

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICO PAULA
SOUZA**

ESCOLA TÉCNICA JOÃO ELIAS MARGUTTI

Técnico em Açúcar e Alcool

Alex Henrique Correa de Oliveira

Giovana Gabriela Machado Tomaz

Layhumy Vieira Amaral

Micheli Aparecida Moreira Nery

**AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E
ÁLCOOL**

Santa Cruz das Palmeiras

2025

Alex Henrique Correa de Oliveira
Giovana Gabriela Machado Tomaz
Layhumy Vieira Amaral
Micheli Aparecida Moreira Nery

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Técnico em Açúcar e
Álcool da Etec João Elias Margutti, orientado
pela Profª. Bruna do A. B. Colli, como
requisito parcial para obtenção do título de
Técnico em Açúcar e Álcool

Santa Cruz das Palmeiras
2025

Alex Henrique Correa de Oliveira
Giovana Gabriela Machado Tomaz
Layhumy Vieira Amaral
Micheli Aparecida Moreira Nery

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Etec João Elias Margutti, como parte dos requisitos necessários a obtenção do título de Técnico Açúcar e Alcool.

Folha de Aprovação Aprovada em ____ de ____ de _____. Banca
Examinadora: _____ (Nome do
orientador) (Orientação) – (Instituição)
_____. (Nome do avaliador 1)
(Cargo) – (Instituição) _____
(Nome do avaliador 2) (Cargo) – (Instituição)
_____. (Nome do avaliador 3 – se
houver) (Cargo) – (Instituição)

Dedicatória

“A Deus, toda honra e glória por cada passo percorrido até aqui. Cada dificuldade, cada dia vencido, cada passo dado em direção para o sucesso. Dedico este trabalho de pesquisa aos meus pais, Márcia e João Batista. Estendo também o agradecimento ao meu filho Lorenzo e meus irmãos Bia e João Gabriel. De grande importância, as minhas amigas Mariana Sossai, Layhumy e Micheli Nery que também estiveram presente e não me deixaram desistir. Ao corpo acadêmico, somente agradecimentos, principalmente a nossa orientadora Bruna Colli. A todos os integrantes do grupo, agradeço do fundo do meu coração.
”

Giovana Gabriela Machado Tomaz

Com profunda gratidão, dedico este trabalho a quem me deu sustento, força e inspiração:

A Deus, por me guiar com sabedoria e me conceder a força necessária para esta conquista.

Aos meus Pais, por me ensinarem o valor do esforço e por serem meu eterno alicerce.

Ao meu Marido, por seu amor, paciência e apoio incondicional, que tornaram este sonho possível.

Aos meus Filhos, minha maior motivação e a razão de toda a minha dedicação.

Às minhas Amigas de Curso, Layhumy e Giovana, pela parceria, troca de conhecimentos e amizade que tornaram esta jornada mais leve e memorável.

Muito obrigada a todos.

Micheli Aparecida Moreira Nery

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

Resumo

Este trabalho de revisão de literatura teve como objetivo estudar os avanços tecnológicos no setor sucroalcooleiro, desde a chegada da cana ao Brasil até as evoluções nos maquinários/equipamentos (caminhões, moagem, fermentação, destilação e retificação) e nas tecnologias do campo (drones agrícolas, mudas pré-brotadas, colheitas mecanizadas). A pesquisa foi realizada por meio de sites, artigos e trabalhos acadêmicos. A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no século XVI, logo após a chegada dos portugueses. Inicialmente cultivada nas regiões Nordeste, a planta rapidamente se tornou um dos principais produtos básicos do país, impulsionando a economia colonial. Tecnologias como a mecanização da colheita, drones agrícolas, mudas pré-brotadas (MPB), o uso de sistemas de agricultura de precisão, a automação industrial e o aproveitamento de subprodutos para a geração de bioenergia têm colocado o Brasil como um dos líderes mundiais neste segmento. Esses avanços não apenas fortalecem a competitividade do setor, mas também contribuem para a transição energética global, ao oferecer alternativas renováveis e sustentáveis aos combustíveis fósseis. Os resultados indicam que, com a modernização da mecanização, a produtividade aumentou significativamente, consolidando o Brasil como líder mundial na produção de açúcar e um dos principais produtores de etanol.

