

Síntese e Caracterização Espectroscópica do Dióxido de Silício (SiO_2) Obtido a partir da Calcinação do Bagaço da Cana-de-Açúcar

Synthesis and Spectroscopic Characterization of Silicon Dioxide (SiO_2) Obtained from Calcination of Sugarcane Bagasse

Maria E. S. Reis, Marccus V. A. Martins, Bianca G. Rodrigues & Jocélia P. C. Oliveira

Esse trabalho reportou a obtenção e caracterização espectroscópica da sílica (SiO_2) a partir da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar. Inicialmente, otimizou-se o tratamento químico em meio básico para a diminuição do caráter orgânico das fibras. Após essa etapa as fibras foram calcinadas a 800 °C para obtenção do SiO_2 . Os espectros de infravermelho (FTIR) revelaram o desaparecimento de ligações químicas após o tratamento na solução de NaOH (0,5 mol.L⁻¹) e a presença de ligações pertencentes aos grupos de silicatos (Si-O-Si) nas cinzas. Os espectros de Difração de Raios X confirmaram a obtenção de sílica cristalina com predominância da fase quartzo.

Palavras-chave: *cana-de-açúcar; mercerização; SiO_2 .*

This work reported the obtaining and spectroscopic characterization of silica (SiO_2) from sugarcane bagasse biomass. Initially, the chemical treatment was optimized in a basic medium to reduce the organic character of the fibers. After this step, the fibers were calcined at 800 °C to obtain SiO_2 . Infrared spectra (FTIR) revealed the disappearance of chemical bonds after treatment in NaOH solution (0.5 mol. L⁻¹) and the presence of bonds belonging to silicate groups (Si-O-Si) in the ash. X ray diffraction spectra confirmed the obtaining of crystalline silica with a predominance of the quartz phase.

Keywords: *sugar cane; mercerization; SiO_2 .*

Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das principais culturas plantadas pela agroindústria brasileira. A extração do caldo de cana-de-açúcar pela indústria sucroalcooleira propicia uma quantidade considerável de subprodutos como o bagaço, que representa em torno de 30% da cana moída. Apesar de sua relevância na economia do país, visto que o Brasil é o maior produtor deste segmento no mundo, a estocagem do bagaço enfrenta problemas decorrentes da ausência de técnicas apropriadas de armazenamento e descarte, ocasionando diversos impactos ambientais. Visando o aproveitamento desse resíduo numerosos campos de estudos estão sendo desenvolvidos, como a utilização para a produção de biogás,¹ suplementação ou substituição do cimento de Portland,² fabricação do polímero polihidroxibutirato³, etc.

Das diversas possibilidades de utilização destaca-se a aplicação do bagaço para geração de energia elétrica através da calcinação. Diante disso, as cinzas provenientes da cana-de-açúcar tornam-se uma alternativa viável a uma gama de aplicações, pois apresentam acima de 60% (em massa) do dióxido de silício SiO_2 .⁴

O quartzo possui sua estrutura cristalina na forma de uma pirâmide trigonal (ver Figura 1a) constituída por tetraedros de dióxido de silício, formando uma célula cúbica de faces centradas (ver Figura 1b).

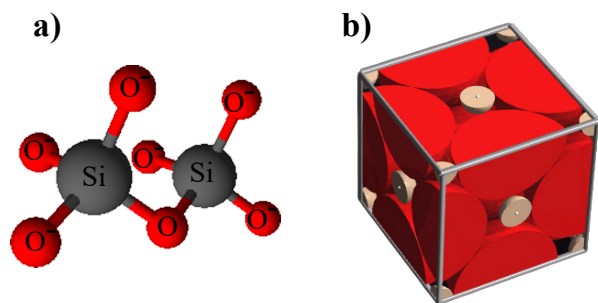


Figura 1. Representações da (a) geometria tetraédrica do SiO_2 e (b) sua célula unitária cúbica de face centrada.

