



Infiltração de água em *Ultisol* com diferentes tempos de produção de cana-de-açúcar no semiárido brasileiro

Pedro Francisco Sanguino Ortiz^{1*}; Mário Monteiro Rolim¹; Jhon Lennon Bezerra da Silva¹; Uilka Elisa Tavares¹; Roberta Queiroz Cavalcanti Correio¹

RESUMO: A cultura da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil, apresenta algumas dificuldades de produtividade. Geralmente, as plantações estão em áreas com solos de tabuleiros costeiros, que apresentam baixa disponibilidade de água para as plantas, e ainda, quando o preparo do solo é inadequado, restringe-se a infiltração, reduzindo, todavia, mais essa disponibilidade da água. Contudo, objetivou-se avaliar a infiltração de um *Ultisol*/Argissolo com diferentes tempos de plantio de cana-de-açúcar, através de um simulador de chuva. O experimento foi conduzido em condições de campo, no Município de Carpina, Brasil. Foram selecionadas três lotes de cana-de-açúcar, sendo classificadas como: primeira folha, terceira folha e quinta folha, e com tempos de plantio de 44, 40 e 15 anos, respectivamente. A infiltração foi avaliada pela taxa de infiltração, em uma área de 15 m² e com três repetições. Os valores médios da infiltração do solo variaram entre 31 e 36,5 mm h⁻¹, embora as áreas de primeira e terceira folha tiveram reduzida a infiltração em comparação com a quinta folha. A análise de cluster permitiu formar dois grupos pelas semelhanças nas respostas, destacando que a área de quinta folha foi diferente das outras áreas e com a maior capacidade de infiltração do solo.

Palavras-chave: compactação do solo, preparo agrícola, simulador de chuva, *Saccharum* spp.

Water infiltration in *Ultisol* with different sugarcane production times in the Brazilian semiarid

ABSTRACT: The sugarcane crop in the Pernambuco State (Brazil) presents some difficulties in productivity, generally, the plantations are in areas with coastal plains soils, which present low availability of water to the plants, and when the preparation soil is inadequate, restricts water infiltration, further reducing this availability of water. However, the objective was evaluate the infiltration of an *Ultisol*/Argissolo with different times of sugarcane planting, through a rain simulator. The experiment was carried out under field conditions, in the city of Carpina, Brazil. Three lots were selected from sugarcane, being classified as, first leaf, third leaf and fifth leaf, and with planting times of 44, 40 and 15 years, respectively. The mean values of soil infiltration varied between 31 and 36.5 mm h⁻¹, although the first and third leaf areas had reduced infiltration compared to the fifth leaf. The cluster analysis allowed form two groups by the similarities in the responses, emphasizing that the fifth leaf area was different from the other areas and with the greater soil infiltration capacity.

Keywords: soil compaction, agricultural preparation, rain simulator, *Saccharum* spp.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), com destaque para a exportação de açúcar, seguido pela Índia e China. Na Safra 2020, o Brasil produziu cerca de 29,8 milhões de toneladas de açúcar, em 63 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, com área plantada de, aproximadamente, 8,5 milhões de hectare de cana (CONAB, 2020).

A produções no Brasil encontram-se distribuídas em quase todo o território, segundo o IBGE (2020), em 5 grandes regiões, sendo as três principais: Sudeste (63,3%), Centro-oeste (20,3%) e Nordeste (9%). Essa diferença na participação na produção de cana-de-açúcar está muito envolvida e

principalmente com a quantidade de área colhida, mas também com a produtividade de cada região.

Nesse contexto, o Estado de Pernambuco conta com 252 mil hectares de cana, 93% de área colhida, 5% renovada e 2% em mudas, com o qual, a safra de 2020 teve uma produção de 12 milhões de toneladas de cana, produzindo 1,6 milhões de toneladas de açúcar e destinado 34% para produção de etanol (CONAB, 2020; IBGE, 2020).

No Estado de Pernambuco a cultura tem limitantes na sua produtividade, pois as plantações encontram-se em áreas onde predominam solos de tabuleiros e alguns com características coesa, de endurecimento e limitações quando compactados com o tráfego agrícola. (OECD/FAO, 2016; LIMA *et al.*, 2015).

