



UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES EM FECULARIAS COMO PRÁTICA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

UTILIZACIÓN DE BIODIGESTORES EN FECULARIAS COMO PRÁCTICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

USE OF BIODIGESTERS IN STARCH FACTORIES AS A CLEANER PRODUCTION PRACTICE

Apresentação: Comunicação Oral

Maressa Barros Silva¹; Amélia de Lorena Stanzani²; Laiane Alves de Andrade³; Luanna Biatriz Vieira Xavier⁴; Giovanna Isabelle Bom de Medeiros Florindo⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/VICIAGRO.0147>

RESUMO

O Brasil é um país privilegiado em termos de diversidade de culturas agrícolas e florestais. Isto deve-se não só ao clima e às boas condições do solo, mas também à vasta área disponível para o cultivo de diversas espécies vegetais. Este potencial de produção gera uma grande quantidade de resíduos, esse desperdício muitas vezes leva à degradação ambiental. A redução deste impacto requer a utilização de sistemas de gestão de resíduos eficientes e sustentáveis. A utilização dos biodigestores como fonte de geração de energia vem se destacando cada vez mais no Brasil. O objetivo deste estudo foi examinar a viabilidade de utilização de biodigestores em fecularias e seus impactos econômicos e ambientais como prática de produção mais limpa. Os resultados dessa pesquisa mostraram que o uso de biodigestores é viável e traz muitos benefícios como benefícios econômicos, sociais e ambientais. Finalmente, os resíduos do processamento da mandioca têm um potencial energético significativo, tanto a nível econômico como ambiental.

Palavras-Chave: Resíduos; biogás; biodigestor; sustentabilidade.

RESUMEN

Brasil es un país privilegiado en términos de diversidad de cultivos agrícolas y forestales. Esto se debe no solo al clima y a las buenas condiciones del suelo, sino también a la vasta área disponible para el cultivo de diversas especies vegetales. Este potencial productivo genera una gran cantidad de residuos, y ese desperdicio muchas veces conduce a la degradación ambiental. La reducción de este impacto requiere el uso de sistemas de gestión de residuos eficientes y sostenibles. El uso de biodigestores como fuente de generación de energía ha ido ganando protagonismo en Brasil. El objetivo de este estudio fue analizar la viabilidad del uso de biodigestores en fecularias y sus impactos económicos y ambientales como una práctica de producción más limpia. Los resultados de esta investigación mostraron que el uso de biodigestores es viable y aporta muchos beneficios económicos, sociales y ambientales. Finalmente, los residuos del procesamiento de la yuca tienen un potencial energético significativo, tanto a nivel económico como ambiental.

¹ Engenharia de Produção, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), maressa.barros@ufms.br

² Professora Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), amelia.stanzani@ufms.br

³ Professora Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), amelia.stanzani@ufms.br

⁴ Engenharia de Produção, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), luanna.b@ufms.br

⁵ Professora Doutora, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), giovanna.medeiros@ufms.br

ABSTRACT

Brazil is a country privileged in terms of the diversity of agricultural and forestry crops. This is due not only to its climate and good soil conditions but also to the vast area available for cultivating various plant species. This production potential generates a large amount of waste, and this waste often leads to environmental degradation. Reducing this impact requires the use of efficient and sustainable waste management systems. The use of biodigesters as a source of energy generation has been gaining prominence in Brazil. The aim of this study was to examine the feasibility of using biodigesters in starch factories and their economic and environmental impacts as a cleaner production practice. The results of this research showed that the use of biodigesters is viable and brings many benefits, including economic, social, and environmental advantages. Finally, cassava processing waste has significant energy potential, both economically and environmentally.