De obtenção natural a sílica apresenta poliformismo, sendo três formas: o quartzo, a tridimita e a cristobalita.^{5,6} Dependendo da faixa de temperatura de calcinação o produto obtido apresentará, mediante a queima de uma dada biomassa, a predominância de umas das fases entre o quartzo, a tridimita e a cristobalita. No entanto, a fase mais estável é o quartzo, a qual pode ser obtida por calcinação na faixa de temperatura entre 700 e 900 °C.^{5,6}

Com o objetivo de maximizar as propriedades físico-químicas do SiO_2 , diversos tratamentos químicos são propostos para melhorar a interface entre a fibra de uma dada biomassa e a matriz. Dentre eles, destaca-se a mercerização, que consiste na adição de um composto alcalino em solução aquosa, objetivando a transformação físico-química das fibras lignocelulósicas. O tratamento álcali promove o rompimento das ligações de hidrogênio presentes entre as cadeias celulósicas vizinhas, aumentando a superfície de contato. As fibras tornam-se mais rugosas, o que aperfeiçoa a ancoragem da matriz polimérica.⁷ Além disso, nota-se a ação efetiva quanto à desestruturação parcial da lignina.⁸

Ao se tratar de aplicações do dióxido de silício, a literatura destaca inúmeras possibilidades como na agricultura,⁹ em células a combustível,¹⁰ na fotodegradação de poluentes,¹¹ biosensores,¹² produção de energia fotovoltaica,¹³ etc. Esse elevado potencial de aplicações desse material decorre da capacidade de controle de propriedades morfológicas¹⁴ e espectroscópicas¹⁵ e, principalmente, pela facilidade de formar compósitos¹⁶ com outras interfaces de materiais orgânicos e inorgânicos.

Mediante essas circunstâncias, este trabalho teve como objetivo estabelecer uma rota de tratamento químico em meio básico e térmico para a biomassa da cana-de-açúcar com vistas de se obter sílica (SiO_2) cristalina para futuras aplicações biotecnológicas. As fibras da cana foram caracterizadas pela espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) e pela Difratometria de Raios X (DRX) antes e após o tratamento químico e térmico para confirmar a obtenção da sílica cristalina.

Metodologia

As etapas de obtenção da sílica cristalina encontram-se resumidas no fluxograma da Figura 2 e detalhadas a seguir:

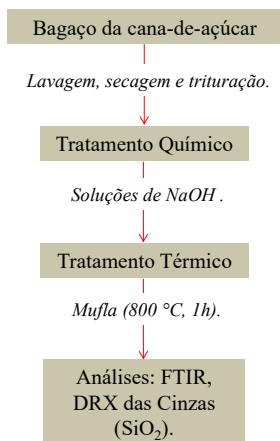


Figura 2. Fluxograma contendo as etapas de obtenção do SiO₂ cristalino.

PREPARO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

O Bagaço de cana-de-açúcar foi obtido em um comércio na cidade de Catalão-GO. Inicialmente, o bagaço da cana-de-açúcar foi lavado com água destilada para remover resíduos que pudessem ocasionar alterações nas soluções a serem preparadas. Com o auxílio de uma tesoura, o bagaço da cana foi cortado em pedaços menores para facilitar o processo de trituração no liquidificador. Em seguida, foi colocado em uma estufa por 24h, a uma temperatura de 80°C, para a secagem do material. As fibras já fragmentadas foram submetidas a um conjunto de peneiras granulométricas, de 60 a 100 mesh, aumentando ainda mais o seu grau de cominuição.

TRATAMENTO QUÍMICO POR MERCERIZAÇÃO

Com base no processo de mercerização foi feito o preparo das soluções nas concentrações 0,1, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 mol.L⁻¹. As soluções preparadas foram transferidas para béqueres contendo as fibras de cana-

de-açúcar particuladas. A biomassa ficou submersa nessas condições, separadamente em cada solução por 1 hora. Após esse tempo as soluções resultantes foram filtradas em um funil de Büchner e as fibras lavadas com água destilada até que a água de lavagem atingisse o pH neutro (7,0).

TRATAMENTO TÉRMICO EM FORNO TIPO MUFLA

Após o processo de lavagem do tratamento químico, a biomassa foi colocada em cadinhos de porcelana por 24h em estufa a uma temperatura de 80 °C. Finalmente as fibras tratadas em meio básico foram calcinadas a temperatura de 800 °C em forno do tipo mufla. Os pós de sílica obtidos foram, portanto, caracterizados por FTIR e DRX.

ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

Para analisar o comportamento espectroscópico das fibras *in natura*, tratadas em solução básica e calcinadas, empregou-se a espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) no modo de transmitância. Para isso, utilizou-se um equipamento FTIR da marca Shimadzu, modelo IR Prestige-21. Os espectros de FTIR foram obtidos na região de 4000 a 400 cm⁻¹.

Para cada uma das amostras das fibras *in natura*, tratadas em diferentes concentrações de NaOH e calcinadas, foram feitas pastilhas misturando-se 0,001g das amostras com 0,01g de KBr para a análise por FTIR.

DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Para obter informações sobre a cristalinidade tanto da fibra tratada em meio básico quanto das cinzas obtidas pela calcinação, empregou-se a Difratometria de Raios X. Para isso, utilizou-se um equipamento de modelo XRD-6100, da marca Shimadzu. Antes das análises os preparos das amostras foram feitos e transferidos para o porta-amostras e analisadas mediante à radiação λ (Cu-K α) = 1,54184 Å.

Resultados e Discussão

TRATAMENTO QUÍMICO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Morfologicamente, a estrutura física da cana-de-açúcar é constituída por quatro partes: raízes, talho, folhas e flores, com caule geralmente oco e articulado por nós sólidos e mais ou menos lenhoso, como pode ser visto na Figura 3(a).¹⁷ Após o processo físico de moagem para remoção do caldo, é gerada a biomassa, conforme visto na Figura 3(b). Quando essa biomassa é deixada sob exposição de calor ambiente, ela tende a apresentar um aspecto amarelo-esbranquiçado, devido à volatilização dos seus extratos orgânicos.¹⁷



Figura 3. Fotografias mostrando (a) Cana-de-açúcar e (b) o bagaço da cana-de-açúcar.

A fim de se reduzir o caráter orgânico da biomassa já desidratada, realizou-se o tratamento químico em diferentes concentrações de hidróxido de sódio (0,1; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 mol. L⁻¹). Neste sentido, 10 g das fibras foram colocadas dentro das diferentes concentrações de solução de NaOH, conforme pode ser visualizado na Figura 4(a). Após a reação química das fibras nas diferentes soluções de NaOH, a morfologia final das fibras ficou com um tom mais forte de amarelo, indicando possivelmente que houve uma certa modificação na estrutura química da fibra (ver Figura 4b).

ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO DAS FIBRAS *IN NATURA* E TRATADAS

Com o objetivo de analisar as modificações na estrutura química presente nas fibras da cana-de-açúcar ocasionados pela mercerização nas diferentes concentrações de NaOH, utilizou-se a espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

A Figura 5 apresenta os espectros de FTIR na região compreendida de 500 a 4000 cm⁻¹ para a fibra da cana-de-açúcar *in natura* (linha verde) e após o tratamento alcalino a 0,1 mol.L⁻¹ (linha preta), 0,5 mol.L⁻¹ (linha roxa), 1,0 mol.L⁻¹ (linha azul), 1,5 mol.L⁻¹ (linha laranja) e 2,0 mol.L⁻¹ (linha vermelha).

No espectro da fibra *in natura* (linha verde) é possível observar nitidamente as bandas associadas aos principais modos vibracionais de estiramento de ligação (ν) e deformação de ângulo de ligação (δ) presentes nos cromóforos das estruturas químicas da lignina, celulose e hemicelulose (Figura 6), conforme também reportados na literatura.¹⁸⁻²⁰

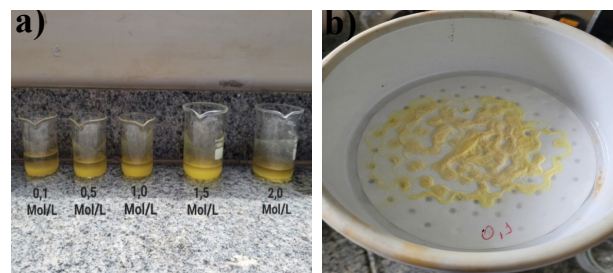


Figura 4. Fotografias mostrando (a) o tratamento em diferentes concentrações de NaOH e o (b) aspecto visual das fibras pós-tratamento.

