



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Centro de Ciências Agrárias

Departamento de Solos e Engenharia Rural

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB COLHEITA MECANIZADA COM
TRÁFEGO CONTROLADO**

Josévaldo Ribeiro Silva

Areia, PB

Fevereiro - 2018

JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB COLHEITA MECANIZADA COM
TRÁFEGO CONTROLADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”. Área de concentração: Solos e nutrição de plantas.

Orientador: Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

Areia, PB

Fevereiro - 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586v Silva, Josévaldo Ribeiro.

Variabilidade espacial da resistência à penetração em solo cultivado com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado / Josévaldo Ribeiro Silva. - Areia, 2018.

71 f. : il.

Orientação: Flávio Pereira de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Resistência mecânica - Solo. 2. Cortes mecanizados.
3. Colheita mecanizada - Tráfego controlado. I.
Oliveira, Flávio Pereira de. II. Título.

UFPB/BC

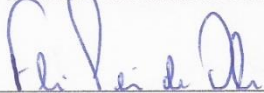
JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA

VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB COLHEITA MECANIZADA COM
TRÁFEGO CONTROLADO

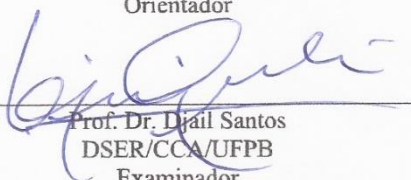
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovado em: 28 de Fevereiro de 2018

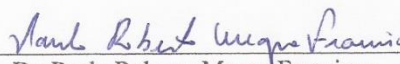
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira
DSER/CCA/UFPB
Orientador



Prof. Dr. Djail Santos
DSER/CCA/UFPB
Examinador



Dr. Paulo Roberto Megna Francisco
Instituto Federal da Paraíba
Examinador



Dr. Júlio César Rodrigues Martins
Faculdades de Enfermagem e Medicina Nova Esperança
Examinador

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Batista e Maria Josefa, por todo apoio, carinho e educação, me orientado pelos caminhos corretos, a minha irmã e cunhado, Jéssica e Luciano, por sempre estarem ao meu lado em qualquer situação, a minha noiva e futura esposa, Caline Azevedo, por ser minha parceira, melhor amiga, companhia para todas as horas, todos essenciais na minha caminhada tão longa e cheia de obstáculos, mas também vitórias, chamada vida, dedico mais essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, a ele toda honra e toda glória. Por permissão dele pude levantar, enxergar, caminhar, trabalhar, estudar, fazer essa dissertação e defende-la, por tanto, por ser tão pequeno, mas tão abençoado, toda a minha gratidão ao meu Deus.

Aos meus pais, João Batista e Maria Josefa, por sempre acreditarem em mim, na minha capacidade e por confinarem sempre que posso ir muito além.

A minha noiva e futura esposa, Caline Azevedo, a qual teve papel inexplicavelmente essencial nessa etapa, me dando a mão e caminhando sempre ao meu lado, sendo meu porto seguro, minha cúmplice, parceira, amiga, ou seja, tudo! Enfim, obrigado por todo o amor.

Aos meus queridos, irmã e cunhado, Jéssica e Luciano, por serem meus apoiadores calorosos, sempre estando ao meu lado, sempre companheiros e amigos.

Ao programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, por proporcionar condições ideais de estrutura e de uma gama de profissionais capazes de agregar e abrilhantar minha formação. Aqui me refiro a todos os professores, servidores e colegas discentes que ajudaram direta ou indiretamente com essa conquista.

Ao CNPq pelo fomento ao que se refere a bolsa de estudo no decorrer do curso.

Aos meus amigos mais próximos em Areia, Ernandes, Mateus, Lucas, João Rafael, Neto, Alex, entre outros, que se fizeram presentes nessa caminhada do mestrado, obrigado por todas as situações cômicas que deixaram a vida mais divertida nesse período.

A equipe do Laboratório de Física do Solo, desde os companheiros de graduação, pós-graduação, Maíra e Danillo que meterão a mão na massa, nas coletas de amostras, ao técnico Vaval pela ajuda, auxílio e amizade, à todos, minha gratidão.

Ao meu orientados e grande amigo, professor Flávio Pereira, sempre guiando da melhor forma possível meus passos na carreira acadêmica desde a graduação, muito obrigado por toda a paciência, acessibilidade, encorajamentos e conselhos.

Meus agradecimentos ao Sr. Gilvan, presidente da Usina Miriri Alimentos e Bioenergia S/A, por ter aberto as portas da empresa para essa pesquisa, cedendo aporte financeiro, mão-de-obra (aqui lembro toda a equipe que esteve presente nas coletas, Antônio Emídio e equipe) e logística, não esquecendo ainda do Sr. Gabriel o qual sempre esteve presente ao que precisássemos. Meus agradecimentos ao Dr. Carlos Henrique, que intermediou a entrada na usina, em sua atuação na pesquisa e desenvolvimento dentro da empresa, sempre acessível quanto aos meus contatos, minha gratidão. A todos aqueles que sempre acreditaram em mim, meus agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Panorama da cana de açúcar no Brasil.....	2
2.2. Atributos físicos do solo influenciados pela colheita mecanizada	4
2.3. Geoestatística e variabilidade espacial na avaliação de atributos do solo	6
3. LITERATURA CITADA	8
CAPÍTULO I.....	14
VARIABILIDADE ESPACIAL DA COMPACTAÇÃO EM ÁREAS DE CANA-DE- AÇÚCAR SOB COLHEITA MECANIZADA COM TRÁFEGO CONTROLADO	15
CAPÍTULO II.....	36
QUALIDADE DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO CULTIVADO COM CANA-DE AÇÚCAR SUBMETIDA A COLHEITA MECANIZADA COM TRÁFEGO CONTROLADO.....	37
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
APÊNDICES	59

LISTA DE QUADROS**Capítulo II**

Quadro 1. Dados agrícolas das áreas amostradas.	42
--	----

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Composição textural da camada de 0-0,1 e 0,1-0,2 m de Argissolo Acinzentado cultivado com cana-de-açúcar com colheita mecanizada sob tráfego controlado nas linhas e entrelinhas de áreas de primeiro e terceiro corte	20
Tabela 2. Estatística descritiva para a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em perfis de solo de áreas sob diferentes tempos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada.....	22
Tabela 3. Valores de umidade gravimétrica encontrada no perfil do solo para duas áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob tráfego controlado	24
Tabela 4. Parâmetros ajustados ao semivariograma da resistência mecânica do solo à penetração (MPa) em perfis de solo de áreas com diferentes tempos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado.....	27

Capítulo II

Tabela 1. Valores médios do complexo sortivo do solo sob diferentes tempo de cultivo de cana-de-açúcar e cortes mecanizados sob tráfego controlado.	41
Tabela 2. Resultado de granulometria, argila dispersa em água, grau de floculação e classificação textural da camada superficial superficiais (0-0,1 e 0,1-0,2 m) de Argissolo Acinzentado de áreas de cultivo de cana-de-açúcar nas posições de linha e entrelinha sob primeiro e terceiro corte mecanizado.....	45
Tabela 3. Valores médios de densidade do solo e porosidade (Mac, Mic e Pt) em áreas sob diferentes tempos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	47
Tabela 4. Valores de umidade gravimétrica verificada no perfil do solo para duas áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob tráfego controlado.	49
Tabela 5. Condutividade hidráulica, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível total em um Argissolo Acinzentado de áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar com primeiro e terceiro corte.....	51

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1. Localização de área do experimento.	19
Figura 2. Malha regular de amostragem na primeira e terceira colheita mecanizada sob tráfego controlado.	20
Figura 3. Semivariogramas da resistência mecânica à penetração em Argissolo Acinzentado, em posições de linha e entrelinha na área de primeiro corte (PC) de cana-de-açúcar colhida de forma mecanizada.	25
Figura 4. Semivariogramas da resistência mecânica à penetração em Argissolo Acinzentado, em posições de linha e entrelinha na área de terceiro corte (TC) de cana-de-açúcar colhidas de forma mecanizada	25
Figura 5. Figura de isolinha da resistência à penetração (\bar{x} ; MPa) de um Argissolo Acinzentado sob área de primeiro corte (PC) de cana-de-açúcar submetida a colheita mecanizada.....	29
Figura 6. Figura de isolinha da resistência mecânica à penetração penetração (\bar{x} ; MPa) de um Argissolo Acinzentado de área de terceiro corte (TC) de cana-de-açúcar submetida a colheita mecanizada.....	30

Capítulo II

Figura 1. Localização de área do experimento.	40
--	----

RESUMO

JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA. Variabilidade espacial da resistência à penetração em solo cultivado com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado. Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2018. 71 p.il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das principais atividades do setor primário no Nordeste brasileiro. Essa cultura sempre recebeu grandes avanços tecnológicos, sendo assim a forma de colheita mudou passando a ser realizada de modo mecanizado. Embora a colheita mecanizada traga benefícios, a intensa trafegabilidade das máquinas colhedoras de cana no campo, pode causar compactação alterando eminentemente os atributos físicos do solo. Como forma de mitigar possíveis efeitos negativos no solo decorrentes da trafegabilidade, está sendo cada vez mais utilizado o controle de tráfego. Portanto, os objetivos do presente trabalho foram: I) avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes tempos de cortes mecanizados com tráfego controlado; II) avaliar qualidade de atributos físicos de solo em área de primeiro e terceiro corte cultivada com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado. O experimento foi realizado na Fazenda Santa Emília II, pertencente a Usina Miriri Alimentos e Bioenergia S/A, localizada no município de Rio Tinto (PB). Foram selecionadas duas áreas comerciais de cana-de-açúcar, com respectivamente primeiro (PC) e terceiro (TC) cortes mecanizados sob tráfego controlado em um Argissolo Acinzentado. As coletas se procederam em parcelas de 100 x 100 m, sob grid de amostragem de 20 x 20 m, contemplando linhas e entrelinhas de plantio, sendo cada ponto de cruzamento da malha amostral georreferenciado, e levantada a sua resistência mecânica à penetração com auxílio de um penetrômetro de impacto na camada de 0-0,6 m, foi procedida coleta de amostra deformadas e indeformadas nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m para análises das seguintes variáveis: textura, argila dispersa em água, grau de floculação, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, Condutividade hidráulica, Capacidade de campo, Ponto de murcha permanente e Água disponível. Os dados de resistência foram submetidos à análise geoestatística com geração de semivariogramas e mapas de isolinhas. Os demais atributos seguiram o delineamento inteiramente casualizado, passando por análise de variância e teste Tukey ($p < 0,05$). A resistência mecânica do solo à penetração apresentou dependência espacial alta a muito alta tanto na linha e entrelinha de plantio, foram observados modelos esféricos, exponenciais e gaussianos, estando presentes também efeitos pepita puro. Os maiores valores de resistência à penetração foram observados nas entrelinhas, mais especificamente na área de terceiro corte, resultado que era aguardado, visto maior intensidade de tráfego. Maiores alcances foram observados na área de terceiro corte, com diminuição dos mesmos em profundidade. Os dados de textura, argila dispersa e grau de floculação não foram, em sua totalidade, alterados com o tempo de colheita, tomando-se os dados sem diferença significativa para posições e áreas coletadas. A densidade do solo apresentou valores maiores nas posições de entrelinha, com aumento da área de primeiro para a terceiro corte, em contraste, a macroporosidade teve decréscimo. As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas. O tráfego controlado foi eficiente no tocante a mitigação de efeitos negativos na linha de plantio, evitando aumento da resistência à penetração e alteração negativa na qualidade dos atributos físicos.

Palavras-chave: Geoestatística; *Saccharum officinarum* L.; Compactação

ABSTRACT

JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA. **Spatial variability of resistance to penetration in soil cultivated with sugarcane under mechanized harvesting with controlled traffic.** Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, february 2018. 71 p.il. Dissertation. Graduate program in Soil Science. Advisor: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

The cultivation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is one of the main activities of the primary sector in the northeast of Brazil. This crop always received high advances in technology, thus the harvesting way changed, being realized in the mechanized way. Despite the benefits of the mechanized harvesting, an intense trafficability of the sugarcane harvesters, can cause compaction by eminently changing the physical properties of the soil. The controlled traffic is being used increasingly as a way to mitigate the negative effects resulted from trafficability. Based on that, the objectives of the present study were: I) evaluate the spatial variability of soil mechanical resistance to penetration in areas cultivated with sugarcane under different times of mechanized cuttings with controlled traffic; II) evaluate the quality of physical properties of the soil in the first and third cuttings cultivated with sugarcane under mechanized harvesting with controlled traffic. The experiment was carried out at the Santa Emília II Farm, belonging to the Miriri Alimentos and Bioenergia S/A mill, located in the municipality of Rio Tinto (PB). Two commercial areas of sugarcane were selected, respectively, first (PC) and third (TC) mechanized cuttings under controlled traffic in a Alfisol. The samples collection were taken in plots of 100 x 100 m, under a sampling grid of 20 x 20 m, contemplating wheel tracks and planting row, each crossing point of the sampling grid were georeferenced, and measured the mechanical resistance to penetration with the aid of an impact penetrometer at the layer of 0-0.6 meter, the deformed and undisturbed sample collection was performed at the layers of 0-0.1 and 0.1-0.2 meters for analysis of the following variables: Texture, Dispersed clay in water, degree of flocculation, bulky bulk density, macroporosity, microporosity, total porosity, hydraulic conductivity, field capacity, permanent wilting point and available water. The resistance data were submitted to geostatistical analysis with generation of semivariograms and maps of isolines, the remaining variables were performed in a complete randomized scheme and were submitted to analysis of variance and the Tukey test ($p < 0.05$). The mechanical resistance of the soil to the penetration presented a high and very high spatial dependence in both, the wheel tracks and planting row, were observed spherical, exponential and Gaussian models, besides the presence of pure nugget effect. The highest values of resistance to penetration were observed between the planting row, more specifically in the third cutting area, a result that was expected, given the high intensity of traffic. Higher ranges were observed in the third cutting area, with a decrease in the depth. The data of texture, dispersed clay and flocculation degree were not, in their total, altered with the time of harvest, as data seen, without significant difference for the position and collected areas. The bulk density presented higher values in the wheel tracks position, with increase of the area from the first to the third cut, in contrast, the macroporosity had a decrease. The other variables did not present significant difference. Controlled traffic was efficient in mitigating negative effects in the planting row, avoiding the increase of resistance to penetration and negative changes in the quality of physical properties.

Key words: Geostatistics; *Saccharum officinarum* L.; Compact state

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das principais atividades do setor primário no Nordeste brasileiro. Instalada, em sua maior parte, nos tabuleiros costeiros, essa cultura sempre recebeu grandes avanços tecnológicos, sendo assim a forma de colheita mudou passando a ser realizada de modo mecanizado. A colheita mecanizada de cana-de-açúcar, proporciona grandes vantagens em relação à colheita manual, entre elas o maior aporte de matéria orgânica, menor emissão de fuligem, maior produtividade e menor custo.

Muito embora a colheita mecanizada traga benefícios e a mecanização agrícola represente um fator de grande importância para o planejamento rural e sem ela as produções em larga escala estariam comprometidas (Ereno, 2008), a intensa trafegabilidade das máquinas colhedoras de cana no campo pode causar compactação alterando eminentemente os atributos físicos do solo, promovendo mudanças na dinâmica de ar e água, pela alteração na porosidade do sistema, além de inferir na expansão da rizosfera, aumentando a resistência do solo à penetração, resultando em menor longevidade do canavial e, por consequência, na necessidade de renovação. De acordo com Silveira et al. (2010), a compactação está relacionada com a densidade, textura, matéria orgânica e, de forma mais específica, com a umidade do solo, podendo também ser afetada quando o solo apresenta coesão.

A coesão natural dos solos da região dos tabuleiros costeiros nordestinos, agrava o risco de compactação nas áreas colhidas com máquinas, Corrêa et al. (2008), discorre que a presença desses horizontes subsuperficiais endurecidos, reduz a profundidade efetiva do solo e o desenvolvimento do sistema radicular, afirmação justificada por serem muito duros e extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (Gomes; Filizola, 2006). Isso evidencia que a má utilização do solo, sem observação de faixas adequadas da umidade, culmina em agravamento da perda da qualidade dos atributos físicos, possibilitando a formação de camadas compactadas superficiais e zonas subsuperficiais adensadas.

Conhecendo os diversos fatores e agravantes da compactação impulsionada pela utilização de máquinas colhedoras, vem se utilizando, como forma de mitigar possíveis efeitos negativos no solo, o tráfego controlado. Essa prática consiste na trafegabilidade assistida por GPS, onde a máquina só passa por determinada rota em todos os ciclos, evitando a passagem integral no campo o que diminui riscos de compactação (Debiasi et al., 2008). Embora seja considerada eficaz para muitas culturas, essa prática na cana-de-açúcar

tem variáveis que a complicam, uma vez que há necessidade de o maquinário percorrer toda a área colhendo as fileiras. Assim, o estudo do tráfego controlado, quanto ao seu objetivo de evitar manobras e passagens desnecessárias no campo é de grande importância, buscando conhecer as reais vantagens da sua utilização para a cultura da cana e para o solo.

O conhecimento da variação de atributos no solo é importante para o levantamento e manejo do solo, planejamento e gerenciamento de práticas agrícolas (Souza et al., 2004A). Desta forma, como método de se quantificar a qualidade dos atributos físicos em campo, vem se utilizando a variabilidade espacial, a qual tem por objetivo correlacionar causas e efeitos a partir de séries históricas de dados e de sua distribuição espacial (Carvalho et al., 2002A). Assim, essa ferramenta é eficaz para a geração de informação quanto ao efeito e às consequências do tráfego de máquinas no campo e sobre o solo, corroborando para a melhora da qualidade dos atributos e da produtividade da cultura.

