

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CAMPUS – IV CHAPADINHA/MA
CURSO DE AGRONOMIA

VALBER ERICEIRA PACHECO FILHO

**ANÁLISE MULTIVARIADA DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO
EM SOLOS COESOS NA CULTURA DA SOJA EM BURITI - MA**

Chapadilha/MA

2017

VALBER ERICEIRA PACHECO FILHO

**ANÁLISE MULTIVARIADA DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO
EM SOLOS COESOS NA CULTURA DA SOJA EM BURITI - MA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Agronomia, do
Centro de Ciências Agrárias e Ambientais
da Universidade Federal do Maranhão
(CCAA/UFMA), para obtenção do grau
de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Khalil de Menezes
Rodrigues

Chapadinha/MA

2017

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Pacheco Filho, Valber Ericeira.

Análise multivariada da resistência do solo à penetração em solos coesos na cultura da soja em Buriti - MA / Valber Ericeira Pacheco Filho. - 2017.
28 f.

Orientador(a): Khalil de Menezes Rodrigues.
Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, CCAA/UFMA, 2017.

1. Compactação do solo. 2. Glycine max. 3. Umidade gravimétrica. I. Rodrigues, Khalil de Menezes. II. Título.

VALBER ERICEIRA PACHECO FILHO

**ANÁLISE MULTIVARIADA DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO
EM SOLOS COESOS NA CULTURA DA SOJA EM BURITI - MA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA), para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Banca Examinadora:

Prof. Khalil de Menezes Rodrigues
(Orientador)

Profa. Dra. Maryzélia Furtado de Farias
(Avaliadora)

Profa. Dra. Luisa Julieth Parra Serrano
(Avaliadora)

RESUMO

ANÁLISE MULTIVARIADA DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM SOLOS COESOS NA CULTURA DA SOJA EM BURITI - MA

A compactação é um fator prejudicial à produção de diversas culturas, pois o solo cria uma barreira, impedindo a água de mover-se pelos poros, e conseqüentemente diminuindo a umidade. Objetivou-se verificar a influência da resistência do solo à penetração na cultura da soja em uma fazenda na região de Buriti, MA. O estudo foi realizado na Fazenda Chapadão, no município de Buriti, Estado do Maranhão. Foi escolhida uma área de produção de soja com 80 ha por apresentar diferenças na altura das plantas da soja (*Glycine max*). Foram demarcados 80 pontos na área avaliada. Foi avaliada a umidade gravimétrica na profundidade de 0-20 cm e de 20-40 cm, a resistência do solo à penetração até a profundidade de 60 cm e as variáveis da planta: altura, número de vagens, altura do primeiro ramo, altura da primeira vagem e número de ramos em parcela de 1m². Na análise dos dados foi realizada a estatística descritiva, correlação linear e análise multivariada de redundância. A resistência do solo à penetração na profundidade de 0-10 cm obteve o maior CV e foi a única variável que os dados não foram normais. A umidade de 0-20 cm mostrou-se correlacionada com todos os atributos da planta.

Palavras-chave: *Glycine max*, análise de redundância; compactação do solo, leste Maranhense.

ABSTRACT

MULTIVARIATE ANALYSIS OF SOIL RESISTANCE TO PENETRATION IN COHESIVES SOILS IN SOYBEAN CULTURE IN BURITI - MA

Compaction is a detrimental factor to the production of several crops, because the soil creates a barrier, preventing water from moving through the pores, and consequently decreasing humidity. The objective of this study was to verify the influence of soil resistance to soybean crop penetration in a farm in Buriti, MA. The study was carried out at Fazenda Chapadão, in the municipality of Buriti, State of Maranhão. A soybean production area of 80 ha was chosen because of differences in height of soybean plants (*Glycine max*). 80 points were demarcated in the evaluated area. It was evaluated the gravimetric moisture in depth of 0-20 cm and of 20-40 cm, the resistance of the soil to the penetration to the depth of 60 cm and the variables of the plant: height, number of pods, height of the first branch, height of the First pod and number of branches in plot of 1sqm. In the data analysis, descriptive statistics, linear correlation and multivariate redundancy analysis were performed. The soil resistance to penetration at depth of 0-10 cm obtained the highest CV and it was the only variable that the data were not normal. The humidity of 0-20 cm was correlated with all attributes of the plant.

Key words: *Glycine max*, redundancy analysis, soil compaction, east Maranhense.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo geral	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Solos compactados	3
3.2. Umidade do solo	3
3.3. Resistência do solo à penetração	4
3.4. Solos coesos	5
4. MATERIAL E MÉTODOS	7
4.1. Área de estudo	7
4.2. Variáveis avaliadas	9
4.2.1. Umidade gravimétrica do solo	9
4.2.2. Resistência do solo à penetração	9
4.2.3. Análise dos dados	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
6. CONCLUSÕES	15
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

1. INTRODUÇÃO

O solo é responsável por proporcionar nutrientes e umidade para as plantas, esses, elementos fundamentais e indispensáveis para o ótimo desenvolvimento da grande maioria das plantas, sejam elas anuais ou perenes.

