

REMOÇÃO DE DIURON NO TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA ASSOCIADO À ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO E BIOCHAR EM ENSAIOS DE BANCADA

Rodney Ferreira Nunes Junior – rodneyjunior303@gmail.com

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

R. Quarenta e Nove, 2367 - Boa Esperança

78060-900 - Cuiabá - Mato Grosso

Heitor Nicolao de Siqueira – heitornicolao03@gmail.com

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Jackeline Matias dos Santos – eng.jackelinematias@gmail.com

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Yasmin Mariana Zardo Magalhães – yasminmzmagalhaes@gmail.com

Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Amanda Alcaide Francisco Fukumoto – amanda.fukumoto@ufmt.br

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Resumo:

O tratamento convencional de água exerce um papel fundamental na busca por soluções de problemas ambientais e saúde pública. Entretanto, seu uso de forma isolada, pode não ser suficiente na remoção de contaminantes com alto risco à saúde humana, como os agrotóxicos. Neste estudo, avaliou-se a remoção do diuron nas águas para abastecimento, um agroquímico com efeitos significativos sobre a saúde. Avaliou-se a eficácia na remoção por meio de diferentes métodos de tratamento, incluindo coagulação-floculação-sedimentação (CFS), adsorção em carvão ativado pulverizado (CAP) e em biochar por meio de ensaios em jarreste. Realizou-se duas coletas de águas, em diferentes sazonalidades de precipitação, possibilitando analisar a influência nos resultados obtidos. Para os resultados, destaca-se a eficácia do CAP na remoção do diuron, alcançando um percentual de 98% e 100% nas Águas Brutas 1 e 2, respectivamente. O biochar apresentou eficiência de 55,99% na época de menor precipitação e 51,67% na época de maior precipitação, enquanto o CFS isolado apresentou remoção de 51,43% e 18,49% nas mesmas condições. A superioridade do CAP em relação ao tratamento por CFS e adsorção em biochar, reforça a necessidade de estratégias avançadas para lidar com agroquímicos sob diferentes condições ambientais. Mesmo com as variações sazonais, o CAP manteve consistência em sua eficiência, evidenciando ser uma solução robusta para a remoção de contaminantes. Sendo assim, a integração de métodos avançados de tratamento de água, é essencial

Realização



Apoio Institucional



REBOB

Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

para enfrentar os desafios emergentes relacionados à presença de agrotóxicos nos recursos hídricos, em especial, aos utilizados como manancial de abastecimento.

Palavras-chave: Tratamento de água, Carvão ativado pulverizado, Contaminantes emergentes, Agrotóxico.

Diuron Removal in Conventional Water Treatment Combined with Activated Carbon and Biochar Adsorption: Bench-Scale Evaluation

Abstract:

Conventional water treatment plays a fundamental role in addressing environmental and public health problems. However, its use in isolation may not be sufficient to remove contaminants that pose a high risk to human health, such as pesticides. In this study, the removal of diuron from water intended for supply was evaluated; diuron is an agrochemical with significant health effects. The removal efficiency was assessed using different treatment methods, including coagulation-flocculation-sedimentation (CFS), adsorption with powdered activated carbon (PAC), and adsorption with biochar, through jar test trials. Two water samples were collected during different rainfall seasons, making it possible to analyze the influence of seasonality on the results obtained. Regarding the results, PAC stood out for its effectiveness in removing diuron, achieving removal percentages of 98% and 100% in Raw Water 1 and 2, respectively. Biochar showed an efficiency of 55.99% during the period of lower rainfall and 51.67% during the period of higher rainfall, while CFS alone showed removal rates of 51.43% and 18.49% under the same conditions. The superiority of PAC over CFS treatment and biochar adsorption reinforces the need for advanced strategies to address agrochemicals under different environmental conditions. Even with seasonal variations, PAC maintained consistent efficiency, demonstrating that it is a robust solution for contaminant removal. Therefore, the integration of advanced water treatment methods is essential to address the emerging challenges related to the presence of pesticides in water resources, especially those used as drinking water supply sources.

Keywords: Water treatment, Powdered activated carbon, Contaminants, Pesticides.

1. INTRODUÇÃO

Para garantir que haja qualidade e a segurança da água destinada ao abastecimento para consumo humano, é essencial que exista a remoção eficaz de partículas coloidais, suspensas, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias indesejadas que estejam presente na água tratada. Existem diversas tecnologias capazes de promoverem tais remoções, e a escolha da tecnologia a ser adotada está diretamente relacionada às características específicas da água bruta do manancial de captação a ser

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

tratada. Tais tecnologias variam desde métodos convencionais até alternativas mais avançadas e, por vezes, mais onerosas, principalmente quando dentro das características da água, ocorra a presença de contaminantes de difícil remoção (LIBÂNIO, 2010).

No Brasil, o agronegócio recorre ao uso de diversos insumos para maior produtividade, sendo os agrotóxicos um dos recursos mais empregados para o controle de doenças, pragas e plantas invasoras, como resposta à crescente demanda nacional e mundial por alimentos (SOUSA et al. 2020). Como consequência do aumento da demanda por alimentos, o uso intensivo desses compostos, associados à constatação de que parte desses compostos não são adequadamente eliminados pelos sistemas de tratamento em ciclo completo, conforme mencionado por Cartaxo et al. (2020), se aliando a imposição de normas para potabilidade mais rigorosas e à degradação contínua da qualidade dos recursos hídricos, evidencia-se a necessidade da adoção de métodos de tratamento que sejam capazes de eliminar esses poluentes orgânicos das fontes de abastecimento de água potável.

