

**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL EM ÁGUA DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO PELO MÉTODO COLORIMÉTRICO COM SULFATO
DE N,N-DIETIL-P-FENILENODIAMINA E REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O
TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVADO: ESTUDO DE CASO EM FOZ DO IGUAÇU
- PR**

TASSIUS NICHOLAS SANTOS PORFIRIO

Foz do Iguaçu
2026

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL EM ÁGUA DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO PELO MÉTODO COLORIMÉTRICO COM SULFATO
DE N,N-DIETIL-P-FENILENODIAMINA E REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O
TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVADO: ESTUDO DE CASO EM FOZ DO IGUAÇU
- PR**

TASSIUS NICHOLAS SANTOS PORFIRIO

Trabalho de Conclusão de Curso, no formato de artigo, apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Andréia Cristina Furtado
Coorientadora: Profa. Dra. Marcela Boroski

Foz do Iguaçu
2026

TASSIUS NICHOLAS SANTOS PORFIRIO

**DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL EM ÁGUA DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO PELO MÉTODO COLORIMÉTRICO COM SULFATO
DE N,N-DIETIL-P-FENILENODIAMINA E REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O
TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVADO: ESTUDO DE CASO EM FOZ DO IGUAÇU
- PR**

Trabalho de Conclusão de Curso, no formato de artigo, apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Andréia Cristina Furtado
UNILA

Coorientadora: Profa. Dra. Marcela Boroski
UNILA

Profa. Dra. Marlei Roling Scariot
UNILA

Foz do Iguaçu, 30 de junho de 2026.

À minha mãe, Leoni de Fátima Santos e ao
meu sobrinho, Arthur Porfirio Vartha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha mãe, Leoni de Fátima Santos, que sempre fez de tudo para que eu tivesse uma boa educação. Mesmo nos momentos de maior dificuldade, nunca deixou de me incentivar a estudar. Esta conquista também é dela.

Ao meu sobrinho, Arthur Porfirio Vartha, que, mesmo sem ter consciência disso, foi uma grande fonte de motivação. Sua existência me deu forças para continuar nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos de graduação, Daniela de Quadros Pedroso e Mohamad Khaled Tarabayh, por estarem ao meu lado desde o início desta trajetória acadêmica. Compartilhando momentos que levarei para a vida.

Aos meus amigos Matheus Prokopowski dos Santos e Emanuelle da Silva Tonolo, que fazem parte da minha vida desde o ensino fundamental. Obrigado pela amizade, apoio incondicional e por estarem presentes em todas as etapas da minha caminhada.

A todos os colegas do LEIMAA, pela colaboração, ensinamentos e suporte prestados durante os trabalhos desenvolvidos ao longo da graduação.

A todos os colegas que contribuíram com a coleta e o fornecimento das amostras utilizadas neste trabalho, tornando possível a sua realização.

À minha professora e orientadora, Andréia Cristina Furtado, por todos os ensinamentos compartilhados ao longo da graduação e pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

À professora Marcela Boroski, pela coorientação neste trabalho, pelos conhecimentos transmitidos durante os projetos de iniciação científica e pelas inúmeras conversas que marcaram positivamente minha formação acadêmica. Sua orientação foi fundamental para o profissional que estou me tornando.

Por fim, agradeço à UNILA e a todos os professores que fizeram parte da minha formação. Cada um contribuiu, à sua maneira, para a construção do conhecimento e dos valores que levarei ao longo da minha trajetória profissional.

RESUMO

A presença de cloro residual livre na água tratada pela estação de tratamento é essencial para a manutenção da qualidade microbiológica durante a distribuição. Entretanto, mesmo dentro dos padrões de potabilidade, as concentrações de cloro residual livre presente na água no ponto de consumo podem impactar negativamente suas características organolépticas, especialmente o sabor e o odor. Nesse contexto, este trabalho propõe a verificação da concentração de cloro residual livre da água de torneira proveniente de diversas regiões do município de Foz do Iguaçu, utilizando a metodologia baseada na reação colorimétrica com o Sulfato de N,N-Dietil-p-fenilenodiamina e análise por espectrofotometria Uv-Vis, e verificou-se que a concentração de cloro residual livre de todas as amostras analisadas estão dentro do intervalo estabelecida pela Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde. Além disso, foi avaliada a possível relação entre a concentração de cloro residual livre e a distância média de cada bairro selecionado para a análise até a estação de tratamento de água, e notou-se o decaimento de cloro residual livre para alguns bairros mais distantes da estação de tratamento de água. A partir dos resultados obtidos, foi revisada na literatura a possibilidade de aplicação de um sistema de tratamento domiciliar baseado no uso de carvão ativado a partir da biomassa de coco como o meio adsorvente para a redução de cloro residual livre e consequentemente melhoria das propriedades sensoriais da água destinada ao consumo humano. A proposta busca, além de promover uma destinação mais sustentável para os resíduos de coco, contribuir para a melhoria das características sensoriais da água fornecida à população, favorecendo uma maior confiança dos consumidores em relação ao consumo de água da torneira. Espera-se que o estudo contribua para o incentivo ao reaproveitamento de resíduos agroindustriais em aplicações voltadas ao tratamento de água e à valorização de soluções sustentáveis de baixo impacto ambiental.

Palavras-chave: cloro residual livre, espectrofotometria Uv-Vis, carvão ativado, adsorção, tratamento de água.

RESUMEN

La presencia de cloro residual libre en el agua tratada por la planta de tratamiento de agua es esencial para mantener la calidad microbiológica durante su distribución. Sin embargo, incluso cuando las concentraciones de cloro residual libre cumplen con los estándares de potabilidad, pueden afectar negativamente las características organolépticas del agua en el punto de consumo, especialmente su sabor y olor. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la concentración de cloro residual libre en agua de grifo proveniente de diferentes regiones del municipio de Foz do Iguaçu, Brasil, utilizando una metodología basada en la reacción colorimétrica con sulfato de N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD) y análisis mediante espectrofotometría UV-Vis. Los resultados demostraron que las concentraciones de cloro residual libre de todas las muestras analizadas se encontraban dentro de los límites establecidos por la Ordenanza GM/MS n.º 888/2021 del Ministerio de Salud de Brasil. Además, se evaluó la posible relación entre la concentración de cloro residual libre y la distancia media de cada barrio seleccionado para el análisis hasta la planta de tratamiento de agua, observándose una disminución de la concentración de cloro residual libre en algunos barrios ubicados a mayor distancia de la planta. A partir de los resultados obtenidos, se realizó una revisión de la literatura sobre la posible aplicación de un sistema de tratamiento domiciliario basado en el uso de carbón activado obtenido a partir de biomasa de coco como material adsorbente para reducir el cloro residual libre y, en consecuencia, mejorar las propiedades sensoriales del agua destinada al consumo humano. La propuesta busca, además de promover un destino más sostenible para los residuos de coco, contribuir a la mejora de las características sensoriales del agua suministrada a la población, favoreciendo una mayor confianza de los consumidores en el consumo de agua del grifo. Se espera que este estudio contribuya a fomentar el aprovechamiento de residuos agroindustriales en aplicaciones orientadas al tratamiento de agua y a la valorización de soluciones sostenibles de bajo impacto ambiental.

Palabras clave: cloro residual libre, espectrofotometría UV Vis, carbón activado, adsorción, tratamiento de agua.

ABSTRACT

The presence of free residual chlorine in water treated at a water treatment plant is essential for maintaining microbiological quality throughout the distribution system. However, even when free residual chlorine concentrations comply with drinking water standards, they may negatively affect the organoleptic properties of water at the point of consumption, particularly its taste and odor. In this context, this study aimed to determine the free residual chlorine concentration in tap water collected from different regions of the municipality of Foz do Iguaçu, Brazil, using a methodology based on the colorimetric reaction with N,N-diethyl-p-phenylenediamine sulfate (DPD) and UV-Vis spectrophotometric analysis. The results showed that the free residual chlorine concentrations in all analyzed samples were within the limits established by Ordinance GM/MS No. 888/2021 of the Brazilian Ministry of Health. In addition, the possible relationship between free residual chlorine concentration and the average distance from each selected neighborhood to the water treatment plant was evaluated, revealing a decrease in free residual chlorine levels in some neighborhoods located farther from the treatment plant. Based on the obtained results, a literature review was conducted to assess the potential application of a household water treatment system using activated carbon produced from coconut biomass as an adsorbent material for reducing free residual chlorine and, consequently, improving the sensory properties of water intended for human consumption. This proposal seeks not only to promote a more sustainable use of coconut waste but also to improve the sensory characteristics of the water supplied to the population, thereby increasing consumer confidence in tap water consumption. It is expected that this study will contribute to encouraging the reuse of agro-industrial waste in water treatment applications and to promoting sustainable solutions with low environmental impact.