INTRODUÇÃO

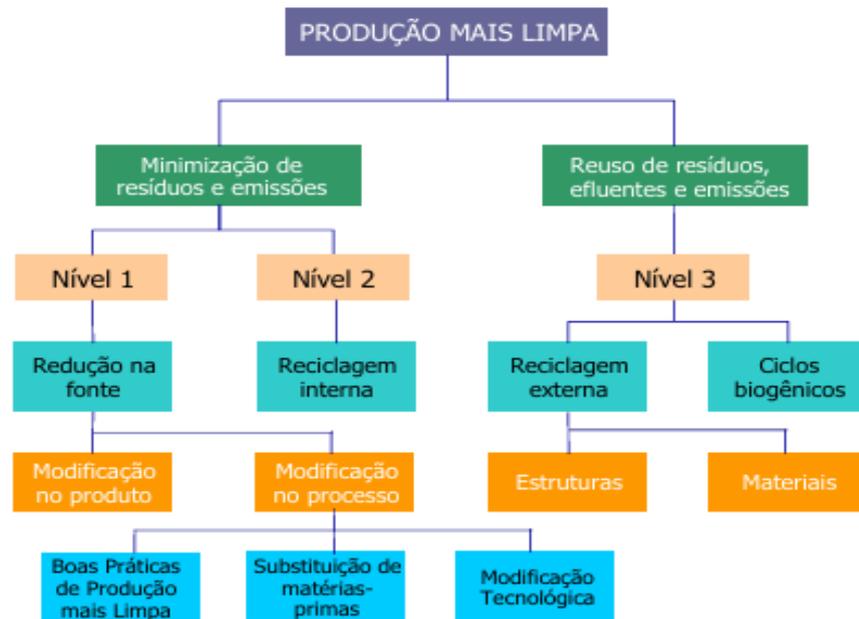
A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um tubérculo amplamente cultivado em vários lugares do mundo e em muitas localidades do Brasil. É um alimento muito popular e está entre os alimentos básicos das famílias brasileiras, inclusive as de baixa renda, pois é fonte de carboidratos, que nutre tanto o ser humano quanto os animais, além de ser uma matéria prima de grande utilidades para as indústrias para produção de farinhas e féculas de mandiocas (Oliveira, 2007). As preocupações com meio ambiente vem aumentando a cada dia, com isso vem motivando a criação de novas ferramentas tecnológicas para realizar a gestão dos resíduos, assim contribuindo para a preservação do meio ambiente e melhorando a eficiência no processo industrial, conseguindo trazer benefícios econômicos e ambientais. (Lucas; Matos, 2021). A Produção Mais Limpa é uma das filosofias de gestão que preocupa-se com a minimização e/ou reaproveitamento de resíduos e emissões dos processos produtivos (CNTL, 2003). Nesse sentido, os biodigestores apresentam-se como uma das soluções para revolucionar a destinação dos resíduos e a geração de energia, esses equipamentos além de diminuir os resíduos também fabricam o biogás que pode ser aplicado na produção de energia elétrica reduzindo os impactos ambientais que a indústria pode ocasionar (Silva, 2023). Os biodigestores, ao serem implementados, podem ser uma solução sustentável para gerenciar os resíduos produzidos durante o processo da extração da fécula. Os biodigestores nada mais são responsáveis por realizar a decomposição dos resíduos orgânicos de forma anaeróbia, transformando essa matéria orgânica em biogás e biofertilizantes. Esses produtos gerados através do biodigestor podem ser de grande utilidade ocasionando a redução de custos operacionais. O biogás é um fonte de energia renovável que pode ser utilizado na própria indústria e o biofertilizante nas plantações (Leite et al., 2014). Assim, o objetivo deste trabalho é examinar a viabilidade da utilização de biodigestores em fecularias, como uma ferramenta para promover a Produção de Mais Limpa nessa indústria.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Produção Mais Limpa

A sustentabilidade ganhou destaque porque existe uma consciência crescente da necessidade de melhorar as condições ambientais, econômicas e sociais de uma forma equilibrada, a fim de aperfeiçoar a qualidade de vida das pessoas, protegendo simultaneamente o ambiente (Lucas; Matos, 2021). A Produção Mais Limpa (P+L) tem como aplicabilidade um método econômico, ambiental e tecnológico de forma contínua, que são constituídos nos processos produtivos e nos produtos, com o intuito de reduzir os desperdícios de recursos naturais e os resíduos gerados durante o processo produtivo, e também de aumentar a eficiência dos recursos utilizados. A P+L traz consigo objetivos de implementar os conceitos ambientais na produção, com intuito de diminuir os resíduos e suas possíveis poluição (Senai, 2012). A Produção Mais Limpa promove a redução de resíduos, instituindo responsabilidades com a prevenção contra os possíveis riscos ao meio ambiente dos processos produtivos e dos produtos (Medeiros et al., 2007). A Produção Mais Limpa leva em consideração o termo ambiental em todas as áreas da organização, e são definidas por atuações que são executadas dentro da empresa, especialmente nas áreas ligadas com a produção no chão de fábrica. A produção mais limpa busca tornar o processo mais eficiente, gerando menos resíduos com mais produtos (Araújo, 2002). A Figura 1 mostra um fluxograma com os possíveis níveis da produção mais limpa, esse fluxograma se divide em três níveis tendo como objetivo principal minimizar ou reutilizar resíduos e emissões (CNTL, 2003). No nível 1 o foco está na redução direto da fonte, atuando desde a origem do problema, isso inclui a modificação do processo que podem envolver ações: boas práticas de manutenção, organização de equipamento, matérias primas e nos processo produtivos e modificação do produto que surge quando a forma mais simples não suprir as necessidades dos consumidores, boas práticas operacionais; substituição de matéria prima que pode incluir tanto matéria prima ou materiais tóxicos que pode fazer mal a saúde e prejudicar o ambiente de trabalho, e as modificações tecnológicas que podem auxiliar na diminuição de emissões e resíduos durante o processo produtivo. (CNTL, 2003) No nível 2 busca-se a reutilização dos materiais e recursos usados na empresa com o foco de reciclar os materiais gerados durante o processo de produção(CNTL, 2003). No nível 3 deve-se implementar medidas internamente para obter uma forma melhor de reciclar fora da empresa; compreendendo que o que não é útil pra mim pode ser útil para outro (CNTL, 2003).

