

A QUANTIDADE DE PALHIÇO PODE ATENUAR OS DANOS CAUSADOS PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR?

ALDIR CARPES MARQUES FILHO¹, MICHEL DOS SANTOS MOURA², MURILO BATISTUZZI MARTINS³, SIMONE DANIELA SARTORIO DE MEDEIROS⁴, KLEBER PEREIRA LANÇAS⁵

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, FCA/UNESP, Botucatu/SP, (14) 38807119, aldir.marques@unesp.br

² Doutorando em Energia na Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu/SP, (14) 38807119, michel.moura@unesp.br

³ Prof. Dr., Departamento de Agronomia, UEMS, Cassilândia/MS, (67) 35967619, murilo.martins@uems.br

⁴ Prof. Dr., Departamento de informática e estatística, INE/UFSC, Florianópolis, (48) 37219498, sisartorio@gmail.com

⁵ Prof. Dr., Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Botucatu/SP, (14) 38807119, kp.lancas@unesp.br

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras, entretanto a compactação de solo é um problema evidente em muitas unidades produtivas. A cobertura do solo possui interferência direta nos processos de compactação. Porém, a quantidade a ser mantida no campo permanece sendo uma incógnita de difícil descoberta. O objetivo deste estudo foi avaliar a interação rodado-solo e a resistência à penetração proporcionados por um pneu agrícola radial 600/50R22.5, sob três quantidades diferentes de palhiço em superfície: 0, 15 e 30 Mg ha⁻¹. Os ensaios foram realizados no Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA-UNESP/Botucatu-SP). Utilizou-se a Unidade Fixa de Ensaio de Pneus (UFEP), aplicando-se carga constante e controlada ao pneu sobre solo padronizado com diferentes quantidades de palhiço na superfície. As variáveis resposta analisadas foram a área de contato do recalque e a Resistência à Penetração do Solo (RPS). Os resultados evidenciaram que a presença de palhiço sobre o solo ameniza o impacto dos rodados em subsuperfície, diminui a RPS ($r^2=0,97$) e aumenta linearmente ($r^2=0,98$) a área de interação rodado-solo. A quantidade de 15 Mg ha⁻¹ mostrou-se adequada para a manutenção da qualidade física do solo.

PALAVRAS-CHAVE: compactação, índice de cone, biomassa

CAN AMOUNT OF STRAW MITIGATE DAMAGE CAUSED BY TRAFFIC OF MACHINERY IN SUGARCANE CROP?

ABSTRACT: Sugarcane is one of the main agricultural crops in Brazil, however soil compaction is an evident problem in many production units. The ground cover has a direct interference in the compaction processes. However, the amount to be kept in the field remains a difficult to discover unknown. The aim of this study was to evaluate the tread-soil interaction and penetration resistance provided by a 600/50R22.5 radial agricultural tire, under three different amounts of straw on the surface: 0, 15 and 30 Mg ha⁻¹. The tests were carried out at the Center for Testing of Agroforestry Machines and Tires (NEMPA-UNESP/Botucatu-SP). The Fixed Tire Testing Unit (FTTU) was used, applying a constant

and controlled load to the tire on standardized soil with different amounts of straw on the surface. The response variables analyzed were settlement and Soil Penetration Resistance (SPR). The results showed that the presence of straw on the ground reduces the impact of wheelsets on the subsurface, decreases the SPR ($r^2=0.97$) and linearly increases ($r^2=0.98$) the area of wheelhouse-soil interaction. The amount of 15 Mg ha⁻¹ was adequate to maintain the physical quality of the soil.

