

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DOUGLAS ENRIQUE JUAREZ SANCHEZ
Engenheiro Industrial

**PERDAS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS NA COLHEITA
MECANIZADA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES
VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E DO EXTRATOR
PRIMÁRIO**

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DOUGLAS ENRIQUE JUAREZ SANCHEZ

Engenheiro Industrial

**PERDAS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS NA COLHEITA
MECANIZADA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES
VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E DO EXTRATOR
PRIMÁRIO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – Unesp,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Ronaldo da Silva Viana
Orientador

Ilha Solteira

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

J91p Juarez Sanchez, Douglas Enrique.
Perdas quantitativas e qualitativas na colheita mecanizada da cana-de-
açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário /
Douglas Enrique Juarez Sanchez. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
46 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Ronaldo da Silva Viana
Inclui bibliografia

1. *Saccharum* spp. 2. Qualidade tecnológica. 3. Matéria prima. 4. Impurezas.
5. Tecnologia de colheita.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Serviço
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Divisão Técnica de Biblioteca e Documentação
C.R.B.D. - 0000

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Perdas quantitativas e qualitativas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário

AUTOR: DOUGLAS ENRIQUE JUAREZ SANCHEZ

ORIENTADOR: RONALDO DA SILVA VIANA

COORIENTADOR: RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RONALDO DA SILVA VIANA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Agrônoma / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP



Prof. Associado PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena

Prof. Dr. ANDERSON CHAGAS MAGALHÃES (Participação Virtual)
Agronomia / UNESP FCAT

Ilha Solteira, 07 de março de 2022

DEDICATÓRIA

Todas minhas forças e o pouco conhecimento que tenho devo a meu Senhor Jesus. Ele tem me mantido com a esperança viva de continuar crescendo na vida.

Para minha mãe Juana Esperanza Sánchez, a pessoa que realizou todo o esforço para me dar o necessário para estudar a engenharia, quem me ensinou que trabalhando e se esforçando é possível ter êxito na vida.

Minha linda e querida esposa Birmania Vanessa, que nos momentos mais difíceis, gerou em mim o desafio de não desistir, cuidando dos meus lindos filhos Dougliert e Enrique no tempo de minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Jesus, meu Deus, pela vida e por todos os êxitos que me permitiu alcançar neste momento de minha vida. A sabedoria, o conhecimento, a inteligência e a ciência são dele.

A minha amada esposa por estar a meu lado todos estes anos de minha carreira.

A toda minha família amada, posso dizer que eu sou o orgulho de todos eles.

Ao professor Ronaldo Viana por transmitir com paciência o conhecimento e orientação no mestrado.

Aos gerentes da empresa Vale do Paraná, sr. Vicente Esquit e Alberto Otoyá pela confiança e permitir a flexibilidade no meu horário de trabalho.

A Bianca Sekiya pela ajuda nas correções do artigo.

A meus amigos Luan Moreira, Rafael do Santos, Marcio da Silva, Vanessa Trindade pelo apoio e companheirismo.

RESUMO

O cultivo de cana-de-açúcar está entre as principais atividades no agronegócio brasileiro, colocando o setor sucroenergético em destaque tanto em nível nacional quanto internacional. A transição da colheita manual para a colheita mecanizada permitiu grande avanço no setor, dando espaço para colhedoras mecânicas de alta tecnologia e eficiência operacional. Entretanto, mesmo com o benefício da eficiência operacional, revelou-se aumentos consideráveis nas perdas ocorridas no campo e na qualidade da matéria-prima, que resultam em grandes prejuízos à agroindústria anualmente. Dentre os fatores associados à estas perdas, estão a velocidade de deslocamento e a eficiência do extrator primário, as quais contribuem para disfunções ao longo da colheita, podendo aumentar ainda mais os prejuízos. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar as perdas quantitativas e qualitativas de cana-de-açúcar na colheita mecanizada, com o uso de diferentes rotações do extrator primário associado com duas velocidades de deslocamento, visando a menor perda possível e melhor qualidade da cana-de-açúcar processada na indústria. O estudo foi realizado em setembro de 2020, em área comercial do município de Suzanópolis, em cana de segundo corte com estimativa de produtividade acima de 100 t ha⁻¹. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x2, sendo quatro rotações do extrator primário (600, 700, 800 e 900 RPM) e duas velocidades de deslocamento da colhedora (3 e 4 km h⁻¹), com 4 repetições. Foi utilizada uma colhedora da marca John Deere, modelo CH570, acompanhada de transbordos em velocidade de deslocamento constante. Foram avaliadas as perdas, classificadas em tolete e estilhaço, e a qualidade tecnológica da cana, medida pelo brix, fibra, pureza, impurezas vegetais, açúcares totais recuperáveis, açúcares recuperáveis e porcentagem de oligossacarídeos. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. A velocidade de deslocamento da colhedora não influenciou no volume de perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, indicando que as velocidades avaliadas não interferem no material final perdido durante o processo. Entretanto, independente da velocidade de deslocamento, a velocidade do extrator primário interfere nas perdas durante a colheita. O brix do material colhido não apresentou diferença significativa considerando tanto velocidade de deslocamento quanto rotação do extrator primário. O mesmo foi observado para as variáveis fibra, pureza, impurezas vegetais, açúcares totais recuperáveis, açúcares recuperáveis e porcentagem de oligossacarídeos. Conclui-se que as velocidades de deslocamento de 3,0 e 4,0 km h⁻¹ não interferem nas perdas, porém a rotação do extrator de 800 e 900 RPM ocasionam maiores perdas de toletes e estilhaços na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, e que a qualidade tecnológica da matéria prima não é influenciada pelo deslocamento da colhedora e rotação do extrator primário. Desta forma, deslocamento de 4,0 km h⁻¹ com rotações do extrator primário de 600 até 700 RPM podem otimizar tempo com menores perdas, mantendo a qualidade tecnológica da matéria prima na colheita mecanizada da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; qualidade tecnológica; matéria prima; impurezas; tecnologia de colheita.

ABSTRACT

The sugarcane cultivation is among the main activities in Brazilian agribusiness, highlighting nationally and internationally the sugarcane sector. The transition from manual to mechanized harvesting allowed a great advance in the sector, giving space to mechanical harvesters with high technology and operational efficiency. However, even the benefit of operational efficiency, considerable increases in the losses occurred in the field and in the quality of the raw material were revealed, which result in great losses to the agroindustry annually. Among the factors associated with these losses are the harvesting speed and the work of the primary extractor, which contribute to dysfunctions throughout the Harvest process, which can further increase the losses. Therefore, the objective of this work was to evaluate the quantitative and qualitative losses of sugarcane in the mechanized harvest, using different rotations of the primary extractor associated with two harvesting speeds, aiming at the lowest possible loss and better quality of the sugarcane. The study was carried out in September 2020, in a commercial area in Suzanápolis, São Paulo state, in second harvest sugarcane with estimated productivity above 100 t ha⁻¹. The experimental design was in randomized blocks, in a 4x2 factorial scheme, with four rotations of the primary extractor (600, 700, 800 and 900 RPM) and two harvesting speeds (3 and 4 km h⁻¹), with 4 replications. A John Deere harvester, model CH570, was used, accompanied by transfers at constant harvesting speed. Losses were evaluated, classified at whole billet and shrapnel, and the technological quality of the sugarcane, measured by brix, fiber, purity, vegetal impurities, total recoverable sugars, recoverable sugars and oligosaccharides percentage. Data were submitted to analysis of variance and Tukey test at 5% probability. The harvesting speed did not influence the volume of losses in the mechanized harvesting of sugarcane, indicating that the evaluated speeds do not interfere in the final material lost during the process. However, regardless the harvesting speed, the rotation of primary extractor interferes in losses during the harvest. The brix of the harvested material did not show a significant difference considering both harvesting speed and rotation of the primary extractor. The same was observed for fiber, purity, vegetal impurities, total recoverable sugars, recoverable sugars and oligosaccharides percentage. It is concluded that the harvesting speeds of 3.0 and 4.0 km h⁻¹ do not interfere in losses, but the rotation of the extractor of 800 and 900 RPM causes greater losses of whole billet and shrapnel in the mechanized harvest of sugarcane. Technological quality of the raw material is not influenced by harvesting speed and rotation of the primary extractor. In this way, a harvesting speeds of 4.0 km h⁻¹ with rotations of the primary extractor from 600 to 700 RPM can optimize harvesting time with lower losses, maintaining the technological quality of the raw material in the mechanized harvest of sugarcane.

Keywords: *Saccharum spp.*; technological quality; raw material; impurities; harvesting technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão esquemática dos componentes básicos principais de uma colhedora mecânica	16
Figura 2. Visão geral da área de colheita. Suzanópolis-SP, 2020.....	21
Figura 3. Colhedora John Deere, modelo CH570 com transbordo adjacente durante a colheita da área experimental. Suzanópolis-SP, 2020	22
Figura 4. Alocação da lona para recebimento do material expelido pela durante a colheita para quantificação de perdas. Suzanópolis-SP, 2020.....	23
Figura 5. Remoção da lona após a passagem da colhedora para posterior classificação das perdas. Suzanópolis-SP, 2020.....	23
Figura 6. Remoção da palha e classificação dos materiais para contabilização de perdas totais, por tolete e por estilhaço. Suzanópolis-SP, 2020	24
Figura 7. Classificação de perdas por tolete. Suzanópolis-SP, 2020.	24
Figura 8. Classificação de perdas por estilhaço. Suzanópolis-SP, 2020.....	25
Figura 9. Pesagem dos materiais classificados para determinação das perdas por componente. Suzanópolis-SP, 2020.	25
Figura 10. Perda de cana por componente em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. A) Perdas totais; B) Perdas por tolete; C) Perda por estilhaço na colheita mecanizada. Suzanópolis-SP, 2020.....	29
Figura 11. Pureza na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020..	35
Figura 12. Açúcares totais recuperáveis (ATR) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.	36
Figura 13. Açúcares Redutores (AR) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.....	37
Figura 14. Porcentagem de oligossacarídeos (POL) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.....	37
Figura 15. Impureza vegetal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias de perdas totais, por tolete e estilhaço na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020..... 26

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre velocidade de rotação do extrator primário e as perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020.. 29

Tabela 3. Médias de Brix, Fibra (FIB), Pureza (PUR), Açúcares totais recuperáveis (ATR), Açúcares Redutores (AR), Porcentagem de oligossacarídeos (POL) e Impurezas vegetais (IMP) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020..... 34

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre velocidade de rotação do extrator primário e a qualidade tecnológica na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020..... 39

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Recomendações de velocidade de extrator primário em RPM e velocidade de deslocamento de corte da Usina Vale do Paraná. . 31
- Quadro 2.** Perda de cana por hectare nas diferentes velocidades do extrator primário e perda monetária em base nos totais por hectare colhidas na safra 2019-2020. 32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	Setor sucroalcooleiro no Brasil.....	13
2.2	Colheita mecanizada da cana-de-açúcar	14
2.3	Velocidades de operação, perdas e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Caracterização geral do experimento	21
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	22
3.3	Avaliações	22
3.4	Análise estatística dos resultados	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1	Perdas na colheita mecanizada	26
4.1	Qualidade da matéria prima no processamento da indústria.....	33
5	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior produção e exportação dos derivados da cana-de-açúcar, ganhando destaque no cenário mundial na produção de açúcar, etanol e geração de energia. Conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), na safra de 2021, a estimativa é de um total de 568.430,2 mil toneladas de cana colhidas em uma área de 8.264,4 mil hectares, sendo São Paulo o maior estado produtor do país.

