

Artigo

Análise de Desempenho de Diferentes Carvões Ativados para a Remoção Efetiva do HMF em Xarope de Glicose

Yassue-Cordeiro, P. H.; Gimenes, M. L.; Pereira, V. C.; Lima, L. S.; Quináia, S. P.; Nascimento, P. M. K. B.*

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (3), 909-921. Data de publicação na Web: 17 de junho de 2019

<http://rvq.sbq.org.br>

Performance Analysis of Different Activated Carbons for the Effective Removal of HMF from Syrup Glucose

Abstract: The efficiency of removal of HMF in glucose syrup by using activated carbon was analyzed in this work. Adsorption studies were carried out using different adsorbent materials (activated pinus charcoal, mixture of activated charcoal of pinus/terra diatomaceous (70:30) and bituminous mineral coal), analyzing the behavior of each one, as well as its physical and chemical properties. The results have showed that all activated carbons analyzed were efficient for HMF in glucose syrup with removal efficiencies above of 90 % despite that different dosages were required for each activated carbon.

Keywords: 5-(Hydroxymethyl)-furan-2-carbaldehyde; glucose syrup; charcoal; mineral coal; charcoal with diatomaceous earth.

Resumo

A eficiência de remoção de HMF em xarope de glicose pela aplicação de carvões ativados foi analisada neste trabalho. Foram realizados estudos de adsorção com diferentes materiais adsorventes (carvão ativado de pinus, mistura de carvão ativado de pinus/terra diatomácea (70:30) e carvão mineral betuminoso), analisando-se o comportamento de cada um, bem como suas propriedades físicas e químicas. Os resultados indicaram que todos os adsorventes avaliados foram eficientes para a remoção de HMF presente em xarope de glicose, com taxas de remoção acima de 90 %, com diferentes dosagens para cada carvão.

Palavras-chave: 5-(Hidroximetil)-furano-2-carbaldeído; xarope de glicose; carvão vegetal; carvão mineral; carvão mineral com terra diatomácea.

* Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Química, Rua Simeão Camargo Varela de Sá 03, Vila Carli, CEP 85040-080, Guarapuava-PR, Brasil.

✉ paty_klack@hotmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20190063](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190063)

Análise de Desempenho de Diferentes Carvões Ativados para a Remoção Efetiva do HMF em Xarope de Glicose

Patricia H. Yassue-Cordeiro,^a Marcelino L. Gimenes,^b Vanessa C. Pereira,^a Liliane S. de Lima,^c Sueli P. Quinária,^b Patricia M. K. de B. do Nascimento^{b,*}

^a Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, Av. Colombo 5790, CEP 87020-080, Maringá-PR, Brasil.

^b Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Química, Rua Simeão Camargo Varela de Sá 03, Vila Carli, CEP 85040-080, Guarapuava-PR, Brasil.

^c Alphacarbo Industrial LTDA, Estrada Municipal Benedito de Paula Louro s/n, BR277, Km 342, CEP 84100-970, Guarapuava-PR, Brasil.

* paty_klack@hotmail.com

Recebido em 26 de novembro de 2018. Aceito para publicação em 13 de maio de 2019

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

2.1. Obtenção dos adsorventes

2.2. Caracterização dos carvões ativados

2.3. Tempo de equilíbrio entre o analito e o adsorvente

2.4. Estudo da massa do adsorvente

2.5. Estudos da massa dos adsorventes em função da amostra real de xaropes de amido de milho

3. Resultado e Discussão

3.1. Caracterização dos carvões

3.2. Tempo de equilíbrio entre o HMF e os adsorventes

3.3. Estudos de dosagem dos materiais carbonáceos para remoção de HMF em meio aquoso

3.4. Remoção de HMF em xaropes de amido de milho comercial

4. Conclusão

1. Introdução

Xaropes de amido de milho, também conhecidos como xarope de glicose, podem ser obtidos pela hidrólise do amido de milho sob altas temperaturas e pressão.¹ Devido a suas propriedades, eles são utilizados em

produtos de padaria, gomas de mascar, refrigerantes, balas e alimentos para bebês.²

O processamento térmico, longos períodos de armazenamento e a própria composição química dos xaropes de amido de milho

promovem a formação de contaminantes tóxicos, como o 5-(hidroximetil)-furfano-2-carbaldeído (HMF), Figura 1,³ através de três reações: reação de Maillard, desidratação de hexoses em meio ácido e a caramelização.⁴

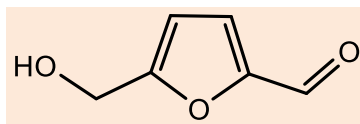


Figura 1. Estrutura química do HMF

Atualmente, há uma grande preocupação com relação às concentrações desse contaminante em diferentes alimentos e bebidas, devido a ele apresentar efeitos tóxicos, podendo ser citotóxico, carcinogênico, genotóxicos e mutagênico.^{1,3}

