

VALORIZAÇÃO DA PALHA DE MILHO: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO LIGNOCELULÓSICA

José Raí de Jesus Coelho¹, Rosiane dos Santos², Roberto Rodrigues de Souza^{1,2}

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Química (PEQ) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil (raijcoelho@hotmail.com)

²Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil

A palha de milho constitui um resíduo agroindustrial abundante com potencial para aplicações sustentáveis de maior valor agregado. Este estudo teve como objetivo realizar sua caracterização físico-química e avaliar a composição lignocelulósica. Foram determinados os teores de umidade, cinzas, extrativos, lignina, α -celulose e hemicelulose. Os resultados evidenciaram composição compatível com a literatura, confirmando o potencial da biomassa para processos de valorização e obtenção de bioprodutos.

Palavras-chave: Palha de milho; Resíduo agroindustrial; Biomassa lignocelulósica; Celulose.

INTRODUÇÃO

Entre as principais culturas agrícolas do mundo, o milho constitui uma das commodities de maior importância econômica, em virtude de sua ampla produção, elevada versatilidade de aplicações e expressiva participação no comércio internacional. Atualmente, destaca-se como cereal de maior volume de produção global, com projeções que indicam sua consolidação como uma das culturas mais cultivadas e comercializadas nas próximas décadas (Erenstein et al., 2022). Estima-se que, até 2040, a produção mundial de milho aumente significativamente, atingindo 1.790 Mt (Frumuzachi et al., 2025).

Como consequência dessa expressiva produção, são geradas grandes quantidades de resíduos agrícolas, sendo a palha, o colmo, as folhas e o sabugo os principais constituintes (PNE, 2007). No caso específico da palha, estima-se a geração global de aproximadamente um bilhão de toneladas métricas por ano, equivalente a 47-50% da massa seca total produzida, após colheita dos grãos (Shah et al., 2025; Zabed et al., 2023). No entanto, assim como acontece com maior parte dos resíduos agroindustriais, a palha do milho ainda é frequentemente subutilizada, ou descartada, o que resulta em impactos ambientais e no subaproveitamento de seu potencial econômico (Maqsood et al., 2025; Ochoa-Castaño et al., 2025).

Em contrapartida, a crescente demanda global por alimentos, energia e materiais sustentáveis tem

impulsionado o aproveitamento integral de biomassas agrícolas, conferindo aos resíduos lignocelulósicos, como a palha de milho, importante potencial para o desenvolvimento de processos alinhados aos princípios da economia circular. Nesse cenário, além do milho, culturas de elevada relevância econômica como cana de açúcar, arroz e trigo, destacam-se como fontes importantes de biomassa lignocelulósica em razão de sua disponibilidade e composição química (Siqueira et al., 2022).

As diferentes frações residuais do milho apresentam variações relevantes nos teores de celulose, hemicelulose e lignina. Estudos comparativos indicam que a palha pode apresentar maiores concentrações de celulose em relação ao colmo e ao pericarpo (casca do grão), com teor de até 45,7%, conforme reportado por Ibrahim e colaboradores (2019).

Embora alguns autores tenham relatado maiores teores de celulose no colmo do milho, a palha se destaca pela combinação entre elevado conteúdo celulósico e menor recalcitrância estrutural. Com teor médio de lignina próximo de 11%, inferior ao observado para o sabugo do milho (15%) e para outros resíduos agrícolas amplamente explorados, como palha de trigo (19%), palha de arroz (20%) e bagaço de cana-de-açúcar (22%) (Motshabi et al., 2025), a palha de milho pode demandar pré-tratamentos menos severos e favorecer a obtenção de celulose com maior eficiência.

Dentre os principais constituintes lignocelulósicos presentes na palha do milho, a celulose tem sido amplamente investigada na literatura, principalmente devido às suas propriedades físico-químicas e mecânicas e à sua versatilidade como biopolímero natural, fatores que favorecem sua utilização na produção de compostos de alto valor agregado (Marinho, 2025; Zhang et al., 2025).

