

DESEMPENHO DE OITO MODELOS DE LÂMINAS DE PLATAFORMAS UNIVERSAIS DE COLHEITA DE GRÃOS, NO CORTE DO FEIJOEIRO

HEVANDRO C. DELALIBERA¹, VITÓRIA V. OLIVEIRA²

¹ Pesquisador, Dr.; Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IAPAR-Emater, Área de Engenharia Agrícola e Tecnologias Digitais, Londrina – PR; Fone: (23) 3376 2252; e-mail: hevandro@idr.pr.gov.br

² Graduanda em agronomia; Centro Universitário Filadélfia - UniFil, Londrina – PR

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: O mercado dispõe de diversos modelos de lâminas para barra de corte de plataformas universais para colheita de grãos, entretanto não há disponível informações técnicas suficientes para subsidiar a escolha do melhor modelo para cada aplicação. A fim de atender esta demanda, neste trabalho se estudou o desempenho de oito modelos de lâminas para barra de corte de plataformas universais aplicadas em colheita de grãos, visando avaliar seu desempenho quando no corte de hastes de plantas de feijão. Para este, se utilizou um dispositivo que simula em bancada as condições de operações de uma barra de corte o qual é capaz de mensurar o impulso de cisalhamento dos materiais. Com este se realizou um experimento com delineamento em blocos em esquema de parcela subdividida, sendo seis níveis de umidade na parcela e oito modelos de lâminas na subparcela, com trinta repetições. Obteve-se que as lâminas L3, L5, L1 e L2 não diferiram e apresentaram o melhor desempenho médio para cortar as hastes de plantas de feijão.

PALAVRAS-CHAVE: tensão de cisalhamento, ângulo de ataque, tipo de bisel

PERFORMANCE OF EIGHT BLADES TYPES OF UNIVERSAL GRAIN HARVESTER HEADER IN STEM BEAN PLANT SHEAR

ABSTRACT: The market has several types of cutterbar blades for universal grain harvesting header, however, there is not enough technical information available to support the choice of the best model for each application. In order to meet this demand, this work studied the performance of eight types of cutterbar blades for universal headers applied in grain harvesting, in order to evaluate their performance when cutting stems of bean plants. For this, was used a device that the cutterbar operating conditions simulates in bench, which is capable of measuring the materials shear impulse. With this, an experiment was carried out with a block design in a split-plot scheme, with six moisture levels in the plot and eight blade types in the subplot, with thirty replications. It was found that the L3, L5, L1 and L2 blades did not differ and presented the best average performance to cut the stems of bean plants.

