



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

GISLAYNE FARIAS VALENTE

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E CARACTERÍSTICAS
DO CAPIM MOMBAÇA EM SISTEMA ROTACIONADO COM BÚFALAS NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM
2019**

GISLAYNE FARIAS VALENTE

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E CARACTERÍSTICAS
DO CAPIM MOMBAÇA EM SISTEMA ROTACIONADO COM BÚFALAS NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte da exigência do curso de Mestrado em Agronomia, para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Manejo e conservação do solo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura.

Coorientadora: Prof. Dra. Daiane de Cinque Mariano.

BELÉM

2019

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E CARACTERÍSTICAS
DO CAPIM MOMBAÇA EM SISTEMA ROTACIONADO COM BÚFALAS NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração manejo e conservação, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura

Coorientador: Prof^ª. Dr^ª. Daiane de Cinque Mariano

Aprovado em 22 de fevereiro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Daiane de Cinque Mariano - Presidente
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Prof. Dr. Ângelo Augusto Ebling – 1º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Prof. Dr. Perlon Maia dos Santos – 2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Prof. Dr. Thiago Ometto Zorzenoni – 3º Examinador
Universidade Estadual de Londrina – UEL

AGRADECIMENTOS

A Deus toda Honra e Glória.

Aos meus pais Jorge Valente e Vania Farias e a toda minha família e amigos por acreditarem e incentivarem na conclusão deste trabalho.

Ao proprietário do Sítio Açaizal, Geraldo Pedro de Oliveira, pela disponibilização da área e dados do estudo para execução deste experimento.

Ao meu orientador professor Dr. Ricardo Shigueru Okumura e coorientadora Prof^a. Dr^a. Daiane de Cinque Mariano, pela orientação e contribuição à minha formação profissional.

A todos os colegas que contribuíram com a realização deste trabalho, em especial ao Crissogno Mesquita dos Santos, toda ajuda foi essencial e primordial.

À Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, ao programa de pós-graduação em agronomia e a todos os professores do programa, pelo apoio institucional, e conhecimentos adquiridos.

RESUMO

O manejo intensivo e inadequado das pastagens ao longo dos anos implica em condições desfavoráveis à qualidade e estruturação do solo e conseqüentemente na oferta de forragem ao animal. Atualmente têm-se adotado a agricultura de precisão em pastagens com adoção da geoestatística como ferramenta no auxílio do estudo dessas alterações para obtenção de uma pecuária mais rentável. Com isso, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo e as características da forragem em pastagem cultivada em sistema rotacionado na Amazônia Oriental. O estudo foi realizado no município de Parauapebas, região Sudeste do Pará, em pastagem cultivada com forrageira *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, implantada há cinco anos. Para coleta dos dados foi instalado um grid amostral com espaçamento de 10 x 10 m, totalizando 392 pontos distribuídos em 34.300 m². Os atributos do solo foram avaliados na profundidade de 0,0-0,4m subdividida em quatro camadas de 0,1 m. As variáveis avaliadas foram: resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), teor de água no solo (TAS), potencial hidrogeniônico (pH) do solo, altura da forragem (AF) e número de perfilhos (NP). Concluiu-se que, a RMSP e o TAS apresentaram estrutura de dependência espacial de moderada a forte ajustando-se aos modelos, em sua maioria, Exponencial e Esférico. No critério da dependência espacial o NP apresentou dependência predominantemente forte e ajuste ao modelo Gaussiano. Nos pontos com maiores valores de RMSP houve redução TAS e predominância de pH com valor seis, não comprometendo as características da forragem AF e NP.

Palavras Chaves: Bubalinos, compactação do solo, geoestatística, *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça.

ABSTRACT

Intensive and inadequate management of pastures over the years implies conditions unfavorable to the quality and structuring of the soil and consequently the supply of fodder to the animal. Nowadays, precision animal husbandry has been adopted with the adoption of geostatistics as a tool to aid in the study of these changes to obtain a more profitable livestock. The objective of this study was to evaluate the spatial variability of soil attributes and forage characteristics in grazing under a rotational system in the Eastern Amazon. The study was carried out in the city of Parauapebas, Southeastern region of Pará, in a pasture cultivated with forage *Panicum maximum* (Jacq.) Cv. Mombaça, in a rotational grazing system with buffaloes, implanted five years ago. To collect the data, a sample grid with a spacing of 10 x 10 m was installed, totaling 392 points distributed in 34.300 m². Soil attributes were evaluated at 0.0-0.4 m depth subdivided into four 0.1 m layers. The variables evaluated were soil mechanical resistance to penetration (RMSP), soil water content (TAS), soil hydrogenation potential (PH), forage height (AF) and number of tillers (NP). It was concluded that the RMSP and the TAS presented a moderate to strong spatial dependence structure, adjusting to the Exponential and Spherical models. In the spatial dependence criterion, NP presented predominantly strong dependence and fit to the Gaussian model. In the points with higher values of RMSP there was a reduction in TAS and a predominance of pH with value six, without compromising the characteristics of the forage AF and NP.

Keywords: Buffaloes, soil compaction, geostatistics, *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça

LISTA DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Localização da área experimental no município de Parauapebas - PA. | 1 |
| Figura 2: Variações diárias da Temperatura do Ar (°C), T máxima (-.-), T média (-), T mínima (...-...), precipitação pluvial (mm dia ⁻¹), durante o período de novembro de 2017 a janeiro de 2018, medidas na Estação Meteorológica da UFRA, Campus de Parauapebas nas coordenadas 06°04'16,4"S; 049°49'8,3"O; 270 m de altitude à 18,24 km do local do experimento. | 2 |
| Figura 3: Variações diárias da precipitação pluvial (mm dia ⁻¹) durante o período de novembro de 2017 a janeiro de 2018 medidas na Estação Meteorológica da UFRA, Campus de Parauapebas nas coordenadas 06°04'16,4"S; 049°49'8,3"O; 270 m de altitude. | 2 |
| Figura 4: Localização dos piquetes avaliados em área de pastagem cultivada com <i>Panicum maximum</i> (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA. | 3 |
| Figura 5: Malha regular georreferenciada utilizada nos piquetes em área de pastagem cultivada com <i>Panicum maximum</i> (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA. | 4 |
| Figura 6: Medidor Eletrônico de compactação do solo por pressão (A); Determinação da resistência do solo à penetração com auxílio do medidor eletrônico penetroLOG-PLG 1020 em área de pastagem cultivada com <i>Panicum maximum</i> (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA (B). | 5 |
| Figura 7: Coleta de solo com a sonda para determinação do teor de água no solo e pH (TAS) (A); Armazenamento da amostra em recipiente de alumínio em área de pastagem cultivada com <i>Panicum maximum</i> (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA (B).. | 5 |
| Figura 8: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 1 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa. | 15 |
| Figura 9: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 2 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa. | 17 |
| Figura 10: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 3 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa. | 18 |
| Figura 11: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 4 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa. | 19 |

- Figura 12:** Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 5 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa..... 20
- Figura 13:** Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 6 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa..... 21
- Figura 14:** Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 7 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa..... 23
- Figura 15:** Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 1 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%)...... 28
- Figura 16:** Mapas de distribuição espacial do teor de água do solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 2 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%)...... 29
- Figura 17:** Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 3 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%)...... 29
- Figura 18:** Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 4 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%)...... 30
- Figura 19:** Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 5 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%)...... 30
- Figura 20:** Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 6 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%)...... 31
- Figura 21:** Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 7 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%)...... 31
- Figura 22:** Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 1 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH..... 37
- Figura 23:** Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 2 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH..... 38

- Figura 24:** Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 3 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH..... 38
- Figura 25:** Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 4 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH..... 39
- Figura 26:** Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 5 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH..... 39
- Figura 27:** Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 6 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH..... 40
- Figura 28:** Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 7 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH..... 40
- Figura 29:** Mapas de distribuição espacial e da altura da plantas (AF) referentes aos piquetes 1, 2 e 3. localizados no município de Parauapebas - PA..... 43
- Figura 30:** Mapas de distribuição espacial e da altura da plantas (AF) referentes aos piquetes 4, 5, 6 e 7. localizados no município de Parauapebas - PA..... 44
- Figura 31:** Mapas de distribuição espacial do número de perfilhos (NP) referentes aos piquetes 1, 2, 3 e 4, localizados no município de Parauapebas - PA..... 47
- Figura 32:** Mapas de distribuição espacial do número de perfilhos (NP) em 0,5m² referentes aos piquetes 4, 5, 6 e 7. A escala de cores a direita representa o número de perfilhos..... 47

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Tabela de análise granulométrica nas profundidades 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m referentes a área de pastagem cultivada com <i>Panicum maximum</i> (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA. | 1 |
| Tabela 2: Parâmetros da estatística descritiva da variável resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em MPa nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 10 |
| Tabela 3: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em MPa nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 13 |
| Tabela 4: Parâmetros da estatística descritiva da variável teor de água do solo (TAS) em porcentagem (%), nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 24 |
| Tabela 5: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos do teor de água no solo (TAS) em porcentagem (%), nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 26 |
| Tabela 6: Parâmetros da estatística descritiva da variável pH do solo nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 34 |
| Tabela 7: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados pH do solo nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes a sete piquetes avaliados no município de Parauapebas -PA. | 36 |
| Tabela 8: Parâmetros da estatística descritiva da variável altura forragem (AF) em metros (m) referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 41 |
| Tabela 9: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos da altura da forragem (AF) em metros (m) referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 42 |
| Tabela 10: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de perfilhos (NP) em referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 45 |
| Tabela 11: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos do número de perfilhos (NP) em metros (m) referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA. | 46 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------|----------------------------------------------------------------|----|
| 1. | CONTEXTUALIZAÇÃO | 12 |
| 2. | REVISÃO DE LITERATURA..... | 14 |
| 2.1. | Degradação de pastagem no Brasil | 14 |
| 2.2. | Importância das Forrageiras | 15 |
| 2.3. | Compactação do solo | 15 |
| 2.4. | Agricultura de Precisão | 16 |
| 1. | INTRODUÇÃO | 0 |
| 2. | MATERIAL E MÉTODOS | 1 |
| 2.1. | Localização e caracterização da área experimental | 1 |
| 2.2. | Equipamentos utilizados e avaliações realizadas | 4 |
| 2.2.1. | GPS e Resistência mecânica do solo à penetração | 4 |
| 2.2.2. | Coleta do solo | 5 |
| 2.2.3. | Teor de água no solo (TAS)..... | 5 |
| 2.2.4. | Potencial hidrogeniônico do solo (pH) | 6 |
| 2.2.5. | Análise das características da forragem..... | 6 |
| 2.2.6. | Análise descritiva e exploratória..... | 6 |
| 2.3. | Análise Geoestatística | 6 |
| 2.3.1. | Grau de dependência espacial (GDE)..... | 8 |
| 2.3.2. | Krigagem | 9 |
| 3. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 9 |
| 3.1. | Resistência mecânica do solo à penetração | 9 |
| 3.1.1. | Análise descritiva..... | 9 |
| 3.1.2. | Análise Geoestatística..... | 12 |
| 3.1.3. | Mapas de Isolinhas | 15 |
| 3.2. | Teor de água no solo..... | 23 |
| 3.2.1. | Análise descritiva..... | 23 |
| 3.2.2. | Análise Geoestatística..... | 25 |
| 3.2.3. | Mapas de Isolinhas | 28 |
| 3.3. | pH do solo..... | 33 |
| 3.3.1. | Análise descritiva..... | 33 |
| 3.3.2. | Análise Geoestatística..... | 35 |
| 3.3.3. | Mapas de Isolinhas | 37 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.4. Altura da forragem | 41 |
| 3.4.1. Análise descritiva..... | 41 |
| 3.4.2. Geoestatística..... | 42 |
| 3.4.3. Mapas de Isolinhas | 43 |
| 3.5. Número de perfilhos..... | 45 |
| 3.5.1. Análise descritiva | 45 |
| 3.5.2. Análise Geoestatística | 46 |
| 3.5.3. Mapas de Isolinhas | 46 |
| CONCLUSÕES..... | 48 |
| REFERÊNCIAS | 48 |
| APÊNDICES..... | 56 |

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O manejo intensivo e inadequado dos solos tem ocasionado a degradação cumulativa da qualidade física do solo ao longo dos anos (ROQUE et al., 2010), o que implica em condições desfavoráveis à sua estabilidade e estruturação (LIMA et al., 2013). Desta forma, uma das principais causas da deterioração dos solos agrícolas é a compactação (KLEIN et al., 2013; RALISCH et al., 2008), sendo evidenciada pelo aumento da resistência do solo à penetração e densidade do solo, redução da porosidade e aeração, modificações na disponibilidade e fluxo de água e restrição do crescimento do sistema radicular de plantas (SOUZA et al., 2004).

O aumento da resistência do solo à penetração compromete a estrutura e presença de macro e microporos responsáveis, em partes, pelo processo de difusão de nutrientes na solução do solo até as raízes das plantas (COSTA et al., 2009). Com isso, evidencia-se que o desenvolvimento de plantas está diretamente associado aos atributos físicos do solo, o que torna importante estudar a relação (VIRÁGH et al., 2011; WEIRICH NETO et al., 2006; JOHNSON et al., 2005).

Uma vez avaliados os atributos físicos do solo de forma contínua, torna-se possível monitorar a eficiência do sistema produtivo, possibilitando maior eficiência do manejo a ser adotado (FERRARI et al., 2018; LIMA et al., 2013; TORRES et al., 2015). No entanto, o solo, por ser um corpo tridimensional, formado pela ação de vários processos e sob diversos manejos, apresenta grande variação de suas características nos sentidos vertical e horizontal (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010), o que pode configurar na variabilidade espacial dos atributos do solo (VIEIRA et al., 1983).