Palavras-chave: avanços tecnológicos; produtividade; setor sucroalcooleiro.

TECHNOLOGICAL ADVANCES IN SUGAR AND ALCOHOL PRODUCTION.

Abstract

This literature review aimed to study the technological advances in the sugar and alcohol sector, from the arrival of sugarcane in Brazil to the evolutions in machinery/equipment (trucks, milling, fermentation, distillation, and rectification) and in field technologies (agricultural drones, pre-sprouted seedlings, mechanized harvesting). The research was conducted using websites, articles, and academic papers. Sugarcane was introduced to Brazil in the 16th century, shortly after the arrival of the Portuguese. Initially cultivated in the Northeast region, the plant quickly became one of the country's main staple products, boosting the colonial economy. Technologies such as mechanized harvesting, agricultural drones, pre-sprouted seedlings (PSS), the use of precision agriculture systems, industrial automation, and the use of by-products for bioenergy generation have positioned Brazil as one of the world leaders in this segment. These advances not only strengthen the sector's competitiveness but also contribute to the global energy transition by offering renewable and sustainable alternatives to fossil fuels. The results indicate that, with the modernization of mechanization, productivity has increased significantly, consolidating Brazil as a world leader in sugar production and one of the main producers of ethanol.

Keywords: technological advances; productivity; sugar and ethanol sector.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	8
1.1 Questão orientadora.....	8
1.2 Hipótese.....	9
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivos Gerais.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Metodologia.....	9
2 DESENVOLVIMENTO.....	10
2.1 Processos de vinda da cana para o Brasil.....	10
2.2 O início da mão de obra e suas evoluções.....	10
2.3 Início de modernização e as melhorias ao longo do tempo.....	11
2.4 Avanços tecnológicos no setor sucroalcooleiro.....	14
2.4.1 Colheita.....	14
2.4.2 Transporte.....	14
2.4.3 Moagem.....	15
2.4.4 Fermentação.....	15
2.4.5 Destilação e Retificação.....	15
2.4.6 Geração de energia Bagaço.....	16
2.5 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS NO CAMPO.....	16
2.5.1 Drones agrícolas.....	16
2.5.2 Colheita mecanizada.....	17
2.5.3 Mudanças pré-Brotadas.....	18
3.0 Conclusão.....	19
Referencias	20

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O setor sucroalcooleiro tem passado por profundas transformações, desde sua chegada ao Brasil em 1522 impulsionadas pelos avanços tecnológicos. Tradicionalmente voltado à produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar, o setor vem incorporando inovações que aumentam a eficiência produtiva, reduzem custos operacionais e minimizam os impactos ambientais (SACCHELLI, 2024).

Tecnologias como a mecanização da colheita, drones agrícolas, mudas pré-brotadas (MPB), o uso de sistemas de agricultura de precisão, a automação industrial e o aproveitamento de subprodutos para a geração de bioenergia têm colocado o Brasil como um dos líderes mundiais neste segmento. Esses avanços não apenas fortalecem a competitividade do setor, mas também contribuem para a transição energética global, ao oferecer alternativas renováveis e sustentáveis aos combustíveis fósseis.

Com relação a mecanização da colheita, é essencial falar das colheitadeiras agrícolas e que tem ocupado um grande espaço dentro das lavouras, otimizando resultados e minimizando custos. Já os drones agrícolas vem revolucionando muito o setor, com a sua diversidade de funções, dentre elas estão: Monitoramento de plantações que ajuda a identificar problemas como pragas, doenças, falhas na plantação e pulverização. Falando sobre a MPB (Mudas Pré-Brotadas) que é um novo método de mudas criadas em viveiros que visa criar mudas “perfeitas”, que são mais resistentes a doenças e pragas. Estes são alguns dos exemplos usados para justificar a importância dos avanços tecnológicos no setor sucroalcooleiro e a escolha do tema.