Figura 01: Níveis de aplicação de produção mais limpa



Fonte: CNTL (2003).

Processo produtivo de fecularias

A indústria de processamento de mandioca no Brasil mudou ao longo dos anos. Segundo a ABAM (Associação Brasileira dos Produtores de Fécula de Mandioca), o Brasil exportou mais 30 toneladas de fécula de mandioca em 2021, o maior volume exportado até agora (Ribeiro et al., 2024).

Conforme o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), a queda dos preços da mandioca levou a que mais fécula fosse esmagada e produzida em 2024, e em janeiro a quantidade de fécula de mandioca produzida atingiu um pico não visto desde 2006.

Existem muitos produtores de fécula de mandioca em todo o Brasil, as regiões do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo são os maiores líderes do mercado de produção da fécula de mandioca, destacando-se o Paraná com os maiores índices de produção (ABAM, 2023). O estado de Mato Grosso do Sul bateu recordes de produção de fécula de mandioca em 2022 e 2023, e ficou em primeiro lugar em 2022 e em segundo em 2023 nas exportações de fécula (ABAM, 2023).

A fécula de mandioca é extraída em indústrias conhecidas como fecularias, que normalmente são localizadas próximas onde são produzidas as mandiocas (Feiden, 2001). Para a produção da fécula de mandioca são necessárias algumas etapas que serão descritas a seguir (Pinto, 2008; Sousa, 2023).

O processo da fécula de mandioca começa a partir da recepção dos caminhões e sua pesagem que são descarregadas nas rampas que levam para o depósito que será encaminhado para o setor industrial (Sousa, 2023). Antes disso são separadas algumas raízes para fazer a análise de renda em

que é quantificado o amido que é contido nos tubérculos em uma balança hidrostática (Sousa, 2023).

Após a recepção, segue os processos de:

- a. Pré-limpeza: depois de serem colocadas no depósito elas passam por um correias transportadoras onde ocorre pré-limpeza das raízes, retirando o excesso de terra que vem junto após a colheita (Pinto, 2008).
- b. Lavagem e descascamento: logo em seguida começa a etapa de lavagem e descascamento, os quais são feitos simultaneamente por meio de equipamentos programados para realizar esse processo, assim agilizando as etapas do processamento (Pinto, 2008).
- c. Trituração: nessa etapa é feita padronização dos tamanhos das mandiocas, para ajudar na fase de fragmentação (Pinto, 2008).
- d. Extração: A massa da mandioca triturada é levada para a extração da fécula onde é colocada em cestos grandes com peneiras em formas de cones giratórias, os quais são comumente conhecidas como GL, onde ocorre a separação das fibras da mandioca do amido (Sousa, 2023).
- e. Purificação: Depois disso o líquido que também pode ser chamado de leite, é separado na etapa anterior é levado para a purificação, onde ocorre a concentração do amido, adicionando água para purificar e centrifugar, depois realizar desidratação em uma centrífuga (Macedo et al., 2019).
- f. Secagem: A última etapa e a secagem onde será removido qualquer vestígio de umidade para garantir que o amido esteja totalmente seco, para ser embalado e armazenado pronto para a distribuição (Pinto, 2008).

Utilização de biodigestores para os tratamentos de resíduos da produção de fécula de mandioca

Embora tenha grande importância para a população e seja cada vez mais industrializado por servir de matéria-prima para numerosos tipos de produtos como o amido e seus derivados, o processo produtivo na indústria, causam sérios problemas ambientais, pois até mesmo as pequenas fábricas, as chamadas moagens e fábricas de pulverização, produzem quantidades consideráveis de resíduos sólidos (Felipe et al., 2020).

Durante o processo produtivo da fécula de mandioca são produzidos grandes volumes de resíduos (Pinto, 2008). Esses resíduos podem ser prejudiciais ao meio ambiente ocasionando sérios problemas à natureza, a indústria pode produzir em média 300 toneladas de mandioca por dia, acarretando na geração de resíduos líquidos e sólidos (Pinto, 2008).

