



MONITORAMENTO TECNOLÓGICO DE PATENTES: APLICAÇÕES DE CELULASES NA PRODUÇÃO DE BIÓGAS

SEGUIMIENTO TECNOLÓGICO DE PATENTES: APLICACIONES DE CELULASAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

TECHNOLOGICAL MONITORING OF PATENTS: APPLICATIONS OF CELLULASES IN BIOGAS PRODUCTION

Gislany Pereira de Lira¹; Liliana Andréa dos Santos²; André Felipe de Melo Sales Santos³; Tatiana Souza Porto⁴

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0012>

RESUMO

A crescente demanda por fontes energéticas sustentáveis tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias voltadas à produção de biogás a partir de biomassa lignocelulósica. Por ser abundante e renovável, essa biomassa apresenta grande potencial para a criação de produtos com alto valor agregado. Os materiais lignocelulósicos, compostos pelos polímeros celulose, hemicelulose e lignina, constituem uma matéria-prima promissora. No entanto, devido à sua recalcitrância, é necessário aplicar pré-tratamentos que modifiquem sua estrutura, expondo e convertendo a fração hemicelulósica em açúcares fermentáveis. Nesse contexto, as celulases são enzimas que desempenham um papel fundamental na hidrólise da celulose, tornando-a acessível ao processo de digestão anaeróbia. Diante disso, este estudo tem como objetivo realizar um monitoramento tecnológico de patentes relacionadas ao uso de celulases na geração de biogás, identificando tendências, inovações e os principais países e instituições depositantes. A metodologia baseia-se na prospecção em bases internacionais de patentes, por meio do levantamento de dados em plataformas especializadas, com o uso dos termos "*cellulase*", "*biogas*" e "*methane*". Após a coleta das informações em bancos de dados como *Patentscope*, *Lens* e *Derwent Innovation Index*, constatou-se que a maior parte das patentes está concentrada na área do conhecimento químico. Além disso, entre os titulares das patentes, a *China Petroleum & Chemical Corporation* (Sinopec) destacou-se como a entidade com o maior número de documentos registrados. Os resultados revelam um aumento significativo nos depósitos de patentes nos últimos anos, com destaque para os Estados Unidos, China e União Europeia. O estudo contribui para a identificação de oportunidades, mapeando avanços tecnológicos e possíveis lacunas no uso de enzimas no setor bioenergético.

Palavras-Chave: monitoramento tecnológico, patentes, enzimas, metano

¹ Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, gislany.plira@ufrpe.br

² Doutora, Universidade Federal Rural de Pernambuco, liliana.andrea.santos@gmail.com

³ Professor do Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, andre.felipesantos@ufrpe.br

⁴ Professora Associada no Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Universidade Federal Rural de

RESUMEN

La creciente demanda de fuentes de energía sostenibles ha impulsado la investigación y el desarrollo de tecnologías orientadas a la producción de biogás a partir de biomasa lignocelulósica. Debido a su abundancia y carácter renovable, esta biomasa presenta un gran potencial para la creación de productos con alto valor agregado. Los materiales lignocelulósicos, compuestos por los polímeros celulosa, hemicelulosa y lignina, representan una materia prima prometedora. No obstante, debido a su recalcitrancia, es necesario aplicar tratamientos previos que modifiquen su estructura, exponiendo y convirtiendo la fracción hemicelulósica en azúcares fermentables. En este contexto, las celulasas son enzimas que desempeñan un papel fundamental en la hidrólisis de materiales a base de celulosa, haciéndolos accesibles a la digestión anaeróbica. De este modo, el objetivo de este estudio es realizar un monitoreo tecnológico de patentes relacionadas con el uso de celulasas en la generación de biogás, identificando tendencias, innovaciones y los principales países e instituciones depositantes. La metodología se basa en una prospección en bases de datos internacionales de patentes, realizando un levantamiento de información en plataformas especializadas, utilizando los términos "cellulase", "biogas" y "methane". Tras la recopilación de datos en bases como Patentscope, Lens y Derwent Innovation Index, se constató que la mayoría de las patentes se concentran en el área del conocimiento químico. Además, entre los titulares, China Petroleum & Chemical Corporation (Sinopec) se destacó como la entidad con mayor número de documentos registrados. Los resultados revelan un aumento significativo en los depósitos de patentes en los últimos años, con destaque para Estados Unidos, China y la Unión Europea. El estudio contribuye a la identificación de oportunidades, mapeando avances tecnológicos y posibles vacíos en el uso de enzimas en el sector bioenergético.