KEYWORDS: shear stress, attack angle, bevel type

INTRODUÇÃO: A otimização ou o desenvolvimento de novos de mecanismos e elementos de máquina em um projeto mecânico são de suma importância para a melhoria da eficiência, funcionalidade, durabilidade e redução de custos de produção e operacionais. Contudo a otimização das atividades mecanizadas não depende tão somente da implementação de eletrônica embarcada e automação dos processos. O aperfeiçoamento do design dos elementos de máquina também é relevante e deve caminhar junto com os demais conceitos. Entretanto, para tal, é necessário conhecer as grandezas das interações entre os elementos ativos da máquina com o material a ser processado, se considerando o *design* do elemento e as características e propriedades do material a ser processado (LINARES *et al.*, 2013 e EMADI *et al.*, 2011). Porém, o avanço da ciência sobre as interações da máquina com a planta, não progrediram igualmente em comparação com outras áreas como, por exemplo, os estudos sobre as interações de elementos de máquina com o solo. Um exemplo de interação máquina-planta são as lâminas para barra de corte de plataformas universais de colheita, no qual o mercado dispõe uma grande diversidade de modelos, com algumas sugestões dos fabricantes sobre sua aplicação, porém, o usuário não dispõe de informações técnicas suficientes para decidir qual a lâmina melhor para a sua demanda de aplicação. Verificando os estudos sobre elementos de corte empregados em equipamentos agrícolas, se observa que estes normalmente são classificados em duas categorias. Uma destas se refere aos dispositivos que promovem o corte por impacto e, a outra se refere aos dispositivos que proporcionam o corte por contra borda ou elementos opostos. Estas categorias apresentam comportamento distinto com relação ao *design* em suas interações com os materiais vegetais (DANGE *et al.*, 2011). A classificação e os parâmetros da ferramenta, como ângulo de ataque, ângulo e tipo de bisel, nitidez da aresta e velocidade de atuação, influenciam diretamente a forma do acabamento do corte, na força e na energia específica de corte para elementos de corte por contra borda. A determinação destes parâmetros em diferentes materiais vegetais, ajuda a compreender o evento e projetar dispositivos mais eficientes para esta finalidade (SINGH *et al.*, 2016). Na agricultura, nos processos relacionados a colheita, o tipo mais usado de corte é o cisalhamento por meio de elementos opostos, que se encontram passando um pelo outro com pouca folga, como pode-se observar nas barras de corte de plataformas universais aplicadas em colheita de grãos (HOSEINZADEH *et al.*, 2009). Como os componentes da barra de corte raramente são balanceados e afiados, são considerados umas das principais fontes consumo de energia e causas de danos frequentes nas máquinas (DONGDONG & JUN, 2016; HOSEINZADEH *et al.*, 2009). Devido esta carência de conteúdo e considerando a hipótese de haver diferença de desempenho entre os modelos distintos de lâminas, neste trabalho se realizou avaliações de desempenho para lâminas comerciais, através de testes de cisalhamento de hastes da cultura do feijoeiro, com o intuito de gerar informações para auxiliar a indústria no desenvolvimento e produção de produtos melhores e subsidiar a escolha de lâminas por parte dos usuários.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Agrícola e Tecnologias Digitais do IDR-Paraná em Londrina-PR. Para este se utilizou o Módulo de Cisalhamento de Plantas (MCP), conforme a Figura 1, que é um dispositivo que foi desenvolvido e calibrado através dos modelos teórico e experimental propostos por PCB Piezotronics (2016) e Kobusch *et al.* (2015), conforme realizado por Delalibera *et al.* (2020). Através do MCP é possível mensurar o impulso de cisalhamento demandado por lâminas de acordo com o material cortado e, os experimentos para estimativa do desempenho de lâminas foram realizados conforme metodologia experimental proposta por Delalibera & Martinez (2021). Como parâmetros de regulação de operação do MCP, este teve seu ciclo de atuação ajustado para 600 rpm (10Hz), visto ser a velocidade média de operação de barras de corte utilizada pela maior parte das plataformas universais, resultando em $0,26 \text{ m s}^{-1}$ de velocidade de avanço da lâmina (1.200 oscilações por minuto). Se utilizou distância/folga de

aproximadamente 0,3 mm entre a passagem de lâmina e contra facas, aferida através de lâmina de calibração desta medida, ressaltando que esta folga esta contemplada no intervalo recomendado pelos fabricantes. Foi utilizado no MCP um *datalogger* modelo NI cDAQ-9137 do fabricante *National Instruments*, acoplado a dois condicionadores de sinal sendo um para sinais analógicos, modelo NI 9218 e, um para sinais digitais, modelo NI 9401. A aquisição de dados do transdutor de força (HBM U93 1kN) foi configurada para ser realizada com taxa de 51,2 kHz, acionado pelo movimento mecânico do MCP, através de chaveamento do tipo trigger através de um sensor ótico do tipo barreira de luz infravermelha acoplado no condicionador de sinais digitais.

