

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE ZOOTECNIA
MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

NAUBEANI MARIA CARVALHO DA CUNHA

RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREA DE
***Panicum maximum* cv TANZÂNIA EM CAXIAS, MA.**

Chapadinha/MA

2018

NAUBEANI MARIA CARVALHO DA CUNHA

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREA DE
Panicum maximum cv TANZÂNIA EM CAXIAS, MA.**

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

Orientador: Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues

Chapadinha/MA

2018

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

Carvalho da Cunha, Naubeani Maria.

RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREA DE Panicum
maximum cv TANZÂNIA EM CAXIAS, MA / Naubeani Maria
Carvalho da Cunha. - 2018.

28 p.

Orientador(a): Khalil de Menezes Rodrigues.

Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Maranhão,
Chapadinha, 2018.

1. Compactação do solo. 2. Geoestatística. 3.
Pastagem. I. de Menezes Rodrigues, Khalil. II. Título.

NAUBEANI MARIA CARVALHO DA CUNHA

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREA DE
Panicum maximum cv TANZÂNIA EM CAXIAS, MA.**

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

Aprovada em: / /

Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues – Universidade Federal do Maranhão
(Orientador)

Prof.^a. Dr.^a. Ana Paula Ribeiro de Jesus – Universidade Federal do Maranhão

Eng. Agrônomo Marcos Renan Lima Leite – Universidade Federal do Maranhão

A Deus, que me ajudou a superar os obstáculos, me permitiu chegar até aqui. Aos meus pais, pela segurança e apoio que me deram em todos os momentos da minha vida, muito me deram e pouco os agradei! Como forma de gratidão, oferto-lhes minha vitória na conclusão deste trabalho.

Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.

(Lavoisier)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela exuberante força que senti durante essa caminhada.

À minha mãe Antonia Zélia e ao meu pai Francisco, pelo amor e dedicação.

Aos meus irmãos Francisco Kleuton, Ademar e Conceição, pelo companheirismo e carinho.

Ao meu filho Cunha Neto, pelo amor e pelos momentos de felicidade.

A todos os familiares pelo incentivo, apoio e atenção.

Ao Professor Khalil de Menezes Rodrigues, pela orientação, dedicação e animação na concretização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, pelo encorajamento, por acreditarem no meu potencial e por cada gesto de amizade.

As minhas amigas (as) Alynne, Jacira, Djane, Edigleicia e Neliane, Mabson, pela dedicação, incentivo e colaboração na minha trajetória acadêmica e por cada gesto de amizade.

Ao Ramalho, pelo apoio e incentivo e por acreditar no meu potencial.

Aos mestres, pelas lições e conhecimentos transmitidos ao longo da minha Formação Inicial.

Aos amigos, pela torcida.

A todos muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da resistência do solo à penetração na altura do capim *Panicum maximum* cv Tanzânia e verificar a correlação simples entre a resistência do solo à penetração e a altura de plantas e avaliação qualitativa da área e a interação entre as variáveis utilizando a análise multivariada. O estudo foi conduzido em uma propriedade rural na cidade de Caxias no Estado do Maranhão. A área da pesquisa foi escolhida por ser uma área utilizada por produtor rural e possuir diferenças no tamanho do capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia) devido a formação do solo com diferença de pedregosidade e declividade de 4%. O estudo foi realizado nas seguintes coordenadas geográficas: 04° 49' 11,20" de latitude sul e 43° 20' 35,26" de longitude oeste com altitude média de 79 metros. A área de estudo possui 3,675 ha e declividade média de 4%, com o cultivo de capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia). Os dados foram analisados pela estatística descritiva utilizando o programa SURFER 11 (Golden Software, 2012). Para medir a resistência do solo a penetração foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo Planalsucar, sendo as avaliações realizadas com o solo úmido até a profundidade de 60 cm. A resistência do solo à penetração correlacionou-se negativamente com a altura do capim Tanzânia. A resistência do solo à penetração na profundidade de 50-60 cm não influenciou na altura de plantas e na avaliação qualitativa. Os maiores valores de resistência do solo foram obtidos com a presença de cascalho e calhaus. O modelo esférico foi o mais ajustado as variáveis de resistência do solo.

Palavras-chave: Compactação do solo; Pastagem; Geoestatística.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the influence of soil resistance to penetration on the height of Panicum maximum cv Tanzania grass and to verify the simple correlation between soil resistance to penetration and plant height and qualitative evaluation of the area and the interaction between the variables using multivariate analysis. The study was conducted in a rural property in the city of Caxias in the State of Maranhão. The research area was chosen because it is an area used by a rural producer and has differences in the size of Tanzania grass (Panicum maximum cv Tanzania) due to the formation of the soil with difference of stoniness and slope of 4%. The study was carried out in the following geographic coordinates: 04° 49 '11,20 "south latitude and 43° 20' 35,26" west longitude with average altitude of 79 meters. The study area has 3,675 ha and an average slope of 4%, with the cultivation of Tanzania grass (Panicum maximum cv Tanzania). Data were analyzed by descriptive statistics using the SURFER 11 program (Golden Software, 2012). In order to measure soil penetration resistance, a Planalsucar model impact penetrometer was used, and the measurements were carried out with the soil to a depth of 60 cm. The resistance of the soil to the penetration was negatively correlated with the height of the Tanzania grass. Soil resistance to penetration at depths of 50-60 cm did not influence plant height and qualitative evaluation. The highest values of soil resistance were obtained with the presence of gravel and pebbles. The spherical model was the most adjusted the soil resistance variables.

Key words:. Soil compaction; Pasture; Geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grade dos 42 pontos de amostragem. Caxias, MA.....	8
Figura 2 - Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf utilizado na medição da resistência do solo à penetração. Fonte: Kamaq.....	9
Figura 3 – Ilustração dos valores de assimetria. Fonte: Surfer 11. Modificado por Carvalho (2018).	10
Figura 4 - Ilustração dos valores de curtose. Fonte: Surfer 11. Modificado por Carvalho (2018).	11
Figura 5 – Perfil da resistência do solo à penetração. Caxias, MA.	15
Figura 6 - Mapas de variabilidade espacial da resistência do solo à penetração. Caxias (MA) a) 0-10 cm; b) 10-20 cm; c) 20-30 cm; d) 30-40 cm.	18
Figura 7 - Mapas de variabilidade espacial da resistência do solo à penetração. Caxias (MA) a) 40-50 cm; b) 50-60 cm ; c) média.....	19
Figura 8 - Mapas de variabilidade espacial da altura de plantas e da avaliação qualitativa.....	20
Figura 9 - Análise de redundância (RDA) da resistência do solo à penetração, da altura de plantas e da avaliação qualitativa.....	22

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Estatística descritiva da resistência do solo à penetração, altura de plantas e avaliação qualitativa da área de estudo. Caxias, MA.....14
- Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas das variáveis do estudo. Caxias, MA.....16

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO	2
2.1	Geral	2
2.2	Específicos.....	2
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1	Pastagem (produtividade).....	3
3.2	Resistência do solo à penetração	3
3.3	Compactação do solo.....	4
3.4	Variabilidade espacial	5
3.5	Análise multivariada.....	6
4.	MATERIAL E MÉTODOS	7
4.1	Área de estudo	7
4.2	Amostragens	7
4.3	Variáveis avaliadas	8
4.3.1	Resistência do solo à penetração	8
4.3.2	Avaliações fitotécnicas	9
4.4	Análise dos dados	10
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5.1	Análise da estatística descritiva dos dados	13
5.2	Avaliação dos parâmetros dos semivariogramas.....	15
5.3	Análise de redundância multivariada.	22
6.	CONCLUSÕES	23
7.	REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

A qualidade física do solo é de extrema relevância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas para melhorar o desenvolvimento das culturas e sua produtividade, e que muitas vezes não é considerada importante.

A resistência do solo à penetração é um dos indicadores mais utilizados para verificar a qualidade física de um solo em diferentes sistemas de manejo. Dessa forma, uma das causas da degradação do solo é a compactação, esta ocorre quando a proporção do volume total de poros é inadequada ao máximo desenvolvimento de uma cultura.

