

FERNANDA SCARANELLO DRUDI

**QUALIDADE DO CORTE DO COLMO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA
ROTAÇÃO E DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DOS DISCOS EM
CONDIÇÕES CONTROLADAS**

Botucatu

2021

FERNANDA SCARANELLO DRUDI

**QUALIDADE DO CORTE DO COLMO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA
ROTAÇÃO E DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DOS DISCOS EM
CONDIÇÕES CONTROLADAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Energia na Agricultura.

Orientador: Kléber Pereira Lanças

Botucatu

2021

D794q

Drudi, Fernanda Scaranello

Qualidade do corte do colmo de cana-de-açúcar em função da rotação e da velocidade de deslocamentos dos discos em condições controladas / Fernanda Scaranello Drudi. --

Botucatu, 2021

59 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Kleber Pereira Lanças

1. Cana-de-açúcar. 2. Mecanização agrícola. 3. Colheita mecanizada. 4. Máquinas agrícolas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA TESE: QUALIDADE DO CORTE DO COLMO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO E DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DOS DISCOS EM CONDIÇÕES CONTROLADAS


AUTORA: FERNANDA SCARANELLO DRUDI


ORIENTADOR: KLEBER PEREIRA LANÇAS


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Virtual) 
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL (Participação Virtual) 
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. MURILO BATTISTUZZI MARTINS (Participação Virtual) 
Agronomia / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. JOÃO ALBERTO BORGES DE ARAÚJO (Participação Virtual) 
Logística e Produção / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Pesquisador Dr. JOÃO VITOR PAULO TESTA (Participação Virtual) 
Treinamentos / Agro Baggio / John Deere

Botucatu, 28 de maio de 2021

Aos meus pais por serem exemplos de luta, determinação e pelo amor de sempre.

Vocês são a base da minha vida!

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, pela proteção diária e por mais esta conquista.

Aos meus pais Josué e Maria Augusta, e meu irmão Fábio, por todo amor, incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida e principalmente durante a pós-graduação.

Ao Douglas, meu companheiro de vida, por estar ao meu lado em diversos momentos tornando a vida mais colorida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças, por ser meu orientador, pela confiança e pela oportunidade de crescimento profissional, pelas correções e todo ensinamento.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade da participação e contribuição do trabalho.

Aos integrantes do Nempa, Aldir, Fellipe, Michel, Daniel e José pelos incentivos, pela ajuda diretamente neste trabalho, tornando possível a elaboração da Tese.

À Carol por ter dividido a casa e pela amizade que fortalecia enquanto vivenciamos a pós-graduação.

À Agrícola Rio Claro, em nome Juninho, por ceder a matéria-prima essencial para este trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural pela atenção, amizade e serviços prestados. Às secretárias da Seção de Pós-graduação da FCA - Faculdade de Ciências Agrárias da Unesp, Campus de Botucatu pela atenção e atendimento.

À todas as pessoas que colaboraram direta e indiretamente com a elaboração deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

O uso de máquinas para a colheita da cana-de-açúcar é de extrema importância pois provocam um aumento do rendimento operacional no setor sucroenergético. Dos itens que compõe a colhedora, o corte de base influi diretamente na qualidade da colheita, na longevidade do canavial e na quantidade de carga colhida que irá para a indústria. O corte basal é realizado por impacto das facas no colmo da planta, podendo abalar as soqueiras, causar perdas invisíveis, elevar a quantidade de impurezas minerais incorporadas no material colhido já que frequentemente ocorre contato das facas de corte com o solo, acarretando também na redução da vida útil destas por desgaste e deformações. O objetivo deste trabalho foi avaliar o dispositivo de corte de base de uma colhedora de cana-de-açúcar em condições operacionais controladas no laboratório e analisar a qualidade do corte. Foi utilizado o Dispositivo de Ensaio de Corte Basal de Cana-de-Açúcar (DECCA) para avaliar os danos às soqueiras, a força máxima de corte e as perdas invisíveis relacionando-se as configurações do DECCA com três rotações do disco de corte (640, 549 e 480 rpm), duas velocidades de deslocamento (3,5 e 5,0 km h⁻¹) e dois modelos de simulação das soqueiras (M1 e M2) em diferentes ângulos de inclinação do colmo (22,5°; 45°; 60° e 90°). Os resultados mostraram que danos aos colmos se relacionaram com o ângulo de inclinação do colmo no modelo de simulação das soqueiras. Foi observada a maior quantidade de danos parciais nos colmos deitados a 22,5°. No modelo de simulação de soqueira M1, nas três rotações utilizadas dos discos de corte e com a menor velocidade de deslocamento (3,5 km h⁻¹) do DECCA, foram obtidas as maiores forças de corte do colmo da cana-de-açúcar. No modelo de soqueira M2 e na maior velocidade de deslocamento (5,0 km h⁻¹), conforme foram reduzindo as rotações dos discos de corte, as forças máximas de corte também reduziram. A maior quantidade de perdas invisíveis foi obtida no tratamento com a maior rotação dos discos do corte de base e na maior velocidade de deslocamento do DECCA.

Palavras-chaves: corte basal; mecanização agrícola; *Saccharum* spp; colhedora de cana-de-açúcar.

ABSTRACT

The use of machines for harvesting sugarcane is extremely important as they cause an increase in operational efficiency in the sugar-energy sector. Of the items that make up the harvester, the basecutter directly influences the quality of the harvest, the longevity of the cane field and the quantity of harvested load that will go to the industry. The basal cut is performed by impact of the knives on the plant's culm, which can shake the stalks, cause invisible losses, increase the amount of mineral impurities incorporated in the harvested material as the cutting knives are often in contact with the soil, also resulting in a reduction of their useful life due to wear and deformation. The objective of this work was to evaluate the basic cutting device of a sugarcane harvester under controlled operating conditions in the laboratory and to analyze the quality of the cut. The Sugarcane Basal Cutting Test Device (DECCA) was used to evaluate the damage to the stumps, the maximum cutting force and the invisible losses relating to the DECCA configurations with three rotations of the cutting disc (640, 549 and 480 rpm), two displacement speeds (3.5 and 5.0 km h⁻¹), and two tampon simulation models (M1 and M2) at different inclination angles (22.5°; 45 °; 60° and 90°). The results showed that culm damage was related to the inclination angle in the stump simulation model. The greatest amount of partial damage was observed in the stalks laid at 22.5°. In the stump simulation model M1, in the three used rotations of the cutting discs and with the lowest displacement speed (3.5 km h⁻¹) of DEECA, the highest cutting forces of the sugarcane stalk were obtained. In the M2 stucco model and at the highest displacement speed (5.0 km h⁻¹), as the cutting disc rotations were reduced, the maximum cutting forces also reduced. The greatest amount of invisible losses was obtained in the treatment with the highest engine speed and the highest displacement speed of the DECCA.

Keywords: basal cut; agricultural mechanization; *Saccharum* spp; sugarcane harvester.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Percentual de colheita mecanizada no Brasil | 24 |
| Figura 2 - Modelo de colhedora de cana-de-açúcar de uma linha | 25 |
| Figura 3 - Dispositivo Corte de base | 27 |
| Figura 4 - Dispositivo de ensaio de corte basal de cana-de-açúcar (DECCA) | 32 |
| Figura 5 - Cana-de-açúcar utilizada no trabalho | 33 |
| Figura 6 - Medição dos colmos para padronização..... | 34 |
| Figura 7 - Simulação do sistema de corte por impacto | 35 |
| Figura 8 - Modelo de simulação da soqueira com 10 colmos - M1 | 36 |
| Figura 9 - Modelo de simulação de soqueira com 12 colmos - M2 | 36 |
| Figura 10 - Metodologia do triângulo para determinar o porte do canavial | 37 |
| Figura 11 - Modelo do inversor utilizado no trabalho..... | 38 |
| Figura 12 - Colmos inteiros fixados no modelo de soqueira antes do corte | 39 |
| Figura 13 - Classificação dos danos | 40 |
| Figura 14 - Montagem com a célula de carga utilizada na determinação da força de compressão..... | 41 |
| Figura 15 - Sistema para fixação dos colmos composto por para avaliação de perdas invisíveis..... | 42 |
| Figura 16 - Pesagem individual dos colmos identificados | 43 |
| Figura 17 - Esquema para fixar os colmos para a avaliação de perdas invisíveis | 44 |
| Figura 18 - Pesagem do colmo após o seu corte | 44 |
| Figura 19 - Médias dos danos aos colmos relacionados com a rotação e a velocidade do DECCA..... | 49 |
| Figura 20 - Médias das perdas invisíveis para todos os tratamentos..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Média dos danos as soqueiras em relação aos ângulos de inclinação dos colmos | 47 |
| Tabela 2 - Média das forças máximas (kgf) em relação aos modelos de soqueiras e tratamentos | 50 |
| Tabela 3 - Médias das perdas invisíveis para os tratamentos analisados..... | 51 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 21 |
| 2.1 | O setor sucroenergético no Brasil | 21 |
| 2.2 | Colheita mecanizada na cultura da cana-de-açúcar | 22 |
| 2.3 | O Corte basal de uma colhedora de cana-de-açúcar | 26 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 3.1 | Laboratório Nempa | 32 |
| 3.2 | Dispositivo de ensaio de corte basal de cana-de-açúcar (DECCA) ...32 | |
| 3.3 | Matéria-prima industrializável | 33 |
| 3.4 | Sistema convencional de corte de base | 34 |
| 3.5 | Sistema de fixação dos colmos | 35 |
| 3.5.1 | Modelos de simulação de soqueira..... | 35 |
| 3.6 | Regulagens do DECCA utilizadas no trabalho | 37 |
| 3.6.1 | Rotação dos discos de corte do DECCA..... | 37 |
| 3.6.2 | Velocidade de simulação de colheita..... | 48 |
| 3.7 | Ensaio de Qualidade do corte | 39 |
| 3.8 | Ensaio de Força máxima de corte | 40 |
| 3.9 | Ensaio de Perdas invisíveis de cana-de-açúcar | 41 |
| 3.10 | Delineamento experimental | 45 |
| 3.10.1 | Tratamentos..... | 45 |
| 3.11 | Análise estatística | 46 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 47 |
| 4.1 | Ensaio de Qualidade de corte | 47 |
| 4.1.1 | Danos aos colmos em relação ao seu grau de inclinação..... | 47 |
| 4.1.2 | Danos aos colmos em relação à rotação dos discos do corte de base e velocidade de deslocamento do DECCA..... | 49 |
| 4.2 | Ensaio de Força máxima de corte | 49 |
| 4.3 | Ensaio de Perdas invisíveis | 51 |
| 4.3.1 | Perdas invisíveis em função da rotação dos discos do corte de base e velocidade de deslocamento do DECCA..... | 51 |
| 5 | CONCLUSÕES | 54 |
| | REFERÊNCIAS | 55 |

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é, historicamente, uma das mais expressivas culturas na atividade agrícola brasileira, tendo presença no país desde o período colonial, passando por inúmeras transformações tecnológicas ao longo dos anos. Para o Brasil a cultura tem grande importância socioeconômica sendo a matéria-prima para produção do açúcar e do etanol, duas das commodities de grande significância nos comércios nacional e internacional.