Dentre as diversas tecnologias de tratamentos que existem, destaca-se o uso de carvão ativado (CA) como adsorvente, podendo ser empregado ao processo de adsorção tanto na forma granular quanto pulverizada, ambas reconhecidas pela sua elevada eficiência na remoção de agroquímicos. Todavia, as propriedades do material adsorvente, quantidade utilizada e o tempo de contato aplicada no processo de adsorção, assim como as características que a água bruta possui, afetam diretamente nos resultados obtidos, não sendo possível afirmar que todos os tipos de CA sejam igualmente eficazes na remoção das substâncias indesejáveis (DI BERNARDO et al., 2017).

Além do carvão ativado, há outros adsorventes, como o biochar, produzido a partir de diferentes biomassas, que surgem como alternativas promissoras para o tratamento de águas contaminadas, haja visto que tem demonstrado capacidade eficaz de adsorção de diversos tipos de poluentes orgânicos e inorgânicos, oferecendo uma abordagem sustentável e com baixo custo para o tratamento de águas contaminadas (GE et al., 2020).

Diante do exposto, considerando-se a ampla utilização de agroquímicos no Brasil, em especial no Estado de Mato Grosso, e a deterioração dos corpos hídricos, torna-se essencial o estudo de técnicas de tratamento voltadas à remoção do diuron, herbicida amplamente utilizado nas atividades agrícolas. Tornando-se fundamental para otimização de tais técnicas, levando-se em conta as distintas características que a água bruta de um manancial pode apresentar, especialmente devido as variações sazonais nas precipitações e as influências antrópicas na qualidade. Esta otimização se torna indispensável para assegurar que os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, sejam atendidos, garantindo assim, a qualidade da água destinada ao consumo humano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e delineamento experimental

A pesquisa foi desenvolvida em escala de bancada nos Laboratórios de Físico-Química de Água e resíduos (LAFQAR) e de Microbiologia Sanitária e Ambiental (LAMSA), pertencentes ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). O delineamento experimental teve como objetivo avaliar a eficiência da remoção do herbicida diuron

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

pelo tratamento convencional de água associado aos processos de adsorção utilizando carvão ativado pulverizado (CAP) e biochar, comparando o desempenho dos diferentes adsorventes, tempos de contato e dosagens aplicadas.

2.2 Coleta e caracterização da água de estudo

A água bruta empregada nos ensaios foi coletada no Rio Cuiabá em duas campanhas amostrais realizadas em períodos hidrológicos distintos nos meses de novembro e fevereiro, com o propósito de representar diferentes condições de qualidade da água decorrentes da sazonalidade, em que a água bruta 1 representa o período de estiagem e a água bruta 2 representa a época chuvosa, que de acordo com o Centro De Análise e Previsão do Tempo – CAPRE/INMET, registou 27,5 mm e 134,1 mm de chuva, respectivamente, para cada coleta (CAPRE/INMET, 2024).

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas aos laboratórios da UFMT para caracterização físico-química, contemplando a determinação dos parâmetros pH, turbidez, cor aparente, alcalinidade, dureza e concentração de diuron. As análises foram realizadas conforme os procedimentos estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012), utilizando equipamentos calibrados para cada parâmetro analisado.

2.3 Definição da dosagem ótima do coagulante

Antes aos ensaios de adsorção, foi determinada a condição ótima de coagulação da água por meio de ensaios de jarreste, simulando as etapas convencionais de coagulação, floculação e sedimentação, normalmente empregadas em Estações de Tratamento de Água (ETA). Para essa etapa, foi utilizada solução de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) preparada em laboratório a 0,2%, sendo avaliadas diferentes dosagens do coagulante (14 a 40 mg/L) e faixas de pH (5,50 a 7,33), de acordo com as características iniciais da água bruta. A seleção da dosagem ótima foi realizada com base na menor turbidez residual, obtida após o tratamento, permitindo estabelecer as condições operacionais empregadas nas etapas subsequentes do estudo.

Os ensaios de tratabilidade foram conduzidos em equipamento de jarreste com seis jarros de capacidade individual de 2 L, reproduzindo as operações unitárias do tratamento convencional. A coagulação foi realizada por meio de mistura rápida a 150 rpm durante 1 minuto, promovendo a dispersão homogênea do coagulante e a desestabilização das partículas coloidais. Em seguida, procedeu-se à floculação com mistura lenta a 20 rpm durante 15 minutos, favorecendo a formação e crescimento dos flocos, sendo posteriormente aplicada a etapa de sedimentação estática durante 20 minutos para separação sólido-líquido.

2.4 Preparação da solução de diuron

Após a definição das condições ótimas de coagulação, as amostras de água foram fortificadas com diuron grau analítico (Sigma-Aldrich, pureza superior a 98%), obtendo-se concentração aproximada de 10 mg L⁻¹. A solução estoque do contaminante foi previamente preparada utilizando água destilada e

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

homogeneização em agitador magnético, assegurando adequada dissolução do composto antes de sua adição às amostras experimentais.

Cabe destacar que estudos de monitoramento ambiental em mananciais, reportam concentrações desse composto geralmente na ordem de ng/L a µg/L. Entretanto, neste estudo, foram utilizadas concentrações na faixa de mg/L, uma vez que a quantificação do diuron foi realizada por espectrofotometria UV-Vis. Dessa forma, optou-se por simular um cenário de contaminação extrema, permitindo a detecção adequada do composto dentro da faixa operacional do equipamento disponível e a avaliação da eficiência de remoção dos processos de tratamento aplicados.