Atualmente, pastagens degradadas tem causado grandes preocupações, pois estão ligadas à vários fatores como: práticas de manejo inadequadas, problemas de fertilidade que limitam sua produtividade, taxa de lotação animal e compactação.

Em pastagens, ainda há dúvidas e questionamentos sobre possíveis impactos negativos ligados à degradação do ambiente, sobretudo à degradação física do solo. As alterações nos atributos físicos do solo resultantes do pisoteio animal, em poucos casos, refletiram-se negativamente no desempenho produtivo das culturas (Flores et al., 2007; Lopes et al., 2009).

Os valores mencionados na literatura de resistência mecânica a penetração do solo entre 2 MPa e 3 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas (HAMZA E ANDERSON, 2005). No entanto, o grau de compactação causado pelo pisoteio bovino é influenciado pela textura do solo, sistema de pastejo e altura de manejo da pastagem (LEÃO et al., 2004), limitado às camadas mais superficiais do solo, podendo ser temporário e reversível (CASSOL, 2003).

Porém, para a identificação da camada compactada pode ser feita uma avaliação dos atributos físicos como o da resistência mecânica à penetração das raízes, para expressar o seu grau de compactação com o auxílio de penetrômetros, são aparelhos bastante utilizados no meio agrícola, são de baixo custo, não requerem muito tempo para as medições e com fácil interpretação dos resultados obtidos.

Assim, este trabalho tem como objetivo verificar a influência da resistência do solo à penetração em área de pastagem *Panicum maximum* cv. Tanzânia em Caxias, MA.

E como objetivos específicos, analisar a influência da resistência do solo à penetração na altura do capim *Panicum maximum* cv Tanzânia; verificar a correlação simples entre a resistência do solo à penetração e a altura de plantas e avaliação qualitativa da área; verificar a interação entre as variáveis utilizando a análise multivariada.

2. OBJETIVO

2.1 Geral

Verificar a influência da resistência do solo à penetração em área de pastagem *Panicum maximum* cv Tanzânia em Caxias, MA.

2.2 Específicos

Analisar a influência da resistência do solo à penetração na altura do capim *Panicum maximum* cv Tanzânia;

Verificar a correlação simples entre a resistência do solo à penetração e a altura de plantas e avaliação qualitativa da área;

Verificar a interação entre as variáveis utilizando a análise multivariada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Degradação de pastagens

Em decorrência do crescimento da atividade pecuária, área de pastagens plantadas tem aumentado significativamente, pois representam a principal fonte de alimento para animais ruminantes, mas por não serem manejadas de forma correta pode ocorrer a diminuição no potencial produtivo das forrageiras através do processo de degradação do solo que conseqüentemente compromete a produção animal atribuindo-se a práticas agrícolas incorretas que ocasionam a baixa fertilidade dos solos.

O superpastejo pode causar a compactação do solo principalmente nas camadas menos profundas, provocadas pelo pisoteio excessivo dos animais sendo assim uma das principais alterações físicas do solo limitantes para a produtividade das pastagens. (CARNEIRO et al., 2017; JORGE et al., 2012).

A estrutura física do solo é um dos principais indicadores relacionados à degradação das pastagens atribuída ao excessivo pisoteio do gado (compactação) devido ao aumento da densidade, da microporosidade e da resistência do solo à penetração, o que determina menor capacidade de infiltração da água no solo e aumento da susceptibilidade à erosão (Gomes et. al., 2010; Grego et. al., 2010), portanto, resultante do manejo inadequado do solo e das forrageiras plantadas sobre ele. O problema agrava-se quando se trata de pastagens nativas em um sistema agrícola já degradado, onde as condições locais favorecem o processo erosivo, principalmente após uma queimada (EVANGELISTA et.al.,1992).

Tendo em vista que as plantas forrageiras são submetidas, constantemente, ao estresse da colheita, seja pelo pastejo ou pelo corte, discutir-se-ão a habilidade dessas plantas para se recuperarem, levando em conta as características do ambiente como o solo e as condições climáticas e de manejo em que elas se desenvolvem, e algumas hipóteses que possam explicar o processo de degradação que vem sendo observado (NASCIMENTO JÚNIOR et al.,1994).

3.2 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RSP) é uma estimativa do impedimento mecânico que o solo oferece às raízes, sendo um dos mais comumente citados fatores físicos que afetam o crescimento das raízes (SILVA et al., 2008) e que é modificada pelas práticas de manejo do solo. Segundo Oliveira et al. (2014), determinadas práticas de manejo do solo resultam na

degradação dos sistemas agrícolas em médio e longo prazo, sendo que a compactação do solo é um dos problemas de maior relevância em diversas regiões.

Os diversos sistemas de manejo tem provocado mudanças nas propriedades físicas e morfológicas do solo, resultando numa imensa variação da resistência mecânica do solo à penetração nos diferentes ambientes manejados, ocorrendo modificações na estrutura do solo devido às distintas formas de uso, que tem refletido, em alterações no arranjo das partículas na matriz do solo (SILVA & CABEDA, 2006), portanto, prejudicando o crescimento radicular das plantas.

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 determinação da RSP em condições de campo tem sido feita, normalmente, com o auxílio de penetrômetros, que são aparelhos de fácil manuseio e não requerem muito tempo para a tomada das medições (DEXTER et al., 2007), o qual reflete o comportamento do solo quanto à compactação, conteúdo de água, granulometria e tipo de argila e dependente de atributos do solo como: textura, porosidade, estrutura, estabilidade de agregados e teor de água (CAMARGO; ALLEONI, 1997; SILVA; REINERT; REICHERT, 2000), e se destacam por fornecer uma boa estimativa da resistência mecânica à penetração.

3.3 Compactação do solo

A compactação é caracterizada pela alteração das propriedades físicas do solo, sendo resultado direto de uma determinada prática de manejo no qual o solo é submetido a uma determinada pressão, promovendo a redução do volume e resultando no aumento da resistência à penetração e na densidade do solo (OLIVEIRA et al., 2010; OHLAND et al., 2014) e modificando em diferentes escalas algumas propriedades físicas do solo como umidade, temperatura e aeração. Essa mudança no ambiente físico do solo pode afetar propriedades biológicas e químicas específicas (BOONE & VEEN, 1994) podendo ocasionar problemas temporários ou até mesmo permanentes.

De acordo com Flowers & Lal (1998) na agricultura atual, a maior causa da compactação é o tráfego de máquinas. Horn et al. (1995) acrescentam que não somente a pressão estática causa compactação, mas também forças dinâmicas causadas pela vibração do trator arrastando implementos e pelo patinamento.

A compactação diminui a infiltração de água pelo solo, criando uma camada densa e ocasionando nas camadas superficiais do solo excesso de água e podendo provocar erosão. Os impactos ocasionados pelo uso e manejo na estrutura física do solo, vêm sendo quantificado através de diferentes propriedades físicas do solo, bem como a porosidade total, tamanho dos poros, compactação do solo, resistência à penetração das raízes, absorção de nutrientes, trocas gasosas, infiltração de água e desenvolvimento da radícula (RICHART et al., 2005).

Solos sob vegetação nativa, geralmente, apresentam características físicas desejáveis, tais como permeabilidade e grande volume de solo explorado pelas raízes, o mesmo não ocorrendo em áreas agrícolas agricultáveis. Segundo Centurion; Cardoso; Natale, (2001), a retirada da vegetação nativa para a introdução dos sistemas agrícolas provoca o desequilíbrio entre o solo e o meio limitando a produção agrícola. As alterações são decorrentes da troca da vegetação nativa por atividades que proporcionam redução na porosidade e consequente aumento na densidade do solo.

3.4 Variabilidade espacial

A variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser estudada pela Geoestatística, que trata de um conjunto de técnicas aplicadas a variáveis regionalizadas, que definem a estrutura de dependência espacial de cada variável (VIEIRA, et al., 1983; VIEIRA, 2000; ZANÃO JÚNIOR et al., 2007; MARINS et al., 2008), portanto, uma ferramenta importante em estudos de variabilidade espacial de compactação do solo.