Um dos mais graves problemas dos solos agrícolas é a compactação, responsável pela redução da produtividade de várias culturas, é o processo pelo qual partículas e agregados são rearranjados, tendo formas e tamanho alterados. Pode ser formada pelo trânsito de máquinas pesadas nas áreas ou excessivo revolvimento. A compactação é um fator prejudicial à produção de diversas culturas, pois o solo cria uma barreira, impedindo a água de mover-se pelos poros, e conseqüentemente diminuindo a umidade. Essa barreira vai também criar resistência à penetração das raízes das plantas, fazendo com que o sistema radicular tenha dificuldade de desenvolver-se e absorver água e nutrientes disponíveis na solução do solo, colocando a produção em risco.

A soja é uma das culturas que mais sofre com a compactação do solo, pois o fluxo de maquinário pesado nos campos de produção é muito grande. Principalmente em campos onde o sistema implantado é o plantio direto, que consiste no mínimo revolvimento do solo, e devido ao fluxo de máquinas pesadas, o solo começa a ficar mais coeso, e como conseqüência ficando mais compactado.

Geralmente essa compactação ocorre nas camadas mais profundas do solo. Esses aspectos podem fazer referência à presença do pé de grade, camada compactada, abaixo da superfície do solo. Mas tendo casos de compactação superficial que além de impedir a água de penetrar nos poros, faz com que essa água escoe, gerando erosão e conseqüentemente arrastando camadas de solo, e nutrientes.

Para verificar a existência de camadas compactadas, o penetrômetro é o instrumento que, por meio do valor da resistência do solo à penetração, mede a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Beutler et al., 2007).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Verificar a influência da resistência do solo à penetração na cultura da soja em uma fazenda na região de Buriti, MA.

2.2. Objetivos específicos

Verificar a influência da resistência do solo à penetração em atributos da soja como: altura da planta, altura de inserção da primeira vagem, número de ramos, altura da primeira vagem e altura do primeiro ramo.

Avaliar a influência da umidade gravimétrica do solo na resistência do solo à penetração.

Identificar as interações existentes entre as variáveis utilizando análise multivariada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Solos compactados

A umidade, a temperatura e a aeração do solo são fatores primordiais para a germinação, entretanto estes fatores são diretamente influenciados pelo estado de compactação do solo ao redor da semente (MODOLO et al.,2011) A compactação altera a estrutura do solo promovendo a reorganização de partículas e dos seus agregados que podem limitar a absorção de nutrientes, a adsorção, a infiltração, as trocas de gases, e a redistribuição da água, demora na brotação de plântulas e podendo ter o desenvolvimento do sistema de raízes e da parte folhear comprometidos, resultando em decréscimos na produtividade (STONE et al., 2002; MODOLO et al., 2008).

A susceptibilidade do solo à compactação apresenta variações, em função do teor de água e textura, que são importantes propriedades do solo. A textura influencia o comportamento do solo, quando submetido a pressões externas, pois determina o atrito entre as partículas e o tipo de ligação entre elas. Geralmente, quanto maiores as partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação (MACEDO, et. al., 2010).

No plantio convencional é promovida a compactação nas camadas mais profundas, pois nesse tipo de preparo ocorre o revolvimento do solo nas camadas mais superficiais, isto é ocasionado devido a pressão exercida pelas máquinas no solo. Entretanto, a falta de revolvimento do solo no plantio direto, e associado o fluxo de máquinas intenso e a maior humidade, podem ocasionar a compactação do solo (BARROS, 2017).

A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de atributos relacionados à capacidade de fornecer nutrientes às plantas, em fornecer suporte ao crescimento e desenvolvimento radicular e em propiciar estabilidade estrutural para combater a erosão e reter água para as plantas (NIERO et al., 2010). Atualmente a compactação do solo é considerada um grande desafio a ser enfrentada em áreas mecanizadas que visam altas produtividades (STEFANOSKI, et al., 2013)]

3.2. Umidade do solo

O solo e principalmente a água são muito importantes para a produção agrícola e o seu manejo racional é decisivo para o desenvolvimento das plantas. O conhecimento da

distribuição do teor de água (umidade) no solo torna-se cada vez mais necessário, uma vez que está intensamente ligado às propriedades do sistema solo-água-plantas. O manejo do recurso água deve ser feito no sentido de torná-lo disponível para as plantas de forma correspondente, buscando o melhor rendimento da cultura, do ponto de vista econômico (TRINTINALHA et al., 2004).