2.5 Ensaios de adsorção utilizando carvão ativado pulverizado e biochar

A etapa de adsorção foi conduzida utilizando dois materiais adsorventes distintos: carvão ativado pulverizado (CAP), de origem vegetal proveniente de babaçu, e biochar obtido a partir da pirólise em ambiente inerte (600 °C) de dejetos suínos. Em relação a caracterização do CAP tem-se área superficial total de 623,375 m²/g e de microporos de 539,334 m²/g, volume total de poros de 0,393 cm³/g e diâmetro médio de poros de 2,519 nm. Já o biochar apresentou área superficial total de 36,9 m²/g, sendo 10,1 m²/g mesoporosa e 15,4 m²/g microporosa, com volume total de poros de 0,0715 cm³/g e diâmetro médio de poros de 143,2 µm.

Antes da utilização, ambos os adsorventes foram submetidos à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, visando eliminar a umidade e garantir maior uniformidade experimental. Posteriormente, foram preparadas suspensões aquosas de cada adsorvente para aplicação nos ensaios.

Para ambos os materiais foram avaliadas duas estratégias operacionais. Na primeira condição experimental (CAP35 e BIO35), com tempo de contato de 35 minutos, o adsorvente foi adicionado simultaneamente ao início da coagulação, permanecendo em contato com a água durante todo o processo de coagulação, floculação e sedimentação. Na segunda condição (CAP65 e BIO65), correspondente ao tempo total de contato de 65 minutos, o adsorvente permaneceu inicialmente em contato com a água contaminada durante 30 minutos antes da adição do coagulante, sendo posteriormente conduzidas as etapas convencionais de tratamento, totalizando 65 minutos de adsorção.

As concentrações avaliadas para o carvão ativado pulverizado foram de 50 e 60 mg L⁻¹, enquanto para o biochar foram empregadas dosagens de 50 e 100 mg L⁻¹. Paralelamente, foi realizado um ensaio controle contendo apenas o tratamento convencional, sem adição de adsorventes, permitindo quantificar a contribuição exclusiva das etapas de coagulação, floculação e sedimentação na remoção do diuron e comparar seu desempenho com os tratamentos associados aos processos adsorptivos.

2.6 Avaliação da eficiência de remoção

Ao término dos ensaios, os sobrenadantes foram filtrados em membranas de acetato de celulose com porosidade de 0,45 µm para remoção das partículas remanescentes de carvão ativado e biochar, evitando interferências nas análises analíticas. Em seguida, procederam-se novamente às determinações de pH, turbidez, cor aparente, alcalinidade, dureza e concentração residual de diuron, utilizando as mesmas metodologias empregadas na caracterização inicial da água.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

A concentração residual do herbicida foi determinada por espectrofotometria em comprimento de onda de 248 nm, utilizando espectrofotômetro Hach DR 6000 e curva de calibração previamente estabelecida. A eficiência de remoção do diuron foi calculada em termos percentuais, por meio da relação entre as concentrações inicial e final do contaminante, permitindo comparar quantitativamente o desempenho do tratamento convencional isolado e sua associação aos processos de adsorção com CAP e biochar.

2.7 Tratamento dos dados

Os dados experimentais foram organizados em planilhas eletrônicas para determinação das eficiências de remoção e comparação entre as diferentes condições operacionais avaliadas. A análise dos resultados foi realizada de forma comparativa, considerando a influência do tipo de adsorvente, da dosagem aplicada e do tempo de contato sobre a remoção do diuron e sobre a qualidade final da água tratada, possibilitando identificar as condições experimentais de maior desempenho para aplicação em sistemas convencionais de tratamento de água.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da água bruta

A tabela 1 apresenta os resultados dos parâmetros analisados para a caracterização das amostras coletadas, antes e após a fortificação com diuron. Ressalta-se que as Águas Brutas 1 e 2, mesmo anteriormente a adição do herbicida, apresentavam a concentração de 0,83 e 4,91 mg/L de diuron, evidenciando o processo de degradação dos corpos hídricos pelo uso excessivo de agroquímicos.

Tabela 1 – Características da água bruta 1 e 2 com e sem a fortificação com diuron

	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	Cor aparente (uH)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	pH	Turbidez (NTU)	Concentração de diuron (mg/L)
Água Bruta 1	34	96	30	7,33	20,3	0,83
Água fortificada 1	34	262	35,4	6,68	25,5	11,18
Água bruta 2	31	600	50	6,75	107,8	4,91
Água fortificada 2	35	706	44	6,51	148,2	6,87
VMP Res. Conama 357/2005	-	-	-	6 a 9	100	-

Fonte: Autores (2026)

O Rio Cuiabá é classificado como rio de classe 2, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Nesse contexto, ao se comparar os parâmetros analisados nas duas coletas, observa-se o

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

aumento dos valores de cor aparente, turbidez e concentração de diuron, em contrapartida a redução do pH, revelando a influência da precipitação nas características da água coletada.

A cor aparente na Água Bruta 2 (600 uH) é expressivamente maior em relação à Água Bruta 1 (96 uH), indicando aumento na presença de materiais orgânicos e inorgânicos na água, possivelmente devido ao processo de carreamento pela água da chuva, contribuindo para coloração intensa. Também foi observada uma leve redução do pH (de 7,33 para 6,75) da Água Bruta 1 para Água Bruta 2, embora ambos os valores permaneçam dentro da faixa permitida pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Considerando o Valor Máximo Permitido (VMP) de 100 NTU de turbidez para rios classe 2, as amostras de Água Bruta 1 estão dentro da faixa de limite permitido, enquanto percebe-se um acréscimo expressivo para Água Bruta 2, que extrapola o máximo permitido pela resolução de referência, fenômeno que se atribui ao aumento da carga de sólidos em suspensão devido ao período de chuva.

