

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE EXTRAÇÃO DE SACAROSE DE CANA-DE-AÇÚCAR ENTRE A CAMISA DE MOENDA CONVENCIONAL E A PERFURADA

AUTORES

José Rodrigo de ALMEIDA

Discente da União das Faculdades dos Grandes Lagos – UNILAGO

Patrícia de Carvalho DAMY-BENEDETTI

Docente da União das Faculdades dos Grandes Lagos – UNILAGO

RESUMO

A moenda desempenha um papel crucial na indústria sucroalcooleira, uma vez que é responsável por triturar a cana-de-açúcar. O monitoramento adequado desse equipamento é vital para otimizar o processo e minimizar a perda de matéria-prima. Este estudo visa analisar os benefícios associados ao investimento na instalação de rolos do tipo Lotus na moagem. Para isso, foram coletados e analisados dados de forma sistemática, permitindo uma avaliação detalhada do impacto desse investimento na eficiência da moenda. A pesquisa incluiu uma análise dos registros de produção mensais e anuais, possibilitando a comparação entre os resultados obtidos antes e após a implementação dos novos rolos. Os achados deste estudo são essenciais para capacitar as equipes responsáveis pela moenda a tomar decisões informadas, baseadas em dados sólidos. Além disso, os resultados possibilitaram a avaliação dos ganhos de cada safra, contribuindo para a tomada de decisões estratégicas visando o aprimoramento contínuo do processo de moagem.

PALAVRAS - CHAVE

Processo de Extração de Sacarose, Eficiência, Camisa de Moenda

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar exerce um papel vital na economia brasileira, consolidando o país como o principal produtor mundial desse insumo (COPERSUCAR, 2001). A agroindústria nacional se beneficia significativamente da versatilidade da cana, que é transformada em diversos produtos, como etanol, açúcar, cachaça e rapadura. Além da produção principal, os processos industriais geram subprodutos que são reutilizados de maneira sustentável, contribuindo para a eficiência ambiental e econômica do setor. Entre esses subprodutos, destacam-se a vinhaça e o bagaço, que têm aplicações variadas, desde fertilizantes até a produção de biocombustíveis e cosméticos (CONAB, 2017). Ademais, as usinas de cana têm se beneficiado dos créditos de carbono, reforçando seu compromisso com práticas sustentáveis.

Ao longo dos anos, diversos métodos de pré-tratamento para o processamento da cana-de-açúcar foram desenvolvidos, incluindo abordagens físicas, químicas ou uma combinação delas. O pré-tratamento físico, como a moagem mecânica, pode aumentar a eficiência energética do processamento da cana-de-açúcar, diminuindo a quantidade de energia necessária para a produção de açúcar. Além disso, o tratamento térmico da biomassa pode ser utilizado como pré-tratamento para melhorar a eficiência do processamento, aumentando a produtividade e permitindo a liberação de uma maior quantidade de açúcar durante o processo (INOUE et al., 2008).

Nesse contexto, o presente estudo se concentrará na análise do uso das camisas Lotus, uma tecnologia inovadora que promete aprimorar o processo de extração do caldo de cana. A pesquisa buscará avaliar os impactos dessa tecnologia na eficiência operacional das usinas, nas propriedades do bagaço produzido e na redução da umidade—fatores que podem influenciar diretamente a produtividade e a sustentabilidade do setor sucroalcooleiro. Através da coleta e análise de dados das operações com camisas Lotus, pretende-se contribuir para um melhor entendimento dos benefícios e desafios associados à sua implementação nas usinas brasileiras, ressaltando a importância da inovação para o fortalecimento da agroindústria.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria Sucroalcooleira

A cana-de-açúcar é crucial para a economia brasileira, sendo o país o maior produtor mundial dessa cultura. Conforme apontado pela Copersucar (2001), a cana gera uma variedade de produtos, como etanol e açúcar, além de subprodutos reutilizados, como bagaço e vinhaça, que contribuem para práticas sustentáveis na agroindústria.

