



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



* B R 1 0 2 0 2 3 0 1 0 5 3 0 A 2 *

(21) BR 102023010530-0 A2

(22) Data do Depósito: 30/05/2023

(43) Data da Publicação Nacional:
26/12/2023

(54) **Título:** PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA COM A UTILIZAÇÃO, RECICLAGEM E REUSO DE IMIDAZOL PARA A OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTÁVEIS

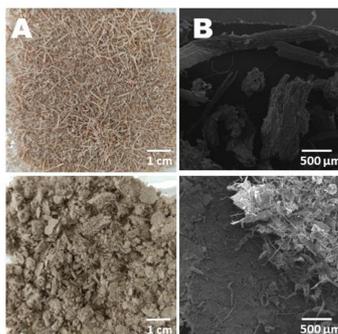
(51) **Int. Cl.:** C12P 1/00; C12P 19/02; C12P 7/10.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA.

(72) **Inventor(es):** KIM KLEY VALLADARES DIESTRA; LUCIANA PORTO DE SOUZA VANDENBERGHE; CARLOS RICARDO SOCCOL.

(57) **Resumo:** PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA COM A UTILIZAÇÃO, RECICLAGEM E REUSO DE IMIDAZOL PARA A OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTÁVEIS. A presente invenção procura implementar uma metodologia inovadora e nova para o pré-tratamento de bagaço de cana com a utilização, reciclagem e reuso do imidazol como agente de solubilização verde. Os açúcares obtidos após a hidrólise enzimática do bagaço de cana pré-tratado podem ser utilizados na produção de diferentes biomoléculas como o bioetanol de segunda geração por meio de processos fermentativos. O imidazol apresenta características únicas como baixa toxicidade, baixa pressão de vapor e alto ponto de ebulição; com potencial de sua reciclagem e reutilização o que torna o imidazol a ser considerado um solvente verde. O processo foi desenvolvido obtendo altos valores de conversão enzimática do material pré-tratado, o que permitiu a obtenção de altas concentrações de glicose e xilose para serem utilizadas na produção de biomolécula de segunda geração. O processo foi desenvolvido visando a reciclagem e reuso do imidazol para novos ciclos de pré-tratamento, diminuindo os impactos ambientais.

Figura 1



RELATÓRIO DESCRITIVO

APLICAÇÃO, RECICLAGEM E REUSO DE IMIDAZOL NO PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA PARA A OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTÁVEIS

Campo da Invenção

[001]. A presente invenção refere-se à definição de um processo de pré-tratamento de bagaço de cana com ênfases na etapa de aplicação, reciclagem e reuso do imidazol como agente de solvência no pré-tratamento da biomassa para a obtenção de açúcares fermentáveis.

Fundamentos da Invenção e Estado da Técnica

[002]. Com o crescente aumento mundial da população, a demanda por bens de consumo (energia, alimentos e outros) tem aumentado exponencialmente. A utilização indiscriminada de combustíveis fósseis para suprir as demandas produtivas e energéticas tem causado um grande impacto ambiental, deteriorando gravemente o meio ambiente. Por esse motivo, novas formas de produção de energia, alimentos e biomateriais vêm sendo pesquisados para o desenvolvimento de processos de produção sustentáveis com um mínimo de impacto ao meio ambiente.

[003]. A produção de biomoléculas de segunda geração a partir de biomassas lignocelulósicas poderia suprir a enorme demanda por alimentos e energia de população. A biomassa lignocelulósica está constituída principalmente por três tipos de polímeros, que são a celulosa (35-50%), a hemicelulose (20-35%) e a lignina (5-30%). A composição rica em polissacáridos faz que a biomassa lignocelulósica tenha um grande potencial como matéria prima na produção de biomoléculas e biomateriais de segunda geração (PORTO DE SOUZA VANDENBERGHE et

al. Added-value biomolecules' production from cocoa pod husks: A review. **Bioresource Technology**, p. 126252, 2021; KUMAR, B. et al. Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept. **Fuel Processing Technology**, v. 199, n. October 2019, 2020).