Keywords: free residual chlorine; UV-Vis spectrophotometry; activated carbon; adsorption; water treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama demonstrando o funcionamento interno do espectrofotômetro Uv-Vis.

Figura 2 – Distribuição espacial dos bairros selecionados para coleta das amostras de água abastecidas pela ETA Vila C, no município de Foz do Iguaçu - PR.

Figura 3 – Diluição de KMnO_4 para a obtenção da solução de trabalho.

Figura 4 – Soluções utilizadas na construção da curva analítica para determinação de cloro residual livre.

Figura 5 – Partes constituintes do coco.

Figura 6 – Curva analítica.

Figura 7 – Relação entre a distância média dos bairros até a ETA e a concentração média de CRL nas amostras de água.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de amostras coletadas por bairro e distância média de cada bairro até a ETA – Vila C.

Tabela 2 – Volume dos reagentes empregados na elaboração da curva analítica.

Tabela 3 – Resultados de CRL das amostras.

Tabela 4 – Valores dos parâmetros analisados do resíduo de coco.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução da desinfecção da água utilizando cloro.

Quadro 2 – Limiares de detecção de CRL para diferentes localidades.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CRL	Cloro Residual Livre
DPD	Sulfato de N,N-dietil-p-fenilenodiamina
ETA	Estação de Tratamento de Água
ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
UV–Vis	Ultravioleta–Visível

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1.	OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS	16
2.2.	ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE CLORO	18
2.2.1.	REAGENTES E MATERIAIS	18
2.2.2.	PREPARO DAS SOLUÇÕES	19
2.2.3.	CONSTRUÇÃO DA CURVA ANALÍTICA	20
2.2.4.	ANÁLISE DAS AMOSTRAS	21
2.3.	PROPOSTA DE TRATAMENTO	21
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1.	CURVA ANALÍTICA.....	23
3.2	ANÁLISE DO CLORO RESIDUAL LIVRE DAS AMOSTRAS E CONFORMIDADE COM A LEGISLAÇÃO	24
3.3.	DECAIMENTO DO CLORO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	27
3.4.	PROPOSTA DE TRATAMENTO UTILIZANDO BIOMASSA DE COCO PARA OBTENÇÃO DO CARVÃO ATIVADO.....	29
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida humana, desempenhando um papel fundamental na manutenção da saúde e do bem-estar. No entanto, a qualidade da água disponível para consumo nem sempre atende aos padrões ideais de segurança e pureza. Em muitos locais, a água de torneira é tratada com cloro como medida de desinfecção, visando eliminar microrganismos patogênicos e proteger a saúde pública. O cloro presente na água, está na forma iônica (Cl^-), sendo um dos principais ânions inorgânicos presentes na água. De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde, a água destinada ao consumo humano deve apresentar concentração mínima de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro residual livre, sendo o valor máximo permitido de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$. Na água potável a concentração do cloro influencia no odor e no sabor. Concentrações elevadas de cloro podem ser percebidas por meio do sabor e odor característicos, tornando a água menos agradável para o consumo (VIEBRANTZ, 2021).

De acordo com as diretrizes para elaboração de projetos de sistemas de abastecimento de água, o tratamento de água bruta feito por Estações de Tratamento de Água (ETA) convencionais passam pelos seguintes processos: correção de pH, floculação, separação sólido-líquido, filtração, desinfecção e fluoretação (ROSCHILD, 2018). No estado do Paraná, a companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) é a responsável pelos serviços de tratamento e abastecimento da água.

A desinfecção da água teve origem como uma tentativa de realizar o controle da propagação de doenças, inicialmente associada aos odores (MEYER, 1994). Segundo Rossin (1987), os processos de desinfecção evoluíram significativamente ao longo do tempo, e essa evolução pode ser observada em diferentes períodos, destacando o aprimoramento das técnicas e o desenvolvimento de métodos mais eficazes para a desinfecção da água. O Quadro 1 apresenta resumidamente a evolução do processo de desinfecção da água com o uso de cloro.

Quadro 1 – Evolução da desinfecção da água utilizando cloro.

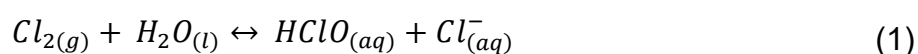
Período	Evolução
1908 - 1918	Início da cloração das águas, com aplicação de pequenas quantidades de cloro.
1918 - 1928	Ampliação do tratamento de cloro líquido no tratamento de água.
1928 - 1938	Utilização de cloraminas, adição conjunta de cloro e amônia, visando à manutenção do residual contaminante.
1948 - 1958	Desenvolvimento de testes específicos para a determinação dos residuais de cloro, incluindo distinção entre cloro residual livre e combinado.

Fonte: Adaptado de Rossin (1987).

O monitoramento do cloro é essencial para a avaliação da qualidade da água destinada ao consumo humano, além de atuar como ferramenta de controle da dosagem aplicada durante o processo de tratamento (COSTA; SILVAS; CASTRO, 2015). O cloro é amplamente empregado devido à sua capacidade de destruir ou inativar microrganismos responsáveis por doenças em diferentes compostos, e essa ação ocorre eficientemente à temperatura ambiente e em um breve período (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1987; DYCHDALA, 1983).

Os principais produtos utilizados para realizar a desinfecção da água são: cal clorada, hipoclorito de cálcio, hipoclorito de sódio e cloro gasoso (BRASIL, 2013). Ressalta-se que a presença de matéria orgânica na água pode favorecer a formação de subprodutos da desinfecção durante a aplicação de cloro, como os trihalometanos (THM), compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana (COSTA *et al.*, 2019).

A concentração de cloro residual livre (CRL) em água potável pode ser determinada por diferentes metodologias, como o amperométrico, iodométrico e o método colorimétrico com N,N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD) (ROSAR, 2020). O excesso de CRL na água é nocivo à saúde humana. O cloro livre é um gás de coloração verde-amarelada que, em meio aquoso, pode reagir formando ácido hipocloroso, conforme descrito na Equação 1 (NOGUEIRA, 2023).

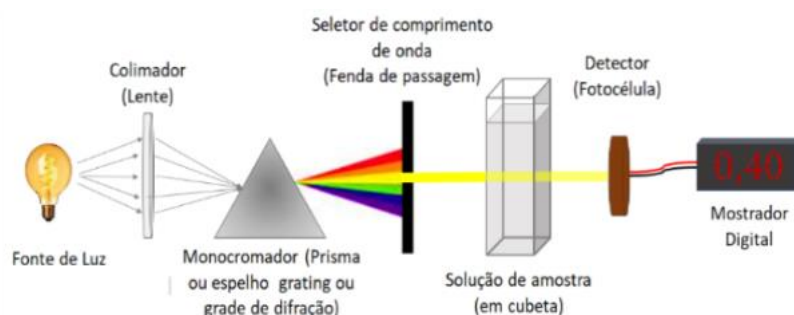


A técnica analítica de espectrofotometria UV-Vis destaca-se como uma das mais empregadas para análise quantitativa, devido à sua vasta aplicação em sistemas orgânicos e inorgânicos. Entre suas principais características destacam-se os baixos limites

de detecção, geralmente na faixa de 10^{-4} a 10^{-5} , seletividade moderada a alta, precisão satisfatória e facilidade na obtenção e interpretação dos resultados (HOLLER, 2009). Essa técnica tem sido amplamente utilizada na determinação de diversos parâmetros com o objetivo de monitorar a qualidade da água. A maioria das análises se baseia no uso de reagentes colorimétricos para a quantificação dos analitos (NOGUEIRA, 2023).

A espectrofotometria UV-Vis se baseia na interação entre a radiação eletromagnética nas regiões do ultravioleta e do visível e a amostra, permitindo a determinação da quantidade de energia absorvida (PARCHEN; SANTOS, 2020). A Figura 1 apresenta o princípio de funcionamento de um espectrofotômetro Uv-Vis.

Figura 1 – Diagrama demonstrando o funcionamento interno do espectrofotômetro Uv-Vis.



Fonte: Rosa, *et al.*, 2019.

Nesse processo, um feixe de luz monocromático passa pela amostra contida na cubeta, e a intensidade da radiação absorvida é medida, possibilitando quantificar o analito de interesse com base na relação descrita pela Lei de Lambert-Beer, apresentada na Equação 2 (PARCHEN; SANTOS, 2020).