KEYWORDS: compaction, cone index, biomass

INTRODUÇÃO: A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é a segunda maior cultura agrícola brasileira em termos de volume econômico de produção, ficando atrás somente da cultura da soja. A cana-de-açúcar apresenta grande potencial para o setor agroindustrial de biocombustíveis e energia, com ênfase para a produção de Etanol, açúcar e seus subprodutos (CONAB, 2020). A compactação do solo é um problema que afeta a produtividade e a longevidade dos canaviais brasileiros, já que esta cultura demanda alta intensidade de intervenção de sistemas mecanizados. A cobertura do solo possui interferência direta nos processos de compactação e na dinâmica biológica do solo (CONCENÇO, LEME FILHO e SILVA, 2017). De acordo com Awe, Reichert e Fontanella (2020), a cada ciclo de colheita da cana, são deixados no campo grandes quantidades de palhicho. O recolhimento do palhicho da lavoura é uma alternativa aplicada em algumas unidades produtivas, onde é aproveitado para obtenção de etanol de segunda geração ou mesmo para geração de energia em queima direta, entretanto, essas operações são de alto custo (RASCHE e DEL DIEGO, 2019) e, se não manejadas adequadamente podem empobrecer o solo. Para Silva et al. (2016) a presença de cobertura vegetal reduz o impacto das máquinas ao solo. Beauclair, Tezotto e Manocchio Jr. (2015), afirmaram que é preciso quantificar o volume ideal de palhicho a ser mantido na lavoura, para que esta tenha suas características preservadas. Com base no exposto acima e, considerando a hipótese de que a presença do palhicho em superfície pode atenuar o estresse causado pelos rodados à estrutura do solo, esta pesquisa objetivou investigar a influência da cobertura vegetal na atenuação do impacto causado pelos rodados em condições controladas de ensaio, especificamente avaliando a interação rodado-solo e a resistência à penetração proporcionados por um pneu agrícola de construção radial (600/50R-22.5), sob três quantidades de palhicho em superfície: 0, 15 e 30 Mg ha⁻¹ respectivamente.

MATERIAL E MÉTODOS: A pesquisa foi realizada no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA), pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da UNESP/Botucatu-SP. Para a realização dos ensaios, foi utilizada a Unidade Fixa de Ensaio de Pneus (UFEP) em ensaios de Superfície Deformável (ESD). A UFEP foi construída e atualizada por pesquisadores do NEMPA (SANTOS e LANÇAS, 1999; MAZETTO et al. 2004; MONTEIRO et al. 2010), permitindo a simulação de interações entre os rodados pneumáticos e as diferentes superfícies padronizadas em condições de laboratório. Na UFEP são fixados os rodados de interesse em um eixo central, onde são aplicadas cargas controladas ao rodado sobre os tanques amostrais de solo. As cargas são impostas ao rodado-superfície através de um sistema eletro-hidráulico, controlado por dispositivos de manobra, motor elétrico, bomba hidráulica e pistão atuando sobre o eixo do rodado. Para os ESD foi utilizado um pneu agrícola de construção radial em função de três quantidades de palhicho na superfície: 0, 15 e 30 Mg ha⁻¹ sobre uma amostra confinada de solo em tanque, em três repetições (Figura 1). As quantidades de palhicho representam as situações reais de recolhimento total do material (0 Mg ha⁻¹), recolhimento parcial, normalmente de 50% do palhicho (15 Mg ha⁻¹) e manutenção integral em 100% do palhicho sobre o solo (30 Mg ha⁻¹). O modelo de pneu

utilizado foi o 600/50R22.5, com largura de 616 mm, diâmetro de 1181 mm e índice de carga/velocidade 165/A8, sob pressão de inflação de 283 kPa. A cobertura vegetal utilizada correspondeu ao palhicho de cana-de-açúcar retirado de um canavial comercial, com produtividade média de 100 Mg ha^{-1} , em segundo corte da variedade SP80-1816. Para a coleta do palhicho foram demarcadas áreas de 1m^2 com a utilização de trena e barbante. As extremidades da área demarcada foram cortadas com o auxílio de um facão e foram pesadas as amostras em balança analítica para determinação da cobertura total em Mg ha^{-1} . O teor de água do palhicho foi determinado pelo método da estufa, onde 10 amostras foram secas à 65°C pelo período de 48 horas, apresentando teor médio de água de 50%.