Parte desta expressividade do setor tem contribuição do uso da colheita mecanizada, realizada com colhedoras mecânicas de alta tecnologia, capazes de promover alta eficiência no processo. A colheita mecanizada de cana-de-açúcar é estimada em 96,9% nas regiões onde se concentra a maior parte da produção, objetivando alcançar 100% de mecanização das operações de colheita (CONAB, 2021).

No decorrer dos anos, a transição do corte manual para a colheita mecanizada por meio de colhedoras mecânicas foi um desenvolvimento muito importante para a indústria sucroalcooleira. Entretanto, mesmo com os avanços tecnológicos, a colheita mecanizada apresenta muitas perdas ao longo do sistema de corte e alimentação da colhedora, o qual representaria um impacto significativo na agroindústria canavieira brasileira. Segundo Magalhães et al. (2006), cerca de 10% da matéria-prima colhida é perdida no campo no corte mecanizado, representando prejuízos exorbitantes anualmente.

A maior parte das perdas são provenientes das condições do sistema de corte, modelo de lâminas de cortes utilizadas, velocidade do extrator primário, tamanho do tolete, estado do canavial, variedade, o tipo de colheita realizada (queimada ou crua), modelo da máquina e sincronismo dos rolos alimentadores com o picador de cana (WHITEING; GIDDY; NORRIS, 2016; KHAWPRATEEP *et al.*, 2016). E tanto quanto o quantitativo de perdas, manter a qualidade tecnológica da matéria prima também é desafio da colheita mecanizada, sendo de grande importância para o melhor rendimento e processamento na indústria.

Dentre os fatores de maior relevância na relação entre processo de colheita e perdas, está a velocidade de operação. Como concluem Santos et al. (2019), o aumento na velocidade de trabalho da colhedora provoca aumento nas perdas visíveis da colheita da cana-de-açúcar, da mesma forma que Neves et al. (2004),

identificaram que a eficiência de limpeza do extrator primário, as perdas de material e a velocidade do ventilador estão diretamente relacionados.

Nos últimos anos, o aumento da capacidade operacional das colhedoras veio associado à maior velocidade de deslocamento, assim como na rotação do extrator primário para manter a remoção de impurezas do material colhido. Todavia, nesse processo, os cuidados com as perdas invisíveis foram menosprezados, uma vez que a velocidade de deslocamento tende a elevar perdas e níveis de impurezas por conter maior biomassa a ser processada pelo sistema da colhedora (PELLOSO *et al.*, 2019).

Por isso, diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar as perdas quantitativas e qualitativas de cana-de-açúcar na colheita mecanizada, mediante o uso de diferentes rotações do extrator primário associado com duas velocidades de deslocamento, visando a menor perda possível e melhor qualidade da cana-de-açúcar processada na indústria.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Setor sucroalcooleiro no Brasil

O cultivo de cana-de-açúcar e suas respectivas derivações está entre as principais atividades agrícolas do país, gerando grandes impactos econômicos e sociais no agronegócio brasileiro.

A planta de cana-de-açúcar é pertencente ao gênero *Saccharum*, tendo como clima ideal para seu cultivo duas estações bem definidas: uma quente e úmida para o desenvolvimento vegetativo, e outra fria e seca para maturação e acúmulo de sacarose no caule (SILVA et al., 2021), o que contribui para que o Brasil, com suas condições climáticas favoráveis, lidere o ranking de maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (USDA, 2021).

Segundo levantamento da Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB, 2021), a área destinada para o cultivo da cana-de-açúcar foi de 8.264,4 mil hectares, com produtividade de 68.780 kg ha⁻¹. A região Centro-Sul representa o maior eixo produtivo do país, tendo como destaque o estado de São Paulo, considerado principal produtor, seguido de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

Entretanto, a produção sofreu impactos, apresentando uma redução de 13,2% ao resultado obtido na safra anterior. Segundo a UNICA (2021), a redução da produção na última safra era decorrente do grande impacto das condições climáticas, com índices pluviométricos abaixo do esperado em períodos importantes para a cultura, além de oscilações na distribuição das chuvas e incidências de geadas que impactaram o potencial produtivo do vegetal e até sua qualidade na obtenção dos açúcares recuperáveis.

Além das questões climáticas, o aquecimento no mercado de grãos, tais como a soja e o milho, que ganharam ótima rentabilidade recentemente, provocaram grande concorrência das atividades, influenciando diretamente na destinação de área para cana-de-açúcar (CONAB, 2021).

O setor sucroalcooleiro nacional abrange empresas que produzem apenas etanol, chamadas de destilarias e as que produzem açúcar e etanol são denominadas usinas. Ambas podem produzir energia por cogeração, alternando a denominação do setor para sucroenergético (PIACENTE; SILVA; ARMAS, 2022).

Na produção do açúcar, o total estimado é de 31 mil toneladas do adoçante nessa safra. No acumulado dos primeiros sete meses da safra, de abril a outubro de

2021, o Brasil exportou 16,9 milhões de toneladas de açúcar. Em outubro de 2021, a exportação foi de 2,3 milhões de toneladas. O principal destino do açúcar exportado pelo Brasil é a China, responsável por 17,9% na exportação brasileira de açúcar no período, seguida da Argélia, a Nigéria, Canadá e Bangladesh.

Já na produção do etanol, são estimados pelo menos 157,3 milhões de litros do biocombustível, seja em caráter anidro ou hidratado. O Brasil exportou 1,13 bilhão de litros de etanol no acumulado de abril a outubro de 2021, tendo como maiores importadores a Coreia do Sul, representando uma participação de 36% no total exportado. Na sequência, aparecem Estados Unidos, Nigéria, Índia e Japão. Em contrapartida, o Brasil importou 95,5 milhões de litros de etanol no acumulado de abril a outubro de 2021. Porém, com a taxaço do etanol proveniente dos Estados Unidos, a quantidade importada tem como origem principal o Paraguai, que, sozinho, segue como responsável 99,8% de todo o etanol importado pelo Brasil no período (CONAB, 2021).

Além do açúcar e etanol, ainda é possível a geração de energia. O Brasil é hoje referência mundial na geração de energia a partir de biomassa, com o destaque do setor sucroalcooleiro. O processamento da cana-de-açúcar gera o bagaço, que é utilizado para gerar vapor, com grande flexibilidade para ser transformado em outras formas de energia como calor, eletricidade ou tração (TOMAZ et al., 2015).

A geração de energia provinda da biomassa de cana-de-açúcar é de 35.435 TWh, sendo 21,4 TWh destinados à comercialização no mercado e 14 TWh para consumo próprio da usina (BRASIL, 2019), sendo que das 367 usinas operantes, aproximadamente 223 comercializam energia, concluindo autossuficiência energética do setor (RODRIGUES; ROSS, 2020).

2.2 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

Devido à alta influência do setor sucroenergético no agronegócio brasileiro e a grande demanda tecnológica da atividade, o uso da colheita mecanizada na cana-de-açúcar representou um dos maiores avanços no setor (SANTOS et al., 2019).

A colheita da cana, que antes era realizada de forma manual com o uso do fogo, deu espaço à colheita mecanizada por meio de colhedoras mecânicas, cada dia mais tecnológicas e eficientes. A utilização de uma colhedora corresponde ao trabalho de aproximadamente 80 homens (COVER; MENEZES, 2020), ou o

equivalente em média ao trabalho de 26 homens por hora (GARCIA; SOUZA, 2010), evidenciando sua elevada capacidade de processamento, além da grande redução do custo operacional.

Os principais fatores que impulsionaram a mecanização da colheita da cana foram os impactos prejudiciais das queimadas sobre o meio ambiente, a insatisfação popular e a consequente proliferação de ações judiciais contra a prática da queimada nas regiões produtoras (SZMRECSÁNYI, 1994; MORAES et al., 2009).

A substituição da colheita manual com uso da queima pela colheita mecânica com maior eficiência e deposição de palhada no solo, corroboram com a demanda de cultivos agrícolas mais sustentáveis. Benedini et al. (2009) citam que a colheita mecanizada favorece não só as usinas, mas também o meio ambiente, uma vez que não há necessidade de queimada dos canaviais, processo este comum na colheita manual da cana.

A prática gera benefícios, inclusive com a criação de certificados ambientais de forma a avaliar as empresas em relação às questões socioambientais, objetivando qualidade do produto, certificação do processo, práticas trabalhistas e sociais e cumprimento de regras de mercado internacional (OLIVEIRA et al., 2016).

Considerando o histórico, a mecanização do corte da cana-de-açúcar teve início em 1973 no estado de São Paulo, com a utilização de tecnologia importada e de fabricação nacional (RIPOLI; VILLANOVA, 1992), tornando-se mais acentuado com a implantação do Pró-Álcool criado em 1975 (ABREU et al., 2015), se fortalecendo com a “Lei das queimadas” em 2002, que propunha a eliminação do uso do fogo, como método despalhador e facilitador do corte da cana-de-açúcar, de forma gradativa.

Todavia, ainda não se é possível implantar a mecanização total na colheita da cana, pois o corte e a colheita mecanizada somente podem ser realizados em terrenos com declividade de até 12% (ABREU et al., 2015), variando de acordo com as particularidades geográficas de cada região, fazendo com que algumas delas ainda dependa do corte manual.

Segundo dados da IEA (2020), a colheita manual está estimada em 9,5% a nível nacional. Na Região Centro-Sul, onde se concentra a maior parte da produção e onde há maior tecnificação das operações, com condições de relevo menos acidentadas, o percentual de colheita mecanizada previsto em 2021 é de 96,9%, contra 71,7% na Região Norte/Nordeste, tanto pelo relevo mais acidentado quanto

pela disponibilidade de mão de obra. Em São Paulo, responsável por aproximadamente 51% da área colhida, o índice de colheita mecanizada saiu de 47,6% na safra 2008/09 para 96,9% na safra 2021/22.