Como a maioria dos solos e as culturas não são uniformes configura-se em outro problema neste tipo de estudo, que está na relação da extensiva variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade das culturas (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). Ao considerar extensas áreas como homogêneas, onde uma amostra representa uma unidade de manejo (glebas, talhões), ignoram-se as consequências da regionalização sobre a representatividade dos valores médios de amostras, e a estratégia pode não ser otimizada para recomendações e manejo (SOUZA et al., 2004; MOLIN et al., 2015).

Como o solo possui variações, muitas vezes apresentando correlação espacial, a geoestatística insere-se como ferramenta de análise dos dados a fim de modelar e estudar a estrutura de dependência espacial dos fatores ligados às interações solo-água-plantas (RODRIGUES et al., 2012; MOLIN e CASTRO, 2008). Assim, justifica a importância em

determinar e modelar a distribuição espacial de indicadores da qualidade do solo integrada a indicadores de produtividade vegetal (CAJAZEIRA e ASSIS JÚNIOR, 2011).

Objetivos

Avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração, teor de água no solo, pH e características da forragem em pastejo rotacionado de bubalinos.

Hipótese

O sistema de pastejo rotacionado ocasiona aumento da resistência mecânica do solo à penetração.

O aumento da resistência mecânica do solo à penetração diminui o conteúdo de água no solo e altera o pH do solo.

As alterações físicas do solo ocasionadas pelo pastejo causam diminuição no rendimento da forragem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Degradação de pastagem no Brasil

Pastagens manejadas consistem em áreas que sofreram interferências antrópicas para plantio de forragens perenes (IBGE, 2016), caracterizando-se como a base da alimentação na produção de ruminantes no país (SILVA et al., 2017). O Brasil possui aproximadamente 180 milhões de hectares de pastagens, representando 44% das áreas agricultáveis no país. Na Amazônia, a principal forma de uso da terra é a pastagem, compreendendo aproximadamente 75% da mesma e, estima-se que 30 milhões de hectares, cerca de cinquenta por cento, estejam degradadas ou em processo de degradação (DIAS-FILHO, 2011; ARAÚJO et al., 2011; EMBRAPA, 2016).

No processo de degradação, uma das consequências é a mudança da qualidade do solo, o qual reduz ou perde sua capacidade natural de recuperação para sustentar os níveis de produção (GREGO et al., 2012, PEREIRA et al., 2013). As alterações na qualidade do solo caracterizam-se pela ruptura do seu estado de equilíbrio original, que se iniciam desde o processo de implantação da forrageira até a adoção de práticas de manejo ineficientes (CAVALCANTE et al., 2007). Essas alterações levam à gradativa diminuição da capacidade de suporte da pastagem desencadeando problemas como a queda de produtividade da forragem e do sistema (SOARES et al., 2018; MOLIM et al., 2015).

A presença dos animais no pasto pode implicar em alterações nas características do solo quando a capacidade de suporte de carga da pastagem é ultrapassada (EMBRAPA, 2000), resultando em um pasto desuniforme, estando condicionado a fatores como a deposição de dejetos dos animais, acúmulo de material senescente, adubação, hábito de pastejo e excesso de pisoteio, o que compromete a cobertura vegetal do solo e o valor nutricional da forrageira (SALTON e CARVALHO, 2007; SILVA NETO et al., 2012). A cobertura do solo pela forrageira tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, dissipando a energia cinética das gotas da chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial do solo, aumentando a infiltração de água (SILVA et al., 2017).

A partir disso, a compreensão da influência do manejo de pastagens na relação solo-planta-animal faz-se necessária, para não levar a estágios de degradação de áreas sob pastagens (SANTOS et al., 2010). Por essa razão, o manejo sustentável das pastagens tem recebido atenção dos produtores rurais que têm levado em consideração fatores relacionado à condição da forragem e do solo (CAVALLINI et al., 2010; LEÃO et al., 2004).

2.2. Importância das Forrageiras

O *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça é uma gramínea forrageira bastante utilizada em regiões tropicais do Brasil para a formação de pastagens devido, principalmente, ao seu bom potencial fisiológico, alta capacidade de produção de matéria seca, qualidade de forragem, facilidade de estabelecimento, aceitabilidade pelos animais e capacidade de emissão de perfilhos e tolerância à seca (MENDONÇA et al., 2014; CANTO et al., 2012; CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). O potencial produtivo da forragem correlaciona-se diretamente com a fertilidade e qualidade física do solo (MONTANARI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2013), e a outros fatores como idade fisiológica e pelo manejo a que a forrageira é submetida (ZANINE et al., 2005).

O ciclo de desenvolvimento da forragem pode ser comprometido pelo consumo da massa verde pelo animal que, sem a devida reposição dos nutrientes, pode ocasionar a acidificação do solo, a perda da matéria orgânica e a compactação do solo (SILVA et al., 2017). A partir disso, torna-se importante estudar a inter-relação desses fatores para eficiência na utilização de forrageiras (CORRÊA et al., 2000).

Atributos estruturais como o índice de área foliar, altura e a densidade populacional de perfilhos, merecem destaque nos estudos com gramíneas forrageiras por estarem intimamente ligados à produção de biomassa e possuir influência direta sobre o consumo de matéria seca pelos animais (FAGUNDES et al., 2005). Além disso, contribuem com a cobertura do solo por folhas remanescentes do pastejo e com a estruturação e agregação do solo por meio de suas raízes (RODRIGUES et al., 2016).

2.3. Compactação do solo

A compactação do solo é, reconhecidamente, um dos entraves da agricultura sustentável, que devido às alterações na relação solo-água-plantas podem levar a prejuízos econômicos dos sistemas agrícolas (SILVA et al., 2017; KLEIN et al., 2013). Em áreas de pastagens, torna-se comum a presença de camadas compactadas, resultante das cargas ou pressões aplicadas pelo pisoteio, devido o excesso de unidades animais (SOUZA et al., 2008).

O termo compactação do solo refere-se ao processo de decréscimo de volume de solos não saturados quando determinada pressão externa é aplicada (LIMA, 2007), provocando o aumento da densidade do solo e elevação da resistência do solo ao desenvolvimento radicular de plantas (RIBON et al., 2017; VALADÃO et al., 2015). O aumento na densidade do solo pode levar à diminuição do tamanho e continuidade de macroporos, resultando na redução da alongação radicular e permeabilidade ao ar e à água (CAMPOS et al., 2012). Quando a

ramificação das raízes é reduzida, estas tendem a desenvolver-se nas fraturas existentes ao longo dos planos de fraqueza do solo, permitindo a elongação maior que poucos milímetros por dia. Com isso, a absorção de água e nutrientes é restringida, principalmente daqueles dependentes da difusão como o fósforo, o potássio e o zinco (VALADÃO et al., 2015; MALAVOLTA, 2006).

A baixa infiltração de água nos macroporos torna as plantas mais suscetíveis a déficits hídricos devido à alteração no conteúdo de água e a limitada capacidade de absorvê-la em camadas subsuperficiais (ROSOLEM et al., 1994; BERGAMIN et al., 2010). Além disso, a redução na taxa permeabilidade de água ocasiona maior escoamento superficial, que auxiliado pela declividade do terreno e pouca matéria vegetal na superfície, intensifica o processo de erosão e lixiviação (SOUZA, 2008; RIBON et al., 2017).

O grau de compactação pode ser avaliado com base na resistência do solo à penetração, indicando das condições de atributos do solo, como densidade, textura, porosidade e estruturação (ROQUE et al., 2010; COLET et al., 2009). O penetrômetro insere-se como equipamento amplamente utilizado, pois simula a resistência que o solo oferece à penetração das raízes, quantificando a força exercida no solo em função da penetração de uma ponta cônica (MOLIN et al., 2012; LIMA et al., 2013; FERRARI et al., 2018).

No geral, a amplitude de valores medidos pelo penetrômetro varia de acordo com o tipo de solo, a textura e umidade, qualificando-se como um equipamento que reflete características importantes do solo, como o seu conteúdo de água (SCAPINELLI et al., 2016; FREDDI et al., 2007). A resistência do solo varia de forma inversamente proporcional ao grau de teor de água e diretamente com a densidade do solo, e em decorrência disso, a condição de maior umidade ocasiona diminuição das forças de coesão entre as partículas do solo e aumento do efeito lubrificante da água (ASSIS et al., 2009; SILVA et al., 2012). Assim, na faixa de menor umidade ocorre uma estreita relação com a maior resistência mecânica do solo à penetração (GENRO JUNIOR et al., 2004).

2.4. Agricultura de Precisão

Na agricultura de precisão, o estudo de atributos do solo diferem na forma de análise dos dados, através da aplicação da ferramenta geoestatística que avalia os atributos associando à sua variabilidade espacial e considerando a existência da dependência espacial dentro do espaço de amostragem (CARVALHO, 1991). Quando uma determinada propriedade do solo varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade expresso

através da dependência espacial, a estatística que detecta esta condição vem a ser a geoestatística (SIBALDELLI et al., 2015; KITAMURA, 2008; VIEIRA, 2000).

Esse tipo de estatística surgiu na África do Sul, quando Daniel G. Krige (Krige, 1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras. Nesse sentido, a geoestatística foi inserida para obter maior nível de detalhamento de um fenômeno natural por meio da distância entre pontos de amostragem (SIBALDELLI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015; INAMASU et al., 2011), estimando para aqueles locais em que a amostragem não foi realizada (SANTOS et al., 2017).

A análise descritiva é o ponto de partida para a manipulação dos dados que tem por finalidade identificar erros e valores discrepantes e obter o entendimento parcial do comportamento dos dados (MOLIN et al., 2015). Após isso, é estimada a continuidade ou dependência espacial do fenômeno através de semivariogramas que definirão o grau de dependência no espaço (REICHARDT et al., 1986). O semivariograma será então ajustado a uma função ou modelo matemático, e uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, será possível mapear a área estudada (SOUZA et al., 2004). Para tanto, é necessário conhecer as coordenadas geográficas dos locais onde foram coletadas as amostras (ZANÃO JUNIOR, 2010).

O mapa é obtido através da plotagem de cada ponto num sistema cartesiano, no qual o eixo x é a longitude e o eixo y é a latitude (MOLIN et al., 2015). Cada ponto amostrado é classificado em diferentes escalas de cores ou tons de acordo com variável analisada para compor o mapa. Entre as formas de visualização do mapa estão os mapas de pontos, pixel e isolinhas ou linhas, contudo, ambos mostram as mesmas tendências, permitindo a compreensão da variabilidade espacial de variáveis ou fenômeno em estudo (BATISTA et al., 2017).

CAPÍTULO I

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO E CARACTERÍSTICAS DO CAPIM MOMBAÇA EM SISTEMA ROTACIONADO COM BÚFALAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

1. INTRODUÇÃO

As pastagens ocupam território significativo no cenário agropecuário brasileiro, com grande importância econômica e ambiental, contudo, o incorreto ajuste na lotação animal associado ao manejo inadequado ocasiona degradação do pasto, alterações na qualidade do solo e na interface solo-planta-animal (NEVES NETO et al., 2013). Por isso, é de fundamental importância relacionar a alteração da qualidade do pasto com a do solo através de atributos químicos e físicos do solo (ARAÚJO et al., 2007).

Algumas dessas propriedades podem sofrer modificações, conforme a intensidade do pisoteio de animais (MIGUEL; VIEIRA; GREGO, 2009), os sistemas de preparo do solo e o manejo da adubação (TREVISAN et al., 2008). A partir disso, estes atributos podem assumir caráter aleatório e estrutural dependente no espaço que apresente cuja irregularidade não permite prever variações de um ponto ao outro (MATHERON, 1971), o que torna importante o mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo (VIEIRA, 2000).

A aplicação de técnicas geoestatística em pastagens contribui para a compreensão da variabilidade espacial das propriedades do solo (AQUINO et al., 2015; BOGUNOVIC et al., 2015), permitindo que a estrutura de dependência espacial de atributos do solo e da qualidade da forragem seja modelada e visualizada espacialmente (MENDES et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2010), a partir da elaboração de mapas, identificando zonas com definhamento da pastagem e perda de qualidade do solo, o que auxilia na eficiência da tomada de decisão de ações de curto, médio e longo prazo pelo agricultor (VIRÁGH et al., 2011).