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot c \quad (2)$$

Onde:

- A: absorvância (adimensional);
- ε : absorvidade molar, que é uma constante específica de cada substância ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$);
- l: caminho óptico ou distância que a luz atravessa a amostra (cm);
- c: concentração da solução ($mol \cdot L^{-1}$).

Um dos métodos para reduzir a concentração de cloro residual consiste na utilização de filtros de carvão ativado no ponto de consumo. Nesse contexto, e sabendo que em 2021, o Brasil foi o quarto maior produtor de coco no mundo (NARITA, 2021), a

utilização da biomassa de coco na síntese de carvão ativado por pirólise, desponta como uma alternativa para a purificação de água, contribuindo também para a diminuição do descarte de resíduos no ambiente. A pirólise é um processo que ocorre em temperaturas a partir de 400 °C (PEDROZA, 2011), e pode ser definida como a decomposição térmica de materiais orgânicos na ausência completa ou parcial de um agente oxidante, ou ainda em condições com baixa concentração de oxigênio, insuficiente para promover a gaseificação intensiva do material orgânico (PAZ *et al.*, 2018).

Nesse contexto, no presente trabalho foram realizadas análises da concentração de cloro em águas de torneira utilizando o método colorimétrico com DPD Sulfato. A partir dos resultados obtidos, foi revisada na literatura uma alternativa de melhoria dos sistemas de tratamento de água residencial utilizando filtro de carvão ativado a partir da biomassa do coco. O trabalho tem como objetivo promover uma melhora na qualidade de vida para os moradores de Foz do Iguaçu, assegurando a qualidade da água consumida pelos habitantes da cidade, além de um destino adequado para o descarte dos resíduos de coco.

Esse estudo está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ao ODS 6 – Água Potável e Saneamento, por contribuir para o monitoramento da qualidade da água destinada ao consumo humano e para a discussão que promovam a melhoria de suas características sensoriais. Além disso, o trabalho também se relaciona ao ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis, ao abordar, por meio de revisão da literatura, o potencial aproveitamento da biomassa de coco para a produção de carvão ativado, incentivando a valorização de resíduos agroindustriais e o desenvolvimento de soluções sustentáveis para o tratamento de água.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

O estudo foi realizado no município de Foz do Iguaçu, localizado no estado do Paraná, Brasil. Para os testes, foram coletadas 46 amostras de água de torneira, provenientes de diferentes residências localizadas em diversos bairros da cidade. As amostras foram obtidas diretamente em torneiras de uso doméstico, sem tratamento prévio, de modo a refletir as condições reais da água consumida pela população.

A escolha dos pontos de coleta foi realizada de forma a abranger diferentes regiões do município, visando representar a variabilidade espacial do sistema de abastecimento de água. A distribuição espacial das amostras e da estação de tratamento que abastece os bairros selecionados está apresentada na Figura 2, na qual estão indicados os bairros amostrados.

De acordo com Brzezinski *et al.* (2022), cerca de 70% do abastecimento de água da cidade é proveniente da captação realizada a cerca de 6 km ao norte dos vertedouros de Itaipu, sendo o tratamento efetuado na ETA Vila C. Os 30% restantes têm origem no Rio Tamanduá, cujo tratamento é realizado na ETA Tamanduá. As amostras analisadas neste estudo foram coletadas exclusivamente em regiões do município atendidas pelo sistema de abastecimento associado à Estação de Tratamento de Água localizada na Vila C. A seleção dos pontos de coleta foi realizada de modo a evitar áreas abastecidas pela ETA Tamanduá, conforme informações disponíveis em Portal da Cidade Foz do Iguaçu (2024). Dessa forma, buscou-se garantir a representatividade de uma única unidade de tratamento, contribuindo para maior consistência na análise e interpretação dos resultados.

Figura 2 - Distribuição espacial dos bairros selecionados para coleta das amostras de água abastecidas pela ETA Vila C, no município de Foz do Iguaçu - PR.



Fonte: Autor (2026).

As respectivas quantidades de amostras coletadas por bairro e a distância média de cada bairro até a ETA da Vila C são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de amostras coletadas por bairro e distância média de cada bairro até a ETA – Vila C.

Bairro	Distância média até a ETA – Vila C (km)	Quantidade de amostras
Jardim Niterói	12,20	1
Jardim Copacabana	11,28	3
Jardim São Roque	11,26	3
Jardim Dona Leila	10,97	5
Jardim São Paulo II	10,83	2
Três Pinheiros	10,76	2
Jardim Dona Fátima	10,48	1
Centro	10,32	3
Jardim Panorama	10,08	4
Morumbi	9,60	4
Jardim Central	9,06	2
Vila B	6,09	3
Vila A	5,62	5
Jardim Ipê	3,38	2
Jardim Universitário	2,32	4
Vila C	1,64	2

Fonte: Autor (2026)

2.2. ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE CLORO

2.2.1. REAGENTES E MATERIAIS

Os reagentes e materiais utilizados neste estudo foram selecionados conforme a metodologia descrita por Mamani (2023). Os reagentes utilizados foram o permanganato de potássio (KMnO_4), sulfato de N,N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD), EDTA dissódico ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4), fosfato de sódio dibásico anidro (Na_2HPO_4) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), todos com grau de pureza analítica (P.A.).

Os materiais utilizados incluíram micropipetas (100–1000 μL), pipetas volumétricas de 5 mL, ponteiras descartáveis, balões volumétricos de 100 mL, béqueres (5 mL, 10 mL e 25 mL), pipetas Pasteur, tubos de ensaio de 15 mL e espátula. Também foram utilizados uma balança analítica, um espectrofotômetro UV-Vis Thermo Fisher Scientific Evolution 201 operando a 515 nm e cubetas de quartzo.

2.2.2. PREPARO DAS SOLUÇÕES

As soluções utilizadas neste estudo foram preparadas conforme a metodologia descrita por Mamani (2023) e APHA, WEF e AWWA (2012). A solução padrão estoque de permanganato de potássio (KMnO_4), com concentração de 891 mg L^{-1} , foi preparada pela dissolução de 89,1 mg do reagente em água destilada. Inicialmente preparou a solução em um béquer e, em seguida, realizou-se a transferência da solução para um balão volumétrico de 100 mL, sendo o volume completado com água destilada até o menisco.

A solução intermediária, com concentração de $89,1 \text{ mg L}^{-1}$, foi obtida pela diluição de 10 mL da solução estoque em balão volumétrico de 100 mL, que posteriormente foi avolumada com água destilada.

A solução de trabalho, com concentração de $0,891 \text{ mg L}^{-1}$, foi preparada pela diluição de 1,0 mL da solução estoque em balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água destilada até o menisco. Para essa solução, considera-se que 1,0 mL da solução de permanganato de potássio equivale a $1,00 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro, conforme estabelecido por APHA, WEF e AWWA (2012). A Figura 3 apresenta as soluções de KMnO_4 obtidas em diferentes etapas de diluição.

Figura 3 – Diluição de KMnO_4 para a obtenção da solução de trabalho.



Fonte: Autor (2024).

A solução tampão fosfato ($0,50 \text{ mol L}^{-1}$, $\text{pH} = 6,0$) foi preparada utilizando 2,4 g de Na_2HPO_4 e 4,6 g de KH_2PO_4 , dissolvidos em água destilada. Após completa dissolução, foram incorporados 80 mg de EDTA dissódico, já dissolvido em água destilada. Em seguida, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada até o menisco. Adicionou-se 10 mL de tolueno com a finalidade de evitar o crescimento microbiológico.

Para o preparo da solução indicadora de DPD sulfato ($4,6 \text{ mmol L}^{-1}$), 110 mg do reagente foram dissolvidos em 10 mL de água destilada. Em seguida, foram acrescentados 20 mg de EDTA dissódico previamente solubilizado e 0,8 mL de solução ácida contendo $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Após completa homogeneização, a solução foi transferida quantitativamente para um balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada até o menisco.

2.2.3. CONSTRUÇÃO DA CURVA ANALÍTICA

Considerando que o Ministério da Saúde estabelece a concentração mínima segura de cloro residual livre em $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ e o valor máximo permitido em $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ (BRASIL, 2021), a curva analítica foi construída utilizando as concentrações apresentadas na Tabela 2. Para a construção da curva, foram realizadas leituras em triplicata no espectrofotômetro UV-Vis para cada ponto, correspondentes às concentrações de 0,05; 0,20; 0,80; 1,80 e $3,20 \text{ mg L}^{-1}$ com um comprimento de onda de 515 nm.