Segundo Cereda (2001) o processo de produção da mandioca e seus derivados podem gerar grandes problemas devido ao seu descarte indevido no ambiente. Adicionalmente, um grande

desperdício para os produtores também é gerado, sendo as folhas, cascas, cepa, massa e bagaço também são subprodutos que podem ser aproveitados.

Os resíduos sólidos que são gerados durante o processo na indústria de fecularia, podem ser cascas, massas e as fibras; e os líquidos são a manipueira e a água da lavagem da mandioca (Cereda, 1994). Ainda segundo o autor, os rejeitos líquidos que são gerados no processo, são mais preocupantes, pois são formados em grandes quantidades com alto poder de poluição. No processo da extração do amido a água é usada abundantemente para o tal processo, apesar da água usada na produção da fécula conter menos efluentes concentrados do que a do processo da produção de farinha não deixa de possuir uma carga orgânica alta (Cereda, 1994).

A manipueira é a água gerada no processo de produção de mandioca durante a prensa da massa ralada. Na região do Pará, quando esse líquido é gerado das raízes da polpa amarela é chamado de tucupi, e quando é das raízes de polpa branca é chamado de manipueira (Embrapa, 2001).

As propriedades da manipueira se diferenciam conforme a tecnologia usada durante o processo da mandioca, a qualidade dos materiais utilizados, e para onde vai o produto final, sabendo que as suas propriedades características são de pH baixo, e alta quantidade de carga orgânica e cianeto (Cremones et al., 2013).

Conforme Santos (2009) essas toxinas e cargas orgânicas possuem alto poder poluente, podendo ser prejudicial à saúde afetando as células nervosas e dificultando o transporte do oxigênio para a rede sanguínea. Para se reutilizar a manipueira diversos obstáculos são relatados com a falta de estruturas adequadas para aproveitar o resíduo, as grandes quantidades que são gerados do resíduo e a falta de conhecimentos e capacitação para os envolvidos no processo, para lidar com o material que tem ampla potencialidade (Santos, 2009).

Entre os resíduos produzidos (cascas, bagaço e seus efluentes líquidos), o líquido manipueira é produzido em maiores quantidades, sendo o mais danoso quando lançado ao meio ambiente, por conter alta concentração de DBO (demanda de bioquímica de oxigênio), ácido cianídrico (HCN), e possui excessos em magnésio, potássio e fósforo (Pinho, 2007). A maneira mais comum de descartar a manipueira é em lagoas feitas no mesmo ambiente, formando grandes lagoas de resíduos, ocasionando em condições nocivas para a população, afetando até a saúde e a economia pública (Santos, 2009).

As indústrias de féculas ao gerar os resíduos na sua produção, precisam tratar adequadamente esses resíduos, assim os biodigestores e suas tecnologias empregadas podem ser uma ferramenta muito importante para diminuir os impactos ambientais causados pelo o processo produtivo da fécula de mandioca, caracterizando-se o como umaecoinovação (Jesus, 2015).

Segundo Frigo et al (2015), os biodigestores são classificados conforme é feito o seu

abastecimento, em bateladas ou contínuo. O modelo que usa a forma de batelada é abastecido em lotes onde só será novamente reabastecido quando o período do processo de digestão estiver terminado. Já o modelo de processo contínuo, podem ser abastecidos de forma ininterrupta, possibilitando a entrada frequente dos substratos e conseqüentemente a saída do material já tratado de modo contínuo (Oliver, 2008).

A escolha dos biodigestores vai depender quais produtos serão utilizados para a biodigestão e como esses biodigestores vão operar para assim escolher o melhor meio de tratamento para os resíduos (Fukayama, 2008). Alguns modelos de biodigestores são usados no Brasil como o chinês, o indiano e canadense (batelada) (Frigo et al., 2015).

O modelo de biodigestor chinês é formado por uma câmara em formato cilíndrico feita de tijolo para o material ser fermentado, com um teto feito com bordas e curvas impermeáveis para armazenar o biogás. Ele funciona baseado no sistema de prensa hidráulica (Deganutti et al., 2002).

O modelo de biodigestor indiano possui como característica uma campânula como gasômetro, que fica submersa sobre a biomassa que está em processo de fermentação e contém uma parede que fica no centro dividindo o tanque em duas partes (Deganutti et al., 2002).

Já o modelo de biodigestor em batelada possui um sistema bem simples de fácil manuseio operacional. Para a sua instalação é necessário apenas um tanque anaeróbico, ele pode ser abastecido em lotes, mantendo o material fermentando por um determinado tempo, e só pode ser reabastecido quando o material desse lote finalizar e produzir o biogás (Deganutti et al., 2002).