Quanto à presença do agroquímico diuron, a Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece valores para a presença do herbicida, no entanto, há VMP para outros agroquímicos como atrazina e glifosato (BRASIL, 2005), reforçando que a presença de pesticidas é prejudicial à qualidade dos corpos hídricos. Ademais, destaca-se para fins de abastecimento público, que a água deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

3.2. Dosagem ótima de sulfato de alumínio

A dosagem ótima de coagulante encontrada para a amostra de Água Bruta 1 foi de 28 mg/L de sulfato de alumínio, obtendo-se valores de turbidez de 5,42 NTU e pH de 7,15. Devido à eficiência na redução da turbidez, adotou-se esta concentração de sulfato de alumínio para a realização de ensaios com água fortificada com diuron.

Em relação à amostra de Água Bruta 2, houve a necessidade de se duplicar a dosagem do coagulante para 56 mg/L, alcançando-se valores de turbidez 22,7 NTU e pH de 5,93 que, ao se comparar ao valor de turbidez de 107,8 NTU, atingiu 78,94% de remoção.

3.3. Remoção de diuron por coagulação, floculação e sedimentação

Após a realização do ensaio de tratamento por coagulação, floculação e sedimentação (CFS) utilizando a dosagem ótima de coagulante com a Água Bruta 1 fortificada com diuron, obteve-se concentração residual de 5,43 mg/L do contaminante, o que representa uma eficiência de 51,43% (Figura 1). O resultado observado foi superior ao relatado por Pimenta (2019), que relatou eficiência de 13,0% para o herbicida na água do rio Tibagi, fortificada com diuron a uma concentração de 1,18 mg/L.

Jurckvitz (2017), por sua vez, avaliou a remoção de diuron por meio da tecnologia de ciclo completo utilizando cloreto de polialumínio (PAC) como coagulante. No estudo, a água do rio Tibagi, que foi fortificada com 1,05 mg/L de diuron e apresentava turbidez de 21,67 NTU e cor aparente de 148,33 uH, foi tratada com dosagem de 8 mg/L de PAC, alcançando eficiência de remoção de 68,7% para diuron, além de 100% para turbidez e 99,18% para cor aparente após a filtração. Apesar do melhor desempenho,

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



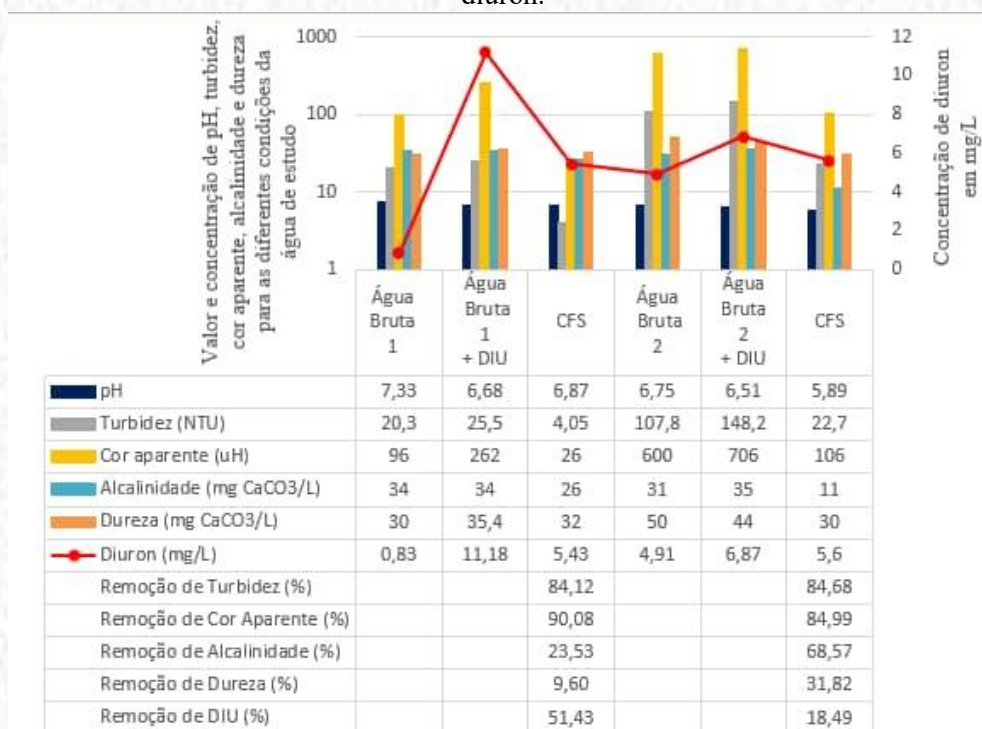
www.abes-rs.org.br

a concentração residual de diuron permaneceu acima do limite máximo permitido de 20 µg/L, estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021).

As diferenças observadas entre os resultados deste estudo e a literatura existente podem ser atribuídas às distintas condições experimentais, especialmente ao tipo de coagulante empregado (PAC) nos estudos de Jurckviz (2017) e Pimenta (2019) e a distinção quanto a caracterização físico-química das águas coletadas.

Para a Água Bruta 2 fortificada com diuron, na qual aplicou-se a dosagem ótima de 56 mg/L de sulfato de alumínio, obteve-se, no ensaio de jarreste, a concentração residual de diuron de 5,6 mg/L, o que representa uma eficiência de remoção de apenas 18,49% (Figura 1) do herbicida, inferior aos valores encontrados no estudo de Jurckviz (2017) e semelhante ao encontrado por Pimenta (2019).

Figura 1 - Parâmetros de qualidade da Água Bruta 1 e 2 antes e após CFS, com e sem fortificação por diuron.