Tabela 2 – Volume dos reagentes empregados na elaboração da curva analítica.

Ponto da curva	Volume de KmnO_4 $0,89 \text{ mg L}^{-1}$ (mL)	Volume de Tampão $0,50 \text{ mol L}^{-1}$ (μL)	Volume de DPD $4,6 \text{ mmol L}^{-1}$ (μL)	Volume de H_2O (mL)	Concentração de Cl_2 (mg L^{-1})
Branco	0	250	250	5	0
1	0,5	250	250	4,5	0,05
2	1,0	250	250	4,0	0,20
3	2,0	250	250	3,0	0,80
4	3,0	250	250	2,0	1,80
5	4,0	250	250	1,0	3,20

Fonte: Autor, 2024.

A Figura 4 ilustra as soluções obtidas para a construção da curva analítica de calibração, evidenciando a variação da intensidade da coloração em função do aumento da concentração de cloro.

Figura 4 – Soluções utilizadas na construção da curva analítica para determinação de cloro residual livre.



Fonte: Autor (2024).

2.2.4. ANÁLISE DAS AMOSTRAS

A análise das amostras de água da torneira da cozinha de 46 residências da cidade de Foz do Iguaçu foi realizada em triplicata. A média dos valores de absorbância foram calculadas, para a obtenção do resultado da absorbância por residência.

Para a preparação das amostras, foram adicionados 250 μ L de tampão fosfato, 250 μ L de indicador DPD e 5 mL da amostra em tubos de ensaio com capacidade de 15 mL de fundo chato com tampa. Os tubos foram agitados manualmente para que ocorra a reação e mantidos em repouso por 10 minutos, seguido pela leitura da absorbância das amostras. As amostras foram adicionadas em cubetas de quartzo e lidas no espectrofotômetro Uv-Vis, com um comprimento de onda de 515 nm.

2.3. PROPOSTA DE TRATAMENTO

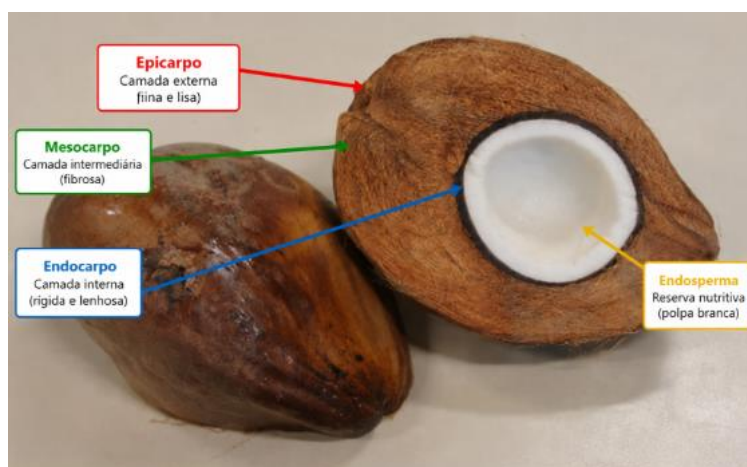
Mesmo com o tratamento convencional realizado na estação de tratamento de água para o consumo humano, muitas vezes é necessário um tratamento complementar (FERNANDES, 2010). O carvão ativado granulado é um meio filtrante poroso usado há

décadas no tratamento de água. O carvão ativado é um adsorvente muito utilizado devido a sua capacidade para remover cor verdadeira, sabor e odor, associados à presença de substâncias inorgânicas e orgânicas na água. (SNOEYINK; SUMMERS, 1999). Devido a sua elevada área superficial, é possível adsorver compostos de diferentes naturezas e propiciar condições ideais para a degradação de inúmeras substâncias orgânicas (WILCOX *et al.*, 1983).

De acordo com Fernandes (2008), a produção de carvão ativado comercial tem um custo elevado devido ao valor da matéria-prima e sua origem, além dos impactos ambientais decorrentes de sua produção industrial (KIELING, 2016). Com isso, a utilização de materiais alternativos de menor custo e com alto teor de carbono tem sido foco de estudos na produção de carvão ativado. Dentre as fontes tem se destacado: sementes, caroços de frutos e endocarpo de coco. Segundo Ramos e Rabelo (2018), entre os anos de 2000 e 2017, 47% dos materiais precursores para a produção de carvão ativado foram provenientes da madeira, 40% de outros materiais alternativos e 13% do endocarpo de coco.

No ano de 2019, o Brasil foi o quinto maior produtor de coco do mundo, produzindo cerca de 63 milhões de toneladas (BRAINER, 2021). O coco é uma fruta fibrosa, a parte externa é composta por uma camada cerosa e fina (epicarpo), uma camada fibrosa de maior espessura (mesocarpo) e, mais internamente fica o endosperma (polpa branca) e em volta da polpa uma camada rígida (endocarpo) (Figura 5) (EDWARD; CRAIG, 2006).

Figura 5 – Partes constituintes do coco.



Fonte: Adaptado do EMBRAPA (2022).

Após a extração da polpa presente no endosperma do coco seco, permanece uma quantidade significativa de resíduos. O endocarpo do coco, possui

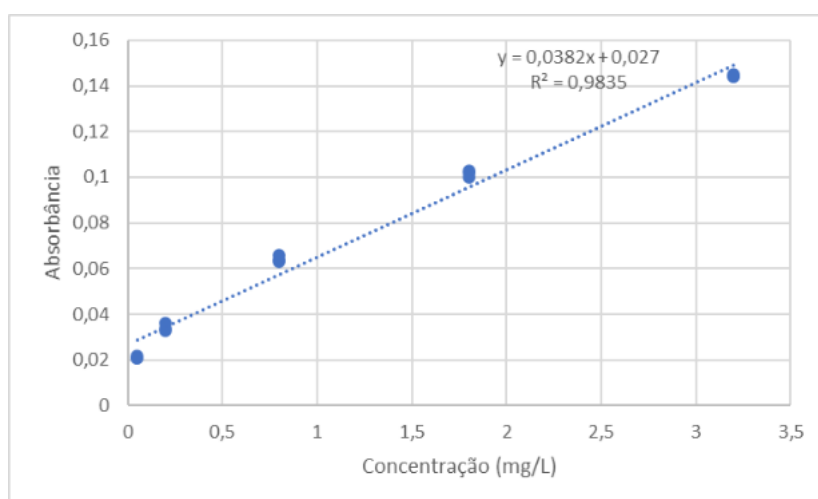
propriedades vantajosas para a produção de carvão ativado, por possuir poder calorífico superior à lenha (FONTENELE, 2005; MANGUEIRA, 2014). Por conta dessas características, será verificada, a partir de estudos da literatura, a viabilidade da utilização da biomassa de coco para a produção de carvão ativado, visando agregar valor a esse resíduo, reduzir seu descarte no meio ambiente e contribuir para a melhoria da qualidade da água no ponto de consumo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CURVA ANALÍTICA

A partir dos valores de absorvância obtidos em triplicata para cada nível de concentração, foi possível realizar a construção da curva analítica, apresentada na Figura 5.

Figura 6 – Curva analítica.



Fonte: Autor (2024).

Com base na linha de tendência da curva, foi obtida uma boa linearidade, com um r^2 de 0,9835. Esse valor demonstra que o método apresentou comportamento linear satisfatório na faixa de trabalho avaliada, permitindo sua utilização para estimar a concentração de CRL. Pequenos desvios em relação à linearidade podem estar associados a variações no preparo dos padrões, tempo de reação no tubo de ensaio ou erros volumétricos inerentes às análises laboratoriais.

3.2 ANÁLISE DO CLORO RESIDUAL LIVRE DAS AMOSTRAS E CONFORMIDADE COM A LEGISLAÇÃO

A Tabela 3 apresenta a média dos resultados das triplicatas e o desvio padrão da análise de cloro residual livre de 46 amostras de água de torneira, identificadas como A1 a A46, coletadas em diferentes bairros da cidade de Foz do Iguaçu.

Tabela 3 – Resultados de CRL das amostras.