Basicamente, o processo de colheita pela máquina se inicia com o corte das ponteiros da cana-de-açúcar por despontadores, como mostra a Figura 1. Em seguida, as plantas são conduzidas pelo rolo tombador para a realização do corte basal. Após o corte, os colmos passam por rolos alimentadores até chegar aos rolos picadores, onde são cortados em toletes menores. Após, são depositados no cesto, onde atuará o extrator primário na remoção das impurezas por exaustão de ar, promovido por uma hélice giratória. Na sequência, os colmos são conduzidos pelo elevador de taliscas, passando pelo extrator secundário para nova remoção de impurezas e, por fim, são descarregados, normalmente, em sistemas de transbordo específicos (JOHN DEERE, 2006).

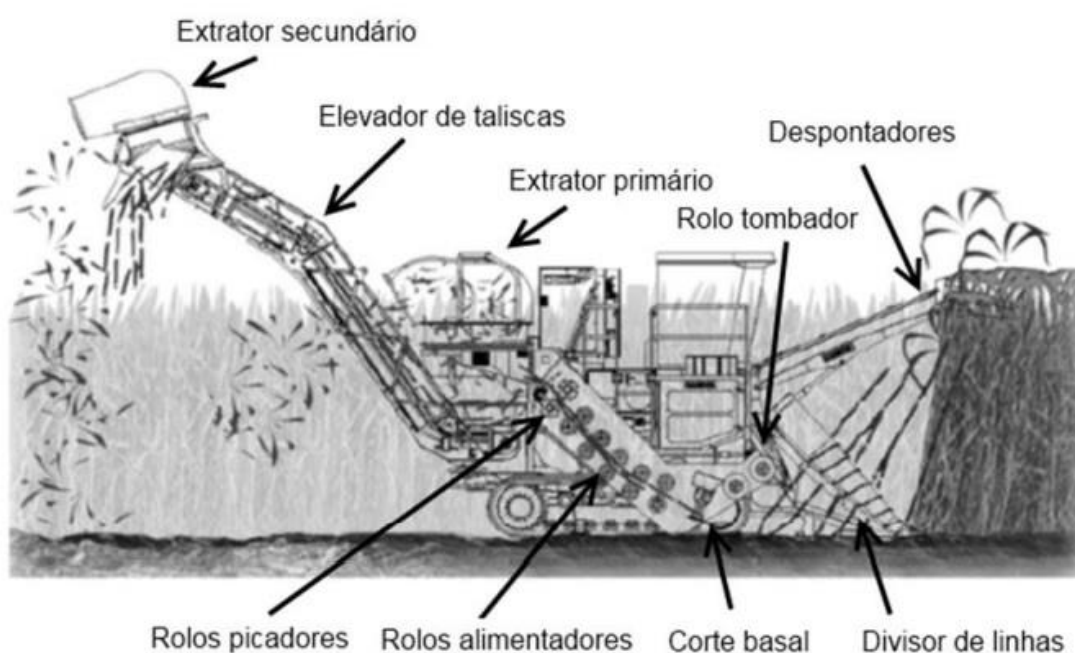


Figura 1. Visão esquemática dos componentes básicos principais de uma colhedora mecânica. Fonte: John Deere (2006).

O extrator primário tem por finalidade realizar previamente a limpeza da matéria-prima colhida (até 80%) por meio de um vácuo gerado, expelindo as impurezas minerais e vegetais para fora da máquina, após os colmos serem fracionados e depositados no cesto de toletes. Como suplemento do extrator

primário, posteriormente a matéria-prima passa pelo extrator secundário para remoção das impurezas remanescentes (NARIMOTO, 2012).

Dentro do ciclo operacional gerado pela cana-de-açúcar, a etapa da colheita pode ser considerada como uma das mais importantes, pois dela depende a qualidade do produto entregue às usinas (MAGALHÃES; BALDO; CERRI, 2008).

2.3 Velocidades de operação, perdas e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

A mudança no sistema de colheita com corte manual de cana-de-açúcar apresentou um expressivo ganho em áreas colhidas e na matéria-prima processada pelas indústrias para a colheita totalmente mecanizada, mas também revelou aumentos consideráveis nas perdas de cana e impurezas (SANTOS et al., 2019).

A quantificação das perdas no processo de colheita facilita as correções de falhas mecânicas e operacionais, em que a identificação e minimização das perdas no campo implicam diretamente em aumento de ordem financeira (SANTOS et al., 2019).

Como se pode perceber, as perdas decorrentes da colheita mecanizada são expressivas, gerando grande preocupação com sua redução. Com isso, vários estudos buscam estratégias para entender os processos e os detalhes da perda ao longo do sistema de colheita (NEVES et al. 2004; SALVI et al., 2007; MENEGATTI et al., 2006; MAGALHÃES; CERRI, 2007; MAGALHÃES; BALDO; CERRI, 2008). De acordo com Meert et al. (2020) a colheita mecanizada apresenta maior perda de cana, independente da variedade utilizada.

Os danos causados pelas máquinas na soqueira no momento do corte, o impacto das faquinhas e sistema de limpeza geram perdas visíveis e invisíveis na colheita de cana-de-açúcar (TOLEDO, 2012).

As perdas invisíveis variam em função das variedades da cana, do estado do canavial (cana em pé ou prostrada), da ação dos mecanismos e das condições e ajustes dos implementos das colhedoras. Outro fator importante é a baixa qualidade da sistematização da linha da cana, por onde as faquinhas do corte de base realizarão a função do corte, sendo necessário uma adequada operação de nivelamento do terreno da linha de cana antes do primeiro corte para redução de perdas (PELLOSO et al., 2019; MARTINS; RUIZ, 2020).

Uma das perdas invisíveis é a ocorrida no extrator primário na forma de estilhaço, que apresentam partículas muito pequenas geradas no impacto do tolete nas pás do extrator, sendo este um tipo de perda pouco estudada pela agroindústria, apesar de representar alto dispêndio monetário (WHITEING; NORRIS; PATON, 2002). A eficiência de limpeza das máquinas, as perdas de cana-de-açúcar em geral e a velocidade de rotação do extrator primário estão diretamente relacionadas, pois, quanto maior é a rotação, maior é a eficiência de limpeza e maiores são as perdas (WHITEING; GIDDY; NORRIS, 2016; PELLOSO et al., 2019).

O estilhaço é liberado pelo extrator primário, sendo absorvido pela velocidade do ar que é acionado pelas pás do extrator no momento da saída da cana do sistema picador. A alta velocidade de ponta das pás do extrator extrai os toletes de cana que são retirados com as folhas, são estilhaçados em pequenos fragmentos e dispersos entre a palha que permanece no solo (WHITEING; GIDDY; NORRIS, 2016). Conforme se aumenta a rotação do exaustor primário, os toletes passam a ser sugados junto com a palha e a terra, sendo lançados ao campo; ao passar pelos exaustores, os mesmos colidem com as pás do exaustor, sendo dilacerados em lascas (estilhaços) e pedaços, contribuindo para o aumento das perdas (NEVES et al., 2004).

Nesse contexto, a velocidade de corte torna-se um fator importante, pois pode ocasionar grande interferência nos processos de perdas. De acordo com Pelloso et al. (2019), a maior velocidade na colhedora de cana gera maior perda por estilhaço, no entanto o valor não difere estatisticamente dos tratamentos composto pela velocidade de 3 km h⁻¹, podendo atribuir as perdas invisíveis às rotações altas do extrator primário. Para Santos et al. (2019), as velocidades de deslocamento que representam menores perdas são 3, 4 e 5,0 km h⁻¹, recomendadas como padrão de trabalho para minimizar as perdas visíveis no campo.

As perdas e a contaminação da cana-de-açúcar com impurezas durante o processo de colheita estão relacionadas, dentre outros fatores, com o acompanhamento inadequado do microrrelevo do solo e da varredura ineficiente realizados pelo cortador basal (VOLPATO et al., 2002). O aumento da velocidade de saída de ar dos extratores das colhedoras é uma proposta para reduzir os índices de matéria estranha, contudo pode aumentar as perdas visíveis em níveis inaceitáveis economicamente (REIS, 2009).

Neves et al. (2004) afirmam que a velocidade do ventilador está diretamente relacionada às perdas totais. No estudo, os autores identificaram que alterando a velocidade do extrator primário e monitorando com sensor piezelétrico, obtém-se cerca de 85% de eficiência de limpeza do extrator primário e perdas entre 2,5 e 5,7% de cana-de-açúcar em geral.

Da mesma forma, Wang *et al.* (2018) constataram que a velocidade do ventilador do extrator primário e o tamanho do tolete tem influência significativa na taxa de impureza e na perda de cana na forma de estilhaço.

Segundo Sugar Research Australia - SRA (2014), o fluxo uniforme e constante de cana na colhedora significa menor requerimento de potência do motor, o que traduz na redução de consumo de combustível, nível mais baixo de matéria estranha (impureza) e menos dano aos toletes, conseqüentemente, menor perda. Diversos ensaios indicam a diferença entre perdas totais e estilhaços em função da rotação do extrator primário, obtendo a maior eficiência de limpeza com o ventilador, operando na máxima rotação, fundamentando a massa vegetal tanto para úmida ou seca (NEVES et al., 2004).

A quantidade de impureza que compõe o material colhido passa a afetar diretamente a qualidade tecnológica da matéria-prima, alterando outros parâmetros. Segundo o Bovi e Serra (1999), a presença de impurezas, tais como folhas, no material a ser processado, causa uma redução no Brix do caldo, e há tendência desta redução ser proporcional ao aumento da quantidade da mesma, devido o alto teor de umidade que gera um extrato aquoso foliar contribuindo na diluição do caldo.

A presença de impurezas na matéria-prima afeta também a pureza do caldo. A queda na pureza é atribuída ao fato que da folha verde são extraídos sólidos solúveis não-sacarose. Desta forma, embora a umidade da folha verde cause redução no Brix, os sólidos extraídos da folha verde concorrem para sua elevação. Ou seja, a redução no Brix do caldo é proporcionalmente menor do que na porcentagem em massa de sacarose aparente (POL) do caldo (BOVI; SERRA, 1999).

Outro detalhe a se considerar é a relação das perdas com a qualidade tecnológica. Segundo Meert et al. (2020), perdas por rebolo e até mesmo de cana inteira afetam negativamente a qualidade do caldo, pois a medida com que estas perdas aumentam, há redução no Brix, ATR, pureza e açúcares redutores.

Por isso, o ajuste da colheita, considerando todos os mecanismos que envolve perdas e a remoção de impurezas deve ocorrer de forma eficiente, visando diminuir o máximo de perdas quantitativas, ao mesmo passo que contribui para a manutenção de uma boa qualidade tecnológica do material a ser processado.