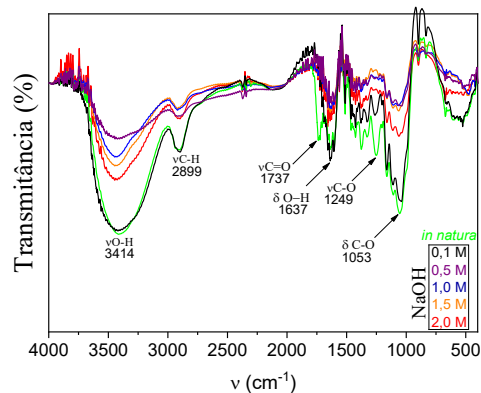


Figura 5. Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) da fibra do bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e tratada em diferentes concentrações de NaOH.

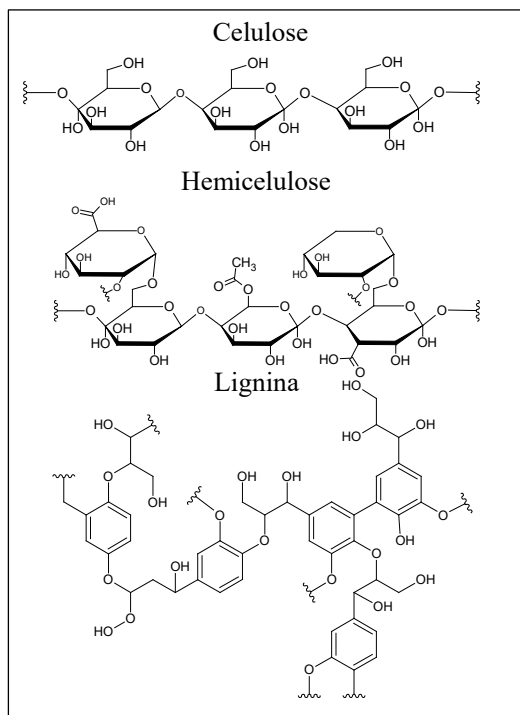


Figura 6. Representação das estruturas químicas da celulose, hemicelulose e lignina.

Especificamente, em 3414 cm^{-1} observa-se uma banda referente ao estiramento da ligação **O – H**, pertencente às estruturas químicas vistas na Figura 6. Na medida em que a fibra é tratada em diferentes concentrações de NaOH, essa banda tende a sofrer uma diminuição na sua intensidade de absorção. O mesmo comportamento é observado para o modo vibracional de estiramento da ligação **C – H**, em 2899 cm^{-1} . Em 1737 cm^{-1} (linha verde), ocorre o aparecimento do modo de vibração de estiramento da ligação **C = O** na fibra *in natura*, de ácido carboxílico da hemicelulose. Interessantemente, esse modo vibracional desaparece em todos os espectros associados à fibra tratada em meio básico. Outro modo vibracional que desaparece é o da ligação **C – O**, em 1249 cm^{-1} , na medida em que há o tratamento em meio básico. A energia associada ao modo de deformação da ligação **C – O**, em 1053 cm^{-1} , também sofre uma significativa diminuição de sua intensidade. De

um modo geral, os desaparecimentos vistos para as ligações **C = O** e **C – O** seguido da diminuição de intensidades de outras ligações indicam que o tratamento em meio básico promove alterações significativas nas estruturas químicas que constituem a fibra.²¹

Essa fibra lignocelulósica apresenta uma composição de aproximadamente 40 a 50% de celulose, 20 a 25% de hemicelulose e de 20 a 25% de lignina.²² Dessa forma, constitui-se uma matriz amorfa de lignina, conectada a fibrilas de celulose por meio da hemicelulose. Assim, o hidróxido de sódio atua sobre os constituintes da parede celular e ocasiona a hidrólise alcalina das ligações covalentes do tipo éster entre a lignina e os carboidratos estruturais.²³ Segundo a literatura, os compostos alcalinos propiciam a desestruturação dos complexos lignocelulósicos, além de solubilizar a hemicelulose e aumentar a digestibilidade da celulose pela ampliação da fração fibrosa.^{24,25}