A variabilidade espacial, de diversas propriedades do solo, inclusive da RSP (Resistência do Solo à Penetração), é dependente de fatores de formação do solo e fatores relacionados com o manejo do solo (SOUZA et al., 2001), este por sua vez apresenta relações diretas no desenvolvimento das plantas e sua produtividade.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo e da cultura é uma ferramenta significativa para analisar a variabilidade da produtividade e aperfeiçoar o manejo em áreas agrícolas, por meio de um gerenciamento agrícola que leve em consideração informações pontuais de solo e das culturas. (AMADO et al., 2009)

Dampney & Moore (1999) sugeriram análise do histórico de desenvolvimento das culturas a fim de caracterizar a variabilidade espacial existente na área, de forma que mapas de produtividade podem ser utilizados na investigação das causas da variabilidade, e podem ser um recurso eficaz na tomada de decisões sobre o manejo do solo (MOLIN, 1997; MANTOVANI, 2006).

3.5 Análise multivariada

A análise estatística multivariada surgiu como importante ferramenta de obtenção de quantidade maior de informação que dificilmente seria gerada com o uso de métodos univariados (BEEBE et al., 1998) reduzindo a dimensionalidade do conjunto de dados. (RODRIGUES et al., 2015).

Na estatística multivariada, o fenômeno depende de muitas variáveis, com isso não basta conhecer as variáveis isoladas, mas conhecê-las na sua totalidade, pois uma depende da outra e as informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente, relata (GROBE, 2005). Os estudos que quantificam a qualidade do solo, de modo geral, apresentam inúmeras variáveis, as quais são descritas por meio de análises estatísticas univariadas, que comprometem, possivelmente, as interpretações e as conclusões destes, por não ser explorada a existência da dependência entre as variáveis analisadas. (FIDALSKI et al., 2007)

As análises estatísticas univariadas apresentam limitações, de modo que a característica estudada é interpretada isoladamente, não havendo correlação com os demais atributos presentes. Por outro lado, a estatística multivariada, em que são utilizados vários atributos, possibilita a formação de agrupamentos de populações com característica similares, permitindo a obtenção de um melhor entendimento das variações dos processos que ocorrem no solo (SENA et al., 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma propriedade rural na cidade de Caxias no Estado do Maranhão. A área da pesquisa foi escolhida por ser uma área utilizada por produtor rural e possuir diferenças no tamanho do capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia) devido a formação do solo com diferença de pedregosidade e declividade de 4%. O estudo foi realizado no nas seguintes coordenadas geográficas: 04° 49' 11,20" de latitude sul e 43° 20' 35,26" de longitude oeste com altitude média de 79 metros.

De acordo com a classificação climática internacional de Köppen o clima da região é do tipo Af compreendendo o clima equatorial e a cidade de Caxias possui temperatura média de 26,9 °C e precipitação anual de 1557 mm de acordo com os dados do INMET provenientes dos anos de 1966 a 1990. O estudo foi desenvolvido em março de 2013 compreendendo o período de balanço hídrico positivo e melhor época para avaliar as variáveis relacionadas ao solo.

A área de estudo possui 3,675 ha e declividade média de 4%, com o cultivo de capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia).

4.2 Amostragens

As amostragens foram realizadas utilizando uma grade retangular com 42 pontos, espaçados de 35 x 35 metros com comprimento máximo de 175 metros no eixo X e de 210 metros no eixo Y (Figura 1). A área foi demarcada com o auxílio de um GPS Garmin Etrex 10[®] e para a marcação dos pontos de amostragem foi utilizada uma trena com o auxílio de estacas e barbante. Os pontos foram espaçados uma distância de 35 metros para facilitar a obtenção de dependência espacial utilizando a geoestatística. A grade de amostragem foi escolhida com espaçamento fixo de 35 metros para todos os pontos de amostragem serem igualmente representados no semivariograma.

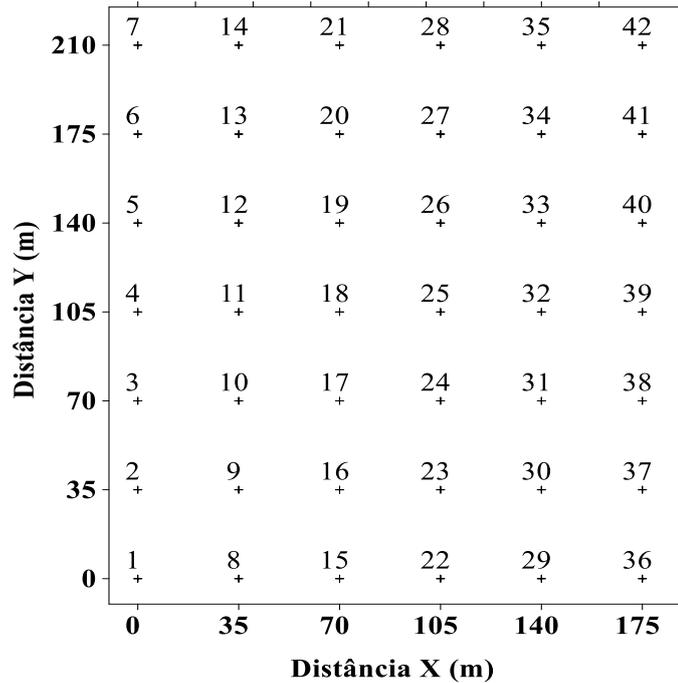


Figura 1 - Grade dos 42 pontos de amostragem. Caxias, MA.

4.3 Variáveis avaliadas

4.3.1 Resistência do solo à penetração

Para medir a resistência do solo a penetração foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo Planalsucar (STOLF et al., 1983). As avaliações foram realizadas com o solo úmido até a profundidade de 60 cm.

Para calcular a resistência do solo à penetração foi utilizado o procedimento descrito por STOLF (1991) (Equação 1 e 2)

$$R = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. 1}$$

R= resistência (MPa); F: força da resistência (kgf); A= área do cone (cm²).

$$R = \frac{\left((M + m)g + \left(\frac{M}{M + m} * \frac{Mgh}{x} \right) \right)}{A} \quad \text{Eq. 2}$$

R = Resistência (MPa); M= massa do êmbolo (kg); m = massa dos demais componentes do penetrômetro; g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$); h= altura de queda (cm); x= penetração/impacto (cm/impacto); A é a área do cone (cm^2).



Penetrômetro de Impacto - Stolf

Figura 2 - Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf utilizado na medição da resistência do solo à penetração. Fonte: Kamaq

4.3.2 Avaliações fitotécnicas

Foi realizada a medição da altura do capim Tanzânia em março de 2013. Foram escolhidos três pontos centrais e retirada a média das alturas. Devido a área de estudo ser comercial, as avaliações foram realizadas com o capim na altura ideal para pastejo. Também foram realizadas avaliações qualitativas de cada ponto amostral. Foram dadas notas para avaliar a cobertura do solo pelo capim Tanzânia, variando de um (menor cobertura) a cinco (maior cobertura).

4.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados pela estatística descritiva utilizando o programa SURFER 11 (GOLDEN SOFTWARE, 2012) e calculados: número de valores, valor mínimo, valor máximo, média, desvio padrão (Equação 3), coeficiente de variação (Equação 4), coeficientes de assimetria (Equação 5) e curtose (Equação 6). Também foi realizada a verificação da normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KOLMOGOROV & SMIRNOV, 1933) a 5% de probabilidade (Equação 5).

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Eq. 3}$$

S= desvio padrão; x_i = valor obtido; \bar{x} = média amostral; n= número de termos.

$$CV = \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) * 100 \quad \text{Eq. 4}$$

CV= coeficiente de variação; S=desvio padrão; \bar{x} = média amostral

$$g_1 = \frac{1}{ns^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad \text{Eq. 5}$$

g_1 = coeficiente de assimetria; n= número de termos; s= desvio padrão; x_i = valor obtido; \bar{x} = média amostral. (KING E JULSTROM,1982).