Amostra	Bairro	Concentração (mg L⁻¹)
A1	Morumbi	0,24 ± 0,02
A2	Jardim São Paulo II	0,27 ± 0,02
A3	Três Pinheiros	0,30 ± 0,02
A4	Centro	0,30 ± 0,04
A5	Jardim Dona Leila	0,31 ± 0,04
A6	Morumbi	0,31 ± 0,04
A7	Centro	0,33 ± 0,03
A8	Jardim São Paulo II	0,34 ± 0,03
A9	Morumbi	0,35 ± 0,02
A10	Três Pinheiros	0,36 ± 0,03
A11	Jardim Dona Leila	0,36 ± 0,04
A12	Jardim Copacabana	0,36 ± 0,03
A13	Morumbi	0,36 ± 0,03
A14	Centro	0,37 ± 0,03
A15	Jardim Copacabana	0,40 ± 0,02
A16	Jardim Copacabana	0,41 ± 0,03
A17	Jardim Panorama	0,41 ± 0,03
A18	Jardim Dona Fátima	0,43 ± 0,05
A19	Jardim Niterói	0,45 ± 0,03
A20	Jardim Dona Leila	0,45 ± 0,03
A21	Jardim São Roque	0,48 ± 0,04
A22	Jardim Panorama	0,51 ± 0,03
A23	Jardim São Roque	0,51 ± 0,02
A24	Jardim Central	0,51 ± 0,03
A25	Jardim Panorama	0,52 ± 0,03
A26	Jardim Dona Leila	0,57 ± 0,05
A27	Jardim São Roque	0,57 ± 0,02
A28	Jardim Panorama	0,58 ± 0,04
A29	Vila A	0,67 ± 0,04
A30	Jardim Dona Leila	0,68 ± 0,05
A31	Vila B	0,68 ± 0,03
A32	Vila A	0,70 ± 0,02
A33	Vila A	0,71 ± 0,03
A34	Vila B	0,72 ± 0,02
A35	Vila A	0,73 ± 0,03
A36	Vila B	0,74 ± 0,04
A37	Vila A	0,79 ± 0,03
A38	Jardim Universitário	0,83 ± 0,02
A39	Vila C	0,85 ± 0,06
A40	Jardim Central	0,86 ± 0,03

A41	Vila C	0,86 ± 0,02
A42	Jardim Universitário	0,88 ± 0,04
A43	Jardim Ipê	0,88 ± 0,02
A44	Jardim Universitário	0,89 ± 0,03
A45	Jardim Universitário	0,93 ± 0,03
A46	Jardim Ipê	0,94 ± 0,03

Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão.

Fonte: Autor (2026).

Nota-se que todos os resultados obtidos se encontram dentro do intervalo de concentração de CRL estabelecido pelos padrões de potabilidade vigentes, que determinam valores entre 0,2 e 5,0 mg L⁻¹ na água destinada ao consumo humano (BRASIL, 2021). Esse resultado indica que as amostras analisadas atendem aos requisitos de qualidade estabelecidos pela legislação, contribuindo para a segurança microbiológica da água distribuída à população. Entretanto, apesar da conformidade legal observada, quase todas as amostras apresentaram concentrações superiores a 0,3 mg L⁻¹, valor a partir do qual alguns consumidores podem perceber alterações de sabor e odor na água (OMS, 2022). Dessa forma, os resultados demonstram que, embora a desinfecção esteja sendo realizada de maneira adequada, a manutenção de concentrações de CRL deve buscar o equilíbrio entre a garantia da qualidade microbiológica e a aceitabilidade sensorial da água fornecida.

Em geral, a maioria das pessoas consegue sentir o sabor ou odor do cloro na água em concentrações menores do que 5 mg L⁻¹, algumas em níveis próximos a 0,3 mg L⁻¹, valores estes abaixo do limite de referência estabelecido pela legislação (Organização Mundial da Saúde, 2022).

De acordo com Oliveira (2022), é comum realizar a dosagem de cloro de modo que a água chegue ao consumidor com uma concentração de cloro residual livre de cerca de 1,0 mg L⁻¹. No entanto, isso pode acarretar sabor e odor desagradáveis aos consumidores.

A percepção do sabor e odor de CRL na água potável varia significativamente de acordo com diversos fatores, incluindo o treinamento sensorial do indivíduo, exposição prévia ao cloro (hábitos culturas/regionais), a composição mineral da água, a presença de outros sabores de fundo, idade, tabagismo e fatores genéticos (PESTANA *et al.*, 2018; PIRIOU *et al.*, 2004). Portanto, não existe um único limiar absoluto, mas sim uma faixa de concentrações em que o CRL se torna detectável para diferentes populações.

O Quadro 2 apresenta como os limiares de detecção variam conforme a região e os hábitos de consumo da água clorada.

Quadro 2 – Limiares de detecção de CRL para diferentes localidades.

País/Região	Limiar de detecção (mg L⁻¹ CRL)	Fonte
França	0,14 a 0,2 mg L ⁻¹	PIRIOU <i>et al.</i> , 2004; PUGET <i>et al.</i> , 2009
Estados Unidos	0,8 mg L ⁻¹	MACKEY <i>et al.</i> , 2004
Dhaka (Bangladesh)	0,71 a 1,25 mg L ⁻¹	CRIDER <i>et al.</i> , 2018
Fortaleza (Brasil)	0,1 a 0,2 mg L ⁻¹	PESTANA <i>et al.</i> , 2018

Fonte: o autor, com base nas referências indicadas.

A diferença no limiar de detecção de cloro entre França e Estados Unidos é atribuída às práticas de cloração da água adotadas em cada país. Na França, o residual de cloro mantido na rede é menor do que no Estados Unidos, tornando os franceses mais sensíveis ao sabor de cloro na água em comparação com os americanos (PIRIOU *et al.*, 2004). Em Dhaka, capital do Bangladesh, o limiar de detecção aceitável máximo é 1,25 mg L⁻¹, o que condiciona a população do país ser menos criteriosa com relação a uma concentração mais alta de CRL na água de consumo (CRIDER *et al.*, 2018).

De acordo com Pestana et al. (2018), verificou-se que durante um episódio de sabor e odor na água de Fortaleza, água contendo 0,2 mg L⁻¹ de CRL foi considerada desagradável ao paladar dos consumidores, enquanto água com 0,1 mg L⁻¹ foi classificada como “aceitável”, e com 0,05 mg L⁻¹ foi considerada boa. Esses dados indicam que, no contexto brasileiro, o limiar de incomodo pode estar próximo de 0,2 mg L⁻¹ para uma parcela da população.

Segundo os dados fornecidos pela SANEPAR (2026), a média das últimas 30 análises laboratoriais indicou uma concentração de cloro residual livre de 1,2 mg L⁻¹ para a cidade de Foz do Iguaçu, sendo a última análise realizada no dia 29 de abril de 2026. Dessa forma, embora esse valor esteja dentro dos padrões de potabilidade, essa concentração pode ser perceptível sensorialmente.