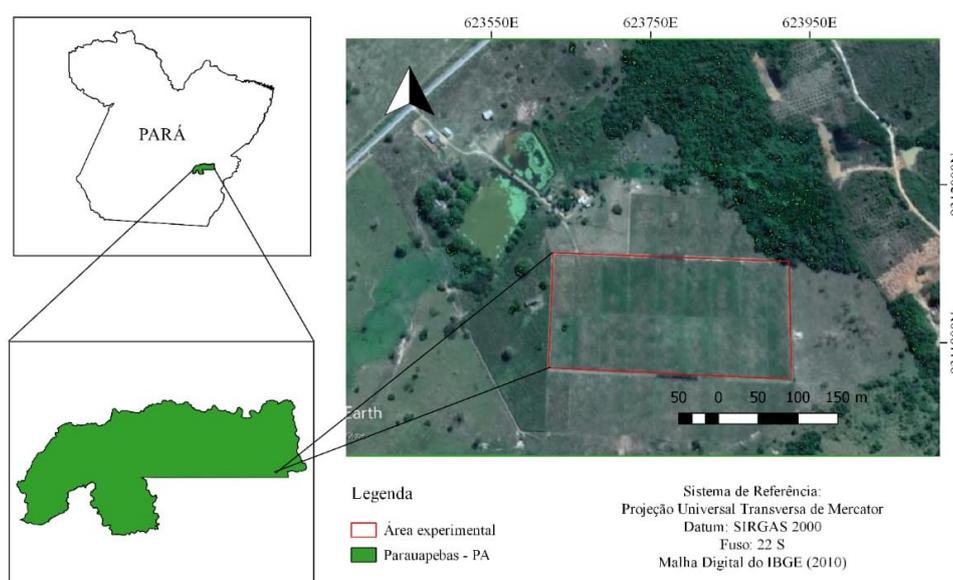
O estudo da aplicação de ferramentas associadas à agricultura de precisão é considerado recente no cenário brasileiro, apresentando destaque em diversas áreas e linhas de pesquisa como a ciência do solo. Contudo, na Amazônia Oriental são escassos estudos utilizando a geoestatística como ferramenta para auxiliar na tomada de decisões, não existindo estudos referentes à influência do manejo de pastagens e alterações na qualidade do solo e forragem, o que poderia contribuir para uma pecuária mais rentável e ambientalmente sustentável. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração, teor de água no solo, pH e as características da forragem em sistema de pastejo rotacionado de bubalinos na Amazônia Oriental.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado entre os meses de novembro de 2017 a janeiro de 2018, no sítio Açaizal localizado no município de Parauapebas, Estado do Pará, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo textura franco arenosa (Tabela 1), localizado nas seguintes coordenadas UTM: 623667,46 E/9311972,51 N, zona 22M, hemisfério sul (Figura 1).

Figura 1: Localização da área experimental no município de Parauapebas - PA.



Fonte: Google Earth, 2018.

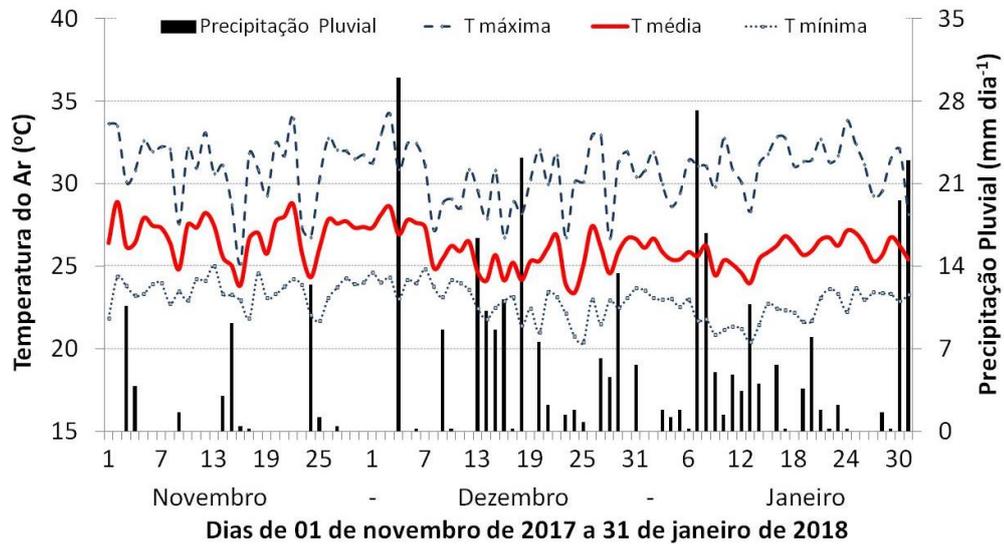
Tabela 1: Tabela de análise granulométrica nas profundidades 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m referentes a área de pastagem cultivada com *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA.

| Profundidade (m) | Areia Total | Argila Total | Silte |
|------------------|-------------|--------------|---------|
| | (g/Kg) | | |
| 0,0 - 0,2 | 676.856 | 173.3 | 149.844 |
| 0,2 - 0,4 | 656.056 | 150.5 | 135.823 |

Fonte: Autor, 2018.

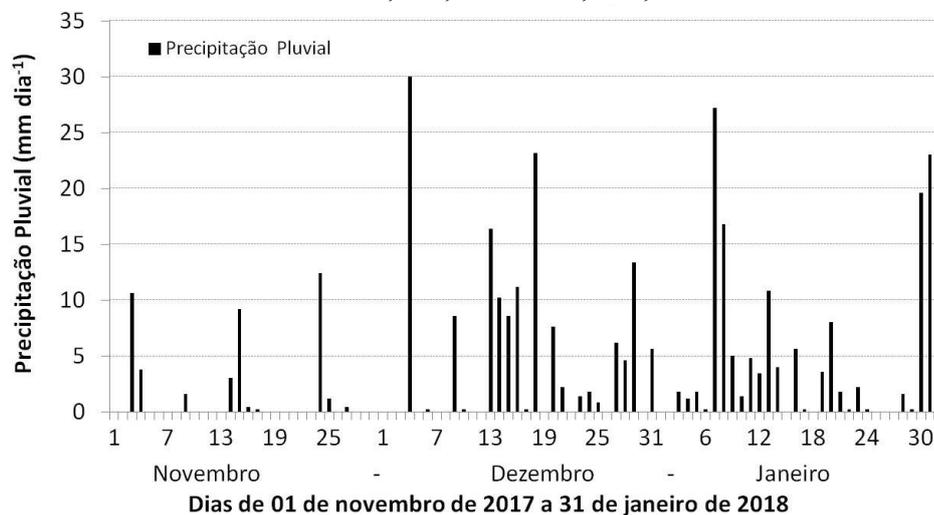
O clima do tipo AW de acordo com a classificação de Köppen, tropical chuvoso, com chuvas concentradas no verão, e estação seca no inverno. No período de 2013 a 2017 a precipitação pluvial média anual foi de 1626 ± 84 mm ano⁻¹, a temperatura de ar média foi de $26,8 \pm 0,2$ °C, a umidade relativa do ar média de $78,2 \pm 0,8$ %, com 62 ± 8 dias com precipitação por ano (Figura 2).

Figura 2: Variações diárias da Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$), T máxima (-.-), T média (-), T mínima (...-...), precipitação pluvial (mm dia^{-1}), durante o período de novembro de 2017 a janeiro de 2018, medidas na Estação Meteorológica da UFRA, Campus de Parauapebas nas coordenadas $06^{\circ}04'16,4''\text{S}$; $049^{\circ}49'8,3''\text{O}$; 270m de altitude à 18,24 km do local do experimento.



Fonte: Estação meteorológica da UFRA, campus de Parauapebas.

Figura 3: Variações diárias da precipitação pluvial (mm dia^{-1}) durante o período de novembro de 2017 a janeiro de 2018 medidas na Estação Meteorológica da UFRA, Campus de Parauapebas nas coordenadas $06^{\circ}04'16,4''\text{S}$; $049^{\circ}49'8,3''\text{O}$; 270m de altitude.



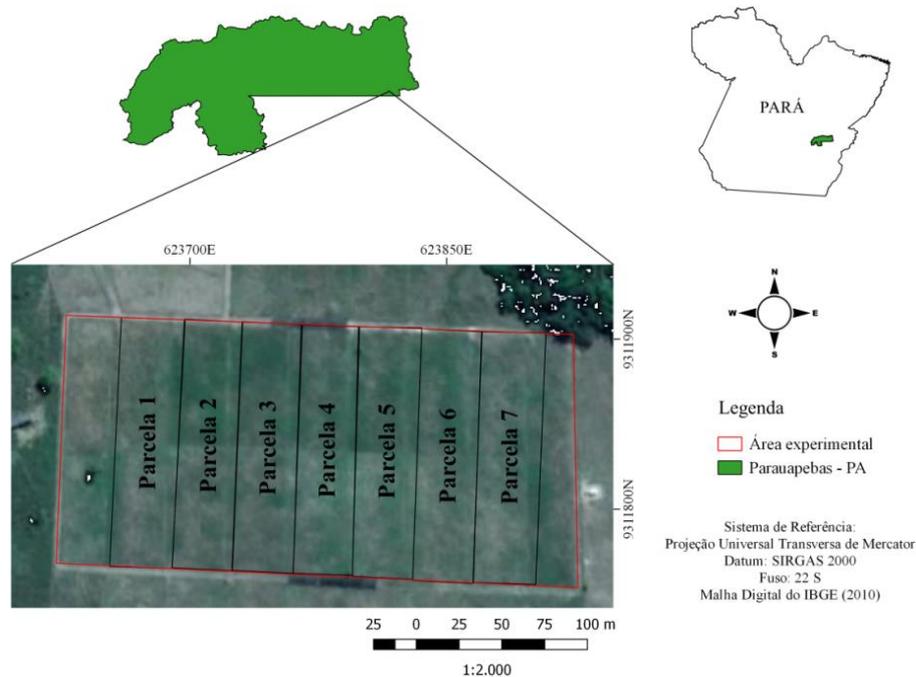
Fonte: Estação meteorológica da UFRA, campus de Parauapebas.

A pastagem cultivada de *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça foi manejada sob sistema de pastejo rotacionado com búfalas mestiças Murrah, com acesso livre à área de descanso e aguadas e taxa de lotação média de 3 UA ha^{-1} (unidade animal = animal de 450 kg de peso vivo). Cada piquete passou pelo período de ocupação de 24h horas e período de descanso de 22 dias. A pastagem estava estabelecida há cinco anos pelo sistema de plantio

convencional, com duas gradagens leves do solo e aplicação de calcário de acordo com a análise de solo. Anterior à implantação da pastagem, a área foi explorada por sucessivos cultivos de mandioca, cana-de-açúcar e árvores frutíferas, em que também se adotava o sistema de plantio convencional do solo.

A área experimental consistiu em uma pastagem de 34.300 m², dividida em 14 piquetes com dimensões de 70 x 35 m, totalizando 2.450 m² cada (Figura 4). Utilizou-se dois piquetes adjacentes para representação de cada piquete (parcela) para compreender o número mínimo de pontos (56) sugeridos pela literatura para realização da análise geoestatística, e contemplar o espaçamento entre pontos da grade regular de amostragem, dentro de cada piquete. Dessa forma, totalizaram-se sete parcelas para avaliação.

Figura 4: Localização dos piquetes avaliados em área de pastagem cultivada com *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA.

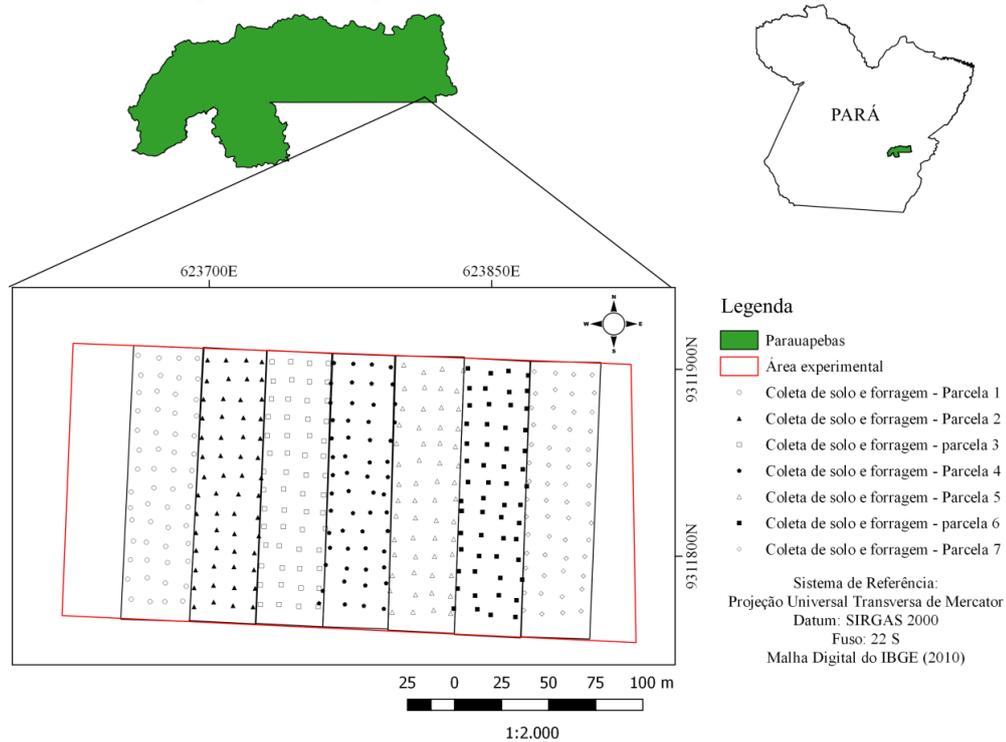


Fonte: Autor, 2018.

Para a caracterização espacial de cada variável (fenômeno espacial), os dados foram coletados em amostragem sistemática, consistindo em amostragem realizada sobre os nós de um grid amostral definida com base em uma origem escolhida aleatoriamente, conforme sugerido por Yamamoto e Ladim (2013). A origem da amostragem partiu da entrada de cada piquete, excluindo 2,5 m da bordadura da cerca e 5 m da bordadura lateral. Com isso, formou-se uma malha regular (Figura 5) com nós espaçados a 10 m equidistantes, dentro de cada piquete, totalizando 14 linhas imaginárias contendo 4 nós para cada linha, somando uma

população de 56 valores amostrados para cada variável de interesse, dentro de cada piquete ou parcela (dois piquetes adjacentes). Somando-se a população de valores amostrados para cada variável, dentro de cada parcela, totalizou 392 pontos em toda área experimental.

