



Resistência do solo à penetração em áreas de cultivo da cana-de-açúcar no litoral Sul Potiguar ⁽¹⁾.

Jonatan Levi Ferreira de Medeiros ⁽²⁾; Paulo Cesar Moura da Silva⁽³⁾; Thiago Kennedy Gomes Costa⁽⁴⁾; Neyton de Oliveira Miranda ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Capes

⁽²⁾ Estudante de pós-graduação; Universidade Federal Rural do Semi-Árido; Mossoró, RN; jonatan_levi@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor; UFERSA; ⁽⁴⁾ Estudante de graduação; UFERSA; ⁽⁵⁾ Professor; UFERSA.

RESUMO: A resistência do solo à penetração (RSP) é o atributo físico mais relacionado ao crescimento das plantas e à compactação. O objetivo do trabalho foi identificar, mapear e utilizar critérios para interpretar dados de resistência à penetração relacionado a umidade do solo visando planejar práticas de manejo do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. No campo, os pontos foram coletados a profundidade de 40 cm e alocados por um receptor GPS, onde a RSP foi aferida com um penetrômetro eletrônico e o teor de água no solo por meio de uma sonda de reflectometria de domínio no tempo (TDR). Posteriormente, com a geoestatística, semivariogramas foram criados, na qual o modelo esférico predominou e o alcance foi adequado as condições da pesquisa. Na interpolação dos dados por krigagem foi desenvolvido o mapeamento, onde foi constatado regiões críticas ao desenvolvimento radicular nas camadas inferiores a 20 cm de profundidade.

Termos de indexação: *Sacharum spp*; compactação do solo; variabilidade espacial.

INTRODUÇÃO

O elevado número de operações mecanizadas necessárias para a produção de cana-de-açúcar faz com que, ao longo dos anos, a cultura seja afetada pela degradação física do solo. As pressões exercidas reduzem o espaço poroso do solo, causando compactação tanto na superfície como em profundidade (Lima et al., 2013). Essa compactação prejudica o desenvolvimento do sistema radicular devido aumento de densidade, resistência do solo, diminuição da macroporosidade e condutividade hidráulica (Souza et al., 2010).

A resistência do solo à penetração (RSP) é utilizada para o manejo e estudo da qualidade física dos solos, por ser indicador do grau de

compactação. Sua determinação é realizada por meio de penetrômetro que mede a resistência exercida pelo solo à penetração de uma haste com ponta cônica (Molin et al., 2012) e seus valores recebem influência de vários fatores, principalmente a densidade e a umidade do solo.

Segundo Vasconcelos et al. (2012), com auxílio de propriedades físicas de fácil mensuração, como a densidade do solo, a umidade gravimétrica e a RSP, pode-se avaliar o estado mecânico do solo, visando o uso, manejo e planejamento sustentável da mecanização agrícola.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo identificar, mapear e utilizar critérios para interpretar dados de resistência à penetração e umidade do solo visando planejar práticas de manejo do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar no litoral sul do Rio Grande do Norte.

MATERIAL E MÉTODOS

A Usina Vale Verde Empreendimentos Agrícolas LTDA, localizada no município de Baía Formosa-RN, 6° 22' 10" de latitude sul e 35° 00' 28" de longitude oeste, com altitude de 4 m acima do nível do mar. Possui 117,61 hectares (9,8% da área total) e é dividida em oito talhões uniformes.

O solo na área experimental é o Neossolo Quartzarênico, com pequena ocorrência de Argissolos e Latossolos – identificados por Hélio do Prado (Instituto Agrônomo de Campinas-IAC). A classificação climática de Köpper-Geiger é As, ou seja, clima tropical com estação seca. A pluviosidade média anual é de 1.625,2 (Oliveira Filho, 2014).

No campo os pontos foram georeferenciados por meio de receptor GPS de navegação acoplado ao penetrômetro, onde o sistema de coordenadas foi o UTM segundo o datum WGS84. Mediante a interpolação dos pontos suas localizações foram pouco regular, porém com

uma boa distribuição nos talhões, na medida do possível, os pontos ficaram aproximadamente 100 m distantes um do outro (**Figura 1**).