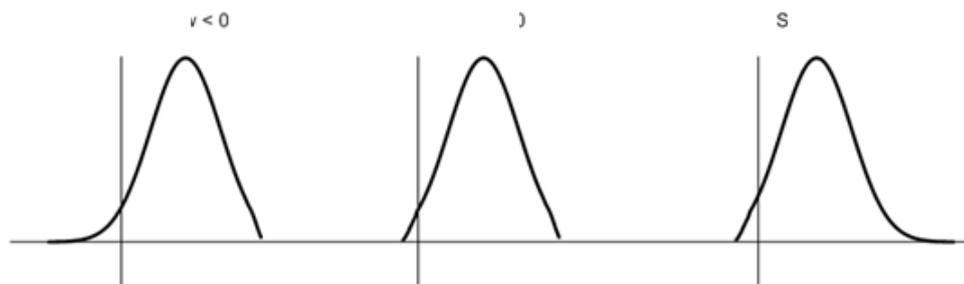


Figura 3 – Ilustração dos valores de assimetria. Fonte: Surfer 11. Modificado por Carvalho (2018).

$$g_2 = \left(\frac{1}{ns^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \right) - 3 \quad \text{Eq. 6}$$

g_2 = coeficiente de curtose; n = número de termos; s = desvio padrão; x_i = valor obtido; \bar{x} = média amostral. (KING E JULSTROM, 1982).

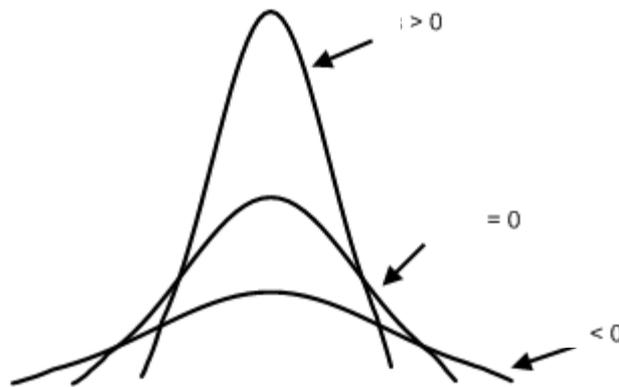


Figura 4 - Ilustração dos valores de curtose. Fonte: Surfer 11. Modificado por Carvalho (2018).

Foi utilizada a classificação de Warrick & Nielsen (1980) para classificar o coeficiente de variação (CV). O $CV \leq 12\%$ foi classificado como baixo; o CV entre $12 < CV < 62$ como moderado e $CV \geq 62$ foi considerado como alto.

A análise geoestatística dos dados foi realizada pelo programa Surfer 11 (GOLDEN SOFTWARE, 2012). Foram construídos semivariogramas e foram selecionados os diferentes modelos existentes: linear, gaussiano, esférico e exponencial de acordo com o efeito pepita, variância estrutural e alcance. A hipótese utilizada para fazer o semivariogramas é a não restrição de variância finita, indicando que não possui estabilização no semivariogramas. A interpolação dos dados foi realizada por meio da técnica de krigagem simples.

Para verificar o grau de dependência espacial, foi calculado uma razão (CAMBARDELLA et al., 1994), que é a contribuição do efeito pepita na variância estrutural (Equação X). Se o GDE ficou de 0 a 25%, foi classificado como forte; se ficou entre 26 e 74, foi classificado como moderado; se ficou entre 75 e 100, foi classificado como fraco.

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) * 100 \quad \text{Eq. X}$$

GDE: grau de dependência espacial; C_0 : efeito pepita; C_1 : variância estrutural.

Foram realizadas correlações de Pearson (Equação 7) utilizando o programa Microsoft Excel® e o teste t (Equação 8) a 5 % de probabilidade utilizando o programa ASSISTAT (SILVA E AZEVEDO, 2016) para verificar a correlação entre as diferentes variáveis estudadas.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n xi \cdot yi - \frac{\sum_{i=1}^n x \cdot \sum_{i=1}^n y}{n}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x^2 - \frac{\sum_{i=1}^n (x)^2}{x} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y^2 - \frac{\sum_{i=1}^n (y)^2}{x} \right)}} \quad \text{Eq. 7}$$

r = coeficiente de correlação de Pearson; n = número de termos; x = variável independente; y= variável dependente.

$$t = \frac{r}{\sqrt{\left(\frac{1-r^2}{n-2} \right)}} \quad \text{Eq. 8}$$

t = valor do teste t; r = coeficiente de correlação; n= número de termos.

Foi realizada a análise multivariada de redundância (RDA) utilizando programa CANOCO® (TER BRAAK & SMILAUER, 2002). A RDA verifica a influência das variáveis explicativas nas variáveis de resposta. Foram utilizadas as variáveis de resposta a altura da planta e avaliação qualitativa e variáveis explicativas a resistência do solo à penetração. Na RDA os vetores são dispostos pela regra do biplot (KROONENBERG, 2007) onde avalia-se os eixos fazendo um ângulo de 90 graus entre as variáveis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da estatística descritiva dos dados

Na análise da estatística descritiva dos dados apresentados na Tabela 1, houve grande variação na média da resistência do solo à penetração (RSP), variando de 1,89 MPa na profundidade de 0-10 cm a 3,19 MPa de 20-30 cm. Essa grande variação de resistência foi devido a presença de pedregosidade na área de estudo, especificamente a presença de cascalho e, em menor proporção, a presença de matacões.

Os valores médios de RSP aumentam até a profundidade de 20-30 cm para posterior declínio da resistência, obtendo o valor de 2,36 MPa na profundidade de 50-60 cm. O menor valor de resistência foi encontrado na profundidade de 0-10 cm devido a presença de material mais arenoso, enquanto que o maior valor de resistência foi encontrado na profundidade de 20-30 cm com 5,13 MPa (Figura 5). O maior valor de resistência foi encontrado na profundidade de 20-30 cm pela presença de cascalho e matacões.

A maior amplitude (valor máximo subtraído do valor mínimo) dos dados foi verificada na profundidade inicial, de 0-10 cm com 3,51 MPa. Isto deve-se a presença de cascalho na área, indicando que em alguns pontos o solo ofereceu menor resistência à penetração e em outros pontos maior resistência. A profundidade de 10-20 e de 20-30 cm também obtiveram valores maiores de resistência do solo, com, 3,29 e 3,26 MPa, respectivamente, mostrando a presença de cascalho na área e a compactação proveniente de animais e implementos agrícolas utilizados no manejo da área. O menor valor de amplitude da resistência foi obtido na profundidade de 50-60 cm com 1,46 MPa devido a menor influência dos fatores antrópicos como compactação por animais e implementos agrícolas, ficando restrito a resistência do solo as características do processo de formação.

Os maiores valores do desvio padrão da resistência do solo à penetração foi obtido na profundidade de 0-10 cm, com 0,83 MPa decrescendo até a profundidade de 30-40 cm com 0,56 MPa. Os maiores valores de desvio padrão são referentes aos maiores valores de amplitude dos dados devido a área de estudo ser heterogênea, com a presença de cascalho em alguns pontos da área.

Os maiores valores de desvio padrão refletiram nos maiores valores do coeficiente de variação da resistência do solo, sendo encontrados os maiores valores na profundidade de 0-10 cm com 43,7% seguida pela profundidade de 10-20 cm com 28,8%. A variação deveu-se ao manejo do solo e as características diferentes na área de estudo com diferenças na

formação do solo devido a declividade de 4% e manejo do solo. Os menores valores do coeficiente de variação foram obtidos na altura de plantas com 11,7% e na avaliação qualitativa da área com 13,0% indicando que houve menor variação dessas variáveis em relação à média do que a avaliação da resistência do solo à penetração. Segundo Rozalino et al., (2014), quanto menor o coeficiente de variação, mais homogêneo é o conjunto de medidas pontuais da altura da planta. Para Santos et al. (2010), existe grande amplitude na altura de plantas mesmo em pastos mono específicos, fato não observado no trabalho em estudo.

Tabela 1 - Estatística descritiva da resistência do solo à penetração, altura de plantas e avaliação qualitativa da área de estudo. Caxias, MA.

