Dimensionamento de planta industrial autossustentável: Geração de biogás e energia elétrica a partir de biomassa do setor cervejeiro.

Dalmo Vinícius Mega Fiuza; André Martins Senna

Departamento de engenharia química, Uniso-Universidade de Sorocaba.
Sorocaba-SP,Brasil

Resumo

Atualmente, grande parte da produção nacional de cerveja, cerca de 14 bilhões de litros por ano, segundo a Associação Brasileira da Industria da cerveja (CervBrasil), destina seus resíduos sólidos para o agronegócio a um baixo custo, devido a sua alta umidade e potencial proteico, servindo de alimento suplementar para bovinos e aves. Representando 1,6% do PIB brasileiro com faturamento de 100 bilhões de reais por ano, o mercado industrial cervejeiro, gera aproximadamente 2,7 milhões de empregos, segundo a plataforma do governo brasileiro (GOV.BR), impactando positivamente na economia brasileira e gerando milhões de toneladas em resíduos com forte potencial bioenergético. Uma alternativa para o reaproveitamento desse resíduo sólido, que é o bagaço de malte, é a sua utilização como matéria-prima para produção do biogás, através da digestão anaeróbica. Com isso, torna-se trivial, a formulação de uma proposta de dimensionamento e seleção de equipamentos de uma pequena unidade industrial auxiliar para a indústria cervejeira, com o foco em produção de biogás a partir do bagaço de malte, para gerar energia elétrica para a unidade industrial matriz, impactando positivamente na economia circular, autossutentabilidade e autonomia energética das indústrias cervejeiras. Foram definidas as etapas do processo industrial e os equipamentos utilizados, tendo como base o ciclo de digestão anaeróbica do bagaço de malte, a produção mensal da indústria matriz e o potencial energético das fibras lignocelulósicas presentes nesse resíduo sólido. A principal premissa desse trabalho é proporcionar uma estrutura inicial de processamento em nível industrial para poder proporcionar um fim nobre a esse resíduo e produzir um ciclo energético sustentável para as indústrias cervejeiras.

Abstract

Currently, a large part of the national beer production, around 14 billion liters per year, according to the Brazilian Association of the Beer Industry (CervBrasil), sends its solid waste to agribusiness at a low cost, due to its high humidity and potential protein, serving as supplementary feed for cattle and poultry. Representing 1.6% of the Brazilian GDP with revenues of 100 billion reais per year, the industrial beer market generates approximately 2.7 million jobs, according to the Brazilian government platform (GOV.BR), positively impacting the Brazilian economy and generating millions of tons of waste with strong bioenergy potential. An alternative for the reuse of this solid residue, which is malt bagasse, is its use as a raw material for the production of biogas, through anaerobic digestion. With this, it becomes trivial to formulate a proposal for sizing and selection of equipment for a small auxiliary industrial unit for the brewing industry, focusing on the production of biogas from malt bagasse, to finally generate electricity. for the parent industrial unit, positively impacting the circular economy, self-sustainability and autonomy of the brewing industries. The stages of the industrial process and the equipment used were defined, based on the anaerobic digestion cycle of malt bagasse, the monthly production of the matrix industry and the energy potential of the lignocellulosic fibers present in this solid waste. The main premise of this work is to provide an initial

processing structure at an industrial level in order to provide a noble end to this residue and produce a sustainable energy cycle for the brewing industries.

1. Introdução

Segundo a Kirin Beer University Report, o Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo e o bagaço de malte é responsável por 85% dos resíduos sólidos da indústria cervejeira. Contudo, esse material ainda é desfavorecido no que se refere a seu reuso, em razão do seu forte potencial bioenergético, sendo utilizado apenas para ração animal, ou sendo destinado a aterros. Todavia, recuperar a energia a partir do processamento desse material, será de grande beneficiamento econômico e sustentável, haja visto sua abundância na indústria cervejeira e seu baixo custo de processamento.