A umidade do solo, apesar de ser um conceito físico simples, oferece dificuldades na sua determinação, de forma a se obter um valor representativo devido à própria variabilidade espacial das características físicas do solo (TRINTINALHA et al., 2004).

Os Latossolos em sua maior parte, apresentam baixa capacidade de retenção de água. Tal característica coligada com a alta radiação solar e alta evapotranspiração potencial, condicionam que a água seja um recurso que exige cuidados especiais à agricultura (COCHRANE et al., 1985). Isso pode ser um fator limitante, pois a água afeta diversas propriedades do solo e o desenvolvimento das plantas (REICHARDT; TIMM, 2004).

Dessa forma, variações na umidade do solo influenciam a disponibilidade de nutrientes, a atividade de microrganismos e a adoção de práticas culturais de manejo do solo, entre outros. Por causa disso, a estimativa correta da umidade do solo é de suma importância para as operações mecanizadas e para as avaliações das propriedades do solo, particularmente, na região escolhida (DE OLIVEIRA, 2016).

3.3. Resistência do solo à penetração

Dentre os atributos da qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes no solo. O solo tem grande relação de dependência entre a resistência à penetração e a água. Com a diminuição da quantidade de água, tem-se o aumento na resistência a penetração do solo (SILVA et al. 2000).

Têm-se observado o aumento da densidade e resistência do solo a penetração, dentre os principais efeitos da otimização da mecanização nas áreas agrícolas, juntamente com a redução na porosidade total, sendo que estes atributos podem ser influenciados pela textura, teor de matéria orgânica, conteúdo de água e quantidade de biomassa vegetal sobre a superfície do solo (TORRES et al., 2012).

O monitoramento da resistência à penetração, e a determinação do conteúdo de água no solo numa área agrícola são ferramentas indispensáveis ao planejamento das práticas de cultivo a serem seguidas, pois estes atributos quando avaliados continuamente toleram monitorar a eficiência do sistema de manejo adotado (TORRES et al., 2011). A avaliação destes atributos deve ser realizada quando o solo estiver na sua capacidade de campo, pois é o momento que se alcança a melhor correlação destes com o crescimento das raízes das plantas (ARSHAD et al., 1996).

O penetrômetro de impacto para determinar a resistência do solo à penetração (STOLF, 1991), em associação ao estudo do perfil cultural, (TAVARES-FILHO et al., 1999) tem sido bastante usado para correlacionar e explicar os diversos efeitos da compactação no crescimento das raízes das culturas. Um diagnóstico qualitativo e quantitativo ganham importância para auxiliar na verificação da qualidade do manejo utilizado e também no estabelecimento de limites de compactação que não afetem diretamente o crescimento das raízes das plantas nos diferentes tipos de sistemas de manejo. (TAVARES-FILHO et al., 2001)

3.4. Solos coesos

A coesão é um atributo diagnóstico muito utilizado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos para discriminar Latossolos Amarelos com horizontes pedogenéticos subsuperficiais, AB e, ou, BA, entre 0,3 e 0,7 m da superfície do solo, adensados, muito duros a extremamente duros depois de secos, passando a friáveis ou firmes quando submetidos à umidade (SANTOS et al., 2013).

Nesses solos, o caráter coeso, pode afetar a produção agrícola devido à elevada resistência do solo à penetração, particularmente quando seco, o que prejudica a infiltração de água, absorção de nutrientes e o desenvolvimento das raízes das plantas. (MELO FILHO et al., 2009; VIEIRA et al., 2012).

Entre os elementos de manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influencia no comportamento físico, uma vez que opera diretamente sobre sua estrutura e causa modificações na porosidade e densidade, o que afeta a retenção de água. Entretanto, medidas corretivas para solucionar os problemas relacionados à física do solo são normalmente realizadas sem que se leve em conta a distribuição espacial das propriedades físicas do solo. Entre os quesitos necessários para definir práticas apropriadas de manejo em solos coesos, é importante que se conheça a relação entre os atributos físicos do solo

e o manejo utilizado, onde os estudos sobre a variabilidade espacial desses atributos contribuirão para entender a influência que o manejo desempenha sobre a qualidade física do solo (DA SILVA RIBEIRO, 2016).

A caracterização detalhada dessas variações pode indicar a ocorrência de processos capazes de influenciar na produtividade diferenciada das culturas; em consequência, possibilita a identificação de locais específicos de manejo do solo (SANCHEZ et al., 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Chapadão, no município de Buriti, Estado do Maranhão. A área foi escolhida por apresentar diferença na altura das plantas e na produtividade da cultura da soja. O estudo foi desenvolvido entre maio e junho de 2017. O solo da área de estudo foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso Eutroférico utilizando como referência o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2013). O clima da região é do tipo Cwa, tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação climática internacional de Köppen-Geiger.