Atributos	¹ Unid.	Mín.	Máx.	Média	DP	CV	Ass.	Curt.	Norm.
RSP (0-10 cm)	Mpa	0,62	4,13	1,89	0,83	43,7	0,874	0,169	0,18
RSP (10-20 cm)	Mpa	1,19	4,48	2,76	0,79	28,8	-0,022	0,006	0,13
RSP (20-30 cm)	Mpa	1,87	5,13	3,19	0,70	21,9	0,371	0,624	0,12
RSP (30-40 cm)	Mpa	1,87	4,48	2,95	0,56	19,1	0,491	0,047	0,13
RSP (40-50 cm)	Mpa	1,05	3,83	2,54	0,57	22,3	-0,111	-0,003	0,11
RSP (50-60 cm)	Mpa	1,86	3,32	2,36	0,46	19,7	0,558	-0,666	0,19
RSP (média)	Mpa	1,78	3,55	2,62	0,41	15,7	0,428	-0,009	0,10
Altura de planta	Cm	51,50	85,90	69,36	8,09	11,7	-0,101	-0,401	0,06
Av. qualitativa	-	2,50	4,50	3,68	0,48	13,0	-0,269	-0,328	0,23*

¹ Unid.: Unidade de medida; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; Ass.: Coeficiente de Assimetria; Curt.: Coeficiente de Curtose; Norm.: Teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov a 5 % de significância (* - não significativo). Av.: avaliação

Na avaliação dos valores de assimetria e curtose dos dados, verifica-se que a maior variação de assimetria ocorreu na resistência do solo à penetração na profundidade de 0-10 cm com 0,874, indicando uma assimetria da curva de distribuição para a direita, ou seja, ocorreu uma proporção maior de valores maiores. A avaliação qualitativa de cada ponto obteve o maior valor de assimetria da curva de distribuição para a esquerda, indicado pelo valor de -0,269, inferior ao valor zero. Na avaliação da curtose dos dados, a resistência de 20-30 cm apresentou uma distribuição leptocúrtica, indicando que houve uma maior concentração de valores médios na curva de distribuição, indicando que a variação da média para os demais valores é maior. A resistência do solo à penetração de 0-60 cm apresentou a distribuição platicúrtica indicando que a variação da média para os demais valores é menor no conjunto de dados.

Na avaliação da normalidade dos dados, apenas a avaliação qualitativa não obteve distribuição normal e a altura de planta obteve a melhor distribuição de frequência obtido pelo menor valor do teste de normalidade com 0,06.

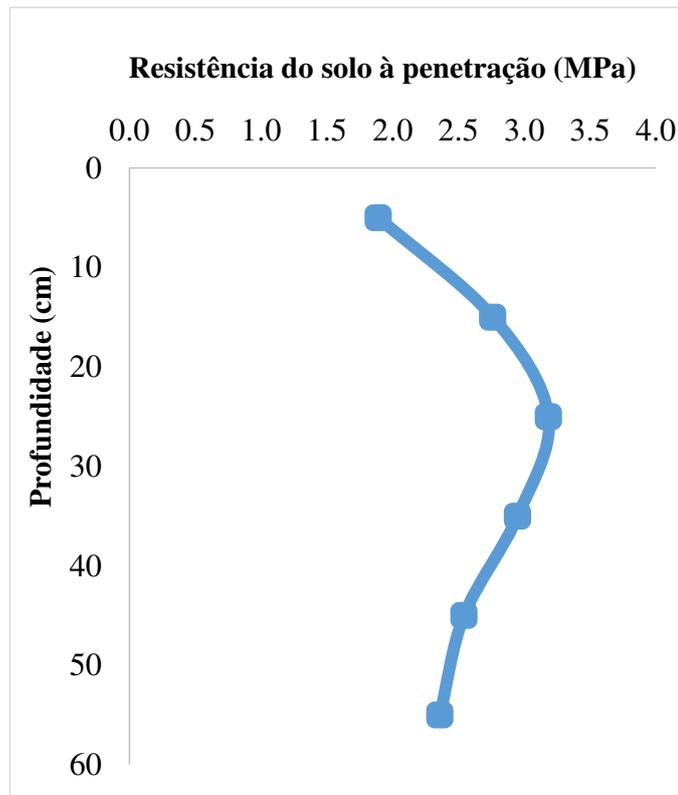


Figura 5 – Perfil da resistência do solo à penetração. Caxias, MA.

5.2 Avaliação dos parâmetros dos semivariogramas.

Na análise dos parâmetros do semivariogramas, o modelo esférico foi ajustado em 57% das variáveis, o modelo linear em 29% e o modelo exponencial em 14% das variáveis. O modelo esférico é o que mais descreve os atributos de solo. Na avaliação dos modelos matemáticos ajustados a resistência do solo à penetração, o modelo esférico foi ajustado nas profundidades superficiais, assim como a média dos dados, enquanto que o modelo exponencial foi ajustado na profundidade mais elevada, de 50-60 cm.

A resistência à penetração obteve o efeito pepita puro nas profundidades de 30-40 cm e de 40-50 cm indicando que não houve dependência espacial utilizando 42 amostras espaçadas a 35 metros. Aquino et al. (2014) ao estudarem variabilidade espacial da resistência do solo à penetração observaram maior ocorrência do modelo esférico para atributos físicos do solo.

O valor de alcance variou de 95 metros na resistência à penetração de 50-60 cm a 160 metros na profundidade de 10-20 cm. O alcance é um parâmetro muito importante na análise dos dados pois mostra até quanto as amostras mostram-se correlacionadas e existe influência da dependência espacial (MACHADO et al., 2007; MATTIONI et al., 2011).

Os valores de alcance da resistência na profundidade de 30-40 cm e de 40-50 cm é menor do que a grade dos pontos conseguiu detectar. Conforme relatado por Campos et al. (2013), os valores de alcance superiores ao proposto na grade de pontos tornam-se referência em futuros estudos.

Na avaliação da contribuição do efeito pepita na variação total dos dados, apenas a resistência na profundidade de 0-10 cm apresentou grau forte, as demais apresentaram grau moderado de dependência espacial. A resistência do solo na profundidade de 0-10 cm com grau forte indica que esta variável possui um menor erro na estimativa dos dados na interpolação por krigagem para a elaboração dos mapas de variabilidade espacial, proveniente da menor contribuição do efeito pepita na variação total dos dados. De acordo com Viera (2000), a contribuição do efeito pepita na variância total dos dados, aumenta a exatidão da interpolação por krigagem.

Na altura de plantas e na avaliação qualitativa foi ajustado o modelo linear com tendência, não sendo possível o cálculo da variância estrutural, do alcance, da razão de dependência espacial e do grau de dependência espacial.

Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas das variáveis do estudo. Caxias, MA

Atributos Físicos	¹ Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	$\frac{C_0}{C_0+C_1}$	GDE
RSP ₍₀₋₁₀₎	Esférico	0,17	0,60	140	0,22	Forte
RSP ₍₁₀₋₂₀₎	Esférico	0,21	0,50	160	0,30	Moderado
RSP ₍₂₀₋₃₀₎	Esférico	0,22	0,30	100	0,42	Moderado
RSP ₍₃₀₋₄₀₎			Efeito pepita puro			
RSP ₍₄₀₋₅₀₎			Efeito pepita puro			
RSP ₍₅₀₋₆₀₎	Exponencial	0,12	0,15	95	0,44	Moderado
RSP _(média)	Esférico	0,06	0,13	130	0,31	Moderado
Altura	Linear	13	-	-	-	-
Av. qualitativa	Linear	0,065	-	-	-	-

¹ Modelo matemático selecionado por validação cruzada (Jack-knifing); C₀: Efeito pepita; C₁: Variância estrutural; a: Alcance; r²: coeficiente de determinação; GDE: Grau de dependência espacial; EPP: Efeito pepita puro.

Na análise dos mapas de resistência do solo à penetração, percebe-se que as isolinhas nas profundidades de 0-10; 10-20 e de 20-30 cm são semelhantes (Figura 8). Os maiores valores de resistência do solo estão alocados do lado direito da área com valores de até 4 MPa e os menores valores estão do lado esquerdo da área. No mapa de isolinhas da profundidade de 50-60 cm a maior resistência foi obtida do lado esquerdo da área na parte inferior (Figura 7).