Como o processo de tratamento das fibras na solução de NaOH na concentração de $0,5\text{ mol.L}^{-1}$ causou diminuições e desaparecimentos de ligações mais significativos, partiu-se da fibra tratada nessa solução para o processo de calcinação em temperatura de $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1h. Neste sentido, a Figura 7 apresenta o espectro da fibra tratada em NaOH na concentração de $0,5\text{ mol.L}^{-1}$ (linha preta) e da fibra tratada com NaOH ($0,5\text{ mol.L}^{-1}$) e calcinada em temperatura de $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (linha vermelha). É evidente a mudança no espectro da fibra causada após a queima. Observa-se em 3500 cm^{-1} uma banda intensa associada ao modo de estiramento ligação **O – H** de moléculas de água adsorvidas na superfície²⁶ da cinza e de deformação angular da ligação **O – H** em 1611 cm^{-1} . Segundo Tateno (2021)²⁷, essa banda em 3500 cm^{-1} também apresenta uma contribuição de grupos **O – H** de estruturas químicas orgânicas que não sofreram total combustão. A presença da hidroxila nas cinzas pode estar associada também a partes da estrutura orgânica que não sofreram 100% de calcinação, como relatado também por Castaldeli e co-autores (2016).²⁸ Bandas de interesse do material inorgânico (silicatos) podem ser vistas em 550 cm^{-1} e 1030 cm^{-1} , das quais são atribuídas, respectivamente, à vibração de deformação angular e estiramento do grupo **Si – O – Si**, conforme reportados também na

literatura.²⁹⁻³¹ A presença desses modos vibracionais associados ao grupo silicato indica que a calcinação foi bem sucedida.

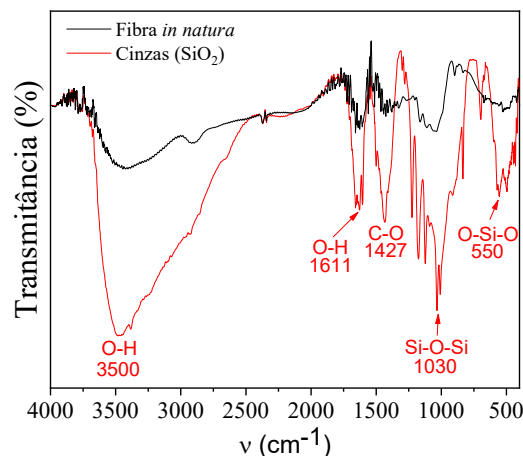


Figura 7. Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) da fibra do bagaço de cana-de-açúcar tratada a 0,5 mol/L (linha preta) e após a calcinação (linha vermelha).

DIFRAÇÃO DE RAIOS X DAS FIBRAS *IN NATURA* E TRATADAS

Empregou-se a difratometria de Raios X para analisar o comportamento cristalográfico da fibra da cana-de-açúcar antes e após o tratamento químico seguido de calcinação, variando-se o ângulo (2θ) de varredura de 10° a 80° . Neste sentido, na Figura 8(a) é perceptível a presença de uma banda larga na região de 2θ compreendida de 10° a 40° , além da ausência de picos estreitos, típica de material amorfo.^{32,33} Entretanto, após o tratamento da fibra em solução básica e calcinação em temperatura de 800°C durante uma hora, notam-se claramente alterações significativas no perfil do difratograma das cinzas, conforme pode ser visto na Figura 8(b). De acordo com a ficha cristalográfica (n° 8: 72-2310) os picos indexados nas regiões de $2\theta = 17^\circ, 20^\circ, 29^\circ, 34^\circ, 35^\circ, 37^\circ, 48^\circ, 52^\circ$ e 65° , indicam a presença de sílica (SiO_2) com uma estrutura cristalina hexagonal na sua forma de quartzo, tendo a geometria tetragonal, como visto no detalhe da Figura 8(c).^{34,35}

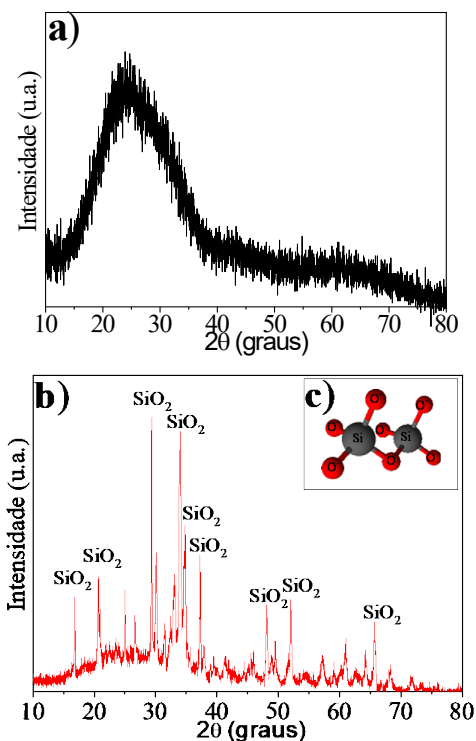


Figura 8. Difratogramas de Raios X para (a) fibras in natura do bagaço da cana-de-açúcar sem tratamento térmico, (b) cinzas (SiO_2) tratada termicamente a 800°C e (c) representação esquemática dos tetraedros que representam a estrutura cristalina do quartzo.