Palabras clave: monitoreo tecnológico, patentes, enzimas, metano

ABSTRACT

The growing demand for sustainable energy sources has driven research and the development of technologies aimed at biogas production from lignocellulosic biomass. Due to its abundance and renewability, this biomass has great potential for the creation of high value-added products. Lignocellulosic materials, composed of the polymers cellulose, hemicellulose, and lignin, represent a promising raw material. However, due to their recalcitrance, pretreatment processes are required to modify their structure, exposing and converting the hemicellulosic fraction into fermentable sugars. In this context, cellulases are enzymes that play a fundamental role in the hydrolysis of cellulose-based materials, making them accessible to anaerobic digestion. Therefore, this study aims to conduct a technological monitoring of patents related to the use of cellulases in biogas production, identifying trends, innovations, and the main patent-holding countries and institutions. The methodology is based on a prospection in international patent databases, gathering data from specialized platforms using the keywords "cellulase", "biogas", and "methane". After collecting information from databases such as Patentscope, Lens, and Derwent Innovation Index, it was found that most patents are concentrated in the field of chemical sciences. Furthermore, among the patent holders, China Petroleum & Chemical Corporation (Sinopec) stood out as the entity with the highest number of registered documents. The results reveal a significant increase in patent filings in recent years, with notable contributions from the United States, China, and the European Union. This study contributes to the identification of opportunities, mapping technological advances and potential gaps in the use of enzymes in the bioenergy sector.

Keywords: technological monitoring, patents, enzymes, methane

INTRODUÇÃO

A busca por alternativas energéticas renováveis vem se intensificando nas últimas décadas, especialmente diante da necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis

e mitigar os impactos das mudanças climáticas, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2022). A produção de biogás por digestão anaeróbia de resíduos lignocelulósicos se apresenta como uma solução viável e sustentável, sendo amplamente explorada em pesquisas científicas e aplicações industriais (Lins; Furtado, 2022). A produção de biogás está diretamente relacionada à degradação eficiente da biomassa. Segundo Tamilselvan *et al.* (2024), a aplicação de enzimas celulolíticas aumenta a taxa de conversão da fração sólida da biomassa, reduzindo o tempo de retenção e aumentando o rendimento energético.

As celulasas são enzimas hidrolíticas que atuam de forma sinérgica na hidrólise da celulose (Sharma *et al.*, 2022), convertendo-a em oligossacarídeos solúveis. O complexo celulásico é composto por três enzimas principais: endoglucanase, exoglucanase e β -glucosidase (Pandey, 2021). Sua produção ocorre predominantemente por microrganismos, especialmente fungos filamentosos dos gêneros *Aspergillus* e *Trichoderma*, que apresentam características distintas como pH ótimo específico e solubilidade influenciada pela composição de aminoácidos (Sulyman *et al.*, 2020). As endoglucanases atuam rompendo as ligações glicosídicas nas áreas de menor cristalinidade da celulose (Siqueira *et al.*, 2020). As exoglucanases catalisam a hidrólise das extremidades redutoras ou não redutoras da cadeia celulósica, resultando na produção de celobiose, enquanto as β -glucosidases convertem a celobiose em glicose (Singh, 2021).

A produção de celulasas fúngicas a partir de substratos lignocelulósicos oferece vantagens como o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e a redução dos custos de matéria-prima, impactando diretamente o preço final dessas enzimas (Siqueira *et al.*, 2020). São fundamentais para viabilizar a conversão eficiente da biomassa vegetal em açúcares fermentáveis, promovendo a liberação de substratos para a produção de metano (Singh *et al.*, 2021). Sua ação ocorre por meio da quebra das ligações glicosídicas β -1,4 presentes na estrutura do polímero de celulose, permitindo a conversão desse biopolímero em moléculas menores e mais acessíveis à utilização biotecnológica (Pandey, 2021).

Diante disso, devido à ampla aplicabilidade no setor industrial, nos últimos anos tem-se observado um crescimento na demanda do mercado, o que impulsionou a procura por microorganismos capazes de produzir enzimas celulolíticas, assim como por um entendimento mais aprofundado de seus mecanismos de ação (Okal *et al.*, 2020). O desenvolvimento e a proteção de tecnologias envolvendo celulasas têm sido registrados em bases de patentes com significativa frequência (Da silva, 2021). China, Estados Unidos e Alemanha estão entre os países que mais registram patentes no setor de biotecnologia energética, especialmente em tecnologias associadas a enzimas e digestão anaeróbia, segundo a Organização Mundial da

Propriedade Intelectual (WIPO, 2023).

Neste cenário, o monitoramento de patentes se mostra uma ferramenta estratégica para compreender o avanço tecnológico, bem como localizar atores-chave (instituições, empresas e países) que lideram o desenvolvimento de soluções enzimáticas voltadas à produção de biogás. Ao mapear o estado da arte por meio de bases de dados internacionais, é possível delinear oportunidades de desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil e no mundo. Esse panorama reforça a importância do monitoramento tecnológico como ferramenta para políticas públicas, decisões empresariais e estratégias de pesquisa e desenvolvimento.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Materiais lignocelulósicos

O termo "materiais lignocelulósicos" refere-se à fração vegetal responsável pela formação da parede celular, caracterizada por sua composição rígida e fibrosa. Esses materiais são constituídos por microfibrilas de celulose embutidas em uma matriz composta por hemicelulose, pectina, lignina e uma pequena porção de proteínas estruturais (Ribaski, 2021).

Materiais lignocelulósicos são resíduos vegetais ricos em celulose, hemicelulose e lignina, amplamente disponíveis como subprodutos de processos agrícolas e agroindustriais. Estes materiais, como palha de milho, bagaço de cana, casca de arroz e bagaço de malte, têm se destacado como fontes renováveis de biomassa para a produção de energia e bioprodutos. Segundo Alhazmi e Loy (2021), a valorização de resíduos lignocelulósicos representa uma alternativa sustentável para a substituição de matérias-primas fósseis, contribuindo para a bioeconomia e redução de impactos ambientais.

