

CARACTERIZAÇÃO DAS BIOMASSAS FIBRA DO SISAL, PALMA FORRAGEIRA E BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATÉRIAS PRIMAS POTENCIAIS PARA PRODUÇÃO DE QUÍMICOS

José Mariano da Silva Neto; Alberto Brandão Torres Neto; Bruno Rafael Pereira Nunes; Douglas Alexandre Saraiva Leão; Líbia de Sousa Conrado Oliveira;

Universidade Federal de Campina Grande, neto-silva@hotmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, abtneto@yahoo.com.br

Universidade Federal de Campina Grande, brunimeq@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande, douglasasl@ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, libia.oliveira@ufcg.edu.br

RESUMO

Materiais lignocelulósicos tem recebido um particular interesse de pesquisadores devido ao fato que os mesmos, ou os resíduos oriundos deles, quando submetidos a processos físicos, químicos ou biológicos, geram produtos químicos e combustíveis, agregando valor a essa biomassa. As pesquisas atuais mostram, dentro do conceito de biorrefinaria, que tecnologias alternativas à utilização de materiais lignocelulósicos podem ser aplicadas, de forma que se tenha a ideia de um desenvolvimento de plataformas químicas por meio de tecnologias integradas de biomassa. A palma forrageira, a fibra do sisal e o bagaço da cana-de-açúcar são materiais composto basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, sendo assim, alternativas para produção de químicos no Nordeste brasileiro, visto que apresentam um considerável teor de carboidratos que podem ser degradados em açúcares fermentescíveis. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os teores de umidade, cinzas, extrativos, e principalmente o teor de fibras, tais como, lignina, hemicelulose e alfa-celulose. Com isso, verificou-se após a caracterização que essas culturas têm percentuais de fibras que podem ser potencialmente usadas como substratos, em maior ou menor grau, para produção, por exemplo, de etanol de segunda geração, quando extraída a glicose da celulose, ou de xilitol, adoçante usado na indústria alimentícia, quando solubilizado a xilose da hemicelulose. Os valores de celulose obtidos e expressos em base seca foram $48,82\% \pm 1,21,36$, $43\% \pm 0,69$ e $37,34\% \pm 3,96$ e os valores de hemicelulose obtidos foram $21,56\% \pm 1,20$, $10,88\% \pm 2,96$ e $34,04\% \pm 1,10$ para o bagaço da cana-de-açúcar, palma forrageira, fibra do sisal respectivamente.

Palavras-chave: material lignocelulósico, caracterização, carboidratos.

1. INTRODUÇÃO

Do ponto de vista energético a biomassa é toda matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia (ANEEL, 2002). Diversas são as vantagens na utilização desse tipo de matéria-prima, seja por meio de aproveitamento por meio da combustão

em fornos e caldeiras, como nas indústrias sucroalcooleiras, ou sua utilização para produção de químicos, reduzindo assim os impactos socioambientais (CARDOSO,2012).

Por ser considerada uma fonte energética limpa e renovável, o interesse na utilização de biomassa ganhou espaço no mercado de energia, passando a ser considerada uma boa alternativa para a diversificação da matriz energética mundial e conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis. De acordo com um relatório divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no ano de 2014, a produção de etanol total a partir da cana-de-açúcar fechou em 29 bilhões de litros, sendo o combustível renovável com maior produção no Brasil. Porém, estudiosos preveem que esse material não seja capaz de atender a demanda que o etanol poderá requerer em um futuro próximo. É nessa previsão que estudiosos tem se voltado a pesquisar a produção de etanol utilizando-se de materiais lignocelulósicos por dois motivos fundamentais: não irão competir com culturas alimentares e por estes serem menos onerosos que os convencionais. Além disso, o aproveitamento dessas biomassas irá agregar valor a essas culturas que ainda são poucas aproveitadas para fins energéticos.