O trabalho está dividido em dois capítulos, sendo o primeiro sob a hipótese de que a colheita mecanizada influencia negativamente a variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração, porém a utilização de programa de controle de tráfego age conservando atributos nas linhas de plantio, limitando alteração nas entrelinhas. O segundo capítulo confere a hipótese que os atributos físicos do solo são alterados frente a utilização da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, mas o controle de tráfego atua conservando os mesmo na área de exploração das raízes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Panorama da cana-de-açúcar no Brasil

A produção da cana-de-açúcar no Brasil em 2014 apresentou números expressivos, ficando atrás apenas da já consolidada cultura da soja. Foram 737,1 milhões de toneladas produzidas, com área colhida de 10,4 milhões de hectares, colocando o País como o maior produtor da cultura no mundo. O setor gera mais de U\$ 8,7 bilhões de receita, a cultura da cana-de-açúcar é fonte de renda e emprego para boa parcela da população do campo, chegando a 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos. Segundo dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (ÚNICA), o Brasil produziu, na safra 14/15, 35,5 milhões de toneladas de açúcar e 28,4 milhões de m³ de etanol, situação que favorece a ampliação do cultivo com variedades melhoradas alavancando assim a produção de açúcar e etanol, e ranqueando o país como maior produtor mundial ajudando a aumentar o PIB e as

exportações, além de reduzir sua dependência da importação de petróleo (Bernardes, 1987; Albino et al., 2006; IBGE, 2014).

Com o advento cada vez maior da preocupação com o meio ambiente, a cultura da cana passou a receber relevante atenção por possibilitar a produção de biocombustível. De acordo com Abdala e Ribeiro (2011), nas últimas safras, 52% da produção de cana-de-açúcar destinou-se à produção de etanol, sendo essa fonte energética capaz de atender à crescente demanda mundial por energia renovável de baixo custo e de baixo poder poluente (Santos et al., 2012). Nesse contexto novas tecnologias estão surgindo como a produção de etanol a partir da palha da cana e de seu bagaço, com tendências crescentes de pesquisas relacionadas à produção a partir de subprodutos dessa cultura (Santos et al., 2014). Da produção de açúcar no Brasil 30% são destinados ao mercado interno e 70% para exportação (CONAB, 2014). De acordo com a Secex (Secretaria do Comércio Exterior) o país é responsável por aproximadamente 44% do total das exportações mundiais de açúcar, sendo Arábia Saudita, Rússia e Egito os maiores países importadores do açúcar brasileiro.

Dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) demonstram que, nos últimos dez anos a Paraíba vem se mantendo como o terceiro maior produtor de cana-de-açúcar dentre os Estados nordestinos, perdendo apenas para Pernambuco e Alagoas. Na safra 2014/2015, a área plantada na Paraíba foi de 130,6 mil hectares, com produção de 6.307,9 mil toneladas; na safra 2015/16, a produtividade média foi de 44.327 kg ha⁻¹, com uma produção de 5.532,5 mil toneladas; na safra 2016/17 a produtividade alcançou 44,014 kg ha⁻¹ e 4.856,6 mil toneladas produzidas; na última safra, ou seja, 2017/18, a produtividade média foi de 52.138 kg ha⁻¹ e 6.183,5 mil toneladas produzidas, 27,3% a mais que na safra anterior (CONAB, 2016; CONAB, 2017). Conforme Paixão e Fonseca (2011), a Paraíba é historicamente o terceiro maior produtor e foi o segundo maior exportador em 2010, levando destaque ainda a importância do etanol na pauta de exportação do Estado no período 2000-2010, ficando o etanol entre os seis produtos locais mais exportados. De acordo com a associação dos plantadores de cana-de-açúcar do estado da Paraíba (ASPLAN), a safra 2017/2018 assegurou mais de 40 mil empregos, superando a produção da safra anterior.

De acordo com Scopinho et al. (1999), na década de 1990 o setor sucroenergético brasileiro, em busca de alternativas que assegurassem sua competitividade no mercado, passou a voltar sua atenção para custos de produção e incrementos tecnológicos. Foi nesta conjuntura que se desenvolveu a utilização das colhedoras mecânicas nas lavouras de cana-de-açúcar no Brasil. Estima-se que em aproximadamente 40% da área de produção é utilizado o plantio mecanizado, sendo as operações semi-mecanizadas predominantes nas

demais áreas. O método totalmente manual está limitado a territórios pouco expressivos, de alta declividade, principalmente na região Nordeste (Braunbeck; Magalhães, 2010).

Durante o plantio da cana-de-açúcar, a sistematização da área é realizada com cultivo em uma ou duas linhas, onde a colhedora segue acompanhada do veículo de transbordo na linha adjacente, que possuem massa total de 20 a 30 toneladas; este tráfego pesado é repetido diversas vezes de acordo com os vários ciclos da cultura sob condições variáveis de umidade do solo acarretando elevada compactação dos solos, diminuindo a longevidade do canavial e obrigando o produtor a fazer renovação da área dentro de cinco anos (Braunack et al., 2006; Roque et al., 2010).

A partir do exposto, é verificado que a cultura tem cada vez mais notoriedade, pois pequenos, médios e grandes produtores a instalam em seus campos e pela ascendente escassez de mão-de-obra, adotam-se mais e mais tecnologias. Portanto, entender quais os impactos dessas tecnologias no ambiente se torna ponto-chave para a conservação e sustentabilidade do meio de produção.

2.2. Atributos físicos do solo influenciados pela colheita mecanizada

A maior causa de degradação dos atributos físicos do solo é a compactação, que por sua vez é ocasionada pelo tráfego de máquinas, visto que o tempo de permanência e a carga exercida pelo maquinário afeta a estrutura do solo (Mazurana, 2015). A compactação promove modificações na estrutura do solo, as quais são evidenciadas por alterações nos atributos do solo, como densidade do solo, resistência mecânica à penetração, porosidade total, porosidade de aeração, armazenagem e disponibilidade de água às plantas, consistência e máxima compactabilidade do solo, alterando o crescimento e a produtividade da cultura, além de ocasionar o aumento dos processos erosivos (Freddi et al., 2009).

A densidade do solo é um dos atributos de maior facilidade de alteração pelo pisoteio e tráfego intenso, aumento de forma significativa com a compactação. Segundo Souza et al. (2005), o aumento excessivo desse atributo tem por consequência diminuição do volume total de poros, da permeabilidade e da infiltração de água, além da ruptura dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração. Como referência, são consideradas, como ideais, densidades de 1,3 a 1,6 g cm⁻³ para solos arenosos, 0,9 a 1,1 g cm⁻³ para solos argilosos e 1,1 a 1,5 g cm⁻³ para solos siltosos. Dessa forma, quando o valor desse parâmetro está acima dos indicados, se torna crítico e pode indicar compactação na área (Hakansson; Voorhees, 1997). Cavalieri et al. (2011), em estudo averiguando qualidade de atributos físicos em área de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, verificaram valores

de densidade do solo em torno de 1,74 e 1,72 g cm⁻³, respectivamente, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm em Argissolo, Luca et al. (2008), verificaram valor de densidade de 1,70 g cm⁻³ para Argissolo sob colheita mecanizada. Esses trabalhos corroboram com a hipótese de que a utilização das máquinas no processo de colheita pode ocasionar a compactação e afetar o desenvolvimento radicular da cultura.

A textura é um atributo que demonstra a natureza granulométrica do solo, ou seja, quanto o mesmo detém de areia, silte e argila, podendo o mesmo ser alterado decorrente processo de degradação, como se verifica em condições de compactação (Gomes; Filizola, 2006). Esse atributo é indicador de manejo do solo, porque a partir do seu conhecimento, são indicadas ou não algumas práticas, visto que os solos, por possuírem diferentes quantidades de argila, têm também diferenciadas capacidades de retenção de água e por tanto deve-se obedecer às diferentes faixas de trabalhabilidade e capacidade de suporte com o objetivo de diminuir o risco de compactação (Ribeiro et al., 2003). Luca et al. (2008), em estudo de avaliação de atributos do solo sob colheita mecanizada, relataram que a textura é um atributo que pode determinar a dinâmica da matéria orgânica, ou seja, da palhada deixada pela colhedora e, por conseguinte, a estabilidade de agregados, sendo componente de extrema importância na determinação do manejo da colheita.

A porosidade é determinada como os espaços do solo que estão preenchidos por água e ar, e se divide em macroporosidade e microporosidade, os quais se diferenciam por seu diâmetro e capacidade de retenção de água. Em solo compactado, ou seja, com maior densidade do solo, ocorre diminuição da porosidade ou aumento da microporosidade, que tem por consequência um declínio na macroporosidade, provocando alterações na retenção de água, deste modo, pode-se inferir que esse atributo contribui para o diagnóstico da mecânica e movimento hídrico no solo (Flores et al., 2007; Souza et al., 2005). A colheita mecanizada de cana foi capaz de reduzir a porosidade para valores abaixo de 0,10 m³ m⁻³, sendo esse o valor mínimo para o desenvolvimento da cultura (Roque et al., 2010). Por outro lado, Souza et al. (2006A), afirmam que o tráfego de colhedoras reduz significativamente a porosidade do solo, com maior evidência na macroporosidade.

A curva de retenção representa a relação entre o teor de água e a energia (potencial matricial, em escala logarítmica) à qual ela está retida e, assim, sua disponibilidade para a cultura, que em solos compactados é menor (Silva; Cabeda, 2006), além de representar diminuição da circulação de oxigênio que é necessária a maioria dos sistemas radiculares dos vegetais e provocando declínio no desenvolvimento da cultura (Araújo et al., 2004; Beutler, 2002).

A permeabilidade do solo, atributo que demonstra a facilidade de penetração do mesmo, representando uma característica importante para o cultivo de qualquer cultura, por favorecer boa distribuição do sistema radícula. Ainda de acordo com Arshad et al. (1996), a resistência do solo à penetração aumenta com a compactação, sendo restritiva ao sistema radicular quando a mesma atinge de 2,0 a 4,0 MPa no plantio convencional, o qual é frequentemente utilizado na cana-de-açúcar. Em estudos de resistência mecânica de solo sob colheita mecanizada de cana, verificou-se valores de resistência em uma faixa que variou de 1,22 a 15,41 MPa, concluindo que a utilização da colhedora, se não for bem conduzida, se converte em grande problema ao desenvolvimento cultural (Carvalho et al., 2009).

A alteração em atributos do solo pode acarretar perdas consideráveis de produtividade, desta maneira, para a avaliação da influência da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, se faz necessário o conhecimento de como os atributos físicos se comportam, pois só assim poderá ser feita a correta manutenção de condições adequadas ao crescimento das plantas e a conservação da estrutura do solo, lançando-se mão de conhecimentos sobre o comportamento compressivo do solo e monitoramento das operações mecanizadas (Severiano et al., 2008; Silva et al., 2001).

2.3. Geoestatística e variabilidade espacial na avaliação de atributos do solo

Como o solo é um ambiente heterogêneo, espera-se que uma paisagem cultivada apresente diferenças dos seus atributos físicos, químicos e biológicos, corroborando com maior elasticidade da sua variabilidade, de tal forma que o tamanho da área a ser amostrada contribua para evidenciar sua heterogeneidade, definindo a variabilidade espacial dos seus atributos e as condições para o seu correto manejo (Carvalho et al., 2002B; Amaro Filho et al., 2007).

A origem da variabilidade dos atributos físicos do solo pode ser intrínseca ou extrínseca. A variabilidade intrínseca é resultado das próprias mudanças naturais devido aos fatores e processos de formação do solo, principalmente a do material de origem e relevo (Souza et al., 2006B). A variabilidade extrínseca é ocasionada por modificações no uso e manejo do solo, possuindo menos dependência espacial (Cambardella et al., 1994). Para um mesmo atributo do solo, as diferentes distribuições resultam das desigualdades no nível e na forma da sua variabilidade e esse conhecimento da distribuição de uma variável tem importantes consequências práticas, pois os métodos de análise são diferentes para dados que seguem diferentes distribuições de frequência.

Para avaliar a variabilidade dos atributos do solo, a geoestatística é a ferramenta indicada (Souza et al., 2009A), pois pode ser utilizada na avaliação e monitoramento de

propriedades e características de origem naturais ou antrópicas. Esta ferramenta possibilita uma visão com base na dependência espacial dos dados, o que permite a elaboração de mapas que irão evidenciar a distribuição desses atributos no campo, ainda, a análise geoestatística pode indicar alternativas para reduzir efeitos da variabilidade sobre a produção das culturas e aumentar a possibilidade de se estimar respostas em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles; Rey, 1994).

A quantificação da dependência espacial dos atributos do solo, pode ser realizada uma interpolação entre as observações, permitindo o mapeamento do atributo do solo dentro da área, em um método denominado krigagem, técnica que permite a estimativa de valores de forma não tendenciosa e com variância mínima (Gonçalves et al., 2001). O método de krigagem faz estimação de valores de atributos em pontos que não foram amostrados, a partir da dependência espacial em um grid de amostragem. Conforme citam Grego & Vieira (2005), a construção de mapas utilizando-se a krigagem é importante para a verificação e interpretação da variabilidade espacial, pois, com as informações visuais fornecidas pelos mapas, pode-se inferir para melhorias nos atributos analisados. Corroborando com o autor anteriormente citado, Souza et al. (2009B), relatam que os mapas de krigagem de distribuição dos atributos físicos por classe de ocorrência podem auxiliar os agricultores no manejo de descompactação de áreas.

A utilização da ferramenta variabilidade espacial já é amplamente empregada no estudo da cana-de-açúcar, abordando temáticas como atributos químicos em decorrência da aplicação de corretivos e fertilizantes e atributos físicos quanto a alterações ocasionadas pelo manejo. Estudo sobre a variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar, mostraram que a geoestatística é uma etapa para a instalação de uma agricultura de precisão sendo ponto chave para a determinação de sistemas de manejos (Corá et al., 2006). Souza et al. (2004B), avaliando a variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar, constataram que a variabilidade deve ser empregada visando minimizar os erros na amostragem e no manejo do solo.

O conhecimento da origem da variabilidade espacial fornece subsídios para o manejo adequado do solo, visto que possibilita a identificação de áreas que precisam manejos diferenciados.

3. LITERATURA CITADA

- ABDALA, K. O.; RIBEIRO, F. L. Análise dos impactos da competição pelo uso do solo no estado de Goiás durante o período 2000 a 2009 provenientes da expansão do complexo sucroalcooleiro. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v.65, p.373-400, dez. 2011.
- ALBINO, J. C.; CRESTE, S.; FIGUEIRA, A. Mapeamento genético da cana-de-açúcar. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, Natal, v.36, p.82-91, 2006.
- AMARO FILHO, J., NEGREIROS, R. D., ASSIS JÚNIOR, R. N., & MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, p.415-422, mar. 2007.
- ARAÚJO, M. A., TORMENA, C. A., & SILVA, A. D. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.337-345, mar/abr. 2004.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. IN: DORAN, J.W. & JONES, A. J., eds. *Methods for assessing soil quality*. 1. Ed. Madison: Soil Science Society of America. 1996. Cap. 7, p. 123-141.
- BERNARDES, M, S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P R. C.; FERRAZ, E. C.; LUCCHESI, A. A. *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: POTAFOS, 1987, Cap. 2, p.13-48.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I., & ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 829-834, mar. 2002.
- BRAUNACK, M. V.; ARVIDSSON, J.; HAKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil condition sand sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Tully: Soil and Tillage Research*, v.89, p.103-121, jul. 2006.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES P. S. G. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. (Org.) Bioetanol Cana-de-Açúcar, P&D para Produtividade e Sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010. Cap 12, p. 451-464.

CAMBARDELLA, C. A. ET AL. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America, Madison, v.58, p.1501-1511, jan. 1994.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, p.1151-1159, ago. 2002A.

CARVALHO, L.A.; M. NETO, V.J.; SILVA, L.F.; PEREIRA, J.G.; NUNES, W.A.G.A. & CHAVES, C.H.C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS. Agrarian, Dourados, v.1, p.7-22, out./dez. 2009.

CARVALHO, M. P.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v.24, p.1353-1361, 2002B.

CAVALIERI, K. M. V., CARVALHO, L. D., SILVA, A. D., LIBARDI, P. L., &TORMENA, C. A qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.35, p.1541-1550, jul. 2011.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Quarto Levantamento, safra 2013/2014. Brasília: CONAB, 19 p. 2014.

CONAB. Série histórica de área plantada: cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 12 nov. 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Safra 201/17 - Terceiro levantamento. Brasília, v.4, n.3, 2017.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, p.374-387, mai./ago. 2006.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p.297-313, 2008.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; Mazurana, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p.2629-2637, 2008.

ERENO, L.H.Z. Estudo comparativo entre a utilização real e a determinada pelo planejamento da mecanização agrícola em empresas rurais de soja e arroz. 2008. 103f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria. 2008.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; NETO, J. D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, p.356-362, jan. 2008.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em Sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 771-780, abri. 2007.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho: I. Características de planta, solo e índice S. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.33, n.4, p.793-803, 2009.

GOMES, M.A.F., FILIZOLA, H.F. Indicadores Físicos e Químicos de Qualidade de Solo de Interesse Agrícola. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente. 2006. Disponível em <

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Gomes_Filizola_indicadoresI D-
u1keja1HAN.pdf >. Acesso em: 4 out 2017.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.23, n.5, p.1149-57, 2001.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n. 2, p. 169-177, 2005.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. SOILCOMPACTION. IN: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: Lewis, 1997. Cap. 5, p.167-179.

IBGE. *Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes*. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 95p.

LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C. & MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.789-800, 2008.

MAZURANA, M. Parâmetros de capacidade de suporte de carga em solos com diferentes anos de adoção do sistema de plantio direto. 2015. 123 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. *Agronomía Tropical*, Maracay, v.44, n.1, p.41-65, 1994.