[004]. A celulose e hemicelulose, principais componentes da biomassa lignocelulósica, são polímeros pertencentes ao grupo dos carboidratos e estão constituídos por monômero de açúcar conhecidos como monossacarídeos. A celulose é um polissacarídeo uniforme constituído por monômeros de glicose, enquanto a hemicelulose é um polissacarídeo amorfo constituído por diferentes tipos de monossacarídeos e ácidos urônicos. As unidades de monossacarídeos da celulose e hemicelulose apresentam um alto interesse industrial devido a seu potencial aplicação como fonte de carbono nos processos biotecnológicos de fermentação. Glicose e xilose, conhecidos como açúcares fermentáveis, podem ser transformados pelos microrganismos através de processos bioquímicos produzindo diferentes tipos de biomoléculas e biomateriais (AMARO BITTENCOURT, G. et al. Soybean hulls as carbohydrate feedstock for medium to high-value biomolecule production in biorefineries: A review. **Bioresource Technology**, v. 339, p. 125594, 2021; VANDENBERGHE, L. P. S. et al. Beyond sugar and ethanol: The future of sugarcane biorefineries in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 167, n. May, p. 112721, 2022).

[005]. A biomassa lignocelulósica é bastante diversa e está amplamente distribuída em nível mundial. Dentre os diferentes tipos de biomassa lignocelulósica, os resíduos provenientes da agroindústria são mais atrativos para seu uso na biotecnologia, devido a seus altos volumes de produção. O Brasil é um dos países de maior produção agrícola, sendo a cana de açúcar um dos mais produzidos, batendo uma média

de produção de 752 milhões de toneladas no período 2018-2021, o que levou o Brasil à posição de maior produtor mundial de cana de açúcar (KARP, S. G. et al. Sugarcane: A Promising Source of Green Carbon in the Circular Bioeconomy. **Sugar Tech**, v. 24, n. 4, p. 1230–1245, 2022).

[006]. Durante o processamento industrial da produção de bioetanol e açúcar comestível a partir de cana de açúcar diferentes resíduos agroindustriais são gerados, sendo o bagaço e a palha de cana os principais resíduos sólidos produzidos, chegando a representar até 55% do peso seco. Na atualidade, a maioria desses resíduos agroindústrias são deixados nas áreas de cultivo para seu apodrecimento ou utilizados na produção de eletricidade mediante sua incineração, causando altos graus de contaminação pelo aumento na liberação de gases de efeito estufa. A adequada utilização destes resíduos lignocelulósicos, na produção de biomoléculas através de processo biotecnológico, devido ao seu alto conteúdo de açúcares fermentáveis, poderia aumentar os ganhos do setor e diminuir consideravelmente os impactos negativos ao meio ambiente (VANDENBERGHE, L. P. S. et al. Beyond sugar and ethanol: The future of sugarcane biorefineries in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 167, n. May, p. 112721, 2022).

[007]. Embora a biomassa lignocelulósica tenha um alto potencial como matéria-prima na indústria, seu processamento ainda está em processo de desenvolvimento, devido principalmente a sua característica recalcitrante. A recalcitrância da biomassa lignocelulósica está formada principalmente por uma matriz amorfa (lignina e hemicelulose) e as interações por meio de ligações químicas e físicas à lignina e os polissacarídeos. Esta característica promove rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos. Com isso, para a liberação dos açúcares fermentáveis presentes na biomassa lignocelulósica é necessária a aplicação de métodos de pré-

tratamento físicos e/ou químicos (KUMAR, B. et al. Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept. **Fuel Processing Technology**, v. 199, n. October 2019, 2020.).

[008]. No caso do bagaço de cana, diferentes métodos têm sido estudados com o objetivo de aumentar os rendimentos de liberação de açúcares fermentáveis. Dentre os pré-tratamentos mais comuns estão os métodos físico-químicos com o uso de soluções ácidas e/ou alcalinas. No entanto, a utilização desses reagentes químicos gera subprodutos tóxicos que são prejudiciais ao meio ambiente, agregando custos adicionais ao processo, devido à necessidade de equipamentos resistentes à corrosão e etapas de desintoxicação. A presença destes subprodutos tóxicos causa uma alta inibição aos microrganismos utilizados na etapa fermentativa, diminuindo drasticamente os rendimentos de produção e produtividade das biomoléculas de segunda geração (LORENCI WOICIECHOWSKI, A. et al. Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance – Conventional processing and recent advances. **Bioresource Technology**, v. 304, p. 122848, 2020).