A produção brasileira de cana-de-açúcar, na safra de 2020/2021, foi cerca de 654 milhões de toneladas, cultivadas em 8,6 milhões de hectares, com produtividade média de 75,9 t ha⁻¹. O estado de São Paulo apresenta a maior produção nacional de cana-de-açúcar (52%) e maior concentração de usinas em funcionamento (Conab, 2021).

Com o passar dos anos a produtividade da cana-de-açúcar teve aumento considerável devido às melhorias genéticas e tecnologias do setor sucroenergético. O uso de máquinas para colher a cultura foi um dos fatores que contribuiu para o aumento do desempenho operacional na colheita.

As colhedoras de cana-de-açúcar ganharam destaque nos canaviais a partir dos anos 2000 após a proibição da queima por leis ambientais, gerando mudanças no sistema de colheita, principalmente, com a transição da colheita manual para a colheita mecanizada da cana crua ou verde. Além das leis ambientais, o aumento do rendimento operacional e a possibilidade de aumento da quantidade de horas de trabalho favoreceram a mecanização na colheita.

Dos componentes da colhedora de cana-de-açúcar o corte de base está ligado diretamente na qualidade da colheita influenciando na longevidade e na produção do canavial. O corte basal é realizado por impacto das lâminas dos discos no colmo da planta, podendo abalar as soqueiras, causar perdas invisíveis, elevar a quantidade de impurezas minerais incorporadas no material colhido já que frequentemente ocorre contato das facas de corte com o solo, acarretando também na redução da vida útil destas por desgaste e deformações.

A grande maioria dos ensaios com sistema de corte de base em colhedoras de cana-de-açúcar são realizados no campo e poucos estudos são desenvolvidos em laboratório através de simulação da colheita mecanizada, controlando melhor as variáveis envolvidas no sistema de corte, procurando contribuir com melhorias para

as colhedoras através da maior qualidade do corte de base, reduzindo os impactos nas soqueiras e as impurezas minerais no material colhido, contribuindo para minimizar os custos operacionais da colheita.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o dispositivo de corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar em condições operacionais controladas em laboratório e avaliar a qualidade do corte através dos danos aos colmos das soqueiras e as perdas invisíveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O setor sucroenergético no Brasil

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) foi implantada no Brasil no período colonial, participando da economia brasileira e, atualmente, continua sendo um dos produtos agrícolas mais importantes do país em razão da diversificação do seu uso. O clima tropical no país é um dos grandes fatores da alta produção de cana-de-açúcar ao longo de todo o ano, dependendo da região do país, sendo uma cultura típica de regiões de clima tropical.

Os principais produtos resultantes do uso da cana-de-açúcar são o açúcar e o etanol (hidratado e anidro) e, além disso, a cana-de-açúcar também é utilizada, diretamente, na alimentação animal e na produção de aguardente e rapaduras. O setor sucroalcooleiro também tem utilizado os resíduos da cana-de-açúcar ou os seus subprodutos, na cogeração de energia elétrica (bagaço e palhiço) e na produção de fertilizantes agrícolas (torta de filtro e a vinhaça) como forma de aumentar a arrecadação e a produtividade, reduzindo os custos de produção (CAPUTO et al., 2008) e, mais recentemente, na produção do etanol de 2ª geração.

Os derivados da cana-de-açúcar também são utilizados na formulação de outros produtos tais como, por exemplo, no segmento de cosméticos (COSTA; BOCCHI, 2012), na construção civil (UNICA, 2011), no ramo madeireiro, em peças de brinquedos, fibras de roupas e em bandejas. Desta forma, o setor sucroenergético, transformou-se em um dos setores mais dinâmicos, benéficos e renováveis para o crescimento favorável da agricultura brasileira (DRUDI, 2017).

No decorrer dos anos os centros de tecnologias agronômicos do país investiram no melhoramento genético das variedades de cana-de-açúcar, sendo melhoradas para adaptarem-se às diferentes condições de solo e clima, apresentar maior resistência as pragas e doenças e proporcionar um aumento de sacarose, bem como melhorar o sistema de colheita através da geração de colmos mais eretos e densos (SANTOS et al., 2016; MARIN, 2018).

A produção brasileira de cana-de-açúcar teve um crescimento acelerado desde a safra de 1974/1975 (ano de criação do Programa Nacional do Álcool, Proálcool), no qual produziu 70 milhões de toneladas (ROSA, 2013), chegando na safra 2020/2021 com produção de 654 milhões de toneladas produzidas em mais de 8,6 milhões de

hectares e com a produtividade média em 75,5 t ha⁻¹. Das regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar o Sudeste é responsável por cerca de 52% da produção total tendo o Estado de São Paulo o maior produtor e o estado com a maior concentração de unidades produtoras de cana-de-açúcar (CONAB, 2021).

O sucesso na produção de cana-de-açúcar tem diminuído significativamente a dependência nacional por combustíveis fósseis além de elevar a segurança energética contribuindo para a prosperidade econômica do país através da geração de renda, exportações e impostos resultando em benefícios sociais tais como empregos, riqueza nas cidades do interior e reduzindo impactos ambientais com melhoria da qualidade do ar nas cidades (FILOSOFO et al., 2015; VIANA; PEREZ, 2013).

2.2 Colheita mecanizada na cultura da cana-de-açúcar

A mecanização agrícola simboliza a modernização e a evolução da agricultura, principalmente no setor sucroenergético, tornando-se crescente a sua evolução a cada ano (VIEIRA et al., 2018). Na cultura da cana-de-açúcar, principalmente durante a colheita, a adesão da mecanização se fez necessária devido à escassez de mão de obra para a função, pela redução do custo operacional e pelo aumento da área de produção ao longo dos anos melhorando o rendimento operacional e facilitando no corte e carregamento durante a operação (COELHO, 2009).

A mudança da colheita manual para a colheita mecanizada nos canaviais brasileiros, provocaram alguns transtornos aos produtores sendo o de maior impacto a necessidade do alto investimento na aquisição das colhedoras e equipamentos necessários para a operação mecanizada, além do custo elevado da manutenção, peças, do combustível e da necessidade de mão de obra qualificada para exercer a operação. A falta de conhecimento do operador pode provocar um aumento no nível de perdas no campo do produto colhido, arranquio ou pisoteio de soqueiras, elevado consumo de combustível e alto nível de impurezas minerais e vegetais na carga colhida que será destinada à indústria, prejudicando e onerando o processo de fabricação do açúcar e do etanol (MARTINS, 2016).

A produção de uma máquina capaz de colher cana-de-açúcar aconteceu em diferentes lugares quase ao mesmo tempo, como em Cuba, no Havaí, na Flórida, Louisiana (Sul dos Estados Unidos) e na Austrália, com a mesma motivação, o

elevado custo com a operação manual e a escassez de mão de obra (NARIMOTO, 2015).

Foi no Havaí, no ano de 1854, o registro da primeira patente de uma cortadora destinada à cultura da cana-de-açúcar. Essa cortadora era tracionada por força animal e além de cortar a cultura possuía uma escova com fios de arame onde era realizada a remoção de folhas e palhas presas ao colmo da planta (FURLANI NETO, 1984). Porém, foi na Austrália a fabricação das primeiras máquinas de cortar e picar com os princípios dos sistemas operacionais que prevalecem até os dias atuais nas colhedoras de cana-de-açúcar depois de décadas de adaptações (KERR; BLYTH, 1993).

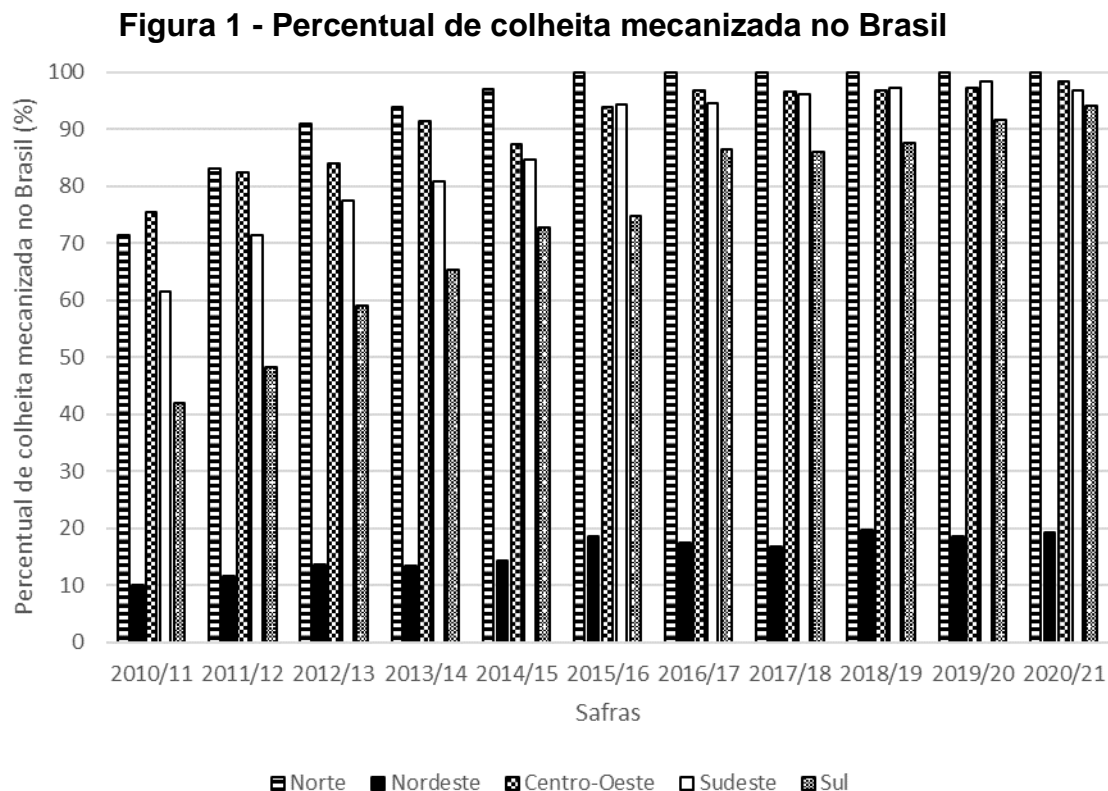
Em canaviais brasileiros, o início do processo de mecanização da colheita de cana-de-açúcar aconteceu no final da década de 50, com o uso de cortadora-carregadoras auxiliando no processo de colheita manual. Ainda nessa década duas Usinas tiveram experiências com cortadoras importadas dos Estados Unidos; porém, ambas não apresentaram bons resultados devido a dificuldades encontradas na prática. No entanto, na década de 70, com o aumento das importações de tecnologias em máquinas, uma empresa brasileira desenvolveu, em 1973, um modelo de colhedora de cana-de-açúcar picada montada sobre tratores, com mais de 200 unidades vendidas no território brasileiro, depois de realizar adaptações na sua primeira máquina desenvolvida em 1961 (MORENO, 2010).