3.3.DECAIMENTO DO CLORO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

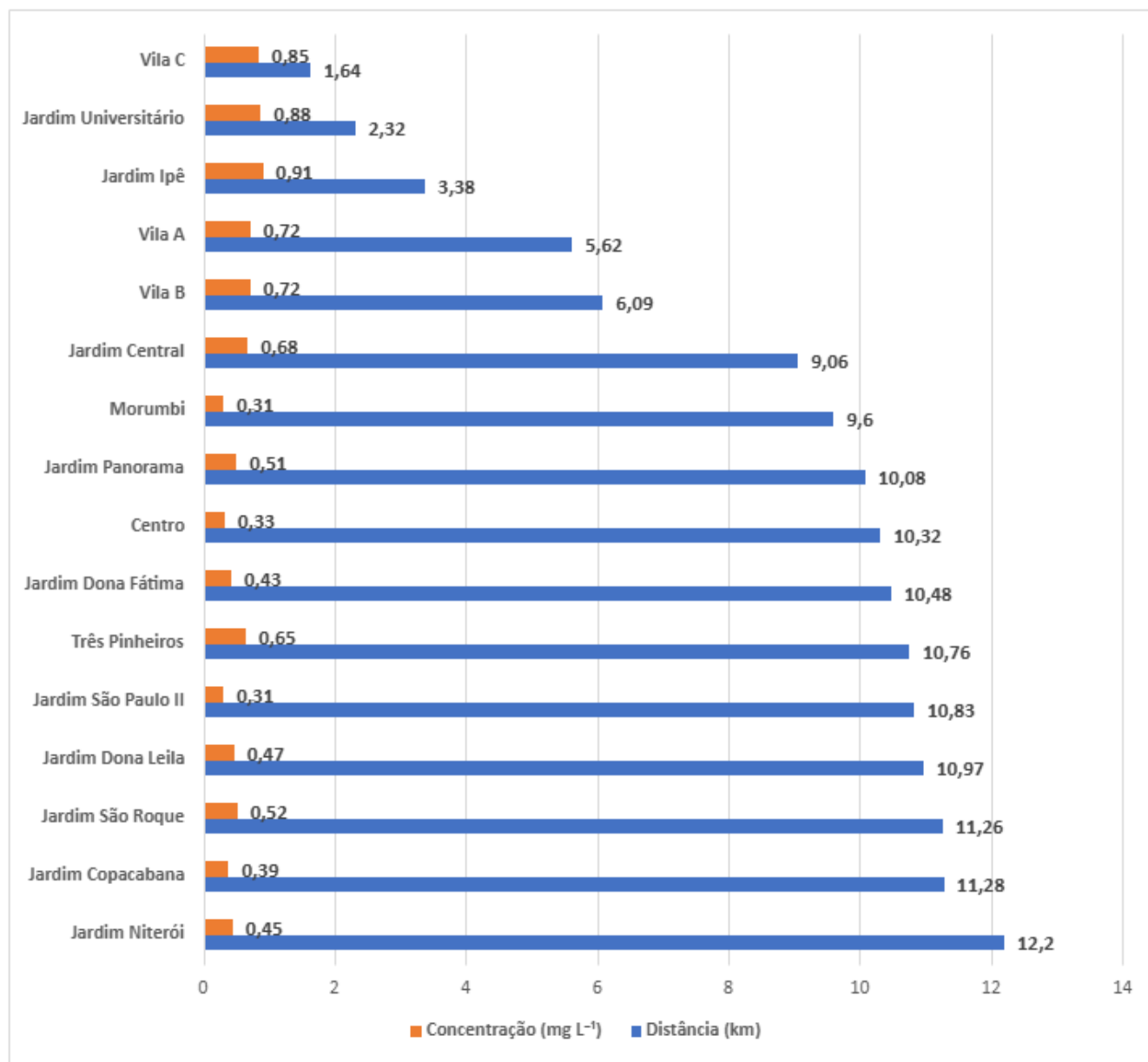
O cloro reage com diversas substâncias contidas na água, resultando no decaimento da sua concentração (CLARK *et al.*, 1995; BOCCELLI *et al.*, 2003; ROSSMAN *et al.*, 1994). O decaimento na concentração do cloro ocorre em duas etapas, primeiro o cloro reage com a matéria inorgânica (compostos mais reativos), em seguida, reage com a matéria orgânica (compostos menos reativos), além do decaimento que ocorre pelo contato com a parede da tubulação, classificado como decaimento de parede (VIEIRA *et al.*, 2004). Assim, à medida que a água avança pelo sistema de distribuição, ocorre a redução da concentração de cloro residual livre na tubulação, de modo que os níveis observados nas extremidades da rede são inferiores aos valores verificados na saída da Estação de Tratamento de Água (POWELL *et al.*, 2000).

Além disso, a concentração de CRL apresenta tendência de redução ao longo do sistema de distribuição de água em função de diversos outros fatores, dentre os quais se destacam a temperatura da água, o material e a idade das tubulações e os regimes hidrodinâmicos de escoamento no sistema de distribuição, com destaque para a temperatura (MAZHAR *et al.*, 2020; OLIVEIRA, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O decaimento de cloro pode acarretar duas consequências indesejáveis: uma alta concentração de cloro aplicada no início do sistema de distribuição, para atender a legislação para residências que se encontram nas extremidades da rede, promovendo sabor e odor indesejáveis aos consumidores situados mais próximos da ETA, além de favorecer a formação de subprodutos prejudiciais à saúde da população (FISCHER *et al.*, 2011).

A Figura 7 apresenta a relação entre a distância média dos bairros até a Estação de Tratamento de Água do bairro Vila C e a concentração média de cloro residual livre nas amostras de água. As barras azuis representam a distância média dos bairros até a ETA, enquanto as barras laranja representam a concentração média de CRL. Afere-se que a existência de variações nas concentrações de CRL entre os bairros analisados, bem como diferenças nas respectivas distâncias em relação à ETA. Os resultados permitem visualizar a distribuição espacial dos valores de CRL na rede de abastecimento, possibilitando a comparação entre a concentração residual de cloro e a distância dos pontos de amostragem em relação à estação de tratamento.

Figura 7 – Relação entre a distância média dos bairros até a ETA e a concentração média de CRL nas amostras de água.



Fonte: Autor (2026).

Os resultados obtidos demonstraram que, em determinados pontos da rede de distribuição, houve tendência de redução da concentração de CRL à medida que aumentava a distância entre a estação de tratamento e o ponto de coleta da água. Esse comportamento pode estar relacionado ao consumo gradual do desinfetante ao longo do percurso, decorrente de reações com matéria orgânica e inorgânica presentes na rede de distribuição.

Tal resultado evidencia a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água, especialmente em regiões mais distantes do sistema de abastecimento, a fim de garantir o atendimento aos limites mínimos de CRL estabelecidos pelos padrões de potabilidade. Além disso, considerando o crescimento populacional e a expansão urbana

da cidade, torna-se cada vez mais necessário o acompanhamento sistemático desses parâmetros, uma vez que a ampliação da rede de distribuição pode favorecer maiores tempos de permanência da água nas tubulações e, conseqüentemente, contribuir para a redução da concentração de CRL, comprometendo a manutenção da proteção microbiológica da água destinada ao consumo humano.

Além disso, é importante destacar que fatores relacionados ao intervalo de tempo entre a coleta e a realização das leituras no espectrofotômetro UV-Vis, bem como as condições de conservação das amostras até o momento da análise, podem influenciar significativamente o decaimento do CRL nas amostras de água analisadas.

A solução de DPD sulfato é reconhecidamente fotossensível, é um composto orgânico que, quando oxidado pelo CRL, forma um produto de cor rosa cuja absorbância é medida em 515 nm (SOARES et al., 2016; MOBERG & KARLBERG, 1999). A solução indicadora de DPD é facilmente decomposta e não resistente ao armazenamento quando exposta à luz (SONG et al., 2018). Estudos mostram que o DPD sofre duas etapas de oxidação: a primeira produz o intermediário colorido rosa, mas a segunda etapa leva a um produto incolor, especialmente em altas concentrações ou sob exposição prolongada à luz (MOBERG & KARLBERG, 1999). Além disso, o íon permanganato MnO_4^- em solução aquosa também sofre decomposição quando exposto à luz, estudos clássicos demonstram que a fotólise do permanganato em solução aquosa é acelerada (LEE et al., 1986). Por esse motivo, os reagentes foram armazenados em frascos âmbar embalados com papel alumínio, para proteção dos reagentes da luz ambiente. Também, o EDTA foi incorporado na formulação dos reagentes, para ajudar na estabilidade das soluções e prolongar sua vida útil (SONG et al., 2018).

3.4. PROPOSTA DE TRATAMENTO UTILIZANDO BIOMASSA DE COCO PARA OBTENÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

De acordo com o estudo realizado por Paz et al. (2019), a biomassa do coco se apresenta como uma boa alternativa para ser utilizada na síntese de carvão ativado para efetuar a filtragem de cloro. A Tabela 5 apresenta os resultados das caracterizações do carvão ativado obtido a partir de resíduos de coco reportados pelos autores, evidenciando as propriedades físicas e químicas da biomassa.

Tabela 4 – Valores dos parâmetros analisados do resíduo de coco.

Análise	Resultado
Rendimento dos produtos da pirólise	35,57%
pH do carvão	8,95
Densidade da biomassa	0,1581 g/cm ³
Poder calorífico	17,5 MJ.kg ⁻¹
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	Superfície rugosa com presença de microcristais e estruturas porosas, evidenciando regiões com espaços vazios.
Adsorção de cloro em carvão	149 mg Cl ₂ g ⁻¹ de carvão

Fonte: Paz *et al.* (2019).

Em comparação com valores obtidos por carvões ativados sintetizados a partir de biomassas diversas, o adsorvente obtido da biomassa de coco apresentou um rendimento gravimétrico de 35,57%, o que demonstra uma eficiência satisfatória do processo de pirólise, enquanto o adsorvente obtido a partir de resíduos de espiga de milho apresentou um rendimento de 8,7% (EL HENDAWY *et al.*, 2001) e de fibras de piaçava de 23,3% (AVELAR *et al.*, 2010).

O valor de pH alcalino do carvão indica presença de grupos básicos superficiais e minerais residuais provenientes da biomassa. Carvões ativados com pH neutro ou moderadamente básico tendem a apresentar boa capacidade de adsorção de determinados contaminantes em meio aquoso (ALMEIDA *et al.*, 2021). Valores de pH levemente alcalinos são frequentemente observados em carvões ativados produzidos por ativação física ou química do coco (ANDRADE *et al.*, 2014).