A literatura reporta alguns estudos sobre os efeitos mutagênicos e genotóxicos do HMF, sugerindo que o mesmo pode se transformar em 5-sulfoximetilfurfural (5-SMF) e 5-clorometil-furfural (5-CMF) (Figura 2) no

organismo.^{3,5,6,7} Em um desses estudos, a atividade carcinogênica do HMF foi investigada em roedores. Após o HMF ser convertido em 5-SMF, houve a formação de câncer de pele nos camundongos. Segundo a literatura, o 5-CMF mostrou-se mais mutagênico do que o 5-SMF e uma via de metabolização do mesmo no organismo foi proposta por Surh e Tannenbaum (1994),⁸ através da cloração alílica no suco gástrico, que contém elevada concentração de íons cloreto.³

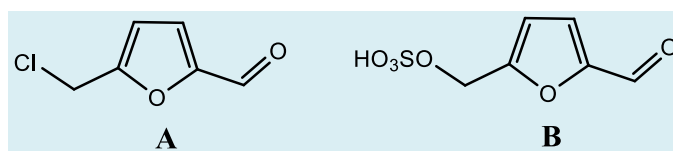


Figura 2: Estrutura química do (A) 5-CMF e (B) 5-SMF

Existem estratégias preventivas e de remoção para diminuir a quantidade de HMF em alimentos, as quais são aliadas a técnicas inovadoras com potencial de aplicação na indústria. Uma das estratégias visa mudanças na formulação^{9,10} e redução do impacto térmico^{11,12} durante o processo de formação de produtos alimentícios (como xaropes e melados). Pode-se também decompor as moléculas de HMF já formadas no produto pronto.^{3,13}

Com relação às técnicas associadas à remoção de HMF, pode-se citar o uso de materiais adsorventes associado com filtração a vácuo. Neste caso, a redução de HMF pode

ser realizada antes ou pós-processamento, ou seja, no produto final.¹⁴

Segundo o *Codex Alimentarius* (Alinorm 01/25, 2000) e a União Europeia (Diretiva 2001/ 110/EC, 2001),¹⁵ o teor de HMF permitido para mel em países tropicais é de 40-80 mg.kg⁻¹. Não existe um órgão que regulamente os valores para HMF em xaropes, portanto, neste trabalho seguiu-se o teor estipulado para o mel como parâmetro de comparação para o xarope de amido de milho, pois os dois alimentos são ricos em açúcares.¹⁶

De Andrade *et al.* (2016),^{16,17} quantificaram elevados teores de HMF em amostras de xaropes de amido de milho (406,0 a 2000,0

mg.kg⁻¹) e melão de cana (109,2 a 893,1 mg.kg⁻¹) por espectrofotometria UV-Vis, instigando o interesse no desenvolvimento de metodologias para a extração de HMF nesses tipos de alimentos. Há inúmeros materiais que podem ser usados como adsorventes para a clarificação de produtos alimentícios, entre eles, está o carvão ativado, usado para remoção de cor, odor e remoção de compostos orgânicos.

O objetivo deste trabalho foi a caracterização e a aplicação de diferentes carvões ativados (carvão vegetal de pinus-CAP, mistura de carvão pulverizado vegetal de pinus com terra diatomácea – CAP-TD e carvão mineral betuminoso – CMB) para a remoção de HMF em xaropes de amido de milho comerciais.

2. Materiais e Métodos

2.1. Obtenção dos adsorventes

Os carvões ativados pulverizados de pinus (CAP), mistura de carvão ativado vegetal de pinus/terra diatomácea (70:30) (CAP-TD) e o carvão mineral betuminoso (CMB) foram cedidos pela empresa ALPHACARBO Ltda. O CAP foi produzido a partir do processo físico de ativação usando como matéria-prima resíduos de reflorestamento de pinus. O carvão mineral betuminoso é proveniente de hulha (80 % de carbono). A mistura CAP-TD é um resíduo proveniente da indústria alimentícia, usado para a clarificação de balas. O processo de recuperação e reativação do CAP/TD foi descrito por De Lima, Quináia e Yanarico (2017).¹⁷

As amostras de xaropes de amido de milho foram adquiridas no comércio local, na cidade de Guarapuava-PR.

2.2. Caracterização dos carvões ativados

Para avaliar a eficiência dos carvões ativados foram realizados estudos de caracterização dos mesmos, por meio de medições químicas e físico-químicas, como análise do ponto de carga zero,¹⁸ pH, número de iodo (ABNT NBR 12073:1991), e cinzas,¹⁹ utilizando-se de métodos clássicos de caracterização, conforme normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

A morfologia dos materiais foi analisada utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo TM3000 acoplado a um sistema de energia dispersiva. A análise da área superficial específica total (BET) foi determinada por meio da adsorção de N₂ a 77K, usando um equipamento Quantachrome modelo NOVA-1200.