Segundo a Conab (2017), cerca de 12 milhões de toneladas de bagaço são produzidas anualmente, um recurso valioso para fertilização e produção de biocombustíveis. As usinas também se beneficiam de créditos de carbono, que podem ser utilizados como moeda ambiental, reforçando seu compromisso com a sustentabilidade (ALVES, OLEIRA & LOPES, 2013).

Nesse contexto, a adoção de inovações, como as camisas Lotus, é essencial. Essas camisas aumentam a eficiência da extração do caldo, reduzindo a umidade do bagaço e melhorando a produtividade (HEILMANN, 2015). Assim, a integração de práticas sustentáveis e tecnologias inovadoras é fundamental para o avanço do setor sucroalcooleiro.

2.2 Processos de moagem de cana

O processo de moagem da cana-de-açúcar é uma etapa fundamental na produção de açúcar e etanol, responsável pela extração do caldo da planta. Essa extração é composta por diversas fases e utiliza equipamentos projetados para maximizar a eficiência e a recuperação de sacarose.

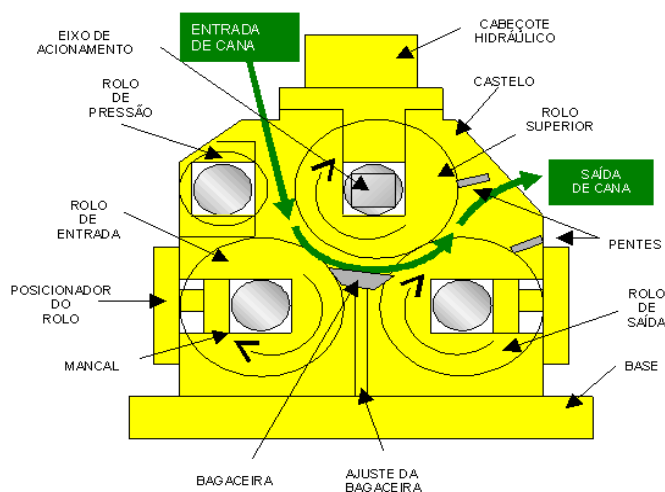
- **Preparação da Cana:** Antes da moagem, a cana-de-açúcar passa por um preparo, que inclui o corte e a desfibração. Neste estágio, a cana é picada em pedaços menores, facilitando a extração do caldo. Equipamentos como facas e desfibradores são empregados nesse processo (HEILMANN, 2015);
- **Moagem:** A cana desfibrada é então alimentada em um conjunto de moendas, onde a pressão é aplicada para separar o caldo dos sólidos. Essa fase é realizada por rolos que giram e comprimem a cana, liberando o líquido. A eficiência da moagem é influenciada pelo alinhamento e pela pressão dos rolos (DELFINI, 2013);
- **Embebição:** Para otimizar a extração, muitas usinas adotam um método de embebição, que envolve a adição de água durante a moagem. Essa prática ajuda a dissolver os açúcares restantes, aumentando a quantidade de caldo extraído (SANCHES & CHAVARRO, 2013);
- **Separação do Bagaço:** Após a moagem, o resíduo fibroso, conhecido como bagaço, é separado do caldo. O bagaço pode ser utilizado como combustível em caldeiras ou como matéria-prima para outros produtos, como papel e biocombustíveis (ALVES, OLEIRA & LOPES, 2013).

Os principais equipamentos no processo de moagem incluem:

- **Moendas:** Conjuntos de rolos que realizam a compressão da cana. Podem ser de diferentes tipos, como as convencionais ou as modernas, como as camisas Lotus, que visam aumentar a eficiência da extração (LOURENÇO, 2019);
- **Desfibradores:** Equipamentos que picam a cana antes da moagem, facilitando a liberação do caldo. A moagem é essencial não apenas para a recuperação do caldo, mas também para a sustentabilidade da produção. O reaproveitamento do bagaço e da vinhaça contribui para uma economia circular no setor sucroalcooleiro, permitindo que as usinas reduzam seu impacto ambiental e melhorem a eficiência econômica (CONAB, 2017).