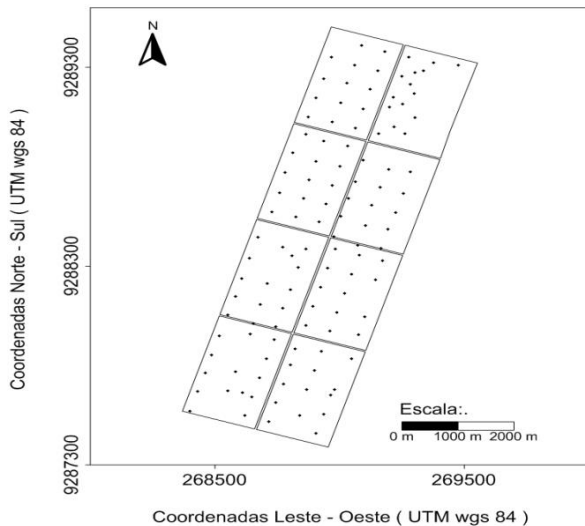


Figura 1- Distribuição amostral dos pontos coletados na Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2014.

As medidas de RSP foram realizada por meio do penetrômetro, montado em quadriciclo. Em conjunto, foi aferido o teor de água no solo, uma vez que, possui grande interferência na resistência do solo à penetração da haste (Klein et al., 1998). Para isso, utilizou-se trado tipo caneca para perfurar o solo, onde foi inserida uma sonda com sensor de 40 cm. As variáveis consideradas foram as leituras obtidas nas profundidades entre zero e 40 cm. O equipamento TDR foi calibrado por método gravimétrico ($U = g.g^{-1}$), considerado padrão (EMBRAPA, 1997). A interpretação dos dados de RSP foi feita segundo a escala utilizada por Ribeiro (2010).

A análise estatística das variáveis investigadas nas diferentes camadas constou das seguintes etapas: o ajuste à distribuição normal por meio do Teste Shapiro-Wilk a 5%, onde o coeficiente de variação (CV) foi classificado conforme Warrick (1998).

A geoestatística foi utilizada para analisar a existência de dependência espacial das variáveis. Para isso, foram elaborados semivariogramas com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, nos quais a semivariância ($\gamma(h)$) é estimada pela equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [z(s_i) - z(s_i + h)]^2$$

Em que: $N(h)$ é o número de pares de pontos $z(s_i)$ e $z(s_i + h)$ separados por uma distância h , informando

quão diferentes se tornam os valores em função de h (Couto et al., 2000).

O ajuste do modelo matemático para os semivariogramas de cada variável forneceu os parâmetros: Efeito Pepita (C_0), Patamar (C_0+C) e Alcance (A). A relação entre efeito pepita e patamar (CAMBARDELLA et al., 1994) foi utilizada para determinar o grau de dependência espacial das variáveis, que é classificado como forte (< 25 %); moderado (26 a 75 %) ou fraca (> 75 %).

A estimativa dos valores de RSP para os locais não amostrados foi realizada por interpolação pelo método de krigagem, também empregada por Campos et al. (2013), a qual utiliza as informações de variabilidade espacial e os parâmetros do semivariograma, possibilitado a confecção de mapas de isovalores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o Teste de Shapiro Wilk, a distribuição normal para RSP não foi verificada nas profundidades analisadas. A ocorrência de distribuições normais ou não normais pode ser atribuída a diversas causas, entre as quais as práticas de manejo e efeitos temporais (Cambardella et al., 1994). O ajuste dos dados à distribuição de frequência normal não influencia a análise geoestatística, a qual se baseia em uma função aleatória contínua (Arzeno et al., 2014).

Em relação ao coeficiente de variação (CV) de RSP, conforme a classificação de Warrick (1998), ele somente foi considerado alto na camada de zero a 10 cm, que é a mais sujeita às operações de manejo. Segundo Camargo et al. (2010) se os atributos apresentam alta variabilidade, suas médias podem não ser representativas de toda área.

Com a análise de correlação dos dados foi constatado que a variação dos valores de RSP no campo não foi influenciada pelos valores do teor de água. Nesse caso, os dados de RSP indicam efetivamente o nível de compactação do solo e os resultados podem ser utilizados sem a necessidade de corrigi-los em função da umidade (Ribeiro, 2010). No mesmo contexto, Souza et al. (2014) observaram que o teor de água do solo não interferiu nos valores de RSP, ao estudar o perfil de um Argissolo Amarelo.