No contexto da economia circular, pesquisas recentes têm enfatizado o potencial desses materiais como substrato para fermentações, produção de biocombustíveis, aditivos alimentares e até na fabricação de bioplásticos (Velvizhi *et al.*, 2022). O principal desafio está na complexidade estrutural da lignina, que limita o acesso enzimático à celulose e à hemicelulose, exigindo etapas de pré-tratamento físico, químico ou biológico (Shukla *et al.*, 2023).

Celulases

As celulases são enzimas hidrolíticas responsáveis por catalisar a degradação da celulose em açúcares fermentáveis, sendo fundamentais em processos industriais que envolvem a conversão de biomassa lignocelulósica. Estas enzimas são produzidas por diversos microrganismos, como fungos do gênero *Trichoderma* e *Aspergillus*, com aplicações em setores

como o têxtil, papel e celulose, alimentos, além da produção de biocombustíveis (Siqueira *et al.*, 2020). Recentemente, o foco das pesquisas tem sido o desenvolvimento de consórcios microbianos e engenharia genética para aumentar a eficiência catalítica e a tolerância a condições industriais (Singh *et al.*, 2022). De acordo com Singhania *et al.* (2021), o custo elevado das celulasas comerciais ainda é uma barreira para aplicações em larga escala, especialmente na produção de etanol de segunda geração, o que reforça a importância de pesquisas voltadas à otimização da produção enzimática a partir de resíduos agrícolas e industriais, como o bagaço da cana de açúcar.

As celulasas desempenham um papel central na conversão de resíduos lignocelulósicos em biogás. Compostas por enzimas como endoglucanases, exoglucanases e β -glicosidases, elas atuam sinergicamente na quebra da celulose, facilitando a digestão anaeróbia (Singh *et al.*, 2021). Diversos estudos apontam para o aumento da eficiência da produção de metano a partir do uso de celulasas comerciais ou produzidas por microrganismos geneticamente modificados (Magwaza *et al.*, 2020).

Digestão Anaeróbica

A digestão anaeróbica é um processo biológico amplamente utilizado para a conversão de matéria orgânica em biogás e digestato, por meio da atividade de microrganismos anaeróbios em ausência de oxigênio (Many-Loh, 2023). Essa tecnologia vem sendo cada vez mais aplicada ao aproveitamento de resíduos lignocelulósicos, embora estes exijam pré-tratamentos específicos para melhorar a biodegradabilidade (Gueri *et al.*, 2021).

A composição do biogás, composto gasoso resultante da biodegradação anaeróbia de matérias orgânicas, ocorre de apresentar variações tendo em vista as características do tipo de resíduo empregado como substrato de fermentação e as condições de operação do biodigestor (Amaral, 2019). Os principais constituintes do biogás são o metano (60-70% v/v) e o dióxido de carbono (30-40% v/v); outros gases, como o sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, hidrogênio e monóxido de carbono, também podem compor em pequena quantidade o biogás (Sousa; Rizzatto, 2022).

De acordo com Wang *et al.* (2025), a eficiência da biodigestão depende de diversos fatores, incluindo a composição do substrato, a relação C/N, temperatura e estabilidade do pH. Recentes estudos destacam o uso de resíduos como o bagaço de cervejaria na codigestão com efluentes líquidos ou esterco, promovendo sinergias que aumentam a produção de metano e melhoram a estabilidade do sistema (Szaja *et al.*, 2021).

METODOLOGIA

MONITORAMENTO TECNOLÓGICO DE PATENTES

A pesquisa de patentes foi conduzida utilizando as bases de dados *Patentscope*, *Derwent Innovations Index* e *Lens*, durante o período de 01 a 05 de abril de 2025. Para realizar as buscas relacionadas às celulases, foram aplicados os procedimentos metodológicos detalhados nos tópicos seguintes:

Derwent Innovations Index

O Derwent Innovations Index (DII) é uma plataforma de pesquisa que oferece acesso a mais de 30 milhões de invenções descritas em mais de 65 milhões de documentos de patentes. Este banco de dados permite a busca de patentes em todos os níveis de uma organização, com pesquisas simplificadas. A cobertura inclui registros de patentes do Derwent World Patents Index e informações de citação de patentes do Derwent Patents Citation Index. No Brasil, o Derwent é acessível gratuitamente por meio de universidades, institutos federais e centros de P&D, através do portal da CAPES. A metodologia empregada segue as etapas abaixo.

- Acesse: Portal da CAPES.
- Na página inicial, clique em "Buscar" → "Buscar base" → Digite "*Web of Science*" → Escolha "*Derwent Innovations Index - DII (Web of Science/Clarivate Analytics)*".
- Para uma pesquisa básica, utilize o tópico: "*cellulase AND biogas OR methane*".
- Finalize clicando em "Pesquisar".

Patentscope

O Patentscope é um banco de dados administrado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI, também conhecida como WIPO em inglês). Ele oferece acesso gratuito a documentos de diferentes países, abrangendo depósitos realizados via PCT (Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes). A plataforma permite a realização de pesquisas em um acervo de 93 milhões de registros de patentes, além de 4 milhões de pedidos internacionais PCT publicados desde 1978. A metodologia aplicada segue os seguintes passos.