Também foram realizadas análises da determinação de grupos ácidos e básicos, por meio da titulação de BOEHM.²⁰ A análise de tamanho de partícula foi realizada com um aparelho Zeta, modelo Malvern Zetasizer Nano ZS90. As medidas de HMF foram feitas utilizando-se um espectrofotômetro UV-VIS (Spectrum Meter, SP-2000 UV), segundo o método descrito por De Andrade *et al.*¹⁶

2.3. Tempo de equilíbrio entre o analito e o adsorvente

O estudo do tempo de equilíbrio (0, 2,5; 5; 7,5; 10 e 15 min) entre as soluções de HMF (100 mL; 6,0 mg.L⁻¹) e os materiais adsorventes (0,05 g) foram realizados em bateladas, a uma temperatura de 25 °C em pH 6,8. O analito foi colocado em contato, sob a agitação constante, com os materiais adsorventes e após os tempos de contato predeterminados, as soluções foram filtradas. As concentrações remanescentes de HMF foram calculadas a partir de uma curva de calibração e a leitura da absorbância foi realizada em um aparelho espectrofotométrico com comprimento de onda de 285 nm.

2.4. Estudo da massa do adsorvente

Diferentes massas dos adsorventes (0,0250 a 0,3000 g) foram avaliadas a fim de verificar a eficiência de adsorção. A concentração da solução padrão de HMF utilizada nos experimentos foi de 6,0 mg.L⁻¹. Os tempos de contato entre o analito e os carvões foram de 4 min para o CAP, 5 min para o CMB e 10 min para a mistura CAP/TD. Em seguida, as amostras foram filtradas e medidas residuais de HMF nas mesmas foram feitas.

2.5. Estudo das massas dos adsorventes em função de amostra comercial de xaropes de amido de milho

Para aplicação dos adsorventes carbonáceos em amostras reais de xaropes de amido de milho, foram preparadas soluções contendo 10 g de xarope em 10 mL de água ultrapura. Posteriormente, as soluções foram colocadas em contato com os carvões ativados sob agitação constante. As massas utilizadas dos carvões variaram de 0,2000 a 1,4000 g para CAP, de 0,2000 a 2,400 para o CMB, e de 0,2000 a 4,000 g para o CAP-TD. As medidas de HMF após contato com os materiais adsorventes foram feitas por espectrofotometria, segundo a método descrito por De Andrade *et al.*¹⁶

3. Resultado e Discussão

3.1. Caracterização dos carvões

Caracterizações físico-químicas foram realizadas nos três carvões, visando auxiliar no esclarecimento sobre os processos de

adsorção de HMF. Na Tabela 1 estão descritos os resultados de caracterização, em que os parâmetros medidos foram comparados com o CAP, produzido a partir da ativação de resíduos de pinus, uma vez que este é um dos carvões ativados comerciais normalmente usado pelas indústrias alimentícias na purificação de óleos, clarificação de glucose, açúcar e gelatinas.^{21,22}

O carvão CAP-TD apresentou maior valor de pH em relação aos carvões CAP e CMB. Também foi verificada a presença significativa de grupos básicos através da titulação de Boehm,²⁰ e a ausência de grupos ácidos em sua superfície. A existência de grupos funcionais carregados negativamente na superfície do CAP/TD indica que compostos com cargas positivas serão mais facilmente adsorvidos por esse material.

O teor de cinzas para o carvão CAP-TD também foi maior, indicando que o mesmo apresenta uma maior quantidade de matéria inorgânica, sendo oriundo de uma mistura de carvão ativado de pinus e terra diatomácea (70:30), o que também justifica seu alto teor de cinzas quando comparado aos demais carvões. As quantidades de cinzas encontradas nos carvões ativados devem estar relacionadas com seu método de ativação e a quantidade de compostos inorgânicos presentes na superfície,²³ elas reduzem a adsorção através do bloqueio de porosidade da matriz carbônica, onde os minerais presentes favorecem a adsorção de água.²⁴

O CMB e o CAP apresentaram elevados números de iodo, indicando a capacidade desses materiais na adsorção de moléculas pequenas. Os valores medidos de área superficial e volume de microporos foram maiores para o CMB em relação ao CAP-TD, sugerindo uma maior capacidade de adsorção devido à grande área superficial disponível no CAP-TD.²⁵

Tabela 1. Características físico-químicas dos carvões de CAP, CAP-TD e CMB

Parâmetros	CAP	CAP-TD	CMB
pH	6,91	8,91	7,32
Grupos ácidos (mEq.g ⁻¹)	0,525	0	0,122
Grupos básicos (mEq.g ⁻¹)	0,44	2,79	0,85
Cinzas (%)	14,72	40,62	10,62
Umidade (%)	9,93	7,61	3,67
Tamanho de partícula (nm)	3611	3038	5305
Área Superficial - BET (m ² .g ⁻¹)	636,3	217,4	716,5
Número de iodo (mg.g ⁻¹)	701,18	195,11	982,15
Volume de microporos - BET (cm ³ .g ⁻¹)	0,352	0,119	0,397

A análise do tamanho de partícula é utilizada para que seja conhecido o tamanho dos grãos. Segundo Mussatto e Roberto (2004),²⁶ que avaliaram carvões ativados em pó e granulados na remoção de HMF e outros derivados de furfural, empregando hidrolisado de palha de arroz para produção de xilitol; os carvões ativados em pó são mais eficientes que carvões granulados para a remoção de HMF, independentemente de sua área superficial. Dentre os carvões granulados, foi possível observar um favorecimento na adsorção com a diminuição da granulometria. O carvão CAP-TD possui semelhança quando comparado ao CAP, devido à porcentagem de pinus presente em suas matrizes, sendo de 70 % no CAP/TD e 100 % no CAP. No entanto, os 30 % restantes de matéria-prima do CAP/TD são de terras diatomáceas, que diminuem a eficiência de remoção do HMF em aproximadamente 50 % quando comparado a eficiência do CAP. Já o

carvão mineral betuminoso, foi o carvão que apresentou maior volume de microporos e área superficial.

Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram utilizadas para visualizar as microestruturas dos carvões. Foram necessárias ampliações diferentes para cada material, a fim de se obter uma imagem mais definida de cada poro (Figura 3).

A leitura em MEV mostrou diferenças entre os materiais avaliados: no CAP estão presentes poros bem definidos; no CAP-TD notou-se a presença de materiais silicatos devido à terra diatomácea, material proveniente do seu *habitat* marinho; no CMB observou-se um maior volume de poros agrupados, dando a esse material uma maior área superficial com maior volume de microporos, observações estas concordantes com os descritos nas medidas de BET (Tabela 1).

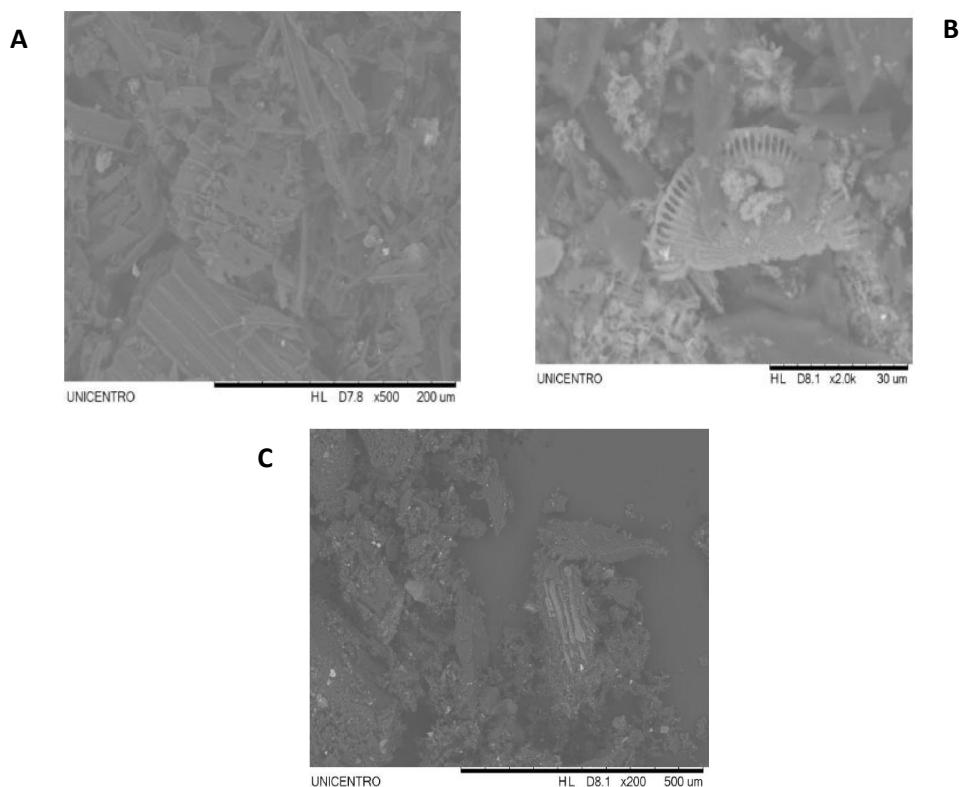


Figura 3. Imagem da MEV para (A) CAP; (B) para mistura de CAP-TD (70:30); (C) para CMB

3.2. Tempo de equilíbrio entre o HMF e os adsorventes

Foram realizados estudos em bateladas para avaliar o tempo de contato necessário para a adsorção de HMF por parte dos materiais carbonáceos. A Figura 4 apresenta os resultados de tempo de equilíbrio para os carvões CAP, CAP-TD e CMB, usando uma massa fixa dos mesmos.

Ao utilizar-se um tempo de equilíbrio de 4 minutos e baixa dosagem do CAP (0,0500 g), observou-se uma remoção de HMF acima de

90 % (Figura 4A). Já o carvão CAP-TD precisou de 10 minutos para remover 50,4 % da concentração inicial do HMF em solução (Figura 4B). É importante considerar que o material CAP-TD é um resíduo industrial que foi lavado e reativado, portanto, não possui a eficiência original de um material virgem.

O CMB removeu 60 % do teor original de HMF em solução a partir de 5 minutos de equilíbrio, mantendo-se constante após esse tempo (Figura 4C). A partir destes resultados pode-se verificar eficiência acima de 50 % para os três materiais, porém em tempos diferentes.