[009]. A patente US20110114876A1 relata o processo para o pré-tratamento de biomassa lignocelulósica. O processo compreende intumescer a biomassa lignocelulósica com um líquido aquoso. A biomassa lignocelulósica pré-tratada pode ser utilizada como matéria-prima para a conversão enzimática e posterior produção de bioetanol. O processo de pré-tratamento pode ser usado para ajustar a composição e a quantidade de material inorgânico presente no material de biomassa lignocelulósica.

[010]. A patente US20110081689A1 apresenta um processo para o pré-tratamento termomecânico de biomassa. O processo inclui

submeter a biomassa lignocelulósica contendo celulose, hemicelulose e lignina, a reação térmica sob condições que excedem a pressão atmosférica, a uma temperatura maior do que a temperatura ambiente, a um teor de umidade e tempo predeterminados. Posteriormente, a pressão é reduzida em condições que resultam na descompressão explosiva da biomassa. A biomassa descomprimida é então submetida a forças de cisalhamento axiais para reduzir mecanicamente o tamanho das fibras da biomassa e obter a biomassa tratada. A biomassa tratada resultante tem um alto nível de digestibilidade enzimática e uma baixa concentração de produtos de degradação.

[011]. A patente CN112852900A fornece um método de pré-tratamento e de hidrólise enzimática da biomassa lignocelulósica. A biomassa lignocelulósica é impregnada por ação de uma solução salina alcalina. O produto impregnado é colocado em um ambiente de oxigênio para tratamento de oxidação, de modo que a maior parte da lignina e da hemicelulose parcial sejam removidas de modo a manter mais celulose. Uma segunda etapa de hidrólise enzimática é utilizada para facilitar a sacarificação dos polissacarídeos, onde os rendimentos dos açúcares redutores são significativamente melhorados.

[012]. Como observamos nas diferentes patentes citadas são utilizados diferentes métodos de pré-tratamento com diversos tipos de solventes. Porém, novos solventes alternativos estão surgindo e sendo estudados com o objetivo de aumentar a eficiência de liberação de açúcares fermentáveis, e que tenham baixo ou nulo impacto com o meio ambiente. Os líquidos iônicos e solventes eutéticos apresentam ótimos resultados no pré-tratamento de biomassa lignocelulósica em escala laboratorial. Embora esses solventes sejam considerados menos tóxicos e promovam altos rendimentos na conversão da celulose, dificuldades associadas à sua síntese fazem que estes solventes apresentem alto custo

a granel inviabilizando sua aplicação a escala industrial (LIU, C.-Z. et al. Ionic liquids for biofuel production: Opportunities and challenges. **Applied Energy**, v. 92, p. 406–414, 2012).

[013]. O imidazol é um reagente pouco utilizado como solvente nos pré-tratamentos de biomassa pelo que é considerado relativamente novo. Apresenta um custo menor que os solventes eutéticos e líquidos iônicos, mas possui características ideais para o pré-tratamento de biomassa com altos índices de deslignificação e baixas perdas de celulose. Além disso, o imidazol tem uma baixa toxicidade, baixa pressão de vapor e alto ponto de ebulição (o que diminui a perda em condições de tratamento a alta temperatura. Resultados prévios do imidazol no pré-tratamento de bagaço de cana mostram um alto potencial na liberação de açúcares fermentáveis, com a conversão de 100% da glicose e xilose presente nas biomassas pretratadas com este agente de solvência O imidazol (VALLADARES-DIESTRA, K. K. et al. Integrated sugarcane biorefinery for first- and second-generation bioethanol production using imidazole pretreatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 381, p. 135179, 2022; VALLADARES-DIESTRA, K. K. et al. Imidazole green solvent pre-treatment as a strategy for second-generation bioethanol production from sugarcane bagasse. **Chemical Engineering Journal**, v. 420, n. August, p. 127708, 2021). O imidazol como os sais iônicos derivados deste elemento são considerados agentes de solvência de biomassa com alto rendimento para a obtenção de açúcares fermentáveis e em alguns casos são considerados “solventes verdes” por seu potencial de reciclagem e reuso. Porém, diferentes autores que citam o potencial de reciclagem e reuso de imidazol não tem demonstrado isso experimentalmente.