Figura 5: Malha regular georreferenciada utilizada nos piquetes em área de pastagem cultivada com *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA.



Fonte: O autor, 2018.

Os fenômenos espaciais (variáveis) avaliados no solo foram: resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), teor de água no solo (TAS), potencial hidrogeniônico (pH) do solo, na camada de solo de 0-0,4m, a qual foi subdividida em quatro camadas de 0,01 m. Para análise das características da forragem foram mensurados em 0,5 m²: altura de plantas (AP), número de perfilhos (NP).

2.2. Equipamentos utilizados e avaliações realizadas

2.2.1. GPS e Resistência mecânica do solo à penetração

O georreferenciamento dos pontos de amostragem dos atributos do solo foi realizado utilizando o receptor da marca Garmin Montana 680. Para mensuração da resistência mecânica do solo à penetração utilizou-se o medidor eletrônico de compactação do solo por pressão, modelo PenetroLOG – PLG 1020 da marca Falker (Figura 4). O equipamento mensurou a resistência à penetração do cone metálico no solo, nas profundidades de 0,0-0,1;

0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m. O valor de pressão correspondente foi associado à compactação do solo na camada, formando o perfil de compactação do solo (REINERT et al., 2007).

Figura 6: Medidor Eletrônico de compactação do solo por pressão (A); Determinação da resistência do solo à penetração com auxílio do medidor eletrônico penetroLOG-PLG 1020 em área de pastagem cultivada com *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA (B).



Fonte: O autor, 2018.

2.2.2. Coleta do solo

Para coleta de amostras de solo foi utilizada a sonda com auxílio de uma marreta tipo bola (Figura 5), coletando nas profundidades 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m. Para armazenamento do solo, utilizou latas de alumínio de peso conhecido e foram cobertas com papel filme para evitar perda de solo e minimizar a perda de umidade.

Figura 7: Coleta de solo com a sonda para determinação do teor de água no solo e pH (TAS) (A); Armazenamento da amostra em recipiente de alumínio em área de pastagem cultivada com *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, no município de Parauapebas - PA (B).



Fonte: O autor, 2018.

2.2.3. Teor de água no solo (TAS)

Para determinação do teor de água no solo, simultaneamente à mensuração da RMSP, foram coletadas amostras indeformadas de solo, próximo aos pontos de mensuração de

resistência mecânica do solo à penetração (RMSP). As amostras de solo da área foram pesadas em balança de precisão logo após a coleta e, posteriormente, permaneceram em estufa de circulação forçada de ar à 60° no laboratório de Solos da UFRA de Parauapebas. As amostras foram pesadas diariamente até atingir peso constante para, então, aplicar o método de quantificação. Utilizou-se o método termogravimétrico em laboratório quantificado segundo a norma NBR 6457/1986 – ABNT.

2.2.4. Potencial hidrogeniônico do solo (pH)

As amostras de solo foram destorroadas e encaminhadas para o laboratório de Solos da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA campus de Parauapebas – PA para realização da análise de pH em água conforme metodologia proposta pela Embrapa, (2011).

2.2.5. Análise das características da forragem

As variáveis altura e número de perfilhos da forragem foram contabilizadas em 0,5 m² utilizando um gabarito de madeira em cada ponto dentro de cada piquete na mesma malha amostral regular utilizada para avaliação das variáveis do solo.

2.2.6. Análise descritiva e exploratória

Nesta fase da análise de dados foram considerando apenas os valores obtidos na amostragem para a identificação de tendências e pontos discrepantes por meio da estatística descritiva e exploratória (RIBEIRO JÚNIOR, 1995) com auxílio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2014). Os dados discrepantes obtidos foram eliminados com base nos critérios sugeridos por Hoaglin et al. (1983). A verificação da normalidade da distribuição dos dados foi feita com base nos coeficientes de assimetria e curtose e confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk.

O coeficiente de variação (CV), por ser uma medida de dispersão dos dados, foi utilizado para inferir sobre a variabilidade das variáveis em análise, sendo classificada como baixo ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$) (GOMES e GARCIA, 2002).

2.3. Análise Geoestatística

Os dados coletados foram atribuídos às suas respectivas geocoordenadas no *software Excel* e exportadas para o *software GS+* (ROBERTSON, 2004), nas quais foram submetidos à análise geoestatística para verificar a existência de dependência espacial, por meio da

construção dos semivariograma (VIEIRA et al., 1983; VIEIRA, 2000). Após modelagem da dependência espacial realizada por meio da semivariância, realizou-se a krigagem e confecção dos mapas (VIEIRA et al., 1983). O cálculo foi realizado pela fórmula indicada por Matheron (1963), representada pela Equação (6).

Em que: (Eq. 6)

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$$

$y(h)$ – semivariância estimada a partir de uma distância h ;

$N(h)$ – número de pares experimentais de dados separados por uma distância h ;

$Z(x_i)$ – valor determinado em cada ponto amostrado;

$Z(x_i + h)$ – valor medido num ponto mais uma distância h .

Os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a) foram usados nas equações ajustadas aos semivariogramas. A partir da elaboração os modelos de semivariogramas foram ajustados aos dados conforme o comportamento, testando o tipo esférico, exponencial, linear e gaussiano, representados pelas Equações (7), (8) e (9).

Em que:

(A) Modelo esférico (Eq. 7)

$$y(h) = 0 \Rightarrow h = 0$$

$$y(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \Rightarrow 0 < h \leq a$$

$$y(h) = C_0 + C_1 \Rightarrow h > a$$

C_0 – efeito pepita ou semivariância mínima (erro amostral);

C_1 – patamar ou semivariância máximo;

a – alcance ou raio de agregação.

O modelo esférico é obtido selecionando os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar ($C_0 + C_1$), traçando uma reta que intercepta o eixo y em C_0 e que seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h = 0$, em que a reta cruzará o patamar à distância $a' = (2/3)$ (VIEIRA, 2000).

B) Modelo Exponencial (Eq. 8)

$$y(h) = 0 \Rightarrow h = 0$$

$$y(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{3h}{a} \right] \right\} \Rightarrow h > 0$$

Os parâmetros C_0 e C_1 do modelo são determinados da mesma forma que para o esférico (VIEIRA, 2000), no entanto, a diferença entre o modelo esférico e o exponencial é que o modelo exponencial atinge o patamar com alcance prático definido como a distância na qual o valor do modelo é de 95% do patamar (ISSAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

C) Modelo Gaussiano

(Eq. 9)

$$y(h) = 0 \Rightarrow h = 0$$

$$y(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-3 \frac{h^2}{a} \right] \right\} \Rightarrow h > 0$$

O modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente, e o parâmetro é definido como o alcance prático ou distância na qual o valor do modelo é de 95% do patamar (ISSAAKS e SRIVASTAVA, 1989), e o que caracteriza o modelo é o ponto de inflexão próximo à origem.

D) Efeito pepita puro

(Eq. 10)

$$y(h) = C$$

Efeito pepita puro acontece quando variável que não apresenta dependência espacial na análise geoestatística, ou seja, indica que os atributos analisados são espacialmente independentes, apresentando distribuição casual ou que o espaçamento de amostragem adotado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial e que a única estatística aplicável é a clássica (SILVA et al., 1989).

2.3.1. Grau de dependência espacial (GDE)

A partir dos dados experimentais coletados foi avaliado o grau de dependência espacial ou índice k para determinação da participação da variância espacial presente na variância total da amostra. O índice consiste na proporção em percentagem da variância estrutural (C_1) em relação ao patamar (C_0+C), representada pela Equação (11).

Em que:

(Eq. 11)

$$GDE = C_1 / (C_0 + C_1)$$

GDE – grau de dependência espacial;

Co – Efeito Pepita;

C1 – contribuição;

Co+C1 – patamar.

Os valores calculados para o GDE foram agrupados de acordo com os intervalos propostos por Zimback (2001) em dependência espacial fraca ($k < 0,25$), moderada ($0,25 < k < 0,75$) e forte ($k > 0,75$).

2.3.2. Krigagem

Para a elaboração dos mapas de krigagem foi utilizado o *software* SURFER 11, nos quais os pontos amostrados foram interpolados para a obtenção de uma estimativa (z^*) que consistiu em uma combinação linear dos valores das medidas vizinhas (X_0), representada pela Equação 12.

Em que:

(Eq. 12)

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

Z^* – estimativa;

X_0 – combinação linear dos valores das medidas vizinhas;

N – número dos valores medidos envolvidos na estimativa $z(x_i)$;

i – peso associado a cada valor medido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resistência mecânica do solo à penetração

3.1.1. Análise descritiva

Os resultados da estatística descritiva para o atributo RMSP estão apresentados na Tabela 2. Verifica-se no piquete 4 maior amplitude dos dados expressa pelo maior distanciamento entre valores mínimo e máximo, nas profundidades de 0,1-0,2 m (1,47 e 5,06 MPa), 0,2-0,3 m (0,74 e 5,37 MPa) e 0,3-0,4 m (1,03 e 4,96 MPa). Resultado semelhante foi obtido por Mion et al. (2012), em Argissolo de classe textural Areia franca, valores variando de 0,6 MPa a 5,0 MPa até os 0,3 m de profundidade. Em Argissolo com textura argilosa sob pastagem Lima et al. (2009) obtiveram valor mínimo e máximo de 3,80 e 7,39 MPa, respectivamente, na camada de 0,1-0,2 m.

Tabela 2: Parâmetros da estatística descritiva da variável resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em MPa nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3;0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| RMSP (0,0-0,1 m) | | | | | | | |
|------------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 0,79 | 0,15 | 1,64 | 45,93 | 0,34 | 2,52 | 0,27 |
| Piquete 2 | 0,97 | 0,24 | 1,93 | 39,18 | 0,30 | 2,45 | 0,49 |
| Piquete 3 | 1,02 | 0,17 | 1,64 | 34,01 | -0,26 | 2,73 | 0,31 |
| Piquete 4 | 1,34 | 0,07 | 2,63 | 39,98 | 0,12 | 2,95 | 0,95 |
| Piquete 5 | 1,42 | 0,08 | 2,86 | 48,55 | -0,07 | 2,20 | 0,48 |
| Piquete 6 | 1,58 | 0,79 | 2,60 | 22,20 | 0,21 | 3,28 | 0,92 |
| Piquete 7 | 1,46 | 0,62 | 2,04 | 26,44 | -0,40 | 2,18 | 0,04 |
| RMSP (0,1-0,2 m) | | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 1,89 | 0,55 | 3,36 | 30,64 | 0,36 | 3,04 | 0,58 |
| Piquete 2 | 2,03 | 0,36 | 2,93 | 26,70 | -0,34 | 3,03 | 0,09 |
| Piquete 3 | 1,95 | 0,59 | 3,06 | 26,95 | -0,13 | 2,94 | 0,95 |
| Piquete 4 | 3,01 | 1,47 | 5,06 | 30,74 | 0,54 | 2,62 | 0,04 |
| Piquete 5 | 2,31 | 1,05 | 4,05 | 30,50 | 0,34 | 2,43 | 0,30 |
| Piquete 6 | 2,65 | 0,73 | 4,02 | 22,73 | -0,53 | 3,83 | 0,29 |
| Piquete 7 | 2,20 | 0,74 | 4,02 | 33,86 | -0,02 | 2,75 | 0,67 |
| RMSP (0,2-0,3 m) | | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 1,83 | 0,60 | 3,96 | 32,83 | 0,59 | 4,52 | 0,10 |
| Piquete 2 | 2,03 | 0,90 | 3,32 | 29,87 | 0,35 | 2,38 | 0,56 |
| Piquete 3 | 1,92 | 0,65 | 3,30 | 35,01 | -0,07 | 2,12 | 0,30 |
| Piquete 4 | 2,58 | 0,74 | 5,37 | 39,58 | 0,78 | 3,38 | 0,02 |
| Piquete 5 | 1,82 | 0,58 | 3,23 | 35,83 | 0,11 | 2,44 | 0,56 |
| Piquete 6 | 2,36 | 0,73 | 4,40 | 37,93 | 0,25 | 2,69 | 0,48 |
| Piquete 7 | 1,87 | 0,85 | 3,35 | 32,64 | 2,34 | 0,36 | 0,13 |
| RMSP (0,3-0,4 m) | | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 0,58 | 0,61 | 3,00 | 37,35 | 0,07 | 2,23 | 0,28 |
| Piquete 2 | 1,92 | 0,74 | 3,18 | 32,39 | 0,09 | 2,36 | 0,63 |
| Piquete 3 | 1,66 | 0,58 | 2,80 | 32,99 | -0,05 | 2,34 | 0,53 |
| Piquete 4 | 2,14 | 1,03 | 4,96 | 43,80 | 0,94 | 3,19 | 0,50 |
| Piquete 5 | 1,44 | 0,26 | 3,48 | 42,67 | 0,65 | 3,85 | 0,25 |
| Piquete 6 | 2,04 | 0,72 | 3,98 | 45,82 | 0,19 | 2,15 | 0,02 |
| Piquete 7 | 1,63 | 0,61 | 2,71 | 32,23 | 0,07 | 2,41 | 0,34 |

Méd - média; Mín. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Coeficiente de Variação (%), Ck – curtose e Cs – assimetria; W = coeficiente de Shapiro-Wilk.

Fonte: Autor, 2018.

A amplitude observada entre os valores mínimo e máximo da RMSP se encontra de acordo com a faixa de valores obtidos por Pariz et al. (2011) em Latossolo vermelho textura média a moderada e por Cavallini et al. (2010), também em Latossolo de textura argilosa com incremento de 4% de argila em relação à área do presente estudo, relatando valores variando de 1,90 a 4,40 MPa. Sendo superior aos relatados em Argissolo de textura argilosa sob pastagem por Montanari et al. (2013) e Pariz et al. (2011), em Latossolo de textura média típica também sob pastagem .