A rota de tratamento proposta em meio básico (NaOH , $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$), seguida da calcinação em temperatura de 800°C durante uma hora, apresentou-se extremamente viável para a produção de sílica cristalina. Isso possibilita a aplicação desse material em processos biotecnológicos, tais como: adsorção de moléculas orgânicas³⁶ e fotodegradação de corantes alimentícios.³⁷

Considerações Finais

O tratamento químico realizado na fibra do bagaço da cana-de-açúcar com a solução de NaOH na concentração de $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ mostrou-se bem-sucedido, conforme evidenciado pelos espectros de infravermelho.

A calcinação na temperatura de 800 °C durante uma hora provocou a transformação de uma matriz orgânica das fibras em uma matriz inorgânica, conforme visto pelo aparecimento dos modos vibracionais oriundos da sílica (**Si – O – Si**). A obtenção da sílica cristalina, em sua forma predominante de quartzo, foi confirmada pela Difractometria de Raios X, devido à presença de picos estreitos e de elevada intensidade.

Tanto o processo de tratamento em solução básica quanto a calcinação mostraram-se extremamente eficientes para a produção de sílica cristalina. Essa sílica apresenta-se com elevado potencial para aplicações biotecnológicas como reações de adsorção e de fotodegradação.

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos ao CNPQ, ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Júnior da UFCAT e ao Instituto de Química/UFCAT pelo auxílio na realização dos experimentos deste estudo.

Referências

- GOMES, M. G. Produção de biogás a partir de bagaço de cana-de-açúcar após pré-tratamento com ácido cítrico diluído. 215 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, **2019**. Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis.
- UENO, D.Y.; FILHO, A. A. M.; DA SILVA, J. R. R.; GONÇALVES, J. E. Análise do potencial da cinza da cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland para produção de placas cimentícias. Anais do XI Encontro Internacional de Produção Científica–EPCC, Maringá – PR, **2019**.
- TELLES, M. R. Ciência & Tecnologia: FATEC-JB **2011**, 2,52.
- CORDEIRO, G. C. Quím. Nova **2009**, 32, 82.
- GUZZO, P. L. QUARTZO. IN: LUZ, ADÃO BENVINDO DA; LINS, FERNANDO ANTÔNIO FREITAS (Ed.). Rochas e minerais industriais: usos e especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, **2008**. Cap. 31. p. 681-721.
- MARQUES, P. S. G. Caracterização e purificação de quartzo para indústria fotovoltaica. 2013. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, **2013**.
- GOMES, A.; GODA, K.; Ohgi, J. JSME Int. Journal **2004**, 47, 541.
- MARQUES, M. F. V.; MELO, R. P.; ARAÚJO, R. S., LUNZ, J. N.; AGUIAR, V. O. J. App. Polymer Sci. **2015**, 132.
- SILVA, M. F. Aplicação de SiO₂ modificado com Zn⁺ na degradação do glifosato por fotocatalise Heterogênea. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual da Paraíba. 7-Ago-**2023**.
- DRESCH, M. A.; ISIDORO, R. A.; LINARDI, M.; REY, J. F. Q.; FONSECA, F. C.; SANTIAGO, E. I. Electrochimica Acta **2013**, 94, 353.
- WILHELM P.; STEPHAN, D. J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry **2007**, 185, 19.
- YANG, H.; ZHU, Y. Biosens. Bioelectron. **2007**, 22, 2989.
- ALAMRI, H. R.; REZK, H.; ABD-ELBARY, H.; ZIEDAN, H. A.; Elnozahy, A. Coatings **2020**, 10, 503.
- QU, C.; YANG, H.; LIANG, D.; CAO, W.; Fu, Q. Appl. Polym. Sci. **2006**, 104, 2288.
- LEE, K.-J.; KANG, T.-D.; LEE, H.; HONG, S. H.; CHOI, S.-H. SEONG, T.-Y.; KIM, K. J.; MOON, D. W. Thin Solid Films **2005**, 476, 196.
- NIU, H.; TU, X.; ZHANG, S.; LI, Y.; WANG, H.; SHAO, G.; ZHANG, R.; LI, H.; ZHAO, B.; Fan, Bingbing. Chem. Eng. J. **2022**, 446, 137260.
- AUDE, M. I. S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. Ciência Rural, Santa Maria **1993**, 23, 241.
- BUI, N. Q.; FONGARLAND, P.; RATABOUL, F.; DARTIGUELONGUE, C.; CHARON, N.; VALLÉE, C.; ESSAYEM, N. Fuel Processing Technol. **2015**, 134, 378.
- GRANDMAISON, J. L.; THIBAULT, J.; KALIAGUINE, S.; CHANTAL, P.D. Anal. Chem. **1987**, 59, 2153.
- KIM, J.Y.; HWANG, H.; OH, S.; KIM, Y. S.; KIM, U. J.; CHOI, J. W. Int. J. Biol. Macromol. **2014**, 66, 57.
- SIMÃO, J. A.; CARMONA, V. B.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C.; Barsberg, S. T. Materials Research **2016**, 19, 746.
- PANDEY, A.; Soccol, C. R.; Nigam, P.; Soccol, V. T. Bioresource Technology **2000**, 74, 69.
- TARKOV, H.; FEIST, W. C. Advances in Chemistry Series **1969**, 95, 197.
- JACKSON, M.G. Animal Feed Science and Technology **1977**, 2, 105.
- KLOPFENSTEIN, T. J. Journal Animal Science **1978**, 46, 841.
- SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. CHEM. Eng. J. **2007**, 132, 267.