[014]. Diferentes bases de artigos científicos e bases de patentes nacionais e internacionais foram consultadas com o objetivo de

avaliar algum tipo de proposta ou trabalho científico que tenha apresentado o processo de pré-tratamento de biomassa com imidazol aplicando a reciclagem e reuso deste solvente dentro de novas etapas de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica. Palavras-chave como: "pré-tratamento", "imidazol", "biomassa lignocelulósica", "bagaço de cana", "açúcares fermentáveis", "reciclo de imidazol", "reuso de imidazol" e suas traduções, dependendo da plataforma consultada, foram utilizadas para a procura de artigos e patentes relacionadas. Porém, até a atualidade não existe nenhum tipo de artigo científico ou patente que demonstre realmente o processo completo e detalhado de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica com imidazol aplicando a sua reciclagem e reuso para novos pré-tratamento de bagaço de cana para a obtenção de açúcares fermentáveis.

Descrição da abordagem do problema técnico

[015]. A presente invenção tem como objetivo demonstrar o processo completo e detalhado do pré-tratamento de bagaço de cana com imidazol aplicando o reciclo e reuso deste solvente em novos ciclos de pré-tratamento com o objetivo de aumentar a obtenção de açúcares fermentáveis. Esta invenção contempla o aproveitamento dos resíduos da indústria agrícola e sucroalcooleira, visando a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e utilizando agentes de solubilização considerados solventes verdes.

[016]. Conforme evidenciado no estado da técnica, a maioria dos solventes de pré-tratamentos utilizados para a obtenção de açúcares fermentáveis produzem subprodutos tóxicos, geram um impacto negativo ao meio ambiente e apresentam um alto custo; além os solventes utilizados tradicionalmente reagente com a biomassa gerando novos produtos (em muitos casos tóxicos) ou que dificulta a recuperação e reuso do solvente.

[017]. Os grandes volumes de produção de bagaço de cana precisam de um adequado gerenciamento. Portanto, a utilização deste tipo de resíduos na produção de biomoléculas de médio a alto valor agregado, como o bioetanol de segunda geração, valorizaria estes tipos de resíduos agroindústrias e diminuiria seu impacto negativo frente ao meio ambiente, evitando seu apodrecimento e a liberação de gases de efeito estufa, como o CO₂ nos processos de incineração.

[018]. A presente invenção procura implementar uma metodologia de processo inovadora e nova para o pré-tratamento de bagaço de cana com a utilização do imidazol, implementando a reciclagem e reuso do imidazol como agente de solubilização verde. Os açúcares obtidos após a hidrólise enzimática do bagaço de cana pré-tratado podem ser utilizados na produção de diferentes biomoléculas como o bioetanol de segunda geração por meio de processos fermentativos. Além disso, a invenção oferece uma alternativa economicamente e ambientalmente muito interessante para valorização dos resíduos da indústria agrícola e sucroalcooleira, uma vez que, além de aumentar os rendimentos de produtividade em bioetanol, há uma grande diminuição dos subprodutos tóxicos derivados do pré-tratamento e com a possibilidade de reciclagem e reuso do imidazol.

Descrição detalhada da Invenção

[019]. A presente invenção apresenta a **aplicação, reciclagem e reuso de imidazol no pré-tratamento de bagaço de cana para a obtenção de açúcares fermentáveis** compreendendo as seguintes etapas:

- (a) Pré-tratamento com imidazol;
- (b) Reuso do imidazol em novos ciclos de pré-tratamento.
- (c) Hidrólise enzimática do bagaço de cana pré-tratado;

[020]. a) 1. O bagaço de cana utilizado deve apresentar umidade de até 50%, tamanho de partículas deve ser maiores do que 0,25 mm e menores do que 1,5 cm; além de o material estar livre de resíduos sólidos minerais como pedras e restos do solo.