Fonte: Autores (2026)

A partir dos resultados compilados, percebe-se significativa diminuição na eficiência da remoção do agroquímico diuron em águas de qualidade mais comprometida, comparando-se a aplicação do tratamento na Água Bruta 1 e Água Bruta 2.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

3.4. Remoção de diuron por coagulação, floculação e sedimentação associado a adsorção em carvão ativado pulverizado

Os ensaios com CAP apresentaram elevada eficiência na remoção de diuron nas duas amostras avaliadas. Na Água Bruta 1, as concentrações de 50 mg/L e 60 mg/L do CAP 35 demonstraram eficácia notável na remoção de alcalinidade, cor aparente, dureza, pH, e turbidez, resultando em altas eficiências de remoção de diuron, atingindo 94% e 93,20%, respectivamente (Figura 2). Ademais, o ensaio de adsorção em CAP com tempo de contato de 65 minutos apresentou resultado expressivo, destacando-se a notável eficiência de remoção do diuron, atingindo 98% para a concentração de CAP de 50 mg/L. Esse resultado sugere uma eficácia expressiva do CAP na adsorção desse contaminante específico, reforçada pelo tempo de contato antecedente à coagulação, pois ao se comparado ao CAP 35, em que a eficiência obtida foi de 94% para a mesma concentração com o tempo de contato inferior, nota-se um incremento de 4 pontos percentuais na eficiência de remoção (de 94% para 98%).

Nos ensaios realizados com a Água Bruta 2, o CAP35 na dosagem de 50 mg/L apresentou eficiência de remoção de diuron de 95,92%. Com o aumento da dosagem de CAP para 60 mg/L, a eficiência de remoção atingiu 100%, evidenciando que o incremento da concentração do adsorvente promoveu a remoção completa do diuron nas condições experimentais avaliadas (Figura 3).

O melhor desempenho foi observado no ensaio CAP35 com dosagem de 60 mg/L, que resultou em concentração residual de diuron inferior ao VMP de 20 µg/L estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888. Entretanto, para a mesma dosagem de CAP e maior tempo de contato (CAP65), a eficiência de remoção reduziu-se de 100% para 91,41%, correspondendo ao menor desempenho entre os ensaios de adsorção em CAP realizados com a Água Bruta 2 fortificada com diuron. Assim, a maior concentração com menor tempo de contato obteve maior capacidade de adsorver o herbicida, e possivelmente no ensaio CAP65 (60 mg/L) ocorreu o processo de dessorção, assim como para o CAP35 (50 mg/L) que atingiu 95,92% e quando aumentado o tempo de contato (CAP65) para a mesma dosagem, houve a diminuição de eficiência para 93,30%.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

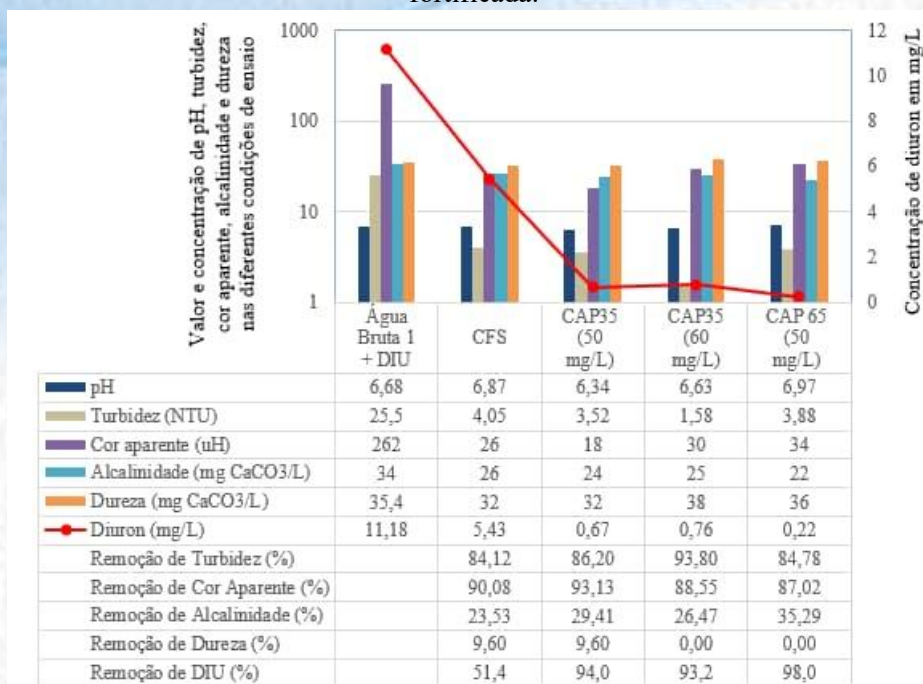


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 2 - Parâmetros de qualidade e concentração residual de diuron nos ensaios com Água Bruta 1 fortificada.



Fonte: Autores (2026)