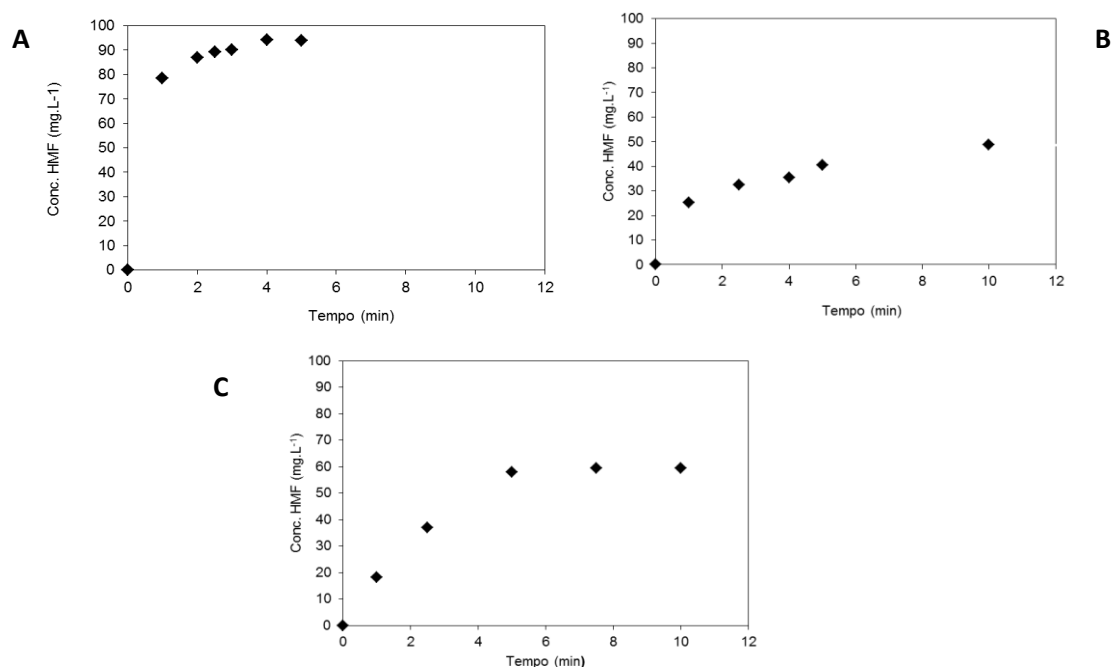


Figura 4. Estudo de equilíbrio na adsorção de HMF ($6,0 \text{ mg.L}^{-1}$) usando (A) CAP (massa = $0,0500 \text{ g}$); (B) CAP-TD (massa = $0,0500 \text{ g}$); (C) CMB (massa = $0,0500 \text{ g}$)

Com os tempos de equilíbrio já definidos para cada material carbonáceo, e verificado a necessidade do aumento na dosagem dos mesmos para obtenção de uma boa taxa de adsorção, decidiu-se variar as massas de cada carvão ($0,01$ a $0,3 \text{ g}$). Na Figura 5 está representada as reduções de HMF ($6,0 \text{ mg.L}^{-1}$) em função da massa de cada material carbonáceo em pH $6,8$.

Por meio da análise de dosagem dos materiais foi possível verificar que com o

aumento da massa de cada adsorvente, todos os materiais ultrapassam a taxa de remoção do HMF acima de 90% .

Schneider²⁷ avaliou a adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado, e verificou que aumentando a massa de carvão, maior quantidade de adsorvato era removida, devido ao maior número de sítios ativos e grupos disponíveis para a adsorção.