Diante desse fato pesquisas têm sido desenvolvidas objetivando obter açúcares que possam ser transformados bioquimicamente em etanol. Leão (2014), por exemplo, estudou a potencialidade de produção de etanol a partir da fibra do sisal utilizando as rotas ácida e enzimática para a produção dos açúcares. Li et al (2014) estudou a produção desses açúcares por meio de um melhoramento ultrassônico usando o HCl-FeCl₃ como catalisador. Silva et al (2012) estudou a hidrólise da celulose por catalisadores mesoestruturados NiO-MCM-41 e MoO₃-MCM-41. Torres Neto (2014) estudou a produção de bioetanol a partir da hidrólise ácida e enzimática da palma forrageira. Nunes (2015) fez uma avaliação do uso da argila vermiculita como catalisador no processo de hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar.

Além da produção de biocombustíveis, esses materiais lignocelulósicos vem sendo estudados para a produção de outras biomoléculas como enzimas e açúcares de grande valor comercial, como o xilitol, por exemplo. Amorim (2010) estudou a produção de celulasas por fermentação semi-sólida em bagaço de caju (*AnarcadiumOrcidentalle* Lineu) utilizando o microrganismo *Trichoderma* sp. Moraes (2008) estudou a viabilidade econômica da produção de xilitol a partir de hidrolisado hemicelulósico de palha de cevada e Lima (2015) avaliou a obtenção de xilitol por *Candida guilliermondii* CCT-3544 utilizando o hidrolisado do bagaço do pedúnculo do caju.

O sisal aparece como uma matéria-prima ideal para a produção desses químicos pelo seu custo relativamente baixo de biomassa e por não ser usado como fonte de alimento e, ao mesmo tempo, apresentar alto teor de celulose. Por essa fibra ser rica em celulose (67-78%), possuir hemicelulose (10-4,2%) e lignina (8-11%), de acordo com Leão (2014), um estudo com esse material amplamente cultivado no estado da Paraíba e em outros estados do Nordeste brasileiro agregaria algum valor ao mesmo, sendo uma alternativa bastante promissora para a produção de uma fonte energética limpa e sustentável.

A palma forrageira é uma planta da família das cactáceas, sendo sua principal utilização para alimentação de ruminantes. No nordeste do Brasil, são cultivadas principalmente as espécies *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, que se destacaram como importantes forrageiras na região semi-árida, cultivadas em centenas de milhares de hectares (Menezes et al., 2005). Essa fibra apresenta-se como uma potencial matéria-prima segundo Oliveira et al. (2015) devido ao seu baixo teor de lignina (4%), sendo a lignina uma barreira para o acesso de enzimas a molécula de celulose, quanto menor esse teor mais fácil será o acesso ao principal carboidrato que pode ser degradado em açúcares fermentescíveis.

E o bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto da produção de açúcar e álcool e vêm sendo utilizado pelas usinas na geração de calor e para produção de energia elétrica, porém, devido à grande quantidade produzida, ainda há um excedente que pode ser utilizado para outros fins. Devido à sua composição, o bagaço de cana apresenta grande potencial de aproveitamento, uma vez que, através do processo de hidrólise é possível extrair grande parte das pentoses e parte das hexoses da biomassa lignocelulósica, sendo que, através de processos fermentativos podem ser obtidos produtos de alto valor agregado como xilitol e etanol.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou determinar, por meio de caracterização físico-química, o teor das fibras de hemicelulose, celulose e lignina e avaliar a potencialidade da palma forrageira, bagaço da cana-de-açúcar e fibra do sisal para a produção, especialmente, de xilose, substrato para produção de xilitol, e glicose, substrato para produção de etanol.

2. METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho foram utilizadas as fibras de sisal provenientes da Fazenda Montevidéu no município de Nova Floresta, PB, a palma forrageira (tipo gigante) doada pelo proprietário de uma fazenda localizada no Distrito de Caluête, Município de Boa Vista, cariri

paraibano e o bagaço de cana-de-açúcar utilizado durante a realização do projeto foi cedido pela destilaria GIASA.

2.1 Pré-tratamento físico

As fibras de sisal foram moídas em um moinho de facas, modelo MA048 da Marconi, em malha 30 mesh. Após o processo de moagem, as fibras foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar, por aproximadamente 24 h, na temperatura de 55 °C para obtenção da matéria seca.