A distribuição dos dados, em todos os piquetes (Tabela 2), apresentaram valores de assimetria variando de 0,05 a 0,5 negativas e 0,07 a 0,9 positivas. No piquete 3 a distribuição de dados apresentou assimetria negativa em todas camadas, enquanto os piquetes 5 e 7 foram negativos na profundidade de 0,0 a 0,1 m, já nos piquetes 2, 6 e 7 foi na subcamada (0,1-0,2 m). Os resultados diferem dos obtidos por Montanari et al. (2013), que verificaram coeficientes de assimetria positiva de 0,004 à 0,530 e negativa de -0,446 à -0,223.

Em se tratando da classe de solo, Montanari et al. (2008) encontraram assimetria próximo a zero na classe de Argissolo, já para o Latossolo os dados foram mais assimétricos. Em Argissolo de textura franco arenosa Abreu et al. (2003), verificaram distribuição normal. Isaaks & Srivastava, (1989) explicam que mais importante é que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, embora de acordo com WEBSTER, (1985), a não normalidade seja comum quando se trata de dados obtidos na natureza.

Conforme classificação proposta por Gomes e Garcia, (2002) baseada no coeficiente de variação (CV) (Tabela 2), a variável RMSP apresentou variabilidade entre alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$) em todos os piquetes, independente da camada de solo avaliada. De acordo com Souza et al. (2006) o maior teor de água no solo exerce influencia no aumento do CV da RMSP, e o trânsito de animais em condições de solo plástico a pegajoso, inadequada insere-se como fator condicionante para a variabilidade do atributo. O experimento ocorreu em período com ocorrência de chuvas (Figura 3) e possivelmente, houve pastejo de animais em condições de umidade inadequada do solo. Esses fatores, condicionados à dinâmica de locomoção dos animais dentro do piquete devido ao hábito alimentar ocasiona maior variabilidades desse atributo na camada superficial do solo, a qual tem contato direto com as patas dos animais.

Miguel et al. (2009), complementam que a alta variabilidade da RMSP em pastagem é proporcional a intensidade do pisoteio do gado em determinadas regiões e conforme Moreira et al. (2012), a resistência do solo à penetração apresenta maior sensibilidade na detecção de

alterações físicas quando comparado a outros atributos. Sabe-se também que o coeficiente de variação para os atributos do solo varia devido ao sistema de manejo, tempo e tipo de cultivo, além da classificação e textura do solo..

Ao comparar o CV entre classes de solo, Montanari et al. (2008) observaram maiores valores para todos os atributos avaliados no Latossolo em relação ao Argissolo. Esses dados se assemelham aos de Cavallini et al. (2010) e Faraco et al. (2008) ao verificar em Latossolo Vermelho, valores de RMSP com variabilidade entre alta e muito alta. O que reforça a ideia que na pedoforma convexa as condições de fluxo de água superficial e lateral condicionam ambientes específicos que interferem nos processos pedogenéticos, favorecendo a maior variabilidade espacial dos atributos do solo (FRANZEN et al., 1998).

Pelas informações da Tabela 2, verificou-se que os valores de RMSP oscilaram nas camadas do solo, com maiores valores médios na camada de 0,2-0,3 m de até 5,37 MPa no piquete 4. De maneira geral, os valores de resistência do solo à penetração de 3,5 a 6,5 MPa são considerados críticos ao crescimento radicular de gramíneas (TORRES e SARAIVA, 1999). Souza et al. (2006), também verificaram oscilação nas camadas do solo, e maior valor de RMSP na camada de 0,15-0,4 m com 4,15 MPa. Cortez et al. (2010) relatam valores acima do recomendado para Argissolo nas camadas de 0,2-0,3 m (7,30 MPa) e 0,3-0,4 m (14,1 MPa) em solo sob irrigação.

Esse comportamento da RMSP, possivelmente, decorre da influência da textura do solo, cuja maior concentração da fração areia nos horizontes do solo resulta em rápida permeabilidade e conseqüente variação no conteúdo de água no solo, transferindo essa característica para a resistência à penetração entre as camadas de solo avaliadas (SILVEIRA et al., 2010; MION et al., 2012). Como a umidade altera a coesão entre partículas (BELTRAME; GONDIN; TAYLOR, 1981) e considerando que solos de textura franco-arenosa possuem elevada permeabilidade e são pouco eficientes na retenção de água, quando está seco ou com baixo conteúdo de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa (SILVEIRA, 2009).

3.1.2. Análise Geoestatística

Os modelos e parâmetros dos semivariogramas (Figuras nos apêndices) ajustados para o atributo RMSP estão apresentados na Tabela 3. Observa-se que a RMSP exhibe estruturas e alcances diversos, entre todos os piquetes e profundidades da área avaliada.

Tabela 3: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em MPa nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| RMSP (0,0-0,1 m) | | | | | | | |
|------------------|--------|--------|-------|------|----------------|------|--------|
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 13,10 | 0,16 | 0,03 | 0,68 | 0,68 | Mod |
| Piquete 2 | Esf | 164,00 | 0,23 | 0,02 | 0,85 | 0,93 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 16,20 | 0,11 | 0,01 | 0,40 | 0,92 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 13,80 | 0,26 | 0,02 | 0,69 | 0,91 | Fort |
| Piquete 5 | Esf | 90,70 | 0,66 | 0,04 | 0,97 | 0,94 | Fort |
| Piquete 6 | Gau | 37,40 | 0,15 | 0,06 | 0,85 | 0,58 | Mod |
| Piquete 7 | Exp | 12,10 | 0,14 | 0,00 | 0,39 | 0,99 | Fort |
| RMSP (0,1-0,2 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 13,40 | 0,33 | 0,02 | 0,01 | 0,95 | Fort |
| Piquete 2 | Gau | 25,50 | 0,30 | 0,10 | 0,95 | 0,66 | Mod |
| Piquete 3 | Esf | 15,20 | 0,28 | 0,05 | 0,17 | 0,98 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 13,10 | 0,94 | 0,13 | 0,75 | 0,86 | Fort |
| Piquete 5 | Exp | 19,13 | 0,53 | 0,08 | 0,48 | 0,84 | Fort |
| Piquete 6 | Exp | 13,09 | 0,39 | 0,07 | 0,75 | 0,83 | Fort |
| Piquete 7 | Exp | 13,20 | 0,62 | 0,10 | 0,51 | 0,83 | Fort |
| RMSP (0,2-0,3 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 17,60 | 0,36 | 0,03 | 0,59 | 0,92 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 16,50 | 0,03 | 0,03 | 0,15 | 0,90 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 16,40 | 0,46 | 0,03 | 0,26 | 0,93 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 15,02 | 0,08 | 0,16 | 0,28 | 0,84 | Fort |
| Piquete 5 | Exp | 17,80 | 0,42 | 0,04 | 0,20 | 0,91 | Fort |
| Piquete 6 | Esf | 17,80 | 0,79 | 0,01 | 0,13 | 0,98 | Fort |
| Piquete 7 | Esf | 22,40 | 0,38 | 0,01 | 0,74 | 0,98 | Fort |
| RMSP (0,3-0,4 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 12,10 | 0,39 | 0,06 | 0,66 | 0,85 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 19,80 | 0,34 | 0,03 | 0,28 | 0,90 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 15,60 | 0,30 | 0,03 | 0,09 | 0,91 | Fort |
| Piquete 4 | Esf | 19,10 | 0,94 | 0,09 | 0,51 | 0,99 | Fort |
| Piquete 5 | Esf | 78,80 | 0,46 | 0,21 | 0,71 | 0,53 | Mod |
| Piquete 6 | Exp | 15,90 | 0,93 | 0,12 | 0,40 | 0,40 | Mod |
| Piquete 7 | Exp | 19,10 | 0,28 | 0,04 | 0,34 | 0,87 | Fort |

Modelos: Gau: Modelo Gaussiano; Exp: Modelo Exponencial; Esf: Modelo Esférico; C0: efeito pepita, (C0+C1): patamar, A0: alcance, R²: coeficiente de determinação, IDE: índice de dependência espacial, Classe, Mod: Moderada, Fort: Forte.

Fonte: Autor (2018).

O piquete 5 apresentou os maiores alcances com valores de 90,7 e 78,8 m nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,3-0,4 m, respectivamente, com melhor ajuste ao modelo esférico e GDE moderado e forte, com valores de resistência abaixo de 4MPa. Segundo Lima et al. (2009), essa diferença nos valores do alcance, para o mesmo solo em áreas próximas, pode ser um indicativo da influência da cobertura, do uso e do manejo adotado. Na área experimental foi verificada a presença de outra espécie forrageira de porte mais baixo, o que confere baixa proteção do solo. Além disso, a proporção areia de 676,86 g kg⁻¹ na área em estudo, junto às condições de relevo e baixa proteção do solo pode conferir baixa proteção física da matéria orgânica à decomposição microbiana, tornando-se susceptível a alterações na sua estrutura.

A partir dos valores do grau de dependência espacial indicados por Zimbarki (2001) na Tabela 3, foram verificadas nas quatro profundidades estudadas, GDE forte e moderado em todos os piquetes. Nos piquetes 1 e 6 (0,0-0,10 m) foram classificados como moderado, assim como nos piquetes 2 (0,1-0,2 m), 5 e 6 (0,3-0,4 m). Na camada de 0,2-0,3 m houve forte GDE em todos os piques, e RMSD a baixo de 3 MPa. Diferença essa encontrada por Ceddia et al. (2009), notando que conforme aumenta a profundidade amostrada do solo, o GDE de atributos físicos do solo pode decrescer. Batista et al. (2017), estudando um Neossolo Regolítico sob pastagem encontraram GDE forte para RMSD abaixo de 2 MPa, para todas as camadas até 0,30 m de profundidade.

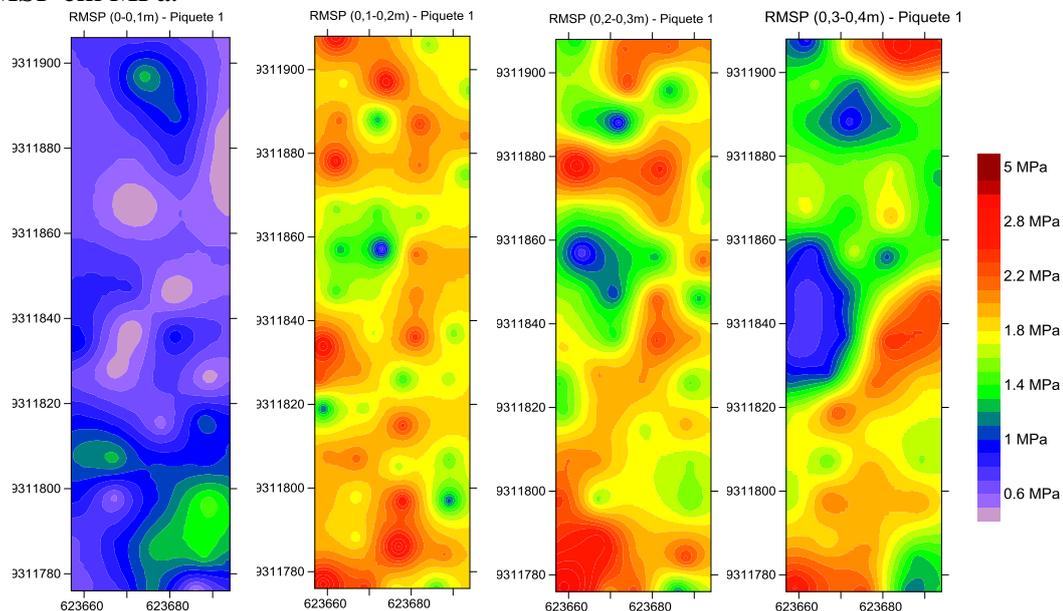
Já Ferrari et al. (2018) estudando a variabilidade espacial da resistência à penetração do solo, verificaram que o manejo do solo influenciou diretamente na maior homogeneidade nas amostras inferiores a 0,25 m de profundidade, com forte e moderado grau de dependência. Para Cavalcante et al. (2011) e Grego et al. (2012), os semivariogramas que melhor se ajustaram foram dependentes da camada de 0,5 à 0,3 m, selecionando os modelos esférico e exponencial, corroborando com o presente estudo. É válido ressaltar que o modelo exponencial representa atributos que tem a maior perda de semelhança com a distância (BERNARDI et al., 2014), e o modelo esférico é o mais utilizado e considerado adequado para representação de variáveis relacionadas a planta e ao solo (SALVIANO et al., 1998).

A maior parte das camadas de solo apresentou coeficiente de ajuste do modelo ao semivariograma (R^2) inferior a 0,60, ou seja, no máximo 60% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada foram explicadas pelos modelos ajustados. A partir da análise dos modelos de semivariogramas que melhor se ajustaram, foi possível observar a predominância da distribuição exponencial, exceto para os piquetes 2 (0,1-0,2 m) e 6 (0,0-0,1 m), em que o melhor ajuste foi obtido com o modelo Gaussiano (Tabela 3).

3.1.3. Mapas de Isolinhas

A partir dos mapas de isolinhas referentes às profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m para os piquetes 1 (Figura 8), 2 (Figura 9), 3 (Figura 10), 4 (Figura 11), 5 (Figura 12), 6 (Figura 13) e 7.(Figura 14) é possível detectar a variabilidade e comportamento espacial da RMSP no sentido vertical e horizontal do solo. As cores em vermelho, laranja e amarelo condizem com valores entre 1,5 e 5 MPa, enquanto as cores verde, azul e lilás representam valores de RMSP entre 1,4 e 0,6 MPa.