O biodigestor funciona de forma de biodigestão anaeróbia, sendo um tipo de processamento químico que funciona com a atividades de bactérias ajudando a desagregar elementos com complexibilidade produzindo assim biogás que contém na sua composição metano e dióxido de carbono (Vogels et al., 1988).

Os benefícios de ter um biodigestor incluem: o baixo custos de operação e de sua implantação, fácil manuseio tanto na operação quanto na manutenção e monitoramento, desempenho na redução de poluentes, aplicação em pequena ou em grande escala, grande possibilidade durabilidade e geração de produtos com valor agregado como o biogás (Samilak et al., 2010).

O biogás é produzido durante a biodigestão, sem depender de oxigênio com a utilização de materiais orgânicos como as sobras de alimentos, resíduos líquidos e sólidos originários de indústrias (como fecularias, indústrias de suínos, bovinos entres outros), áreas de esgoto domésticos, e resíduos de aterros sanitários (Lins et al., 2022; Soares, 2022).

Na biodigestão anaeróbia no processo de degradação é dividido em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, que seguem a partir da reação dos compostos, as modificações dos reagentes químicos, desenvolvimentos dos microrganismos até a produção do

biogás e os biofertilizantes (Lucas; Matos, 2021).

O processo produtivo do biogás vem se desenvolvendo com grande avanço tanto em termos tecnológicos como nas melhorias das técnicas de tratar os resíduos e sedimentos, produção de energia térmica e elétrica, biodigestão dos resíduos, eliminação de impurezas do biogás para se padronizar com o gás natural e na recuperação de químicos (Milanez, et al., 2018).

METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para identificar estudos anteriores que pudessem fornecer evidências sobre a viabilidade da utilização de biodigestores em fecularias e seus possíveis impactos. Essa pesquisa auxiliou no planejamento do estudo de caso, que foi conduzido conforme o modelo de Yin (2015). O estudo de caso foi conduzido em uma fecularia na região do Vale do Ivinhema no estado de Mato Grosso do Sul e os dados foram coletados por meio de uma entrevista semiestruturada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a pesquisa bibliográfica, notou-se que a utilização de biodigestores em fecularias possui relevância no meio científico pois, apesar de terem sido identificados trabalhos desde o ano 2000, também identificou-se trabalhos mais recentes acerca do tema (Quadro 1). Os pesquisadores concordam sobre a eficiência dos biodigestores no tratamento de resíduos como a manipueira, seu grande potencial de geração de energia renovável, além da minimização de impactos ambientais negativos do processo produtivo.

Quadro 01: Estudos sobre a utilização de biodigestores para tratamento de resíduos em fecularias.

Artigo e Autores	Alternativismo construtivo
Caracterização da água residual do processamento da mandioca (manihot esculenta) visando a produção de biogás (Neves et. al, 2019).	Após cerca de um mês de fermentação, a manipueira produz uma quantidade significativa de gás combustível. No entanto, as características da manipueira podem variar, o que influencia a produção de biogás. A manipueira é uma boa fonte para gerar energia renovável na forma de biogás.
Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbico para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação (Pinto, 2008).	O sistema de tratamento de manipueira de mandioca mostrou-se eficiente em remover boa parte dos poluentes, principalmente para vazões menores. O efluente tratado pôde ser lançado em um corpo d'água após um tratamento auxiliar para reduzir o nitrogênio amoniacal. Por outro lado, pode ser encaminhado para a rede de esgoto após avaliação do órgão responsável.
A biodigestão anaeróbia como alternativa sustentável aplicada no tratamento de águas residuárias de fecularias de mandioca (Leite et.	O sistema de biodigestores mostrou-se eficaz na reutilização de resíduos de fecularia de mandioca, mesmo com a ausência de um monitoramento

