

## 15<sup>o</sup> Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### CLARIFICAÇÃO DE SOLUÇÃO DE AÇÚCAR POR ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO

GABRIELLI P. SILVA<sup>1</sup>, LETÍCIA D. ALVES<sup>2</sup>, VITÓRIA C.S. REGO<sup>3</sup>, MATEUS N.  
ESPERANÇA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Discente do curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio, IFSP, Campus Capivari, gabrielli.pereira@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Discente do curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio, IFSP, Campus Capivari, l.demori@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>3</sup> Discente do curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio, IFSP, Campus Capivari, vitoria.rego@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>4</sup> Professor EBTT, Orientador, IFSP, Campus Capivari, esperanca@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.06.03.00-5 Tecnologia Química

**RESUMO:** O dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) é o principal agente clarificante do açúcar branco e, por essa razão, é amplamente utilizado no processo de produção de açúcar no Brasil em uma operação denominada de sulfitação. No entanto, o SO<sub>2</sub> apresenta malefícios à saúde quando consumido a longo prazo. Observado isso, buscaram-se alternativas para a clarificação do açúcar, que não acarretem em danos para o público que consome os açúcares claros. A adsorção surge como um método alternativo econômico que não gera prejuízos à saúde. Através da adsorção, processo físico-químico em que as substâncias que conferem cor ao açúcar serão removidas por um sólido (denominado adsorvente), seguida pela filtração para separação mecânica entre as substâncias fluidas e sólidas, é possível obter a clarificação do açúcar. Dessa maneira, este trabalho teve como objetivo avaliar a clarificação de uma solução de açúcar empregando-se carvão ativado como adsorvente. Os ensaios realizados previamente utilizaram solução de açúcar mascavo como açúcar escuro a ser clarificado. A partir da determinação da cor ICUMSA, foi possível observar uma clarificação de 82% ao final dos ensaios, caracterizando uma clarificação expressiva da solução de açúcar mascavo.

**PALAVRAS-CHAVE:** solução de açúcar; açúcar; clarificação; adsorção; carvão ativado; dióxido de enxofre.

### CLARIFICATION OF SUGAR SOLUTION BY ADSORPTION WITH ACTIVATED CHARCOAL

**ABSTRACT:** Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) is the main clarifying agent in white sugar and, for this reason, it is widely used in the sugar production process in Brazil. However, SO<sub>2</sub> is harmful to health when consumed in the long term, and in light of this, alternatives are being sought to clarify sugar. Activated carbon adsorption appears as an economical alternative method that does not cause harm to health. Through adsorption, a physical-chemical process in which the substances that give color to the sugar will be removed by activated carbon, followed by filtration for physical separation between the fluid and solid substances, it is possible to obtain clarification of the sugar. In tests previously carried out using brown sugar solution as dark sugar to be clarified, it was possible to observe, from the determination of the ICUMSA color of the dark sugar solution compared to light sugar, a clarification of 82% at the end of the tests, characterizing a clarification expressive of the brown sugar solution.

**KEYWORDS:** sugar solution; sugar; clarification; adsorption; activated charcoal; sulfur dioxide.

## INTRODUÇÃO

O açúcar é um alimento muito presente no cotidiano brasileiro e um dos principais produtos exportados pelo país. Dentre as variedades de tipos de açúcar, os açúcares mais claros se destacam quanto ao consumo no país. No entanto, o adoçante exportado em maior quantidade pelo Brasil é o açúcar escuro, que não passa pelo processo de clarificação. Isso se deve à quantidade de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), substância amplamente utilizada no processo de clarificação dos açúcares claros (em operação denominada sulfitação) devido à sua alta eficiência e ao seu baixo custo. O enxofre é um elemento químico que, quando ingerido em larga escala e a longo prazo, pode causar malefícios à saúde respiratória humana, como asma, broncoespasmos e dermatite de contato (FAVERO *et al.*, 2015). Por essa razão, a União Europeia, cujos parâmetros alimentícios relacionados à saúde são mais rigorosos, não aceita o açúcar claro exportado pelo Brasil, importando apenas açúcares escuros que são mais baratos e menos prejudiciais (MORILLA, 2016). Dado esses malefícios, relacionados à questão econômica do país e principalmente, à saúde humana, faz-se necessário desenvolver um método que clarifique o açúcar, de modo que seja aceito no mercado externo, sem o uso de SO<sub>2</sub>.