O consumo recorrente e desenfreado de combustíveis fósseis, tem sua raiz no crescimento da demanda energética, que intensifica impactos ambientais negativos, fruto da queima desses combustíveis, e inflama a preocupação por novas formas de energia renovável. Desse modo, faz se imperiosa, a priorização de uso energético renovável, visto que os combustíveis fósseis são majoritariamente predominantes no padrão da matriz energética mundial. Com isso, o biogás torna-se um forte candidato a substituição dos combustíveis fósseis como forma de matriz energética, sendo composto por metano (35-75%) e dióxido de carbono (25-45%), além de nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono, nitrogênio e amônia em pequenas quantidades (Mussatto; Dragone; Roberto, 2006; Capa et al., 2020). Levando em consideração seu baixo nível de complexidade de obtenção, e ampla gama de finalidades, como energia elétrica, térmica ou como combustível, embora seja pouco aplicado, o biogás apresenta grande potencial e um bom custo benefício para produção de energia.

A digestão anaeróbica (DA) é o meio de se produzir o biogás, que pode ser definida como a decomposição do material orgânico por microrganismos em um ambiente livre de oxigênio (Rios; Kaltschmitt, 2016).

Hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese são as quatro etapas da digestão anaeróbica, e algumas condições são determinantes ao longo dessas etapas que irão influenciar o desempenho e impactar diretamente a atividade microbiana da digestão anaeróbica. A temperatura (Ventorino et al., 2018) é uma das condições que poderá influenciar, podendo ser ajustada em condições psicrofílicas (10-20ºC), mesofílicas (30-40°C) ou termofílicas (50-60ºC).

Além da temperatura, pode-se considerar o substrato a ser usado na DA, que conforme for sua estrutura poderá ter um fator de efetividade maior em eficiência. Substratos florestais e agrícolas são caracterizados como lignocelulósicos, constituídos principalmente

por celulose, hemicelulose e lignina (Panjičko et al., 2017) apresentando certo desafio no que se refere a quebra no processo de digestão, devido a sua complexa estrutura.

O bagaço de malte apresenta-se como uma ótima possibilidade, analisando seu potencial bioenergético, sua grande disponibilidade durante praticamente o ano inteiro e seu baixo custo de processamento. Com isso, o objetivo desse trabalho foi dimensionar uma planta industrial auxiliar produtiva para processar esse material e produzir biogás através da digestão anaeróbica e gerar energia elétrica com esse biogás para suprir a demanda energética da indústria matriz, além disso faz-se imperiosa uma análise econômica para verificar a viabilidade do projeto.

2. Materiais e métodos

2.1 Processo produtivo.

A implementação de um novo método de tratamento de resíduos em uma indústria demanda a determinação das etapas fundamentais de processos, a fim de se atingir os objetivos esperados e se obter sucesso em eficiência. Com isso, uma análise do processo de produção do biogás a partir do bagaço de malte por digestão anaeróbica, torna-se imprescindível, para se elaborar um plano de produção que englobe o dimensionamento, as especificações dos equipamentos e a seleção dos mesmos.

Para elaborar as etapas do processo produtivo foi construído um fluxograma que determina cada fase do processo, com base na demanda em toneladas da indústria matriz.