Os cladódios da palma foram cortados em cubos, colocados em bandejas de aço inox perfuradas e levados a um secador de leito fixo para retirada da maior parte da umidade inicial. Depois de retirada maior parte da umidade, os cladódios em cubos foram colocados em bandejas de plástico e levados à estufa com circulação de ar, por aproximadamente 72 h, na temperatura de 55 °C para obtenção da matéria seca, pesando-se a mesma até massa constante. Após a secagem, os mesmos foram triturados em liquidificador comercial e armazenados em recipientes de plásticos hermeticamente fechados.

Após o recebimento, o bagaço da cana-de-açúcar foi moído e peneirado, em malha 30 mesh, em um moinho de facas, modelo MA048 da Marconi. Após o processo de moagem e peneiramento, o bagaço foi submetido à secagem em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 55°C.

2.2 Caracterização físico-química dos materiais lignocelulósicos

Para a caracterização dos materiais em estudo foi utilizada a metodologia baseada nos procedimentos de material lignocelulósicos, das normas TAPPI citadas e adaptadas por Morais et *al.* (2010).

2.3 Cálculo das quantidades de glicose e xilose teóricas

Com os resultados obtidos na caracterização das três biomassas, é possível o cálculo da quantidade de glicose e xilose que poderão ser obtidas em um futuro processo de hidrólise desses materiais. As Equações 1 e 2 definem as massas de glicose e xilose que podem ser obtidas a partir da celulose e hemicelulose, respectivamente, conforme XU et al., (2013).

$$M_{\text{glicose}} = \frac{M_{\text{celulose}}}{0,9} \quad (1)$$

$$M_{\text{xilose}} = \frac{M_{\text{hemicelulose}}}{0,88} \quad (2)$$

Em que:

M_{glicose} = massa de glicose por tonelada de celulose.

M_{celulose} = massa de celulose presente no material antes da hidrólise.

M_{xilose} = massa de xilose por tonelada de celulose.

$M_{\text{hemicelulose}}$ = massa de hemicelulose presente no material antes da hidrólise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do material lignocelulósico

Os valores referentes aos teores das fibras do sisal, palma forrageira e cana-de açúcar encontrados no presente trabalho, são apresentados em tabelas, bem como, valores dos teores dessas fibras, reportados por trabalhos disponíveis na literatura científica.

A Tabela 1 apresenta os teores das fibras de sisal, bem como, a comparação com dados da literatura

Tabela 1- Percentual dos teores da fibra do sisal

| Parâmetros | Sisal (%) ⁰ | Sisal (%) ¹ | Sisal (%) ² |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Umidade | 7,28 ± 0,17 | Não avaliado | 5,59 ± 0,32 |
| Extrativos | 9,90 ± 0,21 | 29±1,2 | 7,22 ± 0,06 |
| Hemicelulos | | | 15,21 ± 2,14 |
| e | 21,56 ± 1,20 | 22,8±1,2 | |
| Cinzas | 1,35 ± 0,04 | 6,0±0,1 | 2,4 ± 0,17 |
| Lignina | 14,92 ± 0,48 | 13,8±1,3 | 11,08 ± 0,17 |
| Holocelulose | 70,37 ± 0,80 | 48,8±1,2 | 73,61 ± 1,92 |
| Alfa-celulose | 48,82 ± 1,21 | 26,0±1,2 | 58,40 ± 0,94 |

⁰ Este trabalho

¹ YANG et al. (2015)

² LEÃO (2014)

Observando os resultados dispostos na Tabela 1 pode-se fazer uma comparação com os teores de fibras encontradas no presente trabalho com outros da literatura através dos valores médios e seus respectivos desvios padrões. Verifica-se que a fibra do sisal deste trabalho apresentou uma composição similar à encontrada por Yang *et al* (2015), apesar do mesmo ter utilizado as folhas do sisal e não apenas a fibra como no presente estudo. Os teores semelhantes foram de hemicelulose e lignina, observou-se que quando se utiliza o limite superior os valores são 22,76%⁰ e 24%¹ para a hemicelulose, porém, uma discrepância em relação ao teor reportado por Leão (2015), 17,35%², que pode ser justificada por fatores como o clima em que foi cultivada, já que a colheita foi realizada na mesma região geográfica.