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores

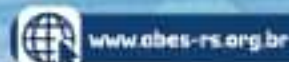
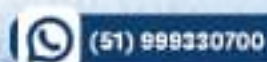
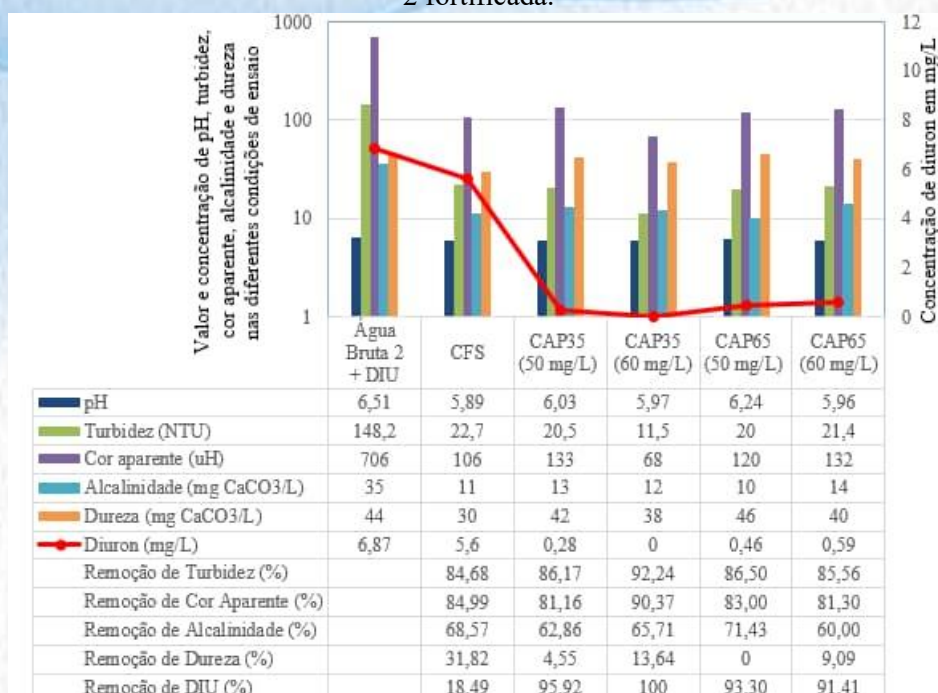


Figura 3 – Parâmetros de qualidade e concentração residual de diuron nos ensaios com Água Bruta 2 fortificada.



Fonte: Autores (2026)

Apesar das diferenças sazonais entre as águas estudadas, caracterizadas pelo aumento da turbidez e da cor aparente na segunda coleta em decorrência do período chuvoso, a eficiência de remoção de diuron pelo CAP permaneceu elevada, indicando que a sazonalidade exerceu pouca influência sobre o processo de adsorção. Esse desempenho pode ser atribuído à estrutura predominantemente microporosa do CAP, que favorece a adsorção de moléculas pequenas, como o diuron.

Os resultados obtidos estão em concordância com os estudos de Jurkevicz (2017), Pimenta (2019), Pimenta et al. (2020) e Fukumoto et al. (2022), que também reportaram elevadas para a remoção de diuron utilizando CAP associado ao tratamento CFS. Além da elevada remoção do herbicida, o CAP promoveu melhorias expressivas nos parâmetros de qualidade da água, com redução significativa da turbidez e da cor aparente, evidenciando seu potencial como tecnologia complementar ao tratamento convencional de águas contaminadas por pesticidas.

3.5. Remoção de diuron por coagulação, floculação e sedimentação associado ao biochar

Os ensaios de adsorção com biochar apresentaram eficiências de remoção de diuron inferiores às obtidas com o CAP em ambas as águas avaliadas. Na Água Bruta 1, as remoções variaram de 15,56% a 55,99%, enquanto na Água Bruta 2 variaram de 21,83% a 51,67%, demonstrando desempenho limitado para a

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



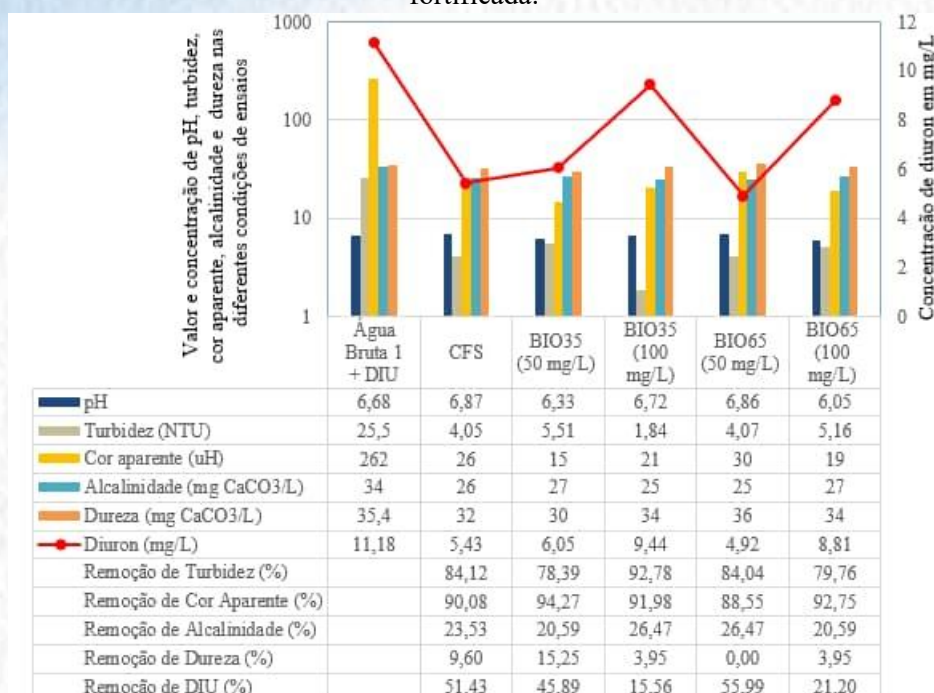
abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

remoção do herbicida, conforme apresentado nas Figuras 4 e 5, respectivamente. Em algumas condições, especialmente na Água Bruta 1, a eficiência do biochar foi inferior à obtida apenas com o tratamento por coagulação, floculação e sedimentação (CFS), indicando que sua associação ao processo não promoveu ganhos na remoção de diuron.

Figura 4 - Parâmetros de qualidade e concentração residual de diuron nos ensaios com Água Bruta 1 fortificada.