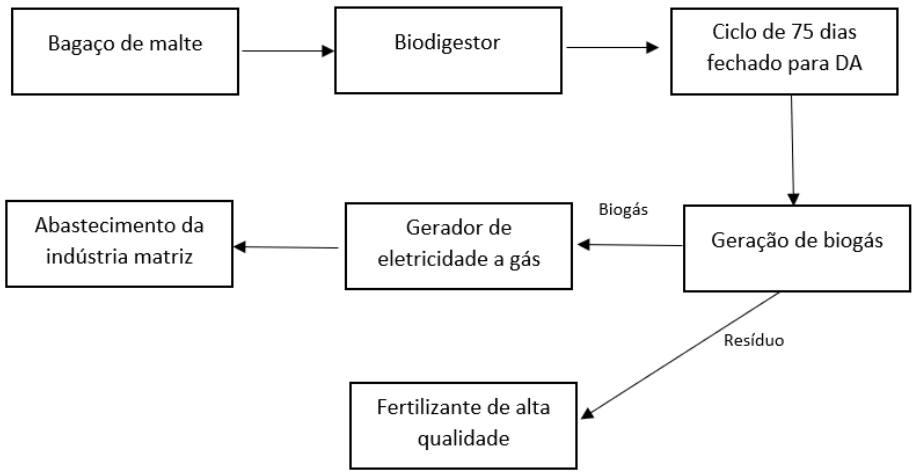

FIGURA 1 – Fluxograma de processo produção de biogás e energia elétrica a partir do bagaço de malte.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O fluxograma ilustra basicamente as etapas da produção do biogás a partir dessa biomassa, esse artigo visa a utilização in natura do bagaço de malte, sem nenhum pré-tratamento. Variáveis serão definidas detalhadamente nas discussões, considerando que temperatura, pH da biomassa e tempo do ciclo são fatores que alteram e podem interferir no processo.

2.2 Dimensionamento.

Para o escalonamento de processo foi adotado um valor fictício de entrada (1 tonelada/dia) de demanda da indústria matriz de produção do resíduo, assim podemos trabalhar os valores em massa e energia, e o rendimento em porcentagem % de metano a partir de estudos da literatura. Os equipamentos foram modelados com base na produção da indústria matriz, nas leis de conservação de massa e energia, com o intuito de se determinar as correntes do processo. O sistema será fechado e contínuo com as variáveis influentes definidas em cada etapa do processo (volume inicial, vazão de entrada e saída, rendimento do gerador e balanço de massa).

O bagaço de malte irá sair da cervejaria matriz e será depositado nos biodigestores que serão ligados em cascata para se obter uma eficiência positiva durante o período do ciclo da digestão anaeróbica, 1 tonelada será depositada por dia em cada biodigestor, para preencher os 25 para concluir o ciclo. Cada biodigestor conta com 5,0 m³ (156 cm altura, 224 diâmetro) e será completado até 3,0 m³, restando 2,0 m³ de espaço livre. A área total em m² que irá compreender a planta será de 500 m², sendo 20,0 m por 25,0 m. O ciclo de digestão anaeróbica da biomassa irá durar 75 dias, por tanto após o ciclo de DA o biogás gerado será conduzido através de dutos para um gerador a gás onde será convertido em energia elétrica sendo conduzida a indústria matriz. O residual de sobra após o ciclo poderá ser utilizado como fertilizante e será retirado manualmente dos biodigestores para que assim possa se reiniciar o processo. A diagramação desse projeto segue as premissas da economia circular, da sustentabilidade, e do desenvolvimento tecnológico industrial, onde será aplicado um processo de tratamento residual da produção de cerveja que não se utilizará de nenhum insumo químico no tratamento e todas as saídas serão reutilizáveis, sendo um fertilizante de alto valor biológico o resíduo final.

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE (un)	CAPACIDADE
Biodigestor	25	5 m^3
Tanque de armazenamento	1	20 m^3
Gerador a gás	1	24 kVa

TABELA 1 – Capacidade dos equipamentos utilizados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente, o sistema irá contar com 25 biodigestores de polipropileno com 5m³ cada um, um tanque de polipropileno com 20m³ para o armazenamento do resíduo final (fertilizante), um gerador de energia a gás, 300 metros de tubos metacama PEX para o transporte do biogás entre os biodigestores em cascata até o gerador, válvulas de esfera e manômetros.

2.3 Especificações.

A especificação e seleção dos equipamentos foram executadas com base no fluxograma de processos e na demanda hipotética em toneladas da indústria matriz que será de 1m³ por dia de entrada. Por meio da literatura científica e de estudos feitos sobre a produção de biogás a partir do bagaço de malte foi possível estimar a capacidade produtiva da planta industrial auxiliar e apresentar os dados comparativos.