Todas as variáveis de RSP apresentaram dependência espacial, predominando o ajuste ao modelo esférico, com exceção da camada de 0 – 10 cm (**Tabela 1**) que apresentou ajuste ao modelo exponencial. Resultados semelhantes foram encontrados Ecco et al. (2012). A ocorrência de tais modelos é frequente para atributos do solo, principalmente o esférico para RSP (Campos et al., 2013).

O grau de dependência espacial observado foi de moderado, para a camada de 0 – 10 cm, a forte para as demais camadas, conforme a classificação de Cambardella et al. (1994). De acordo com o mesmo, a variabilidade é controlada por fatores intrínsecos como textura e mineralogia, porém características que apresentam dependência espacial mais fraca são bastante influenciadas por práticas de manejo como preparo do solo e aplicação de fertilizantes.

Tabela 1. Resultados da estatística espacial para a variável de RSP nas camadas de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm.

Prof.	¹ C ₀	² C _{0+C}	³ a	⁴ GDE	R ²	Modelo
Resistência do solo à Penetração (MPa)						
0 – 10	0,14	0,52	144	28,1%	0,72	Exp.
10 – 20	0,66	3,26	181	20,26%	0,48	Esf.
20 – 30	0,61	3,62	196	16,68%	0,35	Esf.
30 – 40	0,8	3,71	164	21,49%	0,32	Esf.

¹Efeito pepita; ²Patamar; ³Alcance; ⁴ grau de dependência espacial.

Na sequência de camadas de solo, entre zero e 40 cm de profundidade, os alcances foram adequados a malha dos pontos coletados, onde o menor alcance (**Tabela 1**) foi de 144 m. Tendo em vista que, havendo dependência espacial, o valor de uma variável em um local é correlacionado com os valores de locais próximos, o alcance indica a distância máxima na qual os valores são correlacionados entre si (Corrêa et al., 2009).

A partir da distribuição espacial dos dados houve a elaboração dos mapas, nas quatro profundidades, para gerar uma visualização espacial da RSP com base na classificação de Ribeiro (2010).

Na **figura 2**, as medidas de RSP apresentam diferenças significativas de ordem crescente, entre as camadas de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 a 40 cm de profundidade. Onde na (**Figura 2a**), camada de 0 – 10 cm, obteve-se valores relativamente baixos ao desenvolvimento radicular. Em valores gerais 56,55% está no intervalo de 0 – 2 MPa (baixa resistência), 37,96% entre 2 – 4 Mpa (moderada resistência) e 5,49% em 4 – 6 (alta resistência). Considerando os valores críticos de RSP acima de 6,0 MPa (**Figura 2b**) observa-se poucas regiões com fortes limitações ao desenvolvimento radicular, onde 63,28%, a grande maioria, possui moderada resistência do solo a penetração. No entanto 4,32% apresentam níveis críticos de RSP, o que pode ser ocasionado por processos de compactação oriundos do uso intensivo da mecanização. Nas camadas subsequentes existe uma predominância bem maior de regiões com índices críticos. A **figura 2c**,

apresenta 18,52% da área com valores acima de 6 MPa, considerados críticos para o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. Na camada de 30 – 40 cm (**Figura 2d**) o índice crítico de RSP foi o maior observado, onde 77,75% dos valores estavam acima de 6 MPa e desse valor, 20,4% está acima de 8 MPa, ou seja, uma situação extremamente crítica ao desenvolvimento radicular.