FIGURA 1. Unidade Fixa de Ensaio de Pneu UFEP; a.) Ensaio de interação rodado-solo em superfície com 15 Mg ha^{-1} de palhicho em cobertura; b.) amostra de solo com 15 Mg ha^{-1} de palhicho antes da aplicação da carga de $50,52\text{kN}$; c.), d.) e e.) apresentam a superfície do tanque após aplicação de carga de $50,52\text{kN}$ com 0, 15 e 30 Mg ha^{-1} de palhicho em cobertura, respectivamente.

A montagem dos tanques seguiu a padronização da quantidade de amostra de solo, disposta em cinco camadas, com teor de água e densidade previamente homogeneizados em $20 \pm 1\%$. Posteriormente, o solo foi submetido à peneira Mesh nº30 com duas malhas, totalizando $0,2 \text{ Mg}$ de amostra de solo por camada, totalizando cinco camadas com a densidade controlada entre $1,59 \pm 0,2 \text{ g cm}^{-3}$. Para os trabalhos escolheu-se um solo representativo no cenário produtivo da cana-de-açúcar, característico da maioria das regiões produtivas, sendo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo de acordo com Santos et al. (2018). O tanque amostral de solo apresentava as seguintes dimensões: $1,03 \text{ m}$ de largura, $1,30 \text{ m}$ de comprimento e $0,60 \text{ m}$ de altura. A deposição da cobertura vegetal sobre o solo nas quantidades de 15 Mg ha^{-1} e 30 Mg ha^{-1} foram realizadas após a montagem e preenchimento padronizado do tanque com a amostra de Latossolo Vermelho Amarelo (Figura 2). Na etapa seguinte à montagem dos tanques e inserção da cobertura vegetal, o sistema hidráulico da UFEP foi acionado para realizar descida do pneu com velocidade constante, aplicando-se uma carga crescente e controlada, até atingir $50,52 \text{ kN}$, permanecendo neste valor por 10 segundos e, posteriormente, retornando à posição inicial. Em sequência, a cobertura vegetal foi

removida de forma manual com o auxílio de uma escova macia, de forma a retirar a fração remanescente de palhicho sobre a superfície. Após a limpeza da superfície do tanque, procedeu-se a realização das avaliações da área de contato via escaneamento digital e resistência à penetração do solo em diferentes pontos do recalque. As variáveis respostas obtidas através de escaneamento digital e penetrômetro eletromecânico da UFEP foram: a área total do recalque causado pelo rodado (cm^2) e a Resistência à Penetração média do Solo (RPS) em cada condição superficial (MPa). Para a obtenção da área total de recalque foi utilizado sistema de scanner laser da UFEP sobre a superfície do tanque, posteriormente os dados foram transferidos ao software *Golden Surfer* v.18, onde à partir dos dados do scanner foram gerados os mapas de isolinhas em cada tanque amostral. A resistência à penetração do solo confinado em tanque foi obtida através de um penetrômetro eletromecânico digital desenvolvido em sistema *Labview* 2016 (*National Instruments Co.*). Os pontos de resistência à penetração do solo foram obtidos em cinco locais internos ao recalque, calculada a média dos pontos em todas as profundidades para a aplicação do teste de médias.



FIGURA 2. Tanques de solo padronizados montados na UFEP; a) amostra de solo descoberto 0 Mg ha^{-1} ; b) amostra de solo com 15 Mg ha^{-1} de palhicho; c) amostra com 30 Mg ha^{-1} de palhicho na superfície.