A unidade de produção, além dos benefícios do aumento da qualidade da matéria prima, também se beneficia da intensificação do sistema de colheita mecanizado, uma vez que a limpeza da cana-de-açúcar colhida nesse sistema é realizada a seco, reduzindo o uso de água no processo industrial e evitando afetar o teor de sacarose, que diminui com o uso da água (CONAB, 2021).

A análise de matéria prima é um dos fatores mais importantes para a indústria de processamento do material. Para uma melhor exploração da cana entregue na indústria, o processo agrícola precisa focar em variáveis, tais como as impurezas vegetal e mineral, ATR, Brix, pureza do caldo, AR e Pol, entre outros. Com as análises, pode-se conhecer a qualidade da cana processada, o que permite aumentar a qualidade de gestão industrial e agrícola de uma unidade sucroenergética.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização geral do experimento

O estudo foi realizado em setembro de 2020, em área pertencente à Usina Vale do Paraná, na fazenda Santa Rosa I, no município de Suzanópolis-SP, situada nas seguintes coordenadas geográficas, latitude 20°23' 26,9" S, longitude 51°1'38,2" W, altitude de 351 metros em relação ao nível do mar, com declividade inferior a 4%.

O estudo foi instalado e conduzido em cana-de-açúcar de segundo corte (primeira cana soca), da variedade RB 966928 que possui porte semi-ereto, estimativa de produtividade acima de 100 toneladas por hectare, sendo o espaçamento utilizado entre linhas de 1,5 metros.



Figura 2. Visão geral da área de colheita. Suzanópolis-SP, 2020.

Foi utilizada uma colhedora da marca John Deere, modelo CH570, fabricada em 2017, com 342 cavalos de potência e rodado de esteira. A colhedora utilizou faquinhas e facão em boas condições ao início dos tratamentos para reduzir a influência na perda por meio de desgastes, com angulação de corte da base de 14° e altura de corte em torno de 3 a 5 cm, paralelamente um trator John Deere 4x4 serie 190J com 190 cavalos de potência, acoplado a dois transbordos, em velocidade de deslocamento constante, semelhante da colhedora (Figura 3). As velocidades de deslocamento da colhedora utilizadas no estudo foram baseadas no

padrão de deslocamento convencionalmente utilizados na usina, considerando rendimento de colheita.



Figura 3. Colhedora John Deere, modelo CH570 com transbordo adjacente durante a colheita da área experimental. Suzanápolis-SP, 2020.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 4x2, sendo quatro rotações do extrator primário (600, 700, 800 e 900 RPM) e duas velocidades de deslocamento da colhedora (3 e 4 km h⁻¹), com 4 repetições, totalizando 8 tratamentos e 32 parcelas experimentais com média de comprimento das linhas de 291 metros.

3.3 Avaliações

Para a medição das perdas foi utilizada uma lona de 4 metros de comprimento por 4 metros de largura, totalizando uma área de 16 m², colocada de forma adjacente à última linha da cana em pé com o objetivo de receber toda a matéria que é liberada pelo extrator primário da colhedora. Esta metodologia foi proposta por Ridge (1990), o qual desenvolveu, uma ferramenta para ilustrar a magnitude da perda de cana no início da colheita mecanizada, sendo este método composto pelo posicionamento de uma lona ao lado do caminho da colhedora, e

após a passagem da colhedora, o material é classificado e a sobra de cana recuperada, conforme as Figuras 4 e 5.



Figura 4. Alocação da lona para recebimento do material expelido pela durante a colheita para quantificação de perdas. Suzanápolis-SP, 2020.



Figura 5. Remoção da lona após a passagem da colhedora para posterior classificação das perdas. Suzanápolis-SP, 2020.

Uma vez coletado o material, foi realizada a separação dos componentes do material recebido na lona, sendo a palha retirada e classificada somente os componentes de cana (estilhaço e o tolete danificado) para posterior pesagem

(Figuras 6, 7, 8 e 9). Em seguida foi realizada amostragem de impureza vegetal para cada um dos tratamentos no laboratório PCTS (Pagamento de Cana por Teor de Sacarose) para obter as porcentagens de impureza.



Figura 6. Remoção da palha e classificação dos materiais para contabilização de perdas totais, por tolete e por estilhaço. Suzanápolis-SP, 2020



Figura 7. Classificação de perdas por tolete. Suzanápolis-SP, 2020.



Figura 8. Classificação de perdas por estilhaço. Suzanápolis-SP, 2020.



Figura 9. Pesagem dos materiais classificados para determinação das perdas por componente. Suzanápolis-SP, 2020.

Foram realizadas as seguintes análises tecnológicas: sólidos solúveis totais (BRIX), Fibra, Pureza, Impurezas Vegetais, Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), Açúcares Recuperáveis (AR) e Porcentagem de oligossacarídeos (POL), conforme a metodologia da Consecana (2006).

3.4 Análise estatística dos resultados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey com 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas quantitativas na colheita mecanizada

As médias de perda total, perda por tolete e perda por estilhaço estão apresentadas na Tabela 1. A velocidade de deslocamento da colhedora não influenciou no volume total de perda na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, indicando que as velocidades avaliadas, sendo elas 3 e 4 km h⁻¹ não interferem no material final perdido durante o processo. Entretanto, independente da velocidade de deslocamento, a velocidade do extrator primário interfere na perda total durante a colheita. Não foi observado efeito de interação entre velocidade de deslocamento e do extrator primário para perdas totais (Tabela 1).

Tabela 1. Médias de perdas totais, por tolete e estilhaço na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020.

	Total t ha ⁻¹	Tolete t ha ⁻¹	Estilhaço t ha ⁻¹
Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)			
3	0,61	0,33	0,64
4	0,92	0,38	1,04
Velocidade do extrator primário (RPM)			
600	0,30	0,20	0,28
700	0,62	0,34	0,56
800	0,82	0,40	0,91
900	1,32	0,49	1,61
ANAVA (Pr>F)			
Deslocamento (D)	0,0904	0,7369	0,0344
Extrator (E)	0,0034*	0,0463*	0,0001*
D x E	0,5436	0,5834	0,5032
CV (%)	64,02	66,42	58,9

CV: Coeficiente de variação; *Significativo a 5% de probabilidade (p<0,05).

Em relação às perdas por tolete, a velocidade de deslocamento não influenciou o resultado final, com valores de 0,33 e 0,38 t ha⁻¹ para as velocidades

de 3 e 4,0 km⁻¹, respectivamente. Por outro lado, a velocidade de rotação do extrator primário alterou o volume final de perdas por tolete da colheita. As perdas por tolete encontradas foram de 0,20; 0,34; 0,40 e 0,49 t ha⁻¹ nas rotações de 600, 700, 800 e 900 RPM, respectivamente. Efeitos significativos da interação entre deslocamento da colhedora e rotação do extrator primário não foram observados (Tabela 1).

As perdas por estilhaço foram influenciadas pela velocidade de deslocamento, sendo de 0,64 t ha⁻¹ na velocidade de 3,0 km⁻¹, valor este menor que na velocidade de 4,0 km⁻¹ onde as perdas foram de 1,04 t ha⁻¹. Estas perdas também foram influenciadas pela rotação do extrator primário, observando a variação de 0,28 até 1,61 t ha⁻¹ da menor para a maior rotação do extrator. Velocidade de deslocamento e extrator primário não apresentaram interação significativa para perdas por estilhaço.

A variação da rotação do extrator primário em colhedoras de cana-de-açúcar possui influência sobre as perdas, especialmente nos estilhaços (KAWAMOTO *et al.*, 2016). Em cana de alta produtividade, a quantidade que entra no sistema torna-se um fator importante que afeta na perda de estilhaço, dependendo da produtividade do canavial e da velocidade de colheita. Xing *et al.* (2020) verificaram três fatores com forte correlação com a perda de cana e com interação significativa, sendo estes a velocidade do ventilador, taxa de alimentação e o comprimento dos toletes.

Pelloso *et al.* (2019), em estudo semelhante, encontraram que os resultados de perdas em forma de estilhaço tendem a ser influenciados principalmente pela velocidade de rotação do extrator primário.

Como mostra a Figura 10, tanto as perdas totais quanto as perdas por tolete e estilhaço sofreram alteração em decorrência da velocidade de rotação do extrator. As perdas totais observadas foram menores nas rotações de 600 e 700 RPM, e consideradas semelhantes as perdas ocorridas com rotação de 800 RPM. Já as maiores perdas foram constatadas na maior rotação do extrator, (900 RPM), chegando em 1,32 t ha⁻¹, chegando até 4 vezes a mais de perdas em relação à menor velocidade estudada (600 RPM). Entre as rotações de 800 e 900 RPM, as perdas totais foram semelhantes.

Segundo Benedini e Silva (2010), valores de perdas na colheita mecanizada próximos de 3 a 4 toneladas por hectare são consideradas aceitáveis, estando todos os tratamentos deste estudo, independente da velocidade de deslocamento e de extrator, dentro dos limites tolerados.

Comparando baixa rotação (600 RPM) com alta rotação (900 RPM), observa-se aumento destas perdas em alta rotação, o que indica que as usinas que estejam usando velocidade do extrator a 900 RPM ou acima desse valor, podem ter perdas muito altas e, portanto, redução nas entradas monetárias. Os valores de perdas encontrados na rotação de 900 RPM podem representar 440% do valor das perdas encontradas em 600 RPM, sendo um alerta importantíssimo sobre os cuidados com o manejo do extrator primário.

Pelloso et al. (2019) concluíram que a combinação da velocidade de 3 km h⁻¹ com rotação do extrator de 1200 RPM é a mais indicada para a colheita mecanizada da variedade RB 965902. Os autores encontraram perdas por tolete de 0,52 t ha⁻¹ e de estilhaço de 0,30 t ha⁻¹, numericamente inferiores ao presente estudo. Entretanto, a produtividade esperada da lavoura era de 75,0 t ha⁻¹, também abaixo da estimada no presente estudo, corroborando com a ideia de que, velocidades de deslocamento e rotação do extrator primário não podem ser consideradas de forma isolada para a determinação das perdas e consequentemente eficiência da colheita.

Da mesma forma que as perdas totais, as perdas por tolete foram menores nas rotações de 600 e 700 RPM, semelhantes à rotação de 800 RPM. As maiores perdas por tolete foram encontradas com rotação de 900 RPM, sendo de 0,49 t ha⁻¹ semelhante as 0,40 t ha⁻¹ encontradas em 800 RPM. Nesta rotação, o incremento de perdas por tolete foi de 100%, isto é, duplicando os valores encontrados na menor rotação. Enquanto em 900 RPM, o incremento atingiu 145%, valores consideravelmente altos e sinais de alerta para a agroindústria.