PAIXÃO, M. C. S.; FONSECA, M. B. A produção de etanol de cana no Estado da Paraíba: alternativas de Sustentabilidade. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, v.1, p.171-184, jul./dez. 2011.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. DA; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. (eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, 2003. p.165-208.

ROQUE, A. A. D. O., SOUZA, Z. M. D., BARBOSA, R. S., & SOUZA, G. S. D. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.45, p.744-750, jul. 2010.

SANTOS, F. A., QUEIRÓZ, J. D., COLODETTE, J. L., FERNANDES, S. A., GUIMARÃES, V. M., & REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. Química Nova, v.35, p.1004-1010, jan. 2012.

SANTOS, F. A., QUEIROZ, J. D., COLODETTE, J. L., MANFREDI, M., QUEIROZ, M. E. L. R., CALDAS, C. S., & SOARES, F. E. Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de etanol celulósico. Química Nova, v.37, p.56-62, ago. 2014.

SCOPINHO, R. A., EID, F., FREITAS VIAN, C. E., & SILVA, P. R. C. Novas tecnologias e saúde do trabalhador: a mecanização do corte da cana-de-açúcar. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.15, p.147-161, jan./mar.1999.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; OLIVEIRA, L.F.C. & CASTRO, M.B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, n.4, p.1419-1427, 2008.

SILVA, A.J.N. DA; CABEDA, M.S.V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.30, p.921-930, 2006.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, p.831-840, maio. 2001.

SILVEIRA, D. DE C.; MELO FILHO, J. F. DE; SACRAMENTO, J. A. A. S. DO; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira Ciência Solo*, Viçosa, vol.34, p.659-667, 2010.

SOUZA, E. D., CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, p.1135-1139, nov. 2005.

SOUZA, Z. M. DE; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the areas with variation in landscape shapes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v.52, p.305-316, mar./abril. 2009A.

SOUZA, Z.M. DE; MARQUES JÚNIOR, J.; COOPER, M.; PEREIRA, G.T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.41, n. 3, p.487-492, mar. 2006A.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria. v.34, p.1763-1771, nov./dez. 2004A.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, p.48-56, out. 2009B.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.63, p. 161-168, mar./abril. 2006B.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Irriga*, Botucatu v. 09, p. 1-11, 2004B.

CAPÍTULO I

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA COMPACTAÇÃO EM ÁREAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR SOB COLHEITA MECANIZADA COM TRÁFEGO CONTROLADO**

RESUMO

JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA. **Variabilidade espacial da compactação em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado.** Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2018. Cap. I. 20 p.il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

Com este trabalho objetivou-se de avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes tempos de cortes mecanizados com tráfego controlado. O trabalho foi conduzido em um Argissolo Acinzentado sob áreas de primeiro e terceiro corte mecanizado de cana-de-açúcar, localizadas na Fazenda Santa Emília II ($6^{\circ} 50' 31,84''$ S e $34^{\circ} 58' 48,32''$ W), pertencente à Usina Miriri Bioenergia e Alimentos S/A, município de Rio Tinto (PB). Foi adotada uma malha amostral de 20 x 20 m, com pontos em linha e entrelinha de plantio em ambas áreas, totalizando 100 pontos georreferenciados, em parcelas de 1,0 ha. Realizou-se determinação de resistência mecânica do solo à penetração com auxílio de um penetrômetro de impacto na camada de 0 a 0,6 m. A variabilidade da resistência foi avaliada pela estatística descritiva e a dependência espacial por meio da geoestatística. A resistência mecânica apresentou efeito pepita puro nas camadas de 0-0,1 e 0,2-0,3 m na entrelinha, 0,3-0,4 m na linha de primeiro corte. Observou-se modelo gaussiano apenas na área de terceiro corte, enquanto os modelos esféricos e exponenciais se apresentaram em ambas áreas. O avaliador de dependência espacial, foi classificado como muito alto, com alcance médio de 27,00 m para a área de primeiro e 49,00 m para a área de terceiro corte. O tráfego controlado se mostrou eficiente demonstrando menores resistências nas linhas de ambas áreas e a dependência espacial se mostrou muito forte e com alcances maiores na área de terceiro corte.

Palavras-chave: Geoestatística; Grid de amostragem; Argissolo acinzentado; Trafegabilidade; *Saccharum officinarum* L.

ABSTRACT

JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA. **Spatial variability of compaction state in areas cultivated with sugarcane under mechanized harvesting with controlled traffic.** Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, February 2017. Cap. I. 20 p.il. Dissertation. Graduate program in Soil Science. Advisor: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

The present study aimed to evaluate the spatial variability of soil mechanical resistance to penetration in areas cultivated with sugarcane under different times of mechanized cuttings with controlled traffic. The study was carried out in a Alfisol under areas of first and third mechanized cutting of sugarcane, located at the Santa Emília II farm ($6^{\circ} 50' 31.84''$ S and $34^{\circ} 58' 48.32''$ W), belonging to the Miriri Bioenergia and Alimentos S/A mill, municipality of Rio Tinto (Paraíba). A sampling grid of 20 x 20 meters, with points in the wheel tracks and planting row, in both areas was used, totaling 100 georeferenced points, in plots of 1.0 ha, mechanical soil resistance to penetration was measured with the aid of an impact penetrometer in the layers of 0-0.6 meters. The resistance variability was evaluated by descriptive statistics and spatial dependence by geostatistics means. The mechanical resistance presented pure nugget effect at layer of 0-0.1 and 0.2-0.3 meters in the wheel tracks and 0.3-0.4 meters in the planting row of the first line. A Gaussian model was observed only in the third cutting area, while the spherical and exponential models was presented in both areas. The spatial dependence evaluator was classified as very high, with an average range of 27.00 meters for the first area and 49.00 meters for the third cuttings. The controlled traffic was efficient, presenting lower resistance values in the planting row of both areas, the spatial dependence was very strong and with higher reaches in the third cutting area.

Key words: Geostatistic; Sampling grid; Alfisol; Trafficability; *Saccharum officinarum* L.

1. INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar do Brasil é uma das maiores do mundo, se estabelecendo como uma das principais atividades do setor primário no país. No nordeste brasileiro, a Paraíba se destaca na terceira posição em produção total de cana, sendo cultivados 125 mil hectares com produção de mais de 6 milhões de toneladas na safra 2017/2018 (CONAB, 2017), gerando milhares de empregos diretos e indiretos, seja pela comercialização de açúcar e álcool dentro do País ou pelas exportações. Esses fatos agregam à cultura uma importância ímpar e como forma de melhorar as produtividades e diminuir os custos do cultivo, são lançados vários pacotes tecnológicos como variedades melhoradas, formas e manejos de plantio por mudas, uso de fertirrigação, dentre outros, não podendo se excetuar a utilização cada vez maior de máquinas colhedoras no campo.

A colheita mecanizada de cana crua se estabelece como forma de evitar a despilha a fogo, a qual provoca diminuição de matéria orgânica no solo, emissão de fuligem para centros urbanos circunvizinhos às áreas de produção, embora diminua de forma significativa o custo operacional da colheita e os encargos sociais (Souza et al., 2005). Porém, há desvantagens na utilização da colheita mecanizada, as quais se caracterizam na alteração de atributos físicos do solo e, por consequência, na sua qualidade, causada pela trafegabilidade de máquinas colhedoras e tratores transbordos, que chegam a pesar até 20 toneladas, com intenso número de operações mecanizadas em toda a área de cultivo (Souza et al., 2012). A intensidade da mecanização modifica atributos como densidade do solo, porosidade, retenção de água, possibilitando o aparecimento de camadas compactadas, levando à redução da produtividade cada vez maiores para a cultura.

Para tentar mitigar o efeito negativo do tráfego de máquinas na cultura da cana principalmente na colheita da cana, vem se tornando crescente o uso do controle do tráfego, o qual se baseia na premissa de que os pneus das máquinas só trafeguem em um determinado espaço físico do solo na entrelinha, diminuindo a influência nos atributos físicos do solo para as linhas de plantio e, por consequência, na área de exploração das raízes da cultura, favorecendo a menor aparição de camadas compactadas com maior resistência à penetração no solo (Oliveira Filho et al., 2016; Roque et al., 2010). Portanto, torna-se necessária a avaliação do manejo de controle de tráfego em relação aos atributos físicos, permitindo verificar a eficiência, analisando comportamento da resistência do solo à penetração das raízes em toda a área de cultivo. Para isto, estão sendo aplicados estudos de variabilidade espacial para mapeamento dos atributos em linha e entrelinha da cultura, orientando manejos mais adequados e ajustes no procedimento de tráfego controlado.

A variabilidade espacial é uma importante ferramenta para se entender o comportamento dos atributos do solo, oferecendo explicações de como variáveis químicas, físicas e biológicas influenciam a produtividade da cultura. Sendo premissa da agricultura de precisão, a dependência espacial possibilita analisar o campo de cultivo de forma segmentada, mostrando em cada espaço físico do solo a interação dos seus componentes, favorecendo orientações para manejos mais adequados (Barbirei et al., 2008; Sanchez et al., 2009). Os atributos físicos do solo possuem menor variabilidade espacial comparados aos químicos (Cavalcante et al., 2007), pois são mais influenciados pela gênese do solo, apresentando, portanto, alterações e variabilidade mais significantes ao longo do tempo. Atributos como densidade do solo, porosidade e retenção de água podem ser mais afetados com manejos inadequados, como é o caso da tráfegabilidade ocasionando a compactação, tornando a variabilidade espacial uma ferramenta para analisar como a passagem de máquinas influencia nas linhas e entrelinhas de plantios das culturas e como afetam suas produções.

Portanto, objetivou-se com esse trabalho avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em áreas de primeiro corte (PC) e terceiro corte (TC) mecanizado de cana-de-açúcar, localizadas na Fazenda Santa Emília II, localizada sob coordenadas 6° 50' 31.84" S e 34° 58' 48.32" W, altitude média de 48 m, relevo plano, pertencente à Usina Miriri Bioenergia e Alimentos S/A, situada no município de Rio Tinto (PB). O município encontra-se na mesorregião da Zona da Mata Paraibana, com clima, segundo classificação de Köppen, As (tropical chuvoso com verão seco), precipitação média de 1600 mm anuais e temperatura média anual de 26 °C (Souza et al., 2007).

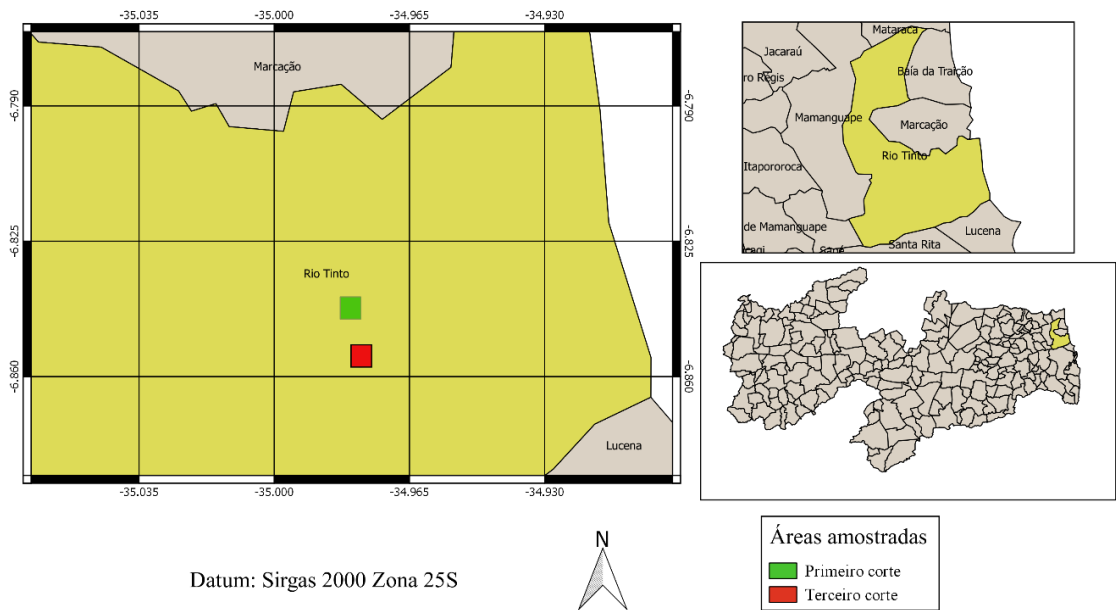


Figura 1. Localização de área do experimento.

O solo estudado foi o Argissolo Acinzentado, de texturas arenosa e areia franca, possuindo em média 900 g kg^{-1} de areia. Foram selecionadas duas áreas com, respectivamente, 1 e 3 anos de plantio, distantes 1,4 km entre si. Na implantação, foram realizadas correções de solo com 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico aplicado a lanço, incorporados com grade niveladora. No sulcamento foi realizada adubação de fundação com $135,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 e $28,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N e adubações de cobertura com 12 eventos anuais de fertirrigação totalizando $444,02 \text{ kg}$ de K_2O , $829,60 \text{ kg}$ de N, $379,00 \text{ kg}$ de Mg e $44,80 \text{ kg}$ de P_2O_5 , repetindo-se correções e adubações anualmente com os ciclos de cultivo. Na área PC a variedade de cana utilizada foi a RB 93509 e em TC a RB 92579. As determinações foram realizadas após 3 meses de realização da colheita da cana, em janeiro de 2017. O corte foi realizado pela colhedora da marca John Deere, modelo 3522, utilizando piloto automático da mesma marca, sob tráfego controlado pelo sistema Apex®.

Tabela 1. Composição textural da camada de 0-0,1 e 0,1-0,2 m de Argissolo Acinzentado cultivado com cana-de-açúcar com colheita mecanizada sob tráfego controlado nas linhas e entrelinhas de áreas de primeiro e terceiro corte.

Posição	Classe Textural						Classificação Textural	
	Areia		Silte		Argila		0-0,1	0,1-0,2
	----- g kg ⁻¹ -----							
Camada (m)								
	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2
<u>Primeiro Corte</u>								
Linha	918	928	23	21	59	51	Areia	Areia
Entrelinha	933	919	31	15	36	66	Areia	Areia
<u>Terceiro corte</u>								
Linha	879	889	9	26	112	85	Areia Franca	Areia
Entrelinha	870	873	16	13	114	114	Areia Franca	Areia Franca

As determinações seguiram em parcelas de 100 x 100 m, perfazendo 1,00 hectare por área, em cultivos sistematizados para colheita mecanizada, com linhas de plantio em fileiras duplas no espaçamento de 0,80 x 1,60 m. Os perímetros das parcelas foram obtidos através de levantamento com GPS portátil eTrex® 20x da Garmin. Para a amostragem foi adotada uma malha regular no espaçamento 20 x 20 m, com pontos em linha e entrelinha de plantio em ambas áreas, totalizando 100 pontos, nos quais foram realizados levantamentos de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) na camada de 0-0,6 m, sendo georreferenciados, adotando uma variabilidade espacial (Figura 2), em cada parcela foram coletadas amostras deformadas em sacolas plásticas nas camadas 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4, 0,4-0,5 e 0,5-0,6 m para análise de umidade conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

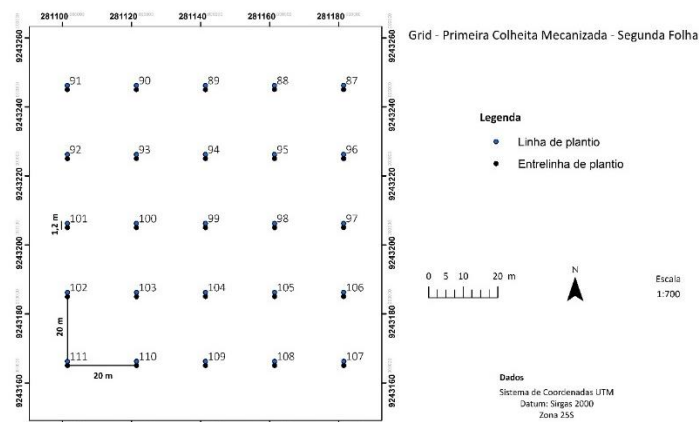


Figura 2. Malha regular de amostragem na primeira e terceira colheita mecanizada sob tráfego controlado em áreas de primeiro e terceiro corte.

A RMSP foi determinada com o auxílio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planausucar-Stolf (Stolf et al., 1983), sendo a transformação de penetração na unidade de cm impacto^{-1} para MPa, ou seja, resistência à penetração procedida de acordo com Stolf (1991):

$$\text{RMPS} = \left[\frac{\text{Mg} + \text{mg} + \left(\frac{\text{M}}{\text{M} + \text{m}} \times \frac{\text{Mg} \times \text{h}}{\text{X}} \right)}{\text{A}} \right] \times 0,098 \quad (1)$$

em que, RMSP - resistência mecânica do solo à penetração; M - massa do êmbolo, 4,03 kg; g - aceleração da gravidade $9,8 \text{ m s}^{-2}$; m - massa do aparelho excetuando o êmbolo, 3,24 kg; h - altura percorrida pelo êmbolo, 0,56 m; x - penetração do cone no solo, cm/impacto; A = Área basal do cone (m^2).

A variabilidade da RMSP foi avaliada, inicialmente, pela análise de sua estatística descritiva, obtendo-se por meio do software IBM SPSS Statistics versão 24.0 (Kranzler, 2011), os valores de média, mediana, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. A dependência espacial foi avaliada por meio da geoestatística, com base no cálculo da semivariância e semivariogramas experimentais com ajustes fundamentados na pressuposição da estacionariedade da hipótese intrínseca (Vieira, 2000), sendo os mesmos obtidos pelo software Gamma Design Software 7.0 trial (GS⁺, 2004). O ajuste dos semivariogramas foi efetuado buscando-se menor soma de quadrado de resíduo (SQR) e maior avaliador de dependência espacial (ADE), sendo então possível determinar os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance (A_0). Seguindo metodologia de Cambardella et al. (1994), modificado por GS⁺ (2004), foi avaliada a dependência espacial conforme a expressão:

$$\text{ADE} = \left[\frac{C}{C + C_0} \right] \times 100 \quad (2)$$

em que, ADE - avaliador de dependência espacial; C - variância estrutural; C + C_0 - patamar.