Na análise dos mapas de altura das plantas e da variável qualitativa, os maiores valores estão inversamente proporcionais a maior resistência do solo nas profundidades superficiais, indicando uma menor altura de plantas e avaliação qualitativa pela compactação do solo (Figura 8). A área de estudo possui do lado direito a presença de cascalho e calhaus que, certamente, influenciou na altura de plantas e na avaliação qualitativa da área. De acordo com Carvalho et al., (2007), a variabilidade espacial da vegetação determina as respostas de plantas e animais sob pastejo.

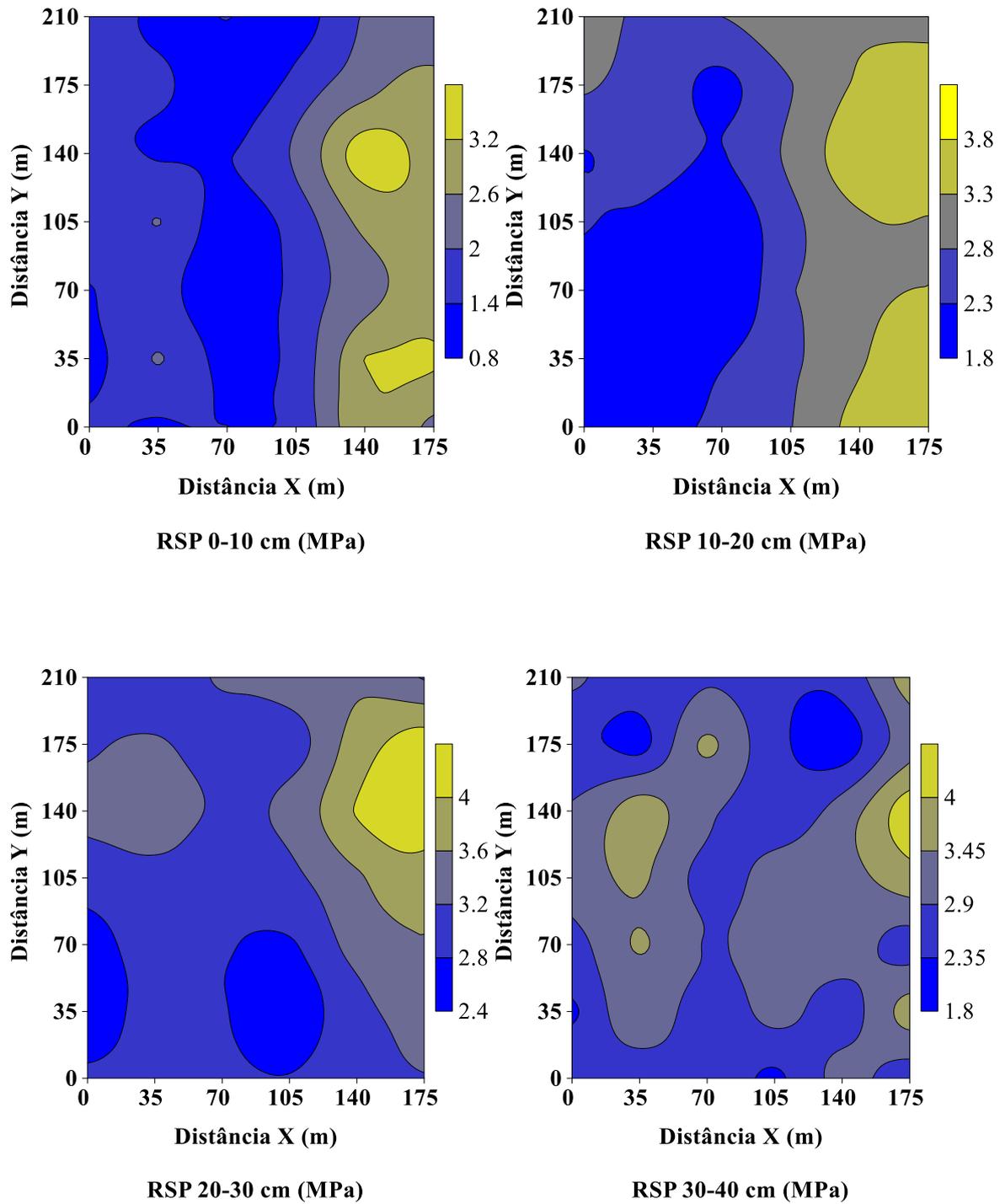


Figura 6 - Mapas de variabilidade espacial da resistência do solo à penetração. Caxias (MA)
a) 0-10 cm; b) 10-20 cm; c) 20-30 cm; d) 30-40 cm.

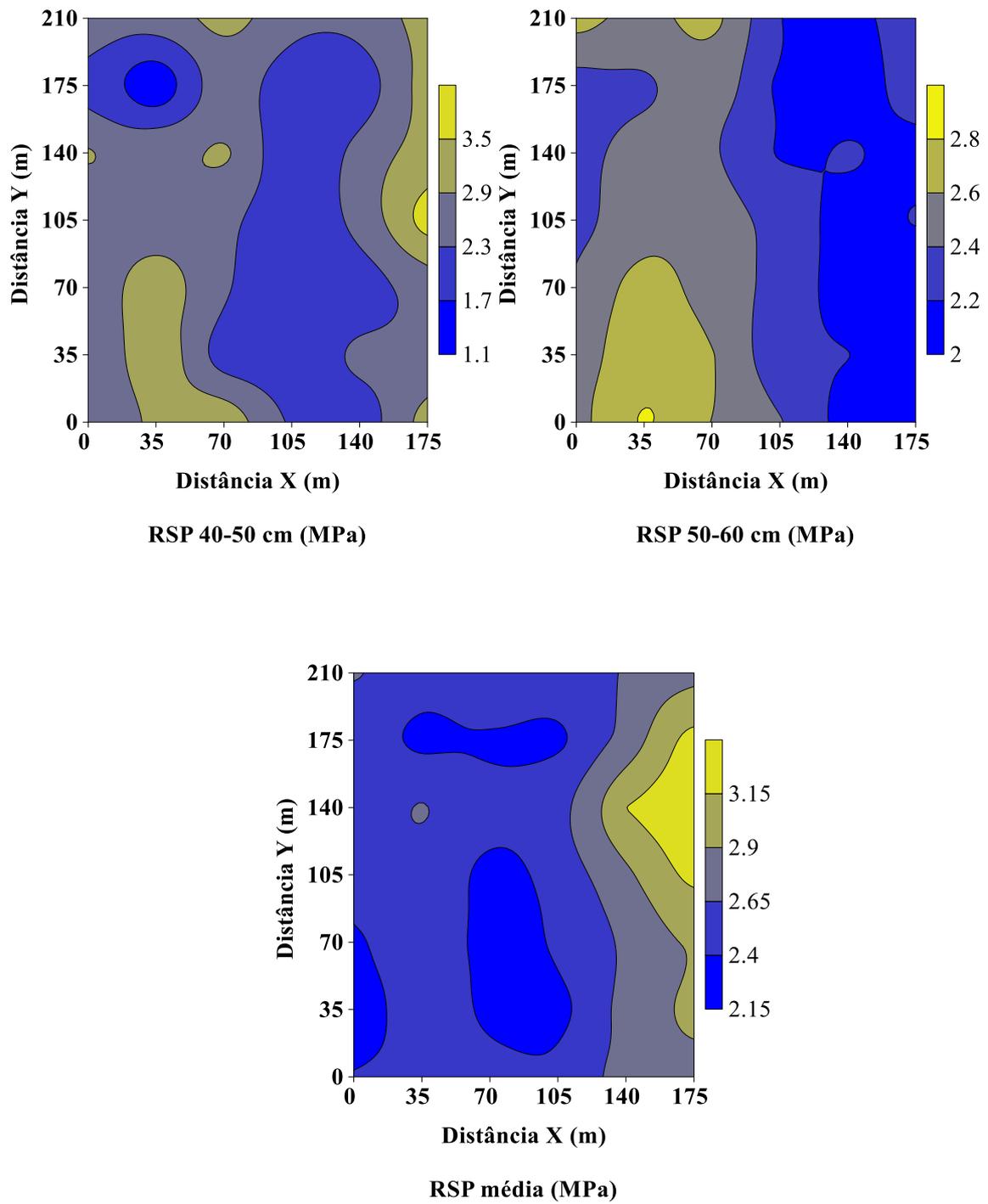


Figura 7 - Mapas de variabilidade espacial da resistência do solo à penetração. Caxias (MA)
a) 40-50 cm; b) 50-60 cm ; c) média.