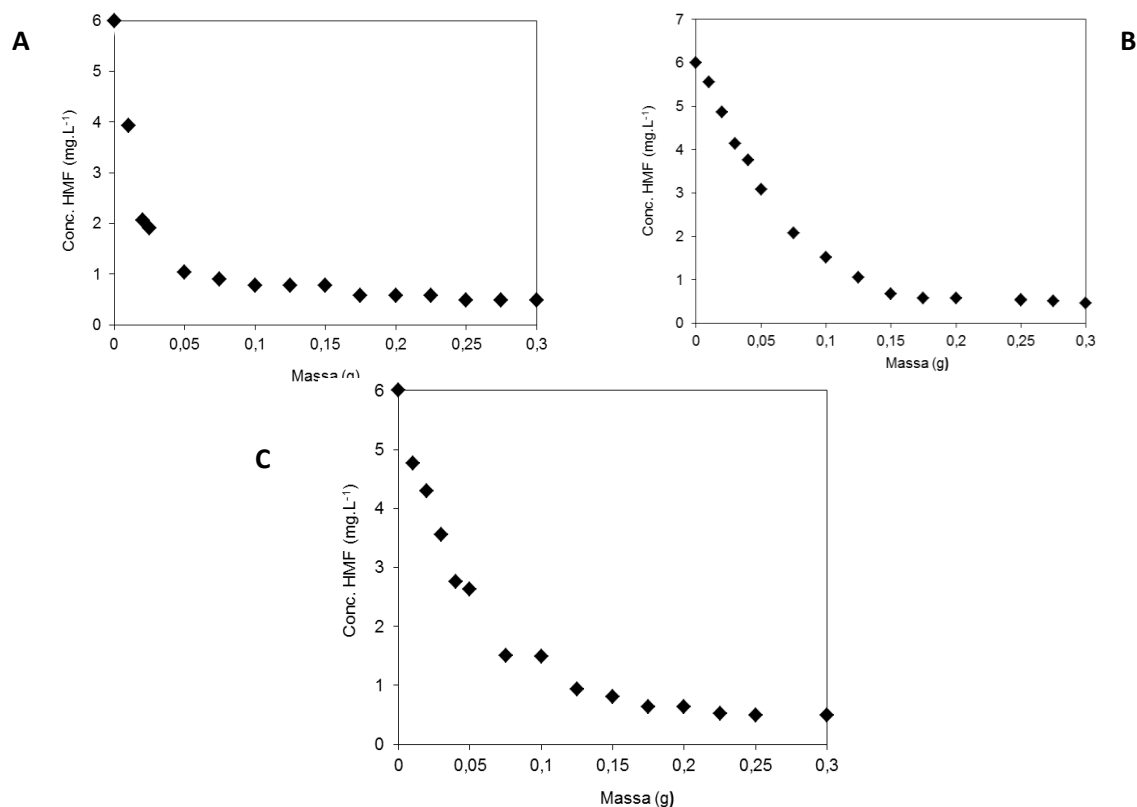


Figura 5. Redução da concentração de HMF ($6,0 \text{ mg.L}^{-1}$) em função da massa de (A) CAP (tempo de contato de 5 min); (B) CAP-TD (tempo de contato de 10 min); (C) CMB (tempo de contato de 5 min)

3.4. Remoção de HMF em xaropes de amido de milho comercial

Ao avaliar o teor de HMF em amostras de xarope de amido de milho, detectou-se teores elevados de HMF nas mesmas ($1.455,62 \text{ mg.kg}^{-1}$). Portanto, foi necessário reavaliar a dosagem dos adsorventes frente ao elevado teor de HMF em amostras comerciais. A Figura 6 apresenta os resultados do estudo de dosagem dos carvões CAP, CAP-TD e CMB partindo-se de uma amostra comercial. O pH

de adsorção destes experimentos foi de 6,9 a uma temperatura igual a $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Conforme ilustrado na Figura 6A, 6B e 6C, respectivamente, a partir de 0,8 g de CAP; 3,0 g de CAP-TD e 2,0 g de CMB, a taxa de adsorção do HMF se manteve constante.

Os três carvões apresentaram eficiência de remoção entre 95 e 99 % da concentração inicial de HMF. A partir desta avaliação, o procedimento de remoção foi aplicado em três amostras comerciais contendo diferentes teores de HMF (Tabela 2).

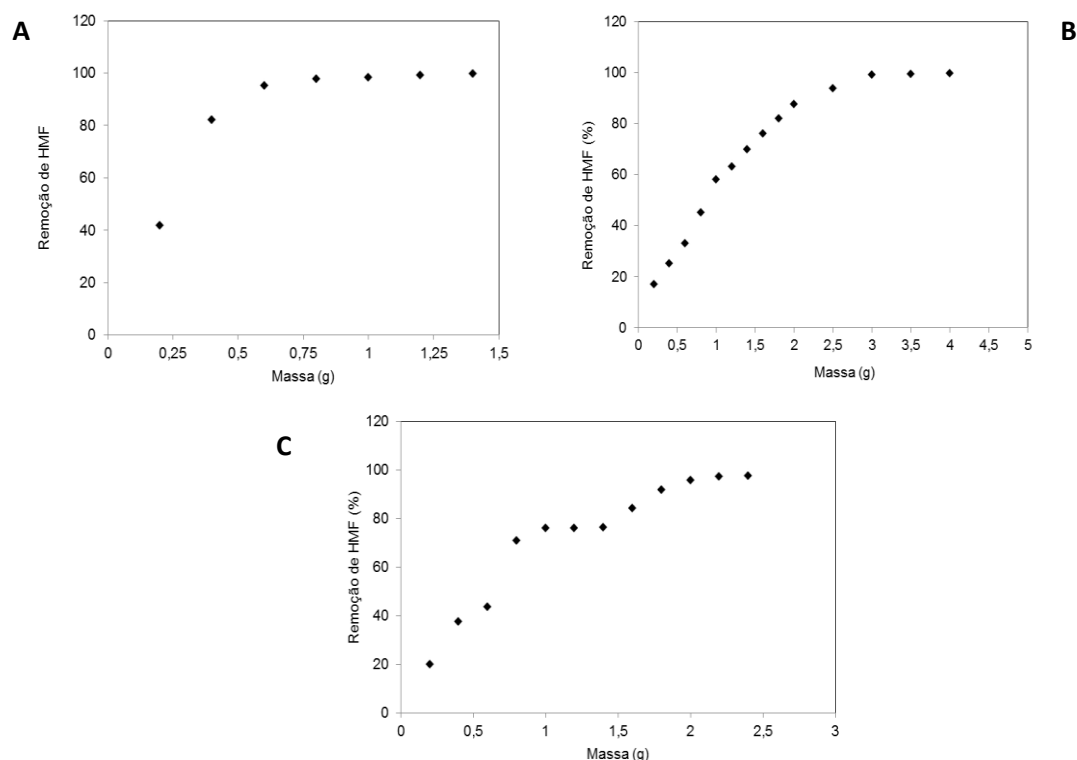


Figura 6. Remoção de HMF ($1455,62 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) em xaropes de amido de milho comercial variando-se a massa de (A) CAP; (B) CAP-TD; (C) CMB