<p>al, 2016).</p>	<p>rigoroso de pH e temperatura. O biogás gerado é capaz de ser uma fonte de energia, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis. A biodigestão é uma tecnologia promissora para o tratamento de resíduos de fábricas de amidos, contribuindo para a sustentabilidade e reduzindo os impactos ambientais.</p>
<p>Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto (Feiden, 2001).</p>	<p>ema de biodigestão anaeróbia testado mostrou-se em remover uma grande parte da matéria orgânica e poluentes presentes nas águas residuárias da indústria. A produção de biogás foi significativa, com potencial para gerar energia e reduzir custos operacionais. Isso se mostrou uma alternativa viável e sustentável em comparação com as lagoas de estabilização, embora necessitando de alguns ajustes para otimizar seu desempenho. O biodigestor anaeróbico é uma tecnologia promissora para o tratamento de resíduos industriais, contribuindo para a conscientização ambiental e a geração da energia renovável.</p>
<p>Produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia de manipueira biodigestão anaeróbia de manipueira esgoto (Monteiro, 2015).</p>	<p>O biodigestor é uma opção propícia para o tratamento de resíduos e geração de biogás. Ao otimizar as condições do processo, como a proporção de substrato e inóculo, é possível obter um alto rendimento de biogás com elevado teor de metano. A biodigestão da manipueira apresenta-se como uma solução sustentável e economicamente viável para a gestão de resíduos da mandioca, contribuindo para a produção de energia limpa e a redução dos impactos ambientais.</p>
<p>A biodigestão anaeróbia com uso da manipueira: alternativa energética e sustentável em uma farinheira no município de Cianorte-PR (Soares, 2022).</p>	<p>A biodigestão anaeróbica se apresenta como uma solução eficaz, transformando esse resíduo em biogás, uma fonte de energia renovável, e em biofertilizante, rico em nutrientes para a agricultura. Essa tecnologia não apenas minimiza os impactos ambientais, mas também gera benefícios econômicos para as indústrias, tornando o processo produtivo mais sustentável e eficiente. O gás, produzido a partir da decomposição de resíduos orgânicos da própria produção, substitui combustíveis fósseis como a lenha. Essa mudança trouxe diversos benefícios, como a redução da poluição do ar e a diminuição dos custos com energia. Além disso, o tratamento em biodigestor gerou um subproduto valioso: o biofertilizante, que melhorou a qualidade do solo e o crescimento das plantas.</p>
<p>Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica (Barana, 2000).</p>	<p>A pesquisa demonstrou que o controle rigoroso do pH no reator metanogênico e acidogênico quando separados, é fundamental para otimizar a produção de biogás a partir da manipueira. Ao manter o pH entre 6,5 e 7,0, as condições se tornam ideais para a atividade dos microrganismos responsáveis pela produção de metano, maximizando a eficiência do processo. Essa descoberta tem implicações</p>

	<p>significativas para a produção de energia renovável a partir de resíduos orgânicos, tornando a biodigestão anaeróbia da manipueira uma tecnologia promissora para a produção de biogás e a geração de biofertilizantes.</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Dados da Pesquisa

A empresa na qual o estudo de caso foi realizado possui capacidade de produção de 29.700 toneladas de fécula por ano, com a obtenção da mandioca através do cultivo próprio ou por meio de compra com parceiros associados. A produção diária de fécula varia de acordo com rendimento da fábrica, para um rendimento em torno de 27%, uma produção de 121,5 toneladas por dia é gerada. Os resíduos gerados pelo processo produtivo são: a massa, que é utilizada para nutrição animal, a cepa, que é queimada na caldeira e a manipueira que é reaproveitada no biodigestor.

Na visão da empresa, os biodigestores têm papel importante nas indústrias de fecularias por reduzirem os impactos ambientais e melhorarem a sustentabilidade do negócio. Na fecularia estudada, o biodigestor foi implementado na empresa no ano de 2015, com tipo de produção de processo contínuo (Figura 2).

Figura 02: Biodigestor da fecularia estudada.



Fonte: CNTL (2003).

Conforme o gestor, a implementação do biodigestor contribuiu para uma redução de até 80% do consumo da lenha utilizada. Antes da implantação do biodigestor, a empresa não tinha um destino adequado para os resíduos. A água capturada pela fábrica era para geração de vapor na caldeira.

Com a implantação do biodigestor a empresa passou a produzir o biogás e sua própria energia, que abastece toda a indústria. De acordo com os gestores, o biodigestor trouxe grande impacto na eficiência operacional da indústria, pois a partir de sua implementação, houve um maior controle no processo de secagem, com finalidade de ajustar cada etapa do processo para obter o melhor resultado possível.

Segundo eles, a empresa observou também uma redução dos custos operacionais. Devido a operação a gás, o número de funcionários foi reduzido, necessitando apenas um colaborador para alimentar a caldeira. Além disso, o uso do biodigestor teve um impacto ambiental positivo, pois houve também a redução das cinzas geradas, reduzindo a frequência das limpezas que antes eram diárias. A manutenção do biodigestor também é considerada simples. No início da implementação, houve apenas orientações de um especialista sobre os procedimentos corretos de operação e o processo é considerado estável, não havendo necessidade de um plano de manutenção preventiva específica ou necessidade de limpeza frequente do setor, apenas acompanhamento para identificar algum incidente, como por exemplo, furos na lona. Assim, o único desafio apontado pela empresa é manter o pH adequado e seguir o fluxo do processo corretamente. A partir da pesquisa bibliográfica e do estudo de caso, observou-se que o biodigestor pode auxiliar as fecularias a atuarem nos níveis 1 (redução direto da fonte), 2 (reciclagem interna) e no nível 3 (reciclagem externa) das práticas de Produção Mais Limpa, por meio da redução de resíduos, eficiência energética e a valorização dos resíduos que os biodigestores podem proporcionar. Na redução de resíduos os biodigestores podem transformar os resíduos da mandioca, em biogás e fertilizantes que podem ser reaproveitado na própria empresa, esta etapa está associada dentro do conceito de produção mais limpa a reciclagem interna, pois os resíduos que são gerados durante a produção da fécula são totalmente reaproveitados nos biodigestores, garantindo assim a reciclagem desses materiais gerando novos produtos que serão utilizados no processo produtivo. A eficiência energética e os biodigestores entram como aliados na redução de energia que entra no conceito de produção mais limpa a redução direto na fonte, pois ao utilizar esses processos de reaproveitamento de resíduos de biodigestor gera energia limpa sustentável o que acarretará redução de consumo de energia com dependência de fontes fósseis e diminuindo a pegada de carbono. E também o biodigestor ajuda a reduzir a emissões de gases de efeito estufa que são gerados com os resíduos que não são descartados corretamente.

