as formulações e conceitos usados, quer adoptados literalmente ou adaptados a partir das suas ocorrências originais (em fontes impressas, não impressas ou na internet), se encontram adequadamente identificados e citados. Mais declaro que esta dissertação nunca foi apresentada, para efeitos de avaliação, a qualquer outra entidade ou Instituição e que os conteúdos das versões impressa e electrónica são inteiramente coincidentes.

Declaro finalmente, encontrar-me ciente de que a inclusão neste texto, de qualquer falsa declaração terá consequências legais.

O autor

Armando Pinto Muianga

Armando Pinto Muianga

RESUMO

As mudanças climáticas e a consequente degradação da qualidade da água bruta têm imposto desafios significativos à Estação de Tratamento de Água (ETA) do Umbeluzi, particularmente na redução eficiente da matéria orgânica natural (MON).

O objectivo principal deste estudo foi avaliar a viabilidade do carvão vegetal de produção local (CVPL) como alternativa ao CAP no processo de adsorção, visando otimizar a remoção de MON em condições específicas da ETA do Umbeluzi. Os ensaios foram realizados em dois períodos distintos, caracterizados por níveis de baixa e alta turvação, a fim de determinar as dosagens ideais de sulfato de alumínio (SA) e dos adsorventes para cada cenário.

A metodologia consistiu de ensaios laboratoriais baseados no *Jar Test* e no método de oxidabilidade para monitorar os níveis de MON antes e após o tratamento. Foram utilizados procedimentos como análise de pH, turvação, alcalinidade e outros parâmetros físico-químicos, com a construção de isotermas de adsorção para optimização das dosagens de SA, CAP e CVPL. No **período de baixa turvação**, a combinação de 10 mg/L de SA e 10 mg/L de CAP resultou em uma eficiência de remoção de MON de 32,0%, enquanto a dosagem de 5 mg/L de CVPL com 10 mg/L de SA apresentou uma eficiência superior de 63,50%. No **período de alta turvação**, os resultados mostraram uma eficiência de 51,67% com a dosagem de 40 mg/L de SA e 4 mg/L de CAP, e uma eficiência de 65,50% para 2 mg/L de CVPL com 40 mg/L de SA.

As conclusões indicam que o CVPL é uma alternativa eficaz ao CAP, com desempenho superior na remoção de MON, mesmo com menor área superficial específica. Além disso, o CVPL é uma opção mais acessível e sustentável, oferecendo uma solução ambientalmente responsável para o tratamento de água em Moçambique, dado que pode ser produzido localmente com materiais renováveis.

Palavras-chave: qualidade da água, matéria orgânica natural, adsorção, carvão ativado, carvão vegetal, eficiência, tratamento de água.

ABSTRACT

Climate change and the consequent degradation of raw water quality have posed significant challenges to the Umbeluzi Water Treatment Plant (ETA), particularly in the efficient removal of natural organic matter (MON). The main objective of this study was to assess the viability of locally produced vegetable charcoal (CVPL) as an alternative to powdered activated carbon (CAP) in the adsorption process, aiming to optimise MON removal under the specific conditions at Umbeluzi ETA. Experiments were conducted during two distinct periods, characterised by low and high turbidity levels, to determine the optimal dosages of aluminium sulphate (SA) and adsorbents for each scenario.

The methodology involved laboratory experiments based on the Jar Test and the oxidisability method to monitor MON levels before and after treatment. Parameters such as pH, turbidity, alkalinity, and others were analysed, with adsorption isotherms constructed to optimise the dosages of SA, CAP and CVPL. In the low turbidity period, the combination of 10 mg/L of SA and 10 mg/L of CAP achieved a 32.0% MON removal efficiency, while 5 mg/L of CVPL with 10 mg/L of SA showed a superior efficiency of 63.50%. In the high turbidity period, results indicated an efficiency of 51.67% with 40 mg/L of SA and 4 mg/L of CAP, and 65.50% for 2 mg/L of CVPL with 40 mg/L of SA.

The conclusions indicate that CVPL is an effective alternative to CAP, showing superior performance in MON removal despite its lower specific surface area. Moreover, CVPL is a more affordable and sustainable option, offering an environmentally responsible solution for water treatment in Mozambique, as it can be locally produced from renewable materials.

Keywords: water quality, natural organic matter, adsorption, activated carbon, vegetable charcoal, efficiency, water treatment.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
DECLARAÇÃO SOBRE COMPROMISSO DE HONRA	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Relevância do estudo	2
1.2 Objectivos.....	2
1.2.1 Geral	2
1.2.2 Específicos.....	2
1.3 Metodologia.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Tratamento de Água nas Estações de Tratamento (ETAs).....	5
2.1.1 Importância do tratamento de água para o consumo humano	5
2.1.2 Tipos de tratamento aplicados nas ETAs/Etapas convencionais de tratamento de água.....	6
2.1.3 Caracterização da MON	7
2.1.4 Tipos de MON e seus efeitos no tratamento da água	9
2.1.5 Coagulação como etapa de remoção de MON	10
2.1.6 Adsorção.....	11
2.1.7 Fatores que influenciam a eficiência da adsorção	14
2.1.8 Remoção de compostos orgânicos com CAP	15

2.1.9	Interferências entre a coagulação e o CAP	15
2.2	Impactos para a sustentabilidade do tratamento de água no Umbeluzi	16
2.3	Produção e aplicação do Carvão Vegetal	17
2.3.1	Produção do carvão vegetal em Moçambique	17
2.4	Descrição da área do estudo	20
2.4.1	Estação de tratamento de água do Umbeluzi (ETA – Umbeluzi).....	20
2.4.2	Descrição do processo de tratamento da água da ETA do Umbeluzi.....	21
3	PARTE EXPERIMENTAL.....	27
3.1	Água para ensaios	27
3.2	Amostras de carvão	27
3.3	Materiais, reagentes e equipamento para a realização do ensaio de floculação 30	
3.4	Procedimentos para determinação dos parâmetros analisados	30
3.4.1	Procedimento de ensaio de floculação.....	30
3.4.2	Preparação da solução stock de Sulfato de Alumínio	31
3.4.3	Preparação da suspensão stock de carvão activado em pó	31
3.4.4	Preparação da suspensão stock de carvão vegetal em pó	31
3.4.5	Determinação do pH.....	31
3.4.6	Isotermas de adsorção.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	Ensaio realizados no período de baixa turvação	36
4.1.1	Optimização da taxa de aplicação do SA em relação à remoção de MON, presente na água do rio Umbeluzi no período de baixa (ensaio nº 1).....	36
4.1.2	Ensaio com o CAP	37
4.1.3	Ensaio com CVPL.....	48
4.2	Ensaio realizados no período de alta turvação	52
4.2.1	Optimização da taxa de aplicação do SA em relação à remoção de MON, presente na água de rio Umbeluzi no período de alta turvação (ensaio nº 1).....	53

4.2.2	Estudo do comportamento de CV-MB em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº2)	53
4.2.3	Estudo do comportamento de CV-M em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 3)	56
4.2.4	Estudo do comportamento de CV-CHA em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 4)	59
4.2.5	Estudo do comportamento de CV-S em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 5)	62
4.2.6	Estudo do comportamento de CV-CHI em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 6)	65
4.2.7	Estudo do comportamento de CAP em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 7)	68
4.2.8	Determinação da área superficial específica	71
5	PROPOSTA DO DOSEAMENTO DO CARVÃO VEGETAL EM PÓ	73
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
6.1	Conclusões.....	75
6.2	Recomendações	76
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	ANEXOS.....	a
	ANEXO A – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 6	b
	ANEXO B – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 7	d
	ANEXO C – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 9	f
	ANEXO D – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 11	g
	ANEXO E – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 13	i
	ANEXO F – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 15.....	k
	ANEXO G – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 16.....	m
	ANEXO H – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 17	o
	ANEXO I – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 18	p

ANEXO J – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 20	r
ANEXO K – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 22	t
ANEXO L – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 24	v
ANEXO M – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 26	w
ANEXO N – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 28	y

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Efeitos da MON nos parâmetros de qualidade da água.....	9
Tabela 2: Efeitos da MON nos processos do tratamento da água	10
Tabela 3: Lista das espécies comerciais para uso como combustíveis lenhosos, 4ª classe	19
Tabela 4: Espécies lenhosas mais comuns para processos de carbonização	19
Tabela 5: Indicação das proveniências das amostras de carvão em estudo.....	27
Tabela 6: Comportamento de SA e sua eficiência em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (20/03/2020)	36
Tabela 7: Comportamento de CAP e sua eficiência em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (24/03/2020)	37
Tabela 8: Dados de qualidade da água no dia 24/03/2020	39
Tabela 9: Resultados do ensaio combinado entre SA e CAP (25/03/2020).....	40
Tabela 10: Dados de qualidade da água no dia 25/03/2020	42
Tabela 11: Resultados do ensaio com SA e CAP (30/03/2020).....	43
Tabela 12: Dados de qualidade da água no dia 30/03/2020	45
Tabela 13: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e Carvão Activado, usando água clorada (31/03/2020).....	46
Tabela 14: Dados de qualidade da água no dia 31/03/2020	48
Tabela 15: Resultados do ensaio com SA e CV-S (29/12/2021)	49
Tabela 16: Resultados do ensaio com SA e CV-M (04/01/2022)	51
Tabela 17: Comportamento de SA e sua eficiência em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (10/04/2023)	53
Tabela 18: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-MB (10/04/2023)...	54
Tabela 19: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023	56
Tabela 20: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-M (10/04/2023).....	57
Tabela 21: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023	59
Tabela 22: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-CHA (10/04/2023). 60	
Tabela 23: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023	62
Tabela 24: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-S (10/04/2023).....	63
Tabela 25: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023	65
Tabela 26: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-CHI (10/04/2023) ..	66
Tabela 27: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023	68

Tabela 28: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CAP (10/04/2023)	69
Tabela 29: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023	71
Tabela 30: Áreas superficiais específicas de diferentes tipos de carvão	72
Tabela 31: Especificações técnicas do moedor	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa indicativo da ETA – Umbeluzi.....	21
Figura 2: Sistema de captação com bombas horizontais.....	22
Figura 3: Sistema de captação com bombas verticais.....	22
Figura 4: Injecção do cloro na conduta de água bruta (pré-cloração).....	22
Figura 5: Ponto de doseamento do coagulante (SA) na câmara de mistura.....	23
Figura 6: Ponto de doseamento do polieletrólito (SUDFLOC), na câmara de mistura	23
Figura 7: Decantadores circulares (ETA 1).....	24
Figura 8: Decantadores rectangulares (ETA 3).....	24
Figura 9: Ilustração dos filtros Aquazur V em uso na ETA do Umbeluzi.....	25
Figura 10: Sistema de doseamento da cal para a correcção do pH.....	26
Figura 11: Sistema de doseamento do cloro gasoso (pós-cloração).....	26
Figura 12: Processo de produção do carvão vegetal: (a) Amontoamento da lenha; (b) Cobertura da lenha com capim; (c) Cobertura do capim com areia (fase inicial); (d) Cobertura do capim com areia (fase mediana); (e) Cobertura do capim com areia (fase final); (f) Introdução de lenha nas fendas laterais do forno para dar início ao processo de combustão e ventilação; (g) Protecção do forno com troncos espinhosos contra a invasão do gado.	29
Figura 13: Ilustração do posto administrativo de Sábiè (local de produção do CV-S). 29	
Figura 14: Esquema de aparelho do Jar Test.....	30
Figura 15: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP	39
Figura 16: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP na presença de SA.....	41
Figura 17: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP na presença de SA.....	44
Figura 18: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP na água clorada	47
Figura 19: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-S na presença de SA	50
Figura 20: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-M na presença de SA	52
Figura 21: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-MB na presença de SA.....	55
Figura 22: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-M na presença de SA	58
Figura 23: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-CHA na presença de SA	61
Figura 24: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-S na presença de SA	64
Figura 25: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-CHI na presença de SA.....	67
Figura 26: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP na presença de SA.....	70
Figura 27: Equipamento de moagem do carvão vegetal	73

Figura 28: Processo de moagem do carvão – início.....	73
Figura 29: Processo de moagem do carvão – fim	73

LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla/Acrónimo	Descrição
ASS	Área Superficial Específica
CAP	Carvão Activado em Pó
CV-CHA	Carvão vegetal de Changalane
CV-CHI	Carvão vegetal de Chicualacuala
CV-M	Carvão vegetal de Mapai
CV-MB	Carvão vegetal de Mabalane
CVPL	Carvão Vegetal de Produção Local
CV-S	Carvão Vegetal de Sábiè
ETA	Estação de Tratamento de Água
SA	Sulfato de Alumínio
SPD	Subprodutos da Desinfecção

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos estão se tornando cada vez mais limitados, tanto em quantidade quanto em qualidade. Com o constante crescimento populacional, aumenta também o consumo de água, impulsionado não apenas pelo aumento da população, mas também pelo crescimento dos sectores industrial e agropecuário (Flörke et al., 2018). A água distribuída pelos sistemas de abastecimento público deve atender a rigorosos critérios de qualidade para não causar prejuízos à saúde dos consumidores (Lúcio, 2013). Paralelamente, as mudanças climáticas têm levado a um aumento do teor de matéria orgânica natural (MON) na água bruta. De acordo com De Souza Cordeiro & Marcondes Silva (2018), a MON é uma matriz complexa de matéria orgânica presente em águas naturais, cuja quantidade e características dependem do clima, geologia, topografia e diversos outros fatores ambientais. A presença de MON nas águas naturais compromete o desempenho das estações de tratamento de água (ETAs), a eficácia do processo de desinfecção e a estabilidade biológica (De Souza Cordeiro & Marcondes Silva, 2018).

O carvão activado tem sido amplamente utilizado nos sistemas de tratamento de água para a redução das concentrações de MON e eliminação de outros poluentes, através da remoção de substâncias orgânicas dissolvidas pelo mecanismo de adsorção (Fangmeier & Hoehne, 2012; Fernandes, 2010). No entanto, o alto custo geralmente associado ao uso do carvão activado nas ETAs (Silva, 2019; Tramontin *et al.*, 2010), leva à necessidade de buscar alternativas com características de adsorção semelhantes, porém com menor custo (Chandra et al., 2007; Shaarani & Hameed, 2010). Neste estudo, além do carvão activado em pó (CAP), foram utilizadas amostras de carvão vegetal de produção local (CVPL), considerado uma alternativa de baixo custo para a remoção de contaminantes e obtenção de água limpa (Gwenzi et al., 2017).

Diante desse contexto, o presente estudo se propõe a avaliar a eficiência da coagulação seguida da adsorção em CAP e CVPL na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi. Portanto, a pesquisa visa explorar a viabilidade do uso de carvão vegetal produzido localmente como uma solução eficiente e económica para o tratamento da água na ETA do Umbeluzi, oferecendo uma alternativa sustentável para a remoção de matéria orgânica natural.

1.1 Relevância do estudo

O aumento populacional e as mudanças climáticas têm impactado significativamente a qualidade da água bruta disponível para consumo humano, principalmente devido à presença de contaminantes de actividades antropogénicas. A ETA do Umbeluzi enfrenta desafios na redução eficiente da MON, que compromete a qualidade estética da água e a eficácia dos processos de tratamento (Júnior, 2019).

Este estudo avalia a eficiência da coagulação seguida da adsorção em CAP e CVPL na remoção da MON na ETA do Umbeluzi. O CVPL é uma alternativa economicamente viável devido à sua disponibilidade local (Gwenzi et al., 2017).

A pesquisa é relevante por buscar soluções eficazes para problemas enfrentados pela ETA do Umbeluzi, contribuindo para práticas mais sustentáveis e eficientes no tratamento de água, com potencial de aplicação noutras regiões que eventualmente tenham desafios semelhantes.

1.2 Objectivos

1.2.1 Geral

- ☞ Avaliar a eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó (CAP) e carvão vegetal de produção local (CVPL) na remoção da matéria orgânica natural (MON) na ETA do Umbeluzi.

1.2.2 Específicos

Para o alcance do objectivo geral, foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- ☞ Investigar a eficácia do CAP e CVPL na remoção da MON quando combinados ao sulfato de alumínio (SA);
- ☞ Optimizar a dosagem ideal de SA e CAP, bem como SA e CVPL, por meio da análise das isotermas de adsorção, visando maximizar a eficiência do processo de remoção da MON;

- ✧ Comparar a eficiência de remoção da MON entre o CVPL e o CAP para determinar qual dos carvões apresenta melhor desempenho no tratamento da água.
- ✧ Estabelecer uma relação entre a área superficial específica (ASS) do CAP e do CVPL, visando compreender se há ou não uma relação directa entre a ASS e a eficiência dos carvões na remoção da MON.

1.3 Metodologia

De modo a alcançar os objectivos traçados, o trabalho seguiu a seguinte metodologia:

✧ *Revisão Bibliográfica*

- ✧ Realizou-se uma revisão extensiva da literatura científica utilizando bases de dados electrónicas confiáveis, como Google Scholar, e Science Direct. Foram seleccionados artigos relevantes que abordam as técnicas de tratamento de água, propriedades dos adsorventes, e os desafios associados à MON.

✧ *Parte experimental*

A parte experimental foi estruturada da seguinte forma:

Colecta e preparação das amostras de água bruta

- **Colecta:** As amostras de água bruta foram colectadas na captação da ETA do Umbeluzi em dois períodos distintos (alta turvação e baixa turvação) para garantir a variabilidade nos níveis de MON;
- **Armazenamento:** As amostras foram armazenadas em condições controladas até a realização dos ensaios.

Caracterização das amostras de carvão

- **Materiais:** Utilizou-se CAP comercial e CVPL proveniente de diferentes regiões, nomeadamente: Sábìè, Mapai, Mabalane, Changalane e Chicualacuala.

- **Método de caracterização:**

- **Área superficial específica (ASS):** Determinada pelo método azul-de-metileno para quantificar a área disponível para adsorção.

Ensaio de Jar-Test e avaliação da eficiência

- **Método:** Foram realizados ensaios de jar-test utilizando sulfato de alumínio (SA) para determinar a sua taxa ótima antes da combinação com o carvão. Após a determinação da taxa ótima do SA, variaram-se as dosagens de adsorventes, mantendo-se fixa a concentração do coagulante.
- **Avaliação da eficiência:** Medida pela redução na concentração de MON, utilizando o método de oxidabilidade para a quantificação da MON.

☞ *Análise e discussão dos resultados*

- ☞ Os resultados obtidos foram analisados e comparados com os dados bibliográficos.

☞ *Por último foi elaborado o relatório final*

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tratamento de Água nas Estações de Tratamento (ETAs)

O tratamento de água nas ETAs desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade da água fornecida para o consumo humano. As ETAs são responsáveis por remover contaminantes, sólidos suspensos, matéria orgânica e microorganismos patogênicos presentes na água bruta. Segundo Pakharuddin et al. (2021), a água destinada ao consumo humano deve passar por um tratamento eficaz para que atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pelas agências reguladoras, como a Organização Mundial da Saúde (OMS).

2.1.1 Importância do tratamento de água para o consumo humano

O tratamento de água é essencial para prevenir doenças de origem hídrica, como cólera, disenteria e hepatite, que são comuns em regiões onde a água não tratada é consumida. As ETAs, ao removerem patógenos e contaminantes químicos, garantem que a água seja segura para consumo (Bratby, 2016). Em Moçambique, a qualidade da água fornecida pela ETA do Umbeluzi é crucial, visto que abastece uma grande parcela da população da região metropolitana de Maputo.

2.1.2 Contexto das ETAs em Moçambique

Em Moçambique, a infraestrutura de tratamento de água enfrenta desafios significativos relacionados à variabilidade da qualidade da água bruta e à escassez de recursos para a modernização das ETAs. O Umbeluzi é uma das principais fontes de água para Maputo e outras regiões circunvizinhas, porém a presença de MON em níveis elevados na água bruta, compromete a eficiência dos processos de tratamento (Tshindane et al., 2019).

2.1.2 Tipos de tratamento aplicados nas ETAs/Etapas convencionais de tratamento de água

O tratamento convencional é a tecnologia de tratamento de água empregue na maioria das ETAs para abastecimento público(Braga, 2014). No entanto, a escolha da tecnologia mais adequada deve ser guiada pelos seguintes factores: i) características da água bruta; ii) custos envolvidos; iii) manuseio e confiabilidade dos equipamentos; iv) flexibilidade operacional; v) localização geográfica e características da população (Libânio, 2010).

A seguir são descritas cada uma das etapas de tratamento convencional da água:

- **Coagulação:** Nesta etapa, agentes coagulantes, como sulfato de alumínio (SA), são adicionados à água para promover a formação de flocos a partir de partículas suspensas e materiais coloidais (Bratby, 2016);
- **Floculação:** Durante a floculação, os flocos formados na etapa de coagulação são aglomerados para facilitar sua remoção na etapa de sedimentação;
- **Sedimentação:** A sedimentação permite que os flocos formados se depositem no fundo do decantador, removendo assim parte dos contaminantes presentes na água;
- **Filtração:** Na filtração, a água passa através de meios filtrantes, como areia ou carvão activado, para remover partículas remanescentes e impurezas menores. Este processo é crucial para garantir a clareza da água e a remoção de microorganismos e outros contaminantes.
- **Desinfecção:** A desinfecção é a etapa final, onde agentes desinfetantes, como cloro ou ozono são aplicados para eliminar microorganismos patogénicos e garantir a segurança microbiológica da água. Esta etapa é essencial para prevenir doenças de origem hídrica e assegurar que a água tratada esteja adequada para consumo humano.

2.1.2.1 Desafios específicos na ETA do Umbeluzi

A ETA do Umbeluzi enfrenta desafios únicos devido à presença de elevados níveis de MON na água bruta. De acordo com alguns estudos é preciso compreender os diferentes

compostos orgânicos presentes (MON), como ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, proteínas e carboidratos, que podem afectar a qualidade da água tratada e representar desafios adicionais no processo de tratamento (Tshindane et al., 2019).