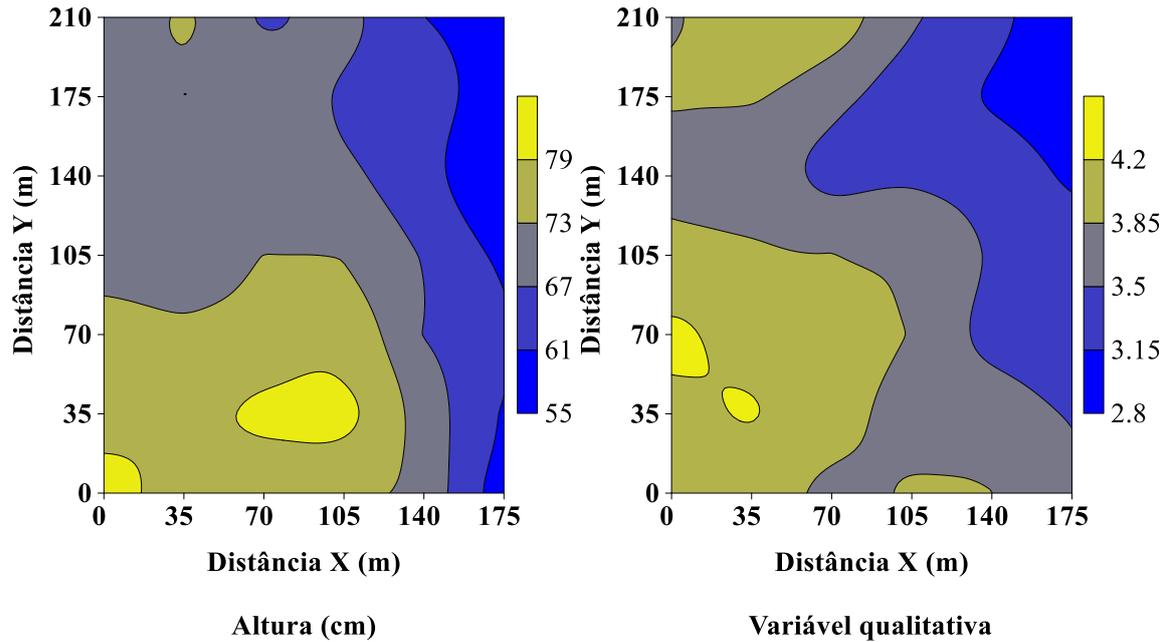


Figura 8 - Mapas de variabilidade espacial da altura de plantas e da avaliação qualitativa.

Na análise da correlação linear simples entre as variáveis, a resistência do solo à penetração de 0-10 cm correlacionou-se positivamente com a resistência de 10-20; 20-30; 30-40; média e negativamente com a altura de plantas. A resistência à penetração na profundidade de 10-20 correlacionou-se positivamente com a resistência na profundidade de 20-30 e com a média e negativamente com a altura de plantas e com a avaliação qualitativa. Houve correlação positiva da resistência do solo na profundidade de 20-30 cm com a resistência média e correlação negativa com a altura de plantas e avaliação qualitativa. A altura de plantas apenas não apresentou correlação com a resistência do solo na profundidade de 50-60 cm, e mostrou-se correlacionada positivamente com a avaliação qualitativa, o mesmo verificado na avaliação dos mapas de isolinhas.

Tabela 3 – Coeficiente de correlação de Pearson das variáveis avaliadas. Caxias, MA.

	<i>RSP</i>	<i>RSP</i>	<i>RSP</i>	<i>RSP</i>	<i>RSP</i>	<i>RSP</i>	<i>RSP</i>	<i>Altura</i>	<i>Avaliação</i>
	<i>0-10</i>	<i>10-20</i>	<i>20-30</i>	<i>30-40</i>	<i>40-50</i>	<i>50-60</i>	<i>média</i>	<i>de planta</i>	<i>qualitativa</i>
<i>RSP 0-10</i>	1,00								
<i>RSP 10-20</i>	0,72**	1,00							
<i>RSP 20-30</i>	0,51**	0,63**	1,00						
<i>RSP 30-40</i>	0,30*	0,11	0,26	1,00					
<i>RSP 40-50</i>	0,10	0,00	0,27	0,49**	1,00				
<i>RSP 50-60</i>	-0,25	-0,29	-0,04	0,22	0,48**	1,00			
<i>RSP média</i>	0,76**	0,72**	0,77**	0,60**	0,54**	0,16	1,00		
<i>Altura de planta</i>	-0,47**	-0,46**	-0,58**	-0,33*	-0,42**	0,20	-0,60**	1,00	
<i>Avaliação qualitativa</i>	-0,27	-0,31*	-0,36*	-0,24	-0,11	0,38*	-0,30*	0,63**	1,00

RSP: resistência do solo à penetração.

*- Significativo a 5% pelo teste t;

** -Significativo a 1% pelo teste t.

5.3 Análise de redundância multivariada.

Na análise de redundância apresentada na Figura 9, o eixo I explicou 89,1% da variabilidade dos dados e o eixo II 10,9%. A explicação do eixo I foi muito maior do que o eixo II devido a quantidade de variáveis de resposta, a altura e a avaliação qualitativa. O eixo de maior explicação dividiu a resistência do solo à penetração, exceto na profundidade de 50-60 cm, da altura e da avaliação qualitativa, indicando que os maiores valores de altura e das notas referentes a avaliação qualitativa estavam nos locais com menor resistência do solo à penetração. A resistência do solo à penetração na profundidade de 50-60 cm mostrou-se com a mesma tendência da avaliação qualitativa, mas não se mostrou com a mesma tendência da altura de plantas, que, certamente não influenciou na altura de plantas por ser uma profundidade não próxima ao sistema radicular do capim-Tanzânia.

A resistência do solo à penetração média ficou disposta entre as profundidades superiores (0-10; 10-20; 20-30 cm) e inferiores (30-40; 40-50; 50-60 cm) indicando a mesma tendência entre as profundidades subsequentes.

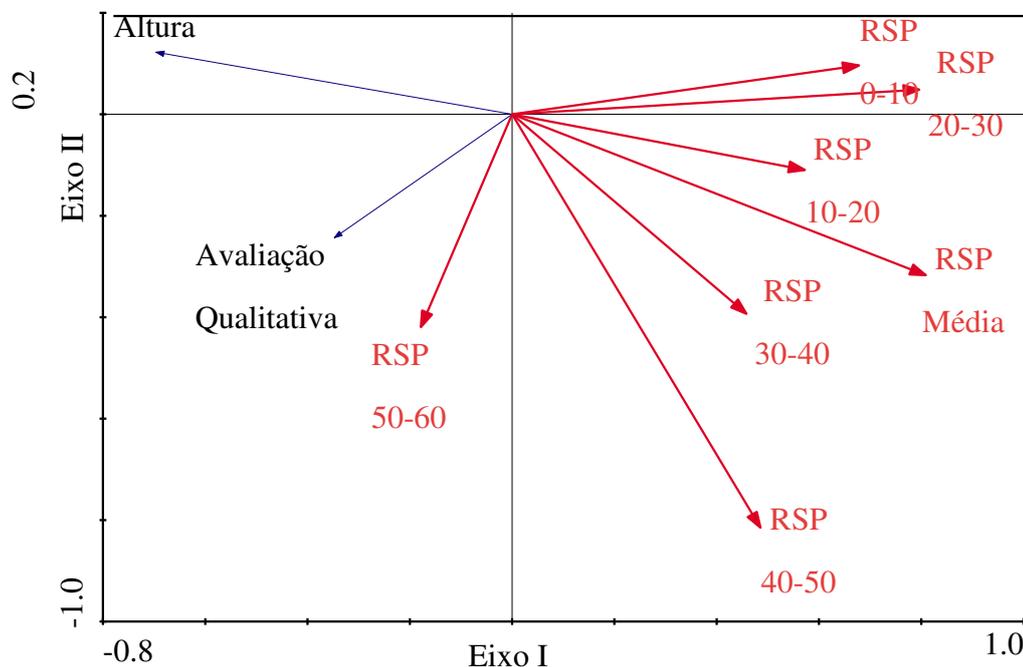


Figura 9 - Análise de redundância (RDA) da resistência do solo à penetração, da altura de plantas e da avaliação qualitativa. Eixo I: 89,1%; Eixo II: 10,9%.