Como recurso renovável, a palha de milho apresenta ampla capacidade de aproveitamento no contexto da agricultura e do desenvolvimento sustentável (Fu, Zhang e Guan, 2023). Em virtude de seu potencial econômico e ambiental, esse resíduo pode ser convertido em biocombustíveis e produtos bioquímicos (Xie et al., 2022; Zabed et al., 2023). Outrossim, a palha de milho representa alternativa promissora para a obtenção de materiais celulósicos, incluindo nanocelulose, bioplásticos e outros derivados químicos destinados a aplicações biotecnológicas e industriais com elevado valor comercial.

Diante desse cenário, a caracterização físico-química é uma etapa indispensável para avaliação das possibilidades de aproveitamento de biomassas lignocelulósicas. Propriedades como teores de celulose, hemicelulose, lignina, umidade e cinzas influenciam na escolha da rota de conversão e a capacidade energética da biomassa (Anukam e Berghel, 2021). Essas análises podem fornecer informações cruciais sobre a composição estrutural do material e permitem prever seu comportamento durante etapas de pré-tratamento, deslignificação e conversão em bioprodutos e outros compostos de interesse industrial.

O presente estudo teve como objetivo realizar a caracterização físico-química da palha do milho, com o intuito de avaliar seu potencial como biomassa lignocelulósica para aplicações de maior valor agregado. Para isso, a biomassa foi submetida a etapas de beneficiamento, de modo a garantir maior homogeneidade das amostras analisadas. Em seguida, foram determinados os teores de celulose, hemicelulose, lignina, cinzas e umidade, parâmetros essenciais para a compreensão da composição estrutural do material e para a análise de sua adequação em processos de conversão e aproveitamento tecnológico. Os resultados obtidos poderão contribuir para a valorização desse resíduo agroindustrial, fornecendo informações relevantes para o isolamento da celulose e futuras aplicações em processos de obtenção de bioprodutos e materiais de origem renovável.

MATERIAL E MÉTODOS

Beneficiamento da palha de milho e produção da biomassa lignocelulósica

A palha de milho foi lavada para remoção de impurezas e seca em estufa a 60°C por 48 horas. Após secagem, a palha foi cortada e triturada a fim de reduzir a granulometria e produzir a biomassa final. Após peneiramento, foi selecionada a fração de trabalho contendo 40 Mesh.

Caracterização físico-química da biomassa lignocelulósica da palha de milho

A composição química da biomassa foi determinada com base em metodologias adaptadas dos protocolos do National Renewable Energy Laboratory (NREL) para determinação de teor de umidade, cinzas, extrativos e lignina, e do Manual de Procedimentos para Análise Lignocelulósica desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para determinação das frações de α -celulose e hemicelulose, como descrito na Tabela 1, considerando as especificidades da biomassa e os objetivos do estudo.

Tabela 1- Procedimentos analíticos para determinação da composição química da biomassa.

Análise	Procedimento
Umidade	SLUITER, HAMES, et al., 2008.
Cinzas	SLUITER, HAMES, et al., 2005.
Extrativos	SLUITER, RUIZ, et al., 2005.
Lignina	SLUITER, HAMES, et al., 2012.
Celulose e Hemicelulose	MORAIS, ROSA e MARCONCINI, 2010.

Fonte: Os autores, (2026).

Determinação do teor de Umidade

As análises foram realizadas em triplicatas, utilizando-se 2g de biomassa de palha de milho. As amostras foram mantidas em estufa à temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingir massa constante. O teor de umidade foi calculado por meio da Equação 1 e o resultado reportado em termos de amostra seca:

$$T_{\text{Umidade}}(\%) = \left(\frac{mA_{\text{úmida}} - mA_{\text{seca}}}{mA_{\text{úmida}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$mA_{\text{úmida}}$ = massa inicial da amostra de biomassa úmida (g);

mA_{seca} = massa final da amostra de biomassa seca (g).

Determinação do teor de Cinzas

O método foi adaptado a fim de quantificar a matéria residual na biomassa após oxidação a seco em temperatura de 800°C e assim, expressar o resultado percentual de cinzas presente na biomassa, utilizando-se cerca de 1g da biomassa.

O teor de cinzas foi calculado por meio da Equação 2:

$$T_{\text{Cinzas}} = \left(\frac{m_{\text{Cinzas}}}{m_{\text{A}_{\text{Inicial}}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

m_{Cinzas} = massa de cinzas na biomassa (g);

$m_{\text{A}_{\text{Inicial}}}$ = massa inicial da amostra de biomassa livre de umidade (g).