2.1.3 Caracterização da MON

A MON refere-se a uma ampla gama de compostos orgânicos presentes em corpos d'água, oriundos principalmente da degradação de materiais biológicos, como plantas em decomposição, organismos aquáticos e resíduos orgânicos transportados pela água (Júnior, 2019). A MON está presente em todos os tipos de sistemas aquáticos, incluindo rios, lagos e reservatórios, e é uma das principais causas de vários problemas associados à qualidade da água para abastecimento.

A MON não apenas afeta parâmetros físicos, como a cor e o sabor da água, mas também interfere diretamente nos processos de tratamento, aumentando a necessidade de produtos químicos e contribuindo para a formação de subprodutos prejudiciais durante a desinfecção (Matilainen et al., 2011).

2.3.1 Definição e origem da MON

A MON é composta por uma mistura complexa e heterogênea de compostos orgânicos dissolvidos e particulados, derivados principalmente da degradação de materiais vegetais e biológicos no ambiente aquático (Thurman, 1985). Esses materiais incluem restos de plantas, matéria animal e produtos de atividades microbiológicas, sendo que a quantidade e a composição exata da MON podem variar significativamente de acordo com a localização geográfica e as condições ambientais.

A MON pode ser classificada com base em sua origem:

- **Autóctone:** Produzida no próprio ambiente aquático, resultante da atividade biológica, como a fotossíntese de algas e a decomposição de organismos aquáticos.
- **Alóctone:** Proveniente de fontes externas, como a lavagem de solos, decomposição de matéria vegetal terrestre e escoamento superficial.

A concentração de MON nos corpos d'água pode variar sazonalmente, sendo influenciada por fatores como a precipitação, temperatura e a presença de vegetação circundante. Durante períodos de alta pluviosidade, o escoamento superficial pode carregar grandes quantidades de matéria orgânica terrestre para os corpos d'água, aumentando significativamente a concentração de MON (Júnior, 2019).

2.3.2 Classificação da MON: Hidrofóbica vs. Hidrofílica

A MON pode ser classificada em duas categorias principais com base em suas características físico-químicas: hidrofóbica e hidrofílica.

- **MON Hidrofóbica:** É composta principalmente por ácidos húmicos e fúlvicos, que são grandes moléculas orgânicas com estruturas aromáticas e alto teor de carbono. Esses compostos tendem a ser insolúveis em água, formando complexos com metais e outros poluentes. A MON hidrofóbica é geralmente mais difícil de remover durante o tratamento de água, pois apresenta uma alta resistência à coagulação e à adsorção (Matilainen et al., 2011). Além disso, sua presença pode contribuir para a formação de cor e aumento de turbidez, afetando negativamente a qualidade estética da água.
- **MON Hidrofílica:** É composta por moléculas menores, como carboidratos, proteínas e compostos nitrogenados. Esses compostos são solúveis em água e têm uma estrutura mais simples, contendo menos anéis aromáticos e mais grupos funcionais que interagem com a água. A MON hidrofílica geralmente é mais facilmente removida durante o tratamento de água por processos como a coagulação e a adsorção, mas pode competir com outros compostos por sítios de adsorção em meios filtrantes, como o carvão ativado (Edzwald & Tobiasson, 1999).

Essa distinção entre as formas hidrofóbica e hidrofílica da MON é essencial, pois afeta diretamente a eficiência dos processos de tratamento, como a coagulação e a filtração. A remoção eficaz da MON é crucial para melhorar a qualidade da água e prevenir a formação de subprodutos indesejáveis durante a desinfecção.

2.1.4 Tipos de MON e seus efeitos no tratamento da água

A MON é descrita como uma mistura heterogênea complexa de vários compostos orgânicos, estando presente em todas as fontes de água (Júnior, 2019). A MON presente na água consiste em componentes hidrofóbicos e hidrofílicos. A parte hidrofóbica é rica em carbono aromático, com estruturas fenólicas e duplas ligações conjugadas, enquanto a MON hidrofílica contém uma maior proporção de carbono alifático e compostos nitrogenados, como carboidratos, proteínas, açúcares e aminoácidos (Matilainen et al., 2011).

A presença da MON está associada a problemas para a qualidade da água potável e seus processos de tratamento. Esses problemas incluem mudanças na qualidade da água (cor, sabor e odor), aumento das doses necessárias para a coagulação e desinfecção, aumento da produção de lodo, potencialização da formação de subprodutos da desinfecção (SPD) quando usados desinfetantes à base de cloro, promoção do crescimento biológico nas redes de distribuição e aumento dos níveis de metais pesados complexados e poluentes orgânicos adsorvidos (Matilainen et al., 2011).

A seguir são apresentados os efeitos da MON nos parâmetros de qualidade da água (Tabela 1) e nos processos de tratamento (Tabela 2):

Tabela 1: Efeitos da MON nos parâmetros de qualidade da água

Parâmetro	Efeitos da MON
Parâmetros de qualidade da água	
Cor	A MON pode transmitir um tom amarelado desagradável à água, em altas concentrações
Subprodutos da desinfecção (SPD)	A MON reage com desinfetantes, formando SPD, muitos dos quais demonstraram ser cancerígenos ou ter outros efeitos adversos para a saúde
Metais/compostos orgânicos sintéticos	A MON pode se complexar com metais e compostos orgânicos hidrofóbicos (como pesticidas), tornando-os mais solúveis. Uma vez solúveis, eles podem ser transportados no

	ambiente aquático, dificultando sua remoção durante o tratamento
--	--

Fonte: Júnior (2019)

Tabela 2: Efeitos da MON nos processos do tratamento da água

Etapa	Efeitos da MON
Processos de tratamento de água	
Desinfecção	A MON reage e consome desinfectantes, aumentando a dose necessária para atingir uma desinfecção efectiva
Coagulação	A MON reage e consome coagulantes, de modo que a dose necessária para obter uma remoção eficaz da turvação seja maior do que seria na ausência de MON
Adsorção	A MON é adsorvida em carvão ativado, competindo pelos centros activos e pela capacidade de adsorção
Membranas	A MON é adsorvida em membranas, obstruindo os seus poros e entupindo superfícies, conduzindo a um declínio rápido no fluxo através da membrana
Distribuição	A MON pode ter uma parcela biodegradável conduzindo à corrosão e ao desenvolvimento de biofilmes em sistemas de distribuição (especialmente quando oxidantes são utilizados durante o tratamento)

Fonte: Júnior (2019)

2.1.5 Coagulação como etapa de remoção de MON

A coagulação é o processo no qual produtos químicos (geralmente sais de alumínio e ferro) são adicionados a água, causando redução das forças que tendem a manter as partículas separadas. Como as partículas presentes na água estão em condição estável, o propósito da coagulação é desestabilizá-las de modo a permitir que se aglutinem e alcancem peso específico superior ao da água (flocos), favorecendo a remoção nos

processos subsequentes (Guerra, 2012). De acordo com Maria et al., (2012) e (Bartiko & Julio, 2015), a etapa de coagulação depende basicamente das características da água como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turvação, temperatura, mobilidade electroforética, força iónica, concentração de sólidos totais dissolvidos, tamanho e distribuição de tamanhos das partículas em estado coloidal e em suspensão, entre outros. A coagulação desempenha um papel crucial na remoção de MON nas ETAs, pelo que, a compreensão dos mecanismos envolvidos, dos factores que influenciam a eficiência da coagulação e a optimização dos parâmetros operacionais são essenciais para garantir uma remoção eficaz e a produção de água potável de alta qualidade.

2.1.6 Adsorção

A adsorção é um fenómeno físico-químico onde gases e líquidos são transferidos para uma superfície sólida. Pode ser aplicada em diversos fins, que vão desde os mais delicados como o branqueamento dos dentes, limpeza de pele, purificação do ar até tratamentos mais duros como o de águas e efluentes (Melani et al., 2021; Muranaka, 2010).

2.1.6.1 Princípios de adsorção

O processo de adsorção baseia-se na interação entre as moléculas do contaminante e a superfície do adsorvente, o que pode ocorrer por meio de forças físicas ou químicas. Estas interações são determinadas pelas propriedades tanto do adsorvente quanto do adsorbato (contaminante) e pelas condições do meio, como pH, temperatura e concentração de contaminantes.

2.1.6.2 Adsorção em CAP

Aplicação do CAP directamente em água para abastecimento público se constitui em melhor alternativa para a remoção de compostos orgânicos causadores de gosto e odor na água (Ferreira Filho & Marchetto, 2006). O CAP pode ser aplicado na captação de água bruta, ou seja, na entrada na ETA, juntamente com o coagulante na unidade de mistura rápida e na entrada dos filtros. A aplicação do CAP na entrada da ETA pode

favorecer o processo de adsorção, devido ao maior tempo de contacto entre o CAP e a água, mas para que isso aconteça deve existir uma distância considerável entre a ETA e a captação (Fernandes, 2010).

Segundo Fernandes (2010), a aplicação mais comum do CAP na ETA convencional tem sido na etapa de coagulação. O único inconveniente seria a ocorrência de interferência do coagulante no processo de adsorção, por isso se recomenda a aplicação do coagulante trinta minutos após a aplicação da CAP. Na entrada dos filtros, as interferências no processo de adsorção seriam minimizadas, mas pode ocorrer a passagem de CAP pelos filtros, prejudicando a qualidade da água filtrada (Müller, 2008).

2.1.6.3 Adsorção física vs. adsorção química

A adsorção pode ser classificada em física ou química, dependendo da natureza das forças envolvidas. A adsorção física ocorre por meio de forças de van der Waals, que são fracas e geralmente reversíveis, facilitando a regeneração do adsorvente (Matilainen et al., 2011). Esse tipo de adsorção é predominante em sistemas que utilizam carvão ativado, onde os micropoluentes são retidos na superfície do material. Por outro lado, a adsorção química envolve a formação de ligações covalentes ou iônicas entre o adsorvente e o adsorbato, resultando em interações mais fortes e geralmente irreversíveis. Esse processo é mais seletivo, porém pode limitar a regeneração do material adsorvente (Libânio, 2010).

2.5.1.2 Modelos de adsorção

As isotermas de adsorção descrevem a relação entre a quantidade de contaminante adsorvido e sua concentração no meio líquido, sob temperatura constante. Os modelos mais utilizados em ETAs são as isotermas de Langmuir e Freundlich. O modelo de Langmuir assume que a adsorção ocorre em uma monocamada e que os sítios de adsorção são energeticamente homogêneos, o que é adequado para sistemas com adsorventes como carvão ativado (Braga, 2014). Já o modelo de Freundlich é mais aplicável a superfícies heterogêneas e considera que a adsorção continua

indefinidamente, o que é útil para descrever sistemas com adsorventes naturais, como o carvão vegetal (Guerra, 2012).

2.5.2 Tipos de adsorventes aplicados em ETAs

Os adsorventes utilizados nas ETAs variam conforme a sua capacidade de remoção de contaminantes e a facilidade de aquisição. Entre os mais comuns estão o carvão ativado em pó (CAP), o carvão ativado granular (CAG) e o carvão vegetal, sendo este último uma alternativa mais econômica em alguns contextos, como em países em desenvolvimento.

2.5.2.1 Carvão ativado em pó (CAP)

O carvão ativado em pó (CAP) é amplamente utilizado em ETAs devido à sua alta área superficial e excelente capacidade de adsorção para uma ampla gama de contaminantes, incluindo compostos orgânicos voláteis, pesticidas e derivados da matéria orgânica. De acordo com Braga (2014), o CAP é aplicado em pequenas doses diretamente na água bruta ou tratada e é altamente eficaz na remoção de contaminantes que causam gosto e odor, além de ser um excelente adsorvente para subprodutos da desinfecção.

2.5.2.3 Carvão vegetal

O carvão vegetal é uma alternativa emergente ao CAP e CAG, especialmente em regiões onde a produção de carvão vegetal é abundante e de baixo custo. Estudos mostram que, apesar de sua menor área superficial comparada ao carvão ativado comercial, o carvão vegetal tem uma eficiência promissora na remoção de matéria orgânica e outros poluentes (Guerra, 2012). Além disso, seu uso apresenta vantagens econômicas e ambientais, sobretudo em contextos de países em desenvolvimento, como Moçambique.

2.1.7 Fatores que influenciam a eficiência da adsorção

A eficiência da adsorção depende de diversos fatores relacionados tanto às propriedades do adsorvente quanto às condições operacionais do sistema de tratamento de água.

2.1.7.1 Área superficial do adsorvente

A área superficial do adsorvente é um dos principais determinantes de sua eficiência. Quanto maior a área superficial, maior a quantidade de contaminantes que pode ser adsorvida. O carvão ativado é altamente valorizado por sua grande área superficial, que pode chegar a centenas de metros quadrados por grama de material (Bratby, 2016). A área superficial está diretamente relacionada ao número de sítios de adsorção disponíveis, o que torna o CAP e o CAG particularmente eficazes.

2.5.3.2 Tamanho de poros e estrutura do carvão ativado

O tamanho dos poros e a estrutura do carvão ativado também influenciam diretamente a adsorção. O carvão ativado apresenta uma rede complexa de poros de diferentes tamanhos, categorizados como microporos, mesoporos e macroporos. De acordo com Matilainen et al. (2011), os microporos são particularmente eficazes na adsorção de pequenas moléculas, enquanto os mesoporos facilitam o transporte de moléculas maiores para o interior do adsorvente. A estrutura porosa do material é fundamental para maximizar a adsorção de uma variedade de contaminantes.

∞ Propriedades do carvão activado relevantes para a adsorção de MON

Diversas propriedades do carvão activado, como área superficial específica, porosidade, tamanho de partícula e capacidade de adsorção, influenciam directamente sua eficiência na remoção de MON (Gayathiri et al., 2022). Compreender essas propriedades é fundamental para seleccionar o tipo adequado de carvão activado e optimizar seu desempenho no processo de tratamento de água.

2.1.8 Remoção de compostos orgânicos com CAP

O CAP é altamente eficaz na remoção de compostos orgânicos dissolvidos na água, especialmente aqueles que não são completamente eliminados por coagulação e filtração. Sua elevada capacidade de adsorção é amplamente aplicada na remoção de substâncias que causam problemas sensoriais, como gosto e odor, além de ser eficiente na remoção de pesticidas, solventes orgânicos e subprodutos da desinfecção (Matilainen et al., 2011).

2.1.8.1 Eficácia do CAP na remoção de compostos que causam gosto e odor

O CAP é particularmente eficaz na remoção de compostos responsáveis por causar gosto e odor desagradáveis na água, como geosmina e 2-metilisoborneol (MIB). Esses compostos são frequentemente associados à presença de algas e cianobactérias em reservatórios e podem ser detectados em concentrações muito baixas (Libânio, 2010). A aplicação de CAP em ETAs é uma medida eficiente para mitigar esses problemas sensoriais, uma vez que o carvão ativado adsorve essas substâncias antes que elas cheguem às fases finais do tratamento.

2.1.8.2 Competição entre MON e outros compostos pela superfície do CAP

A eficiência do CAP na remoção de compostos orgânicos pode ser comprometida pela competição entre a matéria orgânica natural (MON) e outros contaminantes pela superfície adsorvente. De acordo com Matilainen et al. (2011), a MON, especialmente suas frações hidrofóbicas, pode competir diretamente com compostos como pesticidas e subprodutos da desinfecção, reduzindo a capacidade do CAP de remover estes poluentes. A presença de altos níveis de MON nas águas brutas, como na ETA do Umbeluzi, exige ajustes na dosagem de CAP e uma combinação eficaz com outros processos, como a coagulação.

2.1.9 Interferências entre a coagulação e o CAP

A combinação dos processos de coagulação e adsorção com CAP pode gerar interações sinérgicas ou antagonistas, dependendo das características da água e das condições

operacionais. A adsorção com CAP ocorre em paralelo à coagulação em muitos sistemas de tratamento de água, podendo tanto aumentar a remoção de contaminantes quanto afetar negativamente a formação de flocos, dependendo de como os processos são integrados (Bratby, 2016).

2.1.9.1 Sinergias e antagonismos entre os processos

Existem evidências de que a coagulação pode aumentar a eficiência da adsorção de CAP ao remover partículas maiores e reduzir a turbidez da água, facilitando o acesso do CAP aos micropoluentes e compostos orgânicos dissolvidos (Braga, 2014). No entanto, também podem ocorrer efeitos antagonistas, onde a presença de coagulantes, como o sulfato de alumínio, interfere na eficiência de adsorção ao reagir com a MON e bloquear sítios ativos no CAP (Libânio, 2010). Essa interferência pode exigir ajustes finos na dosagem de coagulantes e CAP para maximizar a sinergia entre os dois processos.

2.1.9.2 Impacto na formação de flocos e na remoção de turbidez

A presença de CAP pode interferir na formação de flocos durante a coagulação, principalmente se o carvão for introduzido em quantidades elevadas. O carvão ativado pode dificultar a aglutinação das partículas coloidais, resultando em flocos menos densos e mais frágeis, o que pode reduzir a eficiência da sedimentação e da filtração subsequentes (Guerra, 2012). Para minimizar esse efeito, é crucial ajustar a sequência de adição de coagulantes e CAP, bem como otimizar o tempo de mistura para garantir que ambos os processos ocorram de forma eficaz.

2.2 Impactos para a sustentabilidade do tratamento de água no Umbeluzi

A sustentabilidade dos processos de coagulação e adsorção no tratamento de água da Estação de Tratamento de Água (ETA) do Umbeluzi é uma preocupação crescente, dada a elevada concentração de matéria orgânica na água bruta e os recursos limitados para modernização da infraestrutura (Braga, 2014). De acordo com Matilainen et al. (2011), a presença de grandes quantidades de MON no Rio Umbeluzi não só afeta a qualidade

da água tratada, mas também aumenta a demanda por coagulantes e adsorventes, elevando os custos operacionais da ETA.

O uso de carvão vegetal de produção local representa uma alternativa sustentável ao CAP, tanto em termos econômicos quanto ambientais. Conforme argumentado por Guerra (2012), a produção local de carvão vegetal, utilizando resíduos agrícolas ou biomassa de fontes renováveis, pode reduzir a dependência de materiais importados e diminuir o impacto ambiental associado à extração e transporte de carvão ativado. Além disso, o uso de carvão vegetal promove o desenvolvimento econômico local e pode reduzir os custos operacionais da ETA do Umbeluzi, tornando o tratamento de água mais acessível e sustentável a longo prazo.

No entanto, a implementação de tecnologias sustentáveis deve ser acompanhada de investimentos em infraestrutura e pesquisa para garantir que os processos de tratamento atendam aos padrões de qualidade da água e protejam a saúde pública. Conforme destacado por Braga (2014), a combinação de coagulação eficiente e adsorção com materiais locais pode oferecer uma solução viável para os desafios enfrentados pela ETA do Umbeluzi, mas a sustentabilidade plena só será alcançada com o suporte contínuo a iniciativas de inovação e a adoção de práticas ambientalmente conscientes.

2.3 Produção e aplicação do Carvão Vegetal

O carvão vegetal é produzido através da degradação parcial da madeira e sua carbonização. Esse processo ocorre em fornos especialmente construídos, onde a madeira é aquecida ao abrigo do ar até sua decomposição parcial. O resultado desse processo é a obtenção de carvão vegetal, que é utilizado em várias aplicações, incluindo a adsorção de compostos orgânicos em água.

2.3.1 Produção do carvão vegetal em Moçambique

Em Moçambique existe um sistema artesanal de produção de carvão vegetal, no entanto, o abate florestal deve ser feito com autorização das autoridades locais e com consulta feita às associações de gestão. Mas, em muitos casos o abate é feito de uma forma ilegal, sem o cumprimento dos procedimentos (SDAE, 2010 citado por Mabote, 2011).

O processo de produção do carvão vegetal consiste na degradação parcial da madeira e a sua carbonização (Colombo *et al.*, 2006). A carbonização consiste em aquecer, ao abrigo do ar, troncos, sementes ou cascas de frutos até sua decomposição parcial (Mabote, 2011; Morais, 2014). O resultado desse tratamento é a obtenção de uma parte de carvão vegetal e, de outra parte, produtos voláteis, condensáveis ou não, denominados produtos da destilação da madeira (Mabote, 2011),

O ciclo de produção inicia-se com a aquisição da matéria-prima. Após isso, ocorre a construção do forno, onde são utilizados tijolos preparados com água, cal e de terra argilosa (Mabote, 2011).

Depois de aceso o forno e o controlo da entrada de ar, a carbonização dura em média três dias, o forno é completamente vedado com argila e deixado em resfriamento até atingir temperaturas internas em torno de 40°C a 50°C, quando então é possível a descarga do forno sem risco de ignição do carvão ao entrar em contacto com o ar (Mabote, 2011).

Segundo Falcão (2013), o carvão vegetal é feito em fornos de terra, cujas produções variam entre 20 e 50 sacos (muito raramente 70 sacos) e com pesos entre 25 e 35 kg por saco, dependendo das espécies utilizadas. Este tipo de forno requer apenas ferramentas simples e trabalho, o que permite que sejam os próprios membros da família ou outros produtores a colaborarem neste tipo de produção. O tipo de pagamento deste trabalho é feito através de uma bebida local – Wutchema 20 a 25 litros (Falcão, 2013).

2.3.1.1 Tipos de madeira usada para a produção do carvão vegetal

Segundo a lista das espécies classificadas como comerciais e de acordo com o (Decreto Nº 12/2002, de 6 de Junho (Regulamento Da Lei de Florestas e Fauna Bravia), 2002) e do Diploma Ministerial de 20 de Dezembro de 2006, citado por Falcão (2013), somente as espécies pertencentes à 4ª classe (Tabela nº 3) deverão ser utilizadas como combustíveis lenhosos. Em todo o caso, a Lei também prevê a possibilidade de utilização das restantes espécies comerciais (Tabela nº 4), caso as mesmas apresentem deficiências de conformação do fuste que inviabilizem o seu aproveitamento para a indústria madeireira.