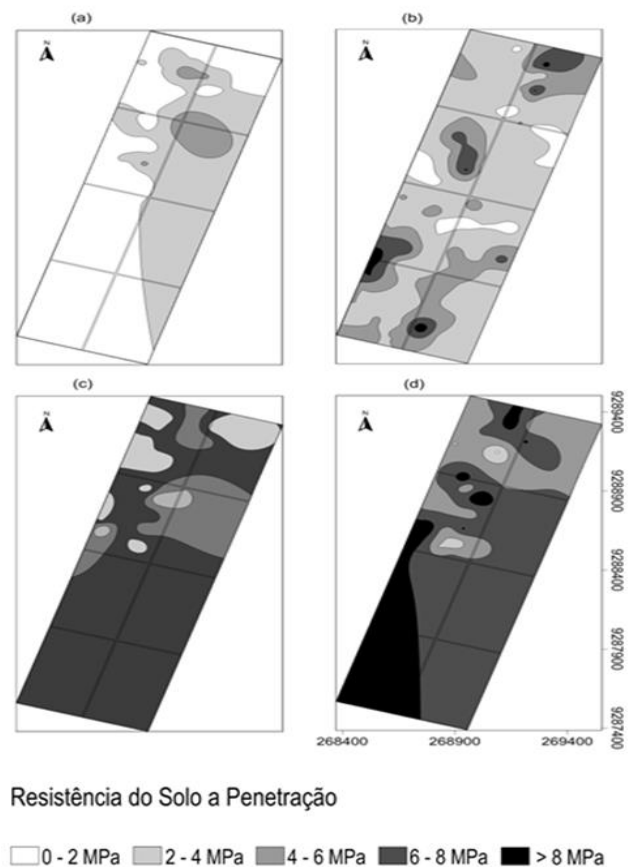


Figura 2 – Mapas de isovalores da Resistência do Solo à Penetração nas profundidades: (a) 0 – 10 cm; (b) 10 – 20 cm; (c) 20 – 30 cm e (d) 30 – 40 cm. Na Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2014.

Nas profundidades acima de 20 cm é provável que exista uma maior influência da compactação por atividades mecanizadas. Segundo Lima et al. (2013), o sistema de preparo convencional ocasiona compactação na camada subsuperficial do solo. A região além de receber forte influência da mecanização, ainda pode sofrer um adensamento natural das partículas. Conforme Jacomine (2001), a região coesa dos tabuleiros costeiros está situada entre 30 e 60 cm de profundidade. De modo geral, Campos et al. (2013) obtiveram valores menores de RSP do que os encontrados nesse trabalho, com 2,86 MPa.



Os mapas de isovalores de resistência à penetração demonstraram que ela não é homogênea no campo e, por isso, as práticas de manejo localizado da compactação do solo podem ser aplicadas, principalmente para áreas com índices de RSP maiores que 6 MPa.

CONCLUSÕES

Os modelos de semivariograma de melhor ajuste para a variável RSP foram o esférico e o exponencial.

Práticas mecanizadas e práticas culturais devem ser implantadas, principalmente para minimizar os efeitos da compactação nas camadas abaixo de 20 cm de profundidade.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo apoio financeiro e ao Grupo Farias (Usina Vale Verde) pela concessão da área e equipamentos para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARZENO, J. L. et al. Variabilidade espacial da resistência à penetração na superfície do solo em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(3): 343-352, 2014.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, MG, 34: 617-630, 2010.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, Madison, 58: 1240-1248, 1994.

CAMPOS, M. C. C. et al. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. *Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, PE, 8: 305-310, 2013.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. *Semina: Ciências Agrárias*, 30:81-94, 2009.

COUTO, E. G.; KLAMT, E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 24: 129-139, 2000.

ECCO, M.; CARVALHO, L. A. DE; FERRARI, L. P. Variabilidade espacial da resistência do solo a

penetração em área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2008/2009. *Revista Agrarian*, 5:263-269, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos do Brasil. In: CINTRA, F. L. D.; ANJOS, J. L. DOS; IVO, W. M. P. DE M. Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros. Anais... Aracaju, SE: EMBRAPA, 2001. p. 161-168.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 18: 45-54, 1998.

LIMA, R. P.; DE LEÓN, M. J.; DA SILVA, A. R. Compactação de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, Viçosa, 60: 016-020, 2013.

MOLIN, J. R.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 16: 584-590, 2012.

OLIVEIRA FILHO, FRANCISCO XAVIER DE. Análise espacial da compactação do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2014. 111p. Tese Doutorado.

RIBEIRO, C. A. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, 2010. 85p. Dissertação Mestrado.

SOUZA, Z. M. de et al. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, 40: 840-847, 2010.

SOUZA, E. B. de et al. Resistência Mecânica do solo a Penetração em Função da sua umidade e do tipo de penetrometro. *Revenge*, 22: 67-76. 2014.

VASCONCELOS, R. F. B. et al. Compressibilidade de um latossolo amarelo distrocoeso não saturado sob diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira Ciências do Solo*, 36: 525-536, 2012.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of same physical properties of the soil. In: Hillel, D. ed. *Applications of soil physics*, New York: Academic Press, 1980, Cap.13, p.319-344.

**XXXV Congresso
Brasileiro de
Ciência do Solo**

CENTRO DE CONVENÇÕES - NATAL / RN



**O SOLO E SUAS
MÚLTIPLAS FUNÇÕES**
02 a 07 DE AGOSTO DE 2015