- Acesse: Portal da WIPO
- No site inicial: Vá até Recursos → Base de dados IP (*PATENTSCOPE*) → Selecione Acesse a base de dados *PATENTSCOPE*. Vá para a seção "Patentes".
- Para uma pesquisa simples: No campo página de cobertura, insira o termo de busca: ("*celulase AND biogás OR methane*").

- Finalize clicando em “pesquisar”.

Lens

O Lens é uma plataforma lançada nos anos 2000 como parte de uma iniciativa da Cambia, uma organização não governamental sediada em Camberra, Austrália, em colaboração com a *Queensland University of Technology*. Os dados de patentes fornecidos pela plataforma têm origem no Escritório Europeu de Patentes, no Escritório Americano de Patentes, no Escritório Australiano de Patentes e nos documentos vinculados ao Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes da WIPO, com informações bibliográficas desde 1907. Este banco de dados conta com mais de 127 milhões de registros de patentes provenientes de 105 jurisdições e 70,1 milhões de famílias de patentes até o início do primeiro semestre de 2021. A metodologia aplicada abrange as etapas seguintes.

- Acesse: [Lens.org](https://lens.org).
- Na página inicial, clique em "Patentes" → "Pesquisa estruturada de patentes".
- No campo de pesquisa, insira os seguintes critérios: Título (cellulase AND biogas OR methano).
- Finalize clicando em “Pesquisar”.

Análise dos Dados

Com base nas bases de dados selecionadas, a etapa inicial do estudo envolveu a identificação de qual plataforma possui o banco de dados mais abrangente em relação à quantidade de patentes relacionadas às invenções envolvendo celulasas. Posteriormente, as patentes escolhidas a partir da base de dados mais completa, determinada na etapa anterior, foram analisadas considerando os seguintes aspectos: frequência de publicação de documentos e pedidos de patentes ao longo dos anos, status do depósito, país de prioridade, organizações requerentes e Classificação Internacional de Patentes (IPC).

Os resultados foram exibidos por meio de gráficos, permitindo visualizar a distribuição temporal dos depósitos, o número de registros associados ao uso de celulasas, a repartição dos depósitos entre os países depositantes, bem como identificar as instituições de pesquisa, indivíduos e empresas privadas responsáveis pela tecnologia. Além disso, foi apresentada a quantidade de documentos disponíveis, entre outros detalhes relevantes. Para a análise das patentes registradas no Brasil, não foi encontrado registro que avaliasse o desenvolvimento da

propriedade intelectual nacional. Os resultados foram demonstrados conforme indicado na seção anterior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO
MONITORAMENTO TECNOLÓGICO

Quantificação e Classificação da Produção Acadêmica

A coleta de patentes referentes às enzimas celulolíticas nas bases de dados, foi possível determinar o número de documentos disponíveis em cada plataforma apresentado na Tabela 01. Diante desta pesquisa, verificou-se que a base de dados Patentscope registrou a maior quantidade de patentes depositadas, totalizando 84.806. Entre os bancos de dados analisados, a Patentscope destacou-se por apresentar o maior número de registros em comparação com às demais bases apresentadas de outros repositórios de patentes, sendo as plataformas analisadas Derwent e Lens.

Tabela 01. Número de patentes encontradas nas bases de dados

Base de dados	Número de patentes
<i>Patentscope</i>	84.806
<i>Derwent</i>	36.969
<i>Lens</i>	2.029

Fonte: Própria (2025)

Contudo a plataforma *Derwent Innovation Index* foi escolhida para apresentação dos dados de patentes, por apresentar dados com melhor interpretação de dados mais abrangentes de patentes depositadas, além de garantir alta confiabilidade nas informações sobre invenções relacionadas a enzimas celulolíticas. Foram realizadas análises relacionadas às áreas de conhecimento, aos depositantes e à classificação IPC. A Tabela 02 apresenta os resultados das patentes depositadas, categorizadas por área de conhecimento. A pesquisa identificou um total de 28 áreas de estudo. Dentre as 10 temáticas destacadas, a área de química mostrou-se predominante em relação às demais com percentual de 82,35%seguida da engenharia aplicada com 74,27%.

Tabela 02. Top 10 da classificação das patentes por áreas de estudo envolvendo enzimas celulolíticas

TOP 10	Áreas	Nº de registros	Porcentagem %
1º	Química	30.445	82,35%
2º	Engenharia	27.456	74,27%

3º	Instrumentos Instrumentação	13.508	36,54%
4º	Combustíveis de energia	11.588	31,35%
5º	Ciência dos Polímeros	6.780	18,34%
6º	Biotecnologia Microbiologia Aplicada	5.652	15,29%
7º	Recursos hídricos	4.154	11,24%
8º	Ciência dos Materiais	3.632	9,82%
9º	Eletroquímica	2.365	6,40%
10º	Mineração Processamento de Minerais	2.216	5,99%

Fonte: Própria (2025)

Os dados apresentados na Tabela 02, foram obtidos diretamente pela busca na base de dados da plataforma *Derwent Innovation Index*. Vale destacar que uma única patente pode ser enquadrada em múltiplas áreas do conhecimento.