Tabela 3:Lista das espécies comerciais para uso como combustíveis lenhosos, 4ª classe

Nome científico	Nome comercial/local
<i>Acacia álvida</i>	Micaia, Dzungua, Sango
<i>Acacia burkei</i>	Micaia, Munga
<i>Acacia erioloba</i>	Micaia, Munga
<i>Acacia karroo</i>	Micaia, Munga
<i>Acacia nilótica</i>	Micaia, Munga
<i>Acacia polyacantha</i>	Micaia, N'roca
<i>Acacia robusta</i>	Micaia, Massadzi
<i>Acacia senegal</i>	Micaia, Munga
<i>Acacia sieberana</i>	Micaia, Munga
<i>Acacia tortilis</i>	Micaia, Munga
<i>Acacia xanthophloea</i>	Micaia, Megerengue
<i>Antidesma venosum</i>	Nhongue, Chongue
<i>Borassus aethiopicum</i>	Mudicua, Palmeira
<i>Cussonia sp</i>	Capwapwa, Nampuko-puko
<i>Dolichandrone alba</i>	Tsani
<i>Fernandoa magnifica</i>	Titi, Nancilacona
<i>Hirtella zanguebarica</i>	Tondjua, Mpovataco Cimboma,
<i>Hyphaene sp.</i>	Cimboma, Mucimboma
<i>Kirkia acuminata</i>	Micheu, Palmeira
<i>Lannea sp.</i>	Mtumbui, Poko-poko
<i>Lecaniodiscus fraxinifolius</i>	Chiumbucanho, Msatoto, Cimuili, Kanyupo
<i>Manilkara sp.</i>	Mutarara
<i>Mimusops sp.</i>	Nheve, Nhewa
<i>Treculia africana</i>	Ntzole, Bengwerwa
<i>Tamarrindus</i>	Tcheia

Fonte: Falcão (2013)

Tabela 4: Espécies lenhosas mais comuns para processos de carbonização

Nome científico	Nome comercial/local
<i>Acacia nilotica/senegalensis/tortilis</i>	Micaia/Munga
<i>Afzelia quanzensis</i>	Chanfuta

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

<i>Antidesma venosum</i>	Nhongue/Chongue
<i>Borassus aethiopicum</i>	Mudikwa/Palmeira
<i>Brachystegia specifformis</i>	Messassa
<i>Calophyllum molle</i>	Chivondzoane
<i>Colophospermum mopane</i>	Chanato/Missano/Missanye
<i>Combretum imberbe</i>	Monzo
<i>Fernandoa magnifica</i>	Tondjua/Mpovatako
<i>Strychnos madagascariensis</i>	Nkwakwa
<i>Terminalia sericea</i>	Inconola
<i>Lecaniodiscus franxinifolia</i>	Mutarara
<i>Millettia stuhlmannii</i>	Panga-Panga

Fonte: Falcão (2013)

2.4 Descrição da área do estudo

2.4.1 Estação de tratamento de água do Umbeluzi (ETA – Umbeluzi)

A ETA – Umbeluzi existe desde 1898 e está localizada a 35 Km da cidade de Maputo, cujo objectivo é de captar, tratar e abastecer água nas cidades de Maputo, Matola e Vila de Boane, através dos vários centros de distribuição. É do tipo convencional composta de três unidades de tratamento (ETA 1, ETA2 e ETA3), dentro de um perímetro de vedação, ocupando uma área de 196.204,2 m² (Muianga, 2015).

A Figura 1 representa o mapa indicativo da ETA - Umbeluzi, e esta estação recebe água proveniente da albufeira de Pequenos Libombos, através do rio Umbeluzi.



Figura 1: Mapa indicativo da ETA – Umbeluzi

Fonte: Google Maps, 2021

2.4.2 Descrição do processo de tratamento da água da ETA do Umbeluzi

O tratamento de água na ETA do Umbeluzi segue as seguintes etapas: captação, pré-cloração, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, neutralização e desinfecção.

2.4.2.1 Captação da água bruta

Entende-se por obra de captação ao conjunto de estruturas e dispositivos construídos ou montados junto ao local onde retira-se a água bruta destinada ao sistema de abastecimento (Guimarães, 2007; Gume, 2015). Para o caso da ETA - Umbeluzi, a água bruta é captada no rio Umbeluzi, por meio de bombas, sob pressão e conduzida através de uma conduta que em determinado ponto tem um medidor de caudal até a câmara de mistura. As Figuras 2 e 3 ilustram o sistema de captação montado na ETA – Umbeluzi.



Figura 2: Sistema de captação com bombas horizontais

Fonte: Muianga, 2015



Figura 3: Sistema de captação com bombas verticais

Fonte: Muianga, 2015

2.4.2.2 Pré - cloração

Faz-se o doseamento do cloro até que a água tenha na sua saída dos filtros 0,50 mg/L. Este também tem a função de oxidar os compostos orgânicos, amónia e essencialmente, a inibição de odores e da proliferação de algas nos decantadores e filtros. A Figura 4, ilustra o processo de injeção do cloro na conduta com água bruta (pré-cloração).



Figura 4: Injecção do cloro na conduta de água bruta (pré-cloração)

2.4.2.3 Coagulação-floculação

Nesta etapa adiciona-se na água o coagulante (Sulfato de Alumínio, SA) e o polieletrólito (coadjuvante), onde ocorre a reacção química entre o SA e a alcalinidade da água (carbonatos). A floculação tem como objectivo a agregação da matéria em suspensão, remoção de cor e outras substâncias, de forma a facilitar a clarificação da água bruta. A Figura 5 indica o ponto do doseamento do coagulante (SA) enquanto que a Figura 6 ilustra o ponto de doseamento do coadjuvante (polieletrólito), na câmara de mistura.



Figura 5: Ponto de doseamento do coagulante (SA) na câmara de mistura



Figura 6: Ponto de doseamento do polieletrólito (SUDFLOC), na câmara de mistura

∞ Optimização das condições do tratamento (*Jar Test*)

O Jar teste é um ensaio laboratorial realizado de modo a determinar a condição óptima de coagulação, ou seja, a melhor relação entre dosagem de coagulante e pH para cada tecnologia de tratamento de forma a permitir a formulação de diagramas de coagulação

(Bartiko & Julio, 2015; Braga, 2014). Desse modo o Jar Test, permite também determinar as quantidades de coagulantes (Knowles, 2011) e carvão activado em pó que são ideais para a redução da matéria orgânica na água (Baghoth, 2012).

2.4.2.4 Sedimentação

Depois da formação dos flóculos a água passa do decantador onde ocorre a sedimentação, processo que consiste na queda dos flóculos de maior densidade que a água, permitindo assim a sua clarificação preliminar. Uma vez que nem todos flóculos têm densidade suficiente para se sedimentarem, a água passa ao processo seguinte (filtração) para uma efectiva clarificação. Na ETA do Umbeluzi, a remoção dos sedimentos, sob forma de lama, ocorre de forma automática. As Figuras 7 e 8 ilustram os decantadores, onde ocorre o processo de sedimentação.



Figura 7: Decantadores circulares (ETA 1)



Figura 8: Decantadores rectangulares (ETA 3)

2.4.2.5 Filtração

O sistema de filtração usado na ETA do Umbeluzi é a filtração rápida em leito de areia, onde a água decantada passa por um leito poroso de areia com granulometria seleccionada. Este processo visa remover os flóculos remanescentes da água decantada.

São usados na ETA do Umbeluzi os filtros chamados Aquazur V, conforme pode ser visto na Figura 9. Segundo a Degremont (2013 e 2015^a), citado por Muianga (2015), o filtro Aquazur V é um filtro de areia de fluxo descendente, o qual retém partículas suspensas na água bruta graças a uma espessa camada de areia. A homogeneidade da areia aumenta o tempo de funcionamento do filtro, enquanto maior espessura da areia permite a filtração em alta velocidade.



Figura 9: Ilustração dos filtros Aquazur V em uso na ETA do Umbeluzi

2.4.2.6 Neutralização

Depois da filtração final a água é bombeada até á cisterna onde antes de distribuída até aos Centros faz-se a correcção do pH. Neste ponto adiciona-se água de cal, para a correcção do estado calco carbónico da água, de modo a evitar a corrosividade, portanto é para efeitos de protecção das canalizações tanto do sistema de transporte como da distribuição. A Figura 10, ilustra o sistema de doseamento da cal.



Figura 10: Sistema de doseamento da cal para a correcção do pH

2.4.2.7 Pós-cloração

A pós-cloração é o processo usado para compensar possíveis falhas na pré-cloração. É feita para desinfectar a água tratada. A água tratada em cada uma das estações (ETA 1, ETA 2 e ETA 3) do sistema do Umbeluzi é armazenada nas respectivas cisternas, misturando-se apenas quando canalizada para distribuição pública. A Figura 11 ilustra o sistema de doseamento do cloro gasoso na pós-cloração.



Figura 11: Sistema de doseamento do cloro gasoso (pós-cloração)

3 PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental do presente trabalho foi executada no Laboratório da ETA do Umbeluzi, da *Águas da Região Metropolitana de Maputo, S.A.*

3.1 Água para ensaios

As amostras de água utilizadas para os ensaios foram colectadas baseando-se no procedimento descrito por Chigulo (2018) na captação da ETA do Umbeluzi. Após a colecta as amostras foram transportadas para o laboratório local da ETA,

3.2 Amostras de carvão

As amostras carvão vegetal e carvão activado foram colectadas de diferentes locais, conforme apresenta a Tabela 5:

Tabela 5: Indicação das proveniências das amostras de carvão em estudo

#	Código da amostra	Identificação	Proveniência
1	CV-MB	Carvão vegetal de Mabalane	MABALANE
2	CV-M	Carvão vegetal de Mapai	MAPAI
3	CV-CHA	Carvão vegetal de Changalane	CHANGALANE
4	CV-S	Carvão vegetal de Sábiè	SÁBIÈ
5	CV-CHI	Carvão vegetal de Chicualacuála	CHICUALACUÁLA
6	CAP	Carvão activado em pó	ÁFRICA DO SUL- EREZ MEDICAL

Para o carvão produzido a nível local (carvão vegetal), foi presenciado o modo de produção do CV-S, o qual obedece basicamente as etapas ilustradas na Figura 12:

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 12: Processo de produção do carvão vegetal: (a) Amontoamento da lenha; (b) Cobertura da lenha com capim; (c) Cobertura do capim com areia (fase inicial); (d) Cobertura do capim com areia (fase mediana); (e) Cobertura do capim com areia (fase final); (f) Introdução de lenha nas fendas laterais do forno para dar início ao processo de combustão e ventilação; (g) Protecção do forno com troncos espinhosos contra a invasão do gado.

A Figura 13, ilustra a área onde foi presenciado o processo de produção do carvão, no Posto Administrativo de Sábiè

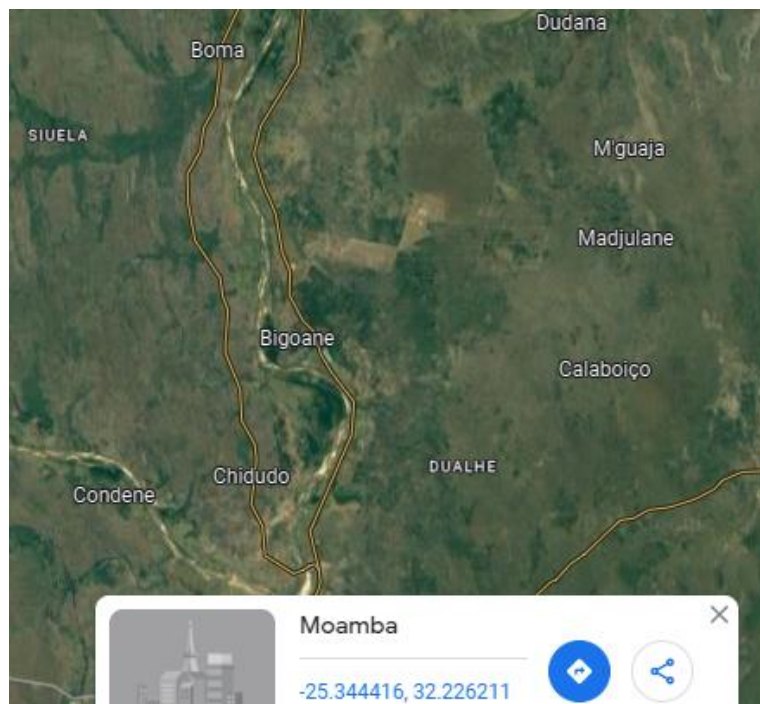


Figura 13: Ilustração do posto administrativo de Sábiè (local de produção do CV-S)

3.3 Materiais, reagentes e equipamento para a realização do ensaio de floculação

Foram usados para os procedimentos analíticos os seguintes materiais, reagentes e equipamento:

- ∞ Floculador Jar Test (Lovibond); Copos de Bécker de 1000 mL; Pipetas graduadas de 10 mL; Balões volumétricos de 100 mL e 1000 mL; Espátulas; Balança analítica; CAP; CVPL (amostras CV-MB à CV-CHI); Balões de Erlenmeyer de 100 mL; pH metro (Hach HQ11d) e Turbidímetro (Hach 2100Q).

3.4 Procedimentos para determinação dos parâmetros analisados

3.4.1 Procedimento de ensaio de floculação

Para simular a coagulação química em escala de bancada é feito o *Jar Test*. É um procedimento adotado quando se deseja ter uma noção aproximada do pH em que ocorre a coagulação e a dosagem de coagulante necessária para a mesma. A Figura 14, ilustra um esquema do aparelho de Jar Test.

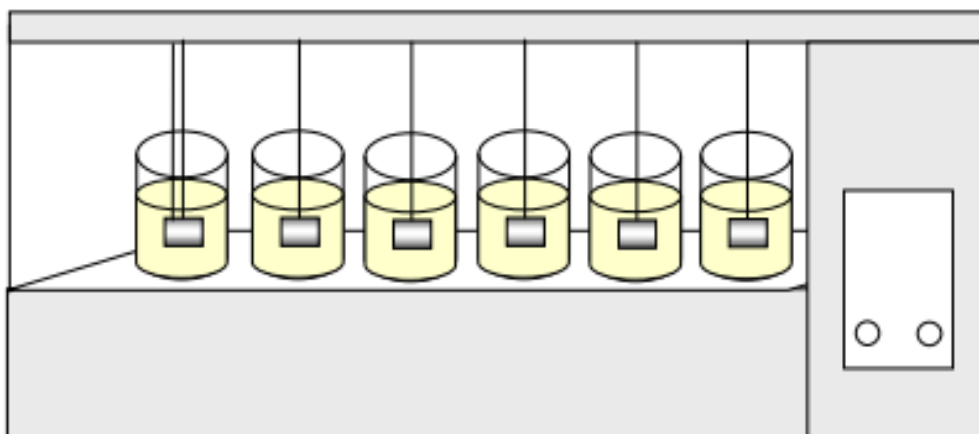


Figura 14: Esquema de aparelho do Jar Test

As amostras foram agitadas rapidamente (120 rpm) por 3 minutos e então agitadas lentamente (40 rpm) por 15 minutos, de forma que a agitação não quebrasse os flocos. Após a floculação, a agitação foi interrompida para que houvesse sedimentação por 1h.

3.4.2 Preparação da solução stock de Sulfato de Alumínio

Pesou-se 1 grama de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ numa balança analítica e fez-se num balão volumétrico de 1 litro com água destilada e assim obteve-se uma solução stock de 1000 mg/L.

3.4.3 Preparação da suspensão stock de carvão activado em pó

Pesou-se 1 grama de carvão activado em pó numa balança analítica e fez-se num balão volumétrico de 1 litro com água destilada e assim obteve-se uma suspensão stock de 1000 mg/L.

3.4.4 Preparação da suspensão stock de carvão vegetal em pó

Pesou-se 1 grama de carvão vegetal em pó numa balança analítica e fez-se num balão volumétrico de 1 litro com água destilada, tendo-se obtido uma suspensão stock de 1000 mg/L.

3.4.5 Determinação do pH

∞ Procedimento

- ∞ Escolhe-se a solução tampão cujo valor do pH é mais próximo do da amostra em pesquisa;
- ∞ Põem-se 25-50 mL de tampão num copo limpo e seco. Introduzem-se os eléctrodos no líquido;
- ∞ Calibra-se de maneira que o pH registado corresponda ao da solução tampão;
- ∞ Lavam-se os eléctrodos com água destilada e secam-se em seguida. Introduzem-se 25-50 mL de amostra num copo e procede-se a determinação do pH.

NOTA: A calibração e a leitura do pH das amostras deve ser feitas em agitação.

∞ Expressão dos resultados

Uma vez calibrado o aparelho, o pH é dado directamente pelo valor que se lê no pH – metro.

Tendo em conta que o pH varia com a temperatura é necessário anotá-la na altura da análise.

3.4.5.1 Turvação (método do turbidímetro)

∞ Procedimento

Mede-se uma certa quantidade de amostra de modo a alcançar o menisco da cuveta. Introduce-se em seguida a amostra no aparelho para a leitura óptica.

∞ Expressão dos resultados

O valor da turvação é dado directamente pelo valor que se lê no turbidímetro sem necessidade de cálculos sucessivos.

3.4.5.2 Matéria orgânica - Oxidabilidade (método de Kübel)

Preparação da cápsula de porcelana ou Erlenmeyer:

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

Retira-se então da chama. Em seguida adiciona-se agitando, solução de ácido oxálico 0,01 N até o completo desaparecimento da cor devido ao permanganato. Juntam-se então gotas de solução do permanganato até obter coloração rósea persistente. A cápsula

só será esvaziada no momento da utilização (Laboratório Nacional de Higiene de Alimentos e Águas, 1997).

∞ Procedimento

Medem-se 100 mL de água a analisar para uma cápsula de porcelana previamente preparada. Adicionam-se 10 mL de ácido sulfúrico e através da bureta 10 mL de permanganato de potássio 0,01 N. Ferve-se durante 10 minutos. Se durante a fervura desaparecer a cor do permanganato rejeita-se o conteúdo da cápsula e repete-se a pesquisa com um volume superior de permanganato.

Adiciona-se a quente, através da bureta um volume de ácido oxálico 0,01 N igual ao do permanganato e titula-se a quente o excesso de ácido oxálico com permanganato de potássio 0,01 N até ao aparecimento da coloração rósea persistente (Laboratório Nacional de Higiene de Alimentos e Águas, 1997).

∞ Expressão dos resultados

A quantidade de matéria orgânica presente na água expressa em mg de oxigénio consumido por litro é determinada segundo a fórmula:

$$mg.O_2/L = \frac{(a * N_a - b * N_b) * 8 * 1000}{c}$$

N_a = normalidade da solução de permanganato;

N_b = normalidade da solução de ácido oxálico;

a = mL totais de permanganato utilizados;

c = mL de amostras analisados;

b = mL de ácido oxálico.

Os resultados são apresentados arredondados às décimas de mg.O₂/L.

2.1.1. Determinação da área superficial específica (ASS) pelo método azul-de-metileno

O procedimento de determinação consistiu na trituração duma amostra de carvão, seguida da peneiração e posterior pesagem de 2 g da amostra de carvão. De seguida preparou-se uma suspensão com 10 cm³ de água destilada e agitou-se durante 3 minutos usando um agitador magnético, preencheu-se uma bureta com uma solução de azul-de-metileno a 0,0015g/cm³ e posicionou-se no bécker contendo a suspensão de carvão. Adicionou-se aos poucos gotas de azul-de-metileno na suspensão enquanto estava sendo agitada em outros 3 minutos e de seguida tomou-se uma gota da mistura e colocou-se num papel de filtro whatman. O teste é considerado positivo e concluído no caso de se verificar halos azul claro ao redor da mancha azul-escuro. No caso de teste negativo, volta-se a adicionar azul-de-metileno e procede-se a análise novamente. A área superficial específica total (expressa em m²/g) é determinada pela equação 3 (Arab *et al.*, 2015).

$$SSA = \frac{V \times m \times 130 \times 10^{-20} \times 6.02 \times 10^{23}}{Mmb \times M \times 1000}$$

Onde:

V-volume de azul-de-metileno gasto, ml

m-massa de azul de metileno usada para preparar a solução em kg

130.10⁻²⁰ corresponde à área específica do azul de metileno (130 Å²)

6,02.10²³ -número de Avogadro

Mmb- massa molar do azul-de-metileno em kg

M -massa do carvão em kg

3.4.6 Isotermas de adsorção

No presente estudo foram construídas isotermas de adsorção nas coordenadas, *quantidade de carvão activado e carvão vegetal de produção local vs quantidade de MON adsorvida* com a finalidade de encontrar a quantidade óptima de carvão produzido

a partir de diferentes espécies de árvores, mantendo constantes outras condições dos ensaios. Por causa de variação da quantidade de carvão, não foram usadas dependências matemáticas que caracterizam os comportamentos das isothermas de Langmiur (adsorção monomolecular) e isothermas de Freundlich (adsorção polimolecular), que tem como base, constância da quantidade de carvão como adsorvente e variação da quantidade da matéria adsorvida com o tempo de ensaio (Melani *et al.*, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, os resultados obtidos são apresentados na forma de valores médios, permitindo uma análise comparativa com dados bibliográficos relevantes. Os ensaios foram conduzidos em dois períodos distintos, caracterizados por baixa e alta turvação, e os resultados são discutidos de acordo com essas condições específicas. Para garantir a precisão e a reprodutibilidade dos ensaios, os valores correspondentes às réplicas e desvio padrão das médias, encontram-se disponíveis no capítulo ANEXOS.

4.1 Ensaios realizados no período de baixa turvação

Durante o período de baixa turvação, foi otimizada a taxa de aplicação de SA, que posteriormente seria utilizada nos ensaios combinados com três (3) adsorventes, nomeadamente: CAP, CV-S e CV-M.