À medida que as tecnologias e métodos evoluem, o processo de moagem da cana-de-açúcar continua a se aprimorar, sempre buscando aumentar a produtividade e a sustentabilidade. A Figura 1 ilustra o esquema de um terno utilizado neste processo.

Figura 1- Esquemática de terno de moenda.



Fonte: Heilmann, 2015.

2.3 Tipos de moendas

Na indústria de cana-de-açúcar, dois tipos principais de moendas se destacam pela sua eficiência e uso comum: a moenda convencional e a moenda de rolo Lotus.

A moenda convencional é o modelo tradicional utilizado na extração de caldo da cana-de-açúcar. Composta por um conjunto de rolos de aço, essa moenda realiza a compressão da cana, permitindo a liberação do caldo. A eficiência desse tipo de moenda depende de fatores como o alinhamento e a pressão entre os rolos, que precisam ser ajustados para garantir uma extração eficaz. Embora amplamente utilizada, a moenda convencional pode ter limitações em termos de recuperação de sacarose, especialmente em condições de alta reabsorção do caldo no bagaço (HEILMANN, 2015).

A moenda de rolo Lotus foi desenvolvida para otimizar o processo de extração do caldo. Uma de suas principais características é a presença de furos na camisa que permitem a drenagem do caldo de forma mais eficiente, reduzindo a reabsorção durante a moagem. Este design inovador maximiza a extração de açúcares, aumentando a eficiência do processo e diminuindo a quantidade de umidade no bagaço final. Ao ser instalada no primeiro terno da moenda, a moenda Lotus pode resultar em um aumento significativo na recuperação de sacarose, tornando-se uma solução vantajosa para as usinas (LOURENÇO, 2019).

A Figura 2 mostra que a utilização do rolo Lotus melhora as condições de drenagem do caldo extraído em comparação com uma moenda convencional. Além disso, o rolo Lotus permite um melhor contato entre a cana ou o bagaço e a superfície do rolo.

Figura 2 – A) Condição de drenagem em camisa convencional; B) Condição de drenagem com rolo lotus.



Fonte: Autores, 2024.

2.3.1 Boquilhas

As boquilhas são projetadas para facilitar caminho do caldo nos furos axiais, prevenindo entupimentos provocados pelo bagaço. Normalmente, essas peças são confeccionadas furos cônicos, com uma entrada de diâmetro menor que a saída. Apesar das camisas convencionais serem bastante comuns no mercado, existe um tipo denominado "filtrante", que oferece melhorias de extração e redução na umidade em comparação às camisas tradicionais. A Figura 3 apresenta uma comparação entre esses dois tipos de camisas (LOURENÇO, 2019).

Figura 3 – Modelos de Boquilhas



Camisa convencional

Boquilha filtrante

Fonte: Lourenço, 2019.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A usina, com seu esforço contínuo para aprimorar a eficiência e reduzir o impacto ambiental de suas operações, optou por investir em uma tecnologia inovadora chamada rolo Lotus. Este material é valorizado por sua eficiência de extração e resistência à água, sendo escolhido para atender à crescente demanda por soluções sustentáveis e eficazes. A introdução do rolo Lotus reflete o compromisso da usina com a inovação ecológica e a busca incessante por práticas que aumentem a eficiência operacional e minimizem os impactos ambientais.

Para evidenciar os benefícios econômicos da adoção do rolo Lotus nas moendas de cana-de-açúcar, foi realizado um estudo financeiro que destacou a diminuição dos Açúcares Redutores Totais (ART) no bagaço destinado às caldeiras. Essa redução de ART no bagaço contribui para menor reabsorção de caldo durante o processo de moagem, aumentando a eficiência do sistema.

As informações sobre a extração das safras, no período de 2018 a 2023, foram extraídas dos relatórios anuais de uma empresa do setor sucroenergético. Esses documentos forneciam dados sobre a porcentual de ART e umidade no bagaço, a massa de cana processada e do bagaço gerado, além das horas de operação efetiva das moendas. A implementação do rolo Lotus foi uma medida estratégica para reduzir a perda de caldo no processo de moagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta os cálculos utilizados para estimar o custo associado à perda de ART no bagaço da cana-de-açúcar.