A interpolação dos dados foi processada pelo método da krigagem, possibilitando a produção dos mapas de isolinhas pelo software Surfer 14 trial (GOLDEN SOFTWARE, 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva para a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), nas posições de linha e entrelinha de plantio, das áreas de primeiro (PC) e terceiro corte (TC) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística descritiva para a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em perfis de solo de áreas sob diferentes tempos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada.

Medidas estatísticas	RMSP (MPa)											
	Entrelinha						Linha					
	<u>Camada (m)</u>											
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6
	<u>Primeiro Corte</u>											
Média	0,48	1,47	2,02	2,00	1,59	1,44	0,31	0,95	1,61	1,84	1,82	1,59
Mediana	0,47	1,35	1,90	1,94	1,57	1,35	0,25	0,94	1,57	1,87	1,72	1,57
Mínimo	0,25	0,87	1,21	1,13	0,98	1,13	0,26	0,26	0,55	1,13	1,24	1,13
Máximo	0,91	2,67	3,04	2,89	2,23	2,45	0,51	1,69	2,67	2,67	2,53	2,23
Quartil inferior	0,38	1,15	1,77	1,75	1,38	1,22	0,25	0,57	1,25	1,57	1,48	1,33
Quartil superior	0,55	1,69	2,29	2,23	1,75	1,57	0,35	1,21	2,01	2,05	2,12	1,83
Variância	0,01	0,23	0,22	0,18	0,08	0,09	0,01	0,16	0,24	0,16	0,14	0,09
Desvio padrão	0,13	0,48	0,46	0,42	0,29	0,30	0,08	0,40	0,48	0,39	0,37	0,30
Curtose	2,82	0,89	0,05	0,07	0,38	3,84	0,95	-1,02	0,16	-0,20	-0,7	-0,39
CV (%)	26,99	32,48	22,97	21,00	18,23	21,16	26,34	42,24	30,11	21,65	20,46	18,94
Assimetria	1,18	1,13	0,40	0,26	0,23	1,64	1,41	0,22	0,25	0,34	0,42	0,45
Shapiro & Wilk	0,07	0,01	0,51	0,56	0,93	0,00	0,00	0,18	0,83	0,66	0,26	0,44
	<u>Terceiro Corte</u>											
Média	1,46	2,26	2,27	1,79	1,49	1,43	0,53	1,08	1,43	1,41	1,39	1,40
Mediana	1,35	2,41	2,09	1,84	1,55	1,46	0,44	1,06	1,41	1,54	1,35	1,46
Mínimo	0,33	1,17	1,28	1,28	1,01	0,88	0,26	0,26	0,55	0,77	1,05	0,93
Máximo	2,92	3,11	5,13	2,36	1,90	2,16	1,75	2,19	2,89	1,87	1,94	1,87
Quartil inferior	1,13	1,79	1,89	1,57	1,24	1,22	0,26	0,58	0,86	1,11	1,21	1,12
Quartil superior	1,81	2,71	2,67	1,99	1,70	1,57	0,71	1,42	1,71	1,65	1,57	1,62
Variância	0,37	0,37	0,54	0,07	0,07	0,08	0,12	0,33	0,33	0,12	0,05	0,08
Desvio padrão	0,61	0,61	0,73	0,28	0,26	0,28	0,35	0,58	0,57	0,34	0,24	0,28
Curtose	0,21	-0,78	9,29	-0,55	-0,94	0,87	4,99	1,43	0,25	-0,92	-0,60	-1,16
CV (%)	41,46	26,98	32,19	15,68	17,34	19,69	66,08	53,53	39,88	24,07	17,21	20,54
Assimetria	0,11	-0,54	2,47	-0,06	-0,15	0,47	1,86	0,43	0,49	-0,46	0,37	0,03
Shapiro & Wilk	0,75	0,07	0,00	0,86	0,25	0,47	0,00	0,14	0,39	0,07	0,35	0,17

Observou-se que os valores máximos estiveram bem acima daqueles encontrados no quartil superior, porém não houve filtragem dos dados, pois a RMSP tem como característica

apresentar-se com picos elevados de forma pontual no campo, dessa forma são esperados valores altos, perturbando a distribuição da variável (Silveira et al., 2010). As médias foram sempre menores nos primeiros 0,1 m do solo, região com maior atividade macro e microbiológica além de maior teor de matéria orgânica. O aumento de RMSP até os 0,3 m, tendência vista para as posições de linha e entrelinha nas duas áreas amostradas, corroboram com Campos et al. (2013), que avaliaram a resistência à penetração em solo cultivado com cana-de-açúcar e com Marasca et al. (2011), que verificaram o mesmo comportamento sob cultivo de soja. A RMSP na linha apresentou menores valores que àqueles da entrelinha, constatando-se ainda que a área PC possuiu menor resistência nas duas posições, comparada a TC.

Os valores de média e mediana apresentaram grandezas próximas, tendendo a semelhança, condição que indica distribuição normal na maior parte dos resultados encontrados, como pode ser constatado com o teste de Shapiro & Wilk ($p < 0,05$), além de os valores de assimetria serem próximos a zero, embora tenham ocorrido distribuições que não seguiram a normalidade estatística, esses resultados corroboram com afirmações de Santos et al. (2012), Oliveira et al. (2013) e Tavares et al. (2012). Mesmo a normalidade dos dados não sendo premissa para a análise de variabilidade espacial, se preconiza que não sejam verificadas caldas alongadas na curva de distribuição, ou seja, elevada assimetria (Gonçalves et al., 2001). Desta maneira, se observa que os dados encontrados estão adequados à aplicação da geoestatística.

A maior parte dos resultados encontrados para curtose, coeficiente que indica o grau de achatamento da distribuição, apresentaram valores menores que 2,63, condição que indica sua classificação em leptocúrtica ou alongada (Coelho et al., 2012), de onde se infere que os dados têm menor variação e como não foram altos, estão próximos à distribuição normal. Valores similares para curtose do atributo RMSP foram encontrados por Carvalho et al. (2008), além de Mion et al. (2012), trabalhando com um Argissolo similar ao do presente estudo, confirmando que os dados estão de acordo aos encontrados na literatura.

Como primeira forma de visualização da heterogeneidade dos dados, se observa a estimativa da variância de acordo com o coeficiente de variação (CV). Por tanto, de acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980), a RMSP nas diferentes posições, profundidades e áreas, apresentaram CV médio entre 12 e 60%, com exceção da posição de linha da terceiro corte na camada de 0-0,1 m, o qual foi classificado como alto, indicando alta variação dos dados em relação à média, condição que corrobora com Coelho et al. (2012), que encontraram coeficientes similares, porém inferiores aos verificados por Silveira et al. (2010), os quais obtiveram valores maiores aos da presente pesquisa.

Esses resultados embasam a assertiva que a trafegabilidade de máquinas influenciou nos primeiros 0,4 m do perfil, além de mostrar que o controle de tráfego foi eficiente ao manter a posição de linha de plantio com menores RMSP, mesmo após três ciclos de colheita, podendo-se mencionar que na camada de 0,3 a 0,6 m se verificou uma tendência de similaridade entre as médias das posições de linha e entrelinha, nas áreas PC e TC, sendo possível afirmar que nessa camada apenas características intrínsecas do solo e a umidade são promotoras do resultado encontrado. Levando-se em consideração que, de acordo com Camargo e Alleoni (1997), a RMSP acima de 2,5 MPa começa a ser considerada restritiva ao desenvolvimento radicular e que Sene et al. (1985), mencionam que para solos arenosos, similar ao desta pesquisa, a penetração de raízes é dificultada quando se observam valores críticos de 6,0 a 7,0 MPa, além de considerar que no momento do levantamento da RMSP, o solo se encontrava com umidade abaixo da capacidade de campo, tanto na área PC e TC (Tabela 3), constatou-se que não foram verificadas camadas compactadas.

Tabela 3. Valores de umidade gravimétrica encontrada no perfil do solo para duas áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob tráfego controlado.

Camada (m)	Umidade gravimétrica	
	Linha	Entrelinha
	----- kg kg ⁻¹ -----	
	<u>Primeiro Corte</u>	
0-0,1	0,03	0,03
0,1-0,2	0,02	0,03
0,2-0,3	0,03	0,02
0,3-0,4	0,04	0,03
0,4-0,5	0,04	0,03
0,5-0,6	0,05	0,04
	<u>Terceiro Corte</u>	
0-0,1	0,06	0,06
0,1-0,2	0,07	0,06
0,2-0,3	0,06	0,07
0,3-0,4	0,07	0,08
0,4-0,5	0,07	0,08
0,5-0,6	0,08	0,09

A partir dos semivariogramas ajustados para as diferentes profundidades das posições de linha e entrelinha de plantio nas áreas PC e TC (Figuras 3 e 4), foi possível verificar que a RMSP apresentou dependência espacial em todas as camadas, posições e áreas amostradas, com exceções para as camadas de 0-0,1, 0,2-0,3 m, da entrelinha, e 0,3-0,4 m na linha de PC, que apresentaram efeito pepita puro.

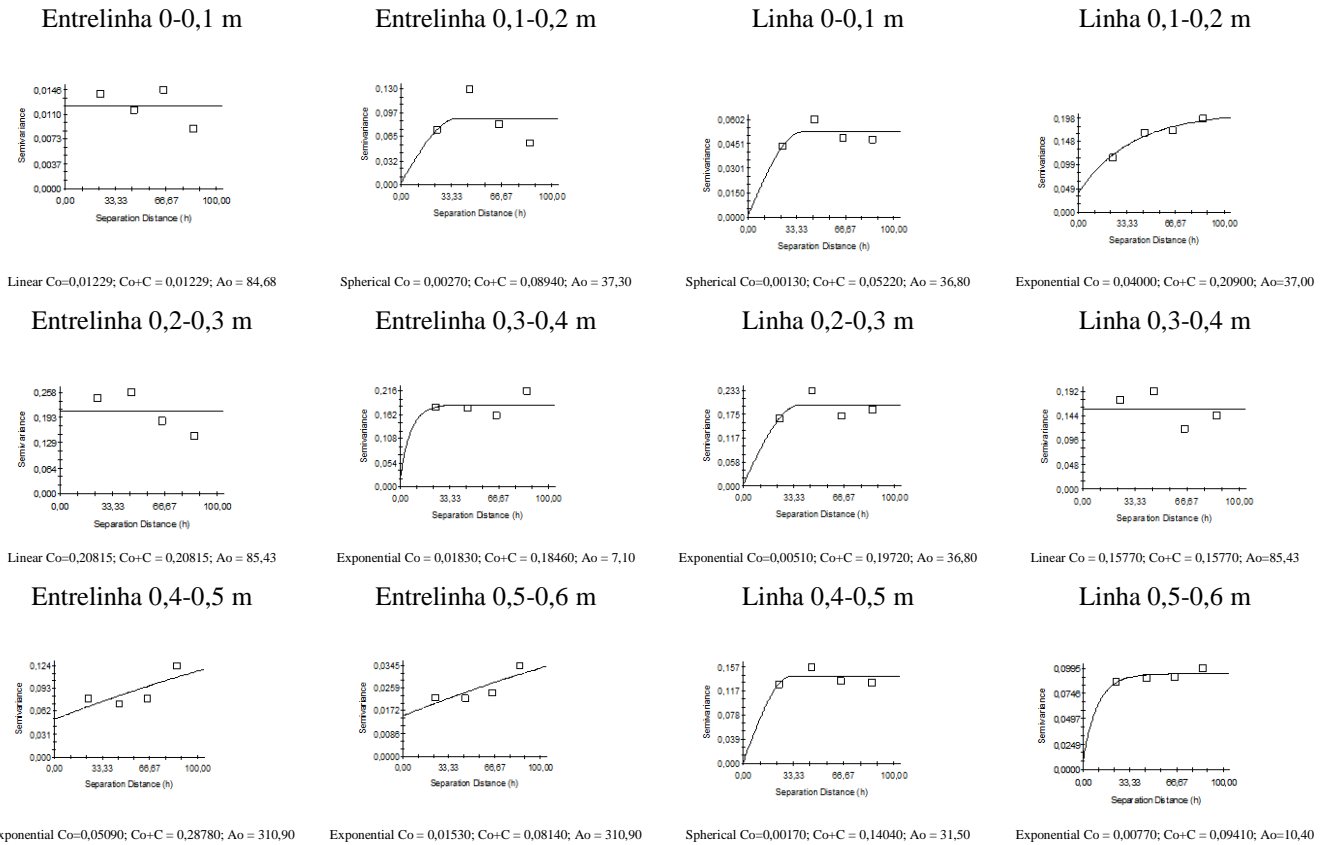


Figura 3. Semivariogramas da resistência mecânica à penetração em Argissolo Acinzentado, em posições de linha e entrelinha na área de primeiro corte (PC) de cana-de-açúcar colhida de forma mecanizada.

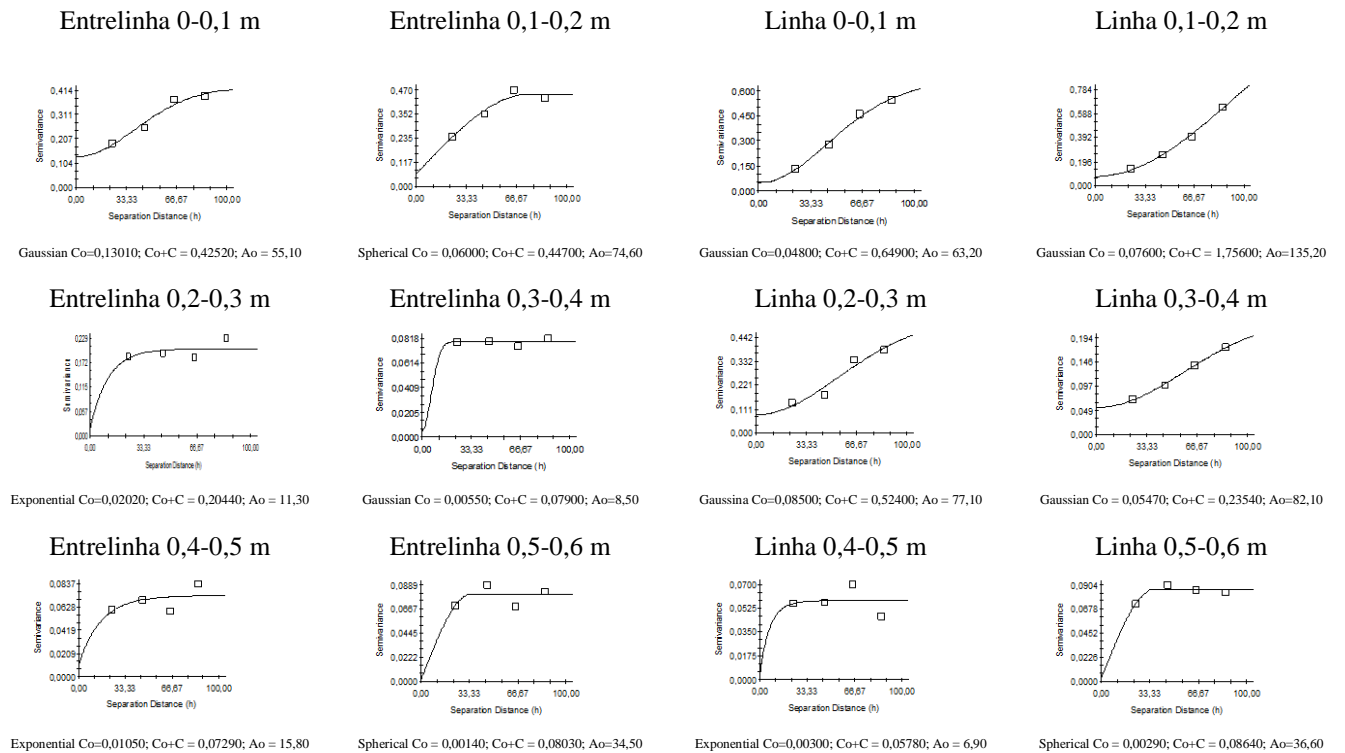


Figura 4. Semivariogramas da resistência mecânica à penetração em Argissolo Acinzentado, em posições de linha e entrelinha na área de terceiro corte (TC) de cana-de-açúcar colhida de forma mecanizada.

Na área PC, foram observados modelos esféricos de ajuste para os semivariogramas para a camada 0,1-0,2 m da entrelinha de PC, 0-0,1, 0,2-0,3 e 0,4-0,5 m de linha, o modelo exponencial foi verificado na camada de 0,3-0,6 m da entrelinha e em 0,1-0,2 e 0,5-0,6 m da linha.

Em TC, foi observado modelo esférico na camada 0,1-0,2 e 0,5-0,6 m da entrelinha e em 0,5-0,6 m da linha, o modelo exponencial foi verificado nas camadas 0,2-0,3 e 0,4-0,5 m da entrelinha e em 0,4-0,5 da linha, e o modelo Gaussiano na camada de 0-0,1 e 0,3-0,4 m da entrelinha e em 0-0,4 m da linha. Portanto, os modelos esféricos e exponenciais foram os mais recorrentes, condição que corrobora com Souza et al. (2001), ao afirmar que esses são os modelos de maior ocorrência para os atributos do solo.

O efeito pepita puro, ou seja, patamares não definidos, encontrados nos semivariogramas das camadas de 0-0,1 e 0,2-0,3 m da entrelinha, assim como em 0,3-0,4 m da linha de PC, melhor ajustados a modelos lineares, indicaram que o grid amostral não foi sensível à detecção de dependência nessas camadas do perfil, havendo uma variabilidade aleatória, impedindo a confecção de mapas para essas condições.