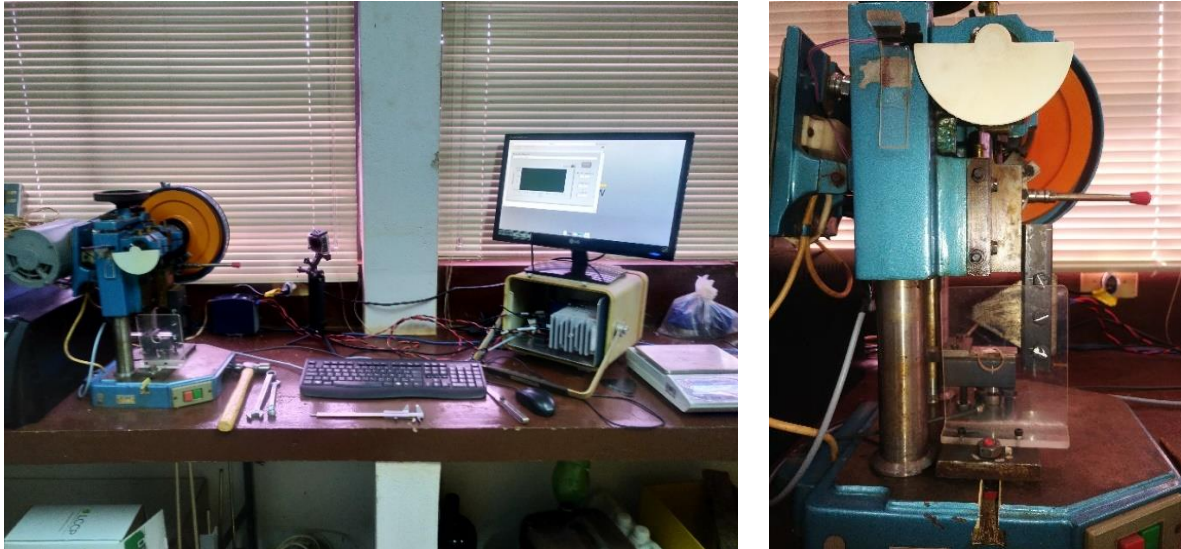


FIGURA 1. Módulo de cisalhamento de plantas (MCP)

Com o MCP se mensurou a curva de impulso de cisalhamento demandado por hastes de plantas do feijoeiro para oito modelos de lâminas comerciais destinadas a aplicação em barra de corte de plataformas universais de corte e recolhimento de colhedoras combinadas de grãos, conforme o exemplo apresentado na Figura 2. Desta curva de impulso de cisalhamento se coletou o valor de pico do impulso (Figura 2 B), o qual foi utilizado para a estimativa da tensão de cisalhamento exigida no ponto de ruptura do material.

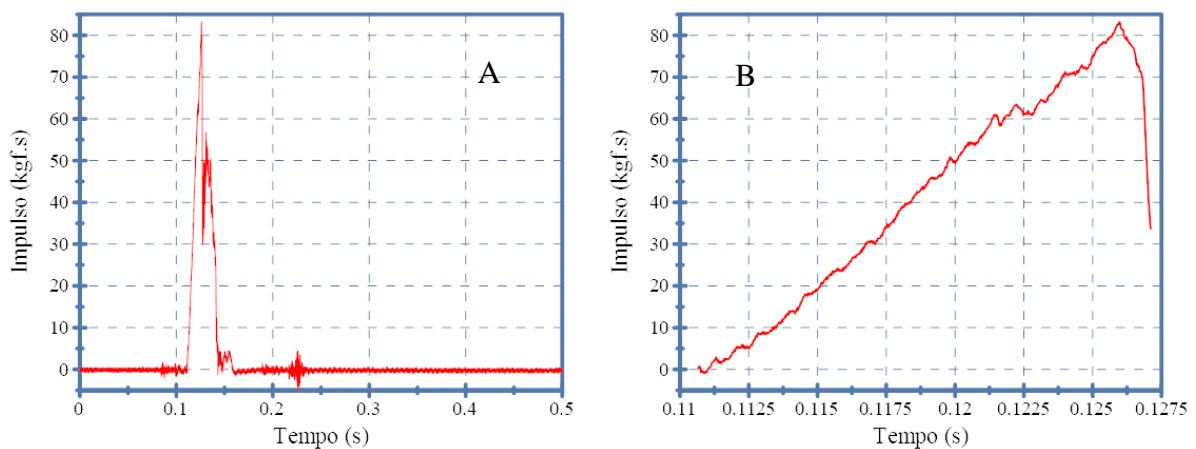


FIGURA 2. Representação gráfica da resposta do impulso de cisalhamento da haste do feijoeiro, onde: A - corresponde a amostra completa (25.000 leituras); B – corresponde ao comportamento da deformação elástica da haste da planta até o ponto de ruptura (pico).









As lâminas avaliadas se distinguem pelo seu *designer* de ângulo de ataque (Figura 3) e número de dentes por polegada de bisel, conforme descrito na Tabela 1.