O tolete representa uma perda importante, principalmente por ser matéria-prima em plenas condições de processamento, tendo seu destino desviado devido as falhas do processo. Para as usinas este tipo de perda é muito comum, entretanto, pode gerar grandes prejuízos por não ser aproveitado.

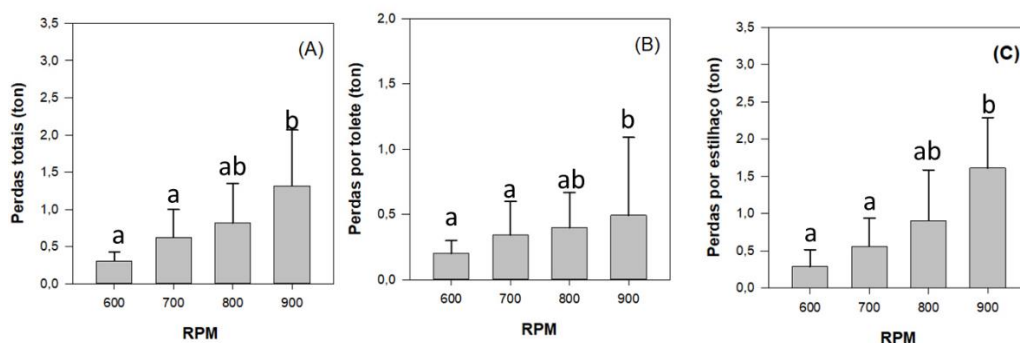


Figura 10. Perda de cana por componente em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. A) Perdas totais; B) Perdas por tolete; C) Perda por estilhaço na colheita mecanizada. Suzanópolis-SP, 2020.

(Letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas entre as velocidades do extrator primário, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade).

As perdas por estilhaço foram maiores na rotação de 900 RPM com o total de $1,61 \text{ t ha}^{-1}$, valor este quase seis vezes maior que as perdas por estilhaço de $0,28 \text{ t ha}^{-1}$ encontradas na menor rotação de 600 RPM. As perdas de cana na forma de estilhaço estão diretamente relacionadas as velocidades de rotação do extrator primário, sendo que maior a velocidade de rotação, maior a perda (NEVES et al., 2004). Pelloso *et al.* (2019) encontraram valores reduzidos na perda na forma de estilhaço nas rotações de 700 RPM, e na velocidade de 950 RPM, os valores de perdas por tolete foram superiores. No estudo citado, os autores relatam perdas por estilhaço de $0,16 \text{ t ha}^{-1}$ com 700 RPM a um deslocamento de 3 km h^{-1} , contra $0,23 \text{ t ha}^{-1}$ a 950 RPM.

Os valores encontrados para os coeficientes de correlação indicam correlação significativa entre a rotação do extrator primário e as variáveis de perdas analisadas (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre velocidade de rotação do extrator primário e as perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.

	Perdas		
	Total	Tolete	Estilhaço
CC	0,6065	0,2983	0,6921
Valor de P	0,0002*	0,0972	<0,0001*

CC: Coeficiente de correlação. *Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

O intervalo de medida para o coeficiente de correlação varia entre $-1,0$ e $1,0$, sendo que valores positivos indicam a tendência de uma variável aumentar à medida que a outra aumenta, e os negativos indicam a tendência de o aumento de uma variável implicar na redução da outra. Segundo Lira (2004), coeficientes entre $0,0$ e $0,30$ indicam uma correlação fraca, enquanto coeficientes entre $0,30$ e $0,60$ indicam correlação moderada, entre $0,60$ e $0,90$ uma correlação forte e entre $0,9$ e $1,0$ indicam correlação muito forte.

A análise de correlação da rotação do extrator com as perdas totais (Tabela 2) apresentou o coeficiente $0,6065$ com um nível de probabilidade de $0,0002$ indicando forte correlação positiva, mostrando um aumento das perdas totais conforme com aumento da rotação do extrator. Na análise de perdas por tolete, embora tenha se observado diferença significativa em função da rotação do extrator primário (Tabela 1), não foi observada correlação significativa.

Já em relação as perdas por estilhaço, foi observada correlação significativa com coeficiente de $0,6921$ e nível de probabilidade de $<0,0001$, indicando também uma forte correlação positiva entre a velocidade do extrator e este tipo de perda. Ou seja, pela análise de correlação, aumento da rotação do extrator e aumento de fragmentos estilhaçados estão diretamente relacionadas entre si.

Ajustar de forma correta a velocidade de corte no solo e velocidade do extrator primário em relação a produtividade é um fator chave para reduzir as perdas invisíveis (SRA, 2014), pois quando um excesso de cana é direcionado para o sistema de alimentação da máquina, é necessário um esforço adicional para processá-la, tanto para o operador como para a máquina. Com isso, o sistema pode travar devido a quantidade de biomassa entrando pelos rolos alimentadores e pelo sistema picador. Neste processo, a qualidade dos toletes é reduzida, o que permite incremento da quantidade de lascas e fragmentos de cana, aumentando a perda por ser facilmente removidos pelo extrator primário (NEVES et al., 2004).

Em estudo realizado por Neves et al. (2006), a velocidade dos extratores primário e secundário não foi semelhante e apresentou alto coeficiente de variação, sendo a velocidade média do ar de saída conforme a posição do elevador em relação à colhedora (direita ou esquerda), apesar de não apresentar alteração de sua distribuição em função de sua posição. As perdas foram significativas para as variedades utilizadas (RB 72454 e SP80-1842) e não apresentaram diferenças

significativas quando se processaram diferentes quantidades de fluxo de cana-de-açúcar.

Segato e Daher (2011), estudando as perdas da colheita mecanizada seguindo as velocidades de 6,5; 7,0 e 8,0 km h⁻¹, e constataram que a colhedora operando em maior velocidade, proporcionou maior perda de estilhaços. Resultados diferentes foram encontrados por Rosa *et al.* (2009), em que estes mencionam que a velocidade de deslocamento e rotação do extrator primário não influenciaram nas perdas visíveis, e as colhedoras poderão trabalhar a uma velocidade de até 8,0 km h⁻¹, sem influenciar nas perdas.

Em estudo de custo monetário de perdas, SRA (2018) avaliou a velocidade do ventilador do extrator de dois experimentos realizados com o mesmo tipo de colhedora. Os dados apresentam valores de menor custo a 700 RPM e velocidade de deslocamento de 6 km h⁻¹ em produtividade de acima de 80 t ha⁻¹. No presente estudo, observou-se que as perdas se mantêm semelhantes até a velocidade do extrator de 800 RPM, e a partir de 900 RPM ocorre aumento das perdas por estilhaço (Figura 10).

Utilizando um exemplo prático, no Quadro 1 são apresentadas as recomendações de velocidade do extrator primário e velocidade de deslocamento da colhedora de cana para as condições de colheita na usina Vale do Paraná. Essas configurações têm dado a usina uma redução na porcentagem de perda (prática implementada desde o ano 2015) e no consumo de combustível de 4 litros por cada hora trabalhada das colhedoras.

Quadro 1. Recomendações de velocidade de extrator primário em RPM e velocidade de deslocamento de corte da Usina Vale do Paraná.

Uso	Velocidade do extrator primário (RPM)	Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)
Baixo	600	3,0
Recomendado	700	4,0
Nominal (convencional)	700	4,0
Agressivo	>800	6,0

Fonte: Usina Vale do Paraná.

No Quadro 2 tem-se os dados de perda média em relação à velocidade do extrator primário. Comparando a perda de cana do uso do extrator na rotação recomendada com a velocidade muito agressiva, pode se observar um incremento de 112% de perda na forma de estilhaço. Ao calcular o valor monetário destas perdas, extrapolando o montante para o total da área colhida no Brasil em uma safra, os valores são expressivamente altos, com inegáveis prejuízos para a indústria.

As usinas que operam nas velocidades com ventilador do extrator primário agressivo e muito agressivo podem ter aumento considerável de perda de cana no campo na forma de estilhaço, por calibrações inadequadas na colheita. Segato e Daher (2011) constataram perdas totais de 2,85 t ha⁻¹ com velocidade de extrator primário de 1050 RPM e relação de 6,5 e 7 km h⁻¹.

Quadro 2. Perda de cana por hectare nas diferentes velocidades do extrator primário e perda monetária em base nos totais por hectare colhidas na safra 2019-2020.

Velocidade (RPM)	Uso do ventilador	Perdas ⁽¹⁾ (t ha ⁻¹)	Custo ⁽²⁾ (R\$ t ⁻¹)	Área ⁽³⁾ (milhões ha)	Valor total (milhões R\$)
600	Baixo	0,30	76,73	8.589,2	200.791,0
700	Recomendado	0,62	76,73	8.589,2	410.025,5
800	Agressivo	0,82	76,73	8.589,2	537.502,1
900	Muito agressivo	1,32	76,73	8.589,2	868.035,0

Fonte: UDOP (2019); CONAB (2019)

- (1) Índice de campo = Perda média de cana em toneladas por hectare na usina Vale do Paraná.
- (2) Índice Cana Esteira = 121,97 kg ATR – Valor sugerido para contratos de parceria quando a cota-parte do proprietário é entregue na esteira.
- (3) Índice de campo = Total de hectare colhida safra 2019-2020.

Pela simulação apresentada no Quadro 2, a diferença de perdas entre a menor e a maior velocidade do extrator é refletida nos valores totais, gerando uma diferença de custo exorbitante no total final das perdas. O custo total das perdas a uma rotação de 600 RPM somam pouco mais de R\$200 milhões, que já são valores consideráveis, os quais impressionam ainda mais quando se obtém R\$868 milhões perdidos com o extrator primário rodando a 900 RPM.

Neste caso, a diferença de valores chega a R\$667 milhões perdidos, somente pelo impacto do aumento da velocidade do extrator. Se somados todos os fatores de perdas, desde o campo até a entrega do produto final ao mercado, o impacto financeiro de perdas da agroindústria sucroalcooleira é demasiadamente indescritível. Desta forma, fica ainda mais evidente a importância do detalhamento e controle das perdas ocorridas no campo durante o processo de colheita da cana-de-açúcar.

Ainda, os altos valores obtidos com perdas provenientes do efeito do extrator primário, mesmo que considerando a velocidade mais baixa do extrator, mostram a necessidade de desenvolver novos métodos e/ou tecnologias, que não somente o manejo da velocidade, para diminuir os impactos negativos do extrator na matéria prima.