Os parâmetros dos semivariogramas ajustados se encontram na Tabela 4. A partir deles pode-se, conforme Dalchiavon & Carvalho (2012), realizar a interpretação do avaliador de dependência espacial (ADE), constatando que diferente da camada de 0-0,1 m na entrelinha e 0,3-0,4 m na linha do terceiro corte, que apresentaram alta dependência, as demais camadas nas posições de linha e entrelinha das diferentes áreas apresentaram ADE muito alto, fato que indica maior continuidade do fenômeno, variância estimada e confiabilidade da estimativa (Bottega et al., 2013). Os dados corroboram aos encontrados por Dalchiavon et al. (2014), para um Argissolo Vermelho eutrófico, para o qual encontraram dependência muito alta para RMSP, similar ao presente trabalho. O mesmo foi verificado por Mion et al. (2012), avaliando ADE de Argissolo Amarelo de textura arenosa em diferentes profundidades.

Tabela 4. Parâmetros ajustados aos semivariogramas da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em perfis de um Argissolo Acinzentado de áreas com diferentes tempos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado.

Parâmetros	Posição											
	Entrelinha					Linha						
	<u>Camadas (m)</u>											
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6
	<u>Primeiro corte</u>											
Modelo	EPP	Esf	EPP	Exp	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	EPP	Esf	Exp
Efeito Pepita (Co)	-	0,00270	-	0,01830	0,05090	0,01530	0,00130	0,04000	0,00510	-	0,00170	0,00770
Patamar (Co+C)	-	0,08940	-	0,18460	0,28780	0,08140	0,05220	0,20900	0,19720	-	0,14040	0,09410
Variância (C)	-	0,08670	-	0,16630	0,23690	0,06610	0,05090	0,16900	0,19210	-	0,13870	0,08271
Alcance (Ao)	-	37,30	-	7,10	310,90	310,90	36,80	37,00	36,80	-	31,50	10,40
SQR ⁽²⁾	-	0,00273	-	0,00166	0,00076	0,00003	0,00009	0,00017	0,00206	-	0,00038	0,00004
ADE ⁽³⁾	-	97,00	-	90,10	82,30	81,20	97,50	80,90	97,40	-	99,10	98,00
Classe	-	M. Alta	-	M. Alta	M. Alta	-	M. Alta	M. Alta	M. Alta	-	M. Alta	M. Alta
	<u>Terceiro corte</u>											
Modelo	Gau	Esf	Exp	Gau	Exp	Esf	Gau	Gau	Gau	Gau	Exp	Esf
Efeito Pepita (Co)	0,13010	0,06000	0,02020	0,00550	0,01050	0,00140	0,04800	0,07600	0,08500	0,05470	0,00300	0,00290
Patamar (Co+C)	0,42520	0,44700	0,20440	0,07900	0,07290	0,08030	0,64900	1,75600	0,52400	0,23540	0,05780	0,08640
Variância (C)	0,29510	0,38700	0,18420	0,07350	0,06240	0,07890	0,60100	1,68000	0,43990	0,18070	0,05480	0,08350
Alcance (a)	55,10	74,60	11,30	8,50	15,80	34,50	63,20	135,20	77,10	82,10	6,90	36,60
SQR ⁽²⁾	0,00107	0,00158	0,00109	0,00002	0,00028	0,00020	0,00069	0,00102	0,00233	0,00002	0,00027	0,00002
ADE ⁽³⁾	69,40	86,60	90,10	93,00	85,60	98,30	92,60	95,70	83,80	76,80	94,80	96,60
Classe	Alta	M. Alta	M. Alta	M. Alta	M. Alta	M. Alta	M. Alta	M. Alta	M. Alta	Alta	M. Alta	M. Alta

EPP - Efeito pepita puro; Esf - Modelo esférico; Exp - Modelo exponencial; Gau - Modelo gaussiano; SQR - Soma de quadrado do resíduo; ADE - Avaliador de dependência espacial.

O alcance é o parâmetro que mostra qual a distância máxima onde há correlação espacial. Foi visto que na entrelinha de PC, o alcance apresentou maiores valores na camada de 0,4-0,6 m, enquanto na linha de PC se mostrou constante até a profundidade de 0,3 m com valores em torno de 37 m havendo diminuição em maior profundidade. Na entrelinha de TC foram verificados maiores alcances na camada 0-0,2 m com diminuição em camadas inferiores, na linha de TC foi verificada a tendência de maiores alcances em superfícies, até 0,4 m, com subsequente diminuição em profundidades maiores.

Os resultados estão de acordo com Oliveira et al. (2014), os quais analisaram solo sob cultivo de cana, observaram alcances menores em profundidade. No entanto em desacordo com Souza et al. (2010), que verificaram dependência espacial em Latossolo cultivado com cana, assim como Carvalho et al. (2011), que em solo com perfil de textura franco arenosa a argilosa, sob colheita mecanizada de cana, verificaram aumento de alcance em profundidade. Isso pode ser explicado pelas características intrínsecas dos solos estudados por esses autores, visto que texturas mais argilosas possuem tendências diferentes no tocante a resistência à penetração e sua dependência espacial, quando comparados a solos com granulometria mais arenosa, como os do presente trabalho.

Conforme o processo de krigagem ordinária, se observa os mapas bidimensionais (Figuras 4 e 5) das áreas que possuíram efeito pepita nulo, podendo-se constatar que a resistência à penetração nas posições de entrelinha nos primeiros 0,3 m do solo se apresentou em maior grandeza àquela vista na posição de linha, tendência visualizada em PC e TC, no entanto, na área de terceiro corte a diferença observada é bem mais proeminente.

Os dados concordam com afirmação de Carvalho et al. (2008), que avaliaram a resistência mecânica do solo à penetração em cultivo de cana-de-açúcar, com o aumento da retenção e diminuição da porosidade na camada situada aos 0,2 m devido à trafegabilidade, é visualizada maior compactação nessa profundidade. A mesma tendência foi verificada por Ralisch et al. (2008), averiguando resistência à penetração no Cerrado em diferentes condições de uso, observaram em áreas cultivadas aumentos de RMSP até 0,4 m.

Classificando as resistências ranqueadas em 0 a 2 MPa como baixas e de 2 a 4 MPa moderadas (Oliveira et al., 2016), foi verificado, conforme os mapas, que as maiores resistências médias de 2,26 e 2,27 MPa, vistas nas camadas de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m da entrelinha de TC, e menor média de 0,31 MPa, na camada de 0-0,1 m da linha de PC, permitem classificar as posições de linha e entrelinha, respectivamente, com baixa e moderada resistência ao desenvolvimento cultural.

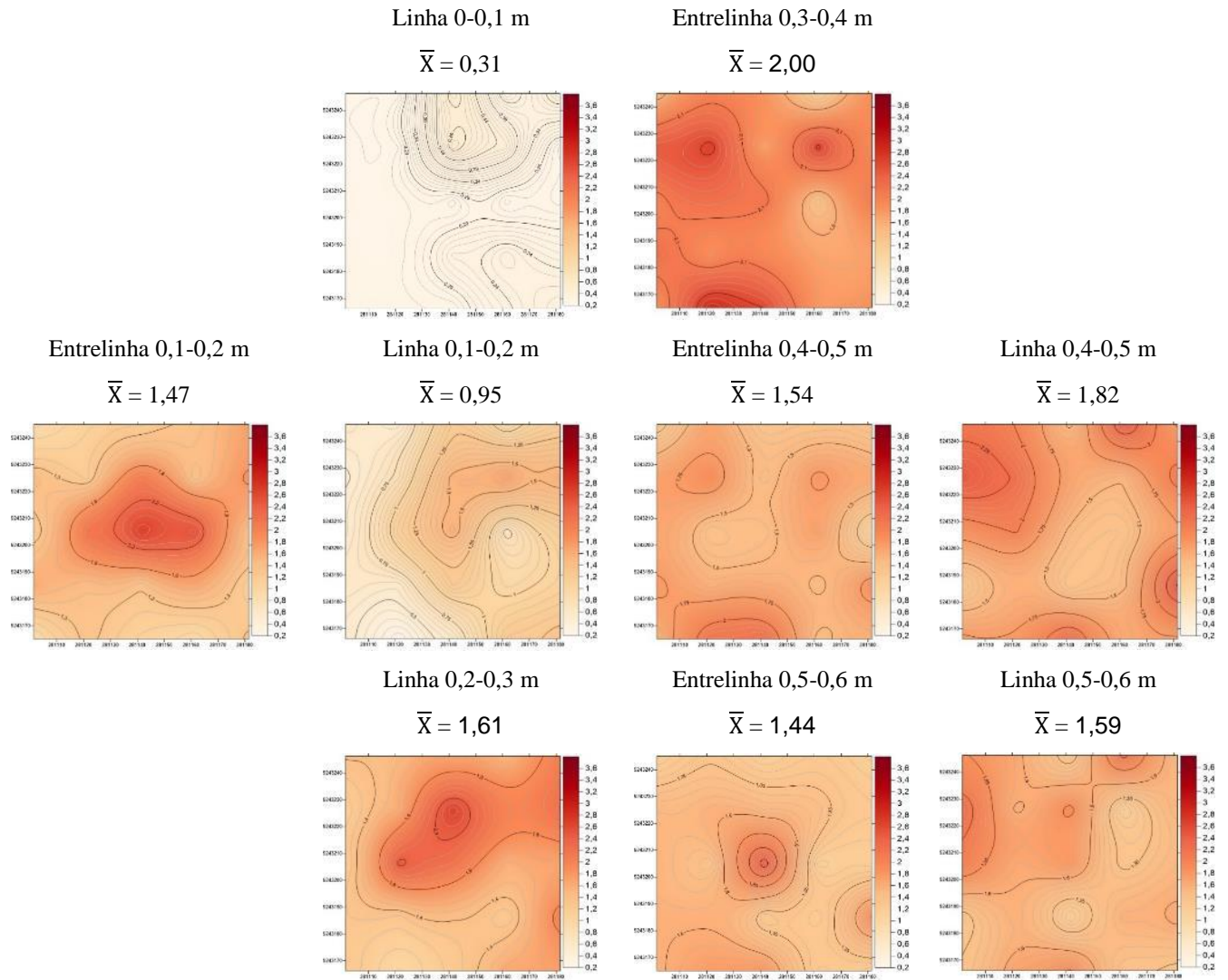


Figura 5. Figura de isolinha da resistência à penetração (\bar{X} ; MPa) de um Argissolo Acinzentado sob área de primeiro corte (PC) de cana-de-açúcar submetida a colheita mecanizada.

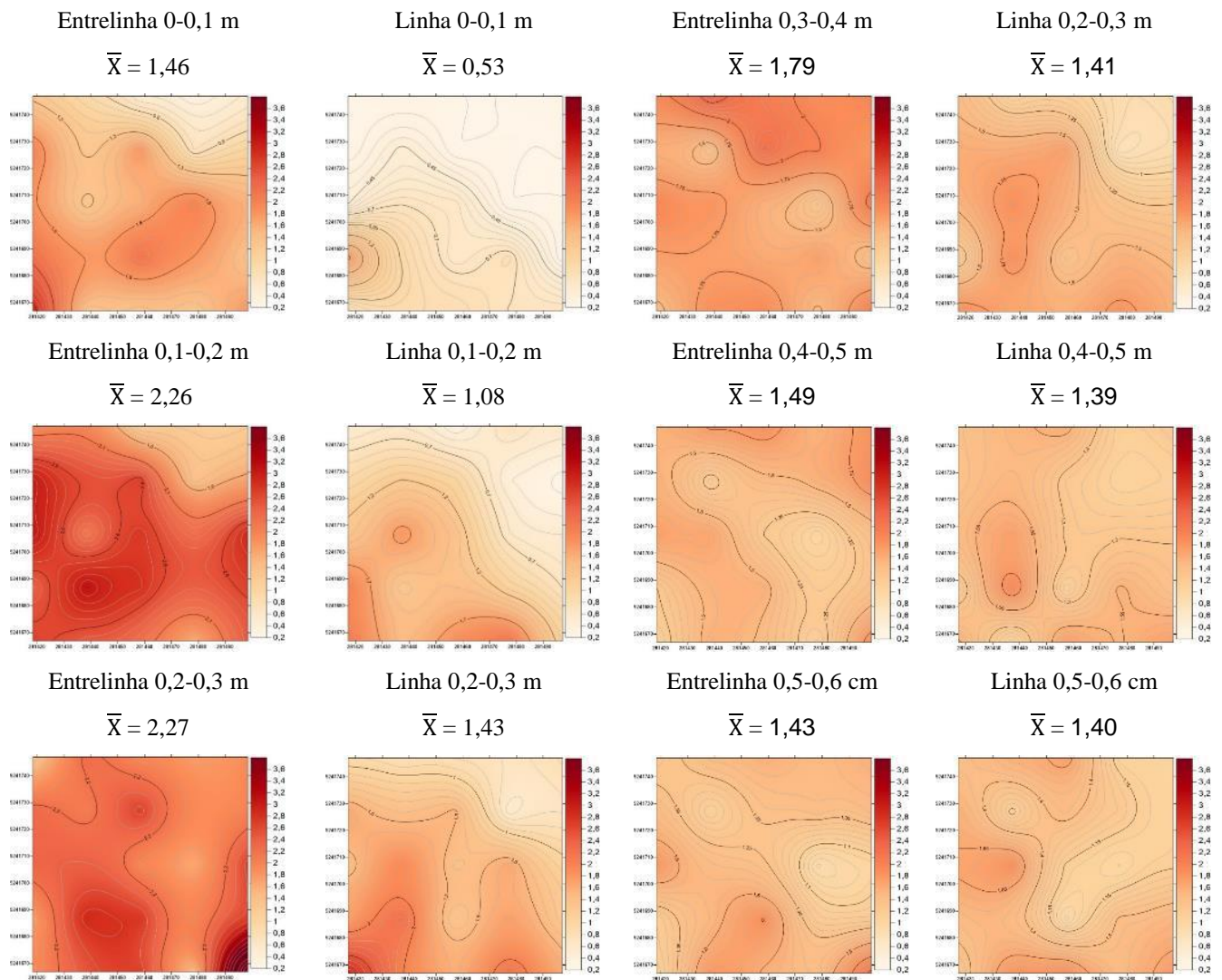


Figura 6. Figura de isolinha da resistência mecânica à penetração (\bar{X} ; MPa) de um Argissolo Acinzentado de área de terceiro corte (TC) de cana-de-açúcar submetida a colheita mecanizada.

4. CONCLUSÕES

Observou-se alterações proeminentes da resistência à penetração nas camadas superiores do solo (0-0,4 m), limitando a influência da trafegabilidade de máquina nessa profundidade, podendo-se inferir que na camada 0,4-0,6 m as alterações são recorrentes de características intrínsecas do solo.

O controle de tráfego foi eficiente em evitar aumento de resistência à penetração nas linhas de plantio, visto que os valores deste atributo foram sempre menores nessa posição comparados aos da entrelinha mesmo após três ciclos de cultivo.

Maiores médias de resistência à penetração foram verificadas na posição de entrelinha de ambas áreas, porém com valores deste atributo visto na área de primeiro corte menores aos de terceiro corte.

Os semivariogramas se ajustaram aos modelos esférico, exponencial e gaussiano, havendo ocorrência do efeito pepita puro sinalizando que para essas condições a malha amostral não foi eficiente para detectar dependência.

As dependências espaciais encontradas foram classificadas como altas e, em sua maioria, muito altas.

Os alcances, de modo geral, apresentaram diminuição com a profundidade do perfil provavelmente devido a características do solo. Os mesmos, em sua maioria, indicaram valores maiores aos estipulados pela malha de amostragem.

5. REFERÊNCIAS

- Barbieri, D. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. *Engenharia Agrícola*, v. 28, p. 645-653, 2008.
- Bottega, E. L.; Queiroz, D. M.; Pinto, F. A. C.; Souza, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, p. 1-9, 2013.
- Camargo, O.A.; Alleoni, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: [s.n.], 1997. 132p.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Science Society of America Journal*, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- Campos, M.C.C.; Aquino, E.A.; Oliveira, I.A. & Bergamin, A.C. 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*, v. 8, p. 305-310, 2013.
- Carvalho, L. A. de; Meurer, I.; Silva Junior, C. A. da; Cavaleiri, K. M. V.; Santos, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.940-949, 2011.
- Carvalho, L.A.; Valdemar Neto, V.J.; Silva, L.F. Pereira, J.G.; Nunes, W.A.G.A.; Chaves, C.H.C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS *Agrarian*, v. 1, p. 7-22, 2008.
- Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M. de; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 1329-1339, 2007.
- Coelho, D. S.; Cortez, J. W.; Olszewski, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em Vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.755-764, 2012.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Safra 201/17 - Terceiro levantamento. Brasília, v.4, n.3, 2017.
- Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina – Ciências Agrárias*, v. 33, p. 541-552, 2012.
- Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. P.; Montanari, R.; Bem, E. A. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. *Revista Ceres*, v 61, p. 255-264, 2014.

- GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows version 14.0. Colorado: Golden, 2017.
- Gonçalves, A. C. A.; Folegatti, M. V.; Mata, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum*, v. 23, p. 1149-1157, 2001
- GS+. Geostatistics for environmental sciences. 7 ed. Michigan, Gamma Design Software. 2004, 159p.
- Kranzler, J. H. *Statistic for the terrified*. 6.ed. Londres: Rowman & Littlefield. 2011. 207p.
- Marasca, I.; Oliveira, C. A. A.; Guimarães, E. C.; Cunha, J. P. A. R.; Assis, R. L.; Perin, A.; Menezes, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. *Bioscience Journal*, v.27, p.239-246, 2011.
- Mion, R. L.; Nascimento, E. M. S.; Sales, F. A. L.; Silva, S. F.; Duarte, J. M. L.; Sousa, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo. *Semina: Ciência Agronômica*, v. 33, p. 2057-2066, 2012.
- Oliveira Filho, F. X. de, Miranda, N. de O.; Medeiros, J. F. de, Silva, P. C. M. da; Mesquita, F. de O.; Costa, T. K. G. Compactação de solo cultivado com cana-de-açúcar em Baía Formosa, Rio Grande do Norte. *Revista Ceres*, v. 63, p. 715-723, 2016.
- Oliveira, I. A.; Campos, M. C. A.; Aquino, R. E.; Marques Junior, J.; Freitas, L.; Souza, Z. M. Semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar. *Revista Ciências Agrárias, Recife-PE*, v. 57, p. 287-296, 2014.
- Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Soares, M. D. R.; Aquino, R. E.; Marques Júnior, J.; Nascimento, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região Sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 1103- 1112, 2013.
- Ralisch, R., Miranda, T. M., Okumura, R. S., BarBOSA, G. M. D. C., Guimarães, M. D. F., Scopel, E.; Balbino, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.
- Roque, A. A. de O.; Souza, Z. M. de; Barbosa, R. S.; Souza, G. S. de. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.744-750, 2010.
- Sanchez, R.B.; Marques Júnior, J.; Souza, Z.M.; Pereira, G.T.; Martins Filho, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. *Bragantia*, v. 68, p. 1095-1103, 2009.

- Santos, K. S.; Montenegro, A. A. A.; Almeida, B. G.; Montenegro, S. M. G. L.; Andrade, T. S.; Fontes Júnior, R. V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos do vale aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 828-35, 2012.
- Sene, M.; Vepraskas, M. J.; Naderman, G. C.; Denton, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Science of America Journal*, v.49, p.422-427, 1985.
- Silveira, D. C.; Melo Filho, J. F.; Sacramento, J. A. A. S.; Silveira, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Rbecôncavo da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 659-667, 2010.
- Souza, C. B. de; Silva, B. B. da; Azevedo, P. V. de. Crescimento e rendimento do abacaxizeiro nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.134-141, 2007.
- Souza, E. D., Carneiro, M. A. C.; Paulino, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, p. 1135-1139, 2005.
- Souza, G. S.; Souza, Z. M.; Silva, R. B.; Araújo, F. S.; Barbosa, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 603-612, 2012.
- Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.40, p.69-77, 2010.
- Souza, Z. M.; Silva, M. L. S.; Guimarães, G. L.; Campos, D. T. S.; Carvalho, M. P.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Sevíria (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 699-707, 2001.
- Stolf, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.
- Stolf, R.; Fernandes, J.; Furlani Neto, V. L. Recomendações para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar Boletim, 1).
- Tavares, U. E.; Rolim, M. M.; Pedrosa, E. M. R.; Montenegro, A. A. A.; Magalhães, A. G.; Barreto, M. T. L. Variabilidade espacial de atributos físicos e mecânicos de um Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p. 1206-1214, 2012

- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017. 573p.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F.; Alvares, V. V. H.; Schaeffer, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

CAPÍTULO II

QUALIDADE DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A COLHEITA MECANIZADA COM TRÁFEGO CONTROLADO

RESUMO

JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA. **Qualidade de atributos físicos de solo cultivado com cana-de-açúcar submetida a colheita mecanizada com tráfego controlado.** Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2018. Cap. II. 20 p.il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

Embora tenha pontos benéficos, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar também apresenta desvantagem devido ao tráfego de colhedoras. Portanto, com o objetivo de diminuir o impacto de tráfego no campo o tráfego controlado vem sendo adotado nos canaviais. Objetivou-se avaliar a qualidade de atributos físicos de solo em áreas com diferentes tempos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado. A área de estudo está inserida na Fazenda Santa Emília II (6° 50' 31,84" S e 34° 58' 48,32" W), pertencente à Usina Miriri, no município de Rio Tinto (PB), com Argissolo Acinzentado. Foram selecionadas duas áreas de cultivo de cana, com primeiro (PC) e terceiro cortes (TC) mecanizados sob tráfego controlado. Foram realizadas coletas de amostras indeformadas em linhas e entrelinhas, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. Avaliou-se as variáveis: textura, argila dispersa (ADA), grau de floculação (GF), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (Pt), umidade gravimétrica (Ug), condutividade hidráulica (K_0), capacidade de campo (CC), ponto de murcha (PMP) e água disponível (AD). Realizou-se análise de variância dos dados e as médias submetidas ao teste de Tukey. O fracionamento da areia apresentou maiores valores para areia média em PC e TC, com ausência de diferenças significativas. O mesmo ocorreu para silte, em contraste, foram observados maiores valores de argila em TC, a ADA e GF não apresentaram diferenças estatísticas, caracterizando PC e TC, respectivamente como Areia e Areia franca. Os maiores valores de Ds foram visualizados nas posições de entrelinha, devido ao tráfego nesta posição. A Mac foi maior nas linhas de PC e TC, porém a Mic e a Pt não diferenciaram nas condições estudadas. A Ug apresentou aumento em maiores profundidades, caracterizando não haver camada de impedimento à percolação. As variáveis K_0 , CC, PMP e AD não apresentaram diferenças significativas nas áreas estudadas. A colheita mecanizada sob tráfego controlado não influenciou de forma significativa a maior parte dos atributos avaliados, não havendo camadas de impedimento ao crescimento radicular da cultura, porém com necessidade de realização de levantamentos a longo prazo.

Palavras-chave: Argissolo Acinzentado; Porosidade; Manejo de solo; *Saccharum officinarum* L.

ABSTRACT

JOSÉVALDO RIBEIRO SILVA. **Soil physical properties quality cultivated with sugarcane under mechanized harvesting with controlled traffic.** Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, February 2017. Cap. I. 20 p.il. Dissertation. Graduate program in Soil Science. Advisor: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

Although having benefits, the mechanized harvesting of sugarcane has also some disadvantages, due to the harvesters traffic. Therefore, aiming to reduce the impact of traffic in the field, controlled traffic has been adopted in sugarcane crop. This study aimed to evaluate the quality of soil physical properties in different growing times of sugarcane under mechanized harvesting with controlled traffic. The study area is located at the Santa Emília II farm (6 ° 50 '31.84 "S and 34 ° 58' 48.32" W), belonging to the Miriri mill, in the municipality of Rio Tinto (Paraíba), in a Alfisol. Two areas of sugarcane cultivation were selected, with first (PC) and third (TC) mechanized cuttings under controlled traffic. Unformed samples collections were performed in wheel tracks and planting row, at two layer of 0-0,1 and 0,1-0,2 meters. Texture, dispersed clay (ADA), flocculation degree (GF), bulk density (Ds), macroporosity (Mac), microporosity (Mic), total porosity (Pt), gravimetric moisture (Ug), hydraulic conductivity (K₀), field capacity (CC), wilt point (PMP) and available water (AD), were evaluated. The analysis of variance of data were performed and the means were submitted to the Tukey test. The sandy faulting presented higher values for medium sand in the PC and TC, with no significant differences, the same occurred for silt, in contrast, higher values of clay were observed in the TC, the ADA and GF did not present statistical differences, characterizing PC and TC, respectively, as Sand and Loam Sand. The highest values of Ds were seen in the wheel tracks position, due to the traffic in this position. The Mac was higher in PC and TC planting row, but Mic and Pt did not differentiate in the studied conditions. The Ug presented an increase with greater depths, characterizing no layer of impediment to percolation. The variables K₀, CC, PMP and AD did not present significant differences. The mechanized harvesting under controlled traffic did not influence significantly most of the evaluated properties, with no layers of impediment to the crop root growth, but with the need of more long term surveys.

Key words: Alfisol; Porosity; Soil management; *Saccharum officinarum* L.

1. INTRODUÇÃO

Com produção estimada de 646,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2017/18, o Brasil se consolida como maior produtor mundial dessa cultura, atingindo 39,39 milhões de toneladas de açúcar e 26,12 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2017). O Nordeste desponta como a terceira maior região produtora de cana do país, contemplando o estado da Paraíba como a terceira maior produção. No Estado, a cana é a cultura mais tecnificada, sendo implantada a colheita mecanizada desde meados de 2008 e, mais recentemente, com o advento da agricultura de precisão, o tráfego controlado.

A colheita mecanizada reduz custos operacionais, além de contribuir para o condicionamento do solo com o aumento do teor de matéria orgânica, diminuição de queimadas e emissão de fuligem, além do aumento do rendimento na indústria (Segato & Daher, 2011; Signor et al., 2014). Apesar dos pontos benéficos, a colheita mecanizada apresenta desvantagem com relação à interação solo-planta-máquina, já que além de resultar em perdas no campo e redução de qualidade da matéria prima (Noronha et al., 2011), diminui a qualidade dos atributos físicos do solo, devido ao tráfego de colhedoras, tratores e caminhões transbordos por toda a área de cultivo, os quais, sem prévia observação da umidade do solo podem levar ao aparecimento de camadas compactadas no solo (Braunack et al., 2006).

A compactação do solo influencia significativamente a produtividade das culturas, pois afeta negativamente os atributos físicos do solo, impedindo a livre expansão da rizosfera das plantas (Camargo et al., 2010; Cavalieri et al., 2011). Os atributos físicos diretamente alterados em razão da compactação do solo são a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, retenção de água no solo, condutividade hidráulica e a resistência do solo à penetração (Araújo et al., 2013). Essas variáveis, a medida que são alteradas, podem ser utilizadas para avaliação do solo quanto ao manejo e formação de camadas compactadas, sendo eficiente para validar se técnicas de mitigação são eficientes ou não.

Com o objetivo de diminuir o impacto de tráfego no campo e conseqüentemente a compactação, o tráfego controlado vem sendo adotado nos canaviais. Essa técnica se fundamenta em limitar a passagem de rodados em um determinado espaço na entrelinha de plantio, evitando alterações na porção do solo explorado pelas raízes das culturas, diminuindo alteração de atributos com a perda da qualidade física do solo (Oliveira Filho et al., 2016), além de evitar perdas de produtividade com alterações fisiológicas e anatômicas nas plantas.

Neste sentido, objetivou-se avaliar a qualidade de atributos físicos de solo em área de primeiro e terceiro corte cultivada com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização da área

O trabalho foi realizado em áreas da Fazenda Santa Emília I, pertencente à Usina Miriri Bioenergia e Alimentos S/A, situada no município de Rio Tinto (PB). O município encontra-se na mesorregião da Zona da Mata Paraibana. Segundo classificação de Köppen, seu clima é As (tropical chuvoso com verão seco), com 1600 mm anuais de precipitação média e temperatura média anual de 26 °C (Souza et al., 2007A). O experimento foi conduzido em área comercial de cultivo de cana, sendo escolhidas duas áreas, com colheita mecanizada de primeira (Localização: 6° 50' 31.84" S e 34° 58' 48.32" W) e outra de terceira (Localização: 6° 51' 20.66" S e 34° 58' 38.21" W) cortes, de relevo plano, distantes entre si por uma distância de 1,4 km.

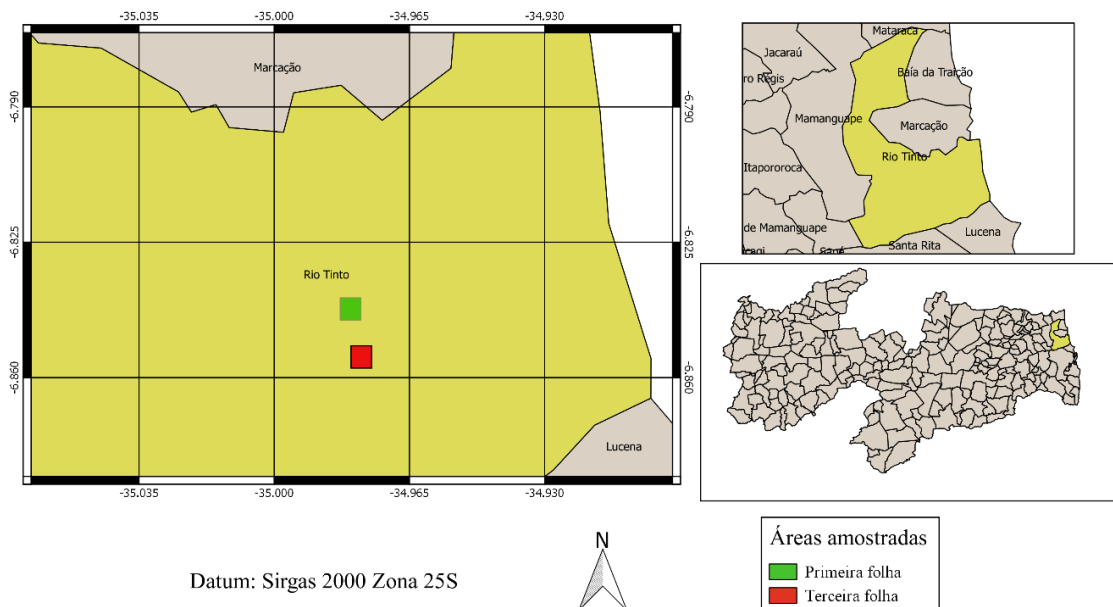


Figura 1. Localização de área do experimento.

O solo amostrado foi classificado como Argissolo Acinzentado, com análise química apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios do complexo sortivo do solo sob diferentes tempos de cultivo de cana-de-açúcar e cortes mecanizados sob tráfego controlado.

Posição	pH (1:2,5)	P --- mg kg ⁻¹ ---	K ⁺	Na ⁺	H+Al	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	M.O. g kg ⁻¹
Primeiro corte									
0-0,1 m									
Linha	6,8	17,51	43,09	0,03	0,68	0	0,31	0,22	6,59
Entrelinha	6,6	26,78	27,59	0,03	0,74	0	0,32	0,34	4,94
0,1-0,2 m									
Linha	6,3	7,21	19,22	0,02	1,11	0	0,20	0,11	4,01
Entrelinha	6,2	17,03	12,71	0,02	0,71	0	0,23	0,25	5,35
Terceiro corte									
0-0,1 m									
Linha	4,8	4,26	34,41	0,01	3,10	0,35	0,12	0,09	9,98
Entrelinha	4,7	10,44	39,37	0,02	4,13	0,35	0,04	0,14	10,50
0,1-0,2 m									
Linha	4,7	3,99	34,72	0,01	3,81	0,35	0,05	0,12	7,51
Entrelinha	4,8	5,22	35,96	0,01	3,33	0,30	0,05	0,09	7,51

pH: Potencial hidrogênio-iônico; P: Fósforo; K: Potássio; Na: Sódio; H+Al⁺: Acidez potencial; Al: Alumínio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; M.O.: Matéria orgânica

2.2. Amostragem do solo

A coleta de solo foi realizada nas seguintes condições: linha e entrelinha de áreas com primeiro e terceiro cortes mecanizados. O estudo ocorreu em áreas sistematizadas para colheita mecanizada, com fileiras duplas sob espaçamento de 0,80 x 1,60 m, com dados de manejo de áreas constantes no Quadro 1, nas quais foram alocadas parcelas de 100 x 100 m, perfazendo 2 áreas de 1 ha. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, em linhas e entrelinhas das duas áreas, adotando-se um grid de 20 x 20 m, coletando-se, portanto, 20 amostras compostas por área áreas. No centro da parcela, foi realizada a abertura de um minitrincheiras até a profundidade de 0,60 m para obtenção de amostras de umidade, acondicionando amostras a cada 0,1 m em sacolas plásticas. Nas áreas, a colheita é realizada com a colhedora da marca John Deere, modelo 3522, com bitola de 2,45 m, controlada por piloto automático de mesma marca e com tráfego controlado pelo software Apex®.

As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agrária, Universidade Federal da Paraíba, sendo determinados os atributos físicos do solo (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia, silte, argila, argila dispersa em água, grau de flocculação, condutividade hidráulica, capacidade de campo e ponto de murcha, água disponível e umidade gravimétrica).

Quadro 1. Dados agrícolas das áreas amostradas.

Área	PC	TC
Lote	30	41
Data de plantio	18/05/15	06/07/13
N ^a de cortes	1	3
Data do último corte	17/11/16	24/11/16
Variedade	RB 93509	RB 92579
Adubação de fundação	MAP (11% de N; 52% de P ₂ O ₅) - 260 kg/ha	MAP (11% de N; 52% de P ₂ O ₅) - 260 kg/ha
Adubação em fertirrigação (Quantidades aplicadas)	K ₂ O – 444,02 kg ano ⁻¹	K ₂ O – 444,02 kg ano ⁻¹
	N – 829,60 kg ano ⁻¹	N – 829,60 kg ano ⁻¹
	Mg – 379,00 kg ano ⁻¹	Mg – 379,00 kg ano ⁻¹
	P ₂ O ₅ – 44,80 kg ano ⁻¹	P ₂ O ₅ – 44,80 kg ano ⁻¹
Fontes utilizadas	K ₂ O – Cloreto de potássio	K ₂ O – Cloreto de potássio
	N – Sulfato de amônio	N – Sulfato de amônio
	Mg – Sulfato de magnésio	Mg – Sulfato de magnésio
	P ₂ O ₅ – MAP	P ₂ O ₅ – MAP
Corretivo de solo	Calcário dolomítico – 2000 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Calcário dolomítico – 2000 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Defensivos agrícolas (Ano 2016)	2-4-D Dimetilamina – 1 l ha ⁻¹	Sulfentrazone – 1,5 l ha ⁻¹
	Mesotrina – 250 ml ha ⁻¹	Mesotrina – 1,5 l ha ⁻¹
	Adjuvante – 30 ml ha ⁻¹	Adjuvante
	Clomazona – 2 l ha ⁻¹	
	Metribuzim – 3 l ha ⁻¹	
Turno de rega	10 dias	10 dias
Irrigação	Lâmina calibrada conforme 50% da necessidade da cultura – Etc = Et ₀ * Kc	Lâmina calibrada conforme 50% da necessidade da cultura – Etc = Et ₀ * Kc
Produtividade agrícola (TCH)	Safr 2016/2017 – 71,47	Safr 2014/2015 – 100,53
		Safr 2015/2016 – 63,56
		Safr 2016/2017 – 40,20

PC = Primeiro corte; TC = Terceiro corte; P = Fósforo; K = Potássio; N = Nitrogênio; Mg = Magnésio; MAP = Monoamônio fosfato; Et₀ = evapotranspiração potencial; Etc = Evapotranspiração da cultura; Kc = coeficiente da cultura; TCH = Toneladas de cana por hectare.