Entretanto, até a década de 90 a maior parte da colheita ainda era realizada de forma manual, em função das dificuldades encontradas com a colhedoras. A transição para a colheita mecanizada foi acontecendo aos poucos tendo os impactos ambientais, como a proibição da queima da cultura antes de colher, um dos principais motivos para a mudança do método de colheita (FURTADO, 2002).

No início dos anos 2000 o sistema mecanizado para colheita estava presente em apenas 28% dos canaviais brasileiros (NEVES et al., 2015) e, com o passar dos anos, essa porcentagem foi crescendo conforme aconteciam as melhorias e as adaptações gerais do setor sucroenergético para o uso das máquinas nos canaviais.

De acordo com a Conab (2021), a porcentagem de colheita mecanizada nacional passou para 89% na safra 2020/21 (figura 1). Esse percentual só não é maior porque a região Nordeste ainda utiliza predominantemente a colheita manual devido ao relevo acidentado e pela maior disponibilidade de mão de obra na região. A região Sudeste, a de maior produção canavieira, tem 97,1% dos canaviais colhidos de forma

mecanizada (CONAB, 2021). Dentre os estados, São Paulo destaca-se por ser responsável por, aproximadamente, 98,5% de área colhida mecanicamente.



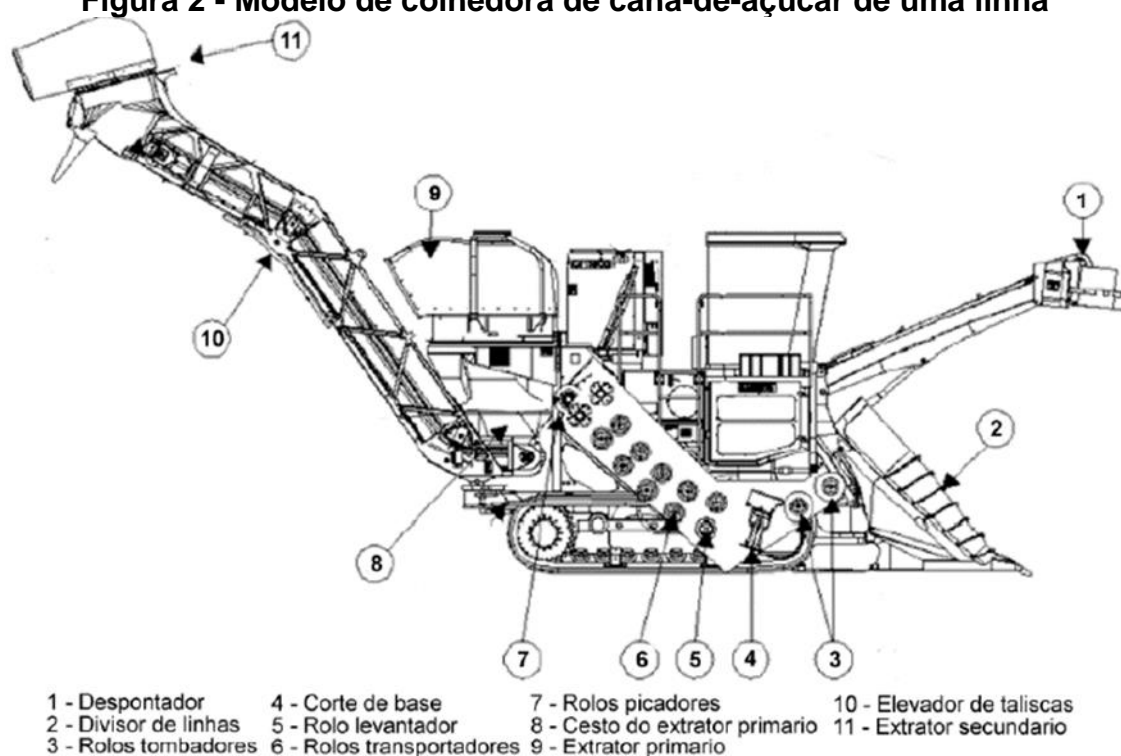
Fonte: adaptada de Conab (2021)

As colhedoras autopropelidas de cana-de-açúcar são as mais utilizadas no Brasil por respeitarem a lei vigente no país que proíbi a queima prévia do canavial, porém, em caso de necessidade, tem capacidade para colher o canavial onde ocorreu a queima acidental (TESTA, 2018).

Atualmente existem modelos de colhedoras de cana-de-açúcar para colher uma ou duas linhas da cultura. Independente do modelo da colhedora o processo de corte, picagem e limpeza e descarregamento em um veículo apropriado são parecidos.

Os processos internos, de uma colhedora de uma linha de cana-de-açúcar (figura 2), podem ser descritos em etapas.

Figura 2 - Modelo de colhedora de cana-de-açúcar de uma linha



Fonte: Testa (2018)

Esses processos iniciam com a colhedora posicionada com a linha da cana-de-açúcar centrada aos divisores de linhas (2). Ao iniciar o deslocamento da colhedora o primeiro corte acontece, através do despontador (1), separando o ponteiro da cana (parte superior, não interessante para a indústria, por não conter sacarose), que tem a altura regulável. Os divisores de linhas e os rolos tombadores (3) direcionam o colmo para o corte de base (4), que é composto por dois discos rotativos com lâminas (faquinhas) sendo o corte é realizado por impacto nos colmos. Os rolos levantadores (5) direcionam os colmos inteiros cortados para os rolos transportadores/alimentadores (6) que conduzem estes colmos até os rolos picadores (7) onde serão fracionados em pedaços de 15 a 30cm. Os colmos fracionados, denominados rebolos, são direcionados ao reservatório (8) do extrator primário (9) no qual acontece a primeira limpeza do material colhido, removendo as impurezas vegetais e mineiras através de ventilação. Em seguida, os colmos picados passam pelo elevador de taliscas (10) e por mais uma limpeza através do exaustor secundário (11) e, por fim, o material é descarregado em um caminhão especial ou veículo auxiliar, composto por ou trator e carreta, denominado transbordo.

Segundo Benedini e Donzelli (2007), uma colheita mecanizada segura deverá ocorrer em canaviais com declividade de até 12%. Porém, não depende só da topografia para a colheita mecanizada acontecer de forma eficiente e segura, outros detalhes em relação a área precisam ser levados em consideração, como a sistematização do solo e o dimensionamento dos talhões (reduzindo manobras), plantio com espaçamento adequado (evitando pisoteio na soqueira), uso de variedades compatíveis com a mecanização, mão de obra qualificada, além das tecnologias oferecidas para as demais operações (preparo do solo, plantio e tratamentos culturais), favorecendo ainda mais o desempenho da máquina durante a colheita.

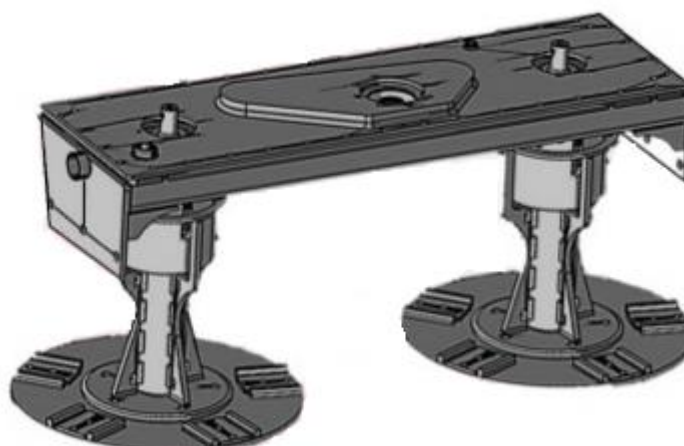
Desta forma, investimentos tem sido feito na direção da mecanização e no aprimoramento da tecnologia empregada nas máquinas e nos equipamentos agrícolas. Os resultados e os benefícios deste processo serão colhidos ao longo do tempo, na forma de aproveitamento energético e econômico da palha, maior fertilidade dos solos, maior produtividade agrícola e sustentabilidade da produção (NEVES; KALAKARI, 2015).

A colheita da cana-de-açúcar sem a queima prévia no canavial beneficia o solo e evita a emissão de gases de efeito estufa. Ao deixar a palha na superfície do solo o seu teor de matéria orgânica e a sua fertilidade são aumentados e, ainda, protege o solo contra erosão. O setor industrial da usina também se beneficia ao diminuir a necessidade de lavar a cana-de-açúcar, antes dos processos industriais para a fabricação do etanol e açúcar conservando o seu teor de sacarose (CONAB, 2021).

2.3 O Corte basal de uma colhedora de cana-de-açúcar

O corte de base é um dos itens de maior importância da colhedora de cana-de-açúcar, pois a qualidade da operação está ligada diretamente com esse corte basal (NEVES, 2003).

O mecanismo para realizar esse corte é composto por um par de discos contra rotativos com cinco lâminas retangulares em cada disco (Figura 3). Essas lâminas são fixadas nas extremidades de cada disco que cortam por impacto os colmos da cana-de-açúcar em sua base (MELLO, 2011).

Figura 3 - Dispositivo Corte de base

O corte deve ser realizado o mais perfeito possível para assegurar o melhor aproveitamento da lavoura, reduzindo os índices de perdas e de contaminações da matéria prima e manter as boas condições agrônômicas para a rebrota do canavial sem diminuição da produtividade nas safras futuras (NEVES et al., 2006; SANTOS, 2008; SILVA et al., 2008). A maioria das colhedoras comercializadas no Brasil ainda possuem este tipo de mecanismo, atuando da mesma forma que era no início e, portanto, apresentando os mesmos pontos negativos ou potenciais de falhas.