O endocarpo de coco apresenta aproximadamente 50% de lignina em sua composição (SANTOS, 2002). A baixa densidade observada está associada à elevada porosidade do material carbonizado. Biomassas lignocelulósicas submetidas a pirólise tendem a apresentar redução de densidade devido à degradação térmica da matéria orgânica e formação de estruturas porosas (TEIXEIRA, 2020). De acordo com Smísek e Cerny (1970), uma estrutura altamente porosa é uma propriedade fundamental para o desenvolvimento de bons adsorventes.

A presença dos poros observada através da MEV está diretamente relacionada ao aumento da área superficial e à eficiência de adsorção (MORAIS *et al.*, 2018). Estudos envolvendo carvão ativado de endocarpo e casca de coco mostram morfologia semelhante (TEIXEIRA, 2020).

O valor de poder calorífico obtido evidencia potencial energético satisfatório da biomassa carbonizada. De acordo com Padilla *et al.* (2018), biomassas de coco submetidas à pirólise apresentaram potencial energético semelhante, indicando viabilidade para aproveitamento energético e estabilidade térmica do carvão produzido.

A capacidade de adsorção de 149 mg Cl₂ g⁻¹ de carvão demonstra o potencial do carvão ativado produzido a partir da biomassa de coco para aplicação em sistemas de tratamento de água voltados à remoção de cloro residual livre (NARITA, 2020). Segundo Paz *et al.* (2019), existe um potencial para que o carvão obtido através da fibra de coco seja utilizado para a adsorção de cloro. Conforme análise realizada pelos autores, o carvão foi capaz de remover acima de 99% de cloro da solução de água com cloro com concentração de 2 mg L⁻¹.

Além disso, foi realizada a determinação dos teores de cada composto químico presente na fibra de coco, a saber, 32,1% da composição contém lignina, 36% celulose e 11,2% hemicelulose (PAZ *et al.*, 2019). Segundo Protásio *et al.* (2012), altos teores de lignina favorecem a produção de carvão vegetal, por apresentar um alto teor de carbono e consequentemente uma elevada estabilidade térmica.

Com base nos resultados apresentados por Paz *et al.* (2019), observa-se que o carvão ativado produzido a partir da biomassa de coco apresenta características favoráveis para a aplicação em sistemas de tratamento de água. Os parâmetros de adsorção reportados pelos autores indicam potencial para a remoção de CRL, o que demonstra a viabilidade dessa biomassa como matéria-prima para a produção de adsorventes. Dessa forma, os dados da literatura utilizados neste estudo fornecem suporte técnico para a proposta de utilização do carvão ativado de coco como alternativa para a melhoria da qualidade da água, especialmente em situações nas quais o residual de cloro possa comprometer as características sensoriais, como odor e sabor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu avaliar a concentração de cloro residual livre em amostras de água provenientes da rede de abastecimento doméstico do município de Foz do Iguaçu, utilizando o método colorimétrico com o sulfato de N,N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD) associado à espectrofotometria UV-Vis. Os resultados obtidos demonstraram variações nas concentrações de CRL entre os diferentes bairros analisados, evidenciando a influência de fatores relacionados à distribuição da água, como a distância entre a estação de tratamento de água (ETA) e os pontos de coleta.

Observou-se tendência de redução de concentração de CRL em regiões mais distantes da ETA, comportamento associado ao decaimento natural ao longo da rede de distribuição. Tal condição reforça a importância do monitoramento contínuo dos parâmetros de potabilidade, visando garantir a manutenção dos limites mínimos estabelecidos pela legislação vigente e assegurar a qualidade microbiológica da água distribuída à população.

Além disso, fatores relacionados ao armazenamento, conservação das amostras e ao intervalo de tempo entre a coleta e a realização das análises também podem ter influenciado os resultados obtidos, destacando a necessidade de controle rigoroso durante as etapas experimentais para minimizar perdas de CRL.

A proposta de utilização de filtros contendo carvão ativado obtidos a partir do coco mostrou-se relevante como alternativa complementar para melhoria das características organolépticas da água, especialmente na redução de compostos responsáveis por sabor, odor e excesso de CRL. A escolha dessa biomassa deve-se a abundância de resíduos de coco no país, elevada porosidade e eficiência adsorptiva do carvão ativado de coco, além de sua ampla aplicação em sistemas de filtração destinados ao tratamento de água para consumo humano.

Dessa forma, conclui-se que o monitoramento do CRL associado à avaliação de métodos complementares de tratamento representa uma ferramenta importante para o controle da qualidade da água ao consumo humano. Por fim, recomenda-se a realização de estudos futuros envolvendo avaliação sazonal das concentrações de CRL, aplicação de diferentes materiais alternativos para adsorção e padronização do intervalo de tempo entre a coleta e a leitura das amostras, visando reduzir possíveis interferências relacionadas ao decaimento de CRL durante o período de análise.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. N.; VELOSO, C. M.; BONOMO, R. C. F. **Síntese de carvão ativado a partir do endocarpo de coco lixiviado com NaOH.** In: 54. CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2014, Natal. Anais eletrônicos [...]. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 2014. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/5/6008-19133.html>. Acesso em: 18 maio 2026.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22th ed. Washington, D.C., 2012.

AVELAR, Fabiana Ferreira; BIANCHI, Maria Lúcia; GONÇALVES, Maraisa; MOTA, Estella Gaspar da. **The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon.** Bioresource Technology, v. 101, n. 12, p. 4639-4645, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.01.103. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410001896>. Acesso em: 17 maio 2026.

AZEVEDO NETTO, J. M.; PARLATORE, A. C.; ROSSIN, A. C.; MANFRINI, C.; HESPANHOL, I.; CAMPOS, J. R. et al. **Técnica de abastecimento e tratamento de água.** 3. ed. São Paulo: CETESB, 1987. v. 2.

BOCCELLI, D. L.; TRYBY, M. E.; UBER, J. G.; SUMMERS, R. S. **A reactive species model for chlorine decay and THM formation under rechlorination conditions.** *Water Research*, v. 37, n. 11, p. 2654–2666, 2003.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. **Coco: produção e mercado.** Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 206, dez. 2021.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água.** Brasília, DF: Presidência da República, 2013. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/bitstream/handle/123456789/507/Manual%20pr%C3%A1tico%20de%20an%C3%A1lise%20de%20%C3%A1gua%20202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 mar. 2026.

CLARK, R. M.; ROSSMAN, L. A.; WYMER, L. J. **Modeling distribution system water quality: regulatory implications.** *Journal of Water Resources Planning and Management ASCE*, v. 121, n. 6, p. 423–428, 1995.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). **Resultado de análises da água.** Curitiba: SANEPAR, [s.d.]. Disponível em: <https://www.sanepar.com.br/resultado-de-analises-da-agua>. Acesso em: 18 jun. 2026.

COSTA, A. M.; SILVAS, B. P. C.; CASTRO, R. R. O. **Análise da concentração de cloro livre, cloro total, pH e temperatura em alguns pontos de consumo abastecidos pela rede pública de distribuição na cidade de Curitiba/PR.** 2015. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8025/2/CT_EC_2014_2_07.pdf. Acesso em: 26 mar. 2026.

COSTA, Olegario Fernando Vieira Neto et al. I-191 - **Validação do método para determinação do cloro residual total - DPD aplicado em águas de superfície e abastecimento.** In: 30º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2019. Anais [...].

Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

CRIDER Y, SULTANA S, UNICOMB L, DAVIS J, LUBY SP, PICKERING AJ. **Você consegue sentir o gosto? Detecção de sabor e limiares de aceitabilidade para cloro residual na água potável em Dhaka, Bangladesh.** *Science of The Total Environment*. 2018;613-614:840-846. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.135

Diretrizes para a qualidade da água potável: quarta edição incorporando o primeiro e o segundo adendos. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2022. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

DYCHDALA, G. R. Chlorine and chlorine compounds. In: BLOCK, S. S. (ed.). **Disinfection, sterilization and preservation**. 3. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1983. p. 157–182.

EDWARD, C.; CRAIG, R. E. **Cocos nucifera (coconut).** *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, v. 2, p. 1–27, 2006.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com $ZnCl_2$ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto.** 2008. Tese (Doutorado em Química) – João Pessoa, PB, 2008. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br>. Acesso em: 10 maio 2026.

GUEDES, Hugo Alexandre Soares; ROSCHILD, Caroline Voser Pereira. **Tratamento de água.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Disciplina de Sistemas Urbanos de Água, [2018?]. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/11/Aula-7-Tratamento-de-%C3%A1gua-Ca....pdf>. Acesso em: 14 jun. 2026.

HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R.; SKOOG, D. A. **Princípios de análise instrumental.** Porto Alegre: Bookman, 2009.