2.3. Caracterização física do solo

2.3.1. Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica das amostras de solo amostradas foi realizada pela distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos), usando hidróxido de sódio (NaOH) como agente dispersante mais agitação mecânica (Teixeira et al., 2017).

Para a determinação da argila dispersa em água foi utilizado o mesmo procedimento da determinação da argila total, porém, sem o uso do dispersante químico. A partir dos dados foi possível calcular o grau de floculação (GF) (Teixeira et al., 2017).

2.3.2. Densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo

No laboratório, as amostras serão saturadas com água destilada, por um período de 48 horas, e colocadas sob uma tensão de -6 kPa em mesa de tensão. Após estabilização do peso na mesa, as amostras foram secas em estufa, a 105° C, até peso constante. De posse dos pesos saturado, seco e após equilíbrio a -6 kPa, foi feita a determinação da densidade do solo, da macroporosidade, da microporosidade e porosidade total (Teixeira et al., 2017).

Adicionalmente foi determinado o volume de bioporos (tensão de -1 kPa), porosidade atual de aeração do solo e volume ocupado por partículas sólidas (Teixeira et al., 2017).

2.3.3. Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água do solo foi determinada através dos valores de umidade retida á diferentes tensões no solo determinados na mesa de tensão (-0,006 MPa) e no conjunto aparelho extrator de Richards (-0,01; -0,033; -0,1; -0,3; -0,5 e -1,5 MPa) contendo duas câmaras modelos 1600 (5 Bar Plate Extractor) e 1500 (15 Bar Plate Extractor) e compressor Soilmoisture modelo 505 20 Bar Compressor, segundo metodologia de Teixeira et al. (2017).

2.3.4. Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada de cada solo foi determinada em amostras indeformadas de solo coletadas em anéis volumétricos com altura de 7 cm e volume interno de 269,39 cm³, utilizando um permeâmetro de carga constante. As amostras foram saturadas em água destilada por 24 horas, e em seguida, transferidas para o permeâmetro onde foi aplicada uma carga hidráulica constante de 2 cm e registrado em unidades de minutos alternados o volume de água percolado, até uniformidade, em pelo menos três leituras (Teixeira et al., 2017).

2.4. Análise estatística

O delineamento foi inteiramente casualizado, os dados foram submetidos a análise de variância e teste de comparação de médias Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme dados da análise textural (Tabela 2), o solo da área de primeiro corte (PC) foi classificado como areia e da área de terceiro corte (TC) em areia franca, para a posição de entrelinha, em ambas camadas estudadas, e para a posição de linha, foi classificado como areia franca e areia, respectivamente, para as camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 cm. O atributo areia apresentou maior valor em PC em relação a TC, não havendo diferença significativa entre as posições de linha e entrelinha de plantio, assim como entre as camadas analisadas, sendo a mesma tendência, verificada para os atributos argila e silte na camada de 0-0,1 m.

As mudanças texturais tem decorrência da herança do material parental, descontinuidade litológica, deposições de sedimentos e da translocação de material no perfil, as quais desencadeiam a mobilidade de partículas no solo, concluindo-se assim que, em curto período de tempo, o manejo do solo não afetará de forma significativa a textura (Bortoluzzi et al., 2008). Oliveira et al. (2014), afirmam que a textura do solo é o atributo mais estático no pedoambiente. Dessa maneira, analisando os resultados, se constata que a pressão exercida pela passagem de máquinas colhedoras não foi capaz de produzir alteração no atributo em um período de três ciclos de colheita, sendo a diferença encontrada entre as áreas resultante de características texturais intrínsecas ao ambiente de cada área amostrada.

Tabela 2. Resultado de granulometria, argila dispersa em água, grau de floculação e classificação textural das camadas superficiais (0-0,1 e 0,1-0,2 m) de Argissolo Acinzentado de áreas de cultivo de cana-de-açúcar nas posições de linha e entrelinha sob primeiro e terceiro corte mecanizado.

Posição	Classe Textural														Argila dispersa		Grau de floculação		Classificação textural	
	AMG		AG		AM		AF		AMF		Silte		Argila							
	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2				
	g kg ⁻¹																			
	Camada (m)																			
	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2		
	<u>Primeiro corte</u>																			
Linha	53 Aa	47 Aa	224 Aa	215 Aa	348 Aa	348 Aa	251 Aa	275 Aa	42 Aa	43 Aa	23 Aa	21 Aa	59 Ba	51 Aa	0	0	1000	1000	Areia	Areia
Entrelinha	50 Aa	54 Aa	214 Aa	208 Aa	355 Aa	338 Ab	269 Aa	277 Aa	45 Aa	42 Aa	31 Aa	15 Aa	36 Ab	66 Aa	0	0	1000	1000	Areia	Areia
CV (%)	10,85	6,12	2,22	5,78	9,00	43,93	22,52	0,00	0,00											
	<u>Terceiro corte</u>																			
Linha	57 Aa	71 Aa	248 Aa	248 Aa	335 Aa	328 Aa	211 Aa	216 Aa	28 Aa	26 Aa	9 Ab	26 Aa	112 Aa	85 Aa	0	0	1000	1000	Areia Franca	Areia
Entrelinha	53 Aa	68 Aa	220 Aa	224 Aa	341 Aa	322 Aa	230 Aa	229 Aa	26 Aa	30 Aa	16 Aa	13 Aa	114 Aa	114 Aa	0	0	1000	1000	Areia Franca	Areia Franca
CV (%)	15,14	6,41	4,55	10,00	24,47	60,33	15,87	0,00	0,00											

AMG - areia muito grossa; AG - areia grossa; AM - areia média; AF - areia fina; e AMF - areia muito fina. Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na camada de 0,1-0,2 m, para o atributo argila, foi observada diferença significativa, podendo se verificar maior grandeza dessa variável em TC, apresentando a posição de entrelinha maiores valores em relação à de linha, fato que pode ser explicado pelo revolvimento do solo no momento de preparo de plantio, pois na cobertura de sulco se transfere mais material superficial, camada com mais areia e com menor quantidade de argila, para a linha.

Para os atributos argila dispersa (ADA) e grau de flocculação (GF), não foram observadas diferenças significativas, segundo Santos et al. (2010), solos com grande presença de óxidos, característica presente na classe de solo do presente estudo, apresentam grande estabilização estrutural, corroborando com a resistência da argila à dispersão, outro fator condicionante ao resultado obtido relaciona-se a utilização de corretivos de solo, tendo conhecimento que nas áreas amostradas houve utilização de 2 t de calcário por hectare (Quadro 1), ou seja, material rico em cálcio, favorecendo a agregação e diminuição da ADA (Silva Neto et al., 2010), condições associadas ao baixo teor de argila presente no solo, tendo por consequência maiores valores de GF, o qual relaciona a argila dispersa quimicamente com a dispersa com água, fazendo inferência a estabilidade de agregados do solo.

Quanto aos coeficientes de variação, seguindo a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002), para os atributos AG, AM, AF foi classificado como baixo (<10%), AMG e AMF foram médios, silte como muito alto (>30%) e argila como médio (10>30%), esses dados corroboram com Santos et al. (2010), em seu trabalho com avaliação de atributos físicos, os quais observaram coeficientes similares aos encontrados no presente trabalho. Tendência também vista por Gonçalves et al. (2001), diferente dos resultados encontrados por Kitamura et al. (2007), constatando CV baixo para argila, médio para areia e silte, assim como Cajazeiras e Assis Júnior (2011), que verificaram CV baixo para areia, médio para silte e alto para argila. Como a determinação de silte é realizada pela diferença entre areia e argila, seu coeficiente de variação normalmente tem tendência a ser superior aos demais atributos ligados a textura do solo.

De acordo com os dados de distribuição granulométrica da fração areia, foi possível verificar que a maior parte das partículas se encontram classificados em areia média (AM), tendência encontrada para as áreas de PC e TC, nas posições de linha e entrelinha e suas respectivas camadas analisadas (Tabela 2). Areias de maior tamanho possibilitam menor rearranjo estrutural, fator que se justifica pela menor atividade eletrostática dessa fração textural, desfavorecendo a movimentação e alteração de atributos como densidade e porosidade, com consequência em outras variáveis ligadas à mecânica hidráulica no solo. Dessa maneira, observa-se que a água exerce menor influência na lubrificação dessas partículas e na sua

reorganização quando submetidas a uma pressão, resultando em solos menos propensos ao processo de compactação.

Solos arenosos apresentam menor resistência à penetração que solos argilosos devido à menor manifestação de forças de coesão entre as partículas de areia quando comparadas às de argila (Melo et al., 2008). Condição que foi observada por Bergamim et al. (2010), em seu estudo com Latossolos de diferentes classes texturais, constataram menor compactação nos perfis mais arenosos em detrimento das partículas de maiores tamanhos, condição que impede, em curto período, o aparecimento de camadas compactadas e restritivas, mecanicamente, para o desenvolvimento radicular da cana no solo estudado. A distribuição das frações areia possibilita afirmar que a trafegabilidade em curto período de tempo e, ainda, sob controle de tráfego, como no objeto dessa pesquisa, pode não exercer influência suficiente para alterar os atributos do solo ligados a aumento de densidade e de resistência mecânica a penetração, visto a menor propensão do pedoambiente à compactação.

Para densidade do solo (D_s) verificou-se diferença significativa na camada de 0-0,1 m, sendo observados maiores valores na posição de entrelinha, com tendência de aumento da área PC para a área TC. Esse mesmo comportamento foi verificado para a posição linha, na qual os menores valores estiveram presentes. Na camada de 0,1-0,2 m não houve diferença significativa para D_s , para efeito das profundidades analisadas, só houve diferença na posição de linha de PC (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo e porosidade (Mac, Mic e Pt) em áreas sob diferentes tempos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Posição	Densidade		Mac		Mic		Pt	
	g cm ³				m ³ m ⁻³			
	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2
	Camada (m)							
	Primeiro corte							
Linha	1,50 B b	1,60 B a	0,12 A a	0,08 A b	0,34 A a	0,33 A a	0,46 A a	0,42 A b
Entrelinha	1,64 A a	1,67 A a	0,06 B a	0,07 A a	0,34 A a	0,33 A a	0,41 B a	0,41 A a
CV (%)	2,82		22,76		7,36		5,37	
	Terceiro corte							
Linha	1,51 B a	1,62 A a	0,13 A a	0,12 A a	0,30 A a	0,31 A a	0,43 A a	0,44 A a
Entrelinha	1,69 A a	1,68 A a	0,10 A a	0,09 A a	0,29 A a	0,32 A a	0,39 A a	0,41 A a
CV (%)	5,80		21,79		8,12		7,53	

Mac = Macroporosidade; Mic = Microporosidade; Pt = Porosidade total. Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na macroporosidade (Mac) foi verificada diferença significativa em 0-0,1 m, com a posição de linha de PC apresentando maior valor, em TC não se verificou diferenças nas posições estudadas, na profundidade citada. Na camada de 0,1-0,2 m, foram observados maiores valores de Mac em TC na posição de linha e menores em PC.

A microporosidade (Mic) diferiu significativamente apenas na camada de 0-0,1 m, tendo as duas posições de PC maiores valores para esse atributo. A porosidade total do solo (Pt) apresentou diferença significativa somente na camada de 0-0,1 m, sendo constatados maiores valores nas posições de linha com Pt apresentando tendência de diminuição de PC para TC.

Os dados observados no trabalho concordam com Souza et al. (2012), que trabalhando com compactação de solo em área de cana-de-açúcar com colheita sob tráfego controlado, constataram que os maiores valores de Ds se apresentaram nas posições de entrelinha, reservando menores valores desse atributo assim como maior Pt na linha. Os autores concluíram que o controle de tráfego evitou que a colhedora ou trator transbordo passassem sobre, ou próximo, a socaria alterando negativamente a qualidade do solo. Pacheco e Cantalice (2011), observaram aumento de densidade com o decorrer do tempo de cultivo da cana, favorecendo o aparecimento de zonas compactadas nas entrelinhas com diminuição da porosidade total, o mesmo foi verificado por Araújo et al. (2013), que estudando atributos em solo após catorze anos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, verificaram diminuição de Pt, Mac e Mic em relação a uma área com colheita manual. Porém, discordam dos dados obtidos no presente trabalho, já que o mesmo autor verificou menor valor de densidade para a área de colheita mecanizada. Roque et al. (2010), avaliando atributos físicos de um solo cultivado com cana durante dois anos de colheita mecanizada com tráfego controlado, observaram maior Ds e menor Mac na entrelinha, com tendência a alteração negativa desses atributos com o passar do tempo de cultivo corroborando com os dados obtidos na presente pesquisa.

Conforme o observado, os dados apontam aumento de densidade e diminuição de porosidade com o passar do tempo de colheita. No entanto, se verifica na posição de linha melhores condições físicas em relação à de entrelinha, indicando que o controle de tráfego implantado no sistema está sendo eficaz em evitar compactação na área de exploração das raízes da cana e restringindo sua influência na posição de sua trafegabilidade.

Apesar da tendência em diminuição da Mac e Mic na área PC para TC, sua interpretação deve ser relacionada com a influência da mecânica hidráulica do solo, uma vez que, sendo o Argissolo estudado um solo de textura arenosa a franco arenosa (Tabela 2), alterações mínimas podem não ser suficientes para alterações de outros atributos como condutividade ou retenção de água.

Para a análise de variabilidade, foram verificados valores de CV baixos para Ds, Pt e Mic, e médio para Mac, dados que corroboram ao encontrado por Cortez et al. (2014), em estudo sobre tráfego agrícola em Argissolo Amarelo. Os resultados estão de acordo com Lanzanova et al. (2010), que estudando atributos físicos em um Argissolo, encontraram valores de variabilidade similares ao da presente pesquisa, assim como Cruz et al. (2010), na avaliação de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana.

Tabela 4. Valores de umidade gravimétrica verificada no perfil do solo para duas áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar sob tráfego controlado.

Camada (m)	Umidade gravimétrica	
	----- kg kg ⁻¹ -----	
	Linha	Entrelinha
	<u>Primeiro corte</u>	
0-0,1	0,03	0,03
0,1-0,2	0,02	0,03
0,2-0,3	0,03	0,02
0,3-0,4	0,04	0,03
0,4-0,5	0,04	0,03
0,5-0,6	0,05	0,04
	<u>Terceiro corte</u>	
0-0,1	0,06	0,06
0,1-0,2	0,07	0,06
0,2-0,3	0,06	0,07
0,3-0,4	0,07	0,08
0,4-0,5	0,07	0,08
0,5-0,6	0,08	0,09

A umidade gravimétrica apresentou maior grandeza nas áreas de TC em relação às de PC (Tabela 5). Esse fato se deu devido serem áreas sob pivô central, em que a irrigação com turno de rega de 10 dias (Quadro 1), estava com maior período sem ser executada em PC.

Foi possível verificar que a umidade teve aumento com a profundidade sendo tendência observada em ambas áreas e posições (linha e entrelinha), possibilitando deduzir que a passagem de máquinas colhedoras sob tráfego controlado não teve influência nessa variável. Isso porque não há impedimento a percolação ao longo dos perfis e indicando inexistência de compactação nos três ciclos de colheita analisados no presente trabalho, pois de acordo com Souza et al. (2007B), a densidade e o grau de compactação podem influenciar a movimentação de água no solo, levando-se ainda em consideração que a textura (Tabela 2), apresentou classes

granulométricas areia e franco arenosa, com mais de 800 g kg^{-1} de areia, condicionou menor propensão a camadas de impedimento a percolação da água no perfil, dados são correspondentes com trabalho de Manieiri et al (2007), os quais observaram que em solo com menos de 50% de silte e argila em sua textura, há propensão de maior umidade em profundidade e ainda em conformidade com Rezende et al. (2002), que verificaram que quando a irrigação se esgota, o movimento da água persiste em direção a maiores profundidades influenciada pelo potencial gravitacional em processo denominado redistribuição, seguindo curso normal caso não haja zonas de impedimentos no solo.

A inexistência de camadas de impedimento à percolação também se deve à classe de solo, pois Argissolos possuem diminuição da fração argila próximo a superfície e aumento em profundidade, promovido por processos de formação de solo como eluviação e elutriação, os quais condicionam maior quantidade de areia nos primeiros centímetros do perfil e aparição do horizonte diagnóstico B textural (Bt), com mais de 40% de argila, proporcionando maior retenção de água em profundidade. Outro fator que corrobora com a menor quantidade de água na camada de 0-40 cm no perfil é a zona de depleção das raízes, pois de acordo com estudos de Clemente et al. (2017), para diversas variedades de cana-de-açúcar, incluindo a RB 92579, encontrada na área amostrada (Quadro 1), 60 a 90% da rizosfera dessa cultura se encontra nas primeiras camadas do solo, havendo, portanto, maior demanda hídrica.