[021]. a) 2. O bagaço de cana é colocado num reator e, posteriormente, o imidazol. As proporções de massa do imidazol são de 4-9 como relação à massa de bagaço de cana.

[022]. a) 3. O reator é aquecido, numa rampa de aquecimento de 30 min até chegar a uma temperatura próxima de 120 – 170 °C. A reação deve ser mantida por um período de tempo de 30 – 180 min com agitação constante.

[023]. a) 4. Após o tempo de pré-tratamento o reator é esfriado rapidamente até uma temperatura de 90-110°C e todo o material é retirado e transferido para um outro recipiente.

[024]. a) 5. O material recuperado é diluído em água, sendo que a quantidade de água utilizado é de 1 a 3 vezes a quantidade de imidazol utilizada no pré-tratamento.

[025]. a) 6. O material pré-tratado é então diluído em água e mantido em agitação por 30-120 min.

[026]. a) 7. O material pré-tratado é separado da fração líquida por meio de filtração.

[027]. a) 8. O material pré-tratado é lavado com etanol para eliminar e recuperar as partículas remanescentes de imidazol. A quantidade de etanol utilizado na lavagem é 1-3 vezes a quantidade de imidazol utilizado no pré-tratamento.

[028]. a) 9. O material sólido pré-tratado é separado do etanol por filtração e seco a 35-60°C.

[029]. b) 1. As partes líquidas obtidas após o processo de pré-tratamento, contendo o imidazol, são evaporadas para a recuperação de etanol usado e a eliminação da água.

[030]. b) 2. O imidazol recuperado contendo algumas impurezas do pré-tratamento pode ser reciclado e reutilizado com um novo lote de bagaço de cana para seu pré-tratamento. A reciclagem e o reuso do imidazol pode ser de 2-9 ciclos.

[031]. c) 1. O material sólido, recuperado após o pré-tratamento, é então submetido à hidrólise enzimática para a obtenção de açúcares fermentáveis.

[032]. c) 2. A concentração de material sólido submetido a hidrólise enzimática deve ser de 2,5-10% (m/v).

[033]. c) 3. A hidrólise enzimática é conduzida a 40–60 °C por um período de 24-96h com 150-250 RPM de agitação.

[034]. c) 4. Os açúcares fermentáveis liberados ao meio aquoso são recuperados por separação mediante filtração.

[035]. Os exemplos a seguir ilustram os parâmetros de processo, o balanço de massas mostrando a composição de material antes e depois do pré-tratamento com imidazol de acordo com a presente invenção. Esses exemplos não pretendem incluir todos os aspectos da matéria, mas ilustrar parâmetros, composições e resultados representativos. Estes exemplos não se destinam a excluir equivalentes e variações da presente invenção e, portanto, não devem ser interpretados para limitar o escopo da invenção.

Exemplo 1: Pré-tratamento de bagaço de cana utilizando imidazol

[036]. Bagaço de cana com 8% de umidade foi submetido a pré-tratamento com imidazol numa proporção de 1:9 (biomassa:imidazol) durante 60 min de reação a ~150 °C. Após a reação, o material foi

recuperado e preparado para a hidrólise enzimática onde foram usados 15 FPU de carga enzimática de enzimas celulíticas e 5% (m/v) de massa de sólidos de bagaço de cana pré-tratado. Os resultados da composição química dos materiais obtidos estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 1. Composição de bagaço de cana in natura e após as etapas de pré-tratamento e hidrolise enzimática.

Composição	Etapas		
	Bagaço de cana	Bagaço de cana pretratado com imidazol	Material hidrolisado com enzimas
Celulose	30-40%	50-65%	0-1%
Hemicelulose	20-30%	15-25%	0-1%
Lignina	15-25%	5-10%	5-8%
Outros	5-25%	0-10%	0-2%
Glicose	-	0-2%	70-80%
Xilose	-	0-2%	15-20%

Exemplo 2: Reciclagem e reutilização do imidazol no pré-tratamento com bagaço de cana

[037]. Um lote de bagaço de cana com 10% de umidade foi preparado para ser submetido a pré-tratamento com imidazol. 500 g de bagaço de cana foram utilizados com 2000 g de imidazol após o pré-

tratamento a condições de ~150 °C por 60 min. O material sólido foi recuperado e lavado com etanol. A fração líquida contendo o imidazol foi recuperada por evaporação e reutilizada no pré-tratamento de mais 500 g de bagaço de cana. O processo se repetiu do mesmo modo até 7 vezes, onde o último processo de pré-tratamento mostrou um rendimento enzimático de conversão de glucano a glucose foi 85% aproximadamente.