Foi possível analisar também as patentes conforme os depositantes, como mostra a Tabela 3. Sendo classificada a empresa chinesa *China Petroleum Chem Corp* especializada em petróleo e gás, além de petroquímicos e outros compostos químicos, como a maior em número de registro de depositante, responsável por 410 patentes.

Dentre as 10 maiores depositantes, as universidades chinesas, Universidade China Tecnologia de Mineração Pequim, conhecida por sua especialização em mineração e segurança, a Universidade de Tecnologia de Taiyuan reconhecida por sua excelência em engenharia e ciência e a Universidade de *Zhejiang* conhecida por sua pesquisa de ponta e inovação, além de uma das instituições de ensino superior mais prestigiadas da China, são os únicos órgãos institucional dentre as empresas mencionadas na Tabela 03.

Tabela 03. Top 10 da classificação por depositantes

TOP 10	Depositantes	Nº de Registros	Porcentagem %
1º	<i>China Petroleum Chem Corp</i>	410	1,11%
2º	<i>Osaka Gás Co Ltd</i>	208	0,56%
3º	Universidade China Tecnologia de Mineração Pequim	194	0,53%
4º	<i>Cas Dalian Instituto de Química Física</i>	187	0,51%

5°	<i>Air Liquide SA</i>	186	0,50%
6°	Universidade de Tecnologia de Taiyuan	172	0,47%
7°	<i>Linde Ag</i>	170	0,46%
8°	<i>Matsushita Elec Ind Co Ltd</i>	164	0,44%
9°	<i>Universidade de Zhejiang</i>	141	0,38%
10°	<i>Bayer Ag</i>	139	0,38%

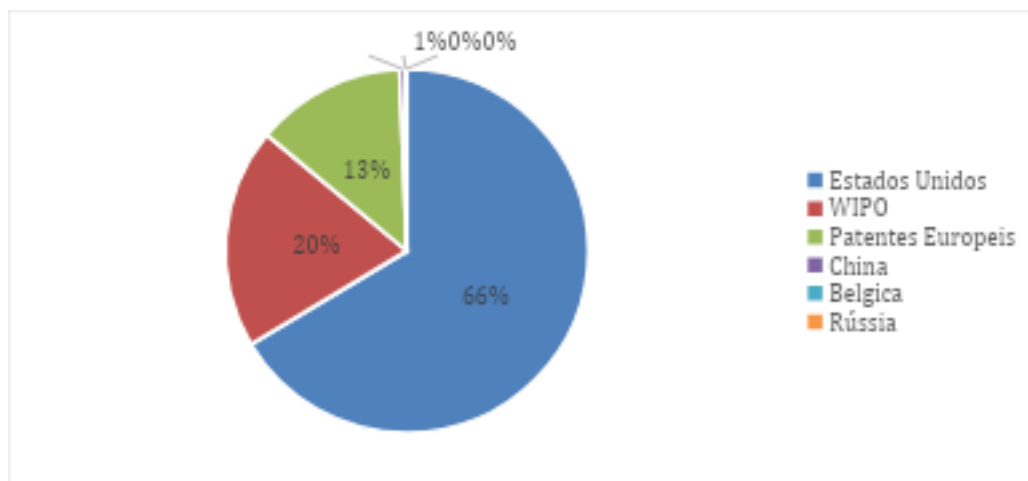
Fonte: Própria (2025)

Entretanto, o país com maior percentual de registro de patentes foi o Estados Unidos da América, com cerca de 66% do total, conforme apresentado na Figura 01. Nos Estados Unidos, a estrutura robusta de apoio à pesquisa e inovação, liderada por instituições como o Departamento de Energia (DOE), bem como a atuação de universidades e empresas de biotecnologia de ponta, impulsiona a geração de tecnologias avançadas (DOE, 2022). Segundo a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO, 2021) a estratégia de patentear essas tecnologias visa consolidar a propriedade intelectual sobre processos e produtos-chave, garantindo vantagens competitivas tanto no mercado interno quanto internacional.

Além disso, a ênfase norte-americana em patentes está fortemente vinculada à sua política de segurança energética e sustentabilidade, uma vez que a bioenergia representa uma alternativa estratégica para a redução de emissões de gases de efeito estufa e para o aproveitamento sustentável de resíduos orgânicos (IEA, 2022). O domínio sobre tecnologias de celulases permite ainda o controle de cadeias produtivas relevantes, por meio do licenciamento de processos, restrição ao uso não autorizado e estabelecimento de parcerias tecnológicas sob condições favoráveis aos depositantes (Barbosa, 2022).

Portanto, o expressivo número de patentes depositadas por instituições norte-americanas nessa área reflete uma combinação de fatores econômicos, políticos, ambientais e científicos. Essa estratégia reforça a liderança dos Estados Unidos no setor de bioenergia e promove a exportação de tecnologias limpas, alinhadas aos princípios da economia de baixo carbono (REN21, 2021; WIPO, 2021).

Figura 01. Registro de patentes por países.



Dados obtidos por busca direta na plataforma Lens.