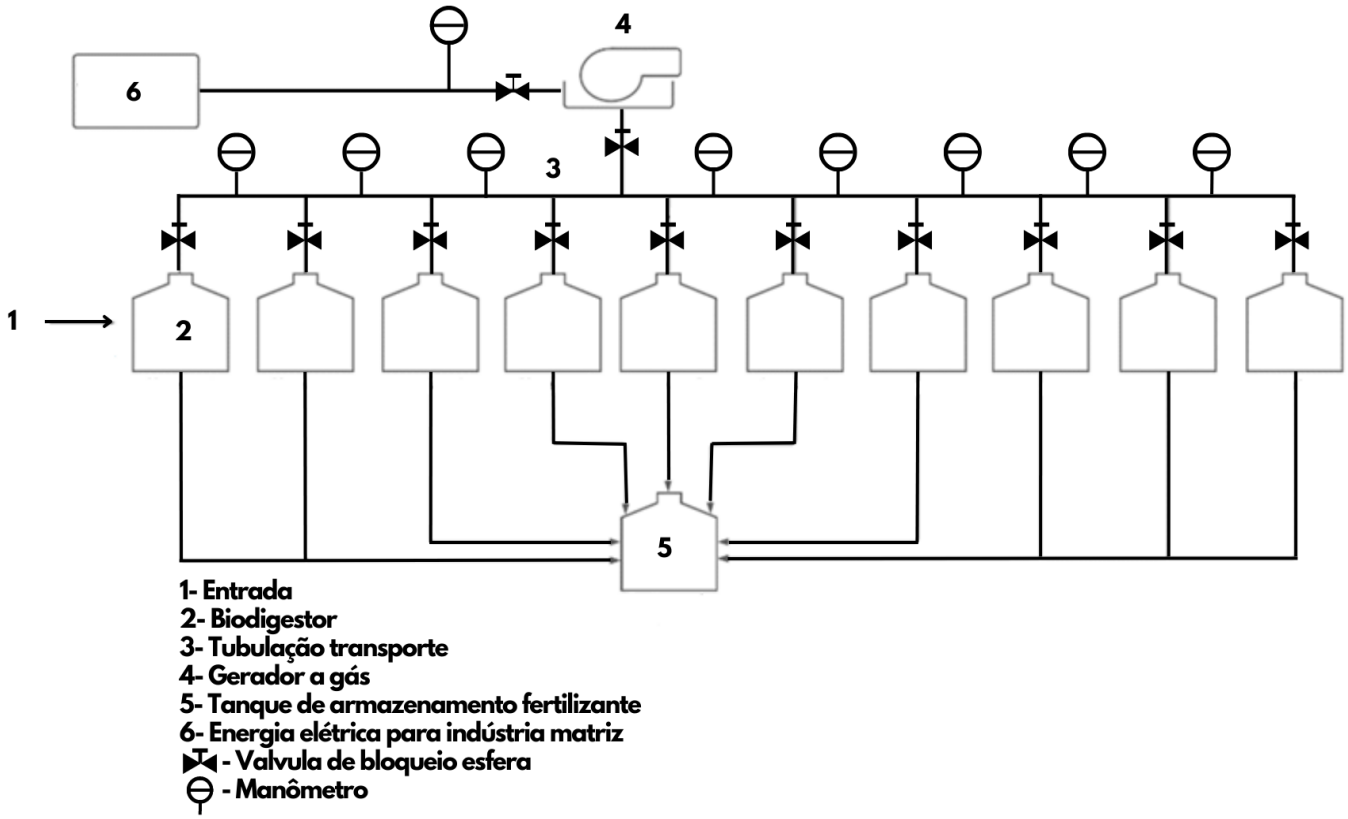

FIGURA 2 – Fluxograma total de dimensionamento e seleção de processo, caracterizando as diretrizes do caminho da biomassa, do biogás e do resíduo/fertilizante. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

3. Resultados e discussão.

Com base na abordagem teórica citada por Malakhova et al. (2015), relata que 100g L^{-1} de bagaço de malte produz por digestão anaeróbica de 6-8 litros de biogás em condições termofílicas (55°C+), foi possível realizar o dimensionamento desse projeto e ponderar a eficiência em biogás e energia elétrica. A pureza obtida a partir da digestão anaeróbica, conforme a literatura, é de 60% metano e 40% gás carbônico. Conforme essa estimativa para o processo de produção de biogás a partir de bagaço de malte, os resultados obtidos indicaram uma capacidade de produção estimada de biogás de 126m³/biodigestor por dia após o ciclo de 75 dias, considerando que cada biodigestor terá 3m³ de biomassa para digestão e uma capacidade de produção de energia elétrica de 756kW/h por biodigestor, considerando que 1m³ de biogás pode obter até 6kW/h de energia elétrica. A somatória de produção de biogás dos 25 biodigestores em cascata será de 3.150m³/dia e 18.900kW/h.