Como estratégias para contrapor essas limitações, na Região usa-se máquinas agrícolas para executar diferentes operações em campo como o preparo do solo para melhorar suas condições físicas para o plantio, mas também se utilizam essas máquinas para a colheita da cana, facilitando e aumentando a eficiência nesses processos, e finalmente otimizar a produção de cana-de-açúcar.

Embora, o uso dessas máquinas acarreta problemas edáficos, como a compactação do solo que envolve inicialmente alterações nas propriedades físicas (desestruturação, degradação, alta densidade) resultando em solos com baixas macroporosidade, e conseqüentemente, restringindo a infiltração nas camadas mais superficiais ou até mais profundas, danificando as relações dos processos do sistema solo-água-plantas (SEKI *et al.*, 2015; PROSDOCIMI *et al.*, 2017).

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo. Inicialmente, seu valor é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado. A infiltração da água, em solos agrícolas, depende de vários fatores, como preparo do solo, cobertura vegetal, rugosidade superficial, topográfica, mas também de propriedades mais específicas como a porosidade e densidade do solo, quantidade de carbono orgânico, tamanho e estabilidade dos agregados (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2003; ALMEIDA *et al.*, 2018).

Entre os métodos para o estudo da infiltração podem ser destacadas os simuladores de chuva, utilizados diretamente em campo ou em laboratório, como ferramenta de pesquisa e, que por sua vez, têm sido utilizados como infiltrômetros para a caracterização da infiltração no solo (BERTOL *et al.*, 2012; AKSOY *et al.*, 2012).

Nesse sentido, avaliar a infiltração em solos agrícolas, considerando os ciclos produtivos da cana-de-açúcar, inclusive, considerando os efeitos do preparo do solo e plantio, permitiria observar esse efeito no solo pelas atuais práticas agrícolas, e determinar a redução da infiltração com o avanço das colheitas.

Contudo, objetivou-se avaliar e comparar a infiltração de água no solo com diferentes tempos de produção de cana-de-açúcar, mediante o uso de simulador de chuva como infiltrômetro de aspersão.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento foi conduzido em condições de campo, na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), pertencente a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). A área de estudo está inserida na Zona da Mata Norte, Município de Carpina-PE, localizada nas

coordenadas 7° 51' 13" de latitude Sul e 35° 14' 10" de longitude Oeste, altitude de 180 m.

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é quente e úmido, megatérmico (As') com temperatura média de 26 °C, umidade relativa de 70,3% e precipitação pluvial anual de 1200 mm (ano de 2015) (ORTIZ *et al.*, 2017).

Para o estudo foram selecionadas áreas de solo na produção de cana-de-açúcar, considerando os estágios de produção (Fases no ciclo) e os anos de uso na produção de cana, ou seja, a 1ª área, denominada 1F, encontrava-se no começo do ciclo (após plantio); a 2ª área, considerada 3F, encontrava-se na segunda rebrota, ou seja, já tinha passado por 2 colheitas; a 3ª área denominada 5F encontrava-se na quarta rebrota e após 4 colheitas. Para classificação das áreas também foi considerado o tempo de uso do solo na produção de cana; as áreas 1F e 3F completaram 44 anos na produção de cana, e a área 5F, 15 anos.

Tipos de solo das áreas experimentais

O solo é classificado como *Ultisol*/Argissolo Amarelo Distrocoeso (SOIL SURVEY STAFF, 2014; SANTOS *et al.*, 2018) caracterizados por ter horizonte argiloso com baixa saturação de bases e de fácil lixiviação, estes tipos de solos têm bom potencial para agricultura, porém, como baixa fertilidade natural e alta suscetibilidade à erosão.

No Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE foram realizadas as caracterizações físicas dos solos de cada uma das áreas de estudo. Nas áreas de cana-de-açúcar foram realizadas amostragens de solo, tanto deformadas e indeformadas, na camada de 0-0,2 m, antes das colheitas de cana-de-açúcar.