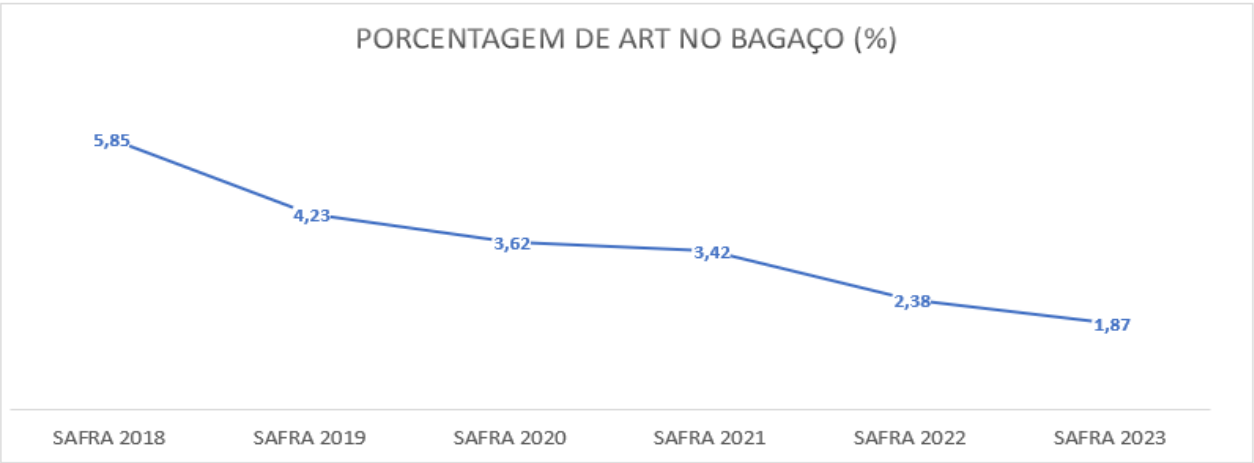
Quadro 1- Cálculos sobre a perda de ART no bagaço da cana-de açúcar

ITEM	SAFRA 2017	SAFRA 2018	SAFRA 2019	SAFRA 2020	SAFRA 2021	SAFRA 2023	SAFRA 20232
VAZÃO MÁSSICA ENTRADA DE CANA (TON)	532,54	566,47	609,43	635,67	591,95	601,94	617,33
FIBRA CANA %	12,13	12,14	11,89	11,8	12,25	12,74	11,88
FIBRA DO BAGAÇO DAS MOENDAS PONDE	51,26	49,44	47,57	50,24	50,3	50,23	46,75
VAZÃO DE BAGAÇO PRODUZIDO (TON/H)	126,02	139,10	152,33	149,30	144,16	152,67	156,87
EXTRAÇÃO TOTAL (ART)	94,27	94,40	94,99	95,33	95,89	96,09	96,26
PORCENTAGEM DE ART NO BAGAÇO (%)	5,92	5,85	4,23	3,62	3,42	2,38	1,87
HORAS EFETIVAS DE MOAGEM	4.297,12	4.158,05	4.441,15	4.922,06	4.192,04	4.371,15	5.295,22
R\$/SACA DE 50KG	R\$ 77,34	R\$ 68,20	R\$ 73,27	R\$ 107,59	R\$ 154,83	R\$ 136,69	R\$ 128,60
CUSTO PERDA DE ART NO BAGAÇO	R\$ 18.269.398	R\$ 16.386.097	R\$ 14.626.974	R\$ 21.248.474	R\$ 22.911.858	R\$ 14.925.582	R\$ 13.685.332
UNIDADE DO BAGAÇO	50,95	47,43	49,00	44,07	44,45	45,56	51,08

Fonte: Autores, 2024.