FIGURA 3. Representação da medida do ângulo de ataque das lâminas

Para a realização dos testes de desempenho das lâminas, foram coletadas a campo plantas da cultura do feijoeiro, da cultivar IPR Sabiá, cultivadas na safra 2020/21. As plantas foram coletadas após o estágio de maturação fisiológica dos grãos, em seis condições distintas de maturação da haste das plantas, ou seja, com distintos conteúdo de água na haste da planta, compreendendo desde plantas com hastes verdes até plantas com haste seca, distinguidas de forma visual no campo. Este procedimento foi realizado visto que essas variações ocorrem no campo simultaneamente durante a colheita e que, segundo Hoseinzadeh *et al.* (2009) e Sing *et al.* (2016) o teor de umidade na planta afeta diretamente a demanda de energia para realizar o seu corte e, portanto, deve ser fator controlado durante um experimento.

TABELA 1: Descrição das lâminas utilizadas no experimento.

<p>Lâmina 1</p> 	<p>Lâmina 2</p> 	<p>Lâmina 3</p> 	<p>Lâmina 4</p> 
<p>Âng. de Ataque - 60° Dentes/polegada - 14</p>	<p>55° 10</p>	<p>55° 13</p>	<p>62° 9</p>
<p>Lâmina 5</p> 	<p>Lâmina 6</p> 	<p>Lâmina 7</p> 	<p>Lâmina 8</p> 
<p>Âng. de Ataque - 62° Dentes/polegada - 14</p>	<p>74° 8</p>	<p>70° 8</p>	<p>70° 14</p>

A umidade das plantas foi determinada em laboratório, mensurada através de amostras das hastes coletadas logo em seguida a avaliação do corte, acomodadas em recipientes de alumínio e determinadas pelo método da estufa com circulação forçada de ar a 105 °C por 24 horas, conforme Rodrigues (2010). Previamente a realização da mensuração do cisalhamento da haste da planta, se demarcou uma posição na haste, em distância que corresponde aproximadamente 10 mm de altura da superfície do solo. Esta posição teve seu diâmetro mensurado em duas posições defasadas em 90°, visando estimar a área da secção, antes da realização do corte no MCP. Posteriormente, essa estimativa da área da secção (mm²) e do valor obtido pela mensuração do pico de impulso de cisalhamento (kgf s), foram utilizadas para realizar a estimativa da demanda de tensão de cisalhamento (MPa) para promover o rompimento da haste, conforme a Equação 1.

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Em que,

σ = Tensão de cisalhamento em Pascal

F = Força em Newton

A = Área da secção em mm²

Os dados foram preliminarmente analisados nos *softwares* NI DIAdem 2017, onde foram construídas as curvas de cisalhamento e extraídos os picos de impulso de corte apresentadas na Figura 2, para cada amostra. As análises estatísticas foram processadas nos programas computacionais Microsoft Excel 2018, onde foi realizada a análise preliminar de *Jackknife* (WU *et al.*, 1986), visando a exclusão de amostras não pertencentes a população testada e amostras discrepantes com referência no intervalo bilateral com valor crítico de score-z de $\pm 1,96$. No Bioestat 5.0 foram executadas as avaliações de normalidade, pelo teste de Lilliefors e, no SISVAR 5.6, foi realizada a análise de variância. O delineamento experimental aplicado foi em esquema de blocos em arranjo de parcela subdividida, nos moldes de um experimento em faixa, estando na parcela as seis umidades e na subparcela as oito lâminas, as quais foram avaliadas com 30 repetições cada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Se obteve para os seis pontos de maturação das hastes das plantas de feijão, as umidades em base úmida de 36,9, 35,3, 30,9, 25,0, 8,8, 3,2% que refletem visualmente desde haste verde até haste seca (cor de palha) respectivamente, ressaltando que no campo, estas condições ocorrem simultaneamente durante a colheita. A análise de variância demonstrou que há interação entre *design* de lâminas (ângulo de ataque e número de dentes por polegada do bisel) com o conteúdo de água na haste da planta de feijão, como o representado na Figura 4. Obteve-se que a umidade exerceu efeito inversamente proporcional sobre a demanda de tensão de cisalhamento para o corte das hastes de feijoeiro, de forma linear para algumas lâminas e quadrática para outras, conforme a significância dos modelos testados obtida pelo desdobramento em regressão da umidade dentro de cada lâmina na ANOVA. O comportamento obtido para a tensão de cisalhamento em relação a umidade para as hastes de feijão, com a lâmina atuando na velocidade aplicada nas barras de corte, corroboram com os resultados apresentados por Prasad & Gupta (1975), para o corte por impacto (lâmina sem contra faca) de colmos de milho, ou seja, a umidade e a tensão cisalhante apresentaram relação inversa. De forma oposta Hoseinzadeh *et al.* (2009) avaliando trigo, obtiveram relação diretamente proporcional, com relação a demanda de energia para cortar os colmos das plantas por faca com contra faca, contudo, os autores utilizaram velocidades de deslocamento da lâmina