Quando se analisa os teores de cinzas e extrativos encontrados por Yang *et al* (2015), nota-se uma considerável variação, 10% para extrativos e 4,7% para cinzas, quando comparado aos valores obtidos nesse trabalho. Possivelmente, essa variação é devido a utilização das folhas do sisal ao invés apenas das fibras, condição utilizada no presente estudo.

Entretanto, quando se compara o teor de holocelulose e lignina do presente trabalho com os resultados obtidos por Leão (2014), ambos utilizaram o mesmo método para a determinação e a fibra provém do mesmo local de cultivo, observa-se uma maior semelhança.

Ao se comparar os valores de alfa-celulose observa-se uma discrepância entre os três trabalhos, a fibra utilizada por Yang *et. al.* (2015), apresentou um valor muito abaixo do encontrado por esse trabalho e também por Leão (2015), chegando a uma diferença de aproximadamente 23% quando se compara as médias com seus limites superiores. Neste caso, a região geográfica de plantio, o método e a época do plantio e da colheita bem como, os diferentes métodos usados para a determinação influenciaram significativamente para o teor de celulose dessas biomassas.

A Tabela 2 apresenta os dados encontrados na caracterização da palma forrageira.

Tabela 2- Caracterização físico-química da palma forrageira

| Parâmetros | Palma forrageira | Palma forrageira | Palma forrageira |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| | (%) ⁰ | (%) ¹ | (%) ² |
| Umidade | 11,14±0,66 | 5,93±0,17 | Não avaliado |
| Extrativos | 16,90±1,10 | 9,69±0,59 | 25,00±0,9 |
| Hemicelulose | 10,88±2,96 | 19,97±1,25 | 18,5±0,7 |
| Cinzas | 17,73±0,72 | 5,95±1,16 | 23,7±0,1 |
| Lignina | 3,36±0,32 | 15,72±0,21 | 12,3±1,1 |
| Holocelulose | 48,22±0,76 | Não avaliado | Não avaliado |
| Alfa-celulose | 37,34±3,96 | 34,86±0,33 | 13,1±0,7 |

⁰ Este trabalho

¹SOUZA FILHO (2014)

Dos resultados obtidos da caracterização da palma apresentados na Tabela 2 verificou-se um baixo teor de lignina e hemicelulose neste material comparado com outras caracterizações encontradas na literatura. Enquanto para a palma forrageira o teor de lignina e hemicelulose foram, respectivamente, 3,68 e 13,84, utilizando-se a média com seus limites superiores, Souza Filho (2014) estudando a produção de etanol e enzimas celulolíticas a partir da palma forrageira encontrou um teor de lignina em torno de 15,93 e 21,22 para a hemicelulose, já Yang (2015) encontrou um valor de 13,4 e 18,75 para a lignina e hemicelulose, respectivamente. Essas variações observadas podem ocorrer devido a fatores como o clima em que foi cultivada, o método e a época do plantio e da colheita,

Quanto aos teores de celulose, os valores encontrados por Souza Filho (2014) aproximam-se ao encontrado neste trabalho quando leva-se em consideração o desvio padrão, entretanto, esses diferem significativamente pelo valor encontrado por Yang (2015), sendo o valor encontrado por essa autora cerca de três vezes menor.

Agora, analisando os resultados dispostos na Tabela 3, verifica-se a comparação entre os resultados obtidos para o bagaço da cana-de-açúcar e aos encontrados na literatura.

Tabela 3- Caracterização físico-química do bagaço da cana-de-açúcar

| Parâmetros | Bagaço da cana-de-açúcar (%)⁰ | Bagaço da cana-de-açúcar (%)¹ | Bagaço da cana-de-açúcar (%)² |
|----------------------|---|---|---|
| Umidade | 7,68±0,16 | Não avaliado | 14,18 ± 0,24 |
| Extrativos | 6,09±0,17 | 5,1±0,4 | Não avaliado |
| Hemicelulos | 34,04±1,10 | 29,4±1,7 | 22,9 ± 0,67 |
| e | | | |
| Cinzas | 0,89±0,12 | 4,9±1,1 | Não avaliado |
| Lignina | 14,92±0,48 | 21,7±0,3 | 17,52 ± 0,65 |
| Holocelulose | 70,47±0,76 | Não avaliado | Não avaliado |
| Alfa-celulose | 36,43±0,69 | 38,8±1,4 | 44,43 ± 0,86 |