1- Entrada de bagaço de malte por dia:

1 tonelada por dia = 1000 kg/dia

Cada 100g de bagaço de malte produz aproximadamente 7 litros de biogás com eficiência de 60%. Portanto, 1 kg de bagaço de malte produz 42 litros de biogás.

Assim, 1000 kg/dia de bagaço de malte produzirão:

1000 kg/dia x 42 litros de biogás/kg = 42.000 litros/dia de biogás produzido

Em 3x dias o biodigestor irá se completar em 3m³ e produzir 126.000 litros/dia

2- Quantidade de biogás produzido pelos 25 biodigestores:

126.000 litros/dia * 25 biodigestores = 3.150.000 = 3150m³ de biogás por dia

3- Quantidade de biogás produzido por ciclo de 75 dias pelos 25 biodigestores:

3150m³ * 75 dias = 236.250 m³ de biogás

4- Quantidade de energia elétrica gerada pelo processo dos 25 biodigestores, (de acordo com a literatura pondera-se 6kW/h por metro cúbico de biogás):

3150m³ * 6kW/h = 18.900kW/h

5- Quantidade de energia elétrica gerada por ciclo pelos 25 biodigestores:

18.900kW/h * 75 = 1.417.500 kW/h = 1.417,5mW/h

Esses valores podem ser considerados satisfatórios e indicam que a produção de biogás a partir do bagaço de malte pode ser uma alternativa interessante para geração de energia e um caminho benéfico para a indústria rumo a autonomia energética.

Quantidade de biogás produzido por dia	Quantidade de biogás produzido por ciclo	Quantidade de energia gerada por dia	Quantidade de energia gerada por ciclo
3150 m³/dia	236.250m³	18.900kW/h	1.417,5mW/h

TABELA 2 – *Rendimento de biogás e energia elétrica* ***Fonte:*** *Elaborado pelo autor.*

Os equipamentos necessários para o processo de produção de biogás foram dimensionados de acordo com a demanda da indústria matriz de 1m³ de biomassa. O ciclo de 75 dias irá se reiniciar com a limpeza dos biodigestores e o manejo do fertilizante para o tanque de armazenamento.

No que tange os aspectos econômicos, o custo ponderado de investimento estimado para a planta produtora de biogás com as especificações da indústria matriz foi de R$273.008,56, podendo sofrer variações nos preços dos equipamentos pela variação do dólar.

Produto	**Quantidade**	**Marca**	**Preço**	**Total**
Biodigestor 5m³	25	SANEAR	R$6.906,00/unidade	R$172.650
Tubulação multicama PEX 16 mm	300	ASTRA	R$7,99/metro	R$2.397
Tanque 20 m³	1	HYDROTECH	R$17.793/unidade	R$17.973
Válvulas de esfera	24	EMMETI	R$234,12/unidade	R$5.618,88
Manômetro	25	FESTO	R$190,00/unidade	R$4.750,00
Gerador a gás 24kVa	1	GENERAC	R$69.619,68/unidade	R$69.619,68

Total	R$273.008,56

TABELA 3 – *Quantidade e preços ponderados dos equipamentos* ***Fonte:*** *Elaborado pelo autor.*

Em geral, os resultados obtidos indicam que a produção de biogás a partir de bagaço de malte pode ser uma alternativa interessante para geração de energia. Além disso, a análise ponderada econômica realizada permitiu dimensionar a planta produtora de biogás de forma a garantir a eficiência na produção de biogás e a parcial viabilidade econômica do projeto. A produção de biogás a partir de resíduos é uma solução sustentável que pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, para a segurança energética, e para independência de combustíveis fósseis. Pode-se concluir que uma indústria de porte pequeno/médio como a citada no artigo teria um payback sobre o investimento de aproximadamente 6 meses e 25 dias , o que seria compreendido em 2,5 ciclos, considerando o rendimento de 1.417,5 MW/h e o preço do MWh em R$89,79 seria possível obter em 2 ciclos e meio um equivalente a R$318.193,3125 em energia elétrica.