A área avaliada possui 80 hectares e declividade média de 3% com o cultivo da soja (*Glycine max*) (Figura 1). Na área avaliada foi realizada adubação com 250 kg de superfosfato triplo por hectare aplicado por metro linear e 500 kg de cloreto de potássio por hectare.



Figura 1 – Imagem de satélite da área de estudo. Google (2017). Buriti, MA.

Para localização dos pontos de amostragem usou-se o GPS modelo Garmin utilizando o sistema de coordenadas cartesianas bidimensional UTM, em metros, e o datum SAD69.

A amostragem foi realizada em 80 pontos, sendo um ponto por hectare (Figura 2). A amostragem foi realizada nos dias 20 e 21 de maio de 2017. No dia 20 de maio foram definidos e identificados os pontos com o GPS e também foi realizada a amostragem de plantas com a ajuda de um gabarito quadrado de madeira medindo 1 x 1 m. Foram coletadas todas as plantas da área amostral que foram acondicionadas em sacos de rafia com a numeração do ponto amostral para facilitar a identificação.

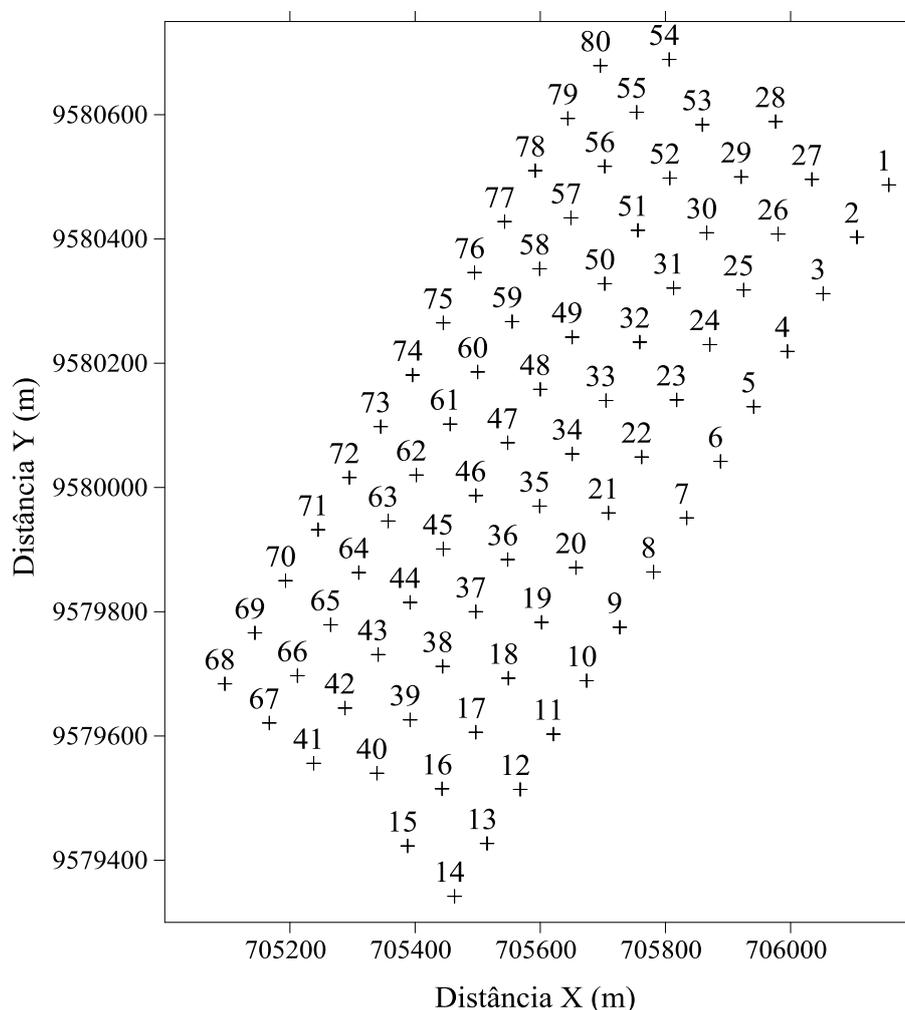


Figura 2 - Grade dos 80 pontos de amostragem das plantas. Buriti, MA.

No segundo dia efetuou-se a amostragem de umidade gravimétrica do solo utilizando um trado tipo calador e também foi medida a resistência do solo à penetração com o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar. Na amostragem da

umidade gravimétrica do solo foram coletadas três amostras simples por ponto formando uma amostra composta nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm que foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas com o auxílio de uma caneta marcador. A medição da resistência do solo à penetração foi realizada até a profundidade de 60 cm com uma avaliação por ponto.