Tabela 2. Porcentagem de remoção de HMF em xaropes de amido de milho comercial com uso de diferentes materiais carbonáceos

Carvão	Xarope A			Xarope B			Xarope C		
	Concentração		Remoção (%)	Concentração		Remoção (%)	Concentração		Remoção (%)
	($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)			($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)			($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		
Original	Final		Original	Final		Original	Final		
CAP		33,48±	91,2		29,49±	96,9		34,86±	97,7
CAP-TD	382,60 ± 71,16	27,14±	92,9	943,10 ± 37,75	26,47±	97,2	1496,70 ± 58,34	26,3±	98,2
CMB		30,07±	92,1		30,02±	96,8		22,79±	98,5

Massa (CAP) = 1,0000 g; massa (CAP-TD) = 3,0000 g; massa (CMB) = 2,0000 g.

Independente do teor de HMF presente nas amostras comerciais de xaropes de amido de milho, todos os materiais carbonáceos foram eficientes, removendo acima de 92 %

do HMF presente nas mesmas. O residual de HMF que restou nas diferentes marcas de xarope de amido de milho, permaneceram

abaixo do que a legislação brasileira estabelece para o mel que é de 40 a mg.kg⁻¹.²⁸

Dentre os materiais avaliados, o CAP apresentou os melhores resultados de adsorção perante os demais carvões. O mesmo é normalmente empregado na indústria em diversos procedimentos, para remoção de compostos orgânicos que apresentem cor e odor em diversos produtos.^{21,29} Os resultados obtidos para remoção de HMF em xaropes indicam que o material carbonáceo CAP também pode ser utilizado para adsorção de contaminantes, e que materiais como o CMB e o CAP-TD também podem ser utilizados para adsorção de HMF em xaropes de amido de milho, porém para se obter taxas de remoção altas como as encontradas para o CAP deve-se utilizar uma dosagem na ordem de 2 (duas) a 3 (três) vezes maior que a empregada para CAP. O carvão CAP-TD é um resíduo que possui somente 70 % de carvão ativado e é um material com baixa área superficial, conforme verificado nos estudos de caracterização. É de se esperar que o mesmo necessite de uma maior massa para remoção de HMF. Já o CMB é um carvão bastante microporoso, indicando sua não eficiência para adsorção de compostos que apresente cor, isso pode justificar a necessidade de uma dosagem maior de massa para a remoção de HMF em xaropes de amido quando comparado com o carvão CAP.

Os resultados deste trabalho apontam uma nova empregabilidade que pode ser dada ao CAP-TD, que é um material alternativo de baixo custo descartado em grande quantidade por indústrias alimentícias.

A metodologia empregada neste trabalho trata-se de uma técnica de baixo custo e com aplicabilidade na indústria, visto que o carvão ativado já é utilizado em muitas indústrias alimentícias.^{21,29} Vale ressaltar que todas as técnicas citadas anteriormente foram estudadas para matrizes alimentares com menor concentração de HMF, como por exemplo, o café,^{22,30} em relação ao xarope de glicose, e que na literatura, até o momento, não há estudos que envolvam essa matriz, que apresenta teores altíssimos desse

contaminante, dando relevância e importância ao estudo desenvolvido

4. Conclusão

Os carvões empregados neste estudo foram capazes de reduzir as taxas de concentração de HMF nos xaropes de amido de milho, com eficiência acima de 90 %. Esses resultados são importantes para a indústria alimentícia que visa deixar o produto final com uma cor mais atrativa ao consumidor, além de possibilitar diminuir significativamente a ingestão de HMF ao mesmo nível requerido pela legislação para amostras contendo elevado teor de açúcares, como o mel. O procedimento de remoção de HMF aplicado neste trabalho foi o de mitigação, ou seja, o uso de remoção do HMF pós-processamento do produto final.

Agradecimentos

À Alphacarbo Industrial Ltda. Ao CNPq. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

- Shapla, U. M.; Solayman, Md.; Alam, N.; Khalil, Md. I.; Gan, S. H. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal* **2018**, *12*, 35. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Freitas, A. C. de.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2012. [[Link](#)]
- Capuano, E.; Fogliano, V. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *Food Science and Technology* **2011**, *44*, 793. [[CrossRef](#)]