Figura 8: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 1 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa.



Fonte: Autor, 2018.

Pelas informações da Figura 8, observa-se na camada 0,0-0,1 m a predominância de cores em azul e lilás representando valores inferiores à 1 MPa e algumas zonas com manchas verdes indicando valores acima de 1,4 MPa. A variabilidade dos valores de RMSP na primeira camada deve-se a suscetibilidade do solo à sofrer maiores variações nos atributos por estar em contato direto com fatores externos como clima, manejo e pisoteio somados a falta de cobertura vegetal do solo. Na área em estudo, foi verificado desuniformidade na altura de plantas e presença de outra espécie forrageira de porte mais baixo em algumas localidades dos piquetes, o que configura menor cobertura do solo e conseqüente suscetibilidade a alterações físicas.

No entanto, os valores de RMSP encontrados na camada 0,0-0,1 m do piquete 1 não indicam zonas do solo compactadas visto que foi quantificado maior teor de água no solo (TAS) (Figura 15) em relação as demais camadas do solo, chegando a 16% (Figura 8). De

acordo com os parâmetros propostos por Camargo & Alleoni (1997), dependendo da cultura e condições de umidade do solo, valores a cima de 2,5 MPa podem ser considerados como um indicativo de limitação ao crescimento das raízes de plantas.

A presença de água no solo está diretamente relacionada com a presença de macro e microporos, conferindo-lhe melhor taxa de infiltração de água para as camadas subsequentes. Estando o processo de infiltração e retenção de água diretamente relacionado à textura do solo, a maior concentração de argila (173,30 g/kg) na camada de 0,0-0,2 m da área em estudo, a qual confere ao solo melhor agregação e estabilidade de poros, pode estar conferindo ao solo, maior retenção de água nessa profundidade e conseqüente diminuição da RMSP. Entre os fatores internos do solo, o teor de água e principalmente a fração argila no solo são os que mais interferem na intensidade da compactação no solo (LIMA et al., 2007; MOLIM et al., 2012; TAVARES FILHO & RIBON, 2017).

Nas camadas de 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m (Figura 8), a RMSP apresentou aumento, chegando a 3 MPa em algumas localidades indicadas pela cor vermelha próximo a entrada do piquete no canto superior e inferior esquerdo do mapa. Na camada de solo subsequente (0,3-0,4 m) ocorre a diminuição para 2,2 MPa, apresentando TAS em torno de 11% (Figura 15). A tendência de diminuição no conteúdo de água também se deve à redução no teor de argila na camada 0,2-0,4 m (150,5 g/kg) ocasionando menor retenção de água e conseqüente aumento da RMSP em relação a primeira camada (0,0-0,1 m).

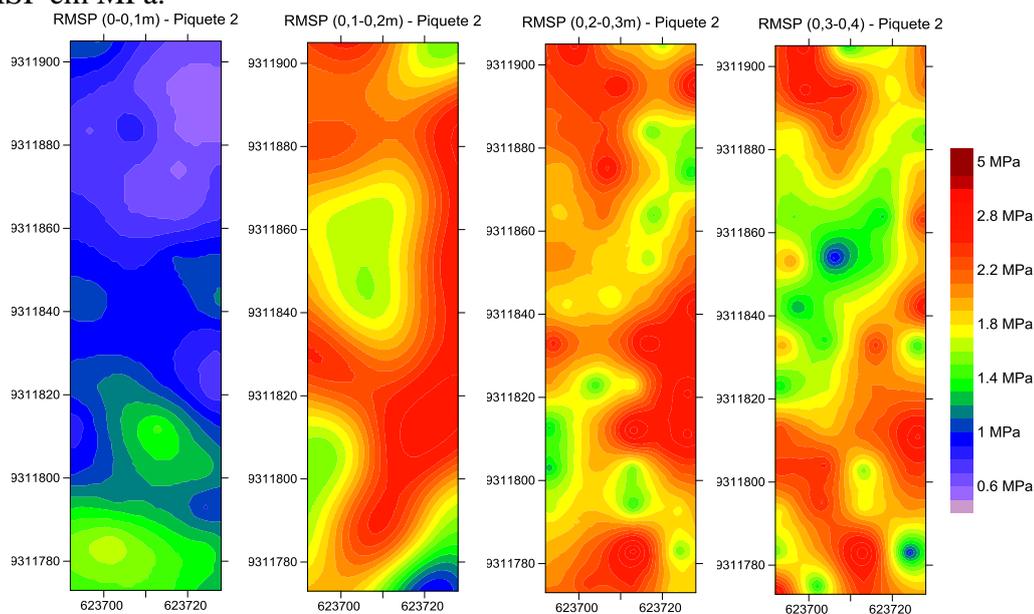
Resultados semelhantes foram descritos por Campos et al. (2012) em solo sob pastagem, com aumento da RMSP na profundidade de 0,0-0,15 m (2,16 Mpa) para 0,15-0,3 m (2,86 Mpa) e subsequente diminuição na profundidade de 0,30-0,45 m (2,74 MPa). Grego et al. (2012) relatam menor infiltração de água no solo na camada 0,1-0,2 m ao verificarem alta RMSP (6,68 MPa) em relação as demais camadas. Como a umidade altera a coesão entre partículas (BELTRAME; GONDIN; TAYLOR, 1981), quando está seco ou com baixo conteúdo de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa (SILVEIRA, 2009) resultando em maior resistência do solo à penetração.

Em solos de pastagem é comum verificar esse comportamento, visto que as camadas em torno de 0,2 m tendem a ter maior RMSP devido o efeito compactante do pisoteio animal na camada superficial do solo provocando o rearranjo das partículas do solo, alterando a relação solo por volume, causando descontinuidade dos poros e aumento da RMSP (PIRES et al., 2012). Tais fatores inserem-se como indicativos das condições do solo e reflexo da

diferença de concentração granulométrica ao longo do perfil do solo, configurando diferentes porcentagens de TAS e RMSP.

Pelas informações da Figura 9, observa-se no piquete 2 a predominância de RMSP a baixo de 1 MPa (0,0-0,1 m) e valores entre 1,0 MPa a 1,8 MPa nas área de entrada do piquete, no canto superior e inferior esquerdo. Nas camadas subsequentes 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m, o atributo é representado em uma grande mancha em laranja e vermelha que tende da entrada do piquete deslocando-se em sua maioria pelas laterais em valores acima de 2 MPa. A partir da figura 9, é possível associar a variabilidade espacial da RMSP ao comportamento de pastejo dos animais que tendem a pastear em grupos e a concentrar-se primeiramente na entrada e pastear seguindo na diagonal do piquete.

Figura 9: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 2 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa.

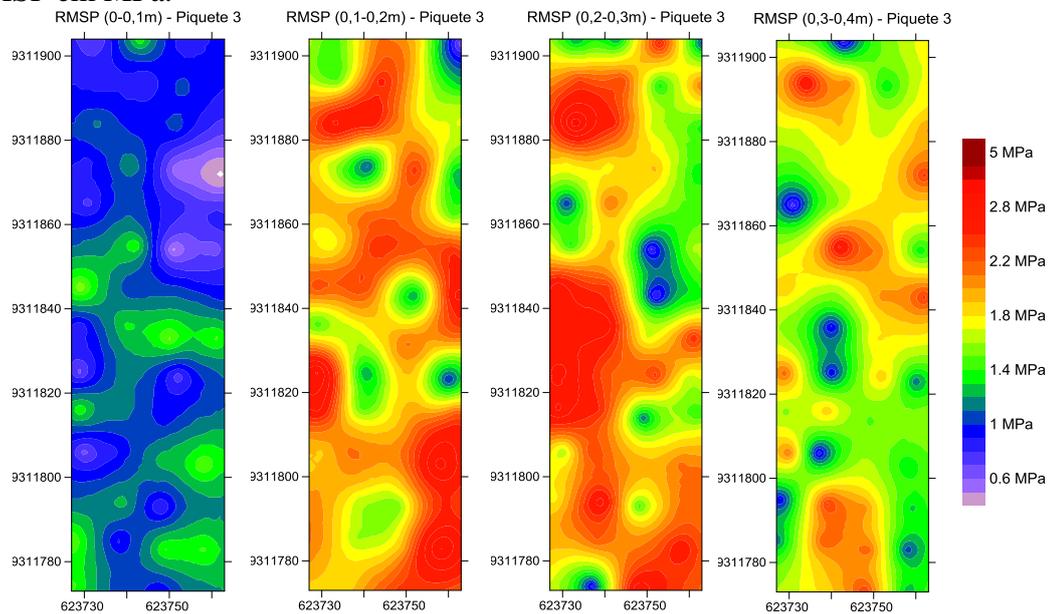


Fonte: Autor, 2018.

De acordo com SANTOS et al. (2010), os animais tendem a concentrar a atividade de pastejo em determinadas áreas da pastagem e, ao mesmo tempo, rejeitar outras, o que favoreceu a intensidade do pisoteio em determinadas áreas promovendo a formação das manchas de compactação identificadas no piquete 2 (Figura 9). Quando uma força é aplicada pelos cascos dos animais, ao se movimentar ele transfere a massa do corpo para uma ou duas de suas patas, associado ao efeito agravante da aceleração desenvolvida no movimento (TRIMBLE E MENDEL, 1995). De acordo com Horn et al. (2003), O grau de compactação do solo é determinado tanto pela magnitude da pressão aplicada na superfície como pelo número de vezes que ela é aplicada na mesma posição.

Através dos mapas do piquete 3 (Figura 10), verifica-se semelhança na variabilidade espacial da RMSP entre as camadas de solo analisadas. Valores de 1,4 MPa, representados pela cor verde na camada superficial (0,0-0,1 m) aumentaram nas camadas 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m para valores acima de 3 MPa e na última camada (0,3-0,4 m) diminui próximo a 1,8 MPa. Nas localidades com maior RMSP o TAS foi em torno de 14 % (Figura 17), 2% a menos em comparação à camada anterior (0,0-0,1 m), coincidindo também com maior altura de forragem, acima de 1 m (Figura 29).

Figura 10: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 3 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa.



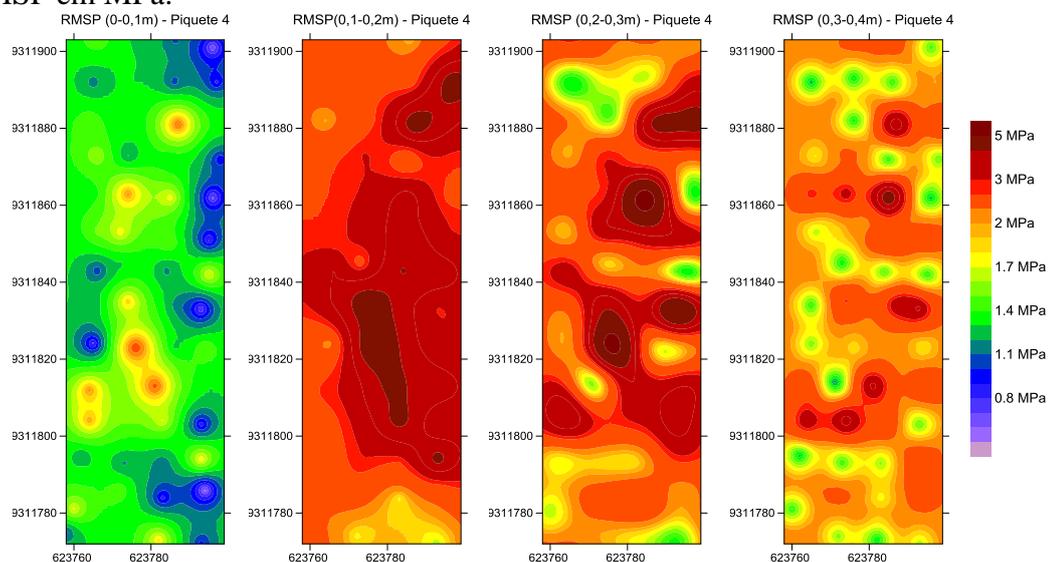
Fonte: Autor, 2018.

Pelas informações do mapa (Figura 10), assim como nos demais piquetes 1, 2 e 3 (Figuras 8, 9 e 10), a primeira (0,0-0,1 m) e última camada do solo (0,3-0,4 m) analisadas, apresentam menor RMSP em relação as camadas de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m que possuem valores a cima de 3 Mpa. De acordo com Cavallini et al. (2010) as raízes de gramíneas comumente concentram-se na camada do solo de 0,2-0,3 m e quando em condições de RMSP superiores a 3,0 MPa pode haver crescimento radicular na presença de maior conteúdo de água. Nos solos agrícolas, além da variabilidade dos atributos resultantes do manejo, ocorre a variação natural da RMSP devido fatores de formação do solo. Conforme Embrapa (2013), os Argissolos compreendem solos com profundidade variável, desde forte a pouco drenados e com a presença do horizonte B textural com evidente incremento no teor de argila no horizonte subsuperficial, o que confere a presença de poros muito pequenos e maior densidade e consequente elevação da RMSP e redução na concentração de água.