Exemplo 3: Produção de bioetanol a partir dos açúcares fermentáveis obtidos do bagaço de cana pretratado com imidazol

[038]. O meio de cultura para produção de bioetanol é composto por açúcares fermentáveis obtidos através de pré-tratamento de bagaço de cana com imidazol. Para cada 1 kg de bagaço pré-tratado, são obtidos aproximadamente 350-400 g de glicose e 70-100 g de xilose. Como fonte de nitrogênio é adicionado extrato de levedura a uma concentração de 5 g/L. O inóculo contendo *S. cerevisiae* LPB 2705 é então adicionado ao meio de cultura para produção de bioetanol numa proporção de 5% (v/v). Após 24 horas de cultivo a 35 °C foram obtidos 120-150 g de bioetanol.

Descrição das Figuras

[039]. Os gráficos mostrando o antes e depois do pré-tratamento do bagaço de cana utilizando imidazol evidenciam as modificações morfológicas e de aumento no rendimento da obtenção de açúcares fermentáveis.

[040]. Figura 1: Fotografias do bagaço de cana *in natura* e após pré-tratamento com imidazol. Coluna A apresenta a comparação do pré-tratamento em fotografias ao olho nu; Coluna B mostra as diferenças microscópicas do pré-tratamento em fotografias obtidas por microscopia de varredura eletrônica.

[041]. Figura 2: Rendimentos de conversão enzimática antes e após pré-tratamento com imidazol do bagaço de cana, demonstrando o aumento significativo na liberação de açúcares, chegando-se a uma conversão de 100% de glicose e xilose a partir do bagaço de cana pré-tratado com imidazol.

REIVINDICAÇÕES

1. **APLICAÇÃO, RECICLAGEM E REUSO DE IMIDAZOL NO PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA PARA A OBTENÇÃO DE AÇÚCARES FERMENTÁVEIS**, caracterizado pelo fato de compreender as seguintes etapas:
 - (a) **Pré-tratamento do bagaço de cana:** utilizando imidazol, agente de solubilização, na proporção de 1:4-9, com uma temperatura entre 120-170°C por um período de tempo de 30 até 180 min; após, resfriado rapidamente a biomassa recuperada e dissolvida em água, sendo mantido por 30 min em agitação constante a temperatura ambiente (20-27°C);
 - (b) **Aplicação, reciclagem e reuso de imidazol:** Após a separação das frações líquidas e sólidas provenientes do pré-tratamento, a fração sólida é lavada com etanol visando a recuperação de imidazol; O imidazol presente na fração líquida e o recuperado após a lavagem com etanol são aquecidas até evaporação dos líquidos; O material remanescente com um alto conteúdo de imidazol é recuperado e mantido para seu reuso em forma líquida a uma temperatura de 80 a 100 °C ou em forma sólida em temperatura ambiente (20-27°C); O número de ciclos de reutilização do imidazol no pré-tratamento de bagaço de cana entre de 2-9 ciclos de reciclo e reuso;
 - (c) **Hidrólise enzimática:** O bagaço de cana pré-tratado é hidrolisado a uma concentração de carga de biomassa de 2,5-10% (m/v); São aplicadas enzimas hidrolíticas com carga de 10-15 FPU/g e incubados a 40–60 °C por um período de 24-96 h sob agitação

constante; Os açúcares fermentáveis liberados no meio aquoso são recuperados por filtração.