1.1 Questão Orientadora

Qual a importância de todo o investimento tecnológico aplicado durante o passar dos anos na indústria sucroalcooleira?

1.2 Hipótese

Desde os primeiros anos, sempre houve uma procura de uma solução que pudesse otimizar o tempo e reduzir a perda de cana desde a colheita até chegar na usina e ser processada. Com os maquinários e ajustes corretos, a modernização só favoreceu este setor. Por isso, a importância de todo o investimento que já foi aplicado é para melhoria e também aumento da produção do setor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

O objetivo geral foi demonstrar a importância dos avanços tecnológicos no processo da indústria sucroalcooleira com o passar dos anos.

1.3.2 Específico

1. Contar um pouco do processo da vinda da cana para o Brasil.
2. Descrever como foi início da mão de obra e suas evoluções com o passar do tempo.
3. Mostrar como foi o início da modernização e as melhorias ao longo do tempo.
4. Avaliar as melhorias e mostrar o avanço da tecnologia dos maquinários.
5. Demonstrar as principais tecnologias.

1.4 Metodologia

Este trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica e foi desenvolvido através de uma pesquisa básica e descritiva por meio de sites, artigos e trabalhos acadêmicos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Processo de vinda cana para o brasil

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), originária da Ásia, teve sua cultura expandida globalmente, passando pelas ilhas do Mediterrâneo e do Atlântico, como a Ilha da Madeira e os Açores, antes de chegar ao Brasil. Impulsionada pela expansão marítima europeia dos séculos XIV e XV, a planta foi vista por Portugal como um produto valioso para o comércio com a Europa (MAISAGRO, 2024).

A introdução no Brasil Colônia ocorreu em 1533, com a expedição de Martim Afonso de Sousa, que estabeleceu o primeiro engenho açucareiro em São Vicente, no litoral de São Paulo. A combinação de um clima propício e de vastas extensões de terra fértil tornou a colônia um polo ideal para o cultivo em larga escala, transformando o açúcar em um dos principais produtos de exportação e pilar da economia colonial (MAISAGRO,2024).

2.2 O início da mão de obra e suas evoluções

A implantação da cultura da cana-de-açúcar no Brasil Colônia exigiu a estruturação de um sistema de mão de obra que fosse capaz de atender à alta demanda de trabalho, desde o plantio até a produção do açúcar. Os indígenas, foram a primeira mão de obra empregada no início. No entanto, o sistema de exploração, a resistência dos povos nativos e as doenças trazidas pelos colonizadores causaram uma significativa diminuição da população, tornando essa fonte de trabalho inviável a longo prazo (SCHWARTZ,1988).

Em resposta a essa escassez e à necessidade de expandir a produção, os colonos portugueses recorreram ao tráfico transatlântico de africanos escravizados, que se tornou a base do modelo econômico e social do Brasil açucareiro. A mão de obra escravizada africana era vista pelos colonizadores como a solução ideal devido a diversos fatores: o lucrativo comércio de pessoas escravizadas, a percepção de sua maior resistência física a trabalhos extenuantes e a ausência de mecanismos legais de proteção. Os africanos,

vindos de diversas regiões do continente, foram submetidos a condições de vida e trabalho extremamente precárias, trabalhando nos campos de plantio, na moagem e no processamento da cana nos engenhos. (SCHWARTZ,1988).

Com o passar do tempo, o sistema de trabalho evoluiu, mas sempre mantendo a escravidão como seu pilar central. A mão de obra foi se especializando em diferentes funções dentro do engenho, com a distinção entre o trabalho nos campos (a lavoura) e nas instalações de processamento (a moenda e a casa-grande). Embora a base fosse a escravidão, o sistema contava com uma pequena parcela de mão de obra livre ou assalariada, composta por mestres de açúcar e outros especialistas que gerenciavam o processo produtivo (SCHWARTZ, 1988).