Ao comparar o piquete 1 (Figura 8), 2 (Figura 9) e 3 (Figura 10) é perceptível a semelhança na localização e dispersão das manchas de RMSP, concentrando-se na entrada dos piquetes, seguindo uma tendência para a diagonal e elevação dos valores nas camadas intermediárias (0,1-0,2 e 0,2-0,3 m) com consequente diminuição entre 0,3-0,4 m. A partir desses resultados, é possível relacionar as alterações físicas ocorridas, à fatores externos como o pisoteio animal e fatores de formação do solo como a classe textural, por se tratar de piquetes vizinhos, podendo ocorrer maior semelhança na concentração de areia e argila de seus horizontes

Para o mapa elaborado no piquete 4 (Figura 11), na superfície (0,0-0,1 m), os valores de 1,5 MPa foram mais homogêneos, com posterior aumento dos valores conforme o aumento da profundidade do solo (0,1-0,4 m). Nas camadas de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, a concentração de manchas em vermelho indicando RMSP a cima de 4 Mpa na região central do piquete, são mais homogêneas em relação à primeira camada (0,0-0,1 m) e a última (0,3-0,4 m).

Figura 11: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 4 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa.



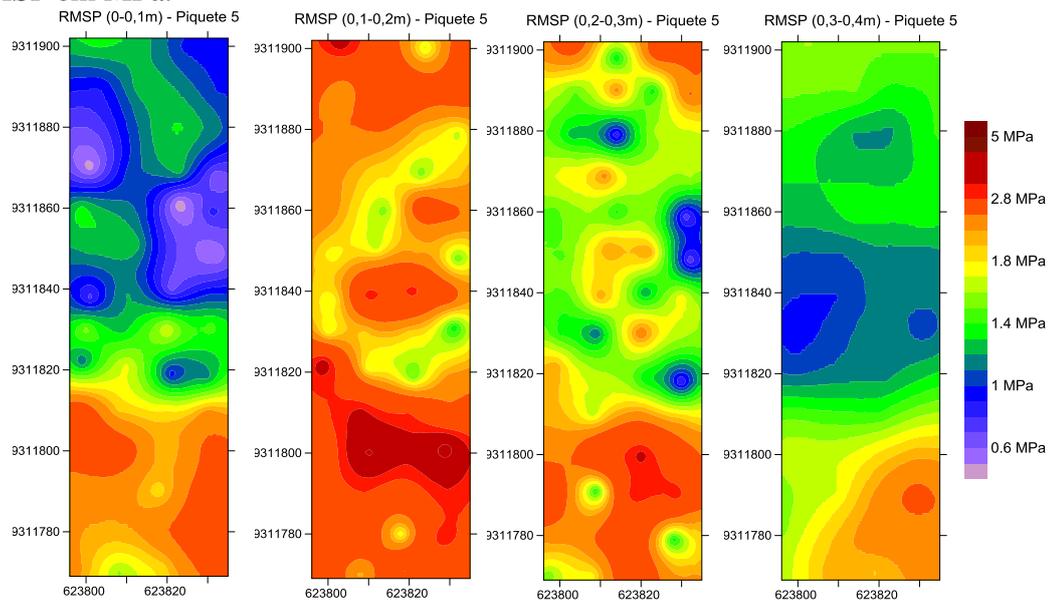
Fonte: Autor, 2018.

De maneira geral, houve condições semelhantes entre os ambientes avaliados, de modo que, as manchas em formato esférico representadas pelas cores amarelo e azul, indicando RMSP a cima de 1,00 Mpa na camada 0,0-0,1 m, apresentam-se nas camadas subsequentes (0,1-0,2 e 0,2-0,3 m), representadas pela cor vermelha em manchas maiores e RMSP entre 3 e 5 Mpa. Na camada 0,3-0,4 m as manchas em vermelho seguem na mesma localização que a camada anterior, com redução da resistência do solo. Os resultados reforçam

a ideia de que a pressão externa exercida sobre o solo ocasiona modificações na estrutura do mesmo no sentido vertical e horizontal.

O mapa elaborado do piquete 5 (Figura 12) evidenciou alta heterogeneidade do atributo RMSP em todas as camadas analisadas e valores mais altos na porção inferior do mapa variando de 1,8 a 5,00 Mpa, representados pelas cores laranja e vermelho.

Figura 12: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 5 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa.



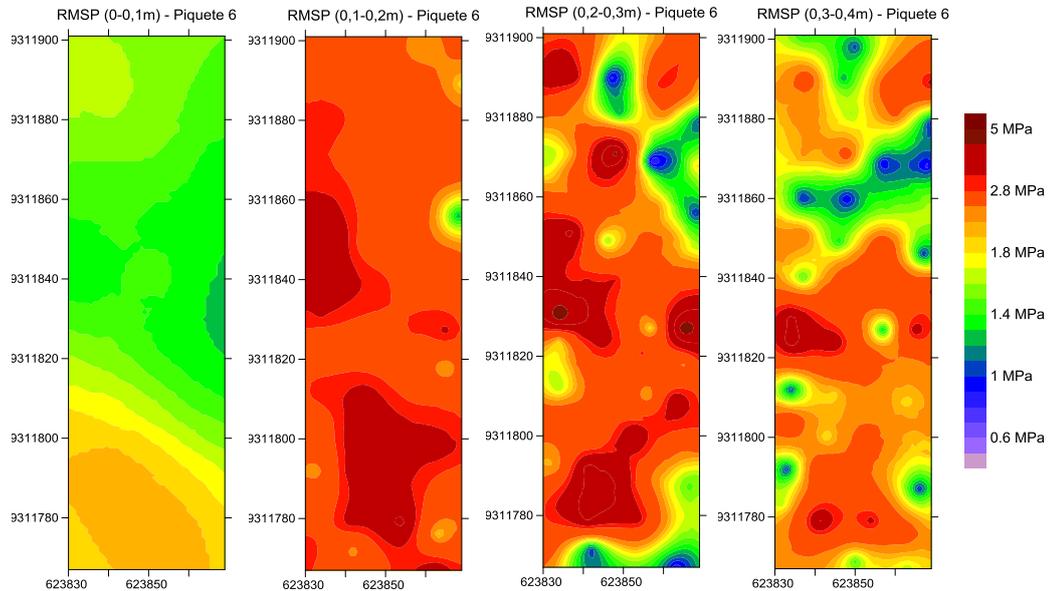
Fonte: Autor, 2018.

Na Figura 13 (piquete 6) foi possível observar que as manchas da RMSP entre 1,8 e 5,00 MPa também concentram-se na parte inferior do mapa, independente da profundidade do solo, com os maiores valores na camada de solo entre 0,1 à 0,3 m. Assim, por meio de análise mais detalhada verificou que apesar de apresentar diferentes níveis de compactação no sentido vertical do solo, pouca diferença de RMSP entre as camadas avaliadas, e diferentemente dos outros piquetes, a mancha de compactação do solo não diminuiu, ao contrário aumentou. Esta região fica próxima a estrada onde com área de descanso e aguada o que provoca maior concentração, trânsito de animais e pisoteio.

Na camada de solo de 0,3-0,4 m (Figura 13), as manchas de coloração vermelha representando RMSP próximo a 4 MPa é semelhante à identificada na camada superficial do solo, possivelmente, caracterizando um solo submetido a alta pressão externa no passado devido aos métodos de manejo convencional adotados. Apesar das raízes das gramíneas serem eficientes na exploração do solo em profundidade, promovendo que as características físicas do solo, tornem-se ainda mais propícios ao crescimento radicular da planta, o tempo de

recuperação com a implantação da gramínea não possibilitou melhorias nas camadas mais profundas do solo (WENDLING et al., 2005; PEREIRA et al., 2013).

Figura 13: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 6 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa.



Fonte: Autor, 2018.

É possível verificar comportamento semelhante da RMSP nos piquete 5 e 6 nas Figura 12 e 13, justificado por serem piquetes adjacentes entre si, assim, apresentaram o mesmo manejo de solo, e sofrerem as mesmas pressões externas. O histórico de manejo da área, anterior à implantação da pastagem, consistiu no preparo convencional, com gradagens e arações, caracterizado pela presença de manchas de alta RMSP distribuídas ao longo das camadas do solo, resultado da pressão que os pneus de implementos e máquinas agrícolas exercem sobre o solo.

O piquete 6 (Figura 13), assim como no piquete 5 (Figura 14), apresentou mancha de cor laranja a vermelho indicando RMSP entre 2MPa e 5,5MPa na parte inferior do mapa. Ambas áreas possuem alta RMSP em comparação aos demais, em todas camadas de solo, o que prejudica o estabelecimento da pastagem, implicando em maiores limitações ao desenvolvimento radicular de plantas (CARVALHO et al., 2012; ROSOLEM et al., 1994). Contudo, dentre os piquetes e camadas do solo avaliadas, o piquete 6 foi a que apresentou o maior RMSP, de 5,4 MPa, na camada de 0,2-0,3 m, com manchas pontuais ao longo do piquete, e na camada subsequente diminuíram de tamanho consideravelmente, mas pouca redução da compactação.

Em sistemas de pastejos existe a probabilidade que ocorra pisoteio repetidamente no mesmo local, em toda superfície, provocando redução do volume do solo que, no geral,

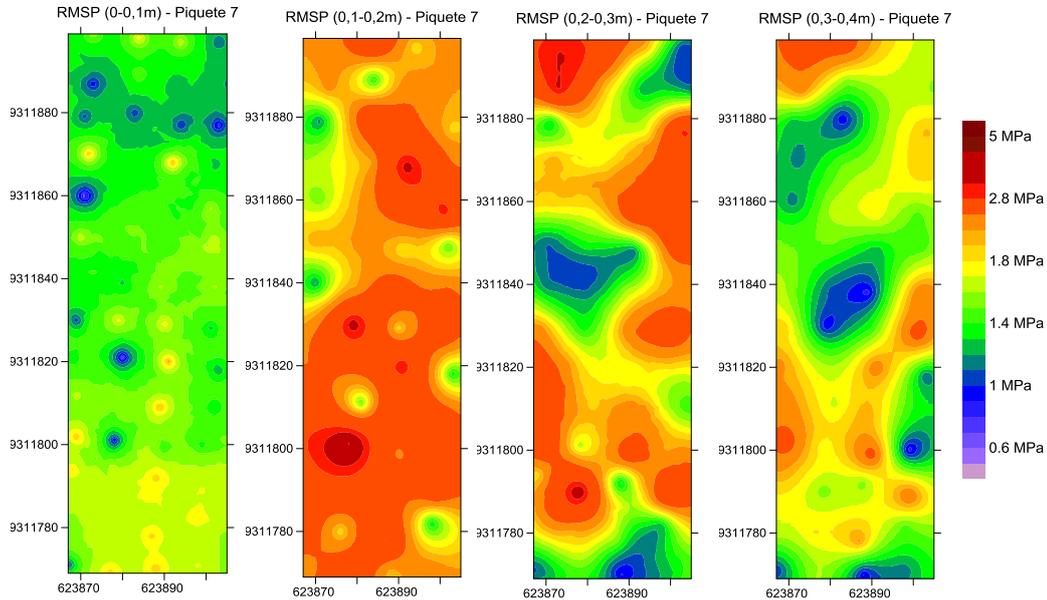
costuma atingir os primeiros dez centímetros, ocasionando maior variabilidade em virtude da influência do manejo (LEÃO et al., 2004; IMHOFF et al., 2000). Em geral, os búfalos, por serem animais andarilhos, percorrem várias vezes por dia a mesma pastagem, abrindo trilhas e fazendo buracos, o que pode ocasionar alterações no solo dependendo da carga animal que o pasto suporta, no geral recomenda-se 1 unidade animal para cada 5ha/ano (EMBRAPA, 200).

Assim, a camada subsuperficial também está sujeita ao efeito da pressão aplicada pelos cascos dos animais na superfície, resultando em deformação plástica do solo na presença de valor superior a pressão de pré-consolidação (VEIGA et al., 2012). De maneira geral, a menor resistência na camada superficial, mesmo estando sujeita à maior influência da aplicação de pressões na superfície, se justifica pela ocorrência de ciclos de umedecimento e de secagem no intervalo entre a interrupção do pisoteio e a coleta das amostras, com redução na densidade do solo (HORN e ROSTEK, 2000), assim como pelo maior teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, o que confere maior elasticidade ao solo devido a formação de agregados (BRAIDA et al., 2008) e evita a deformação plástica, na qual seria irreversível em curto prazo (HORN et al., 2003).

De acordo com a Figura 14 (piquete 7), a camada superficial (0,0-0,1 m) apresenta baixa RMSD e grande parte do solo na camada 0,1-0,2 m está sob RMSD acima de 2,8 MPa, com sucessiva diminuição no sentido vertical do solo até 0,4 m. Ao comparar os piquetes 5, 6 e 7 (Figuras 12, 13 e 14) ocorre uma semelhança no formato de zonas de compactação e grau de RMSD entre os piquetes que são adjacentes entre si. Estas áreas apresentam inclinação no terreno, possuem sistema de irrigação com vazão de água em excesso e estão próximas a estrada com área de descanso a água dos animais e possivelmente passaram pelo mesmo manejo do solo anterior a implantação da pastagem.

Na camada de 0,0-0,1 m, houve predominância de menor RMSD na parte superior do mapa, com valores de 1,4 MPa, e aumento da resistência na parte inferior do mapa consistindo em 1,8 MPa. Nas camadas seguintes (0,1-0,3 m) verifica-se aumento da compactação do solo em toda extensão do terreno, e sucessiva redução entre 0,3 e 0,4 m de profundidade, acompanhada da redução em até 8% do TAS devido às alterações físicas do solo e características granulométricas do solo em análise.

Figura 14: Mapas de distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes ao piquete 7 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor da RMSP em MPa.



Fonte: Autor, 2018.