Determinação do teor de Extrativos

O método utilizado permite determinar a concentração percentual de extrativos em compostos não estruturais solúveis presentes na biomassa lignocelulósica e os resultados são expressos com base no peso seco da amostra.

As análises foram conduzidas em duplicatas, utilizando-se aproximadamente 4g de biomassa seca em refluxo até que o líquido em torno do cartucho estivesse incolor. Os resíduos sólidos resultantes das sucessivas extrações foram mantidos em estufa até peso constante. Ao final, o teor de extrativos foi calculado por meio da Equação 3:

$$TE (\%) = \left(\frac{m_{\text{Biomassa}} - m_{\text{Extrativos}}}{m_{\text{Biomassa}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

m_{Biomassa} = massa de biomassa livre de umidade (g);

$m_{\text{Extrativos}}$ = massa de extrativos após secagem (g).

Determinação do teor de lignina insolúvel

A determinação do teor de lignina insolúvel da biomassa de palha de milho foi conduzida em duas etapas: hidrólise ácida concentrada e hidrólise ácida diluída, com o objetivo de fracionar a biomassa em componentes menos complexos e de fácil quantificação. Todos os ensaios foram conduzidos em duplicatas.

Esses procedimentos garantem que a lignina presente seja fracionada em duas frações, uma fração líquida, rica em lignina solúvel e outra fração sólida onde permanece lignina insolúvel.

As frações sólidas, foram lavadas até pH neutro e, em seguida secas à temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante.

As biomassas remanescentes do processo de hidrólise ácida, contém material inorgânico insolúvel em ácido, o que exige sua quantificação. A quantificação desses compostos foi realizada seguindo-se o mesmo procedimento descrito para a determinação do teor de cinzas da biomassa.

O cálculo do teor de lignina insolúvel presente na biomassa de palha de milho foi realizado utilizando-se a Equação 4:

$$Lig_{\text{Insolúvel}} (\%) = \left[\left(\frac{m_{\text{A}_{\text{seca}}}}{m_{\text{A}_{\text{Inicial}}}} \right) \times 100 \right] - T_{\text{Cinzas}} \quad (4)$$

Onde:

$m_{\text{A}_{\text{Inicial}}}$ = massa inicial da amostra (g);

$m_{\text{A}_{\text{seca}}}$ = massa da amostra seca (g);

T_{Cinzas} = teor de cinzas resultante do processo de hidrólise ácida

Determinação dos teores de Celulose e Hemicelulose

A quantificação dos teores de hemicelulose e celulose (α -celulose) presentes na biomassa provenientes de palha de milho foi realizado utilizando-se técnica que leva em consideração a quantidade de holocelulose contida na biomassa, uma vez que esta consiste no complexo formado entre os carboidratos e celulose do material lignocelulósico. Desta forma, pela diferença entre as quantidades de holocelulose e celulose presentes, pode-se determinar o teor de hemicelulose da biomassa.

Inicialmente foi determinado o teor de holocelulose a partir de 3 g de biomassa previamente seca, livre de umidade e extrativos. O material foi submetido a tratamento químico com adição de clorito de sódio (80% de pureza) e ácido acético glacial. A mistura reacional foi mantida sob agitação constante em banho térmico a $70 \pm 2^\circ\text{C}$ num tempo total de 5 horas, nas quais foram adicionados os reagentes em intervalos periódicos. Em seguida, a fim de interromper a reação, o sistema foi mantido em banho de gelo por 30 minutos e depois filtrado. A massa sólida resultante, foi lavada com água destilada até atingir pH neutro e posteriormente seca à temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante. O teor de holocelulose foi calculado conforme a Equação 5:

$$THo (\%) = \left(\frac{m_{\text{Holocelulose}}}{m_{\text{A}_{\text{Inicial}}}} \right) \times 100 \quad (5)$$

Onde:

$m_{\text{Holocelulose}}$ = massa de holocelulose obtida após secagem (g);

$m_{\text{A}_{\text{Inicial}}}$ = massa inicial de biomassa utilizada na reação (g).