Fonte: Própria (2025)

As celulasas desempenham um papel crucial na produção de biocombustíveis, especialmente no contexto do etanol de segunda geração (Singh, 2021). Essas enzimas são responsáveis por quebrar a celulose presente na biomassa lignocelulósica, como bagaço de cana-de-açúcar e resíduos agrícolas, em açúcares fermentáveis (Tamilselvan *et al*, 2024). Esses açúcares, por sua vez, são convertidos em etanol por meio de processos de fermentação (Da Silva *et al*, 2021).

Entre as enzimas carboidratases utilizadas na produção de biocombustíveis, a celulase ocupa o segundo lugar em importância, sendo superada apenas pelas amilases (Siqueira *et al.*, 2020). Essas enzimas, ao catalisarem a degradação da celulose em açúcares fermentáveis, são fundamentais para aumentar o rendimento energético da digestão anaeróbia e viabilizar economicamente o processo (Wang *et al.*, 2023). Por esse motivo, o desenvolvimento de celulasas mais eficientes, termoestáveis e específicas para diferentes substratos tem sido objeto de intensas pesquisas, frequentemente protegidas por patentes (Srivastava *et al.*, 2023).

O processo de produção de biogás a partir de biomassa lignocelulósica exige a hidrólise eficiente dos polissacarídeos presentes nas fibras vegetais, etapa na qual as celulasas desempenham papel central (Angelidaki *et al.*, 2018). O biogás é um combustível renovável amplamente utilizado, obtido de forma natural por meio da degradação da matéria orgânica em ambientes sem presença de oxigênio (Da Silva *et al.*, 2021). A geração de biogás a partir da decomposição anaeróbica de materiais orgânicos, surge como uma solução eficiente para a produção de energia, especialmente em áreas rurais, promovendo benefícios econômicos e contribuindo para a preservação ambiental (Tamilselvan *et al.*, 2024).

A composição desse gás, formado durante o processo de degradação biológica de resíduos orgânicos, pode variar dependendo do tipo de matéria-prima utilizada como substrato de fermentação e das condições operacionais do biodigestor. Essas variáveis influenciam a proporção dos componentes presentes no biogás, impactando sua qualidade e potencial energético (Sousa; Rizzatto, 2022). A aplicação de materiais lignocelulósicos para esse propósito tem ganhado destaque globalmente, já que essas fontes são não comestíveis e não interferem no abastecimento de alimentos (Tantayotai *et al.*, 2017; Silva *et al.* 2019; Tajmirriahi; Momayez; Karimi, 2021).

As patentes também foram avaliadas conforme a Classificação Internacional de Patentes (IPC). A Tabela 04 apresenta os resultados da análise das patentes, organizados pelas subclasses e seus respectivos códigos do IPC. Os dados foram obtidos através da busca de dados pela plataforma *Derwent Innovation Index*.

Tabela 04. Top 5 da classificação das patentes de acordo com o IPC

Códigos do IPC	Descrição	Nº de Registro	Percentual%
C02f-011/04	Refere-se ao tratamento biológico de águas residuais, especificamente por meio de processos anaeróbios que resultam na produção de metano.	2.732	7,39%
C12m-001/107	Refere-se a aparelhos para enzimologia ou microbiologia que possuem meios para coletar gases de fermentação, como o metano.	2.015	5,45%
C07c-009/04	Refere-se a hidrocarbonetos saturados acíclicos, especificamente o metano.	1.471	3,98%
C12p-005/02	Trata de processos de fermentação ou uso de enzimas para a síntese de compostos químicos ou composição de misturas.	1.397	3,78%
C10l-003/10	Refere-se aos gases combustíveis que contêm hidrocarbonetos, como o gás natural e o biogás.	1.360	3,68%

Fonte: Própria (2025)

A análise dos códigos da Classificação Internacional de Patentes (IPC) relacionados à produção de metano e biogás revela tendências tecnológicas significativas e aponta as áreas com maior concentração de registros. Os dados coletados indicam uma ênfase crescente em processos biológicos, equipamentos especializados e aplicações energéticas sustentáveis,

refletindo o avanço técnico-científico na transição para matrizes energéticas mais limpas e eficientes.

O código **C02F 011/04**, que representa o tratamento biológico de águas residuais por meio de processos anaeróbios com produção de metano, apresentou o maior número de registros, com 2.732 patentes (7,39%). Esse dado evidencia a forte atuação tecnológica voltada à digestão anaeróbia, que além de tratar efluentes, promove a geração de energia renovável. Essa dupla funcionalidade torna o processo altamente atrativo do ponto de vista ambiental e econômico, especialmente para setores como saneamento básico, agroindústria e indústrias de alimentos.

Em seguida, observa-se um número expressivo de patentes no código **C12M 001/107**, com 2.015 registros (5,45%), o qual trata de equipamentos aplicados em processos microbiológicos ou enzimáticos, especialmente aqueles destinados à coleta de gases de fermentação, como o metano. A alta incidência neste código aponta para a importância do desenvolvimento e da otimização de dispositivos que garantam eficiência na captura e controle de gases gerados biologicamente, reforçando o papel da engenharia de processos no aprimoramento das tecnologias de produção de biogás.