As amostras deformadas foram obtidas com o uso de uma pá e, posteriormente, homogeneizadas para determinação de frações granulométricas e densidade de partículas. As amostras indeformadas foram retiradas utilizando o amostrador de Ulhand para a determinação das densidades do solo. Para determinar as características mencionadas aplicou-se as metodologias descritas pela Teixeira *et al.* (2017)

Na Tabela 1 apresentam-se a caracterização do tipo de solo das áreas de cana-de-açúcar, destacando as principais características de cada uma das diferentes áreas do estudo.

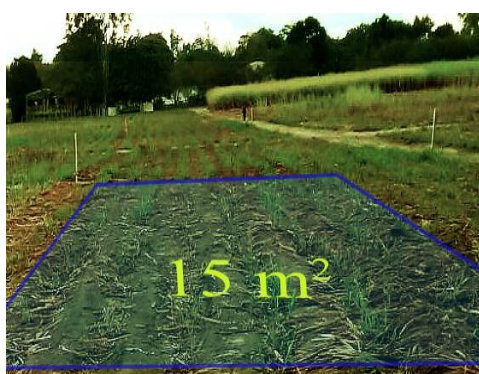
Tabela 1 - Características dos solos das áreas experimentais de cana-de-açúcar.

Área Ciclos produtivos Anos de uso	Uso do solo		
	1F	3F	5F
	1	3	5
	44	40	15
Textura	Franco arenoso		
Areia (g kg ⁻¹)	866,0	877,17	869,50
Sílte (g kg ⁻¹)	43,50	34,50	39,83
Argila (g kg ⁻¹)	90,50	88,33	90,67
Densidade de partículas (g cm ⁻³)	2,70	2,70	2,70
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,80	1,74	1,56
Matéria orgânica do solo (g kg ⁻¹)	24,66	27,01	43,17

Avaliação da infiltração

A infiltração foi avaliada após a colheita e utilizou-se um simulador de chuva como

infiltrômetro de aspersão em uma área de 15 m² conforme apresenta-se na Figura 1.



A.)



B.)

C.)

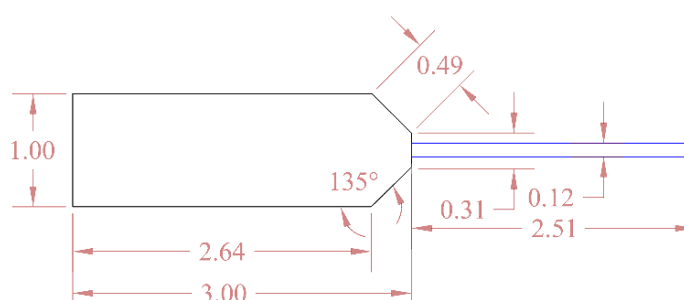


Figura 1 - Simulador de chuva utilizado como infiltrômetro de aspersão na área experimental de cana-de-açúcar. A: Área do experimento; B: Infiltrômetro de aspersão (simulador de chuva) e área; C: Sketch da área de simulação.

Em cada uma das áreas foram instaladas um plot e realizadas três repetições para a avaliação da taxa de infiltração (i), calculada pela diferença entre a intensidade de precipitação (39,34 mm h⁻¹) e a taxa de escoamento superficial conforme a seguinte equação (Equação 1) proposta por Brandão *et al.* (2009).

$$i = I_p - T_{ES} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: I_p é a intensidade de precipitação; T_{ES} é a taxa de escoamento.

O simulador de chuva utilizado foi do tipo pendular, com bico aspersor tipo “Veejet 80-100”, da *Spraying Systems Company*, que fica na parte central e superior da armação, a 2,87 m de altura do solo,

conforme descrito por Santos *et al.* (2009). A uniformidade das chuvas simuladas foi avaliada empregando-se o coeficiente de Christiansen (Equação 2), descrito por Montebeller *et al.* (2001).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad \text{Equação (2)}$$

Em que: CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen; X_i é a lamina precipitada em cada coletor; “ \bar{X} ” é a lamina média precipitada; n é o número de copos coletores.

A intensidade média de precipitação de água foi determinada pela relação entre a lâmina média de água obtida nos coletores e o tempo de aplicação (MONTEBELLER *et al.*, 2001).