A determinação da α -celulose presente na biomassa foi realizada tomando-se aproximadamente 1g da holocelulose, submetida a tratamento com solução de hidróxido de Sódio a 17.5% e maceração. Em seguida, o material foi filtrado e lavado até atingir pH neutro. Os resíduos sólidos resultantes foram então secos até massa constante. O teor de celulose foi calculado por meio da Equação 6:

$$TC (\%) = \left(\frac{m_{\text{Af}}}{m_{\text{Ho}}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde:

m_{Af} = massa seca de α -celulose (g);

m_{Ho} = massa inicial de holocelulose (g).

Com base no valor de holocelulose e celulose obtido para a biomassa, foi determinado o teor de hemicelulose presente na biomassa, por meio da Equação 7:

$$T_{He} (\%) = (T_{Ho} - T_C) \tag{7}$$

Onde:

T_{He} = teor de hemicelulose (%);

T_{Ho} = teor de holocelulose (%);

T_C = teor de celulose (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A palha de milho apresentou teor de umidade de 7,2%, enquanto a composição em base seca é constituída por extrativos (24,3%), holocelulose (57,6%) e lignina insolúvel (18,7%), conforme apresentado na Tabela 2. A holocelulose foi subdividida em α-celulose (27,3%) e hemicelulose (30,3%). O teor de cinzas obtido neste estudo (3,34%) encontra-se dentro da faixa

normalmente reportada na literatura para biomassa de palha de milho em diferentes granulometrias, os quais variam entre 2 e 8% (Noppawan et al., 2021; Vezaro et al., 2025).

Considerando a metodologia aplicada, nota-se coerência entre os valores encontrados neste estudo e os valores reportados para a biomassa de palha de milho. As diferenças observadas nos teores dos principais constituintes químicos em relação aos valores reportados para palha de milho e outras biomassas lignocelulósicas amplamente investigadas, como colmo de milho, bagaço da cana-de-açúcar, palha de trigo e casca de arroz (Anh e Tai, 2024; Geremew et al., 2023; Malik, Omre e Sivadas, 2024; Melesse, Hone e Mekonnen, 2022; Zhang et al., 2021) podem ser atribuídas às metodologias empregadas na determinação desses componentes, às características intrínsecas da biomassa e às condições de cultivo.

Tabela 2 - Caracterização química da palha de milho e de diferentes biomassas lignocelulósicas reportadas na literatura.

Biomassa	Composição Química (%)						Referência
	Umidade	Cinzas	Extrativos	Lignina	Celulose	Hemicelulose	
Palha de milho	7,2	3,34	24,30	18,74**	27,32*	30,28	Autores (2026)
Colmo do milho	-	2,43	20,43	17,38	36,89	20,42	Zhang et al., (2021)
Palha de milho	-	-	19,55	13,41	35,90	30,23	Anh e Tai (2024)
Bagaço de cana-de-açúcar	-	3,01	9,69	19,70	42,40	25,20	Melesse, Hone e Mekonnen, (2022)
Palha de trigo	10,04	1,44	-	21,61	45,43	36,50	Geremew et al. (2023)
Casca de arroz	9,88	15,0	8,08	17,21	38,64	21,07	(Malik, Omre e Sivadas, 2024)

Nota: *O valor de celulose do presente estudo refere-se à α-celulose, enquanto os valores reportados na literatura correspondem à celulose estrutural total determinada por metodologias distintas.

**Refere-se à fração de lignina insolúvel presente.

Fonte: Os autores, (2026).

Ainda com base nos dados apresentados na Tabela 2, observa-se que os resultados obtidos neste estudo estão coerentes com aqueles descritos para biomassas lignocelulósicas amplamente empregadas em processos de conversão e aproveitamento tecnológico (Bessa et al., 2022; Blasi et al., 2023; Woźniak et al., 2025). Esse comportamento reforça a aptidão da palha

de milho para aplicações voltadas à obtenção de bioprodutos e materiais de origem renovável.

A diferença entre os teores de extrativos pode ser justificada em parte pelo procedimento analítico empregado. Enquanto alguns autores avaliaram frações específicas de extrativos utilizando solventes isolados, no presente estudo foi realizada extração sequencial com água e etanol, o que favoreceu a

remoção simultânea de compostos hidrossolúveis e organossolúveis. Dessa forma, espera-se maior recuperação de açúcares solúveis, compostos fenólicos, pigmentos, ceras, gorduras, taninos e outros metabólitos secundários presentes na biomassa. Esse aspecto pode explicar o maior percentual de extrativos observado.