que variaram de 4,6 a 9,2 vezes maior do que o utilizado neste experimento, visto que o dispositivo utilizado para movimentar a lâmina foi do tipo pêndulo acelerado pela gravidade. Entretanto a comparação anterior se torna complicada visto a cinemática dos dispositivos serem distintas, ainda visto que o movimento do dispositivo aplicado no presente experimento ser realizado por um dispositivo mecânico atuado por motor e massa inercial. Neste, o movimento senoidal da oscilação da lâmina não sofre interferências de fatores como gravidade e desaceleração proporcionada pelo corpo amostral. No entanto Bianchini & Magalhães (2004), encontraram a mesma tendência do apresentado por Hoseinzadeh *et al.* (2009) durante avaliações de corte de palha de cana de açúcar (folhas), através de um dispositivo e velocidade de avanço da lâmina, similares ao aplicado neste trabalho. Galedar *et al.* (2008) avaliando as tensões de cisalhamento para hastes de Alfafa também obtiveram relação direta com o conteúdo de água nas hastes.

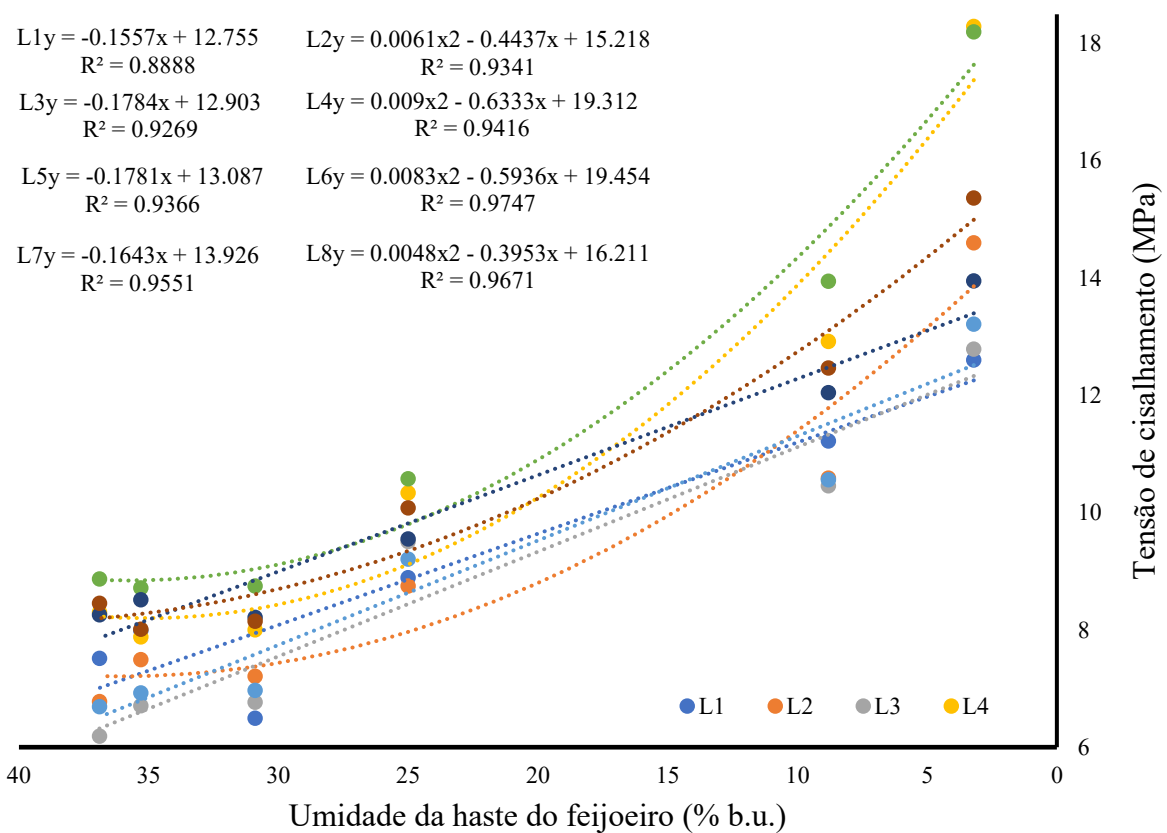


FIGURA 4. Desdobramento em regressão da interação entre os níveis de umidade dentro das Lâminas L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 e L8.