27. TATENO, N. S. Síntese de óxido de silício a partir do bagaço da cana-de-açúcar modificado com óxido de ferro magnético: aplicação em fotodegradação do corante amarelo de tartrazina. Catalão, Universidade Federal De Goiás, Programa De Pós-Graduação em Química – UFG, **2021**. 76 f. Dissertação de Mestrado, p.75.
28. CASTALDELLI, V. N.; MORAES, J. C. B.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; SORIANO, L.; PAYÁ, J.; TASHIMA, M. M. *Fuel* **2016**, 174, 307.
29. ANHESINE, M. W.; SANTOS, A. V.; POZZI, A. R.; SARTI, A.; THOMAZ, D. *Brazilian Journal Development* **2022**, 8, 13720.
30. FRÍAS, M.; VILLAR, E.; SAVASTANO, H. *Cement & Concrete Composites* **2011**, 33, 490.
31. NASCIMENTO, V. M. Pré-tratamento alcalino (NaOH) do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol e obtenção de xilooligômeros. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, **2011**, São Carlos.
32. FILHO, G. C. C. R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R. *Quim. Nova* **2009**, 32, 82.
33. VILLAR-COCIÑA, E.; VALENCIA-MORALES, E.; GONZALES-RODRIGUES, R.; HERNANDEZ RUÍZ, J. *Cement & Concrete Research* **2003**, 33, 517.
34. LAZARINI, R.G. Pré-tratamento de fibras de bagaço de cana-de-açúcar e seu uso em altos teores em compósitos com polipropileno via mistura termocinética. São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, **2020**. Dissertação de Mestrado, p.114.
35. CORDEIRO, G. C.; KURTIS, K. E. *Cement and Concrete Research* **2017**, 97, 41.
36. MA, M.; LU, L.; LI, H.; XIONG, Y.; Dong, F. *Polymers* **2019**, 11, 1823.
37. MATEEJKA, V.; TOKARSKY, J. J. *Nanosci. Nanotechnol.* **2014**, 14, 1597.

Maria E. S. Reis¹, Marccus V. A. Martins^{1*}, Bianca G. Rodrigues² & Jocélia P. C. Oliveira²

¹Instituto Federal Goiano – Campus Catalão

²Instituto de Química, Universidade Federal de Catalão

*E-mail: marccus.victor@ifgoiano.edu.br