Na valorização dos resíduos, os biodigestores, ao transformar os resíduos em biofertilizantes que possuem um valor agregado, poderão demonstrar que a empresa se importa com os impactos ambientais e a valorizar os resíduos que antes eram descartados. Com a venda desse biofertilizantes que está na etapa do nível 3 de reciclagem externa da produção mais limpa, a empresa poderá

aumentar o seu faturamento e trazer uma imagem positiva para a empresa associada à sustentabilidade e a inovação, pois os biofertilizantes são uma opção mais sustentável do que os fertilizantes químicos. Portanto, esses aspectos demonstram que a utilização dos biodigestores pode ser um grande aliado à empresa, melhorando a implementação de práticas ambientais e os impactos ambientais no processo da empresa garantindo eficiência econômica e ambiental.

CONCLUSÕES

As crescentes preocupações ambientais e as novas exigências sociais levaram as empresas a procurarem novos modelos de negócios para o fornecimento sustentável de energia e a redução de resíduos. Neste contexto, o biogás surgiu como uma opção importante e vem recebendo incentivo em todo mundo. No Brasil, políticas públicas que promovem o desenvolvimento e a produção de biogás são essenciais para explorar plenamente o seu potencial. Atualmente existem diversas opções tecnológicas de utilização de biomassa para geração de energia. Isto inclui a fermentação biológica anaeróbica de resíduos vegetais. A utilização de resíduos para a produção de biogás é uma alternativa ao modelo tradicional de expansão do sistema elétrico e complementa a matriz energética. O crescente interesse da sociedade pela sustentabilidade tem aumentado o uso de fontes de energias sustentáveis e o reaproveitamento desses resíduos como alternativas de fontes de energia, e os biodigestores surgiram como uma solução para o tratamento de resíduos orgânicos nas indústrias de fecularia. A utilização de biodigestores para produção de biogás também pode levar ao longo prazo economias significativas na produção. O biogás é uma alternativa de energia renovável, cuja utilização traz benefícios não só econômicos, mas também sociais e ambientais, satisfazendo as necessidades de gestão de resíduos e criando uma ligação positiva entre o desenvolvimento econômico e ambiental. Com a utilização dos biodigestores nas fecularias observamos que a produção se torna mais limpa transformando os resíduos em biogás e fertilizantes. Com a implantação dos biodigestores com a técnica de produção mais limpa garante a sua funcionalidade em todas as etapas, garantindo com que o processo seja de forma mais eficaz, diminuindo erros e futuras mudanças o que pode acarretar custos desnecessários. Aplicando essas estratégias econômicas e ambientais podemos garantir a redução de resíduos nos processos produtivos e os impactos ambientais, garantindo uma melhor eficiência econômica na utilização dos biodigestores.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. (2013). Recuperado em 21 Maio, 2013, de <http://www.abam.com.br>.