Com estes se entende que as partes das plantas respondem de forma distinta a demanda de tensão e energia de cisalhamento, onde folhas tendem a apresentar relação proporcional entre conteúdo de água e tensão de cisalhamento e o caule e colmo tendem a responder de forma inversa, visto a diferença nas características físicas destas partes das plantas bem como suas propriedades mecânicas. Portanto se deve levar em consideração, no momento do desenvolvimento de uma lâmina, qual parte da planta esta irá processar e, ainda, o estágio de desenvolvimento da cultura, visto o último alterar questões relacionadas ao teor e tipo de fibras (celulose/lignina) existentes na parte de interesse da planta e também exercer efeito no conteúdo de água e onde a água está alocada dentro do órgão da planta. Na Figura 4 também é possível observar que com a redução da umidade na haste do feijoeiro há um maior distanciamento entre

a demanda de tensão de cisalhamento pelas lâminas, se destacando as lâminas L4 e L6, as quais ultrapassaram 18 MPa de tensão para a umidade de 3,2% (b.u.). Estes resultados corroboram com os obtidos por Bianchini & Magalhães (2004), no qual obtiveram que, para umidades maiores que 28% em base seca, as diferenças de tensão demandadas para o corte da palha de cana de açúcar passaram a não apresentar significância estatística. A Tabela 2, apresenta a informação de resumida (condensando as umidades para cada lâmina), visando a aplicação desta informação de forma prática ou de recomendação da ou das lâminas que apresentaram o melhor desempenho para a colheita do feijoeiro. Nesta, a análise de variância mostrou que as lâminas L3, L5, L1 e L2 não diferem entre si pelo teste de Tukey $p < 0,05$ e apresentam estatisticamente a menor demanda média de tensão de cisalhamento e, portanto, apresentam o melhor desempenho. Em contraste com esse cenário está L6, a qual apresentou a maior demanda média de tensão de cisalhamento para cortar a haste do feijoeiro, ou seja, apresentou o menor desempenho dentre as lâminas avaliadas, visto demandar mais força específica e conseqüentemente mais energia para executar a tarefa. Este enfoque analítico foi considerado pois, conforme comentado anteriormente, todas as condições de maturação da haste das plantas, estimada via umidade em base úmida, tendem a se apresentar simultaneamente no campo durante a colheita para esta cultivar de feijoeiro, ou seja, todas as umidades estarão interagindo ao mesmo tempo durante a colheita.

TABELA 2. Médias dos picos de tensão de cisalhamento demandados para o corte das hastes de feijoeiro para cada lâmina.

Lâmina	Ângulo de Ataque	Dentes por polegada	Tensão de cisalhamento (MPa)
3	55	13	8.7 a
5	62	14	8.9 a
1	60	14	9.1 a
2	55	10	9.2 a
7	70	8	10.2 b
8	70	14	10.4 b
4	62	9	10.7 b
6	74	8	11.4 c

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Conforme apresentado na Tabela 1, os valores médios (médias das tensões cisalhantes das seis umidades dentro da lâmina) de tensão de cisalhamento obtidos para as lâminas ficaram compreendidas em intervalo próximo ao obtido por Bianchini & Magalhães (2004), os quais observaram demandas de 7,7 a 10,6 MPa para o corte da palha de cana de açúcar. Entretanto Galedar *et al.* (2008) encontraram tensões de cisalhamento demandadas para o corte da alfafa que variaram de 5,98 a 28,16 MPa, considerados muito superior as médias de tensão cisalhante observadas neste experimento para a L4 e L6 (18,3 e 18,2 MPa) quando as hastes na umidade de 3,2%. Avaliando o contexto do resultado dos experimentos, se pode afirmar que as lâminas com ângulo de ataque menor apresentam desempenho melhor, pois exigiram menor demanda de tensão de cisalhamento para executar o corte das plantas do feijoeiro. Quanto a relação do número de dentes por polegada em relação ao ângulo de ataque, ainda não há elementos experimentais suficientes para realizar inferências quanto suas interações, entretanto se observou que, as lâminas com maior número de dentes por polegada de bisel ficaram nas posições de menor demanda de tensão de cisalhamento. Quanto as estimativas do módulo de cisalhamento, ou módulo elástico das hastes das plantas durante o corte, não se trabalhou esta grandeza, pois, não se visualizou aplicação prática desta estimativa em um possível desenvolvimento futuro de lâmina. Também, como os restos da planta somente são aplicados como cobertura do solo, ou seja, não há a aplicação destas hastes em projetos de elementos estruturais, o conhecimento desta propriedade mecânica para esta planta não é relevante.