A evolução da mão de obra na cana-de-açúcar é, portanto, inseparável da história da escravidão no Brasil, com o sistema se adaptando para maximizar os lucros da metrópole e da elite colonial. As leis abolicionistas do século XIX, culminando com a Lei Áurea em 1888, marcaram o fim da escravidão e, consequentemente, impulsionaram a necessidade de novas formas de trabalho, como o trabalho assalariado e a imigração europeia, que reestruturaram a base produtiva e social do país (FURTADO,2000)

2.3 Início da modernização e as melhorias ao longo do tempo

Segue uma sequência do início da modernização e suas melhorias ao longo do tempo, de acordo com Carvalho (2000) e NovaCana (2014):

- Período Colonial – Século XVI ao XIX
- Introdução da cana-de-açúcar pelos portugueses.
- Produção baseada em trabalho escravo e técnicas rudimentares.
- Uso de engenhos movidos a tração animal ou hidráulica.
- Décadas de 1960–1970: Início da Modernização
- Expansão das usinas no interior do Brasil.
- Primeiras iniciativas de mecanização agrícola (tratores, implementos).
- 1975: Criação do Pró-Álcool, incentivando o etanol como alternativa à gasolina.
- Início do melhoramento genético da cana-de-açúcar

- Décadas de 1980–1990: Avanços Tecnológicos
- Fortalecimento da pesquisa agrícola (IAC, CTC).
- Desenvolvimento de variedades de cana mais produtivas.
- Início do controle mais eficiente de pragas e doenças.
- Modernização industrial nas usinas (moagem, fermentação, destilação)
- Anos 2000: Sustentabilidade e Colheita Mecanizada
- Expansão da colheita mecanizada, sem queima da palha.
- Aumento da produtividade por hectare.
- Valorização ambiental: menos emissão de poluentes.
- Etanol se consolida como combustível limpo e renovável
- Anos 2010: Etanol 2G e Energia Limpa
- Desenvolvimento do etanol de segunda geração (2G), feito com resíduos da cana.
- Uso do bagaço para gerar energia elétrica (biomassa).
- Expansão da agricultura de precisão (drones, sensores, GPS).
- Anos 2020–2025: Agricultura Digital e Inteligente
- Uso de inteligência artificial para manejo e previsão de safras.
- Aplicativos e plataformas digitais de gestão agrícola.
- Maior automação nas usinas e nos campos.
- Sustentabilidade e eficiência como foco central do setor.

A modernização da agricultura canavieira no Brasil teve início nas décadas de 1960 e 1970, marcando uma transição importante de um modelo tradicional, baseado em mão de obra intensiva, para um sistema mais mecanizado e produtivo. Esse processo foi impulsionado por políticas de incentivo estatal, como a criação do Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool) em 1975, que surgiu em resposta à crise do petróleo e tinha como objetivo substituir parte da gasolina pelo etanol. O governo investiu em infraestrutura, ofereceu financiamento agrícola e incentivou a mecanização do setor (PASCHOAL, 2024).

Durante esse período, a mecanização começou a se expandir nas lavouras, com a introdução de tratores e colheitadeiras, além da substituição gradual da queima da cana pela colheita mecanizada, que só se consolidaria

totalmente a partir dos anos 2000. Também houve melhorias no transporte e na logística da cana até as usinas, tornando o processo mais eficiente. Outro avanço significativo foi o melhoramento genético, com o desenvolvimento de variedades de cana mais produtivas e adaptadas a diferentes regiões, por meio de técnicas como seleção clonal e cruzamentos (SOARES, 2014).

A partir dos anos 1980 e 1990, o setor experimentou novos avanços, com o fortalecimento das pesquisas conduzidas por instituições como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Houve um maior controle de pragas e doenças por meio do uso racional de defensivos agrícolas, o que contribuiu para a consolidação da indústria sucroalcooleira como uma das mais eficientes do mundo (GLOBORURAL, 2014).