⁰ Este trabalho

¹NASCIMENTO (2011)

²MARYANA et al. (2014)

Considerando os principais constituintes, observa-se que o teor de alfa-celulose se encontra no mesmo patamar que os valores apresentados nos estudos realizados por Nascimento (2011), analisando-se novamente a média e o limite superior. Todavia, a concentração de hemicelulose é superior ao encontrado pelos outros dois trabalhos, chegando a uma diferença de 24% do valor

reportado por Maryana et. al (2014). O teor de lignina teve uma diferença entre os três trabalhos, apresentado uma variação considerável quando comparado ao trabalho de Nascimento (2011), uma diferença de aproximadamente 7%.

De forma geral, os valores presentes na Tabela 3, referentes aos principais constituintes do bagaço de cana, se encontram dentro do mesmo patamar e as variações ocorridas entre esses valores podem ser devidos principalmente a variedade da cana-de-açúcar utilizada bem como época do da colheita e a localização do cultivo.

Diante do que foi apresentado anteriormente observa-se que os três materiais estudados apresentam teores significativos de celulose, carboidrato que pode ser degradado em açúcares fermentescíveis. Nesse contexto, baseado no trabalho de XU et al. (2013) utilizou-se as Equações 1 e 2 para o cálculo da quantidade teórica de glicose e xilose por tonelada de celulose e hemicelulose, respectivamente, que poderiam ser obtidas em um processo altamente eficiente de hidrólise dessas macromoléculas.

A Tabela 4 apresenta o comparativo dos valores encontrados para a celulose desses materiais, bem como, quantidade de glicose teórica por tonelada que poderá ser obtida considerando o rendimento em sua totalidade.

Tabela 4- Percentual de celulose e valor teórico de glicose que pode ser obtido a partir da degradação dessa macromolécula

| Parâmetros | Celulose (%) | Glicose (kg /tonelada de celulose) |
|---------------------------------|---------------------|---|
| Fibra do sisal | 48,82 ± 1,21 | 542,44 |
| Palma Forrageira | 37,34±3,96 | 414,89 |
| Bagaço da cana-de-açúcar | 36,43±0,69 | 404,78 |

Com isso observa-se que dentre as três biomassas, a fibra do sisal foi a que apresentou o maior potencial para a produção de glicose, considerando o rendimento em sua totalidade. Já a Tabela 5 apresenta o valor teórico para hemicelulose e a quantidade de xilose que poderá ser obtida caso se consiga a solubilização total desse açúcar partindo de 1 tonelada de hemicelulose.

Tabela 5- Percentual de hemicelulose e valor teórico de xilose que pode ser obtido a partir da degradação dessa macromolécula

| Parâmetros | Hemicelulose (%) | Xilose (kg /tonelada de hemicelulose) |
|---------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Fibra do sisal | 21,56 ± 1,20 | 245,00 |
| Palma Forrageira | 10,88±2,96 | 123,64 |
| Bagaço da cana-de-açúcar | 34,04±1,10 | 386,82 |

Analisando os dados dispostos na Tabela 5 observa-se que o bagaço da cana-de-açúcar se apresenta como promissora matéria-prima para a produção de xilitol, por exemplo, devido ao seu considerável teor de xilose que poderá ser obtida na degradação da hemicelulose.

4. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos da caracterização físico-química dos três materiais lignocelulósicos apresentados, pode-se concluir que a fibra do sisal foi o material estudado que apresentou o maior teor de celulose ($48,82 \pm 1,21\%$) sendo promissor para a produção de etanol de segunda geração devido ao teor considerável desse carboidrato e também para a produção de enzimas celulasas que são de grande interesse na indústria biotecnológica. Quanto ao teor de hemicelulose, o bagaço da cana-de-açúcar se destacou com um percentual de $34,04 \pm 1,10\%$, mostrando assim o seu potencial para a produção de produtos à base de pentoses, como o xilitol. Portanto, analisando essas caracterizações pôde-se perceber o potencial desses materiais lignocelulósicos para o desenvolvimento de produtos com alto valor agregado e assim contribuindo para o crescimento de regiões do semiárido nordestino.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, B.C. Estudo da produção de celulasas por fermentação semi-sólida em bagaço de caju (*Anacardium occidentale* L.) utilizando o microrganismo *Trichoderma* sp. 2010. 86 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

ANEEL, 2012, Banco de Informações de Geração. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/> . Acesso em: 19/10/2016.