4.1.1 Optimização da taxa de aplicação do SA em relação à remoção de MON, presente na água do rio Umbeluzi no período de baixa (ensaio nº 1)

Para a realização do *Jar Test*, no ensaio nº 1 foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $Al_2(SO_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Água Bruta:

Turvação: 1,62 NTU, pH = 7,66 e MON: 4,08 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 6:

Tabela 6: Comportamento de SA e sua eficiência em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (20/03/2020)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	6	8	10	12	14
Turvação (NTU)	1,62± 0,04	1,19±0, 10	1,12±0, 03	1,02±0, 11	1,04±0, 03	0,93±0, 05
MON (mg/l)	4,08± 0,15	3,84±0, 50	3,56±0, 15	3,28±0, 07	3,60±0, 16	3,71±0, 09
pH	7,66± 0,50	7,41±0, 18	7,20±0, 57	7,04±0, 54	7,22±0, 32	7,28±0, 17
Quantidade de MON adsorvida pelo CAP (mg/l)		0,24±0, 02	0,52±0, 07	0,80±0, 04	0,48±0, 02	0,37±0, 02

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Eficiência da remoção de MON (%)		5,88±0,45%	12,75±1,03%	19,61±1,49%	11,76±0,75%	9,07±0,52%
----------------------------------	--	------------	-------------	-------------	-------------	------------

Os dados da Tabela 6 mostram que com aplicação de SA no processo do tratamento da água, obteve-se a melhor eficiência (19,61%), com a aplicação da concentração de 10 mg/L. O valor 10 mg/L de SA serviu de base para os ensaios subsequentes ensaios combinados entre o SA e CVPL, durante o período de baixa turvação.

4.1.2 Ensaios com o CAP

Neste subcapítulo são apresentados os resultados dos ensaios laboratoriais realizados com CAP na presença de SA (na taxa de 10 mg/L), bem como o estudo do seu comportamento em relação à remoção da MON, turvação e pH. Para fins de comparação, são igualmente apresentados os dados de análise da água bruta e tratada na ETA do Umbeluzi, nos dias em que foram realizados os ensaios com *Jar Test*.

4.1.2.1 Estudo do comportamento de CAP em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio n° 2)

Para a realização do *Jar Test*, no ensaio n° 2 foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Suspensão stock de CAP = 1 g/L

∞ Água Bruta:

Turvação: 2,21 NTU, pH = 7,43 e MON: 4,32 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 7:

Tabela 7: Comportamento de CAP e sua eficiência em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (24/03/2020)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
CAP (mg/l)	0	8	9	10	15	20
Turvação (NTU)	2,21±0,19	7,07±0,13	7,15±0,30	10,60±1,48	11,50±0,64	14,60±0,94
MON (mg/l)	4,32±0,86	3,90±0,28	3,88±0,30	3,76±0,07	3,80±0,11	3,84±0,05
pH	7,43±0,40	7,15±0,83	7,20±0,03	7,23±0,46	7,36±0,35	7,38±0,38
Quantidade de MON adsorvida		0,42±0,03	0,44±0,03	0,56±0,01	0,52±0,04	0,48±0,06

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

pelo CAP (mg/l)						
Eficiência da remoção de MON (%)		9,70±0,50%	10,20±0,66%	13,00±0,68%	12,00±1,09%	11,10±0,44%

Os dados da Tabela 7 mostram que com aplicação de carvão activado em pó (CAP) no processo do tratamento da água, obteve-se melhor resultado com uso de CAP na concentração de 10 mg/L. O aumento posterior de CAP provoca aumento da turvação e crescimento de quantidade de MON. Foi notado também que aumento da quantidade de CAP não tem influência significativa no valor do pH. No início da adição do CAP, o valor do pH decresceu um pouco, mas com a concentração de 20 mg/L (7,38), tornou-se próximo do valor do pH sem a adição do CAP (7,43).

Em relação a eficiência, os valores de remoção de MON pelo CAP não são altos e atingem o seu máximo de 13,0 % com a concentração de 10 mg/L de CAP.

Estudos anteriores corroboram esses resultados ao destacar a importância da optimização da dosagem de CAP para maximizar a eficiência de adsorção de contaminantes orgânicos. Por exemplo, o estudo de Nguyen et al., (2014) investigou a adsorção de compostos orgânicos em água utilizando CAP e observou que a dosagem ideal de CAP variou dependendo das características específicas da água e dos contaminantes presentes. Isso sugere que, assim como observado no ensaio nº1, o aumento excessivo na dosagem de CAP pode não resultar na melhoria da eficiência podendo até levar a efeitos adversos, como aumento da turvação.

Com base nos resultados da Tabela 7, foi construída a isoterma de adsorção de MON pelo CAP que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CAP (Figura 15).

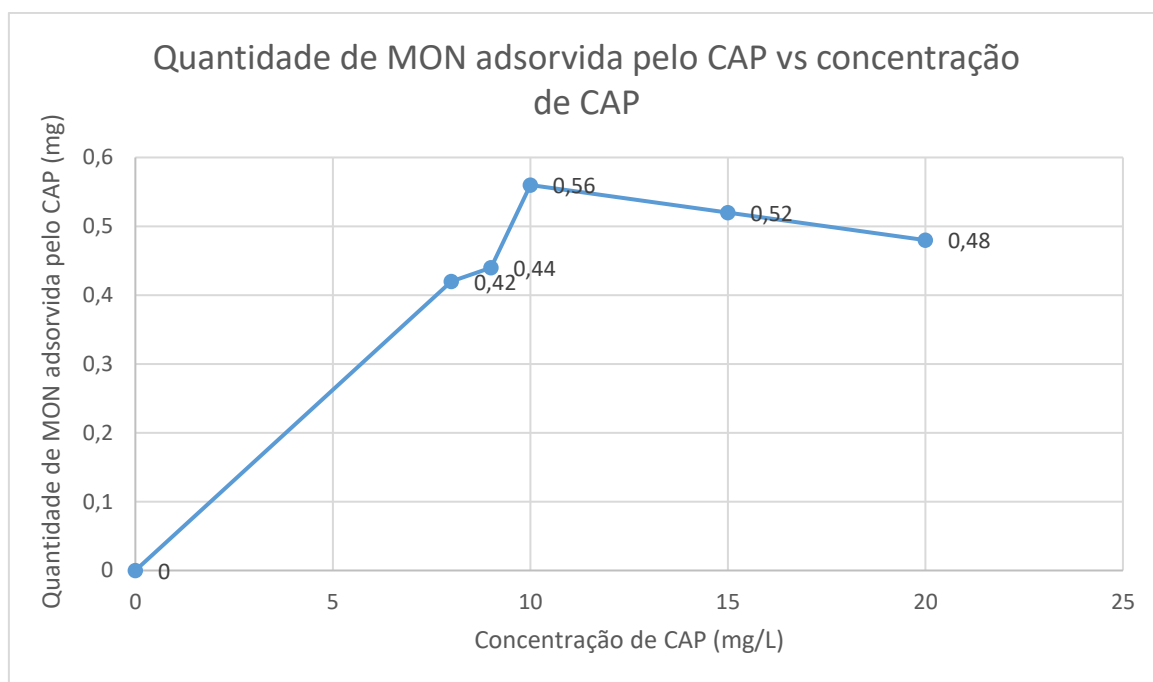


Figura 15: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP

A Figura 15 mostra a isoterma de adsorção de MON pelo CAP, indicando que a adsorção atingiu seu máximo com uma concentração de 10 mg/L de CAP.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 8, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 24/03/2020, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 8: Dados de qualidade da água no dia 24/03/2020

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água floculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	29,00	30,00	28,50	°C	-
pH	7,43	7,40	7,23	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	200,00	199,00	198,00	mg/L	-
Conductividade elétrica	707,00	708,00	706,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	486,42	487,10	485,73	mg/L	1000
Turvação	2,21	1,14	10,60	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	109,00	109,00	108,00	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	30,00	31,00	30,00	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,00	28,00	27,00	mg/L	50
Dureza total	186,00	187,00	187,00	mg/L	500

Matéria orgânica	4,32	3,47	3,76	mg/L	2,50
-------------------------	------	------	------	------	------

A partir dos dados da tabela 8, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados, o que sugere que o processo não afectou negativamente a qualidade geral da água em termos de parâmetros como pH, alcalinidade, conductividade eléctrica e dureza total.

Portanto, os resultados do ensaio nº2 destacam a importância da dosagem adequada de CAP para a remoção eficiente de MON, evitando efeitos indesejáveis, como aumento da turvação. Essa abordagem está em conformidade com as recomendações da literatura científica sobre a aplicação de CAP em processos de tratamento de água para remoção de contaminantes orgânicos (Braga, 2014; Bratby, 2016; Matilainen et al., 2011).

4.1.2.2 Realização dos ensaios de floculação com o coagulante usado na ETA

Umbeluzi (SA) seguidos da adsorção em CAP (ensaio nº3)

Para a realização do Jar Test, no ensaio nº 3 foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Suspensão stock de CAP = 1 g/L

∞ Água Bruta:

Turvação: 1,80 NTU, pH = 7,21 e MON: 4,24 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 9:

Tabela 9: Resultados do ensaio combinado entre SA e CAP (25/03/2020)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
CAP (mg/l)	0,0	4,0	6,0	8,0	9,0	10,0
MON(mg/l)	4,24±0,09	2,99±0,09	2,96±0,24	2,94±0,09	2,90±0,32	2,88±0,22
pH	7,21±0,23	7,37±0,27	7,40±0,14	7,38±0,61	7,40±0,80	7,39±0,86
Quantidade de MON adsorvida pelo CAP(mg/l)		1,25±0,05	1,28±0,03	1,30±0,11	1,34±0,08	1,36±0,10
Eficiência da remoção de MON (%)		29,50±3,73%	30,20±2,04%	30,70±2,99%	31,60±1,05%	32,10±6,14%

Analisando os resultados da Tabela 9, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CAP no intervalo de 4 à 10 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 10 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção de MON na água floculada é o copo nº 6. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,24 mg/L para um resultado final de 2,88 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 32%.

Esses resultados são consistentes com o estudo de Mailler et al. (2016) que destacou a eficácia da combinação de coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos em água.

Com base nos resultados da Tabela 9 foi construída a isoterma de adsorção de MON pelo CAP que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CAP na presença de SA (Figura 16).

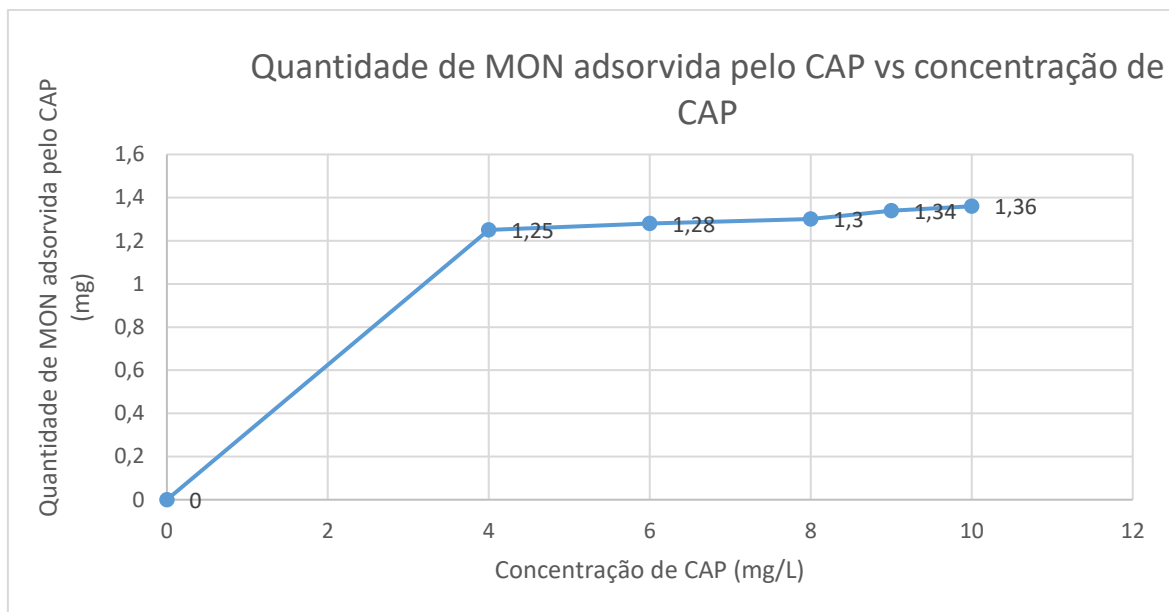


Figura 16: Isotherma de adsorção de MON pelo CAP na presença de SA

O gráfico da isoterma na Figura 16 mostra que o valor de adsorção de MON pelo CAP não atingiu o seu máximo, mas o aumento de quantidade de CAP não é desejável, porque com este aumento cresce a turvação de amostras de água em estudo.

A análise comparativa dos dados das Tabelas 7 e 9 revela que na presença de SA, a eficiência da remoção de MON pelo CAP aumentou, destacando a importância da combinação de coagulantes e adsorventes para melhorar o desempenho global do processo de tratamento de água (Dayarathne et al., 2021).

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 10, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 25/03/2020, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 10: Dados de qualidade da água no dia 25/03/2020

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água floculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	30,00	30,00	28,00	°C	-
pH	7,21	7,04	7,39	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	198,00	196,00	197,00	mg/L	-
Condutividade elétrica	721,00	720,00	719,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	496,05	495,36	494,67	mg/L	1000
Turvação	1,80	1,04	1,63	mg/L	5
Cloratos (Cl ⁻)	109,00	109,00	110,00	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	30,00	31,00	31,00	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,00	28,00	28,00	mg/L	50
Dureza total	186,00	187,00	188,00	mg/L	500
Matéria orgânica	4,24	3,18	2,88	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 10, pode-se verificar que com a exceção dos resultados de turvação e MON, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.1.2.3 Realização dos ensaios de floculação com o coagulante usado na ETA

Umbeluzi (SA) seguidos da adsorção em CAP (ensaio nº4)

Para o presente ensaio foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Suspensão stock de CAP = 1 g/L

∞ Água Bruta:

Turvação: 1,39 NTU, pH = 7,43 e Matéria orgânica: 3,76 mg/L

Os resultados de ensaio estão apresentados na Tabela 11:

Tabela 11: Resultados do ensaio com SA e CAP (30/03/2020)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
CAP (mg/l)	0,0	8,0	9,0	10,0	15,0	20,0
Turvação (NTU)	1,39±0,13	1,79±0,13	1,58±0,13	1,79±0,10	2,28±0,15	2,64±0,06
MON(mg/l)	3,76±0,09	2,72±0,19	2,64±0,07	2,69±0,21	2,76±0,25	2,79±0,13
pH	7,43±0,14	6,99±0,45	6,84±0,44	6,87±0,33	6,82±0,09	6,76±0,45
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		1,04±0,09	1,12±0,11	1,07±0,06	1,00±0,08	0,97±0,10
Eficiência da remoção de MON (%)		27,70±3,42%	29,80±4,63%	28,50±2,08%	26,60±0,30%	25,80±1,32%

De acordo com a Tabela 11, o copo com os melhores resultados é o nº 3, no qual com uma taxa de 10 mg/L de SA e 9 mg/L de CAP conseguiu-se reduzir a matéria orgânica de 3,76 mg/L para 2,64 mg/L e a turvação de 1,39 NTU subiu ligeiramente para 1,58 NTU.

Esses resultados estão alinhados com estudos de Braga (2014) e Libânio (2010) que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos. O trabalho de Mailler et al. (2016) investigou a remoção de MON usando cloreto férrico seguido de adsorção em CAP e observou uma melhoria na eficiência da adsorção, devido a coagulação da fração coloidal da matéria orgânica dissolvida, destacando a eficácia da abordagem da combinação entre coagulantes e adsorventes.

Com base nos resultados da Tabela 11, foi construída a isoterma de adsorção de MON pelo CAP que permite determinar a quantidade máxima MON adsorvida pelo CAP na presença de SA (Figura 17).

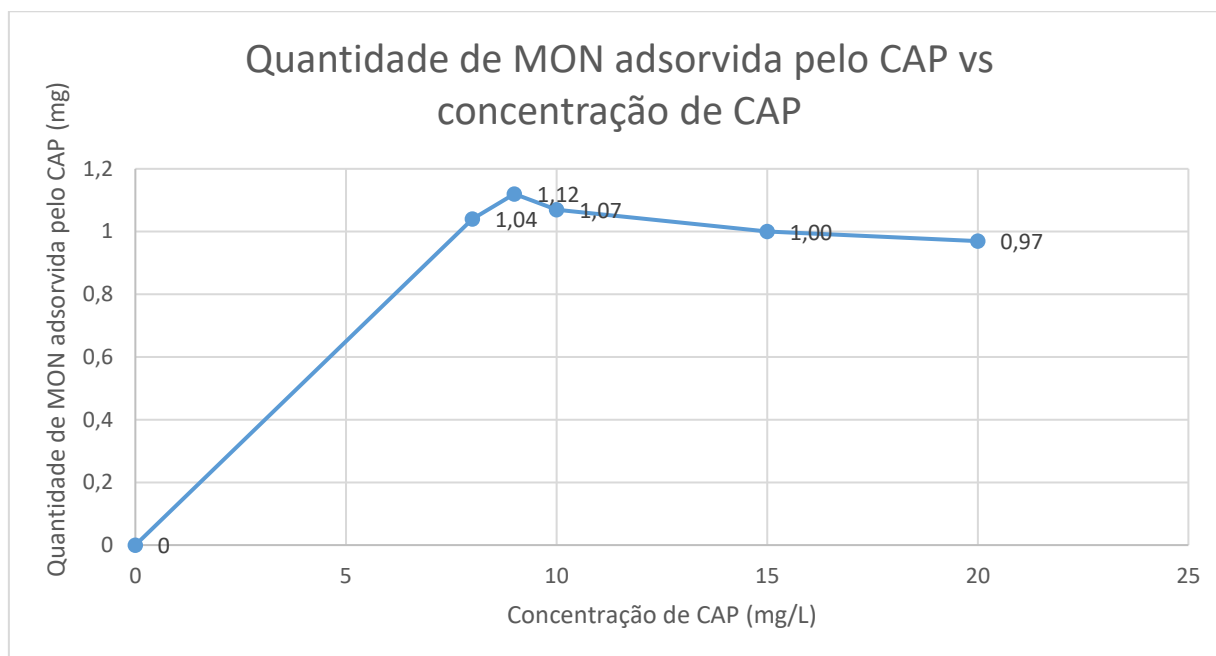


Figura 17: Isotherma de adsorção de MON pelo CAP na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 17, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 9 mg/L de CAP, atingindo-se uma eficiência de cerca de 30%.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 12, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 30/03/2020, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 12: Dados de qualidade da água no dia 30/03/2020

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água floculada (Jar Test)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	25,00	25,50	24,00	°C	-
pH	7,43	7,04	6,84	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	188,00	186,00	187,00	mg/L	-
Conductividade eléctrica	699,00	696,00	696,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	480,91	478,85	478,85	mg/L	1000
Turvação	1,34	1,19	1,58	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	101,00	100,00	99,00	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	29,00	28,00	28,00	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	26,00	26,00	27,00	mg/L	50
Dureza total	181,00	183,00	182,00	mg/L	500
Matéria orgânica	3,76	2,92	2,64	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 12, pode-se verificar que com a excepção dos resultados do pH, turvação e MON, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.1.2.4 Realização dos ensaios de floculação com o SA seguidos da adsorção em CAP usando água clorada (ensaio nº5)

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Suspensão stock de CAP = 1 g/L

∞ Água Bruta:

Turvação: 1,47 NTU, pH = 7,19, Cloro: 0,38 mg/L e MON: 4,08 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 13:

Tabela 13: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e Carvão Activado, usando água clorada (31/03/2020)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
Cloro (mg/l)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
SA (mg/l)	0,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
CAP (mg/l)	0,0	8,0	9,0	10,0	15,0	20,0
Turvação (NTU)	1,47±0,09	1,88±0,03	1,94±0,10	1,76±0,16	2,74±0,01	2,75±0,24
MON (mg/l)	4,08±0,50	2,88±0,22	2,94±0,19	2,80±0,18	2,86±0,03	2,96±0,20
pH	7,19±0,75	7,10±0,34	7,04±0,66	7,02±0,45	7,00±0,50	7,01±0,26
Quantidade de MON adsorvida pelo CAP (mg/l)		1,20±0,15	1,14±0,03	1,28±0,05	1,22±0,08	1,12±0,08
Eficiência da remoção de MON (%)		29,40±2,59%	27,90±3,38%	31,40±2,77%	29,90±1,72%	27,50±0,97%

No presente ensaio, foi usada água bruta clorada, cujo teor de cloro era de 0,38 mg/L, tendo-se usado as mesmas concentrações de SA e CAP, usadas no ensaio da tabela 8.

Com base nos resultados da Tabela 13, é possível notar que o copo óptimo de doseamento é o nº 4, no qual os melhores resultados são obtidos com o doseamento de 10 mg/L de SA e 10 mg/L de CAP. A redução máxima da MON pelo CAP usando água clorada neste ensaio, foi na ordem dos 31,4 %. Com base nestes dados pode-se dizer que o uso da água clorada melhora a eficiência de remoção de MON pelo CAP.

Os resultados obtidos corroboram estudos anteriores que destacam a melhoria da eficiência da remoção da MON combinando os processos de coagulação e adsorção com o processo de pré-oxidação da MON. O estudo de Matilainen & Sillanpää (2010) destaca que de forma geral o uso de oxidantes melhora o processo de remoção da MON, o que se enquadra no contexto da ETA do Umbeluzi, que tem usado o cloro gasoso antes das etapas de coagulação e floculação.

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 18, a adsorção atinge o seu máximo com a concentração de 10 mg/L de CAP.