Análise estatística

Para a organização dos dados foi utilizada estatística descritiva (mínimo, máximo, média, mediana e desvio padrão), como também, foram analisadas as variações através do coeficiente de variação (CV), levando em consideração os critérios de classificação propostos por Warrick & Nielsen (1980), onde o CV foi avaliado quanto a sua variabilidade. As análises foram realizadas através de cálculos em planilhas eletrônicas e programa estatístico de livre acesso.

Para comparação entre as unidades experimentais, aplicou-se também a técnica de análise de agrupamento multivariada de Clusters, pelo método hierárquico do vizinho mais próximo de Ward (1963),

tendo como medida de dissimilaridade a distância euclidiana (EVERITT & DUNN, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização das simulações em campo e conforme as informações obtidas nas chuvas simuladas, as intensidades de chuva foram uniformes e tiveram baixos coeficientes de variação (<12%). Esses resultados estão apresentados na Tabela 2, garantindo precisão nas simulações de chuvas aplicadas nas três áreas experimentais. Na Tabela 2 também apresenta os valores das intensidades em termos de média, mínimo, máximo, mediana e coeficiente de variação das chuvas registradas e das suas homogeneidades nas áreas de erosão através do desvio padrão.

Tabela 2 - Registro de intensidade do infiltrômetro de aspersão e sua uniformidade.

Parâmetros estatísticos	Intensidade (mm h ⁻¹)	*CUC (%)
Mínimo	38,19	84,39
Média	38,98	85,19
Mediana	39,12	85,08
Máximo	39,12	86,51
Desvio padrão	0,31	0,72
Coeficiente de variação (%)	0,78	0,85

*CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.

Os valores médios do CUC das simulações foram de 85,19%, considerados como de alta uniformidade na distribuição das chuvas (Tabela 2). Para Santos *et al.* (2009) chuvas com coeficientes de uniformidade superior a 75% podem ser consideradas adequadas e uniformes para o uso do simulador de chuva, já para Montebeller *et al.* (2001), valores de CUC acima de 80% são aceitáveis para a

uniformidade de distribuição em simuladores de chuva, como também, utilizado como infiltrômetro de aspersão.

Nas áreas avaliadas obtiveram-se infiltrações com valores médios entre 31 e 36,5 mm h⁻¹, com infiltração quase total de água no solo, embora as áreas 1F e 3F apresentaram redução em comparação com 5F, como pode ser observado na Figura 2.

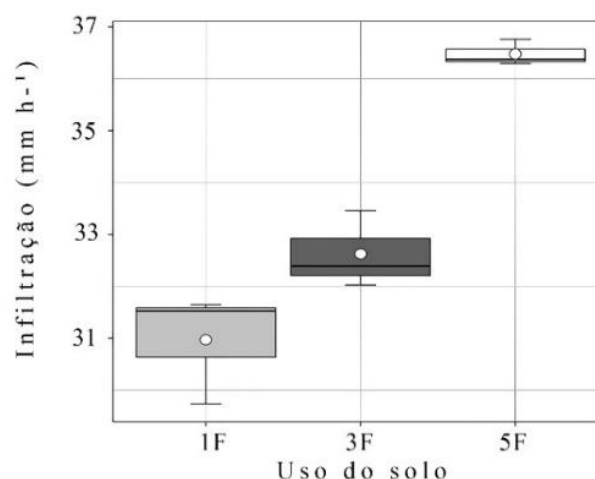


Figura 2 - Infiltração do solo em três áreas de cana-de-açúcar com diferentes tempos de plantio.

As baixas infiltrações do solo 1F e 3F possivelmente estejam relacionadas com entupimentos dos poros com partículas dispersadas pela chuva que reduzem os espaços e seguidamente a capacidade da infiltração da água no solo (Figura 2).

Entre outras das possíveis causas da diminuição da infiltração é o aumento da densidade do solo que se traduz na redução dos seus espaços vazios, principalmente os macroporos, os condutos principais

para o movimento e drenagem da água através solo (ORTIZ *et al.*, 2017).