CARDOSO, B. M. Uso da biomassa como alternativa energética. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 94p.2012.

LEÃO, D.A.S. Potencialidade de obtenção de etanol a partir da fibra do sisal. 2014. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

LI, JINBAO; ZANG, XIANGRONG; ZANG, MEIYUN; XIU, HUIJUAN; HE, HANG. Ultrasonic enhance acid hydrolysis selectivity of cellulose with HCl-FeCl₃ as catalyst. CarbohydratePolymers. Vol.117, p. 917–922, 2014.

LIMA, F.C.S, SILVA, F.L.H.S, GOMES, J.P., SANTOS, S.F.M, MEDEIROS, L.L. Obtenção biotecnológica de xilitol por candidaguilliermondii cct-3544 utilizando hidrolisado do bagaço do pedúnculo de caju. Anais SINAFERM 2015. Vol. 01. 2015

MARYANA, R., MA'RIFATUN, D., WHENI, A. I., RIZAL, W. A., SATRIYO, K. W. Alkaline Pretreatment on Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production, Energy Procedia, 47, p. 250 – 254, 2014.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Fisiologia da Palma. Editora Universitária UFPE, 2005.

MORAES, E. J. C. Estudo de Viabilidade econômica da produção de xilitol a partir de hidrolisado hemicelulósico de palha de cevada. Lorena, 2008. 157p. (Tese de Doutorado, FAENQUIL, USP).

MORAIS, J.P.S.; ROSA, J. M; MARCONCINI, M. F. Procedimentos para análise lignocelulósica, Campina Grande: Embrapa Algodão, Documentos, 236, 54 p, 2010.

NASCIMENTO, V. M. Pré-Tratamento Alcalino (NaOH) do Bagaço de Cana-deAçúcar para a Produção de Etanol e Obtenção de Xilooligômeros, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2011.

NUNES, B.R.P. Avaliação do uso da argila vermiculita como catalisador no processo de hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. 139p. 2015.

OLIVEIRA, L.S.C.; TORRES NETO, A.B; SILVA NETO, J.M.; AZEVEDO, B. Acompanhamento cinético da hidrólise enzimática da celulose da palma forrageira. Anais do XX Simpósio Nacional de Bioprocessos. Fortaleza, CE. Vol. 1. 2015

SALAZAR, V.L.P.; LEO, A.L. Biodegradação das fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva. Energia Agrícola.21 (2): 99-133. 2006

SILVA, A. S., Pré-Tratamento Do Bagaço De Cana-De-Açúcar Com Líquidos Iônicos: Efeito Na Desestruturação Da Parede Celular E Na Eficiência Da Hidrólise Enzimática, Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2013.

SILVA, A. S.; SILVA, F.L.H.; CARVALHO, W.N.C; PEREIRA, K.R.O.; LIMA, E.E. Hidrólise de celulose por catalisadores mesoestruturados NiO-MCM-41 e MoO₃-MCM-41. Química Nova. Vol.35, p. 683-688. 2012.

TORRES NETO, A.B. Produção de bioetanol a partir da hidrólise ácida e enzimática da palma forrageira. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. 85p. 2014.

YANG, L.; LU, M.; CARL, S.; MAYER, A, J.; CUSHMAN, J. C.; TIAN, E.; HONGFEI LIN. Biomass characterization of Agave and Opuntia as potential biofuel feedstocks. Biomass and Bioenergy, v.76, p. 43-53, 2015

XU, J., ZHOU, L., LIU, Z., SHI, M., DU, S., SU, Y., YANG, X., Sulfonated hierarchical H-USY zeolite for efficient hydrolysis of hemicellulose/cellulose, Carbohydrate Polymers, 98, p. 146-151, 2013.