Foi utilizado o modelo experimental inteiramente casualizado DIC para os 3 tratamentos (superfícies) com 3 repetições. Analisou-se a correlação linear de Pearson para os dados de área do recalque em função das diferentes quantidades de palhicho, bem como para a RPS. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk; homogeneidade de variância de Bartlett e Levene's; análise de variância e, quando necessário ao teste de Tukey à 5% de probabilidade. Todas as análises aplicadas foram desenvolvidas no sistema estatístico *R software*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados de recalque obtidos estão descritos na Figura 3, onde foram dispostas sequencialmente as imagens do escaneamento digital da superfície dos tanques com diferentes quantidades de palhicho em cobertura. Na figura 3.a a superfície do solo apresenta a evidência das marcas impostas pelas garras do pneu em profundidades maiores de recalque. Quando comparamos a Figura 3.a com as Figuras 3.b e 3.c, verifica-se que, em função do aumento da quantidade de palhicho, ocorre uma ampliação da área total de contato e uma evidente redução na profundidade do recalque, fato que indica a maior distribuição da carga em superfície com a possível redução da distribuição de cargas no subsolo, fato que necessita de comprovação posterior através da avaliação da resistência à penetração do solo (RPS). Beauclair, Tezotto e Manocchio Jr. (2015) afirmaram que, empiricamente têm-se adotado a manutenção de pelo menos 50% da biomassa residual sobre o solo, com vistas à manutenção de suas qualidades estrutural, física e biológica, resultados que corroboram com os obtidos por este estudo. Melo et al. (2020) inferiram que a manutenção de $8,5$ a 13 Mg ha^{-1} de palhicho sobre o solo, propicia maior desenvolvimento

radicular e produção total de colmos. A maior área de contato total proporcionada pela presença do palhicho em superfície evidencia-se a partir do tratamento com 15 Mg ha⁻¹, indicando que, o recolhimento parcial de 50% do palhicho da superfície do solo ou a manutenção de 100% do material na lavoura (30 Mg ha⁻¹) apresentam características semelhantes em relação à deformação superficial do solo.