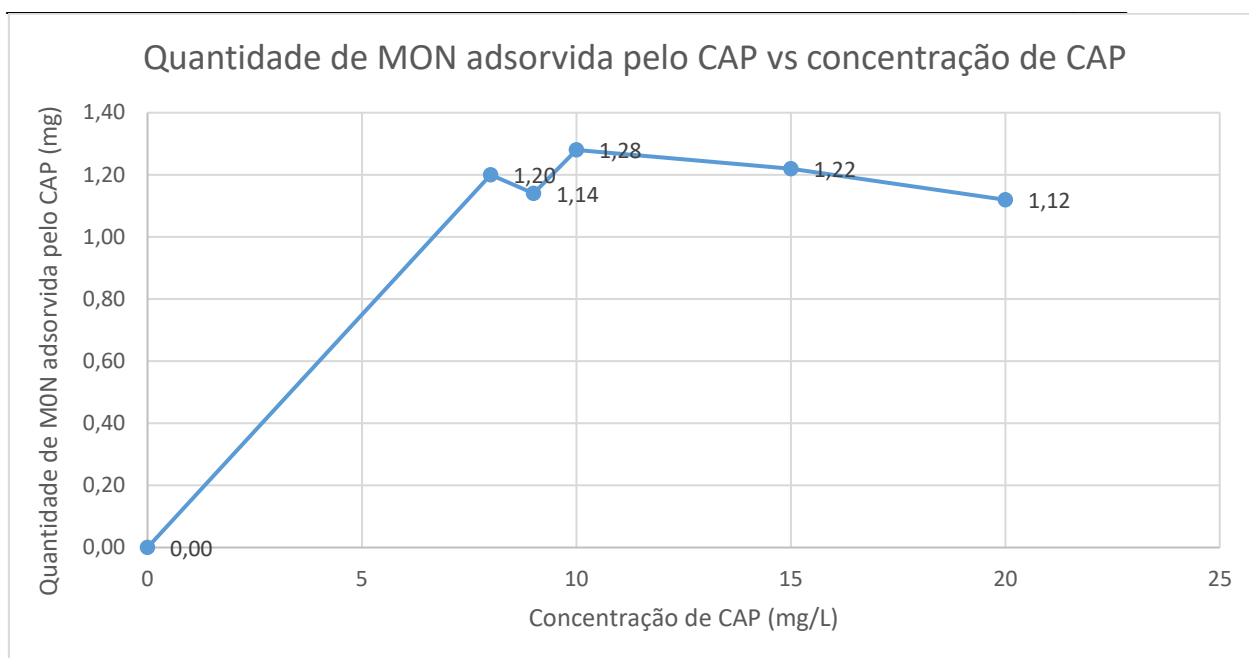


Figura 18: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP na água clorada

Analisando o comportamento das isotermas nas Figuras 15 à 18 pode-se notar que o aumento da quantidade de CAP de 10 a 20 mg/L não influencia na eficiência da adsorção pelo CAP. Este facto pode ser explicado pela adsorção nos seus centros activos de alguma quantidade de material coagulado em resultado de acção de SA (Braga, 2014; Libânio, 2010).

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 14, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 31/03/2020, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 14: Dados de qualidade da água no dia 31/03/2020

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água floculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	26,00	27,00	26,50	°C	-
pH	7,19	7,00	7,02	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	181,00	180,00	179,00	mg/L	-
Conductividade eléctrica	696,00	695,00	694,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	478,85	478,16	477,47	mg/L	1000
Turvação	1,47	1,10	1,76	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	94,00	93,00	93,00	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	29,00	26,00	27,00	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	25,00	24,00	24,00	mg/L	50
Dureza total	179,00	180,00	179,00	mg/L	500
Matéria orgânica	4,08	3,20	2,80	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 14, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação e MON, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

Portanto, os resultados do ensaio nº4 sugerem que o uso da água clorada melhora a eficiência de remoção de MON pelo CAP, reforçando a viabilidade dessa estratégia de tratamento em ambientes com cloração.

4.1.3 Ensaio com CVPL

Devido à possibilidade do custo (Silva, 2019) do CAP ser bastante elevado para operação da ETA do Umbeluzi, foi feita também a avaliação da acção do CVPL (em pó) afim de avaliar o seu efeito sobre a MON. Nesse contexto, seguem abaixo os resultados obtidos dos referidos ensaios bem como as suas isotermas de adsorção.

4.1.3.1 Realização dos ensaios de floculação com o coagulante usado na ETA

Umbeluzi (SA) seguidos da adsorção em Carvão Vegetal de Sábìè (ensaio nº6)

Para investigar a influência de concentração do carvão vegetal de Sábìè (CV-S) no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CV-S, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

- ∞ Solução stock de $Al_2(SO_4)_3 = 1 \text{ g/L}$
- ∞ Suspensão stock de CV-S = 1 g/L

Água Bruta:

Turvação: 4,64 NTU pH = 8,03 e MON: 3,68 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 15:

Tabela 15: Resultados do ensaio com SA e CV-S (29/12/2021)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	10	10	10	10	10
CV-S (mg/l)	0	8	9	10	15	20
Turvação (NTU)	4,64±0,44	5,67±0,53	6,67±0,10	8,53±0,74	10,10±0,54	14,60±1,65
MON (mg/l)	3,68±0,38	2,24±0,01	2,24±0,21	2,24±0,14	2,40±0,05	2,56±0,08
pH	8,03±0,30	7,69±0,25	7,67±0,94	7,52±0,35	7,48±0,56	7,47±0,30
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		1,44±0,12	1,44±0,08	1,44±0,06	1,28±0,05	1,12±0,10
Eficiência da remoção de MON (%)		39,10±1,55%	39,10±2,25%	39,10±2,73%	34,80±4,67%	30,40±0,91%

Analisando os resultados da Tabela 15, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CV-S no intervalo de 8 à 20 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 10 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 1. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,64 mg/L para um resultado final de 2,24 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 39,10%.

Esses resultados estão alinhados com estudos de Mailler et al., (2016) que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos.

Com base nos resultados da Tabela 15, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CV-S que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CV-S na presença de SA (Figura 19).

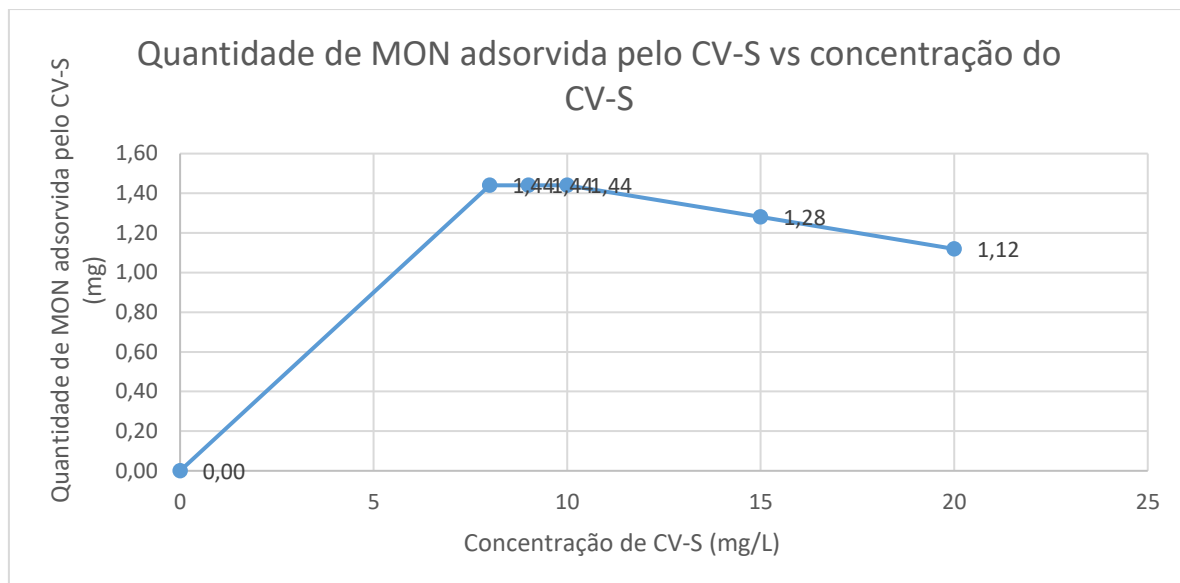


Figura 19: Isotherma de adsorção de MON pelo CV-S na presença de SA

Conforme ilustra o gráfico da isoterma na Figura 19, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 8 mg/L de CV-S, atingindo-se uma eficiência de 39,10%.

4.1.3.2 Realização dos ensaios de floculação com o coagulante usado na ETA Umbeluzi ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) seguidos da adsorção em Carvão Vegetal de Mapai (ensaio nº7)

Para investigar a influência de concentração do CV-M no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CV-M, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Suspensão stock de CV-M = 1 g/L

Água Bruta:

Turvação: 7,14 NTU pH = 8,25 e MON: 5,20 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 16:

Tabela 16: Resultados do ensaio com SA e CV-M (04/01/2022)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	10	10	10	10	10
CV-M (mg/l)	0	1	2	3	4	5
Turvação (NTU)	7,14±0,37	2,95±0,05	3,93±0,37	4,31±0,10	7,19±0,48	9,11±1,25
MON(mg/l)	5,20±0,24	2,56±0,27	2,40±0,06	2,48±0,15	2,48±0,15	1,90±0,21
pH	8,25±0,10	7,40±0,14	7,44±0,62	7,45±0,32	7,47±0,14	7,49±0,15
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		2,64±0,03	2,80±0,09	2,72±0,08	2,72±0,03	3,30±0,09
Eficiência da remoção de MON (%)		50,80±1,01%	53,80±3,39%	52,30±0,95%	52,30±3,09%	63,50±3,83%

Analisando os resultados da Tabela 16, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CV-M no intervalo de 1 à 5 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 10 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 6. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 5,20 mg/L para um resultado final de 1,90 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 63,50%.

Esses resultados corroboram com estudos anteriores que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos (Mailler et al., 2016).

Com base nos resultados da Tabela 16, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CV-M que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CV-M na presença de SA (Figura 20).

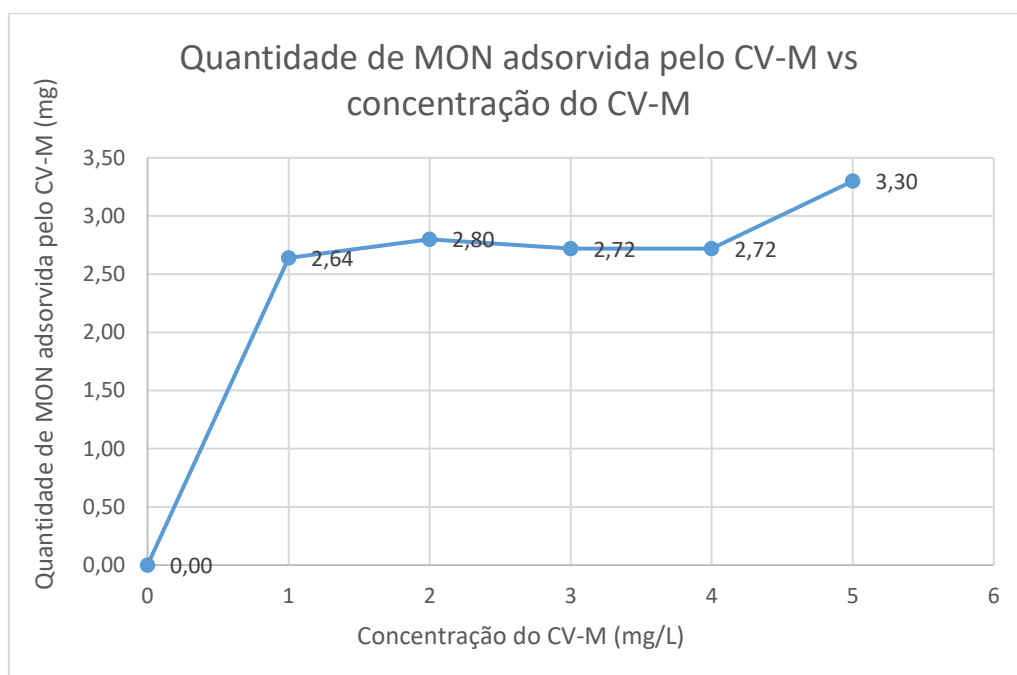


Figura 20: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-M na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 20, o máximo de adsorção observa-se com a quantidade de CV-M de 5 mg/l, atingindo-se uma eficiência de cerca de 63,50%.

4.2 Ensaios realizados no período de alta turvação

Durante o período de alta turvação, foram ensaiados seis (6) adsorventes: CAP, CV-S, CV-M, CV-MB, CV-CHA e CV-CHI. O aumento no número de adsorventes ensaiados deveu-se a dois (2) factores principais: o aumento da MON, que impacta significativamente a eficiência dos processos de adsorção (Matilainen & Sillanpää, 2010), e a disponibilidade adicional de três novos adsorventes (CV-MB, CV-CHA e CV-CHI) durante esse período experimental (Gupta et al., 2012). No entanto, tal como foi feito no período de baixa turvação, antes dos ensaios combinados, com os adsorventes, foi feita a optimização da taxa de aplicação do SA, conforme o ensaio número 1, que se segue:

4.2.1 Optimização da taxa de aplicação do SA em relação à remoção de MON, presente na água de rio Umbeluzi no período de alta turvação (ensaio nº 1)

Para a realização do *Jar Test*, no ensaio nº 1 foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Água Bruta:

Turvação: 38,20 NTU, pH = 6,86 e MON: 4,64 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 17:

Tabela 17: Comportamento de SA e sua eficiência em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (10/04/2023)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	20	25	30	40	50
Turvação (NTU)	38,20±0,56	5,14±0,12	3,29±0,10	2,69±0,04	1,70±0,05	2,49±0,10
MON (mg/l)	4,64±0,13	3,79±0,15	3,46±0,04	3,19±0,09	2,80±0,18	2,91±0,25
pH	6,86±0,35	6,82±0,30	6,77±0,14	6,79±0,04	6,80±0,25	6,75±0,22
Quantidade de MON adsorvida pelo CAP (mg/l)		0,85±0,02	1,18±0,04	1,45±0,06	1,84±0,09	1,73±0,07
Eficiência da remoção de MON (%)		18,32±0,76%	25,43±0,70%	31,25±1,60%	39,66±0,91%	37,28±1,97%

Os dados da Tabela 17 mostram que com aplicação de SA no processo do tratamento da água, obteve-se a melhor eficiência (39,66%), com a aplicação da concentração de 40 mg/L. O valor 40 mg/L de SA serviu de base para os ensaios subsequentes ensaios combinados entre o SA, CAP e CVPL, durante o período de alta turvação.

4.2.2 Estudo do comportamento de CV-MB em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº2)

Para investigar a influência de concentração do CV-MB no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CV-MB, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Suspensão stock de CV-MB = 1g/L

∞ Água Bruta:

Turvação: 38,20 NTU pH = 6,86 e MON: 4,64 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 19:

Tabela 18: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-MB (10/04/2023)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	40	40	40	40	40
CV-MB (mg/l)	0	2	4	6	8	10
Turvação (NTU)	38,20±1,08	3,41±0,13	3,59±0,32	3,31±0,18	3,82±0,23	5,56±0,25
MON (mg/l)	4,64±0,12	2,72±0,24	2,80±0,03	3,44±0,14	2,24±0,10	2,64±0,14
pH	6,86±0,15	6,84±0,34	6,69±0,49	6,70±0,34	6,74±0,40	6,79±0,33
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		1,92±0,09	1,84±0,10	1,20±0,03	2,40±0,15	2,00±0,11
Eficiência da remoção de MON (%)		41,38±1,05%	39,66±3,19%	25,86±1,98%	51,72±1,99%	43,10±1,95%

Analisando os resultados da Tabela 19, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CV-MB no intervalo de 2 à 10 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 40 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 5. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,64 mg/L para um resultado final de 2,24 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 51,72%.

Esses resultados estão em concordância com estudos anteriores que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos (Mailler et al., 2016).

Com base nos resultados da Tabela 19, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CV-MB que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CV-MB na presença de SA (Figura 21).

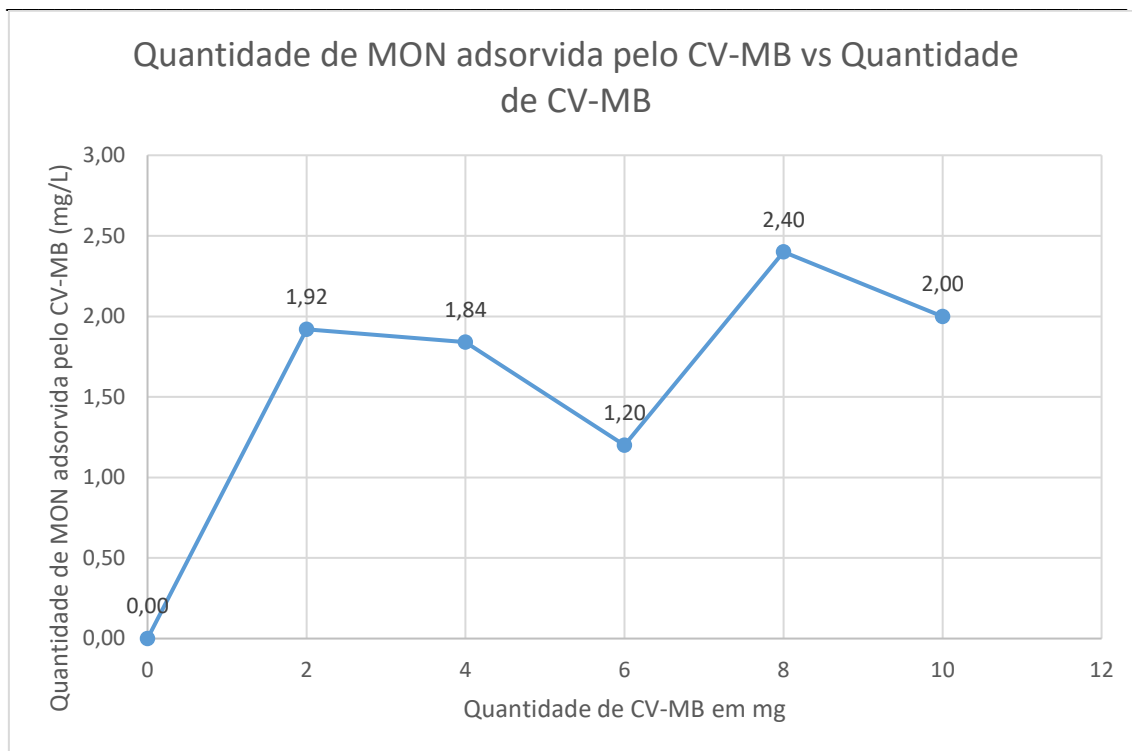


Figura 21: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-MB na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 21, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 8 mg/L de CV-MB, atingindo-se uma eficiência de cerca de 51,72%.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 20, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 10/04/2023, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 19: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água flocculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	26,80	27,20	28,00	°C	-
pH	6,86	6,98	6,74	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	136,00	134,00	131,00	mg/L	-
Condutividade eléctrica	651,00	650,00	647,60	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	447,88	447,20	445,55	mg/L	1000
Turvação	38,20	4,81	3,82	mg/L	5
Cloretos (CL ⁻)	124,07	123,00	122,50	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	27,25	26,75	25,90	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,85	26,00	26,40	mg/L	50
Dureza total	139,00	137,00	136,50	mg/L	500
Matéria orgânica	4,64	2,48	2,24	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 20, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação e MON, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.2.3 Estudo do comportamento de CV-M em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 3)

Para investigar a influência de concentração do CV-M no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CV-M, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

☞ Solução stock de Al₂(SO₄)₃ = 1 g/L

☞ Suspensão stock de CV-M = 1g/L

☞ Água Bruta:

Turvação: 38,20 NTU, pH = 6,86 e MON: 4,64 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 21:

Tabela 20: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-M (10/04/2023)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	40	40	40	40	40
CV-M (mg/l)	0	2	4	6	8	10
Turvação (NTU)	38,20±0,69	1,65±0,04	1,61±0,11	1,75±0,03	1,83±0,06	2,10±0,14
MON (mg/l)	4,64±0,06	1,60±0,09	2,40±0,12	2,40±0,16	2,24±0,11	2,48±0,07
pH	6,86±0,06	6,59±0,12	6,61±0,29	6,62±0,47	6,77±0,28	6,82±0,66
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		3,04±0,06	2,24±0,14	2,24±0,09	2,40±0,17	2,16±0,03
Eficiência da remoção de MON (%)		65,50±2,2 6%	48,30±4,2 6%	48,30±1,9 6%	51,70±1,9 4%	46,60±3,0 8%

Analisando os resultados da Tabela 21, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CV-M no intervalo de 2 à 10 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 40 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 2. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,64 mg/L para um resultado final de 1,60 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 65,50%.

Esses resultados estão em concordância com estudos feitos por Matilainen et al., (2011) sobre a adsorção de contaminantes orgânicos utilizando carvões activados. O estudo de Kristiana et al. (2011) investigou o impacto da adição de CAP na etapa da coagulação numa ETA na Austrália, alcançando uma eficiência de 70% na remoção da MON. Esse valor é comparável à eficiência de 65,50% obtida com o uso do carvão vegetal de Mapai.

Com base nos resultados da Tabela 21, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CV-M que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CV-M na presença de SA (Figura 22).