O material coletado foi levado para o Laboratório de Gênese, Física e Classificação do Solo do CCAA/UFMA para análise das variáveis de planta. Com o auxílio de uma fita métrica fixada a uma bancada, realizou-se a medição dos atributos da planta e adicionalmente a contagem do número de vagens.

4.2. Variáveis avaliadas

4.2.1. Umidade gravimétrica do solo

A umidade gravimétrica do solo foi avaliada seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm maio de 2017. Na análise da umidade gravimétrica do solo foram pesados 20 gramas de solo úmido (massa de solo úmido) em cadinho e posteriormente colocado em estufa de secagem com circulação forçada de ar por 24 horas na temperatura de 105 °C. As amostras foram pesadas em balança semi-analítica (massa de solo seco). No cálculo da umidade gravimétrica do solo utilizou-se a Equação 1.

Eq. (1)

$$\text{Umidade gravimétrica (\%)} = (msu - mss / mss) \times 100$$

msu: massa de solo úmido (g); *mss*: massa de solo seco (g).

4.2.2. Resistência do solo à penetração

Para medir a resistência do solo à penetração utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf (STOLF et al., 1983) e sua utilização seguiu a metodologia de STOLF (1984). As avaliações foram realizadas com o solo próximo à capacidade de campo até à profundidade de 60 cm. Para o cálculo da resistência do solo à penetração foi utilizado o procedimento descrito por STOLF (1990) e STOLF (1991)

baseando-se na Equação 2. Os resultados foram grupados de 10 em 10 cm até à profundidade de 60 cm.

Eq. (2)

$$R = \left(\frac{(M + m)g + \left(\frac{M}{M + m} * \frac{Mgh}{x} \right)}{A} \right) * 10$$

R: resistência do solo à penetração (MPa); *M*: massa que provoca o impacto (kg); *m*: massa dos demais componentes (kg); *g*: aceleração da gravidade (m s⁻²); *h*: altura de queda (cm); *x*: penetração por impacto (cm); *A*: área da base do cone (cm²).

4.2.3 Análise dos dados

Os dados foram analisados pela estatística descritiva e calculados: valor mínimo, valor máximo, média, desvio padrão, e os coeficientes de variação (CV), assimetria e curtose. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5 % de significância utilizado o programa SURFER[®] versão 11.0 (Golden Software, Inc., 2012). Realizou-se a correlação linear de Pearson e verificada a significância da correlação pelo teste t utilizando o programa ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2016). Aplicou-se a análise multivariada de redundância canônica (RDA) utilizando o programa CANOCO 4.5 (TER BRAAK & SMILAUER, 2002).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada a estatística descritiva dos dados e estão apresentados na Tabela 1. Dentre os atributos de planta, o número de ramos obteve o maior valor do CV, seguido pelo número de vagens. A altura da primeira vagem obteve o menor CV dentre as variáveis de planta. A diferença no CV, dentre as variáveis de planta, pode ser explicado pelas variáveis que são mais responsivas a algum fator, como, por exemplo, adubação e umidade do solo das variáveis que são menos responsivas a algum fator como são as variáveis da genética da planta.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos de solo e planta na fazenda Chapadão.

	Nº Val.	Min.	Máx.	Média	DP	CV	Assim.	Curtose	KS	Valor crítico KS
Altura	80	43,00	75,76	57,71	7,56	13,09	0,31	-0,46	0,08	0,15
NRamos	80	1,87	5,46	3,0	0,74	24,17	0,99	0,68	0,12	0,15
A1Ramo	80	12,13	25,08	17,28	2,32	13,45	0,63	0,66	0,09	0,15
A1Vagens	80	18,21	32,70	24,96	2,73	10,92	-0,02	0,13	0,08	0,15
NVagem	80	18,06	51,46	29,29	7,06	24,11	1,29	1,80	0,14	0,15
r10	80	0,56	5,38	1,41	0,74	52,69	2,63	10,17	0,20	0,15
r20	80	1,14	4,92	2,28	0,72	31,58	0,97	1,87	0,07	0,15
r30	80	1,71	5,84	2,95	0,69	23,32	1,32	4,01	0,15	0,15
r40	80	1,27	4,70	2,81	0,59	21,06	0,87	1,86	0,13	0,15
r50	80	1,05	3,43	2,60	0,45	17,46	-0,31	0,41	0,07	0,15
r60	80	1,56	4,00	2,47	0,50	20,28	0,80	0,75	0,12	0,15
Umi20	77	3,97	13,66	8,13	1,920	23,61	0,260	0,486	0,089	0,153
Umi40	76	5,26	14,47	9,67	1,323	13,69	0,132	4,303	0,136	0,154

* r10: Resistência do solo à penetração de 0-10 cm; r20: Resistência do solo à penetração de 10-20 cm; r30: Resistência do solo à penetração de 20-30 cm; r40: Resistência do solo à penetração de 30-40 cm; r50: Resistência do solo à penetração de 40-50 cm; r60: Resistência do solo à penetração de 50-60 cm; Min.: Valor mínimo; Máx.: Valor Máximo; DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação (%); Assim.: Assimetria; KS: teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância.