Houve uma redução significativa no custo associado à perda de Açúcares Redutores Totais (ART) no bagaço, que passou de R\$ 16.386.097 para R\$ 13.685.332, gerando uma economia de R\$ 2.700.765 ao longo dos anos. A concentração de ART no bagaço caiu de 5,85% para 1,87%, evidenciando uma melhora no desempenho do processo de extração e uma redução no desperdício de açúcar. A extração de ART se manteve estável, demonstrando que o sistema de extração tem sido eficiente em preservar altos níveis de produtividade ao longo do tempo, fator essencial para a competitividade (Figura 4).

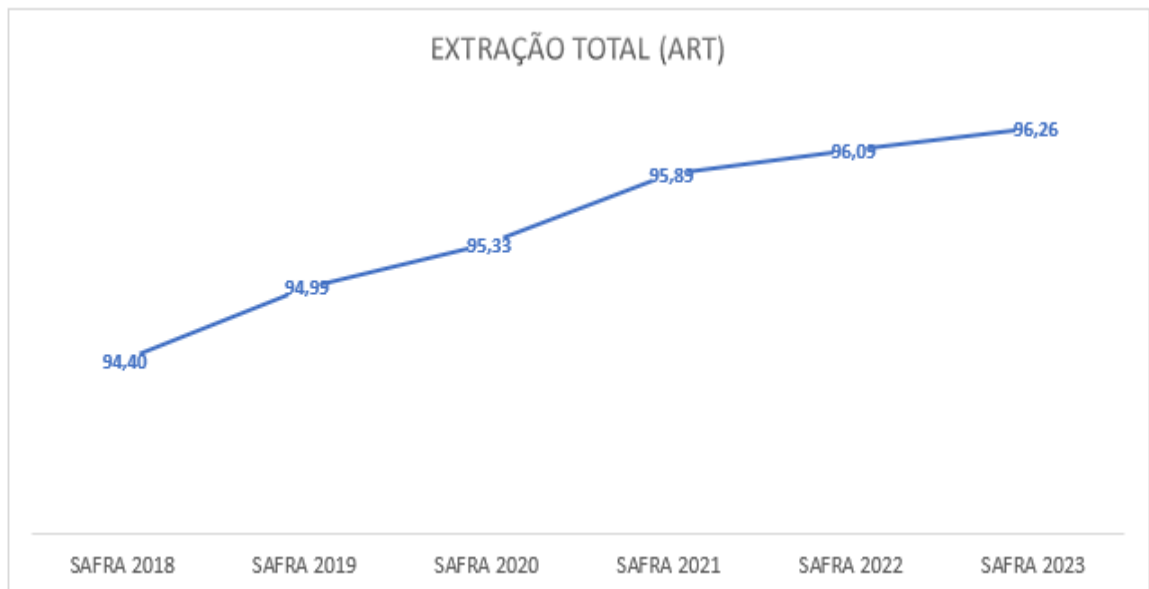
Figura 4- Porcentagem de ART no bagaço



Fonte: Autores, 2024.

A expressiva diminuição no custo relacionado à perda de ART gerou um impacto econômico favorável, elevando a rentabilidade da usina. A extração de ART aumentou de 94,40 para 96,26, sinalizando uma melhora contínua na recuperação de açúcares. A estabilidade da extração total de ART ao longo do tempo reforça a consistência do processo, essencial para assegurar níveis elevados de produtividade (Figura 5).