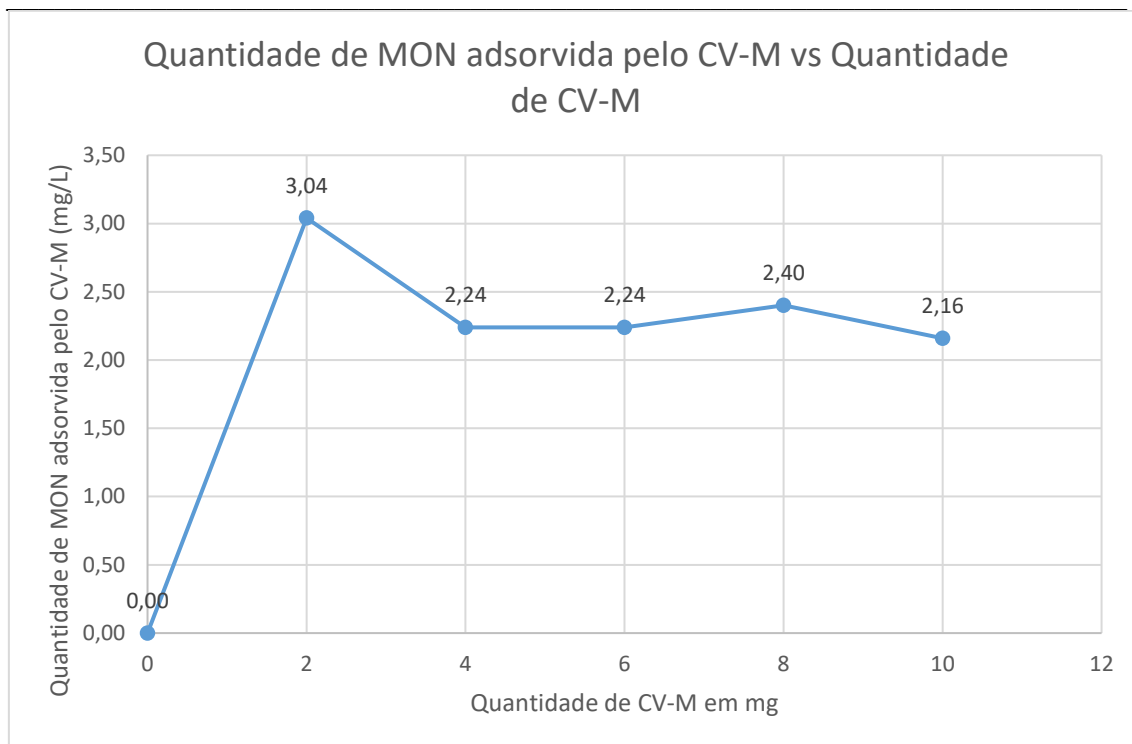


Figura 22: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-M na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 22, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 2 mg/L de CV-M, atingindo-se uma eficiência de cerca de 65,50%.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 22, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 10/04/2023, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 21: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água flocculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	26,80	27,20	28,10	°C	-
pH	6,86	6,98	6,59	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	136,00	134,00	130,00	mg/L	-
Condutividade eléctrica	651,00	650,00	643,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	447,88	447,20	442,39	mg/L	1000
Turvação	38,20	4,81	1,65	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	124,07	123,00	120,00	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	27,25	26,75	24,60	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,85	26,00	23,20	mg/L	50
Dureza total	139,00	137,00	134,00	mg/L	500
Matéria orgânica	4,64	2,48	1,60	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 22, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação e matéria orgânica, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.2.4 Estudo do comportamento de CV-CHA em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 4)

Para investigar a influência de concentração do CV-CHA no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CV-CHA, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

- ⌘ Solução stock de Al₂(SO₄)₃ = 1 g/L
- ⌘ Suspensão stock de CV-CHA = 1g/L
- ⌘ Água Bruta:

Turvação: 38,20 NTU, pH = 6,86 e MON: 4,64 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 23:

Tabela 22: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-CHA (10/04/2023)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	40	40	40	40	40
CV-CHA (mg/l)	0	2	4	6	8	10
Turvação (NTU)	38,20± 1,77	1,92±0, 05	2,41±0, 17	2,68±0, 11	3,65±0, 30	4,36±0, 20
MON (mg/l)	4,64±0 ,15	2,72±0, 12	2,72±0, 14	2,72±0, 08	2,80±0, 16	2,96±0, 20
pH	6,86±0 ,41	6,62±0, 19	6,68±0, 27	6,72±0, 30	6,75±0, 35	6,81±0, 17
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		1,92±0, 10	1,92±0, 19	1,92±0, 05	1,84±0, 07	1,68±0, 09
Eficiência da remoção de MON (%)		41,40±2 ,82%	41,40±1 ,09%	41,40±1 ,56%	39,70±2 ,66%	36,20±3 ,19%

Analisando os resultados da Tabela 23, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CV-CHA no intervalo de 2 à 10 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 40 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 2. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,64 mg/L para um resultado final de 2,72 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 41,40%.

Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos (Mailler et al., 2016).

Com base nos resultados da Tabela 23, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CV-CHA que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CV-CHA na presença de SA (Figura 23).

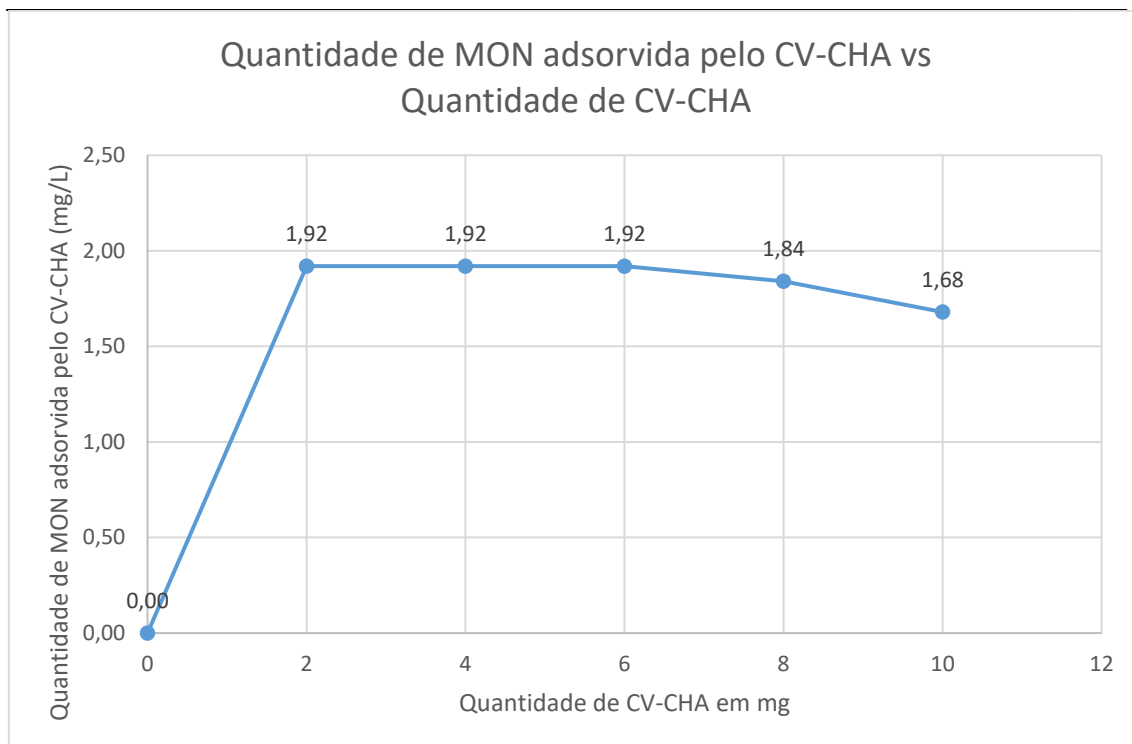


Figura 23: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-CHA na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 23, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 2 mg/L de CV-CHA, atingindo-se uma eficiência de cerca de 41,40%.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 24, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 10/04/2023, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 23: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água flocculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	26,80	27,20	27,30	°C	-
pH	6,86	6,98	6,62	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	136,00	134,00	130,00	mg/L	-
Condutividade eléctrica	651,00	650,00	643,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	447,88	447,20	442,39	mg/L	1000
Turvação	38,20	4,81	1,92	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	124,07	123,00	120,00	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	27,25	26,75	24,60	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,85	26,00	23,20	mg/L	50
Dureza total	139,00	137,00	134,00	mg/L	500
Matéria orgânica	4,64	2,48	2,72	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 24, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação e matéria orgânica, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.2.5 Estudo do comportamento de CV-S em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 5)

Para investigar a influência de concentração do CV-S no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CV-S, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

⌘ Solução stock de Al₂(SO₄)₃ = 1 g/L

⌘ Suspensão stock de CV-S = 1g/L

⌘ Água Bruta:

Turvação: 38,20 NTU, pH = 6,86 e MON: 4,64 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 25:

Tabela 24: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-S (10/04/2023)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	40	40	40	40	40
CV-S (mg/l)	0	2	4	6	8	10
Turvação (NTU)	38,20± 2,86	2,46±0, 08	2,82±0, 10	3,44±0, 21	4,30±0, 26	4,61±0, 12
MON (mg/l)	4,64±0 ,44	2,40±0, 10	2,56±0, 13	2,72±0, 05	2,88±0, 01	2,72±0, 05
pH	6,86±0 ,48	6,61±0, 12	6,60±0, 13	6,60±0, 08	6,63±0, 12	6,79±0, 28
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		2,24±0, 05	2,08±0, 08	1,92±0, 12	1,76±0, 05	1,92±0, 04
Eficiência da remoção de MON (%)		48,30±2 ,01%	44,80±0 ,66%	41,40±2 ,23%	37,90±1 ,73%	41,40±0 ,15%

Analisando os resultados da Tabela 25, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CV-S no intervalo de 2 à 10 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 40 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 2. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,64 mg/L para um resultado final de 2,40 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 48,30%.

Esses resultados estão em concordância com estudos anteriores que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos (Mailler et al., 2016).

Com base nos resultados da Tabela 25, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CV-S que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CV-S na presença de SA (Figura 24).

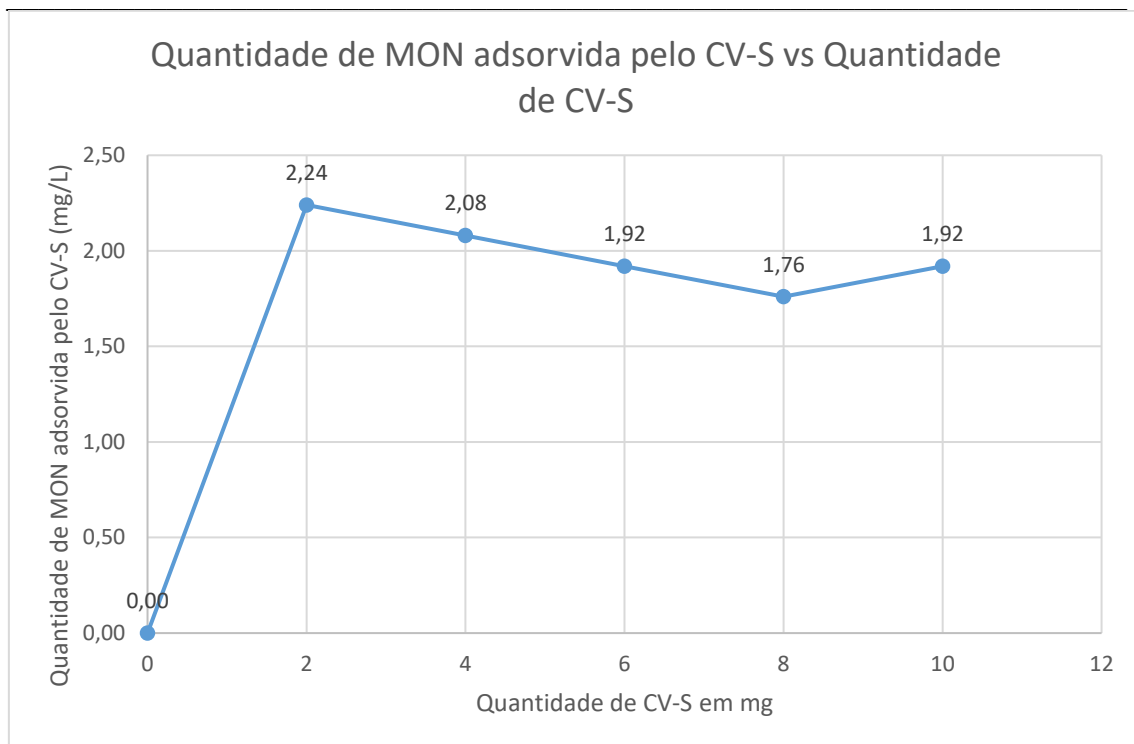


Figura 24: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-S na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 24, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 2 mg/L de CV-S, atingindo-se uma eficiência de cerca de 48,30%.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 26, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 10/04/2023, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 25: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água floculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	26,80	27,20	27,70	°C	-
pH	6,86	6,98	6,61	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	136,00	134,00	133,00	mg/L	-
Conductividade eléctrica	651,00	650,00	648,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	447,88	447,20	445,82	mg/L	1000
Turvação	38,20	4,81	2,46	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	124,07	123,00	122,10	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	27,25	26,75	26,30	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,85	26,00	24,35	mg/L	50
Dureza total	139,00	137,00	136,00	mg/L	500
Matéria orgânica	4,64	2,48	2,40	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 26, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação e matéria orgânica, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.2.6 Estudo do comportamento de CV-CHI em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 6)

Para investigar a influência da concentração do CV-CHI no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CV-CHI, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

⌘ Solução stock de Al₂(SO₄)₃ = 1 g/L

⌘ Suspensão stock de CV-CHI = 1g/L

⌘ Água Bruta:

Turvação: 38,20 NTU, pH = 6,86 e MON: 4,64 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 27:

Tabela 26: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CV-CHI (10/04/2023)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	40	40	40	40	40
CV-CHI (mg/l)	0	2	4	6	8	10
Turvação (NTU)	38,20± 2,33	2,38±0, 22	2,95±0, 23	2,98±0, 14	2,82±0, 15	2,84±0, 23
MON (mg/l)	4,64±0 ,09	2,56±0, 16	2,88±0, 13	2,72±0, 19	2,80±0, 08	1,92±0, 04
pH	6,86±0 ,37	7,52±0, 47	7,42±0, 40	7,33±0, 24	7,27±0, 17	7,21±0, 60
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		2,08±0, 13	1,76±0, 08	1,92±0, 05	1,84±0, 02	2,72±0, 15
Eficiência da remoção de MON (%)		44,80±1 ,08%	37,90±0 ,83%	41,40±0 ,66%	39,70±2 ,24%	58,60±2 ,43%

Analisando os resultados da Tabela 27, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CV-CHI no intervalo de 2 à 10 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 40 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 6. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,64 mg/L para um resultado final de 1,92 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 58,60%.

Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos (Mailler et al., 2016).

Com base nos resultados da Tabela 27, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CV-CHI que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CV-CHI na presença de SA (Figura 25).

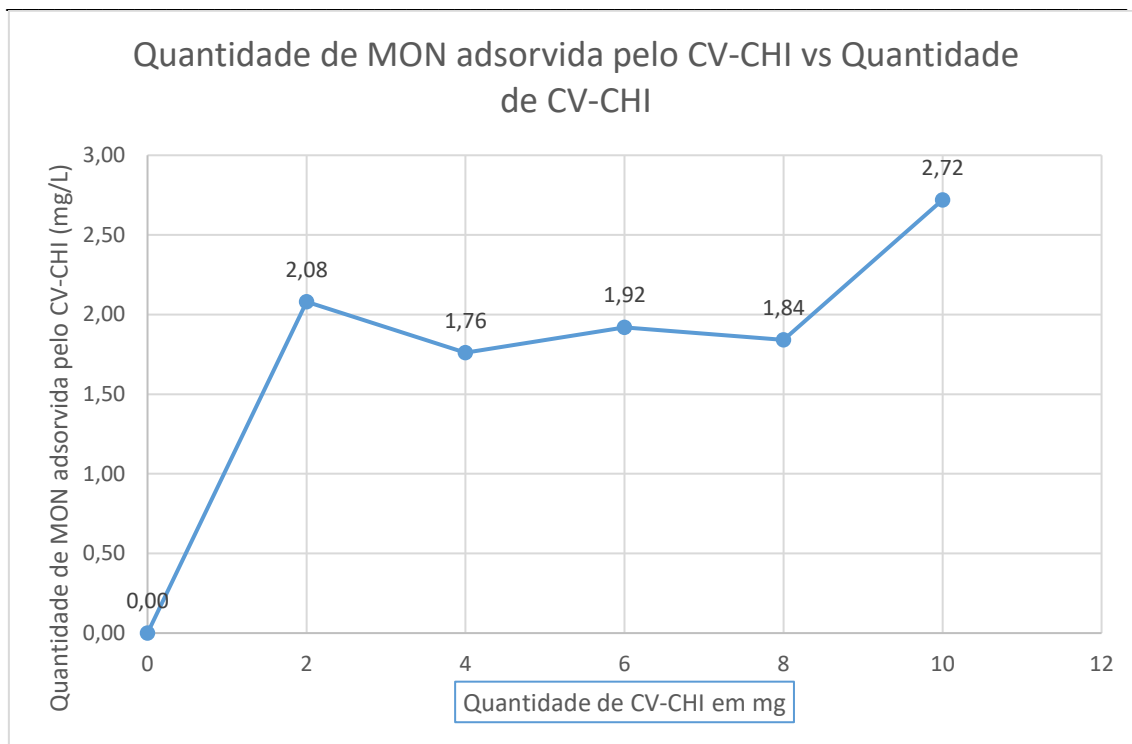


Figura 25: Isoterma de adsorção de MON pelo CV-CHI na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 25, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 10 mg/L de CV-CHI, atingindo-se uma eficiência de cerca de 58,60%.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 28, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 10/04/2023, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 27: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água floculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	26,80	27,20	27,70	°C	-
pH	6,86	6,98	7,21	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	136,00	134,00	132,50	mg/L	-
Condutividade eléctrica	651,00	650,00	646,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	447,88	447,20	444,45	mg/L	1000
Turvação	38,20	4,81	2,84	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	124,07	123,00	120,50	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	27,25	26,75	25,85	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,85	26,00	23,70	mg/L	50
Dureza total	139,00	137,00	134,00	mg/L	500
Matéria orgânica	4,64	2,48	1,92	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 28, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação e matéria orgânica, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.2.7 Estudo do comportamento de CAP em relação à remoção de MON, presente nas águas de rio Umbeluzi (ensaio nº 7)

Para investigar a influência de concentração do CAP no processo de adsorção de MON neste ensaio foi variada a concentração de CAP, mantendo-se constante a concentração do SA.

Para o presente ensaio, foram estabelecidas as seguintes condições:

∞ Solução stock de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 1 \text{ g/L}$

∞ Suspensão stock de CAP = 1g/L

∞ Água Bruta:

Turvação: 38,20 NTU, pH = 6,86 e MON: 4,64 mg/L

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 29:

Tabela 28: Resultados do ensaio com Sulfato de Alumínio e CAP (10/04/2023)

Copos/Parâmetros	1	2	3	4	5	6
SA (mg/l)	0	40	40	40	40	40
CA (mg/l)	0	2	4	6	8	10
Turvação (NTU)	38,20± 1,39	1,55±0, 08	1,81±0, 22	2,27±0, 15	2,95±0, 13	3,14±0, 19
MON (mg/l)	4,64±0 ,18	2,80±0, 05	2,24±0, 08	2,72±0, 14	2,80±0, 15	3,20±0, 04
pH	6,86±0 ,72	7,40±0, 30	7,34±0, 59	7,33±0, 17	7,44±0, 39	7,51±0, 25
Quantidade de adsorção de MON pelo CAP (mg/l)		1,84±0, 13	2,40±0, 14	1,92±0, 09	1,84±0, 03	1,44±0, 05
Eficiência da remoção de MON (%)		39,70±1 ,73%	51,70±2 ,98%	41,40±1 ,86%	39,70±0 ,17%	31,00±0 ,93%

Analisando os resultados da Tabela 29, obtidos a partir do ensaio de floculação com a variação das taxas de CAP no intervalo de 2 à 10 mg/L, mantendo fixa a taxa de SA em 40 mg/L, pode-se notar que o copo óptimo em relação ao resultado da remoção da MON na água floculada é o copo nº 3. Pois, conseguiu-se reduzir o valor inicial de 4,64 mg/L para um resultado final de 2,24 mg/L de MON. Esta redução representa uma eficiência de cerca de 51,70%.

Esses resultados corroboram com estudos anteriores que destacam a sinergia entre coagulantes e adsorventes na remoção de contaminantes orgânicos (Braga, 2014; Libânio, 2010; Mailler et al., 2016).

Com base nos resultados da Tabela 29, foi construída a isoterma de adsorção da MON pelo CAP que permite determinar a quantidade máxima de MON adsorvida pelo CAP na presença de SA (Figura 26).

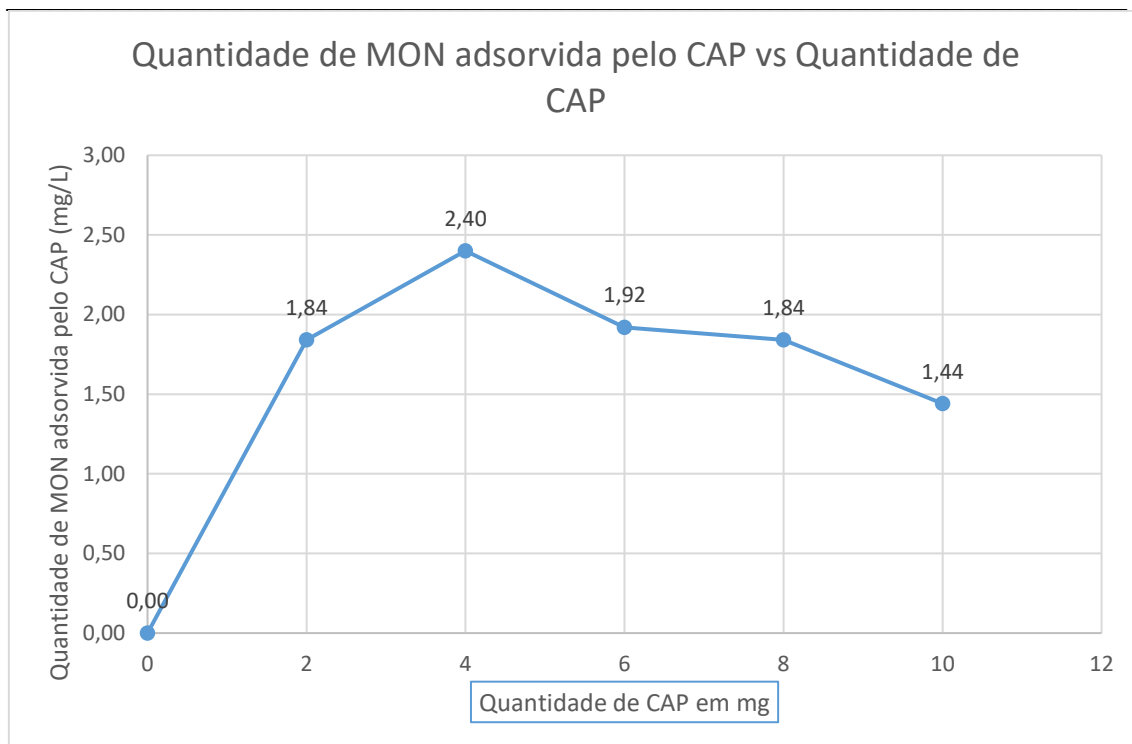


Figura 26: Isoterma de adsorção de MON pelo CAP na presença de SA

Como mostra o gráfico da isoterma na Figura 26, o máximo de adsorção observa-se com a concentração de 4 mg/L de CAP, atingindo-se uma eficiência de cerca de 51,70%.