O teor de lignina insolúvel observado para a palha de milho avaliada, foi de 18,74%. Embora esse resultado tenha sido ligeiramente superior ao reportado para o colmo de milho, como observado na Tabela 2, verificou-se elevada concordância com os teores descritos para o bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz, além de se mostrar ligeiramente inferior ao da palha de trigo. A semelhança entre esses resultados sugere que a biomassa analisada apresenta recalcitrância estrutural comparável à resíduos agrícolas amplamente estudados para aplicações em processos de biorrefinaria. Cabe ressaltar, contudo, que neste estudo foi quantificada especificamente a fração de lignina insolúvel em ácido por meio de hidrólise ácida em duas etapas, ao passo que alguns autores reportam lignina total, obtida pela soma das frações solúvel e insolúvel. Adicionalmente, características inerentes à planta, como cultivar, estágio de maturação, local de cultivo e condições climáticas podem exercer influência sobre a deposição de lignina na parede celular vegetal (Roni et al., 2023).

O teor de hemicelulose determinado neste estudo foi de 30,28%, mostrando-se compatível com os intervalos descritos na literatura. Essa variabilidade é frequentemente associada à espécie vegetal, à fração da planta analisada e aos procedimentos adotados para a quantificação desse componente. A concordância entre o resultado obtido neste estudo e aqueles descritos para diferentes amostras de palha de milho reforça a consistência dos resultados experimentais.

O teor de α -celulose obtido neste estudo foi de 27,32%. Embora esse resultado seja inferior aos percentuais de celulose geralmente descritos (Anh e Tai, 2024; Geremew et al., 2023; Malik, Omre e Sivadas, 2024; Melesse, Hone e Mekonnen, 2022; Zhang et al., 2021), a comparação requer cautela. Os referidos autores quantificaram a celulose estrutural total por diferentes metodologias, incluindo métodos NREL, Chesson-Datta, Kürschner-Hoffer e procedimentos TAPPI específicos para celulose total, enquanto o presente estudo avaliou exclusivamente a fração α -celulose após obtenção da holocelulose. Conforme definido pelo método TAPPI T203, a α -celulose corresponde à fração de elevada massa molar insolúvel em solução de NaOH 17,5%, não representando necessariamente o conteúdo total de celulose estrutural da biomassa. Além disso, estudos relatam que a fração de α -celulose pode conter pequenas quantidades de hemiceluloses associadas,

uma vez que sua definição é operacional e dependente do método analítico empregado (Ioelovich, 2021; Sluiter et al., 2010). Assim, percentuais inferiores são esperados e não indicam necessariamente, menor conteúdo celulósico da biomassa. Quando considerada em conjunto com o teor de hemicelulose (30,28%), observa-se teor de holocelulose de aproximadamente 57,6%, valor compatível com aqueles reportados para diversas biomassas agrícolas lignocelulósicas.

CONCLUSÃO

A caracterização físico-química da palha de milho evidenciou composição lignocelulósica semelhante à reportada para outras biomassas agrícolas de interesse industrial. Os resultados obtidos demonstram que a biomassa analisada apresenta características compatíveis com processos de fracionamento lignocelulósico, fornecendo excelente base para futuras estratégias de isolamento de celulose e obtenção de materiais de origem renovável. Nesse contexto, a utilização da palha de milho representa alternativa promissora para o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais e para o fortalecimento de cadeias produtivas inseridas no âmbito da bioeconomia circular.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Corrosão e Nanotecnologia (LCNT/NUPEG/UFS) pela disponibilização da infraestrutura e dos equipamentos utilizados na realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ANH, P. T. H.; TAI, D. M. Closer Approach towards the Preparation of Cellulose and Microcrystalline Cellulose from Corn Husks. **Chemical Engineering and Technology**, v. 47, n. 9, 1 set. 2024.
- ANUKAM, A.; BERGHEL, J. Biomass Pretreatment and Characterization: A Review. *Em: Biotechnological Applications of Biomass*. [s.l.] IntechOpen, 2021.
- BESSA, B. G.; SANTOS, H. P. DOS; MURAKAMI, V. T.; FANTIM, W. M.; CARVALHO BERGAMO, Y. DE; ARAÚJO MORANDIM-GIANNETTI, A. DE. Synthesis of carboxymethylcellulose from corn straw waste: comparison between pre-treatments with sodium hydroxide and low-cost ionic liquid. **Iranian Polymer Journal (English Edition)**, v. 31, n. 3, p. 357–366, 1 mar. 2022.
- BLASI, A.; VERARDI, A.; LOPRESTO, C. G.; SICILIANO, S.; SANGIORGIO, P. **Lignocellulosic Agricultural Waste Valorization to Obtain Valuable Products: An Overview** RecyclingMultidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 ago. 2023.
- BRASIL. **PNE 2030 - Geração Termelétrica (Biomassa)**. Brasília: [s.n.].
- ERENSTEIN, O.; JALETA, M.; SONDER, K.; MOTTALEB, K.; PRASANNA, B. M. **Global maize production, consumption and trade: trends and R&D**