Algumas alternativas possíveis ao processo de clarificação por sulfitação são a carbonatação, processos oxidativos avançados (POAs) e a adsorção (VERCELLOTTI *et al.*, 2010). A adsorção é um processo físico-químico em que um fluido (que contém a molécula a ser removida, ou seja, o adsorvato) entra em contato com um sólido (o adsorvente) com o intuito de remover o adsorvato presente. No processo de clarificação de açúcar por adsorção, as moléculas que atribuem cor ao caldo de cana serão removidas por sólidos como o carvão ativado, promovendo sua clarificação.

Diante disso, a adsorção por carvão ativado surge como uma alternativa sustentável, uma vez que o carvão pode ser produzido a partir do bagaço da cana, que geralmente é queimado para produção de energia para a indústria sucroalcooleira, sendo ainda economicamente viável e não provocando danos à saúde humana. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar esse método de clarificação através de ensaios de adsorção com carvão ativado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente preparou-se uma solução de açúcar mascavo (150g/L) com intuito de simular a composição do caldo de cana. Então, 50 mL desta solução foram transferidos para um béquer onde realizou-se o ensaio de adsorção. Para cada ensaio, empregou-se aproximadamente uma massa de 5 gramas de carvão ativado. A agitação foi realizada utilizando-se barra e agitador magnéticos durante o período de uma hora e meia a temperatura ambiente. O ensaio de adsorção foi realizado em duplicata.

Avaliou-se os parâmetros de Brix, pH e absorvância para o fase inicial (zero horas) e, posteriormente, ao atingir o marco de uma hora e meia em agitação, com o intuito de verificar as mudanças das medidas.

Após a retirada das amostras, a solução de açúcar foi filtrada à vácuo utilizando de um papel de filtro quantitativo (marca Unifil, modelo 504211, com gramatura de 85g/m<sup>2</sup> e espessura de 0,17 mm) para remoção de possíveis sólidos em suspensão. Em seguida, a solução teve seu pH ajustado para 7,00 com a adição de uma solução NaOH (0,2 mol/L) sendo, posteriormente, diluída em 10 vezes para realização da medida de Brix e absorvância (ANDRADE, 2016). O Brix foi medido utilizando-se um refratômetro portátil e, posteriormente, utilizado para determinação da densidade ( $\rho$ ) através da equação (1) (CAMPIOL, 2020):

$$\rho = 1 + \left( \left( Brix_0 \times \frac{(200 + Brix_C)}{5.400} \right) \times \left( \frac{Brix_C}{Brix_0} \right) \right) \quad (1)$$

Onde:

Brix<sub>0</sub> = leitura de sólidos solúveis na amostra original;

Brix<sub>C</sub> = leitura de sólidos solúveis na amostra diluída e pH ajustado.

A absorvância (Abs) foi avaliada empregando-se espectrofotômetro visível (marca Global Trade, modelo GT 7220), permitindo a determinação da variável Cor ICUMSA conforme equação (2):

$$Cor\ ICUMSA = \frac{Abs \times 1.000}{(\rho \times (Brix_C / 100))} \quad (2)$$

O desempenho da adsorção será ferido avaliando-se o Índice de Remoção de Cor (IRC), conforme equação (3):

$$IRC = \left( \frac{Cor\ ICUMSA_i - Cor\ ICUMSA_f}{Cor\ ICUMSA_i} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde os subíndices *i* e *f* referem-se aos valores inicial e final dos parâmetros avaliados, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH, Brix, densidade e Cor ICUMSA, para a solução de açúcar mascavo original (ponto inicial), as soluções clarificadas (repetições 1 e 2) e as suas respectivas diluições são apresentados na tabela 1:

TABELA 1. Valores dos parâmetros de desempenho obtidos para as soluções de açúcar mascavo (original, clarificadas e suas respectivas diluições).

	Original	Original diluída	Clarificada 1	Clarificada diluída 1	Clarificada 2	Clarificada diluída 2
pH	6,46	6,93	6,18	6,98	5,83	7,00
°Brix	13,8	1,2	11,6	1,0	13,4	1,1
Densidade (g/mL)	1,0447		1,0372		1,0410	
Cor ICUMSA (UI)	76.0978		12.823		13.973	

\*As soluções foram diluídas apenas para adequar as medidas de absorvância (determinação de Cor ICUMSA) à faixa de leitura do espectrofotômetro. O cálculo de Cor ICUMSA considera a densidade da solução em seu estado bruto (sem diluição) e da absorvância medida.