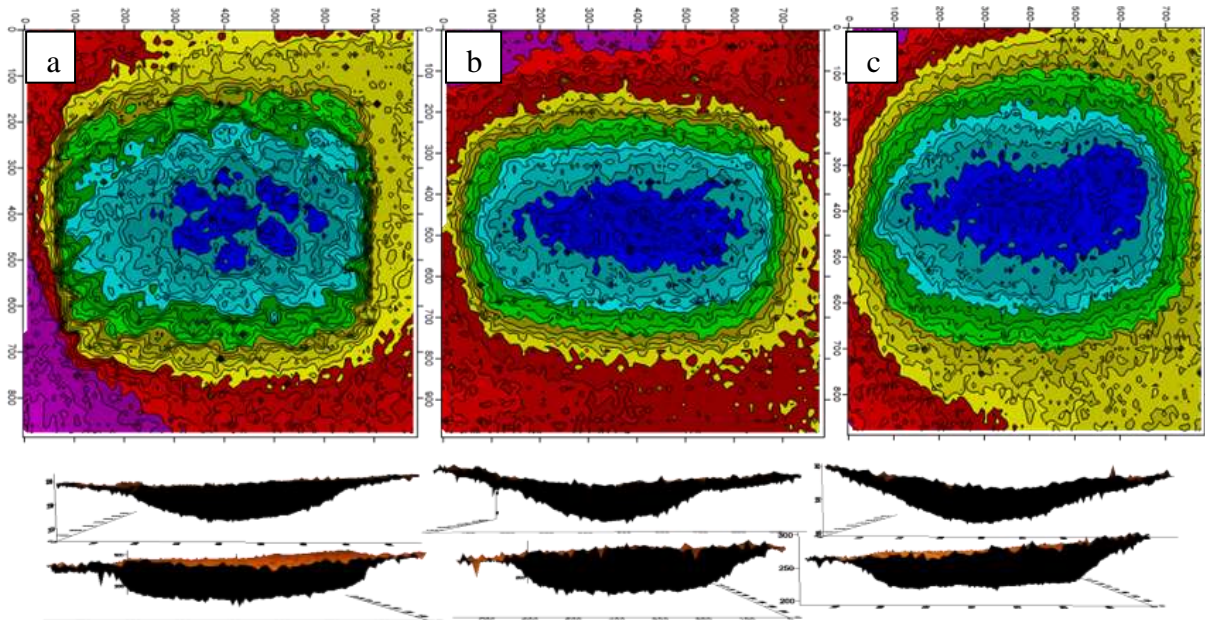
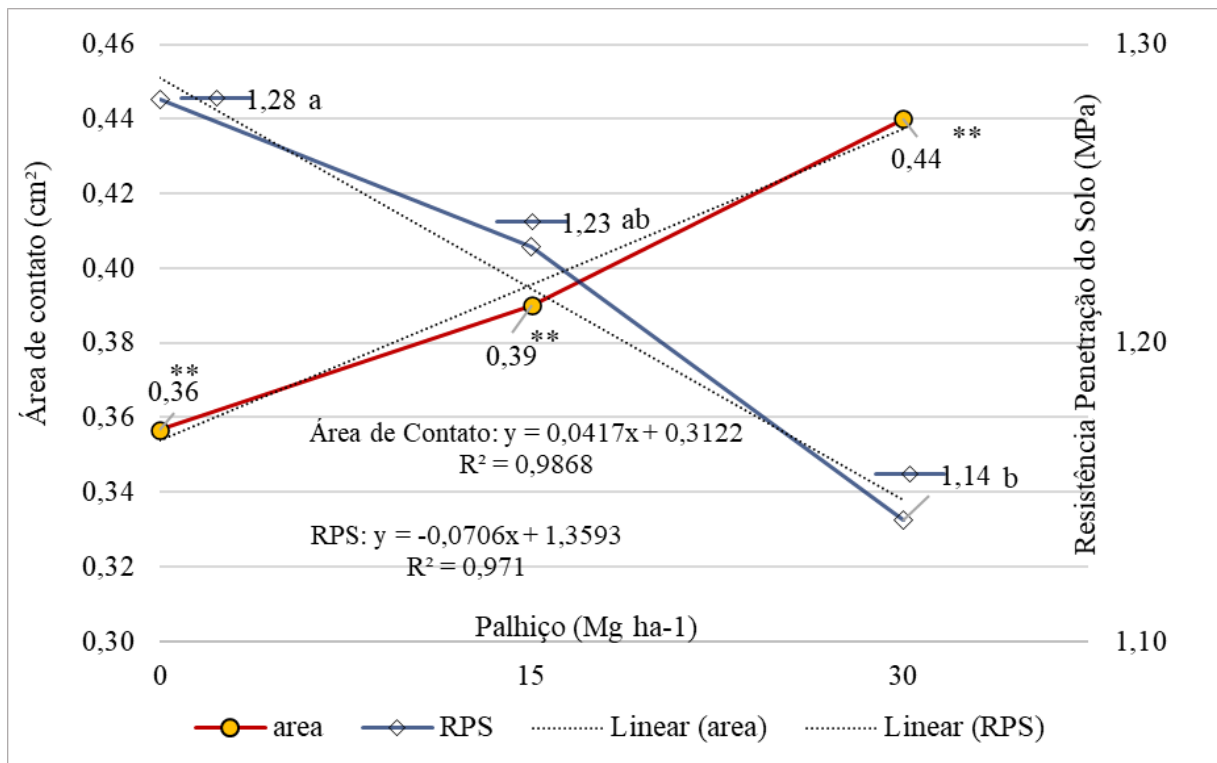


FIGURA 3. Recalque proporcionado pelo pneu 600/50R22.5 em tanque sem cobertura vegetal (3.a); com cobertura vegetal equivalente a 15Mg ha⁻¹ (3.b) e com cobertura de 30 Mg ha⁻¹ (3.c).

Na Figura 4, verifica-se o comportamento decrescente da RPS em função da quantidade de material vegetal no solo. Os resultados desta pesquisa colaboram com Castioni et al. (2019), onde verificou-se a redução nos impactos do tráfego de máquinas em função da quantidade de palhicho no solo. A cobertura vegetal permite o aumento da área de contato pneu solo pelo efeito de distribuição de cargas que o palhicho proporciona, no campo os produtores chamam esse fenômeno de “efeito colchão da palha”. Rasche e Del Diego (2019), afirmaram que a taxa de recuperação do palhicho deve ficar entre 40 e 60% da matéria prima total, entretanto, é fator determinante para a retirada, o tipo de solo e as características de manejo. O aumento da área de contato total entre pneu e solo, permite com que menores pressões sejam aplicadas em cada ponto do subsolo, atenuando o estado de compactação deste. De acordo com Oliveira Filho et al. (2016), a compactação de solo é um dos principais fatores limitantes ao crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, pois limita o crescimento radicular e reduz a absorção de nutrientes e água pela planta. Sob esta óptica, a presença do palhicho no solo incrementa a absorção de nutrientes e contribui para a manutenção da qualidade estrutural do solo, pois reduz a tensão aplicada pelos rodados. Em solos com alta tensão aplicada, a porosidade é severamente reduzida (Yang et al., 2020). Sá et al. (2016) em trabalho avaliando a compactação do solo, com e sem escarificação na cultura da cana-de-açúcar, não encontraram diferença estatística da resistência à penetração em Latossolo vermelho argiloso, porém, afirmaram que 3,8 MPa de resistência à penetração mostrou-se limitante ao crescimento radicular da cana-de-açúcar. No presente trabalho as resistências à penetração