4.1 Qualidade da matéria prima no processamento da indústria

As médias de sólidos solúveis totais (Brix), fibra (FIB), Pureza (PUR), açúcares totais recuperáveis (ATR), açúcares Redutores (AR), porcentagem de oligossacarídeos (POL) e impurezas vegetais (IMP) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário estão apresentadas na Tabela 3.

O brix do material colhido não apresentou diferença significativa considerando tanto velocidade de deslocamento quanto rotação do extrator primário. Os valores de brix encontrados nas velocidades de deslocamento foram de 17,29 e 16,42% para 3 e 4,0 km h⁻¹. Em relação à rotação do extrator primário, os valores foram 16,94; 16,81; 16,99 e 16,68 % em 600, 700, 800 e 900 RPM.

Tabela 3. Médias de Brix, Fibra (FIB), Pureza (PUR), Açúcares totais recuperáveis (ATR), Açúcares Redutores (AR), Porcentagem de oligossacarídeos (POL) e Impurezas vegetais (IMP) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.

	Brix	FIB	PUR	ATR	AR	POL	IMP
	%	%	%	%	%	%	%
Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)							
3	17,29	12,44	81,61	139,94	0,81	16,79	7,94
4	16,42	12,62	84,73	139,02	0,76	16,62	7,30
Velocidade do extrator primário (RPM)							
600	16,94	13,39	84,11	141,32	0,76	17,23	7,53
700	16,81	12,23	83,46	139,54	0,78	16,62	7,76
800	16,99	12,16	81,16	137,82	0,86	16,32	7,64
900	16,68	12,35	83,95	139,24	0,76	16,65	7,55
ANOVA (Pr>F)							
Deslocamento (D)	0,0905	0,6204	0,2736	0,6765	0,2739	0,5878	0,4295
Extrator (E)	0,7191	0,0627	0,1608	0,7388	0,3510	0,2549	0,9970
D x E	0,1947	0,2426	0,1317	0,0657	0,9515	0,0698	0,7987
CV (%)	3,26	5,49	3,23	4,12	15,07	4,87	28,01

CV: Coeficiente de variação; *Significativo a 5% de probabilidade (p<0,05).

Os teores de fibra não foram alterados em função da velocidade de deslocamento, bem como pela rotação do extrator primário (Tabela 3). O teor de fibra encontrado na velocidade de deslocamento de 3,0 km h⁻¹ foi de 12,44%, enquanto na velocidade de 4,0 km h⁻¹, observou-se 12,62%, valores estes muito próximos. Considerando a rotação do extrator primário, os valores encontrados foram de 13,39; 12,23; 12,16 e 12,35% de fibra nas rotações de 600, 700, 800 e 900 RPM. Velocidade de deslocamento e rotação do extrator não apresentaram interação significativa.

Em relação à pureza, os valores encontrados foram de 81,61 e 84,76% para as velocidades de 3,0 e 4,0 km h⁻¹. Quanto à rotação do extrator primário, observou-se 84,11; 83,46; 81,16 e 83,95% de pureza nas respectivas rotações estudadas (Figura 11). Não foram observadas diferenças para velocidade de deslocamento e rotação do extrator primário, bem como efeito significativo da interação entre eles.

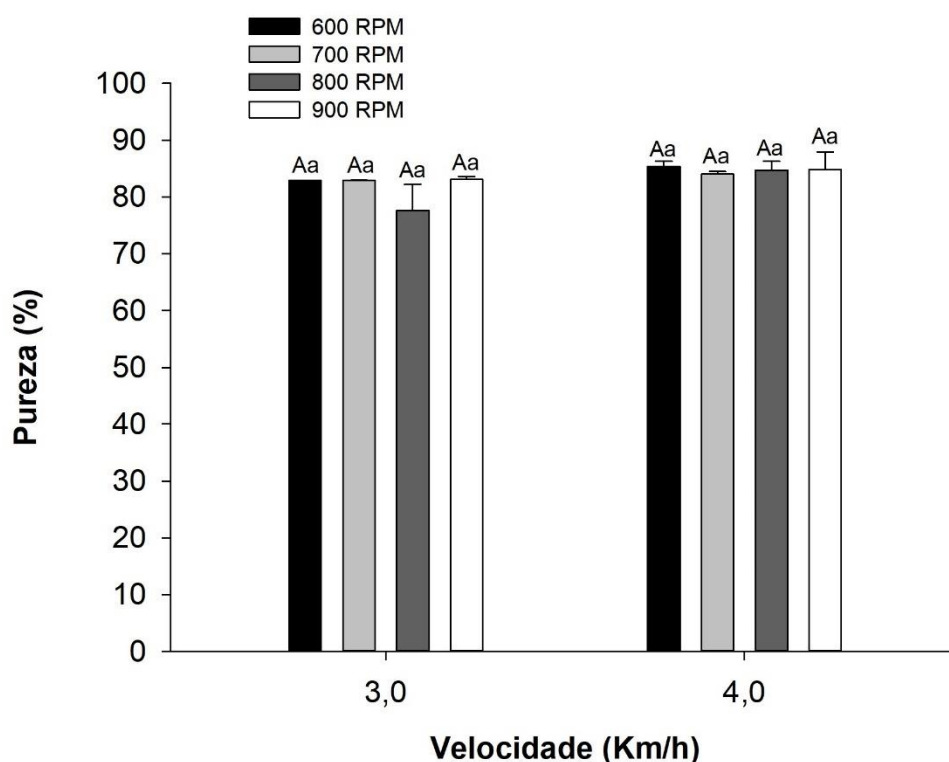


Figura 11. Pureza na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.

(Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as velocidades da colheita. Letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as rotações por minuto da colhedora, comparada pelo teste de Tukey).

Os valores de pureza encontrados ficaram acima de 80%, como preconizado pelas normas de qualidade da matéria-prima da Consecana (2006), nas quais as unidades industriais só podem recusar o recebimento de carregamentos com pureza abaixo de 75%. Segundo Franco (2003), os parâmetros de pureza mínima são de 80% em início de safra e 85% no transcorrer da safra para que seja recomendada a industrialização da cana.

A característica pureza do caldo da cana-de-açúcar está diretamente relacionada com a qualidade da matéria-prima, e sofre influência das impurezas minerais e vegetais que são adicionadas à cana no momento da colheita (OLIVEIRA et al., 2012).

Em relação aos açúcares totais recuperáveis (ATR), não houve diferença entre as velocidades de extrator primário e de deslocamento (Tabela 3). Os valores observados foram de 141,32 kg t⁻¹ na velocidade de deslocamento de 3,0 km h⁻¹ e

139,54 kg t⁻¹ com deslocamento de 4,0 km h⁻¹. Nas velocidades do extrator de 600, 700, 800 e 900 RPM, o ATR foi de 141,32; 139,54; 137,82 e 139,24 kg t⁻¹, respectivamente (Figura 12). Não foi constatada interação significativa entre os fatores.

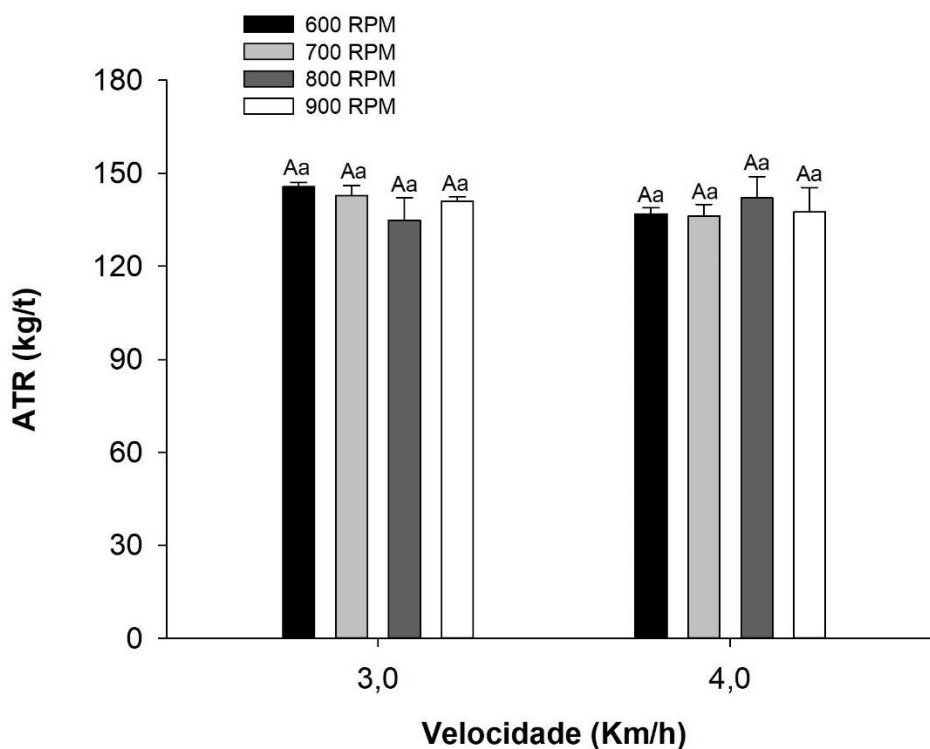


Figura 12. Açúcares totais recuperáveis (ATR) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020.

(Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as velocidades da colheita. Letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as rotações por minuto da colhedora, comparada pelo teste de Tukey).

A quantidade de ATR é um dos principais fatores na produção dos derivados da cana. Para Viator *et al.* (2007), a velocidade alta do ventilador gera um aumento no ATR, mas diminui o rendimento de cana em comparação a velocidade do ventilador mais baixas. Pelloso *et al.* (2019) encontraram dados um tanto diferentes, estes afirmam que a redução da velocidade do extrator primário, independentemente da velocidade de deslocamento da colhedora, influencia negativamente os conteúdos de fibra, ATR e POL corrigido em cana de açúcar.

Nas análises de Açúcares Redutores (AR) e Porcentagem de oligossacarídeos (POL) (Figuras 13 e 14), a velocidade de deslocamento e rotação do extrator não influenciaram nestas variáveis.