Nos anos 2000, a colheita mecanizada sem queima passou a ser obrigatória em alguns estados, como São Paulo, o que representou um passo importante em termos de sustentabilidade ambiental. Paralelamente, houve crescimento da produção de etanol de maneira mais limpa e sustentável, além do início da automação nos processos industriais das usinas, com controle digital da produção (GLOBORURAL, 2014).

A partir da década de 2010, a bioenergia e a sustentabilidade ganharam ainda mais destaque, com o aproveitamento do bagaço da cana para a geração de energia elétrica e o desenvolvimento do etanol de segunda geração (2G), produzido a partir de resíduos como palha e bagaço. Tecnologias de agricultura de precisão, como drones, sensores e GPS, passaram a ser utilizadas para monitorar as lavouras e aplicar insumos de forma mais eficiente. Além disso, ferramentas digitais e inteligência artificial começaram a ser incorporadas à gestão agrícola, trazendo ainda mais eficiência ao setor (PASCHOAL, 2024).

Todo esse processo de modernização teve impactos significativos. A produtividade aumentou, com mais toneladas de cana por hectare, e houve uma redução da mão de obra braçal, exigindo trabalhadores mais qualificados. Do ponto de vista ambiental, houve uma expressiva melhoria, com o fim das queimadas em muitas regiões e o reaproveitamento de resíduos da produção. Com isso, o Brasil se consolidou como um dos maiores e mais competitivos produtores de açúcar e etanol do mundo (PASCHOAL, 2024).

2.4 Avanços tecnológicos no setor sucroalcooleiro

Os maquinários evoluíram de ferramentas manuais para equipamentos altamente automatizados. Hoje, colhedoras mecanizadas cortam a cana com alta eficiência, reduzindo perdas e impactos ambientais. As usinas utilizam sistemas computacionais para monitorar a produção em tempo real, otimizando a moagem e a fermentação. A introdução de tecnologias como sensores, inteligência artificial e robótica tem aumentado a produtividade e a qualidade dos produtos finais (RIPOLI, 2014).

2.4.1 Colheita

A colheita era manual, feita com facões, um processo trabalhoso, lento e com perdas significativas de cana no campo. Com o avanço da tecnologia, surgiram as colhedoras de cana mecanizadas. Inicialmente, eram máquinas mais simples, com corte direto. Atualmente, temos colhedoras de alta tecnologia que realizam o corte, fracionamento e a limpeza da cana em uma única operação. Elas possuem sistemas de GPS e telemetria para otimizar o trajeto, monitorar o desempenho e reduzir o tempo de colheita. Algumas contam com sistemas de controle de altura de corte para minimizar a entrada de terra e pedras, o que melhora a qualidade da matéria-prima que chega à usina (VILAR, 2021).

2.4.2 Transporte

O transporte evoluiu de carroças puxadas por bois e, posteriormente, caminhões mais básicos. Com o avanço tecnológico, houve a implementação de caminhões com maior capacidade de carga e sistemas de rastreamento e gestão de frota. O uso de vagões ferroviários também se tornou mais eficiente com tecnologias de automação na carga e descarga. A logística integrada, com softwares que gerenciam o fluxo de transporte do campo para a usina, otimiza o tempo e reduz o custo, garantindo que a cana chegue no ponto ideal para processamento (BIGOTTO, 2025).

2.4.3 Moagem

Os moinhos eram mais rudimentares, com menor eficiência na extração do caldo. Com o avanço, houve a implementação de moendas mais eficientes, com múltiplos ternos e sistemas de controle de pressão automatizados. Isso maximiza a extração de sacarose do bagaço e reduz o consumo de energia. Sensores de pH e de concentração de açúcares monitoram o processo em tempo real, permitindo ajustes imediatos para otimizar a recuperação do caldo (DELFINI, 2025).