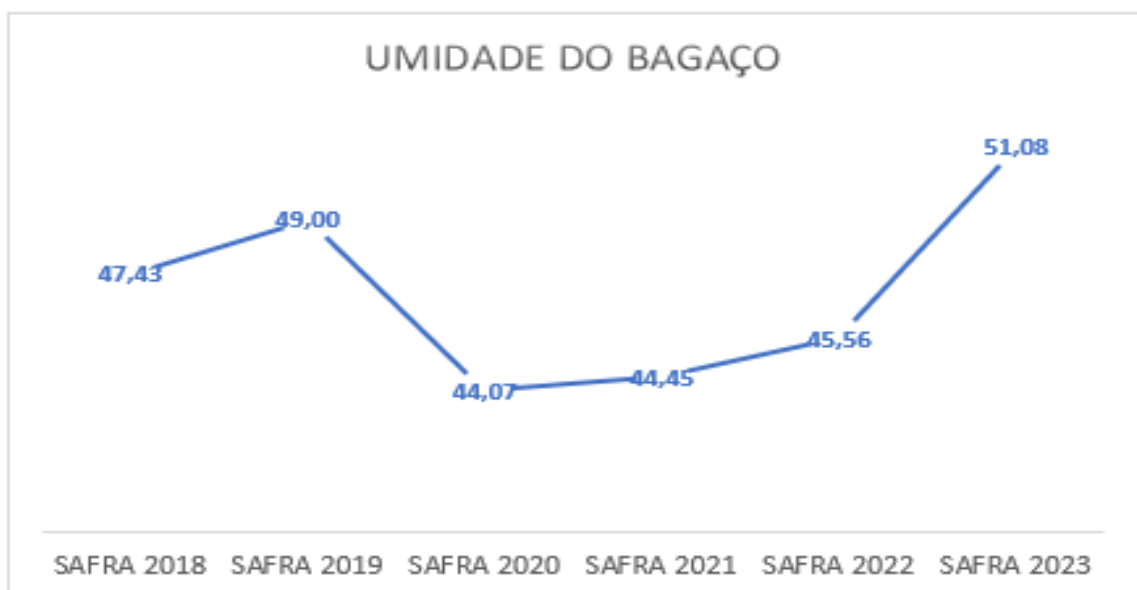
Figura 5- Extração total (ART)



Fonte: Autores, 2024.

O teor de umidade do bagaço oscilou entre 44,07% e 51,08%, o que pode impactar tanto a eficiência da combustão quanto o manejo do bagaço. Essa variação na umidade pode influenciar diretamente a eficácia da queima utilizada para a produção de energia. Controlar o teor de umidade do bagaço dentro de limites ideais é essencial para assegurar a eficiência energética (Figura 6).

Figura 6- Umidade do Bagaço



Fonte: Autores, 2024.

5. CONCLUSÃO

A análise dos dados revela uma significativa melhoria na eficiência do processo de extração de açúcar, evidenciada pela diminuição dos custos relacionados à perda de ART no bagaço. Esse aprimoramento resultou em ganhos econômicos substanciais, contribuindo para uma operação mais rentável e eficiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A.; OLEIRA, M.; LOPES, J. **Utilização do Bagaço da Cana-de-Açúcar na Produção de Biocombustíveis**. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, n. 2, p. 101-110, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar, Safra 2017/18 – Quarto Levantamento**. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 03 out. 2024.

COPERSUCAR. **A cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: Copersucar, 2001. Disponível em: <http://www.copersucar.com.br>. Acesso em: 04 out. 2024

DELFINI, P. O Processo de Moagem e os Fatores que Influenciam a Eficiência na Extração de Caldo. **Tecnologia e Cana**, v. 5, n. 1, p. 45-50, 2013.

HEILMANN, W. **Lotus mill rollers and their role in improving milling efficiency**. *Sugar Industry Journal*, v. 140, n. 4, p. 265-270, 2015. Disponível em: <http://www.sugarjournal.com>. Acesso em: 05 out. 2024.

INOUE, H. et al. Combining hot-compressed water and ball milling pretreatments to improve the efficiency of the enzymatic hydrolysis of eucalyptus. **Biotechnology for Biofuels**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1–9, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1186/1754-6834-1-2>. Acesso em: 12 out. 2024.

LOURÊNÇO, R. Inovações em Equipamentos para Moagem na Indústria Sucroenergética. **Engenharia de Processos**, v. 10, n. 3, p. 120-125, 2019.

SANCHES, F.; CHAVARRO, J. **O Papel da Embebição no Processo de Extração do Caldo de Cana**. *Engenharia Agrícola*, v. 14, n. 4, p. 201-206, 2013.