4. Conclusão.

A partir do trabalho experimental de Malakhova et al. (2015), foi possível propor uma planta industrial autossustentável para a produção de biogás a partir do bagaço de malte. Com base na quantidade de demanda da indústria matriz hipotética proposta pelo projeto, foi possível estimar, através dos cálculos 236.250m³ de biogás e rendimento de 1.417,5 MW/h por ciclo de processo, e por fim selecionar e especificar os equipamentos do processo industrial. Além disso, o presente projeto mostrou-se uma alternativa pertinente para o reaproveitamento de um resíduo cervejeiro que hoje não recebe o devido atenção pelas partes que o produzem, aliando a autonomia industrial energética ao desenvolvimento sustentável. Cabe salientar que seriam necessários mais testes para aprofundar a eficiência de aproveitamento desse trabalho.

Agradecimentos

A Deus, pela minha vida, saúde e determinação que me permite vencer todo e qualquer obstáculo em meu caminho.

A mim, por nunca me considerar inapto para vencer e fazer da dificuldade a minha motivação.

Referências:

BIODIGESTORES , Valor ponderado dos biodigestores citado no artigo, disponível em:

https://www.biodigestornaweb.com.br/biodigestor-20000 litros/p?gclid=EAIaIQobChMI3Jr1soX9_gIVmCvUAR3_mw5IEAQYASABEgLho_D_BwE

GERADOR A GÁS, Valor ponderado de gerador a gás citado no artigo, disponível em: https://loja.energgeradores.com.br/grupo-gerador-gas-generac-linha-guardian-24-kva

MALAKHOVA, D. V.; EGOROVA, M. A.; PROKUDINA, L. I.; NETRUSOV, A.I.; TSAVKELOVA, E. A. The biotransformation of brewer's spent grain into biogas by anaerobic microbial communities. World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 31, p. 2015-2023, 2015.

MANÔMETRO, Valor ponderado de manômetro citado no artigo, disponível em: https://www.viewtech.ind.br/manometro-de-pressao-analogico-festo-16-bar-g1-4-ip43-ma-50?gclid=EAIaIQobChMI3JWHyIz9_gIVOi7UAR1tEQv7EAQYBiABEgJGYfD_BwE

MUSSATTO, S.I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I.C. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. Journal of Cereal Science, v. 43, n. 1, 2006, p. 1-14.

PANJIČKO, M.; ZUPANČIČ, G. D.; ZELIĆ, B. Anaerobic biodegradation of raw and pre- -treated brewery spent grain utilizing solid state anaerobic digestion. Acta Chimica Slovenica, v. 62, n. 4, 2015, p. 818-827.

RIOS, M.; KALTSCHMITT, M. Electricity generation potential from biogas produced from organic waste in Mexico. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, 2016, p. 384-395.

SANTOS, P. Guia Técnico de Biogás. CCE – Centro para a Conservação de Energia, Portugal, 2000.

TUBULAÇÃO MULTICAMA PEX, Valor ponderado de tubulação multicama PEX citada no artigo disponível em : https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2193000828-tubo-mangueira-multicamadas-gas-encanado-pex-16mm-100-mts-_JM?matt_tool=45029758&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215522&matt_ad_group_id=134553699828&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=539425477825&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=585317343&matt_product_id=MLB2193000828&matt_product_partition_id=1802672036577&matt_target_id=aud-2009166904988:pla-1802672036577&gclid=EAIaIQobChMIqsvsz4f9_gIVBivUAR0wdwyLEAQYAyABEgKmb_D_BwE

VALVULA ESFERA, Valor ponderado de valvula esfera citada no artigo, disponível em: https://www.inteligenciasolar.com.br/acessorios/valvula-gas/valv-esf-ff-al-pgas-1-12-bsp?gclid=EAIaIQobChMIjJ3e1ov9_gIVBkFIAB0ufQIsEAQYBSABEgJk5fD_BwE