Para fins de comparação, é apresentada a Tabela 30, a qual indica os dados de análise da água bruta e tratada no dia 10/04/2023, bem como os resultados de análise da água floculada após o *Jar Test*.

Tabela 29: Dados de qualidade da água no dia 10/04/2023

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Água flocculada (<i>Jar Test</i>)	Unidades	LMA (Reg.)
Temperatura	26,80	27,20	28,10	°C	-
pH	6,86	6,98	7,34	-	6,50 – 8,50
Alcalinidade	136,00	134,00	131,90	mg/L	-
Conductividade eléctrica	651,00	650,00	649,00	µS/cm	50 – 2000
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	447,88	447,20	446,51	mg/L	1000
Turvação	38,20	4,81	1,81	mg/L	5
Cloretos (Cl ⁻)	124,07	123,00	122,50	mg/L	250
Calcio (Ca ²⁺)	27,25	26,75	27,00	mg/L	50
Magnésio (Mg ²⁺)	27,85	26,00	26,50	mg/L	50
Dureza total	139,00	137,00	136,00	mg/L	500
Matéria orgânica	4,64	2,48	2,24	mg/L	2,50

A partir dos dados da Tabela 30, pode-se verificar que com a excepção dos resultados de turvação e matéria orgânica, os restantes dados mantiveram-se praticamente inalterados.

4.2.8 Determinação da área superficial específica

Quando se utiliza o CAP ou CVPL, um dos principais factores que afectam, o processo de adsorção (além da estrutura dos poros e características químicas da superfície) é a área superficial específica (Spitsyn et al., 2021). Nesse contexto, com vista a determinar a capacidade de adsorção das amostras de CVPL, obtidos de diferentes origens, foi determinada a área superficial específica, pelo método de azul de metileno, cujos resultados se encontram apresentados na Tabela 31:

Tabela 30: Áreas superficiais específicas de diferentes tipos de carvão

#	Código da amostra	ASS (m ² /g)
1	CV-MB	774,73
2	CV-M	859,30
3	CV-CHA	309,48
4	CV-S	619,80
5	CV-CHI	511,32
6	CAP	928,00

Os resultados da determinação da ASS para os carvões em estudo, apresentados na Tabela 31, estão próximos dos resultados descritos por Spitsyn et al., (2021) para carvões vegetais obtidos doutros tipos de árvores, os quais se apresentaram dentro da faixa de 500- 800 m²/g. Os autores explicam os valores diferentes das ASS através da interligação das propriedades de carvão vegetal com a sua estrutura que se determina pela microestrutura de madeira utilizada. Para madeira com estruturas relativamente homogénea das células, a ASS tem menor valor em comparação com a madeira constituída das células com estruturas heterogéneas (Spitsyn et al., 2021).

No presente estudo, observa-se que entre os carvões vegetais, as amostras de CV-M, CV-MB, CV-S e CV-CHI apresentaram os maiores valores de ASS, o que pode explicar suas melhores eficiências na remoção da MON. No entanto, nem sempre um adsorvente com grande área superficial específica mostra-se eficiente na remoção de um dado poluente (Zambrana, 2013).

5 PROPOSTA DO DOSEAMENTO DO CARVÃO

VEGETAL EM PÓ

A aplicação do CVPL em pó na ETA do Umbeluzi pode ser feita do mesmo modo que é feita a aplicação do CAP na ETA Sábiè (por meio de uma suspensão preparada do pó e água), no entanto, deverá ser feita a moagem do CVPL para que o mesmo seja transformado em pó. As Figuras 27 à 29, ilustram o equipamento de moagem do carvão vegetal para a sua transformação em pó. As especificações técnicas do equipamento são apresentadas na Tabela 32.



Figura 27: Equipamento de moagem do carvão vegetal



Figura 28: Processo de moagem do carvão – início



Figura 29: Processo de moagem do carvão – fim

Tabela 31: Especificações técnicas do moedor

Especificações técnicas do moedor	
Capacidade de produção	300 a 500 kg/h
Dimensões da base	750 x 1500 x 1200mm
Peso do Moedor	68kg
Granulometria final	0,01 a 0,04 mm

Seguindo o mesmo processo do doseamento do CAP, a aplicação do CVPL em pó será feita no mesmo local onde habitualmente é doseado o CAP, isto é, na câmara de mistura (etapa da coagulação).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

No presente trabalho foi avaliada a eficiência da coagulação seguida da adsorção em CAP e CVPL, na remoção da MON na ETA do Umbeluzi, tendo-se concluído o seguinte:

- ∞ **Investigação da eficácia do CAP e CVPL na remoção da MON quando combinados ao Sulfato de Alumínio (SA):** A investigação demonstrou que tanto o CAP quanto o CVPL são eficazes na remoção da MON quando combinados com sulfato de alumínio. No entanto, a eficiência variou entre os dois tipos de carvão, com o CVPL apresentando uma remoção ligeiramente superior da matéria orgânica natural em comparação ao CAP.
- ∞ **Optimização da dosagem de SA e CAP, bem como SA e CVPL, por meio da análise das Isotermas de Adsorção:** A análise das isotermas de adsorção permitiu identificar as dosagens ideais de sulfato de alumínio e carvão (tanto CAP quanto CVPL) para maximizar a eficiência do processo de remoção da MON. Os resultados indicaram que a dosagem ideal de SA e CAP no período de baixa turvação foi de 10 mg/L de SA e 10 mg/L de CAP, enquanto que a dosagem ideal de SA e CVPL (CV-M) foi de 10 mg/L de SA e 5 mg/L de CVPL (CV-M), resultando numa remoção eficiente da MON. Durante o período de alta turvação, as dosagens ideais obtidas foram de 40 mg/L de SA e 4 mg/L de CAP, enquanto que a dosagem ideal de SA e CVPL (CV-M) foi de 40 mg/L de SA e 2 mg/L de CVPL (CV-M), resultando numa remoção eficiente da MON.
- ∞ **Comparação da eficiência de remoção da MON entre o CVPL e o CAP:** A comparação revelou que o CVPL (CV-M) possui uma eficiência de remoção da MON superior ao CAP. O CVPL (CV-M) apresentou uma eficiência de 63,50% no período de baixa turvação, enquanto o CAP apresentou uma eficiência de 32%. No período de alta turvação, novamente o CVPL (CV-M) teve a melhor eficiência, valores na ordem de 65,50% enquanto que o CAP teve uma eficiência de 51,67%. Esses resultados sugerem que, embora ambos os carvões sejam eficazes, o CVPL (CV-M) é mais adequado para a remoção da MON na ETA do Umbeluzi.

- ∞ **Relação entre a área superficial específica (ASS) do CAP e do CVPL e a eficiência na remoção da MON:** A análise revelou que nem sempre há uma correlação directa entre a área superficial específica dos carvões e sua eficiência na remoção da MON. O CAP, com uma área superficial específica maior de 928,00 m²/g, apresentou uma eficiência de remoção menor em comparação ao CVPL, que possui uma área superficial específica de 859,30 m²/g.

6.2 Recomendações

A partir das conclusões obtidas do presente trabalho, recomenda-se o seguinte:

- ∞ Realizar um ensaio piloto do CVPL (CV-M) numa das ETAs, utilizando as dosagens optimizadas identificadas (10 mg/L de sulfato de alumínio e 5 mg/L de CV-M em períodos de baixa turvação, e 40 mg/L de sulfato de alumínio e 2 mg/L de CV-M em períodos de alta turvação), afim que comprovar a sua eficácia no tratamento em larga escala;
- ∞ Fazer o doseamento do CV-M antes dos processos de decantação e filtração de forma a permitir uma melhor interação entre o CV-M e a MON, reduzindo os efeitos adversos da turvação e aumentando a eficácia geral do tratamento;
- ∞ Realizar o estudo da eficiência com carvões de outras regiões do país, afim de avaliar a potencialidade do seu emprego para o tratamento da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arab, P. B., Araújo, T. P., & Pejon, O. J. (2015). Identification of clay minerals in mixtures subjected to differential thermal and thermogravimetry analyses and methylene blue adsorption tests. *Applied Clay Science*, 114, 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.05.020>
- Baghoth, S. A. (2012). *Characterizing natural organic matter in drinking water treatment processes and trains*. <https://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:cdm21063.contentdm.oclc.org:phd1%2F27609>
- Bartiko, D., & Julio, M. De. (2015). Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 10(1), 445–458. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1239>
- Decreto nº 12/2002, de 6 de Junho (Regulamento da lei de florestas e fauna bravia), Pub. L. No. I Série nº 22, 25 (2002).
- Braga, F. P. (2014). *Avaliação de desempenho de uma Estação de Tratamento de água do Município de Juíz de Fora - MG*. <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-Fernando-Pinto-Braga-2014.pdf>
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment* (I. W. Association (ed.); Third edit). IWA Publishing.
- Chandra, T. C., Mirna, M. M., Sudaryanto, Y., & Ismadji, S. (2007). Adsorption of basic dye onto activated carbon prepared from durian shell: Studies of adsorption equilibrium and kinetics. *Chemical Engineering Journal*, 127(1–3), 121–129. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2006.09.011>
- Chigulo, E. (2018). *Procedimento de Ensaio. Colheita de Amostras de Água para Consumo Humano*.
- Colombo, S. F. O. ., Pimenta, A. S. ., & Hatakeyama, K. (2006). Produção de carvão

- vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável. *Xiii Simpep*, 1–8. http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1208.pdf
- Dayarathne, H. N. P., Angove, M. J., Aryal, R., Abuel-Naga, H., & Mainali, B. (2021). Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101820. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2020.101820>
- De Souza Cordeiro, A. C., & Marcondes Silva, D. (2018). Remoção de matéria orgânica natural em água para consumo humano por processo de Fenton Homogêneo. *Sistemas & Gestão*, 13(3), 311. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2018.v13n3.1373>
- Falcão, D. M. S. C. de S. (2013). *Diogo Maria Sousa Cid de Sousa Falcão Produção e Consumo Doméstico de Combustíveis Lenhosos em Moçambique*.
- Fangmeier, M., & Hoehne, L. (2012). Avaliação de carvão ativado e de sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio. *Revista Destaques Acadêmicos*, 4(4), 41–49. <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/242>
- Fernandes, K. D. N. (2010). Uso de carvão activado de endocarpo de coco no tratamento de água. *Revista Da Graduação*, 3(2), 17.
- Ferreira Filho, S. S., & Marchetto, M. (2006). Otimização Multi-objetiva de Estação de Tratamento de Águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbônico orgânico total e gosto e cor. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11(1), 7–15.
- Flörke, M., Schneider, C., & McDonald, R. I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*, 1(1), 51–58. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8>
- Gayathiri, M., Pulingam, T., Lee, K. T., & Sudesh, K. (2022). Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism. *Chemosphere*, 294, 133764. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133764>
- Guerra, A. de B. (2012). *Avaliação em escala de bancada do emprego do carvão activado granular na remoção de microcistina-LR na potabilização de águas*

-
- eutrofizadas* *do* *seminário* *nordestino*.
[http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/1808/1/Alaine de Brito Guerra.pdf](http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/1808/1/Alaine%20de%20Brito%20Guerra.pdf)
- Guimarães, C. e S. (2007). Fontes de água para abastecimento. In *Saneamento Básico* (pp. 77–144).
[http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila IT 179/Capit 4 parte 2.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf)
- Gume, M. B. (2015). *Manual de indução para o tratamento e controlo de água*.
- Gupta, V. K., Ali, I., Saleh, T. A., Nayak, A., & Agarwal, S. (2012). Chemical treatment technologies for waste-water recycling - An overview. *RSC Advances*, 2(16), 6380–6388. <https://doi.org/10.1039/c2ra20340e>
- Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubactep, C., & Mukome, F. N. D. (2017). Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. *Journal of Environmental Management*, 197, 732–749. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2017.03.087>
- Júnior, P. A. M. (2019). *Remoção de carbono orgânico dissolvido em águas de abastecimento por pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular*. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/196382>
- Knowles, A. D. (2011). *Optimizing the removal of natural organic matter in drinking water while avoiding unintended consequences following coagulation* [Dalhousie University].
<https://pdfs.semanticscholar.org/a3d4/ff73d1d2d74c05a6cbe4a544035ceb246622.pdf>
- Kristiana, I., Joll, C., & Heitz, A. (2011). Powdered activated carbon coupled with enhanced coagulation for natural organic matter removal and disinfection by-product control: Application in a Western Australian water treatment plant. *Chemosphere*, 83(5), 661–667. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2011.02.017>
- Laboratório Nacional de Higiene de Alimentos e Águas. (1997). *Métodos de análise de água* (Ministério da Saúde (ed.)).
- Libânio, M. (2010). *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água* (Editora Átomo

(ed.); 3a Edição).

- Lúcio, F. (2013). *Avaliação do emprego da filtração directa no tratamento de água com turbidez elevada por meio da pressedimentação: ensaios em escala da bancada*.
- Mabote, I. B. (2011). *Avaliacao do impacto da comercialização do carvão vegetal no rendimento das familias rurais do disrito de magude*. 47.
- Mailler, R., Gasperi, J., Coquet, Y., Derome, C., Buleté, A., Vulliet, E., Bressy, A., Varrault, G., Chebbo, G., & Rocher, V. (2016). Removal of emerging micropollutants from wastewater by activated carbon adsorption: Experimental study of different activated carbons and factors influencing the adsorption of micropollutants in wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 1102–1109. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2016.01.018>
- Maria, A., Rocha, H., Maria, C., Queiroga, F., Malveira, E., Cassiano, D. R., Leonardo, H., & Buarque, D. B. (2012). *Otimização do processo de coagulação da água do Açude Gavião , Ceará , utilizando planeamento por variável e planeamento composto central rotacional Resumo : a otimização e a automatização de sistemas de tratamento de água para consumo humano é cada vez*. 6. <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/5488/1416>
- Matilainen, A., Gjessing, E. T., Lahtinen, T., Hed, L., Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2011). An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. *Chemosphere*, 83(11), 1431–1442. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.018>
- Matilainen, A., & Sillanpää, M. (2010). Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. *Chemosphere*, 80(4), 351–365. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2010.04.067>
- Melani, L. B., Strohër, G. R., & Ströher, G. L. (2021). Isotermas de Langmuir e Freundlich em carvões vegetais. *Engenharia de Produção: Inovação, Produção e Sustentabilidade I*, 124–136. <https://doi.org/10.47573/aya.88580.2.11.8>
- Morais, E. D. (2014). Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (Cocos nuciferalinn) utilizando H₃PO₄ , CH₃COONa e KOH como ativantes. In *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.

- Muianga, A. P. (2015). *Relatório das análises de rotina sobre a água produzida pelas subestações 1, 2 e 3 da ETA – Umbeluzi*.
- Müller, C. C. (2008). *Avaliação da utilização de carvão ativado em pó na remoção de microcistina em água para abastecimento público*. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13615>
- Muranaka, N. T. (2010). Combinação de adsorção por carvão ativado com Processo Oxidativo Avançado (POA) para tratamento de efluentes contendo Fenol. In *Universidade de São Paulo*.
- Nguyen, L. N., Hai, F. I., Nghiem, L. D., Kang, J., Price, W. E., Park, C., & Yamamoto, K. (2014). Enhancement of removal of trace organic contaminants by powdered activated carbon dosing into membrane bioreactors. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(2), 571–578. <https://doi.org/10.1016/J.JTICE.2013.05.021>
- Pakharuddin, N. H., Fazly, M. N., Ahmad Sukari, S. H., Tho, K., & Zamri, W. F. H. (2021). Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 880(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/880/1/012017>
- Shaarani, F. W., & Hameed, B. H. (2010). Batch adsorption of 2,4-dichlorophenol onto activated carbon derived from agricultural waste. *Desalination*, 255(1–3), 159–164. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2009.12.029>
- Silva, Y. L. dos S. (2019). *Produção de carvão vegetal e ativação térmica a partir de resíduos de Bambu (Bambusa Vulgaris) para adsorção de cobre (II)*. https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/1565/1/TCC_ProducaoCarvaoVegetal.pdf
- Spitsyn, A. A., Minich, M. I., Ponomarev, D. A., & Bogdanovich, N. I. (2021). Comparison of the adsorption capacity of carbon sorbents from various plant precursors. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 4, 345–350. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021049250>
- Tramontin, D. P., Peterson, M., Pizzolo, J. P., & Pizzolo, J. P. (2010). *Adsorção do*

corante básico (azul de metileno) por carvão ativado preparado a partir de finos de carvão. 2009, 4–8. https://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sessoes_C4_C5_C6/C6_ARTIGO_01.pdf

Tshindane, P., Mamba, P. P., Moss, L., Swana, U. U., Moyo, W., Motsa, M. M., Chaukura, N., Mamba, B. B., & Nkambule, T. T. I. (2019). The occurrence of natural organic matter in South African water treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*, 31, 100809. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2019.100809>

Zambrana, C. O. (2013). *Regeneração de carvão activado utilizado para adsorção de pesticida por meio de processos oxidativos avançados.*

ANEXOS

ANEXO A – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 6

Tabela A - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	1.62	1.19	1.12	1.02	1.04	0.93
Réplica 1	1,58	1,20	1,08	0,96	1,02	0,89
Réplica 2	1,66	1,28	1,14	0,96	1,03	0,92
Réplica 3	1,62	1,09	1,14	1,15	1,07	0,99
Desvio Padrão	0,04	0,10	0,03	0,11	0,03	0,05

Tabela A - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.08	3.84	3.56	3.28	3.60	3.71
Réplica 1	3,95	3,65	3,73	3,23	3,42	3,71
Réplica 2	4,25	3,46	3,43	3,25	3,67	3,62
Réplica 3	4,04	4,41	3,52	3,36	3,72	3,80
Desvio Padrão	0,15	0,50	0,15	0,07	0,16	0,09

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela A - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	7.66	7.41	7.20	7.04	7.22	7.28
Réplica 1	7,18	7,54	7,50	6,49	6,86	7,17
Réplica 2	7,63	7,48	7,56	7,08	7,49	7,20
Réplica 3	8,18	7,21	6,54	7,56	7,31	7,47
Desvio Padrão	0,50	0,18	0,57	0,54	0,32	0,17

Tabela A - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	0.24	0.52	0.80	0.48	0.37
Réplica 1	0,00	0,23	0,53	0,77	0,47	0,39
Réplica 2	0,00	0,23	0,45	0,85	0,51	0,36
Réplica 3	0,00	0,26	0,58	0,78	0,47	0,36
Desvio Padrão	0,00	0,02	0,07	0,04	0,02	0,02

Tabela A - 5: Eficiência de remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	5.88	12.75	19.61	11.76	9.07
Réplica 1	0,00	6,37	12,64	19,76	12,61	8,76
Réplica 2	0,00	5,50	11,78	18,06	11,17	9,67
Réplica 3	0,00	5,77	13,83	21,02	11,50	8,77
Desvio Padrão	0,00	0,45	1,03	1,49	0,75	0,52

ANEXO B – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 7

Tabela B - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	2.21	7.07	7.15	10.60	11.50	14.60
Réplica 1	2,04	7,16	6,97	9,51	11,86	14,79
Réplica 2	2,18	6,92	6,98	10,01	10,76	15,43
Réplica 3	2,41	7,13	7,50	12,28	11,87	13,57
Desvio Padrão	0,19	0,13	0,30	1,48	0,64	0,94

Tabela B - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.32	3.90	3.88	3.76	3.80	3.84
Réplica 1	4,38	3,79	4,12	3,74	3,89	3,88
Réplica 2	3,43	3,69	3,97	3,70	3,83	3,78
Réplica 3	5,14	4,22	3,55	3,83	3,68	3,85
Desvio Padrão	0,86	0,28	0,30	0,07	0,11	0,05

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela B - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	7.43	7.15	7.20	7.23	7.36	7.38
Réplica 1	7,06	7,18	7,24	6,72	7,13	7,52
Réplica 2	7,36	7,96	7,18	7,35	7,19	7,67
Réplica 3	7,86	6,31	7,18	7,62	7,76	6,95
Desvio Padrão	0,40	0,83	0,03	0,46	0,35	0,38

Tabela B - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	0.42	0.44	0.56	0.52	0.48
Réplica 1	0	0,43	0,44	0,55	0,56	0,42
Réplica 2	0	0,44	0,47	0,56	0,48	0,49
Réplica 3	0	0,39	0,42	0,57	0,52	0,53
Desvio Padrão	0,00	0,03	0,03	0,01	0,04	0,06

Tabela B - 5: Eficiência de remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	9.70	10.20	13.00	12.00	11.10
Réplica 1	0,00	10,09	9,61	13,62	11,64	10,71
Réplica 2	0,00	9,87	10,08	13,11	13,22	11,57
Réplica 3	0,00	9,14	10,91	12,27	11,14	11,02
Desvio Padrão	0,00	0,50	0,66	0,68	1,09	0,44

ANEXO C – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 9

Tabela C - 1: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.24	2.99	2.96	2.94	2.90	2.88
Réplica 1	4,32	2,98	3,06	2,97	2,78	2,77
Réplica 2	4,26	3,08	3,13	2,84	2,66	3,13
Réplica 3	4,14	2,91	2,69	3,01	3,26	2,73
Desvio Padrão	0,09	0,09	0,24	0,09	0,32	0,22

Tabela C - 2: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	7.21	7.37	7.40	7.38	7.40	7.39
Réplica 1	6,95	7,18	7,56	6,86	7,11	7,37
Réplica 2	7,35	7,25	7,31	8,05	6,79	6,55
Réplica 3	7,33	7,68	7,33	7,23	8,30	8,26
Desvio Padrão	0,23	0,27	0,14	0,61	0,80	0,86

Tabela C - 3: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	1.25	1.28	1.30	1.34	1.36
Réplica 1	0,00	1,30	1,30	1,40	1,35	1,44
Réplica 2	0,00	1,25	1,24	1,32	1,26	1,40
Réplica 3	0,00	1,20	1,30	1,18	1,41	1,25
Desvio Padrão	0,00	0,05	0,03	0,11	0,08	0,10