- BRÁZ, Leandro Mateus. **Fabricação de materiais porosos utilizando resíduos sólidos da indústria de processamento de mandioca.** 2020.
- BOTELHO, André Campos Colares. **Coagulantes orgânicos no tratamento da manipueira de feccularia de mandioca.** 2019.
- CEREDA, M. P. Valorização de resíduos como forma de reduzir custos de produção. In: Congresso Latino-Americano de Raízes Tropicais. 1996. p. 25-43.
- CEREDA, Marney Pascoli. Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil. Editora Paulicéia, 1994.
- CREMONEZ, Paulo André et al. Biodigestão anaeróbia no tratamento de águas residuárias de feccularias. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 2, p. 89-99, 2013.
- CEREDA, M. P. Importância das tuberosas tropicais. In: CEREDA, M. P. (Org.). Agricultura: tuberosas amiláceas latino americano. 1.ed. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. p.13-25.
- SOUZA, Alexia Lorchainy de. **Modelagem do fluxo de transformação do processo produtivo da tapioca beijubom.** 2023.
- MACEDO, Anabell Cristina de, *et al.* Biodigestor como vetor de sustentabilidade na Faculdade Boa Viagem-Devry Brasil. **Brazilian Applied Science review**, 3.1: 306-312, 2019.
- AZEVEDO FRIGO, Késia Damaris de, *et al.* Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p. 57-65, 2015.
- DEGANUTTI, Roberto *et al.* Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.
- FELIPE, Fábio Isaias, *et al.* Formas de coordenação das feccularias na compra de mandioca no Paraná. **Revista de Política Agrícola**, 2020, 29.1: 59.
- FUKAYAMA, E., H. Características Quantitativas e Qualitativas da Cama de Frango Sob Diferentes Reutilizações: Efeitos na Produção de Biogás e Biofertilizante. Tese de Doutorado. **Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias**. Universidade Estadual Paulista. Pós- Graduação em Zootecnia. Jaboticabal, 2008.
- LUCAS, M. A. R.; MATOS, G. A. C. Construção de um biodigestor para fins de estudo e aplicação em pequeno porte. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.5, p. 51890-51899, 2021.

LEITE, Vera Garcia Correia; FERREIRA, Marcelo Silva; DE MELLO, Patrícia Cavani Martins. **A biodigestão anaeróbia como alternativa sustentável aplicada no tratamento de águas residuárias de fecularias de mandioca**, 2014.

LINS, Leonardo Pereira; FURTADO, Andréia Cristina; MITO, Jessica Yuki de Lima. O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Interações (Campo Grande)**, v. 23, n. 4, p. 1275-1286, 2022.

MACHAN, M. K. 2001. Sustainable cultivation concepts for domestic energy production from biomass. *Crit. Rev. Plant Sci.* 20:1–14.

MILANEZ, Artur Yabe *et al.* Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. 2018.

MATTE, Wanessa Daróz; DA SILVA, Henrique Melo; ZEFERINO, Cynthia Pieri. Subprodutos da mandioca como alimento alternativo para frangos de corte. **Pubvet**, 15: 176. 2021.

OLIVER, André de Paula Moniz *et al.* Manual de treinamento em biodigestão. **Instituto de Estudos Del Hambre. Bahia**, v. 23, p. 93, 2008.

PINHO, M. M. C. A. Características químicas de solos adubados com manipueira. Dissertação de Mestrado. Recife, PE: UFRPE, 2007. 86 p.

PINTO, P., H., M. **Tratamento de Manipueira de Fecularia em Biodigestor Anaeróbio para Disposição em Corpo Receptor, Rede Pública ou uso em Fertirrigação**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas- Universidade Estadual Paulista. Pós-Graduação em Energia na Agricultura. Botucatu, 2008.

RIBEIRO, Samara Rebeca G.; DE ANDRADE BAPTISTA, Jose Abel; DE NOVAIS, Rosana Aparecida Bueno. Análise das Exportações de Fécula de Mandioca de 1997 até 2022. **Revista do Encontro de Gestão e Tecnologia**, 1.03: 66-79. 2024.

SANTOS, A. Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microrregião sudoeste da Bahia - Brasil. [S.l.]: Barcelona, 2009.

SAMILAK, R.; BITTENCOURT, J., V., M.; PILATTI, L., A.; KOVALESKI, J., L. Biodigestor Como Opção Para Tratamento de Resíduos Agroindustriais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2010

SENAI - Centro Nacional de Tecnologias Limpas. O que é Produção mais Limpa? http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/O%20que%20%E9%20Produ%E7%E3o%20mais%20Limpa.pdf acessado em Dezembro/12.

SOUZA, Willyan Goergen de, et al. **Produção de biohidrogênio com água residuária de fecularia de mandioca em reator contínuo de tubos múltiplos.** 2020.

SOARES, Izabella Aline Ferreira. **A biodigestão anaeróbia com uso da manipueira: alternativa energética e sustentável em uma farinheira no município de Cianorte-PR.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2022.

SILVA, Andressa Pereira da. **Avaliação do ciclo de vida de alternativas de gerenciamento de resíduos orgânicos urbanos para estimativa das emissões de gases de efeito estufa: estudo de caso no campus da Universidade Federal de Pernambuco.** 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

VOGELS, G. D., KELTJENS, J.T., DRIFT, C.V.D. Biochemistry of methaneproduction. In: ZEHNDER, A.J.B. Biology of anaerobic microorganisms. New York: John Wiley, 1988. 872p.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos.** Bookman editora, 2015.