encontradas não atingiram valores limitantes ao crescimento radicular da cana-de-açúcar, entretanto, o teor de água médio de 21% e a textura franco-arenosa do solo estudado, contribuíram para as baixas resistências à penetração encontradas.



*médias com letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

**NS-Não encontrada diferença estatística ($p < 0,05$)

FIGURA 4. Correlação de Pearson e comportamento das variáveis área de contato total (cm²) e RPS (MPa) em função das quantidades de 0; 15 e 30 Mg ha⁻¹ de palhicho em cobertura.

Estudos realizados por Dzoma et al. (2019), avaliando diferentes formas de descompactação em solos arenosos, concluíram que solos com resistência à penetração acima de 2,5 MPa, passam a ser impeditivos ao desenvolvimento radicular do trigo, da cevada e da ervilha. Os resultados desta pesquisa evidenciam que a manutenção de 50% da biomassa na lavoura é suficiente para proteger o solo do impacto causado pelo rodado. Esta informação é interessante do ponto de vista do manejo do solo e planejamento do processo de recolhimento. Gomes et al. (2016) inferiram que o custo de recolhimento reduz em função do aumento da quantidade de material recolhido, portanto, a decisão sobre o manejo deve ser integrada a outros processos e balizados por questões de conservação de solo, manutenção da produtividade e viabilidade econômica da operação. Castioni et al. (2019), em pesquisa sobre a compactação do solo em função da cobertura vegetal com palhicho de cana-de-açúcar, observaram que a manutenção da cobertura do solo interferiu positivamente na redução da compactação causada pelas máquinas, de forma que, solos com maior cobertura vegetal apresentam maior resiliência ao trânsito de máquinas. O incremento da área de contato com o solo permite que o pneu distribua melhor as cargas e cause menor estresse na estrutura física na camada de desenvolvimento radicular da cultura. Aquino et al. (2017) encontraram melhorias nas condições do solo para produção de cana-de-açúcar com a manutenção parcial da cobertura vegetal na lavoura. Os autores afirmaram que, em solos que sofreram processos

de queima ou que sustentam quantidades menores do que 25% do palhicho originalmente depositado na colheita, apresentam prejuízos na longevidade e produtividade do canavial. Essa perda de longevidade e produtividade pode estar relacionada ao contínuo trânsito de máquinas nos canaviais, bem como a fatores de degradação da estrutura química e física do solo. Os resultados desta pesquisa evidenciam a importância na manutenção da cobertura vegetal sobre a lavoura como forma de atenuar o impacto dos rodados sobre a longevidade dos canaviais. Nossos resultados demonstram que a manutenção média de 50% do palhicho sobre o solo, atende a necessidade de distribuição de cargas em superfície e preservação da estrutura física em subsuperfície.

CONCLUSÕES: A quantidade de palhicho sobre o solo atenua o impacto dos rodados em subsuperfície e, aumenta linearmente a área de interação rodado-solo ($r^2=0,98$). A RPS é linearmente inversa ($r^2=0,97$) à quantidade de palhicho na cobertura. A quantidade de 15Mg ha⁻¹ mostrou-se adequada para a manutenção da qualidade do solo em função do trânsito de máquinas nas condições analisadas.