Fonte: Autores (2026)

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores

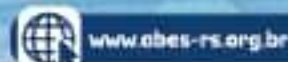
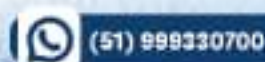
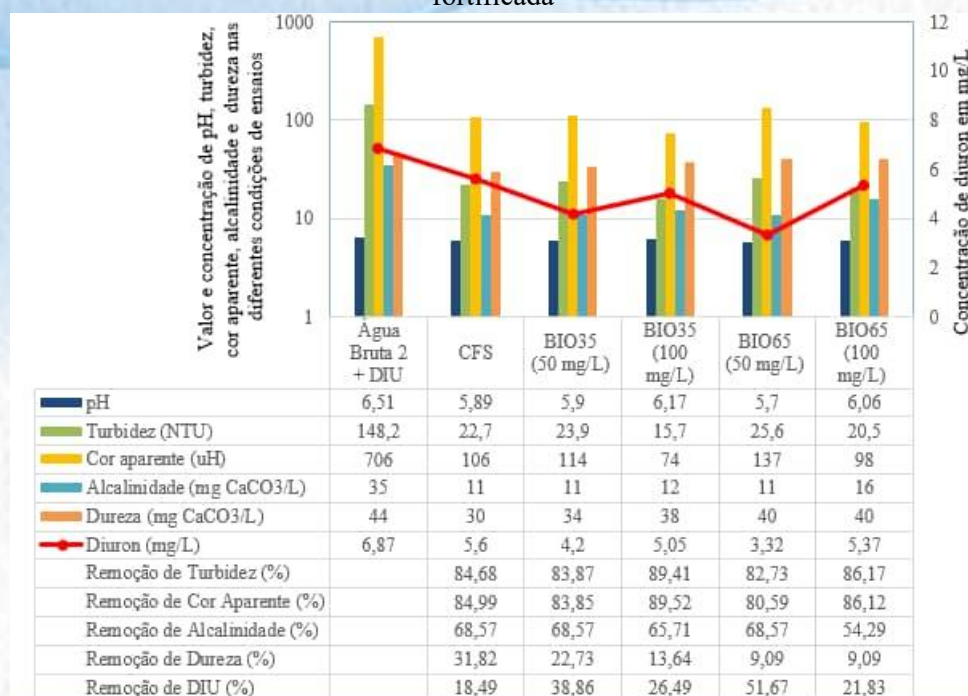


Figura 5 – Parâmetros de qualidade e concentração residual de diuron nos ensaios com Água Bruta 2 fortificada



Fonte: Autores (2026)

De modo geral, as melhores eficiências foram obtidas com a dosagem de 50 mg/L, enquanto o aumento da concentração do biochar para 100 mg/L resultou na redução da remoção do herbicida. Além disso, o aumento do tempo de contato não promoveu melhoria consistente no desempenho do adsorvente e, em algumas condições, observou-se diminuição da eficiência, sugerindo a possibilidade de interferências analíticas ou do início de um processo de dessorção.

Os resultados obtidos foram inferiores aos relatados por Magalhães (2022) e Sbizzaro (2020), possivelmente em razão das diferenças na matéria-prima, nas condições de produção do biochar e na temperatura de pirólise, fatores que influenciam diretamente suas propriedades superficiais e capacidade adsorviva. Apesar da baixa eficiência na remoção de diuron, a análise dos parâmetros físico-químicos destaca uma redução significativa na alcalinidade, cor aparente, dureza, pH e turbidez ao utilizar biochar, indicando uma remoção efetiva de impurezas na água.

3.6. Comparativo entre cartão ativado pulverizado e biochar

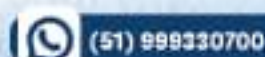
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



A análise comparativa entre os processos de adsorção em CAP e biochar para a remoção de diuron revela resultados que destacam a eficácia superior do CAP em relação ao biochar nas duas distintas coletas de água.

Na coleta 1, os ensaios com CAP demonstraram eficiências notáveis, atingindo percentuais significativos de remoção de diuron, como 94%, 93,20%, 98%, e 90,68% para concentrações de CAP de 50 mg/L e 60 mg/L, nas duas condições (CAP35 e CAP65). Em contrapartida, para o BIO35, a eficiência foi de 45,88% para a concentração de 50 mg/L e 15,56% para 100 mg/L, já o BIO65 alcançou 55,99% para 50 mg/L e 21,19% para 100 mg/L, indicando que, apesar do biochar apresentar vantagens na redução de turbidez e cor aparente, sua eficácia na remoção do diuron é inferior à observada para o CAP.

Na coleta 2, os resultados dos ensaios com CAP continuaram a destacar sua eficiência, atingindo valores de remoção de diuron notáveis, como 95,92%, 100%, 93,30%, e 91,41%. Por outro lado, os ensaios com biochar na mesma coleta apresentaram eficiências menores, com 38,86%, 26,49%, 51,67%, e 21,83%. A tabela 2 apresenta os menores residuais do herbicida para cada adsorvente e tempo de contato, juntamente com a porcentagem de remoção do diuron para essas condições. Percebe-se que o CAP35 na concentração de 60 mg/L demonstrou a melhor eficiência de remoção, alcançando uma remoção completa de 100% para a água fortificada 1, seguido pelo CAP65 na dosagem de 50 mg/L, com eficiências de 98,00% e 93,30% nas Águas Brutas 1 e 2, respectivamente. Entre os ensaios com biochar, as maiores eficiências foram de 55,99% (BIO65, 50 mg/L) para a Água Bruta 1 e de 38,86% (BIO35, 50 mg/L) para a Água Bruta 2.

Tabela 2 – Menor residual de diuron para cada adsorvente e tempo de contato.