Estas respostas também podem ser explicadas pela diferença do estado dos solos, pois as subáreas 1F e 3F têm relativamente 29 anos a mais de uso do solo no cultivo de cana-de-açúcar do que a subárea 5F e apresentando modificações nas propriedades físicas e orgânicas do solo que alteram as respostas hídricas.

Os dados de infiltração encontrados foram semelhantes aos valores de aproximadamente 30 mm h⁻¹, observados no estudo de Bezerra & Cantalice (2006) onde avaliaram a infiltração de água no solo utilizando um simulador de chuva em áreas de cana-de-açúcar com solos coesos de tabuleiro costeiros.

Garbiate *et al.* (2011) salientam que a capacidade de infiltração está relacionada com o sistema de colheita, pois colheitas mecanizadas de cana os solos

apresentam limitações de infiltração, contrário aos sistemas com colheita manual, justificando ao intenso tráfego de máquinas com elevada carga que alteram o solo.

Segundo Sajjadi *et al.* (2016) e Ortiz *et al.* (2017) o fluxo de água no solo depende da razão entre macro e microporos e densidade do solo e quando o solo está compactado, pelo uso contínuo na mesma lavoura, e pelo frequente tráfego de máquinas, a densidade do solo aumenta pela redução da macroporos, causando redução na infiltração, e possivelmente também disponibilidade de água para as plantas.

A análise de Cluster, Figura 3, no qual formaram-se dois grupos diferentes, o primeiro agrupou as áreas 1F e 3F, pela alta semelhança nos seus resultados e, no segundo, agrupou-se 5F, com as melhores respostas de infiltração e escoamento.

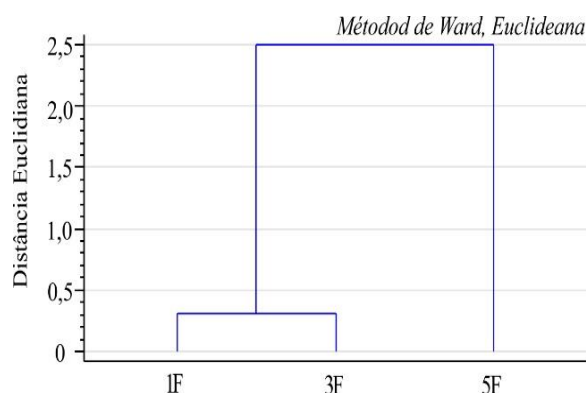


Figura 3 - Cluster de agrupamento da infiltração dos solos nas áreas de cana-de-açúcar.

De acordo com Bertol *et al.* (2001), Braunack & McGarry, (2006), Souza *et al.* (2006) e Streck *et al.* (2004), práticas de manejo do solo agrícola com o tempo provocam alterações nas propriedades físicas do solo como, o fracionamento dos agregados em unidades menores, altera as estruturas originais dos solos, principalmente na redução do volume dos macroporos. Em decorrência disso apresenta diminuição da taxa de infiltração de água no solo.

Para Awe *et al.* (2015), a retenção de resíduos culturais na superfície do solo é uma prática de manejo conservacionista que visa um melhor manejo da água, evitar a impermeabilização da superfície, aumentar a infiltração, melhorar a agregação e a porosidade e controlar a erosão

As áreas 1F e 3F que apresentaram semelhantes anos de plantio, porém número de folhas diferentes, evidenciam que independente do ciclo de cana, os anos consecutivos de plantio, governam as respostas de infiltração do solo. Na área 5F duas variáveis estão incidindo nos resultados, os anos de cultivo menores e o maior número de folhas, que apresentou maior infiltração de todos os tratamentos estudados, sugerindo-se desta forma estudos futuros

comparando-se a mesma área de 15 anos com menores números de folhas (como 1^a e 3^a) (Figura 4).

CONCLUSÕES

As áreas de cana-de-açúcar com mais tempo de produção, uso e manejo do solo (1F e 3F) apresentaram resultados semelhantes segundo a análise de clusters, com os mais baixos valores de infiltração quando comparado com a área mais nova de produção (5F) que apresentou comportamento totalmente diferente e com alta capacidade de infiltração.