O código **C07C 009/04**, com 1.471 registros (3,98%), diz respeito aos hidrocarbonetos saturados acíclicos, como o metano. A presença significativa deste código demonstra o interesse contínuo da comunidade científica e industrial nas propriedades químicas do metano, seja como insumo para síntese de compostos orgânicos, seja como combustível. Esse aspecto reflete o potencial do metano tanto derivado de fontes fósseis quanto de origem renovável, como o biogás.

Já o código **C12P 005/02**, com 1.397 registros (3,78%), refere-se aos processos fermentativos ou enzimáticos aplicados à síntese de compostos químicos, incluindo o metano. Tal classificação evidencia o papel crescente da biotecnologia na produção de biogás, destacando a utilização de microrganismos e enzimas em processos de transformação de substratos orgânicos. Isso reforça a tendência de valorização da biotecnologia como ferramenta central na geração de energia renovável.

Por fim, o código **C10L 003/10**, com 1.360 registros (3,68%), abrange os gases combustíveis que contêm hidrocarbonetos, como o gás natural e o biogás. A presença expressiva desse código indica o interesse contínuo na aplicação energética desses gases, seja

para uso veicular, cogeração de energia ou aquecimento, o que reafirma o papel do biogás como alternativa viável aos combustíveis fósseis convencionais.

Dessa forma, os dados evidenciam a existência de um ecossistema tecnológico dinâmico e multidisciplinar envolvendo a produção e o aproveitamento do metano e do biogás. Há uma sinergia clara entre o desenvolvimento de processos biológicos, a engenharia de equipamentos e a aplicação energética dos produtos gerados, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade e à promoção da economia circular. A distribuição das patentes nos códigos analisados demonstra que a inovação nessa área não se restringe ao processo fermentativo em si, mas abrange toda a cadeia produtiva, desde a engenharia de sistemas até a valorização do produto final.

CONCLUSÕES

Neste presente estudo, mostrou que o interesse em monitoramento tecnológico de patentes relacionadas ao uso de celulasas na produção de biogás revela um cenário de crescente desenvolvimento tecnológico voltado à bioenergia sustentável. A análise dos dados obtidos em bases internacionais evidenciou uma intensificação no número de depósitos de patentes nos últimos anos, principalmente por países como China, Estados Unidos e membros da União Europeia, com destaque para instituições como a *China Petroleum & Chemical Corporation* (Sinopec) que dentre os 10 principais depositantes, liderou em número de registros. Entre os bancos de dados analisados, a *Patentscope* destacou-se por apresentar o maior número de registros em comparação com outros repositórios de patentes, contudo a plataforma *Derwent Innovation Index* foi escolhida para apresentação dos dados de patentes, por apresentar dados com melhor interpretação, além de garantir alta confiabilidade nas informações sobre invenções relacionadas a enzimas celulolíticas.

A maior parte dos documentos de patentes estava vinculada às áreas de química e engenharia. A análise da classificação IPC revelou que a maioria das patentes se refere ao uso de enzimas celulolíticas em produtos voltados para produção de metano. Essa tendência reflete a importância estratégica da conversão de biomassa lignocelulósica em biogás, uma alternativa promissora frente à crise energética e às demandas por processos ambientalmente sustentáveis. O uso de celulasas, ao promover a hidrólise eficiente da celulose, potencializa a digestão anaeróbia e a geração de metano, agregando valor aos resíduos orgânicos. Diante disso, os resultados deste estudo indicam oportunidades para o avanço de pesquisas, especialmente em países em desenvolvimento, que podem explorar lacunas tecnológicas e investir em soluções baseadas na biotecnologia enzimática para fortalecer o setor de energias renováveis.

REFERÊNCIAS

ALHAZMI, H.; LOY, A. C. M. A review on environmental assessment of conversion of agriculture waste to bio-energy via different thermochemical routes: Current and future trends. **Bioresource Technology Reports**, v. 14, p. 100682, jun. 2021.

ANGELIDAKI, I. *et al.* Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 36, n. 2, p. 452–466, mar. 2018.

BARBOSA, V.C.R. Prospecções De Tecnologias Sustentáveis Da Embrapa Para O Agronegócio Brasileiro. f. **Dissertação**. (Mestrado em Agronegócios) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

CASTRO, A. M.; JUNIOR, N. P. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Quim. Nova**, v. 33, n. 1, 181-188, 2010.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Bioenergy Technologies Office Multi-Year Program Plan**. U.S. Department of Energy, 2022.

DA SILVA, R. M.; OLIVEIRA, D. F.; MEDEIROS, J. J. Monitoramento tecnológico e inovação: estudo de patentes no setor de biocombustíveis. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 132-149, 2020.

Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. [S.l.]: Sbera, 2019.

GUERI, M. V. D. *et al.* Pré-tratamentos de resíduos lignocelulósicos visando ao aumento da geração de metano nos processos de digestão anaeróbia: uma revisão. **Revista Geama**, v. 7, n. 3, p. 13–27, 22 dez. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Renewables 2022: Analysis and Forecast to*

2027. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, 2021.

IEA – International Energy Agency. **Renewables 2020 – Analysis and Forecast to 2025**. Paris: IEA, 2020.

IEA BIOENERGY. **Technology Roadmap: Delivering Sustainable Bioenergy**. Paris: IEA, 2022.