2. PROCESSO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo uso de bagaço de cana, cujo teor de umidade total não supere os 50%, podendo também ser utilizados resíduos de palha de cana que não apresentem resíduos sólidos minerais.
3. PROCESSO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela etapa de pré-tratamento no qual o aquecimento do bagaço de cana com o imidazol pode ocorrer de modo contínuo ou em batelada, onde pode ser usado um forno industrial fechado ou contínuo.
4. PROCESSO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pela recuperação do imidazol, após a evaporação das frações líquidas (água e etanol), onde o imidazol pode ser utilizado imediatamente (80 a 100° C) ou resfriado até temperatura ambiente e mantido para uma próxima aplicação.
5. PROCESSO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pela etapa de recuperação de imidazol, onde as frações líquidas de etanol e água podem ser separadas e recuperadas mediante evaporação a 70 e 100 °C, sendo possível a reutilização destes solventes para diminuir os impactos ambientais.
6. PROCESSO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2 e 6, caracterizado pela etapa de reuso de imidazol, onde o número de ciclos de reuso do imidazol depende da quantidade de material amorfo (hemicelulose e lignina) dentro da biomassa lignocelulósica, o imidazol recuperado pode conter algumas

impurezas (restos lignocelulósicas) e estas impurezas irem aumentando em cada etapa de reuso diminuindo o número de ciclos de reuso do imidazol.

7. PROCESSO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pela etapa de hidrolises enzimas sendo que o processo pode ser operado em batelada ou batelada alimentado, chegando a aumentar as cargas de biomassa pré-tratada chegando-se a 20% (m/v), porém aumentado o tempo de reação enzimática.
8. PROCESSO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3 e 9, caracterizado pelo fato de que na etapa da hidrólise enzimática o material pré-tratado com imidazol reciclado e reusado pode diminuir os índices de conversão enzimática e de liberação de açúcares, sendo recomendado o reuso de imidazol até o mínimo de 80% de conversão enzimática de celulose a glicose.