Tabela C - 4: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	29.50	30.20	30.70	31.60	32.10
Réplica 1	0,00	30,41	32,35	28,50	32,28	32,48
Réplica 2	0,00	32,69	28,29	29,49	32,13	38,04
Réplica 3	0,00	25,40	29,96	34,11	30,39	25,78
Desvio Padrão	0,00	3,73	2,04	2,99	1,05	6,14

ANEXO D – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 11

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela D - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	1.39	1.79	1.58	1.79	2.28	2.64
Réplica 1	1,54	1,84	1,69	1,85	2,24	2,71
Réplica 2	1,29	1,89	1,62	1,84	2,45	2,60
Réplica 3	1,34	1,64	1,43	1,68	2,15	2,61
Desvio Padrão	0,13	0,13	0,13	0,10	0,15	0,06

Tabela D - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	3.76	2.72	2.64	2.69	2.76	2.79
Réplica 1	3,83	2,94	2,59	2,63	2,90	2,73
Réplica 2	3,80	2,63	2,60	2,93	2,91	2,71
Réplica 3	3,66	2,60	2,72	2,52	2,47	2,94
Desvio Padrão	0,09	0,19	0,07	0,21	0,25	0,13

Tabela D - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	7.43	6.99	6.84	6.87	6.82	6.76
Réplica 1	7,49	7,19	6,39	7,19	6,92	6,86
Réplica 2	7,27	7,3	6,86	6,54	6,74	7,15
Réplica 3	7,53	6,48	7,27	6,88	6,8	6,27
Desvio Padrão	0,14	0,45	0,44	0,33	0,09	0,45

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela D - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	1.04	1.12	1.07	1.00	0.97
Réplica 1	0,00	1,12	1,20	1,00	0,96	1,00
Réplica 2	0,00	1,06	1,17	1,11	0,95	1,05
Réplica 3	0,00	0,95	0,99	1,10	1,09	0,85
Desvio Padrão	0,00	0,09	0,11	0,06	0,08	0,10

Tabela D - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	27.70	29.80	28.50	26.60	25.80
Réplica 1	0,00	26,66	31,98	30,66	26,64	26,85
Réplica 2	0,00	24,92	32,94	26,52	26,28	26,23
Réplica 3	0,00	31,52	24,48	28,32	26,88	24,32
Desvio Padrão	0,00	3,42	4,63	2,08	0,30	1,32

ANEXO E – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 13

Tabela E - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	1.47	1.88	1.94	1.76	2.74	2.75
Réplica 1	1,41	1,91	1,89	1,75	2,74	2,81
Réplica 2	1,58	1,86	1,87	1,61	2,73	2,95
Réplica 3	1,43	1,87	2,06	1,92	2,75	2,49
Desvio Padrão	0,09	0,03	0,10	0,16	0,01	0,24

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela E - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.08	2.88	2.94	2.80	2.86	2.96
Réplica 1	4,50	2,91	2,79	2,95	2,83	3,06
Réplica 2	4,21	3,08	3,15	2,60	2,87	2,73
Réplica 3	3,53	2,65	2,88	2,85	2,88	3,08
Desvio Padrão	0,50	0,22	0,19	0,18	0,03	0,20

Tabela E - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	7.19	7.10	7.04	7.02	7.00	7.01
Réplica 1	7,53	6,71	7,55	7,49	7,36	6,73
Réplica 2	7,72	7,23	7,28	6,98	7,21	7,07
Réplica 3	6,33	7,36	6,29	6,59	6,43	7,23
Desvio Padrão	0,75	0,34	0,66	0,45	0,50	0,26

Tabela E - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	1.20	1.14	1.28	1.22	1.12
Réplica 1	0,00	1,30	1,13	1,27	1,17	1,19
Réplica 2	0,00	1,27	1,12	1,24	1,18	1,14
Réplica 3	0,00	1,03	1,17	1,33	1,31	1,03
Desvio Padrão	0,00	0,15	0,03	0,05	0,08	0,08

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela E - 5: Eficiência de remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	29.40	27.90	31.40	29.90	27.50
Réplica 1	0,00	31,40	28,68	30,87	29,07	27,46
Réplica 2	0,00	26,47	30,82	34,39	28,75	26,55
Réplica 3	0,00	30,32	24,20	28,93	31,88	28,49
Desvio Padrão	0,00	2,59	3,38	2,77	1,72	0,97

ANEXO F – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 15

Tabela F - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	5.67	6.67	8.53	10.10	14.60
Réplica 1	4,23	5,78	6,58	8,95	10,25	16,29
Réplica 2	4,58	6,14	6,66	8,96	10,55	14,52
Réplica 3	5,11	5,09	6,77	7,68	9,50	12,99
Desvio Padrão	0,44	0,53	0,10	0,74	0,54	1,65

Tabela F - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	3.68	2.24	2.24	2.24	2.40	2.56
Réplica 1	3,84	2,24	2,19	2,16	2,41	2,55
Réplica 2	3,95	2,23	2,06	2,16	2,35	2,49
Réplica 3	3,25	2,25	2,47	2,40	2,44	2,65
Desvio Padrão	0,38	0,01	0,21	0,14	0,05	0,08

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela F - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	8.03	7.69	7.67	7.52	7.48	7.47
Réplica 1	7,99	7,54	7,12	7,64	7,67	7,78
Réplica 2	7,75	7,98	8,76	7,79	7,93	7,44
Réplica 3	8,35	7,55	7,14	7,13	6,85	7,19
Desvio Padrão	0,30	0,25	0,94	0,35	0,56	0,30

Tabela F - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	1.44	1.44	1.44	1.28	1.12
Réplica 1	0,00	1,42	1,52	1,39	1,24	1,21
Réplica 2	0,00	1,33	1,37	1,50	1,26	1,13
Réplica 3	0,00	1,56	1,43	1,43	1,33	1,02
Desvio Padrão	0,00	0,12	0,08	0,06	0,05	0,10

Tabela F - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	39.10	39.10	39.10	34.80	30.40
Réplica 1	0,00	37,45	36,53	36,28	29,72	29,98
Réplica 2	0,00	39,32	40,05	41,73	35,76	31,44
Réplica 3	0,00	40,53	40,72	39,29	38,92	29,78
Desvio Padrão	0,00	1,55	2,25	2,73	4,67	0,91

ANEXO G – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 16

Tabela G - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	7.14	2.95	3.93	4.31	7.19	9.11
Réplica 1	7,56	2,91	4,30	4,42	7,73	10,54
Réplica 2	6,86	2,93	3,57	4,27	6,82	8,54
Réplica 3	7,00	3,01	3,92	4,24	7,02	8,25
Desvio Padrão	0,37	0,05	0,37	0,10	0,48	1,25

Tabela G - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	5.20	2.56	2.40	2.48	2.48	1.90
Réplica 1	5,22	2,26	2,47	2,40	2,34	2,14
Réplica 2	5,43	2,63	2,36	2,39	2,47	1,75
Réplica 3	4,95	2,79	2,37	2,65	2,63	1,81
Desvio Padrão	0,24	0,27	0,06	0,15	0,15	0,21

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela G - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	8.25	7.40	7.44	7.45	7.47	7.49
Réplica 1	8,32	7,56	7,18	7,28	7,32	7,33
Réplica 2	8,29	7,28	6,99	7,82	7,59	7,62
Réplica 3	8,14	7,36	8,15	7,25	7,50	7,52
Desvio Padrão	0,10	0,14	0,62	0,32	0,14	0,15

Tabela G - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	2.64	2.80	2.72	2.72	3.30
Réplica 1	0,00	2,60	2,90	2,79	2,70	3,38
Réplica 2	0,00	2,66	2,75	2,64	2,75	3,21
Réplica 3	0,00	2,66	2,75	2,73	2,71	3,31
Desvio Padrão	0,00	0,03	0,09	0,08	0,03	0,09

Tabela G - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	50.80	53.80	52.30	52.30	63.50
Réplica 1	0,00	50,42	53,53	51,47	53,98	59,56
Réplica 2	0,00	50,04	50,55	52,10	54,19	63,72
Réplica 3	0,00	51,94	57,32	53,33	48,73	67,22
Desvio Padrão	0,00	1,01	3,39	0,95	3,09	3,83

ANEXO H – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 17

Tabela H - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	38.20	5.14	3.29	2.69	1.70	2.49
Réplica 1	38,80	5,20	3,20	2,65	1,65	2,60
Réplica 2	38,10	5,00	3,40	2,70	1,75	2,40
Réplica 3	37,70	5,22	3,27	2,72	1,70	2,48
Desvio Padrão	0,56	0,12	0,10	0,04	0,05	0,10

Tabela H - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	3.79	3.46	3.19	2.80	2.91
Réplica 1	4,56	3,74	3,42	3,14	2,71	2,95
Réplica 2	4,79	3,96	3,46	3,14	2,69	3,14
Réplica 3	4,58	3,68	3,50	3,29	3,01	2,64
Desvio Padrão	0,13	0,15	0,04	0,09	0,18	0,25

Tabela H - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	6.86	6.82	6.77	6.79	6.80	6.75
Réplica 1	7,26	6,50	6,81	6,83	7,00	6,97
Réplica 2	6,72	6,88	6,89	6,76	6,89	6,74
Réplica 3	6,60	7,09	6,62	6,77	6,52	6,54

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Desvio Padrão	0,35	0,30	0,14	0,04	0,25	0,22
----------------------	------	------	------	------	------	------

Tabela H - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	0.85	1.18	1.45	1.84	1.73
Réplica 1	0,00	0,87	1,14	1,39	1,77	1,77
Réplica 2	0,00	0,83	1,21	1,48	1,94	1,76
Réplica 3	0,00	0,84	1,20	1,49	1,82	1,65
Desvio Padrão	0,00	0,02	0,04	0,06	0,09	0,07

Tabela H - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	18.32	25.43	31.25	39.66	37.28
Réplica 1	0,00	17,97	26,06	29,41	38,97	36,10
Réplica 2	0,00	19,19	25,54	32,03	40,69	39,55
Réplica 3	0,00	17,80	24,68	32,32	39,33	36,19
Desvio Padrão	0,00	0,76	0,70	1,60	0,91	1,97

ANEXO I – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 18

Tabela H - 6: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	38.20	3.41	3.59	3.31	3.82	5.56
Réplica 1	37,20	3,50	3,44	3,11	3,98	5,55
Réplica 2	39,34	3,47	3,96	3,44	3,56	5,81

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Réplica 3	38,06	3,27	3,38	3,38	3,92	5,32
Desvio Padrão	1,08	0,13	0,32	0,18	0,23	0,25

Tabela H - 7: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	2.72	2.80	3.44	2.24	2.64
Réplica 1	4,69	2,97	2,83	3,58	2,20	2,76
Réplica 2	4,73	2,50	2,78	3,31	2,36	2,66
Réplica 3	4,50	2,68	2,78	3,44	2,17	2,49
Desvio Padrão	0,12	0,24	0,03	0,14	0,10	0,14

Tabela H - 8: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	6.86	6.84	6.69	6.70	6.74	6.79
Réplica 1	6,74	6,46	6,20	6,54	7,19	7,17
Réplica 2	7,02	6,98	6,68	6,48	6,59	6,60
Réplica 3	6,81	7,09	7,18	7,09	6,43	6,60
Desvio Padrão	0,15	0,34	0,49	0,34	0,40	0,33

Tabela H - 9: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	1.92	1.84	1.20	2.40	2.00
Réplica 1	0,00	2,02	1,82	1,18	2,50	1,98
Réplica 2	0,00	1,89	1,94	1,24	2,23	2,12

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Réplica 3	0,00	1,84	1,75	1,19	2,46	1,90
Desvio Padrão	0,00	0,09	0,10	0,03	0,15	0,11

Tabela H - 10: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	41.38	39.66	25.86	51.72	43.10
Réplica 1	0,00	41,84	36,11	25,26	53,94	41,41
Réplica 2	0,00	42,12	42,28	28,07	50,08	45,24
Réplica 3	0,00	40,17	40,59	24,26	51,15	42,66
Desvio Padrão	0,00	1,05	3,19	1,98	1,99	1,95

ANEXO J – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 20

Tabela J - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	38.20	1.65	1.61	1.75	1.83	2.10
Réplica 1	37,54	1,68	1,72	1,79	1,77	2,09
Réplica 2	38,13	1,61	1,61	1,73	1,89	1,97
Réplica 3	38,92	1,65	1,50	1,74	1,84	2,24
Desvio Padrão	0,69	0,04	0,11	0,03	0,06	0,14

Tabela J - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	1.60	2.40	2.40	2.24	2.48

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Réplica 1	4,67	1,60	2,29	2,43	2,16	2,41
Réplica 2	4,68	1,51	2,40	2,54	2,37	2,50
Réplica 3	4,57	1,68	2,52	2,22	2,19	2,54
Desvio Padrão	0,06	0,09	0,12	0,16	0,11	0,07

Tabela J - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	6.86	6.59	6.61	6.62	6.77	6.82
Réplica 1	6,91	6,71	6,94	7,16	6,52	6,86
Réplica 2	6,89	6,60	6,49	6,35	6,71	6,14
Réplica 3	6,79	6,47	6,39	6,35	7,07	7,45
Desvio Padrão	0,06	0,12	0,29	0,47	0,28	0,66

Tabela J - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	3.04	2.24	2.24	2.40	2.16
Réplica 1	0,00	3,01	2,33	2,33	2,35	2,20
Réplica 2	0,00	3,11	2,32	2,15	2,59	2,15
Réplica 3	0,00	3,00	2,08	2,24	2,26	2,14
Desvio Padrão	0,00	0,06	0,14	0,09	0,17	0,03

Tabela J - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	65.50	48.30	48.30	51.70	46.60

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Réplica 1	0,00	65,26	43,45	48,58	49,46	49,22
Réplica 2	0,00	62,97	50,03	50,11	52,99	43,20
Réplica 3	0,00	68,27	51,43	46,22	52,64	47,37
Desvio Padrão	0,00	2,66	4,26	1,96	1,94	3,08

ANEXO K – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 22

Tabela K - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	38.20	1.92	2.41	2.68	3.65	4.36
Réplica 1	37,62	1,88	2,46	2,79	3,38	4,29
Réplica 2	36,79	1,97	2,55	2,68	3,60	4,58
Réplica 3	40,19	1,90	2,23	2,58	3,97	4,20
Desvio Padrão	1,77	0,05	0,17	0,11	0,30	0,20

Tabela K - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	2.72	2.72	2.72	2.80	2.96
Réplica 1	4,73	2,86	2,84	2,63	2,82	3,05
Réplica 2	4,73	2,63	2,75	2,78	2,94	2,74
Réplica 3	4,47	2,68	2,56	2,74	2,63	3,10
Desvio Padrão	0,15	0,12	0,14	0,08	0,16	0,20

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Tabela K - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	6.86	6.62	6.68	6.72	6.75	6.81
Réplica 1	7,04	6,43	6,98	6,57	6,77	6,94
Réplica 2	6,40	6,80	6,46	7,08	7,08	6,87
Réplica 3	7,15	6,62	6,59	6,52	6,39	6,61
Desvio Padrão	0,41	0,19	0,27	0,31	0,35	0,17

Tabela K - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	1.92	1.92	1.92	1.84	1.68
Réplica 1	0,00	1,85	1,74	1,86	1,80	1,72
Réplica 2	0,00	1,87	2,11	1,95	1,79	1,75
Réplica 3	0,00	2,03	1,90	1,94	1,92	1,58
Desvio Padrão	0,00	0,10	0,19	0,05	0,07	0,09

Tabela K - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	41.40	41.40	41.40	39.70	36.20
Réplica 1	0,00	41,69	40,35	39,63	40,31	38,21
Réplica 2	0,00	38,45	42,52	42,55	42,00	37,88
Réplica 3	0,00	44,07	41,32	42,03	36,79	32,52
Desvio Padrão	0,00	2,82	1,09	1,56	2,66	3,19

ANEXO L – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 24

Tabela L - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	38.20	2.46	2.82	3.44	4.30	4.61
Réplica 1	40,45	2,55	2,81	3,67	4,04	4,70
Réplica 2	39,17	2,41	2,93	3,26	4,30	4,66
Réplica 3	34,99	2,43	2,73	3,38	4,56	4,47
Desvio Padrão	2,86	0,08	0,10	0,21	0,26	0,12

Tabela L - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	2.40	2.56	2.72	2.88	2.72
Réplica 1	5,11	2,29	2,46	2,75	2,89	2,73
Réplica 2	4,23	2,49	2,51	2,75	2,88	2,76
Réplica 3	4,59	2,43	2,70	2,67	2,87	2,66
Desvio Padrão	0,44	0,10	0,13	0,05	0,01	0,05

Tabela L - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	6.86	6.61	6.60	6.60	6.63	6.79
Réplica 1	6,72	6,59	6,45	6,54	6,77	6,53
Réplica 2	6,46	6,50	6,66	6,69	6,56	7,08
Réplica 3	7,39	6,73	6,70	6,57	6,55	6,75
Desvio Padrão	0,48	0,12	0,13	0,08	0,12	0,28

Tabela L - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	2.24	2.08	1.92	1.76	1.92
Réplica 1	0,00	2,20	2,12	1,85	1,79	1,95
Réplica 2	0,00	2,23	1,99	2,06	1,70	1,92
Réplica 3	0,00	2,30	2,12	1,84	1,79	1,88
Desvio Padrão	0,00	0,05	0,08	0,12	0,05	0,04

Tabela L - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	48.30	44.80	41.40	37.90	41.40
Réplica 1	0,00	49,15	44,07	42,03	39,59	41,30
Réplica 2	0,00	49,74	44,97	43,24	36,13	41,57
Réplica 3	0,00	46,00	45,36	38,92	37,98	41,33
Desvio Padrão	0,00	2,01	0,66	2,23	1,73	0,15

ANEXO M – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 26

Tabela M - 1: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	38.20	2.38	2.95	2.98	2.82	2.84
Réplica 1	40,51	2,28	3,01	3,12	2,68	2,70
Réplica 2	38,23	2,22	3,14	2,85	2,98	2,71
Réplica 3	35,85	2,63	2,69	2,97	2,79	3,11

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Desvio Padrão	2,33	0,22	0,23	0,14	0,15	0,23
----------------------	------	------	------	------	------	------

Tabela M - 2: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	2.56	2.88	2.72	2.80	1.92
Réplica 1	4,72	2,67	2,73	2,93	2,79	1,95
Réplica 2	4,65	2,37	2,93	2,69	2,88	1,88
Réplica 3	4,54	2,63	2,98	2,55	2,72	1,92
Desvio Padrão	0,09	0,16	0,13	0,19	0,08	0,04

Tabela M - 3: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	6.86	7.52	7.42	7.33	7.27	7.21
Réplica 1	6,78	7,58	7,08	7,60	7,46	7,79
Réplica 2	6,53	7,95	7,86	7,13	7,19	7,25
Réplica 3	7,26	7,02	7,33	7,27	7,16	6,60
Desvio Padrão	0,37	0,47	0,40	0,24	0,17	0,60

Tabela M - 4: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	2.08	1.76	1.92	1.84	2.72
Réplica 1	0,00	1,96	1,75	1,97	1,83	2,79
Réplica 2	0,00	2,21	1,69	1,89	1,86	2,55
Réplica 3	0,00	2,06	1,85	1,89	1,84	2,82

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Desvio Padrão	0,00	0,13	0,08	0,05	0,02	0,15
----------------------	------	------	------	------	------	------

Tabela M - 5: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	44.80	37.90	41.40	39.70	58.60
Réplica 1	0,00	45,76	36,95	41,33	39,62	57,25
Réplica 2	0,00	43,63	38,46	40,77	37,51	57,15
Réplica 3	0,00	45,00	38,30	42,09	41,98	61,41
Desvio Padrão	0,00	1,08	0,83	0,66	2,24	2,43

ANEXO N – Réplicas dos parâmetros apresentados na tabela nº 28

Tabela M - 6: Turvação (NTU)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	38.20	1.55	1.81	2.27	2.95	3.14
Réplica 1	39,44	1,49	1,75	2,31	2,81	3,32
Réplica 2	38,47	1,52	1,63	2,40	3,05	2,95
Réplica 3	36,69	1,64	2,05	2,10	3,00	3,14
Desvio Padrão	1,39	0,08	0,22	0,15	0,13	0,19

Tabela M - 7: MON (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	4.64	2.80	2.24	2.72	2.80	3.20
Réplica 1	4,44	2,75	2,19	2,86	2,71	3,24

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Réplica 2	4,70	2,82	2,21	2,59	2,97	3,18
Réplica 3	4,78	2,84	2,33	2,70	2,71	3,17
Desvio Padrão	0,18	0,05	0,08	0,14	0,15	0,04

Tabela M - 8: pH

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	6.86	7.40	7.34	7.33	7.44	7.51
Réplica 1	6,06	7,21	7,99	7,25	7,48	7,76
Réplica 2	7,07	7,24	6,86	7,21	7,04	7,49
Réplica 3	7,46	7,75	7,16	7,52	7,81	7,27
Desvio Padrão	0,72	0,30	0,59	0,17	0,39	0,25

Tabela M - 9: MON adsorvida (mg/l)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	1.84	2.40	1.92	1.84	1.44
Réplica 1	0,00	1,88	2,24	2,02	1,86	1,39
Réplica 2	0,00	1,70	2,48	1,89	1,86	1,49
Réplica 3	0,00	1,95	2,48	1,84	1,81	1,45
Desvio Padrão	0,00	0,13	0,14	0,09	0,03	0,05

Tabela M - 10: Eficiência da remoção (%)

Copo	Copo 1	Copo 2	Copo 3	Copo 4	Copo 5	Copo 6
Média	0.00	39.70	51.70	41.40	39.70	31.00
Réplica 1	0,00	37,76	49,40	43,33	39,60	31,78

Avaliação da eficiência da coagulação seguida da adsorção em carvão activado em pó e carvão vegetal de produção local na remoção da matéria orgânica na ETA do Umbeluzi

Réplica 2	0,00	40,23	50,64	39,62	39,90	31,25
Réplica 3	0,00	41,10	55,06	41,24	39,60	29,97
Desvio Padrão	0,00	1,73	2,98	1,86	0,17	0,93