Segundo Person (1987), o corte por impacto é um tipo de corte onde a força é normal contra a superfície da cana. Pelo fato da força ser normal, as fibras são tracionadas e rompidas principalmente devido a força de tração e, esse deslocamento das fibras, causa grandes danos ao colmo da planta (MELLO; HARRIS, 2003).

No processo de colheita mecanizada as lâminas do corte de base entram em contato com a parte basal da cana-de-açúcar e efetua o corte deixando apenas um pequeno pedaço dos colmos fixo no solo, denominado de soqueira (SALVI, 2006).

A qualidade do corte basal da cana-de-açúcar é de grande importância para à produtividade e longevidade do canavial nos anos subsequentes a colheita, afetando a viabilidade econômica da cultura e da indústria (BELARDO, 2016).

De acordo com o Ripoli e Ripoli (2004), os danos nas soqueiras, durante o processo mecanizado na colheita da cana-de-açúcar, podem ser causados pela inapropriada regulagem ou pela falta de manutenção (troca das lâminas) do corte de base, pois o contato das lâminas com o solo causa o desgaste prematuro havendo a necessidade da troca periódica, além de provocar a contaminação da cana-de-açúcar colhida pela terra. Também elevam os custos com o transporte e com a manutenção

de equipamentos na indústria e diminuem a eficiência da moagem e extração de sacarose (SALVI et al., 2007).

O corte de base está relacionado diretamente com a qualidade da colheita, os danos e os abalos das soqueiras, e com outros fatores que interferem no desempenho do corte de base. Voltareli (2014) cita alguns desses fatores como a capacidade técnica do operador e a velocidade de deslocamento da máquina, o preparo do solo e o plantio da cultura, a declividade do terreno e o controle automático de altura do corte da colhedora.

Outro fator é o desgaste das lâminas de corte, Cassia et al. (2014) relacionaram o desgaste das lâminas aos índices de danos e abalos às soqueiras, observando que à medida que ocorre o desgaste do fio de corte, ou seja, aumento de sua espessura, existe um incremento no índice de danos e abalos às soqueiras, o que potencialmente prejudicará a rebrota do canavial futuramente, proporcionando o surgimento de falhas.

A variação da altura de corte com o desgaste das lâminas do corte de base associado com a característica varietal do canavial pode elevar significativamente o percentual de perdas visíveis que por consequência reduz a rebrota do canavial (NEVES, 2004) e de perdas invisíveis durante a colheita mecanizada (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

As lâminas que compõem o corte de base devem ser trocadas conforme o desgaste das lâminas apresentarem um formato arredondado nas suas extremidades, ficando sem corte, o que provoca danos as soqueiras e perdas ao canavial. O formato arredondado nas pontas das lâminas após horas de trabalho faz com que o colmo deslize sobre o perfil da lâmina sem realizar o corte apropriado, o que forçará o operador a trabalhar com os discos do corte de base mais baixos, entrando em contato com o solo, para conseguir alimentar a máquina com o material colhido, porém, desta forma, terá elevado índice de impureza mineral agregado aos rebolos e, conseqüentemente, alto nível de terra nos processos industriais (RIPOLI; RIPOLI, 2004; RIPOLI; RIPOLI, 2010).

As realizações das manutenções preventivas adequadas evitam o trabalho com lâminas desgastadas proporcionando um bom desempenho operacional e o aumento da disponibilidade das máquinas para a colheita (SALDEIRA et al., 2017).

Com o intuito de otimizar todo o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, os grandes fabricantes do setor de máquinas agrícolas que desenvolvem as colhedoras no Brasil, vêm buscando alternativas que resultam em melhoria do nível

de qualidade realizada pela mesma, principalmente em relação aos menores índices de impurezas vegetais e minerais, maior desempenho e eficiência operacional e redução dos níveis de perdas e danos causados às soqueiras após o corte basal (LYRA, 2012).

2.4 Qualidade da colheita mecanizada em cana-de-açúcar

A qualidade das operações agrícolas mecanizadas é de extrema importância para garantir que seja executada dentro dos padrões estabelecidos pela unidade produtora, realizando da melhor maneira possível, não comprometendo a continuidade do processo (BARROS; MILAN, 2010; ALBIERO et al., 2010). Assim, o controle de qualidade deve ser implementado como um conjunto de procedimentos que promovam identificação, análise, eliminação e melhorias para o processo de colheita, atendendo às metas estabelecidas (PELOIA; MILAN; ROMANELLI, 2010).

Para Belardo (2016), a qualidade do corte basal da cana-de-açúcar está ligada diretamente com os danos as soqueiras e com as perdas afetando a produtividade e longevidade do canavial nos anos subsequentes a colheita, fatores que definem a viabilidade econômica da cultura.

Desde o início da mecanização na colheita da cana-de-açúcar os danos causados nas soqueiras da cana-de-açúcar pelo mecanismo de corte basal foram um dos problemas identificados no início do processo de colheita mecanizada (Toledo, 2012). Esses danos prejudicam a produtividade do talhão por facilitar o ataque de doenças e pragas e pelo arranquio ou deterioração das novas gemas (Kroes; Harris, 1994).

Kroes (1997), desenvolveu uma metodologia para avaliar os danos causados pelo corte de base nas soqueiras com três níveis de índices de danos que têm importância dentro das avaliações de qualidade da operação de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, por estarem relacionadas com a longevidade do canavial. Os colmos que apresentaram danos extremos são susceptíveis à entrada patógenos causando doenças nas soqueiras e reduzindo a produtividade ao longo da safra.

Avaliando os danos causados a soqueiras de cana-de-açúcar Martins (2016), classificou-as em soqueiras sem danos, danos periféricos, rachaduras e fragmentadas. Quando a colhedora estava programada para colher na velocidade de 3 km h⁻¹, foram encontradas 87,5% das soqueiras sem danos ou com danos periféricos e quando estava na velocidade de 7 km h⁻¹, encontrou 37% das soqueiras

nessas condições, as demais soqueiras apresentaram rachaduras ou estavam fragmentadas.

As perdas invisíveis ocorrem na forma de caldo, serragem e pequenos estilhaços de cana, gerados durante o processamento interno na colhedora, pelo impacto dos mecanismos de corte, picagem, transporte e limpeza. A denominação de perdas invisíveis se deve ao fato de serem difíceis de identificar e, principalmente, de quantificar esse material no campo. Os autores afirmaram que as perdas invisíveis estão diretamente relacionadas com a forma que a colheita é conduzida e com as condições do talhão colhido (BENEDINI *et al.*, 2009).

A quantificação e classificação dessas perdas, ajuda na correção de falhas e tomada de decisão sobre a operação de colheita, alterando a velocidade de deslocamento, rotação do extrator primário e altura do corte de base, entre outras, pois as condições do talhão praticamente não podem ser alteradas após a cultura ter sido implantada (BENEDINI *et al.*, 2009).

Ainda de acordo com Benedini *et al.*, (2009), as perdas invisíveis geralmente ficam em torno de 2 a 5,5% das perdas totais ocorridas durante o processo de colheita e ocorrem em maior quantidade, pela ação do corte de base e em seguida, pela ação dos picadores.

Na grande maioria dos estudos de colhedora de cana-de-açúcar as perdas invisíveis não são quantificadas devido à dificuldade de se avaliar esse parâmetro em condições de campo (NEVES, 2004), o que se torna viável quando os ensaios são realizados em laboratório onde as condições são controladas e com menor quantidade de variáveis a serem avaliadas.

A qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar é diretamente influenciada por vários fatores, e a velocidade da colheita é um dos principais. Definir a velocidade ideal determina os níveis de impurezas, a qualidade e o valor do produto e ainda reduz custos e problemas com máquinas e equipamentos (Oliveira *et al.*, 2017).

Testa (2018), avaliou dois sistemas para o corte de base da colhedora de cana-de-açúcar em laboratório e a campo. Durante o ensaio em laboratório observou-se a ocorrência de mais perdas invisíveis em rotações mais baixas das facas (sistema de corte por impacto), devido a maior quantidade de impactos das facas nos colmos durante o corte e, no entanto, para o sistema de corte contínuo, utilizando serras, foi o inverso, em velocidades altas a quantidade de perdas invisíveis foi maior, mostrando

que neste sistema a ferramenta de corte “empurra” o colmo durante o processo de corte se a velocidade é aumentada.

Em canavial com densidade de 12 colmos por metro e estimando-se uma perda invisível de cinco gramas de matéria-prima por colmo, a perda chega a 400 kg por hectare de material colhido apenas no processo de corte de base da colhedora (TESTA, 2018).

De acordo com o estudo de Holanda (2016), observou-se que a qualidade do corte foi reduzida e a produtividade foi menor conforme aumento do desgaste das lâminas na colheita anterior, concluindo que a qualidade de corte está relacionada diretamente com a produtividade e a longevidade do canavial.

Reis (2009), avaliou as perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em relação ao desgaste das facas do corte de base e concluiu que os danos às soqueiras aumentaram após 6 horas de trabalho sem virar os lados da lâmina.

Um estudo realizado pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), em 2017, foi realizado para avaliar o quanto o setor sucroenergético deixa de ganhar quando não investe na operação de colheita, avaliando as perdas invisíveis, visíveis e as impurezas. A conclusão deste trabalho foi que o setor poderia adquirir nove usinas de etanol com a capacidade de moer, por safra, 2,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, ou seja, algo em trono de R\$ 4,5 bilhões de reais. Os dados utilizados para esse estudo foram com base no câmbio de R\$ 3,33 e valor de transação de US\$ 60 por tonelada. A produtividade no ano de 2017 estava em torno de 76 tonelada por hectare e a produção foi de 517,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. O valor final de R\$ 4,5 bilhões de reais é composto por R\$ 0,9 bilhões de reais referente as impurezas (1%) e os demais R\$ 3,6 bilhões de reais são referentes as perdas tanto invisíveis como visíveis (10%).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Laboratório Nempa

O trabalho foi realizado no laboratório do Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais - Nempa, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA da Universidade Estadual Paulista - Unesp, campus Lageado, localizado no município de Botucatu/SP.

3.2 Dispositivo de ensaio de corte basal de cana-de-açúcar (DECCA)

O dispositivo de ensaio de corte basal de cana-de-açúcar (DECCA) foi desenvolvido pelo NEMPA para avaliar, em condições laboratoriais, a ação do mecanismo de corte de base de uma colhedora de cana-de-açúcar, simulando o corte em soqueiras previamente montadas com colmos de cana-de-açúcar no solo, tornando o experimento independente das variabilidades encontradas, normalmente, nos canaviais (figura 4).