Na resistência do solo à penetração, o CV aumentou conforme diminuía a profundidade, sendo o maior CV o apresentado na profundidade de 0-10 cm. ALBERNAS et al. (2016) verificaram que o solo apresentou maior resistência nas camadas mais profundas, principalmente na camada de 20 cm até a camada de 50 cm de profundidade.

De acordo com os dados obtidos, observou-se que ocorreu uma maior variação na resistência do solo à penetração na profundidade de 0-10 cm relação aos valores máximos e valores mínimos, assim obtendo menor média e maior coeficiente de variação. Na análise de normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a resistência de 0-10 cm foi a única variável que não apresentou curva normal, evidenciado pelos valores de assimetria e curtose. Isto deve-se em função que as camadas mais superficiais são as mais revolvidas e expostas a ações mecânicas e naturais.

A altura do primeiro ramo teve correlação com a altura da planta, ou seja, a altura do primeiro ramo irá variar de acordo com a altura da planta (Tabela 2). A altura da primeira vagem mostrou correlação com a altura da planta e com a altura do primeiro ramo, pois a primeira vagem foi encontrada com mais constância no primeiro ramo da planta. O número de vagens apresentou correlação com a altura da planta e com o número de ramos, mostrando que quanto maior a planta e seu número de ramos, maior sua quantidade de vagens.

A resistência à penetração de 0-10 centímetros obteve correlação negativa com o número de ramos. A umidade de 0-20 foi a variável que mais teve correlação com as demais variáveis. Tem direta influência na altura das plantas, em números de ramos, com altura do primeiro ramo, altura da primeira vagem, e número de vagens. A umidade apresentou correlação negativa com a resistência à penetração do solo, ou seja, quanto mais úmido, menor resistência o solo oferece à penetração. O solo mais argiloso retém mais água proporcionando menor resistência à penetração. No caso da umidade de 0-20 centímetros, ficou claro que existe uma ótima relação com o crescimento da planta, pois as maiores plantas foram coletadas nos locais mais úmidos, logo, o sistema radicular da soja não vai até camadas muito profundas, atendendo suas necessidades hídricas nas camadas mais superficiais.

Tabela 2 – Coeficiente de correlação de Pearson dos atributos físicos e biológicos.

	Altura	NºRamos	A1ramo	A1vagem	Nvagens	r10	r20	r30	r40	r50	r60	umi20	umi40
Altura	1.00												
Nramos	0.14	1.00											
A1ramo	0.72	-0.01	1.00										
A1vagem	0.77	-0.14	0.53	1.00									
Nvagens	0.45	0.70	0.16	0.05	1.00								
r10	-0.07	-0.27	-0.03	-0.03	-0.15	1.00							
r20	-0.21	-0.29	-0.17	-0.14	-0.23	0.67	1.00						
r30	-0.16	-0.11	-0.18	-0.09	-0.18	0.21	0.48	1.00					
r40	-0.16	-0.07	-0.23	-0.01	-0.13	0.10	0.21	0.73	1.00				
r50	-0.01	-0.03	-0.10	0.14	-0.02	0.01	0.10	0.37	0.59	1.00			
r60	-0.15	-0.05	-0.18	0.02	-0.04	0.06	0.09	0.18	0.28	0.56	1.00		
umi20	0.45	0.32	0.33	0.28	0.38	-0.35	-0.36	-0.27	-0.26	-0.05	-0.20	1.00	
umi40	0.10	0.23	0.10	0.00	0.23	-0.14	0.03	-0.06	-0.17	-0.19	-0.21	0.48	1.00

* r10: Resistência do solo à penetração de 0-10 cm; r20: Resistência do solo à penetração de 10-20 cm; r30: Resistência do solo à penetração de 20-30 cm; r40: Resistência do solo à penetração de 30-40 cm; r50: Resistência do solo à penetração de 40-50 cm; r60: Resistência do solo à penetração de 50-60 cm; Nramos: Número de ramos; A1ramo: Altura do primeiro ramo; A1vagem: Altura da primeira vagem; Nvagens: Número de vagens.

Valores em negrito: significativo ao teste t a 5% de significância.

De acordo com a análise de redundância canônica (RDA), verifica-se que a umidade gravimétrica de 0-20 cm mostrou-se correlacionada positivamente com todos os atributos de planta: altura da planta, número de vagens, número de ramos, altura de primeira vagem a altura do primeiro ramo, onde quanto maior a umidade na profundidade de 0-20 centímetros, maior foi a resposta dessas variáveis (Figura 3). A umidade de 20-40 cm também mostrou-se correlacionada com os atributos de planta, porém, com menor grau de explicação por causa do tamanho do vetor. As variáveis de resistências do solo à penetração mostram-se inversamente correlacionadas com os atributos de planta e a umidade.