Esta avaliação permitiu observar diferentes respostas, possivelmente ocasionadas por alterações físicas do solo diante dos preparos e manejos agrícolas mecanizados realizados, conseqüentemente diminuiu a água disponível, aumentando o escoamento superficial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola; Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio à pesquisa; CAPES e CNPq pelo incentivo financeiro das bolsas de Mestrado e Doutorado. Também à Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina junto ao

corpo laboratorial e de campo, pelo acompanhamento e orientação.

REFERÊNCIAS

- AKSOY, H.; UNAL, N. E.; COKGOR, S.; GEDIKLI, A.; YOON, J.; KOCA, K.; ... & ERIS, E. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. **Catena**, v. 98, p. 63-72, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.06.009>
- ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; SILVA MENEZES, R.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, v. 175, p. 130-138, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009>
- ALVES SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 191-196, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200001>
- AWE, GABRIEL O.; REICHERT, JOSÉ MIGUEL; WENDROTH, O. O. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 150, p. 93-106, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.01.013>
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 555-560, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000300018>
- BERTOL, ILDEGARDIS; BERTOL, CAMILO; BARBOSA, FABRÍCIO TONDELLO. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1905-1910, 2012.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulco em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 565-573, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000300016>
- BRAUNACK, M. V.; MCGARRY, D. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*). **Soil & Tillage Research**, v. 89, p. 86-102, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.07.002>
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: CONAB, v. 6, p. 62, 2020.
- EVERITT, B. S.; DUNN, G. **Applied multivariate analysis**. London: Edward Arnold, 1991. 400p.
- GARBIATE, M. V.; TADEU VITORINO, A. C.; ANDRADE TOMASINI, B.; BERGAMIN, A. C.; & PANACHUKI, E. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2145-2155, 2011. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180221446029>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Estatística da Produção Agrícola**. v. 30 p. 44-46, 2020.
- LIMA, R. P.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, A. R.; PEDROSA, E. M. R.; FERREIRA, R. L. C. Load-bearing capacity and its relationships with the physical and mechanical attributes of cohesive soil. **Journal of Terramechanics**, v. 58, p. 51-58, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.01.001>
- M.; TIMM, L. C.; WENDROTH, O. O. Temporal processes of soil water status in a sugarcane field under residue management. **Plant Soil**, v. 387, p. 395-411, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2304-5>
- MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; SOBRINHO, T. A.; NUNES, A. C.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 1-5, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100001>
- OECD/FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Perspectivas Agrícolas 2016-2025**, OECD Publishing, Paris, 2016, p. 146.
- ORTIZ, P. F. S.; ROLIM, M. M.; LIMA, J. L. P.; PEDROSA, E. M. R.; DANTAS, M. S. M.; TAVARES, U. E. Physical qualities of an Ultisol under sugarcane and Atlantic forest in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 62-70, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.10.001>
- PROSDOCIMI, M.; BURGNET, M.; DI PRIMA, S.; SOFIA, G.; TEROL, E.; COMINO, J. R.; CERDÀ, A.; TAROLLI, P. Rainfall simulation and Structure-from-Motion photogrammetry for the analysis of soil water erosion in Mediterranean vineyards. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 204-215, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.036>
- SAJJADI, S. A. H.; MIRZAEI, M.; FAYYAZ NASAB, A.; GHEZELJE, A.; TADAYONFAR, G.; SARKARDEH, H. Effect of soil physical properties on infiltration rate. **Geomechanics and Engineering**, v. 10, p. 727-736, 2016. <https://doi.org/10.12989/gae.2016.10.6.727>
- 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. **Brazilian Soil**

Classification System. Embrapa Solos, 5. ed., rev. and exp. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 516 p.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 217-225, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300001>

SEKI, A. S.; SEKI, F. G.; JASPER, S. P.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Effects of soil decompaction techniques in an area under a system of direct seeding. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 460-468, 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150027>

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 2014. 372 p.

SOUZA, Z. M. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; COOPER, M.; & PEREIRA, G. T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 487-492, 2006.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; & KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000300016>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal American Association**, v. 58, p. 236-244, 1963. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R.; HILLEL, D. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: **Applications of Soil Physics**. Cap.2. Academic, New York, 1980.