KIELING, A. G. **Adsorção de BTEX – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno – em cinza de casca de arroz e carvão ativado.** 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. p. 24–25.

Lee DG, Moylan CR, Hayashi T, Brauman JI. **Fotoquímica do íon permanganato aquoso.** *Journal of the American Chemical Society*. 1987;109(10):3003-3010. doi:10.1021/ja00244a023

LEE, M. C.; SNOEYINK, V. L.; CRITTENDEN, J. C. **Activated carbon adsorption of humic substances.** *Journal of the American Water Works Association*, v. 73, n. 8, p. 440–446, 1981. Mackey ED, Baribeau H, Crozes GF, Suffet IH, Piriou P. **Limiares públicos para sabores clorados na água da torneira dos EUA.** *Water Science and Technology*. 2004;49(9):335-340. doi:10.2166/wst.2004.0594

MAMANI, Ruth Mery Ccajma. **Determinação de cloro livre em água potável empregando métodos colorimétricos e aplicativo de smartphone.** 2023. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2023.

MARCHETTO, Margarida; FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. **Interferência do processo de coagulação na remoção de compostos orgânicos causadores de gosto e odor em águas de abastecimento mediante a aplicação de carvão ativado em pó.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 323–331, 2005.

MAZHAR, M. A.; KHAN, N. A.; AHMED, S.; KHAN, A. H.; HUSSAIN, A.; RAHISUDDIN; CHANGANI, F.; YOUSEFI, M.; AHMADI, S.; VAMBOL, V. **Chlorination disinfection byproducts in municipal**

drinking water: a review. *Journal of Cleaner Production*, v. 273, p. 123159, nov. 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123159.

MEYER, S. T. Chlorine use in water disinfection, trihalomethane formation, and potential risks to public health. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 99–110, jan./mar. 1994.

MORAIS, Rayssa de Medeiros; SANTANA, Gregório Mateus; LELIS, Roberto Carlos Costa.

NARITA, César Yuji. **Carvões ativados a partir de resíduo de coco verde por diferentes ativadores: obtenção, caracterização e aplicações**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-07042021-161403/>. Acesso em: 17 maio 2026.

NAVARRO LINS BREZINSKI, Maria Lúcia; NICOLÁS, Maria Alejandra; TEIXEIRA, Guilherme Siqueira; BERMUDEZ, Onias Arnulfo Medina. **Indicadores do município de Foz do Iguaçu: saneamento básico**. Foz do Iguaçu: Universidade Federal da Integração Latino-Americana; Observatório Social do Brasil Foz do Iguaçu, 2022.

NOGUEIRA, Tiago Rocha. **Validação de método espectrofotométrico de UV-Vis para análise de dióxido de cloro em água**. 2023. Dissertação (Pós-Graduação em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

NOWELL LH, HOIGNÉ J. **Fotólise do cloro aquoso sob luz solar e comprimentos de onda ultravioleta — I**. Taxas de degradação. *Water Research*. 1992;26(5):593-598. doi:10.1016/0043-1354(92)90232-s

OLIVEIRA, Jonas de Souza. **Tratamento de água com sistema de filtração com cloração nas comunidades ribeirinhas**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 6, p. 44744–44758, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n6-344.

OLIVEIRA, L. **Dcaimento da concentração de cloro residual livre nas redes de abastecimento de água**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

OLIVEIRA, P. P. **Proposição de tecnologias de tratamento de água aplicáveis em comunidades rurais e tradicionais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio) e revisado pela Coordenadoria-Geral de Desenvolvimento Sustentável (CGDES) do Ministério das Relações Exteriores do Brasil. Nova York: ONU, 2016. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org>. Acesso em: 8 jul. 2026.

PADILLA, Elias Ricardo Durango; BELINI, Gabriela Bertoni; NAKASHIMA, Gabriela Tami; WALDMAN, Walter Ruggeri; YAMAJI, Fábio Minoru. **Potencial energético da casca de coco (Cocos nucifera L.) para uso na produção de carvão vegetal por pirólise**. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 2, p. 334–345, 2018. DOI: 10.21577/1984-6835.20180026. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/2378>. Acesso em: 17 maio 2026.

PAES, Juarez Benigno. **Produção de carvão ativado microporoso com vapor d'água preparado a partir de endocarpo de coco (Cocos nucifera)**. *Advances in Forestry Science*, v. 6, n. 3, p. 699–705, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/8508>. Acesso em: 17 maio 2026.

PARCHEN, Gabriela Pereira; SANTOS, Maria Jackeline R. dos. *UV-Vis*. Curitiba: BIOPOL/UFPR, 2020. PAZ, Elaine da Cunha S.; PAZ, Ricardo R. de Sousa; PEDROZA, Marcelo M.; REZENDE, Luciana A. **Uso do carvão de coco na remoção do cloro em solução aquosa**. In: 71ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 2019, Campo Grande. Anais [...]. Campo Grande: SBPC, 2019.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; PICKLER, A. C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. C. **Produção e tratamento de lodo de esgoto: uma revisão**. *Revista Liberato*, v. 11, p. 147–157, dez. 2010.

PESTANA CJ, NETO JC, BARROS MUG, MENEZES I, GÓIS A, SANTOS G. **Consumer perception of water quality during an off-flavor event in Fortaleza-Brazil**. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2018;68(1):63-73. doi:10.2166/aqua.2018.077
Piriou P, Mackey ED, Suffet IH, Bruchet A. **Percepção do sabor clorado na água potável**. *Water Science and Technology*. 2004;49(9):321-328. doi:10.2166/wst.2004.0592

PONOMAREV, V. L.; VASILYUK, S. L. **Polypropylene multilayer melt-blown cartridge: the universal particles remover for liquids filtration**. *Water and Water Purification Technologies: Scientific and Technical News*, v. 25, n. 2, p. 39–46, 2019.

PORTAL DA CIDADE FOZ DO IGUAÇU. **Sanepar faz obra nesta quarta e pode faltar água em bairros na região do Carimã**. Foz do Iguaçu, 28 out. 2025. Disponível em: <https://foz.portaldacidade.com/noticias/cidade/sanepar-faz-obra-nesta-quarta-e-pode-faltar-agua-em-bairros-na-regiao-do-carima-4958>. Acesso em: 2 maio 2026.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. **Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, v. 40, n. 95, p. 317–326, 2012.

PUGET S, BENO N, CHABANET C, GUICHARD E, THOMAS-DANGUIN T. **Consumidores de água da torneira diferem de não consumidores na aceitabilidade do sabor de cloro, mas não na sensibilidade**. *Water Research*. 2010;44(3):956-964. doi:10.1016/j.watres.2009.10.009

RAMOS, Kerleson Carvalho; RABELO, Klinsmann Lima. **Carvão ativado e sua aplicação no tratamento de água: uma revisão da literatura**. Santarém: Universidade Federal do Oeste do Pará, 2018.

ROSA, C. et al. **Construção de espectrofotômetro visível para fins didáticos**. *Journal of Exact Sciences*, v. 21, n. 1, p. 20–25, abr./jun. 2019.

ROSAR, L. **Emprego de dispositivos portátil no ensino de química: determinação de cloro residual livre em águas potável**. 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água (Tratamento de Água)**. v. 2. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.

ROSSMAN, L. A.; CLARK, R. M.; GRAYMAN, W. M. **Modelling chlorine residuals in drinking water distribution systems**. *Journal of Environmental Engineering ASCE*, v. 120, n. 4, p. 803–820, 1994.

SANTOS, M. S. **Propriedades térmicas e mecânicas de materiais reciclados à base de PET pós-consumo e cargas de coco**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Macromoléculas, UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

SMÍSEK, M.; CERNÝ, S. **Active carbon: manufacture, properties and applications**. New York: Elsevier, 1970.

SOARES SS, ARRUDA PN, LOBÓN GS, SCALIZE PS. **Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre em águas de abastecimento público**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas. 2016;37(1):119. doi:10.5433/1679-0375.2016v37n1p119

SONG M, YAN P, YAO J. **Medição de dióxido de cloro na água pelo método colorimétrico DPD**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018;108:042102. doi:10.1088/1755-1315/108/4/042102

VIEBRANTZ, A. P. P. **Determinação de cloraminas em água para consumo humano**. 2021. 39 f. Monografia (Bacharelado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

VIEIRA, P.; COELHO, S. T.; LOUREIRO, D. **Accounting for the influence of initial chlorine concentration, TOC, iron and temperature when modelling chlorine decay in water supply**. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, v. 53, n. 7, p. 453–467, 20.