REFERÊNCIAS:

AQUINO, G. S. DE; DE CONTI MEDINA, C.; DA COSTA, D. C.; SHAHAB, M.; SANTIAGO, A. D. Sugarcane straw management and its impact on production and development of ratoons. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 58-64, 2017.

AWE, G. O.; REICHERT, J. M.; FONTANELLA, E. Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 196, p. 1-12, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2019.104447

BEAUCLAIR, E.; TEZOTTO, T.; MANOCHIO JR., C. R. Tratos Culturais, manejo da cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G.C; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar**. 1ed., 344p., Jaboticabal: SBEA, 2015. Cap.13, p.289-299.

CASTIONI, G. A. F.; CHERUBIN, M. R.; BORDONAL, R. O.; BARBOSA, L. C.; MENANDRO, L. M. S.; CARVALHO, J. L. N. Straw removal affects soil physical quality and sugarcane yield in Brazil. **BioEnergy Research** v.12, p.789–800, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10000-1>

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira: Cana-de-açúcar, safra 2020/21, vol. 7**. Terceiro levantamento, Brasília - DF, p:1–62, n.1, 2020.

CONCENÇO, G.; LEME FILHO, J. R. A.; SILVA, C. J. O aleiramento do palhicho de cana-de-açúcar agrava a infestação de plantas daninhas. **Embrapa Agropecuária Oeste**- Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2017.

DZOMA, B.; WILHELM, N.; TELFER, P.; ZEPPEL, K. Effects of deep ripping on soil compaction and crop performance in Mallee sand. **Proceedings of the 2019 Agronomy Australia Conference**, Wale Wale, 2019.

GOMES, A. R. D. A.; CORREIA, T. P. D. S.; DIAS, P. P.; KATO, L. H.; SILVA, P. R. A. Desempenho operacional e econômico de duas enfardadoras prismáticas de palhicho de cana-de-açúcar. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 3, p. 207-214, 2016.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S. P. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n.3, p.750-757, 2004.

MELO, P. L.; CHERUBIN, M. R.; GOMES, T. C.; LISBOA, I. P.; SATIRO, L. S.; P CERRI, C. E.; SIQUEIRA-NETO, M. Straw removal effects on sugarcane root system and stalk yield. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 1048, 2020.

MONTEIRO, L. A.; MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; JESUS, M. G. Avaliação de pneus para carretas transbordo em tanque de solo. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.17, n.1, p.7-16, Garça, 2010.

OLIVEIRA FILHO, F. X. D.; MIRANDA, N. D. O.; MEDEIROS, J. F. D.; SILVA, P. C. M. D.; MESQUITA, F. D. O.; COSTA, T. K. G. Compactação de solo cultivado com cana-de-açúcar em Baía Formosa, Rio Grande do Norte. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 715-723, 2016.

RASCHE, L.; DEL DIEGO, R. S. Pros and cons of sugarcane straw recovery in São Paulo. **BioEnergy Research**, p. 1-10, 2019.

SÁ, M. A. C. D.; SANTOS JUNIOR, J. D. D. G. D.; FRANZ, C. A. B.; REIN, T. A. Qualidade física do solo e produtividade da cana-de-açúcar com uso da escarificação entre linhas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1610-1622, 2016.

SANTOS, P.; LANÇAS, K. Determinação da área de contato entre um pneu agrícola e uma superfície rígida utilizando-se o método da prensa hidráulica. **Energia na Agricultura**, v.14, n.3, p.57-64, 1999.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, EMBRAPA, 5 ed., Brasília-DF, 2018.

SILVA, R. B. D.; IORI, P.; SOUZA, Z. M. D.; PEREIRA, D. D. M. G.; VISCHI FILHO, O. J.; SILVA, F. A. D. M. Pressões de contato e o impacto de conjuntos motomecanizados em Latossolo com presença e ausência de palhada de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 265-278, 2016.

YANG, S.; LIU, J.; XU, L.; ZHANG, M.; JENG, D. S. A New Approach to Explore the Surface Profile of Clay Soil Using White Light Interferometry. **Sensors**, v. 20, n. 11, p. 3009, 2020.