implicationsFood SecuritySpringer Science and Business Media B.V., 1 out. 2022.

FRUMUZACHI, O.; NICOLESCU, A.; MARTĂU, G. A.; ODOCHEANU, R.; RANGA, F.; MOCAN, A.; VODNAR, D. C. Sustainable valorization of lignocellulosic corn husks via solid-state fermentation: enhanced recovery of phenolic compounds and organic acids. **Bioresource Technology**, v. 436, 1 nov. 2025.

FU, Y.; ZHANG, J.; GUAN, T. **High-Value Utilization of Corn Straw: From Waste to WealthSustainability (Switzerland)**Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 out. 2023.

GEREMEW, A.; WINNE, P. DE; DEMISSIE, T. A.; BACKER, H. DE. Characterization of Wheat Straw Fiber Grown Around Jimma Zone, ETHIOPIA. **Journal of Natural Fibers**, v. 20, n. 1, 2023.

IBRAHIM, M. I. J.; SAPUAN, S. M.; ZAINUDIN, E. S.; ZUHRI, M. Y. M. Extraction, Chemical Composition, and Characterization of Potential Lignocellulosic Biomasses and Polymers from Corn Plant Parts. **Bioresource Technology**, n. 14, 2019.

IOELOVICH, M. **Preparation, characterization and application of amorphized cellulose—a reviewPolymersMDPI**, , 1 dez. 2021.

MALIK, S.; OMRE, P. K.; SIVADAS, S. Compositional Analysis of the Lignocellulosic Biomass from Agricultural Waste (Rice Husk). **Archives of Current Research International**, v. 24, n. 6, p. 78–84, 8 jul. 2024.

MAQSOOD, S.; NAVAF, M.; KUMAR, P.; YÜCETEPE, A.; TRANG THUY, N. N.; OZKAN, G.; MORENO, A.; CAPANOGLU, E.; KHALID, W.; ESATBEYOGLU, T. **Sustainable utilization of corn waste and their role toward the circular economyJournal of Agriculture and Food ResearchElsevier B.V.**, 1 out. 2025.

MARINHO, E. **Cellulose: A comprehensive review of its properties and applicationsSustainable Chemistry for the EnvironmentElsevier B.V.**, , 1 set. 2025.

MELESSE, G. T.; HONE, F. G.; MEKONNEN, M. A. Extraction of Cellulose from Sugarcane Bagasse Optimization and Characterization. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2022, 2022.

MORAIS, João P. S.; ROSA, Morsyleide F.; MARCONCINI, José M. **Procedimentos para análise lignocelulósica**. 1ª. ed. Campina Grande -PB: Embrapa algodão, v. Único, 2010. p. 34-40

MOTSHABI, N.; LENETHA, G. G.; MALIMABE, M. A.; GUMEDE, T. P. **Cellulose Nanofibril-Based Biodegradable Polymers from Maize Husk: A Review of Extraction, Properties, and ApplicationsPolymers**Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 jul. 2025.

NOPPAWAN, P.; LANCTÔT, A. G.; MAGRO, M.; NAVARRO, P. G.; SUPANCHAIYAMAT, N.; ATTARD, T. M.; HUNT, A. J. **High pressure systems as sustainable extraction and pre-treatment technologies for a holistic corn stover biorefineryBMC ChemistryBioMed Central Ltd**, , 1 dez. 2021.

OCHOA-CASTAÑO, M.; MONTOYA-ESCOBAR, N.; VELÁSQUEZ-COCK, J. A.; GÓMEZ-HOYOS, C. **Corn Stover for Food Applications: Approaches, Advances and InsightsMolecules (Basel, Switzerland)**, 1 jan. 2025.