6. CONCLUSÕES

A resistência do solo à penetração correlacionou-se negativamente com a altura do capim Tanzânia.

A resistência do solo à penetração na profundidade de 50-60 cm não influenciou na altura de plantas e na avaliação qualitativa.

Os maiores valores de resistência do solo foram obtidos com a presença de cascalho e calhaus.

O modelo esférico foi o mais ajustado as variáveis de resistência do solo.

7. REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. **Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.831-843, 2009.
- AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SILVA, D.M.P.; SILVA, D.A.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré-AM.** Bioscience Journal 30: 988-997, 2014.
- BEEBE, K.R.; PELL, R.J. & SEASHOLT, M.B. **Chemometrics: A practical guide.** New York, John Wiley & Sons, p.348, 1998.
- BOONE, F.R.; VEEN, B.W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B.D.; VAN, Owerkerk, C. (Eds.). **Soil Compaction in crop production.** Amsterdam: Elsevier, p.237-264, 1994.
- BRAAK, C. J. F. Ter; SMILAUER, P. **CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5).** 2002.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. **Journal / Soil Science Society of America**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; SANTOS, L.A.C.; OLIVEIRA, I.A.; AQUINO, R.E.; BERGAMIN, A.C. **Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta.** Comunicata Scientiae 4: 168-178, 2013.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. p.132, 1997.
- CARVALHO, P. C. F.; TRINDADE, J. K.; MEZZALIRA, J. C. et al. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 109-122, 2007.
- CARNEIRO, S. P. **Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da UFMG, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-8FXLGP/mestradosilviaPdf?sequence=1>>. Acesso em: 11 nov. 2017.
- CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003, 143p.

DAMPNEY, P.M.R.; MOORE, M. **Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. Proceedings. Madison: American Society of Agronomy, p.661-673, 1999.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GATE, O. P. A method for prediction of soil penetration resistance. **Soil & Tillage Research**, v.93, p.412-419, 2007.

EVANGELISTA, A. R.; CURTI, N.; NEIVA, J. N.; CARVALHO, M. M. de; GUEDES, G. A.; CORREA, J. A. **Produção de matéria seca e teores de Ca, Mg, K, P e S em pastagens nativas, submetidas ao tramento de queima.** En: 29 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Lavras, p.45, 1992.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SCAPIM, C.A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.9-19, 2007

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F. de; LEITE, J.G.D.; 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**, v.31, p.771-780, 2007.

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, v.48, p.21-35, 1998.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESE JUNIOR, V.; CARVALHO, G. J. **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.

GOLDEN SOFTWARE SURFER VERSION 11. **Reference Manual, Golden Software.** Inc., Golden, Colorado, U.S.A, 2012.

GOMES, A. da S.; VALLADARES, G. S.; RODRIGUES, C. A. G.; TORRESAN, F. E.; GREGO, C. R. **Susceptibilidade à erosão hídrica de solos em área rural do Município de Guararapes (SP).** In: XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2010. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2010. v. 1, p, 1-4.

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; TORRESAN, F. E.; VALLADARES, G. S. **Caracterização física do solo sob pastagem em diferentes níveis de degradação no município de Guararapes, SP.** In: XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2010. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2010. v. 1, p. 1-4.

GROBE, J.R. Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais. **Tese de Mestrado.** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, p. 145, 2005.

HAMZA, M.A. & Anderson, W.K. **Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions.** Soil Till. Res., 82:121-145, 2005.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.23-36, 1995.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n. 7, p. 1403-1500, 2000.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. **Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo**. Biosci. J., Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 159-169, Mar. 2012.

KING, Ronald; JULSTROM, Bryant. **Applied Statistics Using the Computer**. Sherman Oaks, California: Alfred Publishing Company, 1982.

KOLMOGOROV-SMIRNOV, A. N. Sulla determinazione empirica di una legge distribuzione. **Giornale dell'Istituto degli Attuari**, Roma, v. 4, p. 83-91, 1993.

KROONENBERG, P.M. **Introduction to biplots for GxE tables**. Brisbane, Austrália: The University of Queensland Research Report. University of Queensland. Research report, 51. 1997.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 415-423, 2004.

LOPES, M.L.T.; CARVALHO, P.C.F. de; ANGHINONI, I.; SANTOS, D.T. dos; AGUINAGA, A.A.Q.; FLORES, J.P.C.; MORAES, A. de. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.39, p.1499-1506, 2009

MACHADO, Leonardo de Oliveira et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]**, vol.31, n.3, pp.591-599, 2007.

MANTOVANI, E.C. **Agricultura de precisão na Embrapa**. Brasília: [s.n.], p.8, 2006. Disponível em: http://www.ripa.com.br/fileadmin/user_upload/_temp_/Projeto_Agricultura_de_PrecisaoJunho_2006.doc. Acesso em: 9 jul. 2017.

MARINS, A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. **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.

MATTIONI, Nilson Matheus; SCHUCH, Luis Osmar Braga ; VILLELA, Francisco Amaral. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Rev. bras. sementes [online]**, vol.33, n.4 [cited 2018-01-04], pp.608-615, 2011.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento**. Engenharia Agrícola, v.17, p.97-107, 1997.

NASCIMENTO JÚNIOR, D.; QUEIROZ, D.S.; SANTOS, M.V.F. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (eds.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11, Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p.325, 1994.

OHLAND, T.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, F.; RAMPIM, L.; BERGMANN, J. R.; CABREIRA, D. T. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-manso cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Ceres**. Viçosa-MG, v. 61, n.5, p. 622-630, 2014.

OLIVEIRA, A. P. P. de.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. dos.; 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**. Campina Grande-PB, v.18, n.9, p. 939–947, 2014.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONSELOS, R. F. B.; COSTA, Y. D. J.; PEDROSA, E. M. R. Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande - PB, v. 14, n.. 7, p.914-920, 2010.

RICHART, A.; FILHO T. J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Ciências Agrárias**. Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

RODRIGUES, de Menezes, Khalil; HURTADO, Sandro; DECHEN, Sonia; VIEIRA, Sidney. Spatial Variability in Soil Fertility and Particle Size and Their Effects on Sugarcane Yield. **Sugar Sugar Research & Promotion**. 2015.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; SILVA, G. P. et al. Estrutura do pasto de capim-braquiária com variação de alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 10, p. 2125-2131, 2010.

SANTOS, Manoel Eduardo Rozalino; GOMES, Virgilio Mesquita; FONSECA, Dilermando Miranda da. **Fatores causadores de variabilidade espacial do pasto de capim-braquiária: manejo do pastejo, estação do ano e topografia do terreno**. Biosci. J., Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 210-218, Jan./Feb. 2014.

SENA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J.; TOKESHI, H.; POPPI, R. J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: A multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, v.67, p.171-181, 2002.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 239-249, 2000.

SILVA, Francisco de Assis Santos e; AZEVEDO, Carlos Alberto Vieira de. **The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data**. Afr. J. Agric. Res. Vol. 11(39), pp.3733-3740, 29 September. DOI: 10.5897/AJAR, 2016.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; INHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p.1-10, 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.. Modificações na matriz de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. p.554-562, 2006.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta, em Selvíria, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 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, n. 3, p. 229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA – Planalsucar, p.8, 1983. (Série Penetrômetro de Impacto – Boletim, 1)

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.

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**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 1, p.1-53, 2000.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 1, p. 1-53, 2000.

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. p. 319-344, 1980.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. **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.