2.4.4 Fermentação

Os tanques de fermentação eram mais simples, com controle manual de temperatura e pH. Com os avanços, o uso de biorreatores controlados por sistemas computadorizados otimiza as condições para a ação das leveduras. Sensores de monitoramento contínuo de açúcares, álcool e CO₂ permitem um controle preciso do processo, aumentando o rendimento e a qualidade do etanol. A automação garante a manutenção de condições ideais de temperatura e pH, essenciais para a atividade microbiana (BARRO, 2025).

2.4.5 Destilação e Retificação

As colunas de destilação possuíam menor capacidade e controle menos preciso. Com o avanço, temos colunas de destilação e retificação mais modernas, com sistemas de controle automatizado de temperatura, pressão e vazão. Isso garante maior pureza e concentração do álcool, além de otimizar o consumo de vapor. A inteligência artificial começa a ser utilizada para prever e otimizar as condições de operação dessas colunas, buscando maior eficiência energética e qualidade do produto (BARRETO DE ARAÚJO, 2025).

2.4.6 Geração de energia (bagaço)

As caldeiras eram mais antigas, com menor eficiência na queima do bagaço. Com o avanço, foram desenvolvidas caldeiras de alta pressão e tecnologia mais avançada, que otimizam a queima do bagaço, gerando mais

energia elétrica e vapor com menor emissão de poluentes. Sistemas de controle automatizado monitoram a combustão para garantir máxima eficiência energética, aproveitando ao máximo o potencial energético do bagaço (CARDOSO, 2025).

O avanço tecnológico nos maquinários permitiu a transição de processos manuais e menos eficientes para operações altamente automatizadas, controladas digitalmente e com foco na otimização de recursos e na sustentabilidade. Isso resulta em maior produtividade, melhor qualidade dos produtos e redução do impacto ambiental (CARDOSO, 2025).

2.5 Principais Tecnologias no campo

O avanço tecnológico no setor sucroalcooleiro, mais precisamente no campo, tem ganhado muita atenção nos últimos anos. Com o Brasil sendo um dos grandes produtores de açúcar e álcool no mundo, vários estudos e novas tecnologias tem ganhado espaço dentro das lavouras para otimizar os ganhos e minimizar as perdas, dentre elas as mais usuais no Brasil são os drones agrícolas, colheitadeiras e o implemento das mudas pré – brotadas no plantio quem tem como principal objetivo o aumento de matérias primas e a redução de uso de insumos nas lavouras (FERNANDES, 2024).

2.5.1. Drones Agrícolas

Os drones podem ser usados para incontáveis finalidades dentro de uma plantação de cana-de-açúcar. Além de coletar imagens para monitoramento de falhas de plantio, ainda é possível utilizar os drones para identificar plantas daninhas e ainda aplicar de forma localizada os defensivos necessários. Usado para pulverização agrícola os drones são tecnologias altamente eficazes para a cobertura total da lavoura. Além disso, o método diminui os riscos de contaminação do meio ambiente, o que contribui com a preservação. O uso de drones no setor sucroalcooleiro é de fundamental importância, pois torna as lavouras mais eficientes, aumentando a produtividade e a rentabilidade de forma sustentável, os insumos são aplicados de maneira mais específica nos locais de infestação. Também usado para o mapeamento de terrenos graças aos seus

sofisticados sistemas de posicionamento e GPS, os drones podem criar mapas precisos das terras agrícolas. Esses mapas fornecem informações vitais sobre a topografia do terreno, o que ajuda na gestão inteligente da irrigação e no planejamento do uso do solo (FERNANDES, 2024).

2.5.2 Colheita Mecanizada

A colheita mecanizada é realizada pelas colheitadeiras automáticas de cana-de-açúcar, essas máquinas foram e ainda continuam sendo desenvolvidas para melhorar a colheita da cana.