O pH da solução de açúcar mascavo original mostrou-se levemente ácido, com valor igual a 6,46. Após a clarificação por adsorção, verificou-se leve queda no pH, alcançando valores de 6,18 e 5,83, para as repetições 1 e 2, respectivamente.

O teor de sólidos solúveis (Brix) inicial foi de 13,8 °Brix, apresentando pequena variação após a clarificação por adsorção: para a repetição 1, o valor de Brix foi de 11,8, enquanto para a repetição 2, o valor observado foi de 13,4 °Brix. Tais diferenças nos valores de Brix resultaram em alterações da densidade das soluções. Entretanto, a variação percentual foi desprezível, exibindo valor máximo de 0,7% (comparação entre a densidade da solução original e a densidade da solução clarificada 1).

O valor de Cor ICUMSA para a solução de açúcar mascavo original obtido no presente trabalho foi igual a 76.098 UI. Esse valor foi maior do que aquele encontrado por Andrade (2016) e Silva *et al.* (2017), que verificaram valores iguais a 4.144UI e 15.033UI, respectivamente. Pode-se analisar que a disparidade entre os valores se dá, provavelmente, pela coloração da solução do açúcar mascavo usada neste trabalho, quando comparada com o caldo de cana usado nos trabalhos da literatura.

Comparando-se visualmente a solução de açúcar mascavo original (Figura 1a) com as soluções clarificadas por adsorção (Figura 1c e 1d), verificou-se que o processo de clarificação foi eficiente em remover compostos de conferem cor à solução de açúcar.



FIGURA 1: Cubetas com solução de açúcar mascavo: (a) solução original, (b) solução original diluída em 10x, (c) solução clarificada 1, (d) solução clarificada 2.

A clarificação observada qualitativamente foi confirmada de maneira quantitativa pela análise de Cor ICUMSA: após uma hora e meia de operação de adsorção, o valor de Cor ICUMSA diminuiu, alcançando valores iguais a 12.823UI e 13.973UI para os ensaios realizados. Considerando-se a duplicata de clarificação, o valor médio de Cor ICUMSA final foi de 13.398. Em termos percentuais, o Índice de Remoção de Cor (IRC) foi igual a 82,4%. Esse valor exibe a mesma ordem de grandeza observada em estudos similares, conforme apresentado na tabela 2.

TABELA 2. Dados da literatura de índice de remoção de cor para clarificação por adsorção de caldo de cana/solução de açúcar.

Referência	Adsorvente	Concentração de adsorvente (g/L)	T (°C)	pH (-)	Tempo (min)	IRC (%)
Presente estudo 1	Carvão ativado comercial	100	Ambiente (~20°C)	6,46	90	82,4
Silva <i>et al</i> (2017) <sup>2</sup>	Bentonita	3% (m/m) de solução 25 g/L	45	7	51,2	84,7
			25	5	45	96,2
Araújo (2017) <sup>2</sup>	Carvão ativado comercial	8,1 – 40,2	85	6,6-7,8	10	93,8 – 99,4
Andrade (2016) <sup>2</sup>	Carvão ativado obtido a partir do bagaço da cana-de-açúcar	2 - 14	Ambiente	5,05	60	50 - 79
Nunes (2009) <sup>3</sup>	Carvão ativado obtido a partir de torta de nabo forrageiro		25	~7	420	~ 30 - 80

<sup>1</sup> Estudo realizado com solução de açúcar mascavo (150 g/L).

<sup>2</sup> Estudo realizado com caldo de cana.

<sup>3</sup> Estudo realizado com solução de açúcar mascavo (50 g/L).

É importante salientar que alterações nas condições operacionais (pH, temperatura e tempo) bem como no tipo e quantidade de adsorvente impactam a remoção de Cor ICUMSA, conforme visualizado na tabela 2. Ainda assim, verifica-se que a clarificação realizada no presente trabalho alcançou elevado índice de remoção de cor, indicando a eficiência deste processo.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais pode-se concluir que a adsorção obtida por carvão ativado foi eficiente para a clarificação da solução de açúcar mascavo nas condições apresentadas de temperatura ambiente, tempo de agitação de uma hora e meia e pH se mantendo sempre próximo ao original. A

quantidade de carvão ativado empregada no estudo permitiu um resultado satisfatório de remoção dos compostos coloridos, de forma a observar-se um índice de remoção de cor de 82,4%.