RONI, M. S.; LIN, Y.; HARTLEY, D. S.; THOMPSON, D. N.; HOOVER, A. N.; EMERSON, R. M. Importance of incorporating spatial and temporal variability of biomass yield and quality in bioenergy supply chain. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 1 dez. 2023.

SHAH, A. M. *et al.* **The Vital Roles of Agricultural Crop Residues and Agro-Industrial By-Products to Support Sustainable Livestock Productivity in Subtropical RegionsAnimals**Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 abr. 2025.

SIQUEIRA, M. U.; CONTIN, B.; FERNANDES, P. R. B.; RUSCHEL-SOARES, R.; SIQUEIRA, P. U.; BARUQUE-RAMOS, J. Brazilian Agro-industrial Wastes as Potential Textile and Other Raw Materials: a Sustainable Approach. **Materials Circular Economy**, v. 4, n. 1, dez. 2022.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D. Determination of ash in biomass. 2005a; **National Renewable Energy Laboratory (NREL/TP-510-42622, Rev 2008)**.

SLUITER, A.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D. Determination of extractives in biomass. 2005b; **National Renewable Energy Laboratory (NREL/TP-510-42619, Rev 2008)**.

SLUITER, A.; HAMES, B.; HYMAN, D.; PAYNE, C.; RUIZ, R.; et al. Determination of Total Solids in Biomass and total Dissolved solids in liquid Process Samples. 2008, **National Renewable Energy Laboratory. (NREL/TP-510-42621, Rev 2008)**.

SLUITER, J. B.; RUIZ, R. O.; SCARLATA, C. J.; SLUITER, A. D.; TEMPLETON, D. W. Compositional analysis of lignocellulosic feedstocks. 1. Review and description of methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 16, p. 9043–9053, 25 ago. 2010.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; et al. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. 2008; **National Renewable Energy Laboratory (NREL/TP-510-42618, Rev 2012)**.

TAPPI T 203 cm-22, Alpha-, Beta- and Gamma-Cellulose in Pulp, **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**, 2022.

VEZARO, F. D.; HOLLAS, S. R.; COLOMBO, F. A.; SCHULZ, A.; DRASZEWSKI, C. P.; CASTILHOS, F. DE; ABAIDE, E. R.; MAYER, F. D. Valorization of corn stover in a single experimental unit: The synergistic effects of steam explosion and semi-continuous subcritical water processing. **Science of the Total Environment**, v. 959, 10 jan. 2025.

WOŹNIAK, A. W.; KULIGOWSKI, K.; LESŁAWŚWIERCZEK, L. L.; CENIAN, A. Review of Lignocellulosic Biomass Pretreatment Using Physical, Thermal and Chemical Methods for Higher Yields in

Bioethanol Production. **Sustainability (Switzerland)**, v. 287, n. 17, 2 jan. 2025.

XIE, J.; CHENG, Z.; ZHU, S.; XU, J. Lewis base enhanced neutral deep eutectic solvent pretreatment for enzymatic hydrolysis of corn straw and lignin characterization. **Renewable Energy**, v. 188, p. 320–328, 1 abr. 2022.

ZABED, H. M.; AKTER, S.; YUN, J.; ZHANG, G.; ZHAO, M.; MOFIJUR, M.; AWASTHI, M. K.; KALAM, M. A.; RAGAUSKAS, A.; QI, X. Towards the sustainable conversion of corn stover into bioenergy and bioproducts through biochemical route: Technical, economic and strategic perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 400, 10 maio 2023.

ZHANG, Y.; CHEN, J.; REN, Y.; GUO, J.; GUO, M.; YANG, X.; KONG, X.; FENG, Y.; LIU, G. **Recent advancements in crop straw cellulose: Sustainable extraction, modification, and active film performance enhancement, and food preservation application****Trends in Food Science and Technology**Elsevier Ltd, 1 ago. 2025.

ZHANG, Y.; WANG, H.; SUN, X.; WANG, Y.; LIU, Z. Separation and characterization of biomass components (cellulose, hemicellulose, and lignin) from corn stalk. **BioResources**, v. 16, n. 4, p. 7205–7219, 2021.