Figura 4 - Dispositivo de ensaio de corte basal de cana-de-açúcar (DECCA)



Foto: Fernanda Scaranello Drudi - 2021

O DECCA foi construído utilizando um dispositivo de corte de base de uma colhedora de cana-de-açúcar, da marca CASE, modelo A8800 – uma linha. O conjunto eletromecânico que produz a rotação dos dois discos é acionado por um motor elétrico de 7,3 kW com rotação nominal de 600 rpm. Este dispositivo foi munido de um inversor de frequência utilizado para alterar a rotação do sistema.

O DECCA foi montado sobre uma estrutura metálica com dimensões de 1,53 metros de largura por 2,20 metros de comprimento e por 1,48 metros de altura, sobre cantoneiras de 0,025 metros, montadas no chão com vértice para cima, em forma de trilhos, com 15 metros de comprimento e rodas de aço de 0,10 metros de diâmetro.

O corte de base é composto por dois discos de corte com diâmetro de 0,5 metros e com distância entre eixo dos discos de 0,65 metros. A inclinação dos discos de corte em relação ao solo foi estabelecida formando um ângulo de 12 graus em relação à horizontal, baseando-se no Manual do Operador da colhedora Case modelo A8800, que recomenda uma inclinação do corte de base entre 7 e 13 graus (saindo de fábrica com 12 graus).

3.3 Matéria-prima industrializável

Foram utilizados colmos colhidos em um canavial na Fazenda Santo Antônio (figura 5), pertencente a fornecedora Agrícola Rio Claro situada na cidade de Lençóis Paulistas/SP para que o experimento fosse montado, em condições controladas, em laboratório e utilizando o dispositivo DECCA.

Figura 5 - Cana-de-açúcar utilizada no trabalho



A produtividade do canavial foi estimada em 120 t ha⁻¹, sendo de primeiro corte, porte ereto e 12 meses de idade. A variedade utilizada foi a CV 7870, da marca CanaVialis.

Foram coletados 340 colmos de cana-de-açúcar e cada colmo tinha em média 1,50 metros de comprimento a partir da sua base e peso médio de 1 kg.

Os colmos foram padronizados, limpos e cortados com comprimento de 0,70 metros e com um paquímetro digital, da marca Matrix Tools for eXistence (MTX), modelo MTX-316119, foi realizada a medição dos diâmetros dos colmos e selecionados aqueles com diâmetro médio de 0,030 metros, com variação de ± 2 milímetros em relação ao diâmetro médio (Figura 6).

Figura 6 - Medição dos colmos para padronização

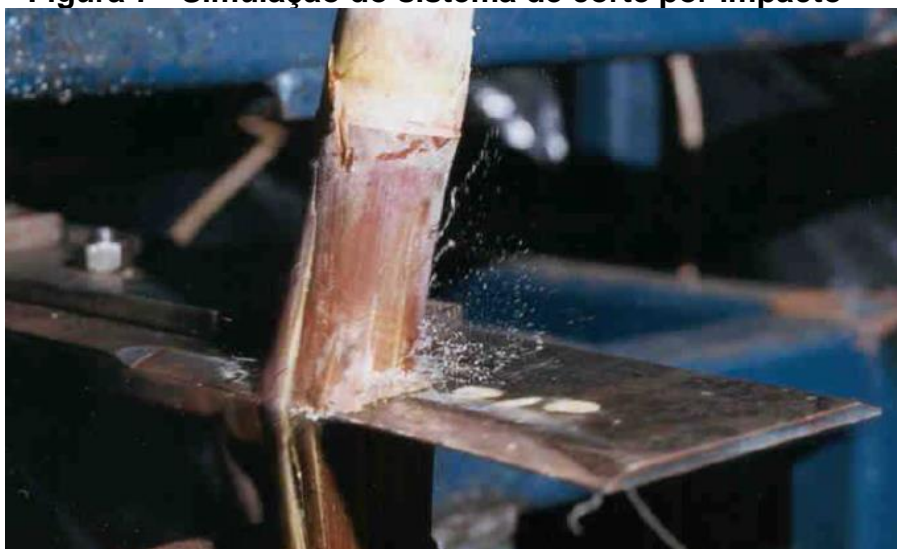


Foto: Fernanda Scaranello Drudi - 2021

3.4 Sistema convencional de corte de base

O sistema utilizado para a simulação do corte da base foi o sistema convencional, conhecido por sistema de corte por impacto (Figura 7), no qual o corte é realizado pelo impacto da lâmina no colmo da cana-de-açúcar. Em cada disco de corte foram fixadas 5 lâminas novas da marca Unimil, de aço, com 6 furos, afiação nos 4 lados e com 4,75 milímetros de espessura.

Figura 7 - Simulação do sistema de corte por impacto



Fonte: Mello (2011)

3.5 Sistema de fixação dos colmos

Para os colmos ficarem firmes durante o corte foi elaborado um sistema de fixação, preso ao chão do laboratório no centro dos trilhos utilizados para o deslocamento do DECCA.

Em uma chapa quadrada de 0,010 metros de espessura, de aço carbono com dimensão lateral de 0,30 metros foram soldados alguns tubos de metal com diâmetro interno de 0,050 metros e espessura de 2 milímetros, com 0,20 metros de comprimento que serviram de suporte para os colmos.

Para a fixação dos colmos dentro dos tubos de aço foram utilizados calços de madeira, em forma de cunha, deixando a parte inferior dos colmos firmes durante o corte do colmo pelo DECCA.

3.5.1 Modelos de simulação de soqueira

Para simular as soqueiras do campo foram elaborados dois modelos, com diferentes quantidades de tubos de aço e ângulos de inclinação fixados nas placas descrita no tópico anterior.

No modelo 1 foram fixados 8 tubos de aço com 0,20 metros de comprimento, sendo 2 tubos com ângulo de 90°, quatro tubos com 60° e dois tubos com ângulo de 45° (figura 8).

Figura 8 - Modelo de simulação da soqueira com 10 colmos - M1



O modelo 2 (figura 9) foi elaborado com 12 tubos de aço com as inclinações de acordo com a metodologia do triângulo, desenvolvida por Ripoli *et al.* (1977), para determinar o porte do canal.

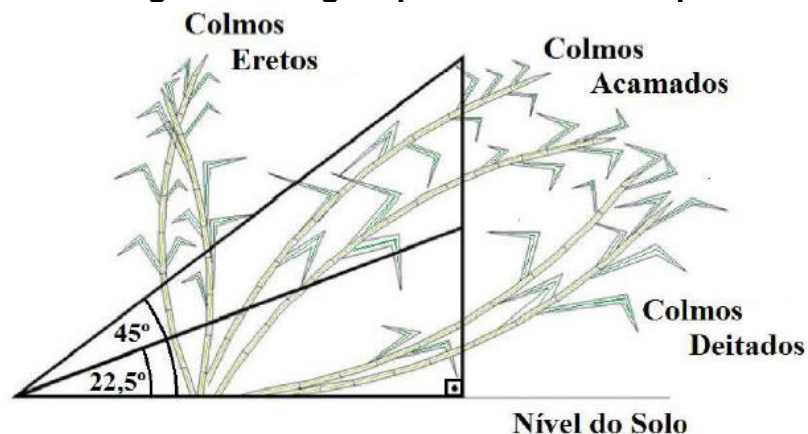
Figura 9 - Modelo de simulação de soqueira com 12 colmos - M2



Essa metodologia descreve 3 posições de colmos no campo (figura 10) sendo 0 a 22,5° colmos deitados, de 22,6° até 45° colmos acamados e acima de 45° colmos

eretos. Neste caso o modelo 2 foi elaborado utilizando 4 tubos com $22,5^\circ$ (colmos deitados), 4 tubos com 45° (colmos acamados) e 4 tubos com 90° simulando colmos eretos.

Figura 10 - Metodologia do triângulo para determinar o porte do canavial



Fonte: Ramos (2016) adaptado de Ripoli *et al.* (1977)

3.6 Regulagens do DECCA utilizadas no trabalho

Foram utilizadas duas configurações do DECCA através da variação da rotação dos discos de corte e da velocidade de deslocamento do equipamento, uma vez que, no campo, esses fatores se relacionam significativamente com a qualidade do corte de base das colhedoras nos colmos de cana-de-açúcar.

3.6.1 Rotação dos discos de corte do DECCA

A variação da rotação dos discos de corte do DECCA foi obtida através de um inversor de frequência no motor para motores trifásicos, da marca WEG, modelo AFCW500 de 10A com variação de 0 a 60 Hz (figura 11).

Figura 11 - Modelo do inversor utilizado no trabalho

Foram determinadas três rotações para o estudo, sendo duas escolhidas de acordo com o Manual do Operador da colhedora de cana-de-açúcar da Case modelo A8800, 640 rpm e 549 rpm. A terceira rotação avaliada foi de 480 rpm, em função da tendência de utilização no campo de menores rotações em canaviais com menor produtividade objetivando diminuir o consumo de combustível, parâmetro relevante nos custos da colheita mecanizada.

Com o uso de um tacômetro digital eletrônico, da marca Impac, modelo DT6234B, foi possível regular a rotação dos discos de corte de acordo com a frequência em Hz do inversor.

Para obtenção das 3 rotações desejadas foram selecionadas, previamente, as frequências correspondentes do inversor, sendo elas 59,2Hz para a rotação de 640 rpm, 50,8Hz para 549 rpm e 44,4 Hz para 480 rpm, sem aplicação de forças frenantes.

3.6.2 Velocidade de simulação de colheita

Um trator agrícola, da marca John Deere, ano 1996, modelo SLC 6600, realizou o deslocamento do DECCA, no trilho, empurrando o dispositivo com o auxílio de um cambão de aço, simulando a movimentação da colhedora de cana-de-açúcar no campo.

Foram utilizadas 2 velocidades de deslocamento do DECCA de 3,5 km h⁻¹ e 5 km h⁻¹. Essas velocidades foram utilizadas por serem as velocidades usuais de colhedoras em canaviais brasileiros.

3.7 Ensaio de Qualidade do corte

A avaliação da qualidade do corte está relacionada com os danos causados aos colmos. Nesta avaliação os colmos foram analisados logo após a passagem do DECCA.

Os colmos fixados nos dois modelos de simulação de soqueiras (figura 12) foram cortados alternadamente, primeiro foram colocados os colmos num modelo de simulação de soqueira e depois no outro desta forma os modelos não foram analisados ao mesmo tempo.