DESENHOS

Figura 1

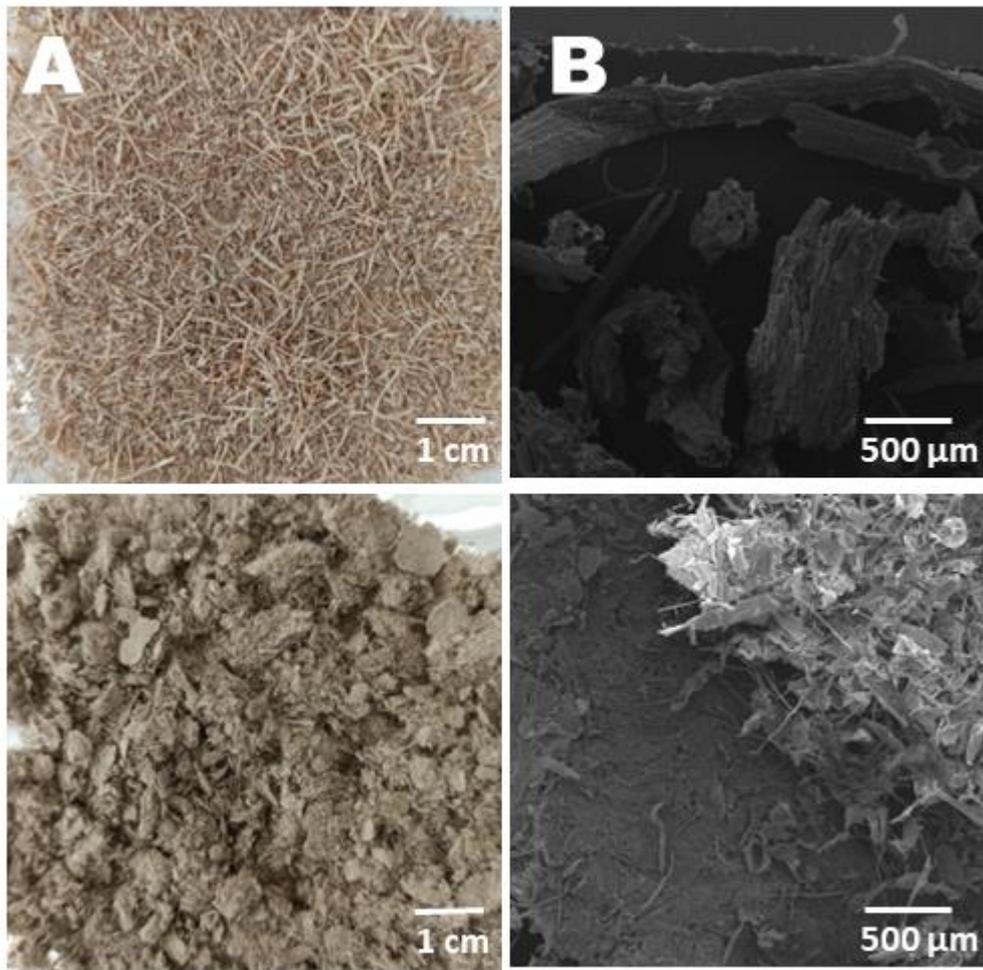
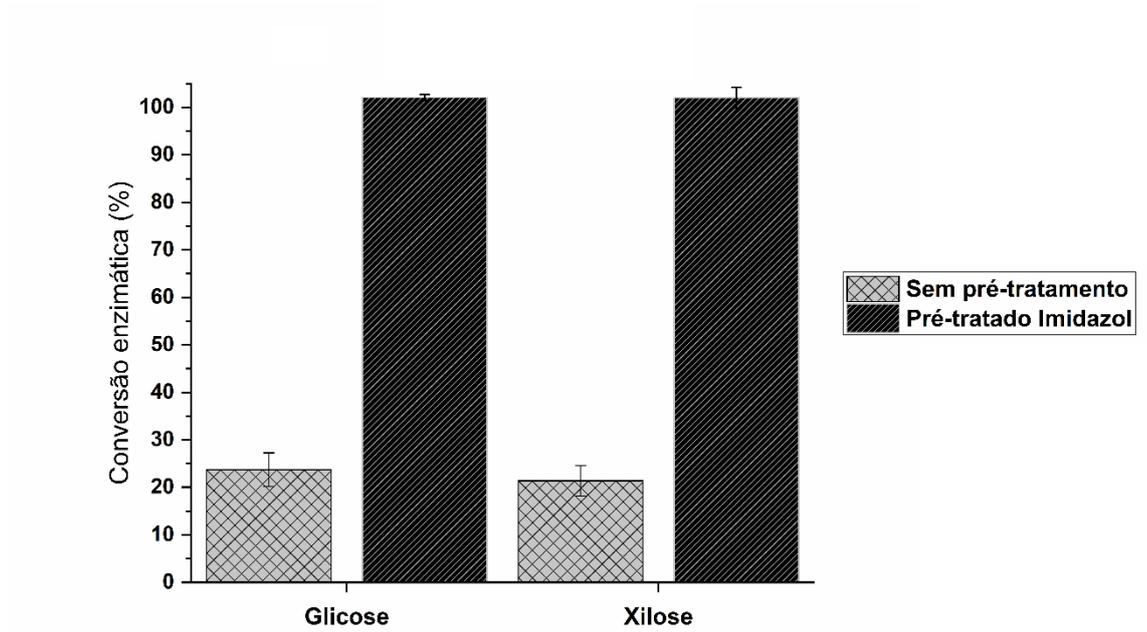


Figura 2



RESUMO**PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA COM A UTILIZAÇÃO,
RECICLAGEM E REUSO DE IMIDAZOL PARA A OBTENÇÃO DE AÇÚCARES
FERMENTÁVEIS**

A presente invenção procura implementar uma metodologia inovadora e nova para o pré-tratamento de bagaço de cana com a utilização, reciclagem e reuso do imidazol como agente de solubilização verde. Os açúcares obtidos após a hidrólise enzimática do bagaço de cana pré-tratado podem ser utilizados na produção de diferentes biomoléculas como o bioetanol de segunda geração por meio de processos fermentativos. O imidazol apresenta características únicas como baixa toxicidade, baixa pressão de vapor e alto ponto de ebulição; com potencial de sua reciclagem e reutilização o que torna o imidazol a ser considerado um solvente verde. O processo foi desenvolvido obtendo altos valores de conversão enzimática do material pré-tratado, o que permitiu a obtenção de altas concentrações de glicose e xilose para serem utilizadas na produção de biomolécula de segunda geração. O processo foi desenvolvido visando a reciclagem e reuso do imidazol para novos ciclos de pré-tratamento, diminuindo os impactos ambientais.