CONCLUSÕES: A demanda de tensão de cisalhamento para o corte da haste do feijoeiro foi inversamente proporcional a sua umidade, ou seja, quanto maior a umidade da haste, menor foi a demanda de tensão de cisalhamento. As lâminas L3, L5, L1 e L2 não diferiram e apresentaram o melhor desempenho. As lâminas com ângulo de ataque menor tendem a apresentar menor demanda de tensão de cisalhamento durante o corte das hastes de plantas do feijoeiro.

AGRADECIMENTOS: A colaboração dos técnicos do IDR-Paraná, José Arnaldo Granato e Claudemir Jorge Lemes, ao CNPq pela concessão da bolsa de PIBIT e a Industria Venturoso, Valentini & CIA LTDA (VV) pelo apoio econômico e financeiro ao desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS:

BIANCHINI, A.; MAGALHÃES, P.S.G. Comportamento da palha de cana-de-açúcar submetida ao corte por meio de ensaios de bancada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, p.304-310, 2004.

DELALIBERA, H.C. MARTINEZ, E.F. Desempenho de três modelos distintos de lâminas de barra de corte no cisalhamento de plantas de soja. In: **Anais...** Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2021. CONBEA 2021, 2021.

DELALIBERA, H.C.; ANTUNES, P.S.; MOREIRA, L.R.D. Aferição dinâmica de dispositivo com vistas à mensuração do desempenho de Lâminas no cisalhamento de plantas. In: **Anais...** XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 2020. CONBEA 2020, 2020.

DONGDONG, D.; JUN, W. Research on mechanics properties of crop stalks: A review. **Int J Agric & Biol Eng**. v.9, n.6, nov. 2016.

EMADI, B.; KHODABAKHSHIAN, R.; FARD, M.H.A.; SADRNIA, H. Experimental comparison of applying different theories in elasticity for determination of the elasticity modulus of agricultural produce, Pumpkin seed as a case study. **Journal of Agricultural Technology**. v.7, p.1495-1508, 2011.

GALEDAR, M.N.; ET AL. Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. **Biosystems Engineering**, p.199-208, 2008.

HOSEINZADEH, B.; ESEHAGHBEYGI, A.; RAGHAMI, N. Effect of moisture content, bevel angle and cutting speed on shearing energy of three wheat varieties. **World Applied Sciences**. v.7, p.1120-1123, 2009.

KOBUSCH, M.; EICHSTÄDT, S.; KLAUS, L.; BRUNS, T. Investigations for the model-based dynamic calibration of force transducers by using shock excitation. **ACTA IMEKO**. v. 4, n.2, p.45-51, Jun. 2015.

LINARES, J.A.; CASTILLO, B.; LONDONO, M.T. Characterization of the mechanical properties of the sweet passion fruit (*Passiflora ligularis* Juss.). **Agronomía Colombiana** v. 31, n.2, p. 208-214, 2013.

PRASAD, J.; GUPTA, C.P. Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting. **Journal Agriculture Engineering Research**, London, v.20, p.79-87, 1975.

PCB PIEZOTRONICS. **Impact and drop testing: with ICP® force sensors**. 2016.

RODRIGUES, R.C. **Métodos de análises bromatológicas de alimentos: métodos físicos, químicos e bromatológicos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Química analítica - Análise química – Manual de laboratório. Documentos 306, p.177, 2010.

SINGH, V.; DAS, M.; DAS, S.K. Effects of knife edge angle and speed on peak force and specific energy when cutting vegetables of diverse texture. **International Journal of Food Studies IJFS**. v.5, p.22-38, Abr. 2016.

WU, C. J. et al. Jackknife, bootstrap and other resampling methods in regression analysis. **The Annals of Statistics**, v.14, n.4, p.1261-1295, 1986.