Figura 12 - Colmos inteiros fixados no modelo de soqueira antes do corte




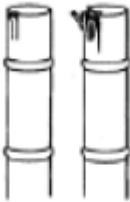
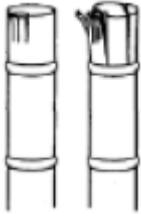
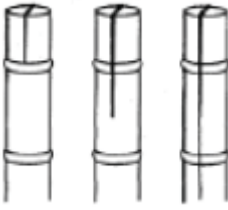
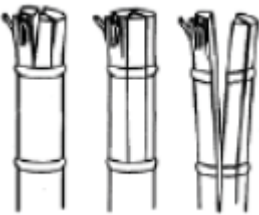
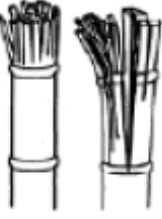
A avaliação foi realizada pelo mesmo avaliador durante todo o ensaio para garantir o controle das condições experimentais. Visualmente classificou-se os danos as soqueiras conforme os níveis de danos descritos na Figura 13.

Os danos analisados foram identificados e relacionados com o ângulo de inclinação de cada tubo de aço já descritos nos dois modelos de simulação de soqueira para a avaliação entre o ângulo de corte e o nível de dano encontrado em cada colmo avaliado.

A classificação foi adaptada da metodologia de Kroes (1997), citado no trabalho de Toledo (2012), no qual foram identificados os colmos com danos extremos (+1,00),

danos parciais (0,00) e sem danos (-1,00) de acordo com os limites descritos no Quadro 1. Para médias dos danos encontrados mais próximos de -1,00 melhor será o corte dos colmos e quanto mais próximo de +1,00 significa que os colmos apresentaram danos extremos quando cortados pelo corte de base da colhedora. As médias calculadas entre -0,50 e +0,50 foram classificadas como danos parciais.

Figura 13 - Classificação dos danos

| Classificação | Limite inferior | Limite superior | Nota |
|---------------------|---|--|-------|
| Sem Danos (SD) |  |  | -1,00 |
| Danos Parciais (DP) |  |  | 0,00 |
| Danos Extremos (DE) |  |  | +1,00 |

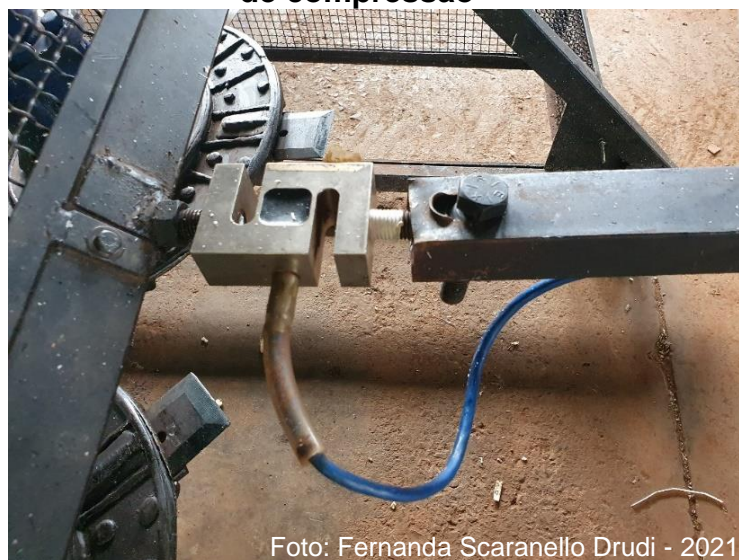
Fonte: Adaptado de Kroes (1997)

3.8 Ensaio de Força máxima de corte

Para avaliar a força máxima transmitida ao colmo da cana-de-açúcar durante o processo de corte foi utilizada uma célula de carga da marca Líder, modelo S-2000 com capacidade para 2000N (Figura 14), instalada entre o cambão de aço, utilizado para empurrar o dispositivo DECCA pelo trator e o DECCA. O cambão e a célula de carga permaneceram na horizontal e alinhados ao longo do deslocamento do conjunto, sem deslocamentos laterais.

A força máxima de corte foi determinada em função dos dois modelos de simulação de soqueira.

Figura 14 - Montagem com a célula de carga utilizada na determinação da força de compressão



Para todas as avaliações da força de corte foram obtidos e armazenados os sinais da célula de carga ao longo do deslocamento do conjunto e a força máxima foi calculada através da Equação 1:

$$F_c = F_o.5 \quad (1)$$

Onde F_c é a força de corte em kgf, F_o é a força obtida no aparelho em kgf e 5 é o fator de conversão da célula de carga.

3.9 Ensaio de Perdas invisíveis de cana-de-açúcar

Foi montado, entre os trilhos do DECCA, um modelo simulando duas fileiras de cana-de-açúcar com somente um colmo por soqueira. Nesse modelo foram utilizadas duas chapas de aço carbono com 0,010 metros de espessura e com 0,030 metros largura e 1,40 metros de comprimento e em cada chapa foram fixados 4 tubos de aço com 0,050 metros de diâmetro interno, 0,20 metros de altura e espaçados entre si com 0,30 metros.

As duas estruturas foram fixadas no piso do laboratório entre os trilhos utilizados para deslocar o DECCA (Figura 15). Uma unidade foi posicionada no centro da linha de corte e a segunda deslocada em 0,10 metros para a esquerda. Os tubos ficaram paralelos alternados e em sequência.

Figura 15 - Sistema para fixação dos colmos composto por para avaliação de perdas invisíveis



Antes de iniciar a avaliação os colmos foram numerados em ambas as extremidades e foram pesados com o auxílio de uma balança digital com capacidade para 10 quilogramas (figura 16).

Figura 16 - Pesagem individual dos colmos identificados

A preparação dos colmos no modelo linear teve a parte superior dos colmos presa por corda do tipo náutica, para evitar danos não provenientes do corte, e a parte inferior fixada nos tubos com o auxílio de cunhas de madeira (Figura 17). Essas cordas foram presas em uma outra corda de espessura mais grossa passando por uma roldana fixada no teto do laboratório. Imediatamente após a passagem do DECCA os colmos cortados, que estavam fixados pelas cordas, foram içados manualmente para que não houvesse repicagem ou dano causado pelo impacto na estrutura do corte de base.

Figura 17 - Esquema para fixar os colmos para a avaliação de perdas invisíveis



Após a passagem do DECCA as partes inferior e superior de cada colmo, identificadas anteriormente foram reunidas e novamente pesadas (Figura 18). A diferença entre o peso inicial (antes do corte) e o peso final (após o corte), foi considerada como perda invisível provocada pelo corte do colmo.

Figura 18 - Pesagem do colmo após o seu corte



3.10 Delineamento experimental

Para avaliar o DECCA em condições laboratoriais as coletas de dados foram divididas em duas etapas. Na primeira etapa foram realizadas as avaliações referentes aos Ensaio de Qualidade do corte e o Ensaio de Força máxima de corte. E na segunda parte foi executada o Ensaio de Perdas invisíveis.

O delineamento utilizado no Ensaio de Qualidade do corte foi em blocos casualizados com esquema fatorial 3x2 (três rotações do corte de base e duas velocidades de deslocamento). No Ensaio de Força máxima de corte o esquema fatorial foi 3x2x2 (três rotações do corte de base, duas velocidades de deslocamento e dois modelos de simulação de soqueiras), e no Ensaio de perda invisível foi no esquema fatorial 3x2 (três rotações do corte de base e duas velocidades de deslocamento). Em ambos os ensaios foram realizadas 4 repetições.

Em ambas as etapas foram selecionadas duas velocidades de deslocamento do trator, sendo as velocidades de 3,5 km h⁻¹ (V1), e 5 km h⁻¹ (V2). As rotações do disco de corte com auxílio do inversor foram na rotação de 640 rpm (R1), na rotação de 549 rpm (R2), e 480 rpm (R3). Porém, o Ensaio de Força máxima teve um fator a mais analisado, o modelo de simulação de soqueira, neste caso com 8 colmos (M1) e com 12 colmos (12).

3.10.1 Tratamentos

Os tratamentos da primeira etapa são descritos a seguir:

- R1V1S1 – Rotação dos discos de corte de base em 640 rpm, velocidade de deslocamento a 3,5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 8 colmos;
- R1V1S2 – Rotação dos discos de corte de base em 640 rpm, velocidade de deslocamento a 3,5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 12 colmos;
- R1V2S1 – Rotação dos discos de corte de base em 640 rpm, velocidade de deslocamento a 5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 8 colmos;
- R1V2S2 – Rotação dos discos de corte de base em 640 rpm, velocidade de deslocamento a 5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 12 colmos;
- R2V1S1 – Rotação dos discos de corte de base em 549 rpm, velocidade de deslocamento a 3,5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 8 colmos;

- R2V2S2 – Rotação dos discos de corte de base em 549 rpm, velocidade de deslocamento a 5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 12 colmos;
- R3V1S1 – Rotação dos discos de corte de base em 480 rpm, velocidade de deslocamento a 3,5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 8 colmos;
- R3V2S2 – Rotação dos discos de corte de base em 480 rpm, velocidade de deslocamento a 5 km h⁻¹ e modelo de simulação de soqueira com 12 colmos.

E os tratamentos da segunda parte são:

- R1V1 – Rotação dos discos de corte de base em 640 rpm e velocidade de deslocamento a 3,5 km h⁻¹;
- R1V2 – Rotação dos discos de corte de base em 640 rpm e velocidade de deslocamento a 5 km h⁻¹;
- R2V1 – Rotação dos discos de corte de base em 549 rpm e velocidade de deslocamento a 3,5 km h⁻¹;
- R2V2 – Rotação dos discos de corte de base em 549 rpm e velocidade de deslocamento a 5 km h⁻¹;
- R3V1 – Rotação dos discos de corte de base em 480 rpm e velocidade de deslocamento a 3,5 km h⁻¹;
- R3V2 – Rotação dos discos de corte de base em 480 rpm e velocidade de deslocamento a 5 km h⁻¹.

3.11 Análise estatística

A análise estatística foi efetuada utilizando o software Minitab (16). Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de Qualidade de corte

4.1.1 Danos aos colmos em relação ao seu grau de inclinação

A Tabela (1) apresenta as médias das notas atribuídas aos danos provocados nas soqueiras pelo corte de base em função da rotação dos discos de corte e da velocidade de deslocamento do DECCA, nos diversos ângulos de inclinação dos colmos da cana-de-açúcar, fixados nos modelos para simular a soqueira em condições laboratoriais. Houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade segundo teste Tukey entre os ângulos de inclinação dos colmos, independente da rotação dos discos de corte e da velocidade de deslocamento do DECCA.