- ⁴ Belitz, H. D.; Grosch, W.; Schieberle, P.; *Food chemistry*, 4a. ed., Springer: New York, 2009. [[Link](#)]
- ⁵ Glatt, H.; Sommer, Y. Health risks of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds. In: *Acrylamide and Other Hazardous Compounds in Heat-Treated Foods* **2006**, 328. [[CrossRef](#)]
- ⁶ Shapla, U. M.; Solayman, Md.; Alam, N.; Khalil, Md. I.; Gan, S. H. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal* **2018**, *12*, 35. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
- ⁷ Teixidó, E.; Santos, F. J.; Puignou, L.; Galceran, M. T. Analysis of 5-hydroxymethylfurfural in foods by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography* **2006**, *1135*, 85. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Surh, Y. J.; Tannenbaum, S. R. Activation of the Maillard reaction product 5-(hydroxymethyl)furfural to strong mutagens via allylic sulfonation and chlorination. *Chemical Research in Toxicology* **1994**, *7*, 313. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁹ Gökmen, V.; Açar, Ö. Ç.; Köksel, H.; Acar, J. Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies. *Food Chemistry* **2007**, *104*, 1136. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰ Zhang, Y.-Y.; Song, Y.; Hu, X.-S.; Liao, X.-J. Ni, Y.-Y.; Li, Q.-H. Effects of sugars in batter formula and baking conditions on 5-hydroxymethylfurfural and furfural formation in sponge cake models. *Food Research International* **2012**, *49*, 439. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ Fan, X., Huang, L., Sokorai, K. J. B. Factors Affecting Thermally Induced Furan Formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2008**, *56*, 20. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹² Ameer, L. A.; Mathieu, O.; Lalanne, V.; Trystram, G.; Birlouez-Aragon, I. Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures. *Food Chemistry* **2007**, *101*, 1407. [[CrossRef](#)]
- ¹³ Capuano, e.; Ferrigno, A.; Acampa, I.; Serpen, A.; Açar, O. C.; Gökmen, V.; Fogliano, V. Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International* **2009**, *42*, 1295. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Anese, M., & Suman, M. Mitigation strategies of furan and 5-hydroxymethylfurfural in food. *Food Research International* **2013**, *51*, 257. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Codex Alimentarius. Codex Standard for Sugars 1 - Codex Stan 212-1999. [[Link](#)]
- ¹⁶ De Andrade, J. K.; De Andrade, C. K.; Komatsu, E.; Perreault, H.; Torres, Y. R.; Rosa, M. R.; Felsner, M. L. A validated fast difference spectrophotometric method for 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) determination in corn syrups. *Food Chemistry* **2017**, *228*, 197. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁷ De Andrade, J. K.; Komatsu, E.; Perreault, H.; Torres, Y. R.; da Rosa, M. R.; Felsner, M. L. In house validation from direct determination of 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) in Brazilian corn and cane syrups samples by HPLC–UV. *Food Chemistry* **2016**, *190*, 481. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁸ Da Silva, F. M.; Santana, S. A. A.; Bezerra, C. W. B.; Dos Santos Silva, H. A. Adsorção do corante têxtil azul de remazol por pseudocaule da bananeira (*Musa sp.*). *Caderno de Pesquisa* **2010**, *17*, 71. [[Link](#)]
- ¹⁹ Junior, O. F. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. [[Link](#)]
- ²⁰ Boehm, H. P. Chemical identification of surface groups. *Advances in Catalysis* **1966**, *16*, 179. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Mandro, J. L.; Magri, N. T. C.; Sartori, J. A. S.; Aguiar, C. L. Redução de cor ICUMSA em soluções concentradas de açúcar bruto por processo oxidativo com peróxido de hidrogênio. *Brazilian Journal of Food Technology* **2017**, *20*. [[CrossRef](#)]
- ²² Del Campo, G.; Berregi, I.; Caracena, R.; Zuriarrain, R. Quantitative determination of

- caffeine, formic acid, trigonelline and 5-(hydroxymethyl)furfural in soluble coffees by ¹H NMR spectrometry. *Talanta* **2010**, *81*, 367. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²³ Ramos, P. H.; Guerreiro, M. C.; Resende, E. C. de.; Gonçalves, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. *Química Nova* **2009**, *32*, 1139. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Ajmal, M., Ali Khan Rao, R., Anwar, S., Ahmad, J., & Ahmad, R. (2003). Adsorption studies on rice husk: removal and recovery of Cd(II) from wastewater. *Bioresource Technology* **2003**, *86*, 147. [[CrossRef](#)]
- ²⁵ Müller, C. C.; Raya-Rodriguez, M. T.; Cybis, L. F. Adsorção em carvão ativado em pó para remoção de microcistina de água de abastecimento público. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2009**, *14*, 29. [[CrossRef](#)]
- ²⁶ Mussatto, S. I.; Roberto, I. C. Avaliação de diferentes tipos de carvão ativo na destoxificação de hidrolisado de palha de arroz para produção de xilitol. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **2004**, *24*, 94. [[CrossRef](#)]
- ²⁷ Schneider, E. L. Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2008. [[Link](#)]
- ²⁸ Brasil-Secretaria de Inspeção de Produto Animal. Acesso em: 10 outubro 2018. [[Link](#)]
- ²⁹ Lima, A. C. S.; Afonso, J. C.; A Química do Refrigerante. *Química Nova Na Escola* **2009**, *31*. [[Link](#)]
- ³⁰ Quarta, B.; Anese, M. Furfurals removal from roasted coffee powder by vacuum treatment. *Food Chemistry* **2012**, *130*, 610. [[CrossRef](#)]