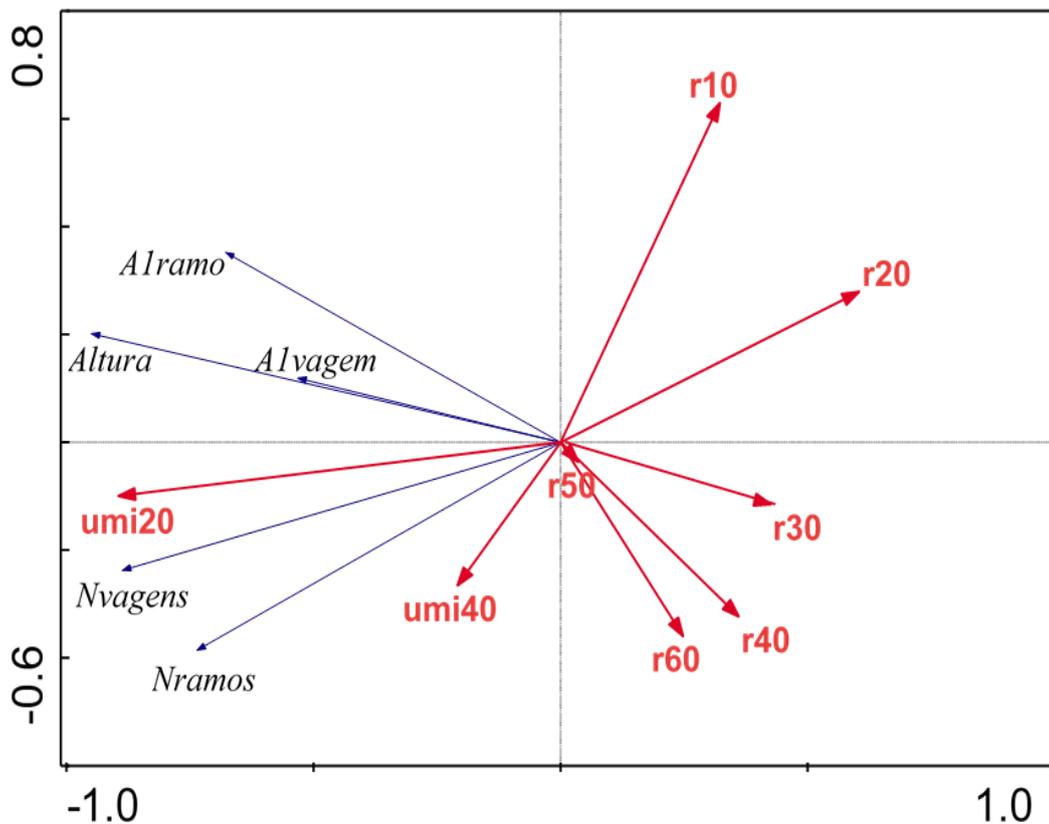


Figura 3 – Análise de redundância dos atributos físicos e biológicos da planta.

6. CONCLUSÕES

A resistência do solo à penetração na profundidade de 0-10 cm obteve o maior CV e foi a única variável que os dados não foram normais.

A umidade de 0-20 cm mostrou-se correlacionada com todos os atributos de planta.

De acordo com a RDA, a resistência do solo à penetração mostrou-se inversamente proporcional aos atributos biológicos.

A resistência à penetração de 40-50 cm apresentou maior resistência à penetração e menor variação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERNAS, K. K. et al. Estudo da compactação do solo cultivado sob plantio direto. 1. **RIU-Revista de Integralização Universitária**, v. 11, n. 15, 2016.
- ARSHAD, M.A. et al. 139 Gl. Sci Technol, Rio Verde, v. 08, n. 01, p.131 – 140, jan/abr. 2015. monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J., Eds. Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of American Journal**, p.123-141, 1996.
- BARROS, L. R. et al. **Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto**. 2017.
- BEUTLER, A. N. et al. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de Latossolos. **Engenharia Agrícola**, 27:146-151, 2007.
- BEUTLER, A. N. et al. **Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho**, Jaboticabal/SP: Bras. Ci. Solo, v. 30, p. 787-794, 2006.
- COCHRANE, T. T. et al. **Land in tropical América**. Cali: CIAT/EMBRAPA-CPAC, 3 v.1985
- DA SILVA RIBEIRO, Letícia et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, 2016.
- DALCHIAVON, F. C. et al. **Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro**. Selvíria/MS: Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), v. 41, n. 1, p. 10-5216/pat. v41i1. 8351, 2011.
- DE CERQUEIRA SILVEIRA, D. et al. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. Governador Mangabeira/BA: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.
- DE LIMA, R. P. et al. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Ceres**, v. 60, n. 1, 2015.
- DE OLIVEIRA, L. F. C. et al. Determinação da umidade do solo por micro-ondas e estufa em três texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado. **REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL**, v. 3, n. 4, p. 60-64, 2016.
- DO AMARAL RESENDE, J. M. et al. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, 2014.
- DRESCHER, M. S. et al. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. Coxilha/RS: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1836-1844, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p. (Embrapa Solos. Documentos, 1).