Tabela 1 - Média dos danos as soqueiras em relação aos ângulos de inclinação dos colmos

| Ângulos de Inclinação (°) | Tratamentos | | | | | |
|------------------------------|-------------|---------|---------|----------|----------|---------|
| | R1V1 | R2V1 | R3V1 | R1V2 | R2V2 | R3V2 |
| 22,5 | 0,50 a | 0,43 a | 0,37 a | 0,25 a | 0,37 a | 0,37 a |
| 45 | 0,00 ab | 0,25 a | 0,31 a | -0,06 ab | 0,12 ab | 0,06 ab |
| 60 | -0,37 b | -0,31 b | -0,31 b | -0,56 b | -0,43 bc | -0,50 b |
| 90 | -0,93 bc | -0,93 c | -0,87 c | -0,62 b | -0,62 c | -0,50 b |

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). R1: 640rpm, R2: 549 rpm e R3: 480 rpm. V1: 3,5 km h⁻¹ e V2: 5 km h⁻¹.

Para ambos os modelos de simulação de soqueira utilizados neste trabalho observou-se que o ângulo de inclinação dos colmos de cana-de-açúcar influenciou diretamente na avaliação dos danos. Embora o porte ereto do canavial seja considerado o mais indicado para a colheita mecanizada não se pode desconsiderar que outras situações são comuns de serem encontradas no campo como colmos acamados ou deitados. Essas duas últimas situações não são consideradas ideais, pois o colmo mais inclinado e rente ao solo dificulta o corte, eleva a quantidade encontrada de danos parciais e extremos, aumentam o contato do solo com as

lâminas do corte de base diminuindo a vida útil das mesmas e intensificando a quantidade de impurezas minerais na carga colhida destinada para a indústria.

Os valores obtidos nos colmos com ângulos de inclinação 22,5°, 45° e 60° estão dentro da faixa de valores determinados para a classificação dos colmos com danos parciais. Em contrapartida, constata-se, que colmos mais eretos, ou seja, colmos mais próximos de 90° de inclinação são colmos que apresentaram os índices de danos próximos de -1,0, ou seja, colmos sem danos.

Nenhum tratamento estudado apresentou danos extremos, os colmos avaliados apresentaram danos parciais ou não apresentaram danos significativos durante as avaliações.

Ao avaliar diversos relatórios de ensaio com colhedora de cana-de-açúcar em áreas com diferentes faixas de produtividade e de velocidades de trabalho, Drudi (2017) observou que os danos às soqueiras foram classificados em danos periféricos, ou seja, danos parciais comparados com este trabalho, independente da rotação dos discos do corte de base e graus de inclinação dos colmos.

Ramos (2016) desenvolveu um índice de colheitabilidade para colheita mecanizada na cultura da cana-de-açúcar através da ponderação de fatores como a produtividade agrícola, a declividade do terreno, o alinhamento entre fileiras de plantio, o porte do colmo, a posição das soqueiras em relação ao nível do solo e a sistematização do terreno. O autor, avaliando a altura do corte e os danos causados aos colmos, após a passagem da colhedora, concluiu que em áreas com melhor índice de colheitabilidade, ou seja, quando os fatores analisados estão favoráveis à colheita, houve menor altura de tocos no campo e menores danos as soqueiras, devido a diminuição do efeito alavanca no momento do corte por impacto como citado por Mello e Harris (2003).

A qualidade do corte de base de duas colhedoras de cana-de-açúcar com dois tipos de lâminas, foram avaliadas por Paixão *et al.* (2021), sendo que a colhedora 1 trabalhou com lâmina circular e velocidade de deslocamento de 5,5 km h⁻¹ e a colhedora 2 com lâminas retangulares (convencionais) e trabalhando a 4,0 km h⁻¹. A colhedora 1 apresentou a menor variabilidade durante a avaliação de danos resultando em mais colmos sem danos seguidos de colmos com danos parciais, o que equivale aos dados obtidos neste trabalho.

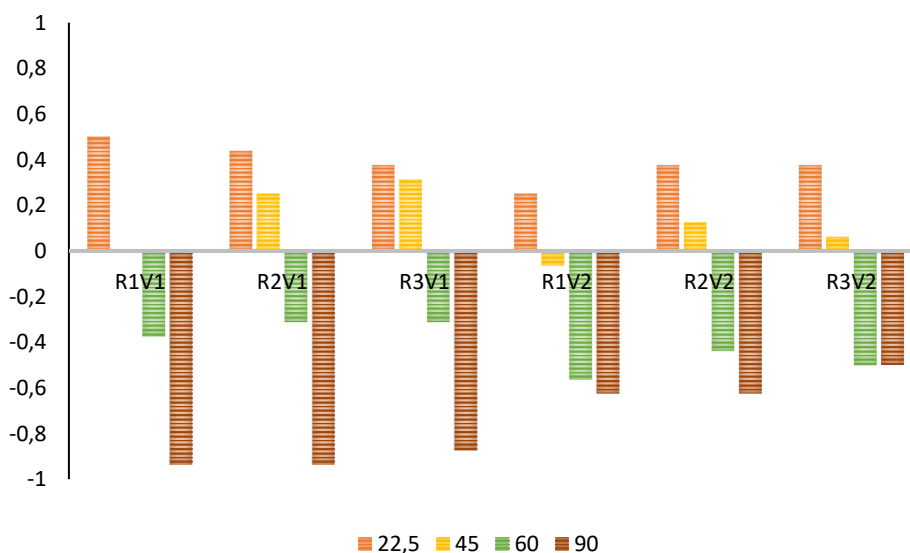
O corte considerado ideal nos canaviais ocorre quando a soqueira se encontra intacta e o toco, com dano mínimo, de forma que o aumento da força imposta à planta

pela ação das lâminas menos afiadas favorece a ocorrência de maiores danos (MELLO; HARRIS, 2001). Os danos parciais ou extremos podem causar aumento da incidência de pragas e doenças, remover novas gemas responsáveis pela brotação, danificar o sistema radicular e diminuir a produtividade da safra seguinte (KROES; HARRIS, 1994).

4.1.2 Danos aos colmos em relação à rotação dos discos do corte de base e velocidade de deslocamento do DECCA

A variação da rotação dos discos do corte de base e da velocidade de deslocamento do DECCA, nos mesmos graus de inclinação do colmo, não apresentaram diferenças estatísticas significativas (figura 19), demonstrando que independente da configuração do DECCA os danos estão relacionados com o grau de inclinação. Não foi observado nenhum dano extremo nos colmos, ficando entre danos parciais e sem danos, mostrando que quanto mais próximo de 90° estava o colmo melhor foi o corte resultando em colmos sem danos.

Figura 19 - Médias dos danos aos colmos relacionados com a rotação e a velocidade do DECCA



4.2 Ensaio de Força máxima de corte

Os valores, em kgf, obtidos para a força máxima são referentes aos dois modelos de simulação das soqueiras, que leva em conta o número de colmos e os seus ângulos de inclinação de forma conjunta.

Na Tabela 2 estão os valores resultantes da avaliação de força máxima para os dois modelos de soqueiras em função das rotações dos discos de corte e das velocidades de deslocamento do DECCA, mostrando que as médias obtidas para os tratamentos analisados neste trabalho foram diferentes estatisticamente.

Tabela 2 - Média das forças máximas (kgf) em relação aos modelos de soqueiras e tratamentos

| Tratamentos | Modelos de simulação de soqueira | |
|-------------|----------------------------------|----------|
| | M1 | M2 |
| R1V1 | 22,13 b | 16,5 c |
| R2V1 | 27,98 a | 18,32 ab |
| R3V1 | 19,37 b | 27,5 c |
| R1V2 | 18,92 b | 24,52 bc |
| R2V2 | 22,16 b | 21,25 a |
| R3V2 | 12,63 c | 19,45 bc |

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). R1: 640rpm, R2: 549 rpm e R3: 480 rpm. V1: 3,5 km h⁻¹ e V2: 5 km h⁻¹. M1: 8 colmos e M2: 12 colmos

Analisando as médias dos tratamentos, nos dois modelos de simulação de soqueira, constatou-se não houve coerência dos valores obtidos pois a soqueira com 8 colmos (M1) apresentou os maiores e os menores resultados de força máxima exigida e, dentro do mesmo tipo de soqueira, os valores obtidos também não variaram linearmente em função da rotação dos discos do corte de base e da velocidade de deslocamento.

Na literatura trabalhos foram realizados relacionando a força de ruptura do colmo com o diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar. De acordo com Kroes (1997), a força necessária para cortar o colmo da cana-de-açúcar apresentou relação linear com o diâmetro do colmo sendo a força máxima registrada no trabalho foi de 439N cujo os colmos apresentaram diâmetros de 27,8 milímetros. Em trabalho parecido, Filippini

Filho et. al. (2004), avaliaram as forças máximas de corte e observaram que as forças de corte dos colmos oscilaram entre 300 e 500 N.

Testa (2018), também observou o aumento linear da força de corte dos colmos de cana-de-açúcar quando comparado com os diferentes diâmetros dos colmos analisados tendo variação de 258 a 321 N.

De acordo com os trabalhos comentados acima os valores encontrados neste trabalho foram menores. Os colmos avaliados tiveram o diâmetro médio em 30 milímetros e as oscilações das forças máximas dos tratamentos analisados foram de 124 a 276 N,

4.3 Ensaio de Perdas invisíveis

4.3.1 Perdas invisíveis em função da rotação dos discos do corte de base e velocidade de deslocamento do DECCA.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados das perdas invisíveis não havendo diferenças estatísticas significativa para os tratamentos analisados, mostrando que as perdas invisíveis acontecem independentemente da rotação dos discos do corte de base e da velocidade de deslocamento do DECCA.