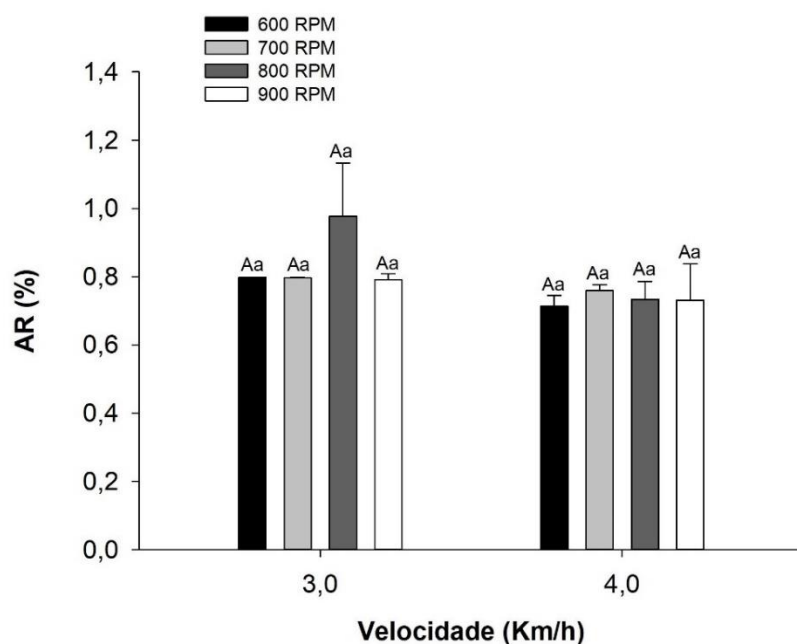


Figura 13. Açúcares Redutores (AR) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020.

(Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as velocidades da colheita. Letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as rotações por minuto da colhedora, comparada pelo teste de Tukey).

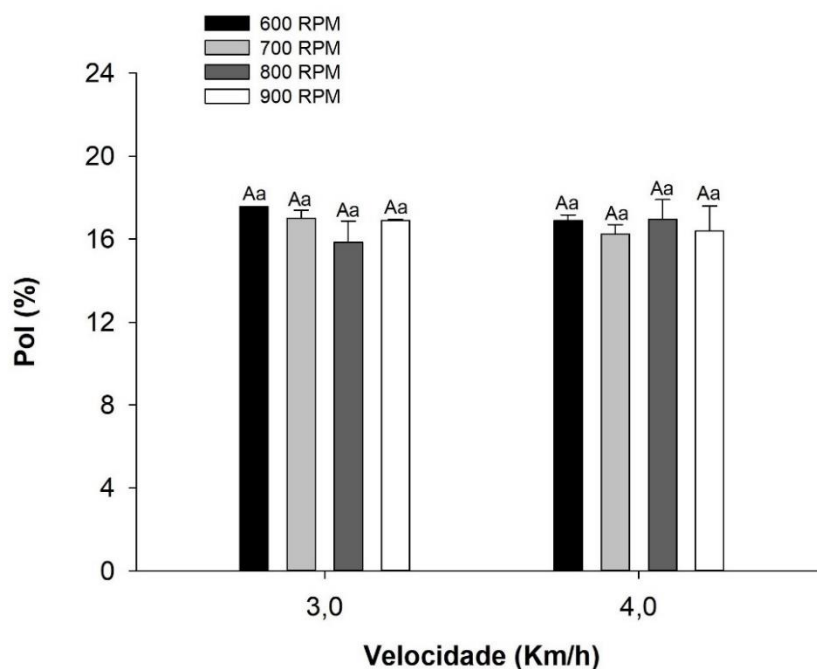


Figura 14. Porcentagem de oligossacarídeos (POL) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020.

(Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as velocidades da colheita. Letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as rotações por minuto da colhedora, comparada pelo teste de Tukey).

A impureza vegetal também não teve interferência dos fatores analisados (Figura 15). Com deslocamento de 3,0 km h⁻¹ da colhedora, a porcentagem de impurezas foi de 7,94, enquanto no deslocamento de 4,0 km h⁻¹, as impurezas foram de 7,30%. As impurezas, considerando a rotação do extrator, foram de 7,53; 7,76; 7,64 e 7,55% nas respectivas rotações de 600, 700, 800 e 900 RPM. Não houve interação entre os fatores analisados para análise de impurezas (Tabela 3).

Ramos et al. (2016) comparando a velocidade padrão de colheita de 4 km h⁻¹ com a máxima capacidade de colheita acima de 7 km h⁻¹ nas mesmas condições, notaram que houve aumento na presença de impureza vegetal e mineral. Carvalho (2009) encontrou maior quantidade de folha e palha coletado na unidade de transporte ao passar de 3 a 8 km h⁻¹, indicando que o teor de impureza é influenciado pelo aumento da velocidade da colhedora.

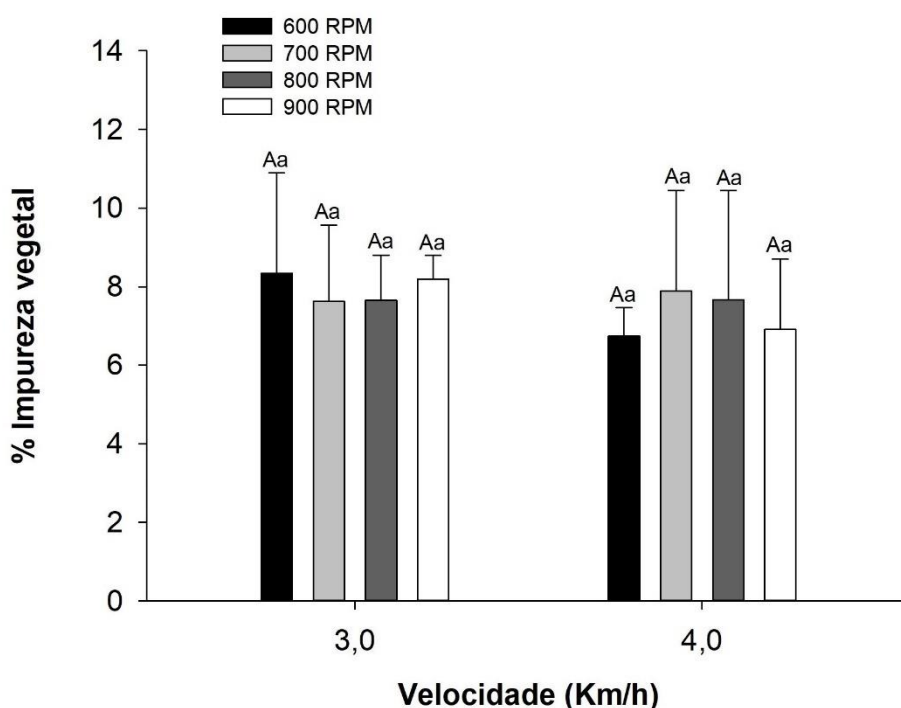


Figura 15. Impureza vegetal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanápolis-SP, 2020.

(Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as velocidades da colheita. Letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as rotações por minuto da colhedora, comparada pelo teste de Tukey).

Na indústria sucroalcooleira, a qualidade do produto final está sob interferência de diversos fatores, que devem ser levados em consideração pensando não somente em qualidade, como também em quantidade (SILVA, 2018). Para

Whiteing, Giddy e Norris (2016), a determinação dos níveis reais de perda, de modo que o equilíbrio entre perda e níveis de impureza possa ser otimizado é condição fundamental para colhedoras do tipo extrator. Isso é dificultado pela dissociação dos toletes da cana ao passarem pelo extrator, sendo uma perda 'invisível'.

São altos os impactos das impurezas vegetais e minerais na indústria, tais como, perdas na capacidade de moagem e na extração, aumento no consumo de energia no preparo da cana, desgastes dos equipamentos industriais, dificuldade para o tratamento do caldo, redução da qualidade do açúcar, do rendimento de fermentação, problemas operacionais com a caldeira e redução da densidade da carga gerando aumento de custo de transporte (BENEDINI et al., 2009).

Segundo Lopes (2011), 1% de impurezas vegetais adicionais na cana representam perda de 0,1 kg de sacarose por queda de extração na moenda. As perdas provenientes das impurezas vegetais estão associadas com o arraste de sacarose no bagaço final devido ao aumento da parcela de fibra no material.

Benedini et al. (2009) classificaram os níveis de impureza vegetal como baixo para níveis de impureza de até 3,5%, médio para impurezas vegetais entre 4 e 6%, e alto quando o percentual de impurezas vegetais ultrapassa os 7%. No presente estudo, em ambas as velocidades de deslocamento, independente da velocidade do extrator, os níveis de impureza vegetal encontrados foram de médio a alto.

Ramos et al. (2014) obtiveram resultado similar de impureza vegetal, não encontrando diferenças. Leon (2000) verificou que a qualidade da matéria prima não foi influenciada pelo aumento da velocidade de deslocamento, e as perdas totais no campo não aumentam com a maior velocidade de deslocamento das colhedoras.

Nas avaliações da qualidade tecnológica, nenhuma das variáveis apresentou correlação significativa com a velocidade do extrator primário (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre velocidade de rotação do extrator primário e qualidade tecnológica na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário. Suzanópolis-SP, 2020.

	Qualidade tecnológica						
	Brix	FIB	PUR	ATR	AR	POL	IMP
CC	-0,1109	-0,4072	-0,0788	-0,1536	0,07923	-0,2645	-0,0239
Valor de P	0,5667	0,0683	0,6845	0,4264	0,6829	0,1656	0,9019

CC: Coeficiente de correlação. Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

No Brasil com todas as mudanças na forma de colheita de cana de açúcar, poucas usinas investiram na capacitação dos operadores na redução de perdas invisível. Na atualidade o tema ainda é pouco estudado, mas representa valores elevados em perdas de ingressos monetários. Essa evolução requer informação e experimentação de toda a equipe para poder encontrar a melhor calibração da máquina para ter a menor perda e uma boa limpeza da palha para entregar cana de qualidade na indústria.

Com todas as dificuldades econômicas da agroindústria, é de muita importância implementar as melhoras no desempenho dos equipamentos agrícolas para reduzir os custos da operação. Santos, Fernandes e Júnior (2015) identificaram que com o aumento da velocidade operacional da colhedora, aumenta-se o desempenho operacional, ocasionando em redução de custo, porém, tende a incrementar as perdas de cana, o que também reduz a receita bruta por ter menor quantidade de cana para processar. No entanto Xavier *et al.* (2020) reportaram que o aumento na velocidade de deslocamento da colhedora resultou em perdas totais reduzidas, o que discorda com os resultados verificados.

Segundo Pelloso *et al.* (2019), a redução da velocidade de rotação do extrator primário, independentemente da velocidade de deslocamento da colhedora, influencia negativamente os conteúdos de fibras, ATR, POL em cana-de-açúcar.

Até este momento existem poucos estudos sobre perdas invisíveis na colheita mecanizada de cana-de açúcar. Em países como Austrália onde estão desenvolvendo métodos de análise mais sofisticados como o caso do estudo de Whiteing, Giddy e Norris (2016), os quais desenvolveram tecnologia para medição da perda de sacarose no campo por refratários móveis, sendo um grande passo para avaliar rapidamente a perda de cana da colhedora. Realizar medições de perdas no campo no momento da operação e realizar feedback para os operadores de colhedoras ajudará na geral conscientização na redução de perda por parte de todo o pessoal.