FEB99, ASAE EP542. **Procedures for Using and Reporting Data Obtained with the Soil Cone Penetrometer**. 2003.

FREDDI, O. S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.113-121, 2006.

GONTIJO, I. et al. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1093-1102, 2012.

LIMA, C. L. R. de et al. Produtividade de culturas e resistência à penetração de argissolo vermelho sob diferentes manejos. Santa Maria/RS: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 89-98, 2010.

MACEDO V. R. M. et al. Influência de tensões compressivas na pressão de precompactação e no índice de compressão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14:856-862, 2010.

MARASCA, I. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja= Spatial variability of soil resistance to the penetration and content of water in direct planting system of the soy. Montividu/GO: **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, 2011.

MARINS, A. C. et al. **Estimadores New1 e New2 no estudo de dependência espacial da produtividade da soja e atributos físicos do solo de uma área comercial**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 133-143, 2008.

MELO FILHO, J.F. de; CARVALHO, L.L. de; SILVEIRA, D. de C.; SACRAMENTO, J.A.A. do S.; SILVEIRA, E.C.P. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, p.1168-1177, 2009. DOI: 10.1590/S0100-29452009000400034.

MODOLO, A. J. et al. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá-PR, v. 33, n. 1, p. 89-95, 2011.

MODOLO, A. J. et al. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1259-1265, 2008.

NAGAOKA, A. K. et al. **Resistência à penetração do solo na cultura da soja em diferentes tipos de manejos**. São Paulo, 2005.

NIERO, L.A.C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, P. R. **Comportamento de variedades de soja em condições de solo compactado e níveis de irrigação**. 2011. x, 81 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011.

REICHARDT, K. et al. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri-SP: Manole, 478p. 2004.

SANCHEZ, R.B. et al. Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. **Eng. Agrícola**, 32:280-292, 2012.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, Embrapa, 2013. 353p.

SILVA, F.A.S. et al. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**. Vol. 11(39), pp. 3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SILVA, E. A. A. et al. **Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta**. Acta Scientiarum, Maringa, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

SILVA, V.R. et al. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.795-801, 2000.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande-PB, v.17, n.12, p.1301-309, 2013.

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, n. 3, p. 229-35, 1991.

STOLF, R. **Fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em força/unidade de área**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19, 1990, Piracicaba. Anais... v. 2, p. 823-836.

STOLF, R. **Operação do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1984. 8p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n.2).

- STOLF, R. et al. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar - Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA – Planalsucar, 1983. 8p. (Série Penetrômetro de Impacto – Boletim, 1)
- STONE, L. F. et al. **Compactação do solo na cultura do feijoeiro-1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-12, 2002.
- TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. Paraná: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 487-494, 2008.
- TAVARES FILHO, J. et al. **Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (Zea mays) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo**. R. Bras. Ci. Solo, 25:725-730, 2001.
- TAVARES FILHO, J. et al. **Avaliação da compactação do solo em um solo cultivado no sistema convencional**. Eng. Agríc., 19:219-225, 1999a.
- TAVARES FILHO, J. et al. **Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais**. R. Bras. Ci. Solo, 23:393- 99, 1999b.
- TER BRAAK, C. J. F. et al. **CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)**. Ithaca, Microcomputer Power, 50p
- TORRES, J. L. R. et al. Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num latossolo sob semeadura direta há doze anos-10.14688/1984-3801/gst. v8n1p131-140. **GLOBAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 8, n. 1, 2015.
- TORRES, J.L.R. et al. Resistência à penetração em área de pastagem de capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.232-239, 2012.
- TORRES, J.L.R. et al. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, n.3, p.437-445, 2011.
- TRINTINALHA, M. A. et al. Comparação dos sistemas TDR e ECHO para medida de umidade, em um solo argiloso e em areia. **Acta Scientiarum: Agronomy Maringá**, v. 26, n. 3, p. 353- 360, 2004.
- VIEIRA, J.M. et al. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.623-632, 2012. DOI: 10.1590/S1806-66902012000400002.
- VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. V.1, p.1-53.

VIEIRA, S. R. et al. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties**, Hilgardia, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.