Tabela 3 - Médias das perdas invisíveis para os tratamentos analisados

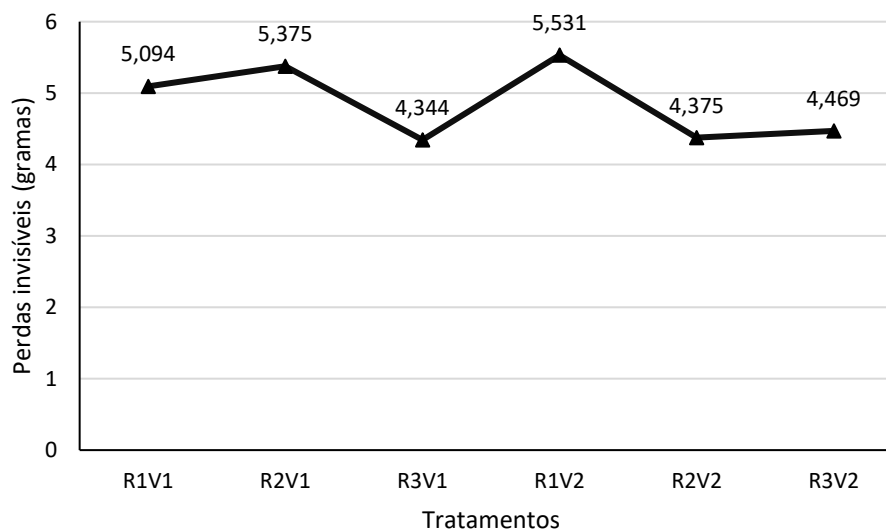
| Tratamentos | Perdas invisíveis (gramas) |
|-------------|----------------------------|
| R1V1 | 5,094 a |
| R2V1 | 5,375 a |
| R3V1 | 4,344 a |
| R1V2 | 5,531 a |
| R2V2 | 4,375 a |
| R3V2 | 4,469 a |

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$). R1: 640rpm, R2: 549 rpm e R3: 480 rpm. V1: 3,5 km h⁻¹ e V2: 5 km h⁻¹.

Analisando a Figura 20, no qual apresenta as médias das perdas invisíveis de todos os tratamentos foi possível observar uma tendência de redução na quantidade de perdas invisíveis da cana-de-açúcar quando o dispositivo DECCA se deslocou na

maior velocidade analisada apesar dos tratamentos R2V1 e R1V2, não seguirem essa tendência.

Figura 20 - Médias das perdas invisíveis para todos os tratamentos



Em relação a rotação dos discos do corte de base do DECCA, a rotação R1 (640 rpm), foi a que resultou maior perda invisível neste trabalho em comparação à média das demais rotações, devido ao maior tempo de contato das facas com os colmos, para todas as velocidades de deslocamento do DECCA. O mesmo acontece quando analisada a velocidade de deslocamento, independente da rotação dos discos do corte de base, sendo observadas mais perdas em velocidades de deslocamento menores.

Os dados obtidos neste trabalho são coerentes com os resultados analisados no trabalho de Testa (2018), que utilizou o mesmo dispositivo DECCA, avaliando dois tipos de sistema de corte, por impacto com lâminas convencionais e corte contínuo com uso de serra com rotação dos discos do corte de base de 600 rpm e velocidade de deslocamento 3 km h^{-1} , foi de 6,00 gramas quando comparado com o resultado obtido neste trabalho de 5,22 gramas.

Neves (2003), trabalhando com colhedora de cana-de-açúcar picada verificou que se perde até 4% no corte de base da máquina e concluiu que, com a variação da velocidade de deslocamento das colhedoras não ocorreu aumento das perdas, da mesma forma que o encontrado neste trabalho, no qual não houve aumento de perdas invisíveis quando se aumentou a velocidade de deslocamento do dispositivo avaliado.

O autor ainda faz uma observação que as perdas invisíveis dependem da variedade da cana e do estado das facas do cortador de base.

5 CONCLUSÕES

Os danos causados aos colmos, durante o corte de base, estão relacionados com o grau de inclinação do colmo do modelo de simulação das soqueiras. Quanto mais próximo do chão, colmos deitados a $22,5^\circ$, mais danos parciais foram observados nos colmos. Os colmos eretos, com 90° de inclinação, para os dois modelos de simulação de soqueira, não apresentaram danos significativos.

Não houve diferença na avaliação de danos quando se relacionou a rotação dos discos do corte de base com a velocidade de deslocamento do dispositivo DECCA.

A força de tração máxima para cortar os colmos, em todos os ensaios realizados, não apresentou resultados que possibilitassem conclusão estatisticamente significativa.

As perdas invisíveis apresentaram maiores valores no tratamento com a maior rotação dos discos do corte de base e na maior velocidade de deslocamento do DECCA.

REFERÊNCIAS

- BARROS, F. F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 221-229, 2010.
- BELARDO, G. C. **Avaliação do desempenho de colhedoras multilinhas de cana-de-açúcar em três espaçamentos**. 2016. 198 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2016.
- BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L.; Desmistificando a colheita mecanizada da cana crua. **Coplana**, Guariba, SP, n. 42, p. 26-28, nov. 2007.
- BENEDINI, M. S. et al. **Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. Boletim. 2009. 7p.
- CAPUTO, M. M. et al. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 15-23, 2008.
- CASSIA, M. T. et al. Desgaste das lâminas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**. 44(6): 987-993, 2014.
- COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar**, v.7 – Safra 2020/21 – Quarto Levantamento, Brasília, p. 1-62, maio. 2021.
- COSTA, W. L. S.; BOCCHI, M. L. M. **Marc applications of sugar cane bagasse used in the present**, Fatec, São Paulo, 2012.
- DRUDI, F. S. **Parâmetros para a padronização dos ensaios de colhedora de cana-de-açúcar para avaliação de seu desempenho energético**. 2017. 75 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2017.
- FILIPPINI FILHO, G.; RODRIGUES, D. V. M.; BRAUNBECK, O. A. Força e energia necessária para o corte inercial da cana-de-açúcar com facas oscilantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004.
- FILOSOFO, S. et al. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1847-1856, 2015.

FURLANI NETO, V. L. **Incidência da matéria estranha e perdas no campo nos processos de corte manual e com colhedoras amontoadoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1984. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

FURTADO, F. **Mecanização da colheita da cana traz benefício ambiental**. 2002.

GRAY, G. R. **Metodologia de projeto de suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

HOLANDA, L. A. **Desgaste das facas do corte de base na colheita mecanizada afetando o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar**. 2016. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

KEER, B.; BLYTH, K. They're all half crazy – 100 years of mechanical cane harvesting. **Brisbane: Canegrows**, 1993.

KROES, S. **The cutting of sugarcane**. Toowoomba: University of Southern Queensland, 1997. 356p Ph.D. Thesis.

KROES, S.; Harris, H.D. Effects of cane harvester base cutter parameters on the quality of cut. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Mackay, p.169-177, 1994.

LABORATÓRIO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL. **Perdas com colheita mecanizada equivalente ao preço de 9 novas usinas**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/colheita/perdas-colheita-mecanizada-equivalente-preco-usinas-ctbe-051217>>. Acesso em: 10 jan. 2021

LYRA, G. A. **Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação do motor**. 2012. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

MARIN, F. R. **Árvore do conhecimento – cana-de-açúcar**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC), 2018.

MARTINS, M. B. **Desempenho efetivo e influência no sistema de limpeza da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário**. 2016. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

MELLO, R. C.; HARRIS, H. Angled and serrated blades reduce damage, force and energy for a harvester basecutter. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Mackay, n. 123. p. 212-218, 2001.

MELLO, R.C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003.

MORENO, A. Pioneirismo marca os 50 anos da Santal. **Jornal Cana**, n.199, julho 2010. p. 90.

NARIMOTO, L. R. **A gênese das gênes instrumentais: O projeto no uso de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar no Brasil e na Austrália**. 333p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2015.

NEVES J. L. M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução**. 2003. 223 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

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**, v.24, p.764-770, 2004.

NEVES, J.L.M. *et al.* Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, p.787-794, 2006.

NEVES J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação de perdas quantitativas na colheita de cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015, cap. 16.2, p. 367-374.

NEVES M. F, Kalakari R. B. A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/2014. In: Belardo GC, Cassia MT, Silva RP (Eds.) **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, p. 35-71, 2015.

OLIVEIRA, D. T. *et al.* **Fatores que influenciam na qualidade da colheita de cana**. Revista Cultivar. Disponível em: < <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/fatores-que-influenciam-na-qualidade-da-colheita-de-cana>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PAIXÃO, C. S.S. *et al.* Qualidade de corte de base de cana de açúcar usando lâminas retangulares e circulares. **Engenharia Agrícola**. v. 41, n. 1. 2021.

PELOIA, P. R. *et al.* Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 619-623, 2010.

PERSSON, S. **Mechanics of cutting plant material**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1987. p.

RAMOS, C. R. G. **Metodologia para determinação do índice de colheitabilidade para avaliar a colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2016. 119 p. Tese (Doutorado)

em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

ROSA, J. H. M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

REIS, G. N. dos. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 73 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; NOVAES, H.P. Um critério para avaliação de canaviais visando à colheita. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 4., 1977, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1977. 10 p.

RIPOLI, M.L.C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para fins energéticos**. 2004. 213 p. Tese Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques. 302p, 2004.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: Edição dos autores, 2009. 333p.

RÍPOLI M.L.C, RÍPOLI T.C.C. Evaluation of five sugarcane planters. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p. 1110-1122, 2010.

SALDEIRA, M. R. *et al.* Análise do sistema de troca de lâminas de corte em colhedora de cana-de-açúcar. **Rev. Agro. Amb.**, v. 10, n. 3, p. 713-728, jul./set. 2017.

SALVI, J.V. **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2006. 89 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

SANTOS, E. P. **Rebrota de duas variedades de cana-de-açúcar colhida crua sob dois níveis de desgaste das facas do mecanismo de corte basal**. 2008. 40 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

SANTOS, G. R. *et al.* Apontamentos e Diretrizes para Políticas Públicas. In: GESMAR ROSA DOS SANTOS (Org.). **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil : desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016. p. 283–303.

SILVA, R. P. *et al.* Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008.

TESTA, J. V. P. **Avaliação de dispositivos para o corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar em laboratório e no campo.** Botucatu, SP: Tese de doutorado, Unesp, 2018. 82 p.

TOLEDO, A. **Qualidade do corte basal na colheita Mecanizada de cana-de-açúcar crua.** 2012. 106 p. Tese Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Raio X do setor sucroenergético, 2011.** Disponível em: < <http://www.unica.com.br/faq>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

VIANA, K.R.O.; PEREZ, R. Survey of sugarcane industry in Minas Gerais, Brazil: Focus on sustainability. **Biomass and Bioenergy**, v. 58, p. 149-157, 2013

VIEIRA, L. R. *et al.* Energia consumida para o corte de base de cana-de-açúcar. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal (SP)**, v. 10, n. 1, p. 28-33, 2018.

VOLTARELLI, M. A. *et al.* Agronomic capability of mechanized sugarcane planting. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, n.10, p. 1448 – 1460, 2014.