LINS, L. P.; PADILHA, J. C.; FURTADO, A. C.; *et al.* O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Interações (Campo Grande)**, p. 1275–1286, 2022.

MAGWAZA, B.; AMOBONYE, A.; PILLAI, S. Microbial β -glucosidases: Recent advances and applications. **Biochimie**, v. 225, p. 49–67, out. 2024.

MANYI-LOH, C. E.; LUES, R. Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass: Substrate Characteristics (Challenge) and Innovation. **Fermentation**, v. 9, n. 8, p. 755, 13 ago. 2023.

OKAL, E. J. *et al.* Mini review: Advances in understanding regulation of cellulase enzyme in white-rot basidiomycetes. **Microbial Pathogenesis**, v. 147, p. 104410, out. 2020.

OJO, A. An Overview of Lignocellulose and Its Biotechnological Importance in High-Value Product Production. **Fermentation**, v. 9, n. 11, p. 990, 20 nov. 2023.

PANDEY, P.; KUILA, A.; TULI, D. K. Cellulase: An overview. *In: Current Status and Future Scope of Microbial Cellulases*. [S.l.]: Elsevier, 2021. p. 95–113.

RIBASKI, N. G. *et al.* Recursos Lignocelulósicos: Aplicações em Painéis e Compósitos / Lignocellulosicsources: Applications In Panels and Composites. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 1262–1275, 2021.

REN21. **Renewables 2021 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2021.

SHARMA, G; KAUR, B.; RAHEJA, Y.; *et al.* Lignocellulolytic enzymes from *Aspergillus allahabadii* for efficient bioconversion of rice straw into fermentable sugars and biogas. **Bioresource Technology**, v. 360, p. 127507, 2022.

SINGH, A. *et al.* An overview on the recent developments in fungal cellulase production and their industrial applications. **Bioresource Technology Reports**, v. 14, p. 100652, jun. 2021.

SINGH, R. *et al.* Production of biofuels options by contribution of effective and suitable enzymes: Technological developments and challenges. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 5, p. 294–310, 2022.

SINGHANIA, R. R. *et al.* Challenges in cellulase bioprocess for biofuel applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 151, p. 111622, nov. 2021.

SIQUEIRA, J. G. W. *et al.* Current advances in on-site cellulase production and application

on lignocellulosic biomass conversion to biofuels: A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 132, p. 105419, 2020.

SILVA, A.F.V. *et al.* Cellulase production to obtain biogas from passion fruit (*Passiflora edulis*) peel waste hydrolysate. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, 2019.

SOUSA, A. L.; RIZZATTO, M. L. Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 15, n. 2, 2022.

SULYMAN, A. O.; IGUNNU, A.; MALOMO, S. O. Isolation, purification and characterization of cellulase produced by *Aspergillus niger* cultured on *Arachis hypogaea* shells. **Heliyon**, v. 6, 2020.

SHUKLA, A., KUMAR, D., GIRDHAR, M. *et al.* Estratégias de pré-tratamento de matérias-primas para a produção otimizada de bioetanol: abordagens distintas e integradas. **Biotechnol Biofuels** 16 , 44 (2023).

SZAJA, A. *et al.* A combined anaerobic digestion system for energetic brewery spent grain application in co-digestion with a sewage sludge. **Waste Management**, v. 135, p. 448–456, nov. 2021.

SRIVASTAVA, N. *et al.* Recent advances on lignocellulosic bioresources and their valorization in biofuels production: Challenges and viability assessment. **Environmental Technology & Innovation**, v. 29, p. 103037, fev. 2023.

TAMILSELVAN, R.; IMMANUEL SELWYNRAJ, A. Enhancing biogas generation from lignocellulosic biomass through biological pretreatment: Exploring the role of ruminant microbes and anaerobic fungi. **Anaerobe**, v. 85, p. 102815, fev. 2024.

TANTAYOTAI, P.; PORNWONGTHONG, P.; MUENMUANG, C.; PHUSANTISAMPAN, T.; SRIARIYANUN, M. Effect of Cellulase producing Microbial Consortium on Biogas Production from Lignocellulosic Biomass. **Energy Procedia**, v. 141, p. 180-183, 2017.

TAJMIRRIHI, M.; MOMAYEZ, F.; KARIMI, K. The critical impact of rice straw extractives on biogas and bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 319, 2021.

VELVIZHI, G. *et al.* Valorisation of lignocellulosic biomass to value-added products: Paving the pathway towards low-carbon footprint. **Fuel**, v. 313, p. 122678, abr. 2022.

WIPO – World Intellectual Property Organization. **World Intellectual Property Indicators 2021**. Geneva: WIPO, 2021.

WIPO – World Intellectual Property Organization. *IP Statistics Data Center*. Geneva: WIPO, 2023. Disponível em: <https://www3.wipo.int/ipstats>

WANG, J. *et al.* Optimization of biogas production from straw wastes by different pretreatments: Progress, challenges, and prospects. **Science of The Total Environment**, v. 905, p. 166992, dez. 2023.

PEREIRA, et al.

WANG, J. *et al.* Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Process intensification and artificial intelligence. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 210, p. 115264, mar. 2025.