Elas cortam os colmos maduros e já fazem a limpeza delas, descartando a folhagem, após isso fazem o pichamento da cana o que facilita na hora da moagem, após o pichamento da cana, eles são despejados em um trator que faz o acompanhamento da colheitadeira. Por essa praticidade e agilidade a colheita mecanizada é a forma mais rápida e eficaz que existe atualmente na colheita da cultura. Contudo existem boas práticas que deixam o processo mais produtivo como por exemplo a velocidade da colheitadeira, tendo em vista que se a velocidade estiver maior que o necessário pode implicar em uma maior quantidade de impurezas minerais durante o processo, fazendo assim aumentar a necessidade de manutenção nas máquinas. A velocidade ideal para essas máquinas giram em torno de 5 km/h (CLIMATE FIELDVIEW, 2024).

Um grande problema que decorre do mau uso das colheitadeiras é o pisoteio que faz com que o surgimento de falhas no plantio aconteça com mais frequência. Para que esses problemas sejam contornados é importante um bom plano de controle de tráfego do canavial. Para que isso aconteça o produtor tem que garantir o espaçamento necessário entre linhas para a passagem das máquinas e tratores, facilitando para o operador não entrar em linhas de cana (CLIMATE FIELDVIEW, 2024). A mecanização da colheita proporciona várias vantagens ao agricultor como o aumento da eficiência operacional, tornando o processo mais preciso e reduzindo perdas, melhora a velocidade da operação da colheita, diminui as perdas e danos associadas a colheita, melhorando a qualidade dos produtos colhidos, melhora o conforto e o desempenho do trabalhador, reduz o risco de acidentes de trabalho durante o processo de

colheita, diminui os gastos com mão de obra, permite a colheita de áreas maiores de forma mais eficiente (CLIMATE FIELDVIEW, 2024).

2.5.3 Mudas Pré – Brotadas – MPB

O método de plantio MPB (Mudas Pré – Brotadas) a grosso modo são mudas que são criadas em viveiros, passando por processo que minimizam os problemas fitossanitários que geralmente ocorre no método de plantio tradicional.

Mudas que estão saudáveis, são levadas para os viveiros e a partir delas são produzidas novas mudas mais resistentes a certas pragas e doenças. No que se diz respeito a economia ela também é viável porque reduz os custos com o transporte e a quantidades de mudas (SILVA, 2021).

No sistema de plantio de mudas pré-brotadas no lugar dos colmos como semente, entram as mudas pré-brotadas. Esse processo ocorre com as seguintes etapas, segundo a Revista Cultivar (2019):

- 1- As MPB são produzidas são geradas a partir dos mini rebolos, que são partes do colmo, mas especificamente nos nós, onde ficam as gemas
- 2- Após produzidas passam por processos de escolhas visual e após o selecionamento recebe o tratamento fungico
- 3- O processo de brotação acontece de forma controlada, sendo ajustada a temperatura e umidade
- 4- No fim do processo as mudas são acondicionadas em tubetes e passam por processo de aclimação

3. Conclusão

Este trabalho explorou os Avanços Tecnológicos na produção de Açúcar e Álcool no Brasil, desde a chegada da cana-de-açúcar até as inovações mais recentes. A pesquisa demonstrou como o setor evoluiu de métodos rudimentares para um sistema altamente mecanizado e automatizado, impulsionado por políticas como o Pró-álcool.

Tecnologias como a Mecanização da colheita, drones agrícolas, agricultura de precisão e o uso de mudas pré-brotadas (MPB), foram cruciais para aumentar a eficiência, reduzir custos e minimizar o impacto ambiental. Na indústria, a automação e o controle digital otimizaram a moagem, fermentação e destilação, enquanto o aproveitamento do bagaço para geração de energia e o desenvolvimento do etanol de segunda geração (2G) reforçam a sustentabilidade do setor.

Em suma, os investimentos em tecnologia foram essenciais para a competitividade do setor sucroalcooleiro brasileiro, consolidando o país como líder mundial na produção de açúcar e um dos principais produtores de etanol, ao mesmo tempo em que promovem práticas mais limpas e eficientes.