Com isso, o índice obtido torna-se satisfatório para o objetivo inicial estabelecido, onde a forma testada de clarificação é limpa e sadia, não apresentando os malefícios, citados no trabalho, no qual o método convencional mais utilizado atualmente, a sulfitação, acarreta a saúde e bem-estar dos consumidores. Ainda assim, é possível que, modificações nas condições de realização dos testes alterem essa taxa, variando a eficácia do adsorvente utilizado nessa situação e, conseqüentemente, os resultados de clarificação final.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

G.P.S, L.D.A. e V.C.S.R: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do trabalho original, Redação - revisão e edição.

M.N.E: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do trabalho original, Redação - revisão e edição.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos servidores que nos auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho (técnicos de laboratório, professores da disciplina “Projeto Integrador”).

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, K.A.A.C. **Clarificação do caldo de cana por meio de carvões ativados feitos a partir do bagaço da cana-de-açúcar**. 2016. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Produção Sucroalcooleira) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15923/1/KAACA30092019.pdf>  
Acesso em: 21/05/2024.

ARAÚJO, F.A.D. **Intensificação do processo de purificação do caldo da cana-de-açúcar por decantação química e adsorção**. 2017. 155 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/28385/1/TESE%20Frederico%20Augusto%20Dantas%20de%20Ara%3%bajo.pdf> Acesso em: 21/05/2024.

BURNQUIST, H.M. E o consumo brasileiro de açúcar? **CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**, Piracicaba, 25 de jul. de 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opinia0-cepea/e-o-consumo-brasileiro-de-acucar.aspx?pagina=1>. Acesso em: 31 de out. de 2024.

CAMPIOL, J.L.M. **Clarificação de caldo de cana-de-açúcar por processo fotocatalítico: efeito do tempo reacional e otimização da fotocatalise heterogênea**. 2022. 93 p. Tese (Doutorado em Ciências) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em: [teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-13012021-155338/publico/Juliana\\_Lorenz\\_Mandro\\_Campiol\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-13012021-155338/publico/Juliana_Lorenz_Mandro_Campiol_versao_revisada.pdf) Acesso em: 21/05/2024

FAVERO, D.M.; RIBEIRO, C.S.G.; AQUINO, A.D. Sulfitos: importância na indústria alimentícia e seus possíveis malefícios à população. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, SP, v. 18, n. 1, p. 11–20, 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8634684/2603> Acesso em: 04/06/2024

MORILLA, C.H.G.; ALVES, L.R.A.; AGUIAR, C.L. Processo de clarificação de caldo de cana de açúcar por sulfitação: barreiras comerciais e impactos econômicos. **A Economia em Revista (AERE)**, v. 24, n. 1, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EconRev/article/view/56708/pdf> Acesso em: 16/06/2024.

NUNES, D.L. **Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de *Raphanus sativus L.* e utilização para clarificação de soluções.** 2009. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/URMR-87QNMV/1/disserta\\_\\_o\\_fafar\\_\\_diego\\_luiz\\_nunes\\_\\_ago2009.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/URMR-87QNMV/1/disserta__o_fafar__diego_luiz_nunes__ago2009.pdf) Acesso em: 16/06/2024.

SILVA, J. B.; GONÇALVES, L.N.; RIBEIRO, A.C. C.; ARVELOS, S. **Aplicação da metodologia de planejamento fatorial para otimização da clarificação do caldo da cana de açúcar utilizando bentonita.** Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, São Carlos, SP, 2017. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2017/508.pdf> Acesso em: 16/06/2024

VERCELLOTTI, J.R., VERCELLOTTI, S.V., KAHN, G., EGGLESTON, G. Approaches to raw sugar quality improvement as a route to sustaining a reliable supply of purified industrial sugar feedstocks. In: EGGLESTON, G. **Sustainability of the Sugar and Sugar–Ethanol Industries.** American Chemical Society, 2010. p.191-206. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/bk-2010-1058.ch012>. Acesso em: 04/07/2024.