5 CONCLUSÃO

As velocidades de deslocamento da colhedora de 3,0 e 4,0 km h⁻¹ não interferiram nas perdas, porém a rotação do extrator primário de 800 e 900 RPM ocasionaram maiores perdas de toletes e estilhaços.

A qualidade tecnológica da matéria prima não foi influenciada pelo deslocamento da colhedora e rotação do extrator primário, mantendo níveis de impurezas, açúcares totais recuperáveis, fibra, pureza, brix, fibra, açúcares redutores e porcentagem de oligossacarídeos semelhantes.

Desta forma, o trabalho na velocidade de 4,0 km h⁻¹ com rotações do extrator primário de 600 até 700 RPM podem otimizar tempo com menores perdas, mantendo a qualidade tecnológica da matéria prima na colheita mecanizada da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G. **Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira. 2009. 7 p. Boletim CTC.

BOVI, R.; SERRA, G. E. Impurezas fibrosas da cana-de-açúcar e parâmetros tecnológicos do caldo extraído. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n.4, 1999.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira: exercício de 2018**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2019.

CARVALHO, L. **Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua na região da Grande Dourados–MS**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual da Grande Dourados, Dourados, 2009.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar (Safr 2019/20 - Segundo levantamento)**, v. 8, n. 3 Brasília, p. 1-64, 2019.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar (Safr 2021/22 - Terceiro levantamento)**, v. 7, n. 2 Brasília, p. 1-63, 2021.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana de açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. Consecana, Piracicaba: Consecana, 2006. 112 p. EdUFSCAR

COVER, M.; MENEZES, M. A. Estratégias de renda de trabalhadores migrantes e a mecanização da colheita de cana-de-açúcar: um olhar desde o Sertão Paraibano. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 458-475, 2020

FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características tecnológicas**. 2003. 90 f. (Dissertação) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

GARCIA, R. F.; SOUZA, L. S. Avaliação do corte manual e mecanizado de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveg**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 234-240, 2010.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Análise de Indicadores do Agronegócio**. 2020. ISSN 1980-0711.

JOHN DEERE. **Colhedora de cana John Deere 3510**: Manual do operador. 6. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2006. 238 p

KAWAMOTO, B.; MAMONI, R. F.; TANAKA, E. M.; OLIVEIRA, D. T. de; FAVONI, V. A. Quantificação de perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes rotações do exaustor primário. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS*, 1, 2016, Dracena. **Anais [...]**. Dracena: Unesp, 2016.

KHAWPRATEEP, S.; JENSEN, T. A.; SCHROEDER, B. L.; EBERHARD, S. Influence of yield and other cane characteristics on cane loss and product quality. *In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS (ISSCT 2016)*, 29th., [s. l.]. **Proceedings [...]** [S. l.]: International Society of Sugar Cane Technologists, 2016. p. 1857-1862.

LEÓN, M. J. **Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras em cana (*Saccharum spp*) crua**. 2000. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

LIRA, S. A. Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 2004. 196p. Dissertação (Mestrado em Ciências: métodos numéricos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LOPES, C. H. **Tecnologia de produção de açúcar de cana**. São Carlos, EdUFSCAR, 2011. 183 p.

MAGALHÃES, P. S. G.; MILAN, M.; MOLIN, J. P.; SOUZA, Z. M.; VOLPATO, C. E.; SIMÕES, J. Colheita de cana-de-açúcar e palha para a produção de Etanol. *In: WORKSHOP - COLHEITA, TRANSPORTE E RECUPERAÇÃO DE PALHA*, 2., 2006, Campinas. **Anais [...]** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006. 19 p.

MAGALHÃES, P. S. G.; BALDO, R. F. G.; CERRI, D. G. P. Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 274-282, 2008.

MAGALHÃES, P. S. G.; CERRI, D. G. P. Yield monitoring of sugar cane. **Biosystems Engineering**, London, v. 96, n.1, p.1-6, 2007.

MARTINS, M. B.; RUIZ, D. Influence of operational conditions of mechanized harvesting on sugarcane losses and impurities. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 352-355, 2020.

MEERT, L.; ARAGÃO, G. N.; GENÚ, A. M.; MÜLLER, M. M. L.; ESPINDOLA, J. de S.; KRENSKI, A.; FIGUEIREDO, A. S. T. Quantitative and qualitative losses of sugarcane as a function of harvesting methods and cultivars. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, n. 11, nov. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/10204/9168/140925>. Acesso em: 31 jan. 2021.

MORAES, M. A. F. D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período 1992-2005. **Est Econ.**, [s. l.], v. 37, p. 875-902, 2007.

NARIMOTO, L. R. O trabalho dos operadores de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar: uma abordagem ergonômica. 2012. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S.G.; OTA, W. M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 764-770, 2004.

NEVES, J. L.; MAGALHÃES, P. S.; MORAES, E. E.; ARAÚJO, F. V. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 787-794, 2006.

OLIVEIRA, A. M. P. F.; BIGATON, A.; SILVA, H. J. T. da; GÓIA, H. R.; VIAN, C. E. F. Certificação no setor sucroenergético: Uma análise de indicadores e inserção da ISO 9001 e Bonsucro. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 103, 2016.

PELLOSO, M. F.; LIMA, A. A.; PELLOSO, B. F.; SILVA, A. P. Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em resposta a diferentes velocidades da colhedora e de rotação do extrator primário. **Colloquium Agrariae**, São Paulo, v. 15, n. 2, p.114-120, 2019.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; SANTOS, R. S.; DA SILVA, R. L. Perdas e impurezas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes configurações de trabalho da colhedora. **Revista Energia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 317-327, 2016.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; MILLANI, T. M. Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. **Revista Energia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2014.

REIS, G. N. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2009.

RIDGE, D. R. **Assessment of sugarcane harvester performance**. Final Report for SRC Project BS19S, 1990.

RIPOLI, T. C.; VILLANOVA, N. A. Colheita de cana-de-açúcar: novos desafios. **STAB**, v. 11, p. 28-31, 1992.

RODRIGUES, G. S. S. C; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: EDUFU, 2020. 269 p.

ROSA, E. J.; JOSÉ, J.V., SALVESTRO, A.C., GAVA, R. (2009). Perdas visíveis de cana-de-açúcar em colheita mecanizada. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2009, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: UniCesumar, 2009. Disponível em: http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/5885/1/jefferson_vieira_jose3.pdf. Acesso em: 31 jan. 2021.

SALVI, J. V.; MATOS, M. A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base basal de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 701- 209, 2007.

SANTOS, J. R.; MIRANDA, A. T. O.; CARDOSO, D. D.; SANTOS, B. T.; AMARO, H. T. R.; PORTO, E. M. V. Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em função da velocidade de trabalho da colhedora. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 24, n. 2, 2019.

SANTOS, N. B.; FERNANDES, H. C.; JÚNIOR, C. D. G. Economic impact of sugarcane (*Saccharum* spp.) loss in mechanical harvesting. **Científica**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 16-21, 2015.

SEGATO, S. V.; DAHER, F. Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana de açúcar crua sob velocidades de deslocamento da colhedora. **Nucleus**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1-12, 2011.

SILVA, D. L. G.; BATISTI, D. L. S.; FERREIRA, M. J. G.; MERLINI, F. B.; CAMARGO, R. B.; BARROS, B. C. B. Cana-de-açúcar: Aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 7, 2021

SILVA, D. M.; SILVA, J. A.; MORAES, M. S.; NASCIMENTO, A. L. S.; SANTOS, L. B. Monitoramento dos parâmetros de processamento da cana-de-açúcar crua. **GTS-Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade**, v. 1, n. 1, 2018.

SUGAR RESEARCH AUSTRALIA - SRA. **Cane Connection Autumn**. 2018.

Disponível em:

https://elibrary.sugarresearch.com.au/bitstream/handle/11079/17258/CaneConnection%20Autumn%202018_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 31 jan. 2021.

SUGAR RESEARCH AUSTRALIA - SRA. **Harvesting Best Practice Manual**. 2014.

Disponível em: <https://sugarresearch.com.au/wp-content/uploads/2017/02/Harvesting-Best-Practice-Manual-FINAL-LR.pdf>.

Acesso em: 31 jan. 2021.

SZMRECSÁNYI, T. Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. **Inf Econ.**, [s. l.], v.24, p.73-84, 1994.

TOLEDO, A. **Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua**. 2012. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal. 2012.

TOMAZ, W. L.; GORDONO, F. S.; SILVA, F. P.; CASTRO, M. D. G.; ESPERIDIÃO, M. Cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar: estudo de caso múltiplo no setor sucroalcooleiro. In: ENGEMA – ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 17., 2015, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: [s. n.], 2015. Disponível em: Acesso em 12 mar. 2019

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA (UDOP). **Valores de ATR e toneladas de cana-de-açúcar**. [S. l.], 2019. Disponível em: https://www.udop.com.br/cana/tabela_consecana_saopaulo.pdf. Acesso em: 31 jan. 2021.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Sugar**: World Markets and Trade. 2021. 9p. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/sugar.pdf>. Acesso em: 09 jan 2022.

VIATOR R. P., RICHARD E. P., VIATOR B. J., JACKSON W., WAGUESPACK H. L., E BIRKETT H. S. Sugarcane chopper harvester extractor fan and ground speed effects on yield and quality. **Applied engineering in agriculture**, St Joseph, v. 23, n. 1, p. 31-34, 2007.

VOLPATO, C. E. S.; BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, C. A. A. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador base para colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 345-8, 2002.

WANG, F., YANG, G., KE, W., E MA, S. Effect of sugarcane chopper harvester extractor parameters on impurity removal and cane losses. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 51, n. 17, p. 292-297, 2018.

WHITEING, C., NORRIS, C. P., E PATON, D. **Facilitation of best practice to reduce extraneous matter and cane loss**. [S. l.]: BSES Publication SD02009, 2002.

WHITEING, C.; GIDDY, L.; NORRIS, C. A cane-loss measuring system for machine-harvested sugarcane. *In*: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2016, [s. l.]. **Proceedings** [...] [S. l.: s. n.], 2016. p. 959-967.

XAVIER, W. D., SILVA, D. C., DA COSTA, R. B., RIBEIRO, D. O., SOUSA, V. S., E DE S SILVA, J. V. Losses in the mechanized harvesting of sugarcane as of speed function of two harvester models in Tropical Savanna Environment. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 14, n. 4, p. 675-682, 2020.

XING, H., MA, S., WANG, F., BAI, J., E HU, J. Cane Loss Studies on Sugarcane Chopper Harvester. *In*: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL VIRTUAL MEETING, 2020, [s. l.]. **Proceedings** [...] [S. l.]: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2020. p. 1.