REFERÊNCIAS

- BARRETO DE ARAÚJO, Thales José Velho. **Destilação no setor sucroenergético**. Revista Opiniões, [s.l.], v. 24, 2025. Disponível em: <<https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/detalhes/24-destilacao-no-setor-sucroenergetico/>>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- BARRO, Dimas Alfredo. **O avanço da fermentação**. Revista Opiniões, [s.l.], v. 22, 2025. Disponível em: <<https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/detalhes/22-o-avanco-da-fermentacao/>>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- BIGOTTO, Vandualdo Roberto. **Os desafios logísticos do setor sucroalcooleiro**. Revista Opiniões, [s.l.], v. 26, 2025. Disponível em: <<https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/detalhes/26-os-desafios-logisticos-do-setor-sucroalcooleiro/>>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- CARVALHO FILHO, Sérgio Moraes. **Desempenho operacional econômico em cana sem queima prévia**. 2020. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-20191218-173801/publico/CarvalhoFilhoSergioMoraes.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2025.
- CLIMATE FIELDVIEW. **Colheita cana açúcar**. Disponível em: <<https://blog.climatefieldview.com.br/colheita-cana-acucar#:~:text=A%20colheita%20mecanizada%20%C3%A9%20realizada,eficiente%20para%20executar%20esse%20processo>>. Acesso em: 27 nov. 2025.
- CULTIVAR. **Desafios do plantio de mudas pré-brotadas MPB**. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/desafios-do-plantio-de-mudas-pre-brotadas-mpb-em-cana#:~:text=Sistema%20MPB,brotada%20%C3%A9%20de%2060%20dias>>. Acesso em: 27 nov. 2025.
- DELFINI, Paulo de Tarso. **Eficiência e custos na extração de caldo**. Revista Opiniões, [s.l.], v. 10, 2025. Disponível em: <<https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/detalhes/10-eficiencia-e-custos-na-extracao-de-caldo/>>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- FERNANDES, Déborah. **Drone na agricultura**. 2024. Disponível em: <<https://nutricaodesafras.com.br/drone-na-agricultura>>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- FURTADO, Celso. **Formação econômica do Brasil**. 2000.
- GLOBO RURAL. **Desafios colhedoras cana**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/desafios-colhedoras-cana-110613>>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- MAISAGRO. **Tudo sobre agro: história da cana-de-açúcar no Brasil da chegada à liderança mundial**. Disponível em: <<https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobre-agro/historia-da-cana-de-acucar-no-brasil-da-chegada-a-lideranca-mundial/>>. Acesso em: 28 nov. 2025.

NOVA CANA. **Tecnologia e mecanização na colheita de cana**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/tecnologia-mecanizacao-colheita-cana-210814>>. Acesso em: 14 nov. 2025. NOVACANA. **Desafios das colhedoras de cana**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/desafios-colhedoras-cana-110613>>. Acesso em: 09 set. 2025.

NOVACANA. **Evolução do plantio e colheita mecanizados da cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/evolucao-plantio-colheita-mecanizados-cana-de-acucar-160813>>. Acesso em: 09 set. 2025.

PASCHOAL, Adilson Dias. **História da agricultura: cinco séculos de agricultura no Brasil**. 2024. Disponível em: <<https://fealq.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Historia-da-Agricultura-Cinco-Seculos-de-Agricultura-no-Brasil-Digital-c.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2025.

RIPOLI, Marco Lorenzo Cunali. **O desenvolvimento tecnológico na mecanização da colheita de cana**. *Nova Cana*, 2014. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/tecnologia-mecanizacao-colheita-cana-210814>>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SCHWARTZ, S. B. **Segredos internos: engenhos e escravos na sociedade colonial**. 1988.

VILAR, Daniel. **Colheita de cana-de-açúcar**. Agriconline, [s.l.], 2025. Disponível em: <<https://agronline.com.br/portal/artigo/colheita-de-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 14 nov. 2025.