Com relação a umidade em linha e entrelinha terem apresentado praticamente a mesma grandeza nas duas áreas (Tabela 3), pode-se justificar em PC, pela diminuição da matéria orgânica (MO) promovida pelo fogo ocorrido em meados do mês de janeiro de 2017, visto que, apesar de ser um lote com colheita mecanizada, o mesmo havia sido acometido por incêndio, destruindo toda a cobertura. Outra variável relevante foi a idade da cana, a qual se encontrava com 3 meses de corte, ou seja, talvez ainda não houvesse cobertura suficiente atuando de forma a condicionar fisicamente o solo da linha, tornando, portanto, condições menos heterogêneas. Em TC, a cana apresentava a mesma idade de corte, havendo densa cobertura da palhada tanto em linha quanto em entrelinha, favorecendo maior teor de MO nesta área (Tabela 1), proporcionando condições físicas similares nas duas posições amostradas.

Na análise de resistência mecânica à penetração do solo, a umidade passa ter correlação negativa com a compactação. Segundo Roboredo et al. (2010), a resistência diminui exponencialmente com o aumento da umidade, em razão da diminuição da força de coesão entre as partículas do solo, por tanto, apesar de ter sido esperada maior resistência à penetração em TC, pela presença de mais ciclos de passagem de máquinas, a umidade atua diminuindo a mesma.

Corroborando com a distribuição da umidade no perfil do solo (Tabela 3), a condutividade hidráulica (K_0) não apresentou diferenças significativas para as áreas com diferentes tempos de colheita mecanizada assim como para as posições de linha, entrelinha, e camadas (Tabela 5), resultado que contrasta com o esperado, visto que pressupõe-se que com três anos de colheita mecanizada já se tivesse uma organização da estrutura e da porosidade do solo afetando a condutividade hidráulica. No entanto, foi constatado que a passagem da máquina colhedora não influenciou significativamente este atributo na sua área de passagem, ou seja, em entrelinha, fato que evidencia a inexistência de camadas compactadas na profundidade avaliada.

Tabela 5. Condutividade hidráulica, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível total em um Argissolo Acinzentado de áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar com primeiro e terceiro corte.

Posição	K_0		CC		PMP		AD	
	----- cm h ⁻¹ -----		----- m ³ m ⁻³ -----					
	---		-----					
Camada (m)								
	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2	0-0,1	0,1-0,2
Primeiro corte								
Linha	56,29 A a	45,29 A a	0,09 A a	0,09 A a	0,06 A a	0,06 A a	0,03 A a	0,03 A a
Entrelinha	29,68 B a	31,29 A a	0,10 A a	0,09 A a	0,07 A a	0,05 A a	0,03 A a	0,04 A a
CV (%)	35,75		30,27		33,07		29,34	
Terceiro corte								
Linha	34,52 A a	33,52 A a	0,11 A a	0,13 A a	0,09 A a	0,09 A a	0,02 A a	0,04 A a
Entrelinha	28,40 A a	28,63 A a	0,12 A a	0,13 A a	0,09 A a	0,09 A a	0,03 A a	0,04 A a
CV (%)	57,08		29,74		33,49		34,09	

K_0 = Condutividade hidráulica saturada; CC = Capacidade de campo; PMP = Ponto de murcha permanente; AD = Água disponível. Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados de condutividade hidráulica ajustam-se aos observado por Suzuki et al. (2007), em estudo de avaliação da compactação em Argissolo, em que atestaram que a K_0 decresce com o aumento do grau de compactação, pois a pressão exercida pelos rodados das máquinas pode alterar a conformação dos poros maiores, responsáveis pela aeração e infiltração

da água no solo. Os autores identificaram que com um grau de compactação de 86%, foi observado K_0 de 1,73 cm h^{-1} , valor inferior ao encontrado no presente estudo. Fiori et al. (2010), estudando condutividade hidráulica das principais classes de solos de Goiás, verificaram condutividades para Argissolo na ordem de 5 cm h^{-1} , Mentges et al. (2010), analisando propriedades físico-hídricas de um Argissolo sob diferentes manejos de solo, observaram K_0 na grandeza de 16,65 cm h^{-1} para área com compactação adicional, no entanto Hickmann et al (2012), em estudo de atributos de um Argissolo de textura média após 23 anos de cultivo, verificaram valores de condutividade entre 33,92 a 59,56 cm h^{-1} para manejos de plantio convencional similares aos realizados no solo do presente trabalho, assim como Lima Neto et al. (2009), que obtiveram valores de 85,83 cm h^{-1} para Argissolos dos Tabuleiros Costeiros sob mata, caracterizando a possível inexistência de compactação no período de três anos.

Não se verificou diferença significativa para as variáveis capacidade de campo (CC), ponto de murcha (PMP) e água disponível (AD) nas duas áreas, posições e profundidades estudadas. A análise desses atributos indica alterações no tocante a retenção de água no solo. Portanto, em solos arenosos como o Argissolo deste trabalho (Tabela 2), é esperada melhoria na retenção de água com aumento da compactação, resultante da conformação das partículas maiores que compõem sua textura, de outro modo, caso o solo esteja muito compactado, a água fica retida a tensões cada vez maiores, diminuindo valores na capacidade de campo e por consequência a quantidade de água disponível. Os resultados encontrados discordam de Maia e Ribeiro (2004), verificando atributos de um Argissolo de textura média com dois e trinta anos de cultivo de cana-de-açúcar e um perfil sob mata nativa, constataram que CC, PMP e AD apresentaram aumentos significativos na área cultivada há mais tempo devido a redução da macroporosidade, aumento da microporosidade e maiores teores de MO. Já Pacheco e Cantalice (2011), estudando atributos físicos de um Argissolo de textura média dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas cultivados com cana, observaram diminuição de CC e PMP para cultivos de quatro, catorze e trinta anos.

Pode-se constatar que a diferença significativa encontrada nos atributos Mac e Mic (Tabela 4), não foi suficiente para se observar o mesmo comportamento nos atributos CC, PMP e AD, desprendendo-se também que três ciclos de cultivo podem não ser suficientes para que haja alteração significativa nesses atributos, necessitando de uma análise a longo prazo. Assim, a colheita mecanizada sob tráfego controlado não influenciou na mecânica hídrica do solo da área.

Seguindo a classificação de Warrick e Nielsen (1980), o atributo K_0 teve CV médio com valor entre 12 a 60%, concordando com resultados obtidos por Hickmann et al. (2012), e

menores aos encontrados por Mentges et al. (2010). Conforme Gonçalves et al. (2001), o CV de K_0 tem tendência de variar entre 100 a 200%, condição muito superior ao encontrado nos dados analisados, indicando maior uniformidade nos resultados obtidos na presente pesquisa. Os CV encontrados para os atributos CC, PMP e AD foram classificados como médios, correspondendo a pesquisa de Amaro Filho et al. (2007), os quais encontraram valores similares para capacidade de campo e ponto de murcha, assim como de acordo com Coelho Filho et. al (2001), que observaram CV médio para AD, porém baixos para CC e PMP, demonstrando que os dados possuem variabilidade dentro do padrão encontrado na literatura.

4. CONCLUSÕES

O tráfego da colhedora não influenciou na textura do solo, o qual foi classificado em areia na área de primeiro corte e areia franca na área de terceiro corte. O fracionamento da areia identificou que sua maior porção se encontra como areia média, característica que imprime ao solo menor propensão à compactação.

A densidade do solo se apresentou menor na linha em relação a entrelinha nas duas áreas amostradas, em contraste, a macroporosidade se mostrou com menores valores nas entrelinhas, com a microporosidade não diferindo significativamente. Se constatou maiores valores de porosidade total nas linhas em relação as entrelinhas.

A umidade gravimétrica determinada para o perfil do solo apresentou aumento em profundidade, constatando não haver impedimentos, como camada compactadas, para a percolação da água.

Os dados de condutividade de água, capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível não apresentaram diferença significativa para as posições amostradas, profundidades e áreas.

De posse aos resultados encontrados, se constatou que não há camadas de impedimento no solo, portanto, o tráfego controlado foi eficiente ao impedir o aparecimento de compactação no período de três anos de colheita mecanizada, porém mais ciclos de cultivos devem ser levantados, visto que se observa, de forma absoluta nos dados, tendência de diminuição da qualidade do solo com o tempo.

5. REFERÊNCIAS

- Amaro Filho, J.; Negreiros, R.F.D.; Assis Júnior, R.N. & Mota, J.C.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.415-422, 2007
- Araújo, F.S.; Souza, Z.M.; Souza, G.S.; Matsura, E.E. & Barbosa, R.S. Espacialização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho em dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, p.651-660, 2013.
- Bergamin, A. C.; Vitorino, A. C. T.; Franchini, J. C.; Souza, C. M. A.; Souza, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.681-691, 2010.
- Bortoluzzi, E. C.; Pernes, M.; Tessier, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.997-1007, 2008.
- Braunack, M. V.; Arvidsson, J.; Håkansson, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Soil Tillage Research*, v.89, p.103-121, 2006.
- Cajazeira, J. P.; Assis Júnior, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.258-267, 2011.
- Camargo, L. A.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Spatial variability of physical attributes of alfisol under different hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.617-630, 2010.
- Cavaliere, K. M. V.; Carvalho, L. A. de; Silva, A. P. da; Libardi, P. L.; Tormena, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1541-1549, 2011.
- Clemente, P. R. A.; Bezerra, B. K. L.; Silva, V. S. G.; Santos, J. C. M. dos; Endres, L. Root growth and yield of sugarcane as a function of increasing gypsum doses. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.47, p.110-117, 2017.
- Coelho Filho, M. A.; Coelho, R. D.; Gonçalves, A. C. A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.239-46, 2001.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Safra 201/17 - Terceiro levantamento. Brasília, v.4, n.3, 2017.

- Cortez, J. W.; Olszewski, N.; Pimenta, W. A.; Patrocínio Filho, A. P.; Souza, E. B.; Nagahama, H. J. Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um Argissolo Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1000-1010, 2014.
- Cruz, J. S.; Assis Júnior, R. N.; Matias, S. S. R.; Camacho-Tamayo, J. H.; Tavares, R. C. Spatial analysis of physical attributes and organic carbon from yellow-red alfisol with sugarcane crop. *Ciência Agrotécnica*. v.34, p.217-278, 2010.
- Ferreira, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011.
- Fiori, J.P.O.; Campos, J.E.G.; Almeida, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do Estado de Goiás. *Geociências*, v.29, p.229-235, 2010.
- Gonçalves, A. C. A.; Folegatti, M. V.; Mata, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiae.*, v.23, p.1149-1157, 2001.
- Hickmann, C.; Costa, L. M.; Schaefer, C. E. G.; Fernandes R. B. A.; Andrade, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. *Caatinga*, v.25, p.128-36, 2012.
- Kitamura, A. E.; Carvalho, M. P. & Lima, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.361-379, 2007.
- Lanzanova, M. E.; Eltz, F. L. F.; Nicoloso, R. S.; Amado, T. J. C.; Reinert, D. J. & Rocha, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1333-1342, 2010.
- Lima Neto, J. A.; Ribeiro, M. R.; Corrêa, M. M.; Souza Júnior, V. S.; Lima, J. F. W. F.; Ferreira, R. F. A. L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1001-1011, 2009.
- Maia, J. L. T.; Ribeiro, M. R. Propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.79-87, 2004.
- Manieri, J. M.; Vaz, C. M. P.; De Maria, I. C. Sonda espiral de TDR para a medida da umidade no perfil do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.31, p.191-198, 2007.
- Melo, R. O.; Pacheco, E. P.; Menezes, J. C.; Cantalice, J. R. B. Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um Neossolo sob vegetação de caatinga. *Caatinga*, v.21, p.12-17, 2008.

- Mentges, M. I.; Reichert, J. M.; Rosa, D. P.;Vieira, D. A.; Rosa, V. T.; Reinert, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.315-321, 2010.
- Noronha, R. H. F.; Silva, R. P.; Chioderoli, C. A.; Santos, E. P.; Cassia, M.T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. *Bragantia*, v.70, p.931-938, 2011.
- Oliveira Filho, F. X. de, Miranda, N. de O.; Medeiros, J. F. de, Silva, P. C. M. da; Mesquita, F. de O.; COSTA, T. K. G. Compactação de solo cultivado com cana-de-açúcar em Baía Formosa, Rio Grande do Norte. *Revista Ceres*, v.63, p.715-723, 2016.
- Oliveira, A. P. P.; Lima, L.; Anjos, L. H. C.; Zonta, E.; Pereira, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p. 939-947, 2014
- Pacheco, E. P.; Cantalice, J. R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.403-415, 2011.
- Pimentel-Gomez, F. & Garcia, C.H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- Rezende, R.; Gonçalves, A. C. A.; De Freitas, P. S. L.; Frizzzone, J. A.; Tormena, C. A.; Bertanha, A. Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 24, p. 1553-1559, 2002.
- Roboredo, D.; Maia, J. C. D. S.; Oliveira, O. D.; Roque, C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um latossolo vermelho distrófico. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.308-314, 2010.
- Roque, A. A. O.; Souza, Z. M.; Barbosa, R. S. & Souza, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.744-750, 2010.
- Santos, L. N. S.; Passos, R. R.; Silva, L. V. M.; Oliveira, P. P.; Garcia, G. O.; Cecílio, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, v.26, p.940-947, 2010.
- Segato, S. V.; Daher, F. Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua sob velocidades de deslocamento da colhedora. *Nucleus*, v.8, p.315326, 2011.

- Signor, D.; Zani, C. F.; Paladini, A. A.; Deon, M. D. I.; Cerri, C. E. P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1402-1410, 2014.
- Silva Neto, L. F. et al. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. *Ciência Agrotecnologia*, v.34, n.6, p. 1365-1371, 2010.
- Souza, C. B. de; Silva, B. B. da; Azevedo, P. V. de. Crescimento e rendimento do abacaxizeiro nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.134-141, 2007A.
- Souza, E. A.; Coelho, E. F.; Paz, V. P. S. Distribuição da umidade num perfil do solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, p.1161-1166, 2007B.
- Souza, G.S. de; Souza, Z.M. de; Silva, R.B. da; Araujo, F.S.; Barbosa, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.603-612, 2012
- Suzuki, L. E. A. S.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Lima, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1159-1167, 2007.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017. 573p.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se a necessidade por mais informações técnicas sobre aplicação de novas tecnologias no campo em nível regional, contemplando as peculiaridades dos solos locais, este trabalho se apresenta como meio avaliador de efeitos da expansão da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em Argissolos, que são predominantes no cultivo desta importante cultura nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, descrevendo e analisando dados específicos de linha e entrelinha de plantio.

A utilização de geoestatística, mais precisamente na variabilidade espacial, favorece análise mais efetiva da área quanto à observação da alteração dos atributos físicos, a qual, por meio da confecção de mapas, possibilita verificar efeitos parciais ou totais em talhões cultivados, orientando técnicos, produtores e gerentes na tomada de decisão que consequentemente resulta em redução de custos.

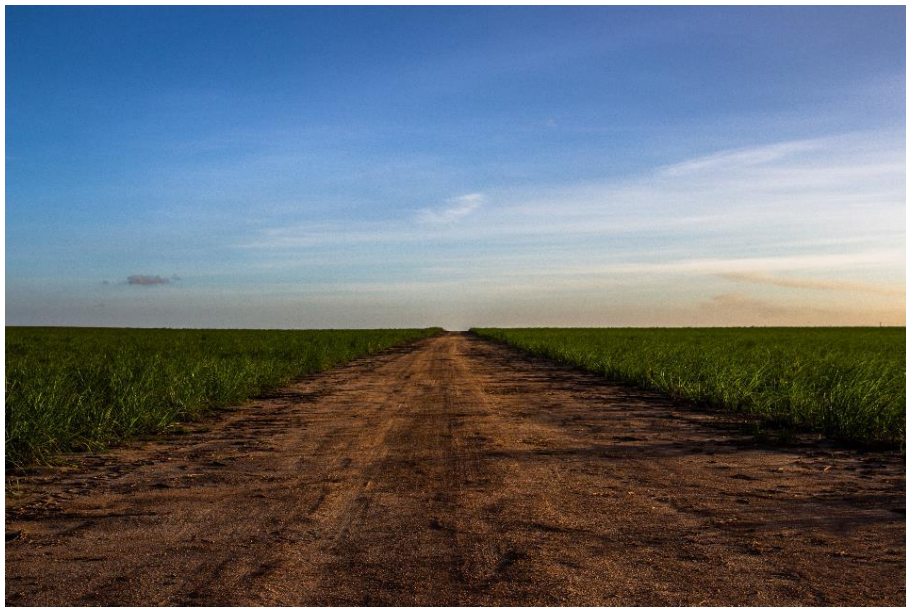
O Argissolo estudado não apresentou camadas de impedimento ao desenvolvimento da cana-de-açúcar, visto os valores baixos a moderados de resistência mecânica do solo à penetração, notoriamente explicada pela textura arenosa apresentada por esse solo, a qual possibilita menor risco a compactação, e ao efeito limitado da passagem das máquinas oriundo do programa de controle de tráfego. Porém, estudos a longo prazo devem ser realizados, com efeito de maior monitoramento e acompanhamento ao desenvolvimento da cultura.

A adoção do tráfego controlado, mesmo ainda sendo tímida por parte das grandes empresas, assim como para pequenos e médios produtores do setor canavieiro, se estabelece como eficiente forma mitigadora de alterações negativas nos atributos físicos do solo, como foi verificado ao analisar textura, argila dispersa em água, grau de floculação, densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica, e valores da retenção de água no solo como capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível, que apresentaram pouca ou nenhuma diferença significativa, mas com tendências de alterações negativas nas entrelinhas, concluindo-se, portanto, que o manejo de controle atua na conservação das linhas de plantio, ou seja, diminuindo a influência da trafegabilidade na camada de solo explorada pela cultura.

APÊNDICES



Apêndice 1A. Área de cana-de-açúcar sob terceira colheita mecanizada com tráfego controlado.



Apêndice 2A. Visão geral da área de estudo em canavial da Fazenda Santa Emília II na Usina Miriri Alimentos e Bioenergia S/A, município de Rio Tinto, PB.