	Unidade	CFS	CAP35 (60 mg/L)	CAP65 (50mg/L)	BIO35 (50 mg/L)	BIO65 (50 mg/L)
Água Bruta 1	mg/L de DIU	5,43	0,64	0,22	6,05	4,92
Remoção do DIU	%	51,43	94	98	45,88	55,99
	Unidade	CFS	CAP35 (60 mg/L)	CAP65 (50mg/L)	BIO35 (50 mg/L)	BIO65 (50 mg/L)
Água fortificada 2	mg/L de DIU	5,6	0	0,46	4,2	3,32
Remoção do DIU	%	18,49	100	93,30	38,86	21,83

Fonte: Autores (2026)

A menor eficiência do biochar pode estar relacionada às suas características texturais, especialmente à predominância de mesoporos (10,1 m²/g), que, conforme a classificação da IUPAC (1985), pode dificultar a adsorção do herbicida de forma eficiente, devido a dimensão da partícula do diuron, que se apresenta de tamanho menor que os poros do biochar.

Realização



Apoio Institucional



REBOB

Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios realizados permitiram avaliar o potencial da associação entre o tratamento CFS de água e os processos de adsorção utilizando carvão ativado pulverizado (CAP) e biochar para a remoção do herbicida diuron em escala de bancada. O delineamento experimental adotado possibilitou analisar a influência do tipo de adsorvente, da dosagem aplicada e do tempo de contato sobre a eficiência do processo, evidenciando a importância da integração de tecnologias complementares para a remoção de contaminantes orgânicos emergentes em sistemas CFS de tratamento de água.

Os resultados obtidos demonstram que a adsorção representa uma alternativa promissora para aumentar a eficiência da remoção de compostos como o diuron, cuja eliminação por processos convencionais de coagulação, floculação e sedimentação pode ser limitada em função de suas características físico-químicas. Nesse contexto, a associação entre o tratamento CFS e materiais adsorventes mostrou-se uma estratégia tecnicamente viável para o aprimoramento da qualidade da água destinada ao abastecimento público.

Além da elevada capacidade adsorptiva já reconhecida do carvão ativado pulverizado, o estudo também evidencia o potencial do biochar como material alternativo de interesse ambiental, sobretudo por ser produzido a partir da valorização de resíduos agropecuários. Essa característica reforça sua inserção no contexto da economia circular, agregando valor a resíduos orgânicos e contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis para o tratamento de água.

5. REFERÊNCIAS

BEZERRA, B., et al. "ABRHidro - ANAIS - AVALIAÇÃO POR TESTE JARROS NO RIO CUIABÁ, UTILIZANDO EXTRATO de QUIABO COMO AUXILIAR de FLOCULAÇÃO." Anais.abrhidro.org.br, 2019. Disponível em: <anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=6074>.

BRASIL. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021.

EQUIPE DO CENTRO DE ANÁLISE E PREVISÃO DO TEMPO – CAPRE/INMET. Balanço de janeiro/2024 em Cuiabá (MT). Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária – 61 MAPA, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Coordenação-Geral de Meteorologia Aplicada, Desenvolvimento e Pesquisa - CGMADP, Centro de Análise e Previsão do Tempo - CAPRE, 05 de fevereiro de 2024

CARDOSO, L. "Tratamento de Água Para Consumo Humano: Como é Feito?" Sienge, 18 Sept. 2019. Disponível em: <www.sienge.com.br/blog/tratamento-de-agua-2/>.

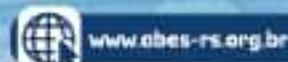
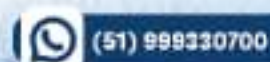
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



CARTAXO, A. da S. B. et al. Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento. Brazilian Journal of development, v. 6, n. 8, p. 61814-61827, 2020.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. Métodos e técnicas de tratamento de água. 3. ed. São Carlos: LDiBe Editora, 2017.

FUKUMOTO, A. A. F. Remoção de pesticidas da água utilizando carvões ativados e nanotubos de carbono. Environmental Technology, v. 45, n. 3, p. 431-453, 2022. DOI: 10.1080/09593330.2022.2112979

GE, Y., ZHU, S., CHANG, J., JIN, C., HO, S. (2020). Immobilization of Hg(II) on high-salinity Spirulina residue-induced biochar from aqueous solutions: sorption and transformation mechanisms by the dual-mode isotherms. Environmental Pollution, 265, 115087. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115087>.

IUPAC – INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. Recommendations. Pure and Applied Chemistry, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

JURKEVICZ, S. S. Remoção de diuron e metolaclo em águas pela técnica de tratamento de ciclo completo e adsorção em carvão ativado. 2017. 120 p. Dissertação (Mestrado em engenharia de edificações e saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. (3a Edição - Rev. e Amp.). Campinas, Editora Átomo, 2010.

MAGALHÃES, T. F. da S. et al. Síntese de hidrocarvão a partir da casca do fruto de bocaiuva e sua aplicação na remoção de diuron de água contaminada. Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais, Sinop, v. 10, n. 4, p. 486-494, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i4.13783>. ISSN: 2318-7670.

PEREIRA, R. A.; COSTA, C. M. L.; LIMA, E. M. O impacto dos agrotóxicos sobre a saúde humana e o meio ambiente. Revista Extensão, v. 3, n. 1, p. 29-37, 2019.

SBIZZARO, M. Capacidade de Adsorção da Atrazina em Biocarvões Produzidos a Partir de Diferentes Espécies de Bambus: Adsorção de Atrazina em Biocarvões Obtidos a Partir de Diferentes Espécies de Bambu e Capacidade de Adsorção de Atrazina em Biocarvões de Bambu por Modelagem Fenomenológica. 2020. 90 páginas. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2020.

SOUSA, A. D. M. de et al. Os impactos do uso de agrotóxicos no Brasil: uma análise cienciométrica. Cadernos de Agroecologia, v. 15, n. 2, 2020.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br