Com isso, ao analisar todos os piquetes percebe-se um padrão da variação da RMSP no sentido vertical da área experimental, onde a menor resistência ocorre na superfície do solo (0,0-0,1 m), em manchas pontuais e mais homogêneas, com consecutivo aumento de RMSP na camada intermediária (0,1-0,3 m) com valores em torno de 3 MPa, chegando a 5 MPa em alguns pontos, e diminuição entre 0,3 e 0,4 m de profundidade. No geral, verifica-se na região inferior de todos os piquetes, maior resistência do solo, e presença de zonas mais compactadas próximo à entrada dos piquetes.

No perfil do solo, a granulometria apresenta diminuição no teor de areia, silte e argila, com isso, a coesão das partículas, estrutura e agregação mudam e refletem na capacidade do solo em suportar as pressões externas nas subcamadas. A diferença no acúmulo de argila entre os horizontes superficiais e subsuperficiais podem ocasionar valores elevados de RMSP nessas camadas, o que torna importante descrever a textura do solo nas áreas em avaliação para inferir sobre as causas das alterações da RMSP.

3.2. Teor de água no solo

3.2.1. Análise descritiva

Os resultados da estatística descritiva para a variável TAS nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m nos piquetes em análise se encontram apresentados na Tabela 4. A partir do conjunto de valores da média, mínimo e máximo observaram-se maiores

amplitudes entre os valores nos piquetes 4, 5 e 6, com valores de máximo em 24,85% e mínimo de 5,85% nas camadas de solo avaliadas.

Tabela 4: Parâmetros da estatística descritiva da variável teor de água do solo (TAS) em porcentagem (%), nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| TAS (0,0-0,1 m) | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 13,57 | 6,43 | 19,63 | 16,44 | -0,30 | 4,24 | 0,27 |
| Piquete 2 | 14,24 | 9,24 | 18,27 | 14,23 | -0,13 | 2,85 | 0,46 |
| Piquete 3 | 13,14 | 9,44 | 17,18 | 11,48 | 0,06 | 3,23 | 0,98 |
| Piquete 4 | 11,17 | 6,67 | 21,67 | 22,85 | 1,38 | 4,82 | 0,00 |
| Piquete 5 | 13,08 | 6,77 | 23,62 | 22,89 | 0,03 | 2,09 | 0,28 |
| Piquete 6 | 14,70 | 6,11 | 20,03 | 16,10 | -0,69 | 4,70 | 0,09 |
| Piquete 7 | 14,33 | 10,73 | 18,87 | 12,09 | 0,30 | 3,31 | 0,35 |
| TAS (0,1-0,2 m) | | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 12,17 | 7,74 | 15,02 | 15,09 | 1,83 | 2,53 | 0,06 |
| Piquete 2 | 11,93 | 7,08 | 15,05 | 15,63 | -0,79 | 4,67 | 0,06 |
| Piquete 3 | 11,62 | 9,25 | 18,77 | 12,01 | 0,61 | 3,75 | 0,07 |
| Piquete 4 | 10,38 | 6,33 | 23,40 | 22,12 | 0,33 | 2,00 | 0,10 |
| Piquete 5 | 11,18 | 6,50 | 15,94 | 17,10 | -0,01 | 2,90 | 1,00 |
| Piquete 6 | 12,70 | 6,75 | 24,85 | 21,16 | 0,86 | 1,93 | 0,07 |
| Piquete 7 | 12,79 | 7,71 | 17,44 | 12,71 | -0,51 | 4,75 | 0,01 |
| TAS (0,2-0,3 m) | | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 11,63 | 7,00 | 19,52 | 14,98 | 0,30 | 3,70 | 0,05 |
| Piquete 2 | 11,76 | 6,81 | 16,67 | 13,69 | 0,29 | 4,76 | 0,04 |
| Piquete 3 | 11,45 | 8,63 | 14,31 | 10,33 | 0,06 | 3,07 | 0,98 |
| Piquete 4 | 11,08 | 5,38 | 19,68 | 20,93 | 0,33 | 4,70 | 0,06 |
| Piquete 5 | 11,71 | 6,72 | 17,52 | 16,95 | 0,36 | 3,81 | 0,22 |
| Piquete 6 | 12,73 | 8,32 | 19,81 | 19,46 | 0,53 | 3,29 | 0,21 |
| Piquete 7 | 13,10 | 7,80 | 18,50 | 13,72 | 0,09 | 3,01 | 0,01 |
| TAS (0,3-0,4 m) | | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 10,96 | 5,90 | 15,19 | 19,83 | 0,68 | 3,22 | 0,07 |
| Piquete 2 | 11,94 | 7,95 | 16,59 | 16,20 | 0,18 | 2,85 | 0,86 |
| Piquete 3 | 11,84 | 6,18 | 15,68 | 15,27 | -0,60 | 4,44 | 0,02 |
| Piquete 4 | 12,48 | 7,21 | 20,58 | 20,55 | 0,90 | 4,49 | 0,01 |
| Piquete 5 | 12,58 | 6,67 | 17,67 | 17,09 | 0,09 | 3,21 | 0,90 |
| Piquete 6 | 14,20 | 6,68 | 24,19 | 23,83 | 0,50 | 3,37 | 0,53 |
| Piquete 7 | 15,30 | 8,96 | 21,74 | 20,42 | -0,08 | 2,18 | 0,40 |

Méd - média; Mín. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Coeficiente de Variação (%), Ck – curtose e Cs – assimetria; W = coeficiente de Shapiro-Wilk.

Fonte: Autor, 2018.

Com relação à distribuição dos dados nos piquetes e nas camadas do solo em análise (Tabela 4), a curtose obteve valores superiores a três e assimetria próxima de zero. De acordo com Libardi et al. (1996), os valores dos coeficientes de assimetria próximos a zero indicam distribuição normal. A partir dos valores médios de TAS entre as camadas (Tabela 4), observou-se que, de maneira geral, o maior TAS foi mensurado na camada de 0,0-0,1 m alcançando maior média na camada de 0,3-0,4 m no piquete 7 (15,30%). Na comparação de médios valores da análise descritiva do TAS (Tabela 4) e RMSP (Tabelas 2), verifica-se a camada de 0,1-0,2 m resultou em menores valores médios de TAS em torno de 11% e RMSP próximo a 3 MPa.

Conforme a classificação proposta por Gomes e Garcia (2002) baseada no coeficiente de variação (CV) para inferir sobre a variabilidade das variáveis em análise, os valores de TAS para as quatro profundidades estudadas apresentaram variabilidade média ($10\% < CV \leq 20\%$) e alta ($20\% < CV \leq 30\%$). Os resultados diferem dos encontrados por Lima et al. (2009), em pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens*, com aproximadamente seis anos de implantação em sistema de pastejo extensivo, obtendo baixa variabilidade no conteúdo de água no solo ($CV \leq 10\%$), valor médio de 17%, mínimo e máximo de 14,4 e 20,6%, respectivamente.

Uma vez que a variabilidade da resistência do solo à penetração e a umidade do solo não ocorrem ao acaso, mas apresentam correlação ou dependência espacial (UTSET e CID, 2001; ABREU et al., 2003; MERCANTE et al., 2003), em baixo teor de umidade, a água é retida com maior tensão nos poros, desencadeando uma predominância de forças coesivas entre partículas sólidas e promovendo aumento considerável na resistência mecânica à penetração (BELTRAME GONDIN; TAYLOR, 1981; PARIZ et al., 2011). Dentre alguns fatores que interferem na tensão dentro dos poros, está o conteúdo de matéria orgânica presente e à textura do solo, uma vez que sua retenção de água torna-se mais fraca com a diminuição do teor de argila nos horizontes do solo (MACHADO et al., 2011). Foi verificado na área em estudo, maior quantidade de areia (676,86 g/kg), silte (149,84 g/kg) e argila (173,3g/kg) na camada de 0,0-0,2 m e proporção 656,06 g/kg de areia, 135,823 de silte e 150,5 g/kg de argila na profundidade 0,2-0,4 m.

3.2.2. Análise Geoestatística

Na Tabela 5 se encontram apresentados os modelos e parâmetros dos semivariogramas (Apêndices) para o atributo TAS em cada piquete e profundidades.

Tabela 5: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos do teor de água no solo (TAS) em porcentagem (%), nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| TAS (0,0-0,1 m) | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|-------|------|----------------|------|--------|
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Esf | 70,60 | 6,19 | 1,08 | 1,00 | 0,83 | Fort |
| Piquete 2 | Gaus | 42,50 | 6,63 | 1,54 | 0,99 | 0,77 | Fort |
| Piquete 3 | Gaus | 13,68 | 2,10 | 0,01 | 0,17 | 0,99 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 24,00 | 5,75 | 0,01 | 0,53 | 0,99 | Fort |
| Piquete 5 | Gaus | 71,00 | 15,67 | 4,13 | 1,00 | 0,74 | Mod |
| Piquete 6 | Exp | 21,00 | 3,80 | 0,41 | 0,65 | 0,89 | Fort |
| Piquete 7 | Exp | 28,20 | 3,58 | 1,07 | 0,79 | 0,69 | Mod |
| TAS (0,1-0,2 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 80,20 | 2,88 | 0,81 | 0,82 | 0,72 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 23,40 | 2,63 | 0,44 | 0,49 | 0,83 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 19,50 | 1,59 | 0,00 | 0,73 | 0,99 | Fort |
| Piquete 4 | Esf | 156,00 | 8,22 | 2,19 | 0,98 | 0,73 | Mod |
| Piquete 5 | Exp | 132,00 | 3,99 | 1,19 | 0,84 | 0,50 | Mod |
| Piquete 6 | Exp | 16,80 | 2,88 | 0,24 | 0,55 | 0,92 | Fort |
| Piquete 7 | Exp | 25,50 | 2,14 | 0,33 | 0,51 | 0,85 | Fort |
| TAS (0,2-0,3 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 9,80 | 2,67 | 0,01 | 0,94 | 0,99 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 3,30 | 2,42 | 0,00 | 0,02 | 0,99 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 14,40 | 1,29 | 0,00 | 0,15 | 0,99 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 58,80 | 6,04 | 3,02 | 0,28 | 0,50 | Mod |
| Piquete 5 | Exp | 15,60 | 2,15 | 0,33 | 0,04 | 0,85 | Fort |
| Piquete 6 | Exp | 19,80 | 3,03 | 0,28 | 0,33 | 0,91 | Fort |
| Piquete 7 | Esf | 11,70 | 2,80 | 0,27 | 0,00 | 0,90 | Fort |
| TAS (0,3-0,4 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Esf | 11,00 | 4,51 | 0,01 | 0,06 | 0,99 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 116,00 | 7,48 | 2,32 | 0,87 | 0,69 | Mod |
| Piquete 3 | Exp | 42,00 | 3,18 | 1,04 | 0,61 | 0,66 | Mod |
| Piquete 4 | Exp | 24,00 | 5,74 | 0,01 | 0,53 | 0,99 | Fort |
| Piquete 5 | Exp | 23,10 | 3,40 | 0,47 | 0,38 | 0,86 | Fort |
| Piquete 6 | Exp | 21,30 | 6,06 | 0,58 | 0,59 | 0,91 | Fort |
| Piquete 7 | Exp | 13,00 | 7,39 | 1,01 | 0,24 | 0,86 | Fort |

Modelos: Gau: Modelo Gaussiano; Exp: Modelo Exponencial; Esf: Modelo Esférico; C0: efeito pepita, (C0+C1): patamar, a: alcance, R²: coeficiente de determinação, GDE: grau de dependência espacial, Classe, Mod: Moderada, Fort: Forte.

Fonte: Autor, 2018.

Nota-se a predominância dos ajustes para os modelos exponencial e esférico, estando em concordância com Oliveira et al. (2013), Lima et al. (2010) e Neves Neto et al. (2013), que indicaram os modelos exponenciais e esféricos como os mais frequentes nas análises de atributos físicos do solo. Os alcances (a) variaram de 3,58 a 156 metros entre os piquetes e as profundidades avaliadas, indicando que além da variabilidade vertical, existe variabilidade horizontal do atributo no solo.

Ao comparar os alcances entre atributos físicos do solo, foi verificado que os alcances da RMSp e TAS não se assemelham, sendo o segundo com maiores alcances. Nos piquetes 1 e 2 os valores de alcance foram menores que a grade amostral (10 x 10) adotada, ou seja, o valor não garante que os vizinhos situados dentro de um círculo, com raio igual ao alcance possam ser usados para estimar valores em qualquer ponto entre eles (VIEIRA e LOMBARDI NETO, 1995), devido a variabilidade ao acaso detectada, provavelmente, resultado do material de origem do solo. Para Souza et al. (2004), o teor de água na profundidade de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m em Latossolo de textura muito argilosa sob cultivo de cana-de açúcar apresentou valores de alcance de 72,9 e 77,2 m, respectivamente, e alcances de 20,4 e 25 m para a RMSp, o que indicou continuidade na distribuição espacial das propriedades do solo na camada mais profunda.

O grau de dependência espacial (GDE) foi caracterizado como forte e moderado para a maioria dos piquetes e camadas do solo (Tabela 5). Resultados semelhantes foram obtidos por Lima et al. (2014), que indicaram alta correlação entre as amostras e, que os semivariogramas explicariam a maior parte da variância dos dados (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). De acordo com Vieira et al. (1983), a forte dependência das características do solo, demonstram que a variabilidade é controlada por fatores intrínsecos, como textura e mineralogia, enquanto as variáveis que apresentam dependência espacial fraca tem as variáveis controladas pelo preparo do solo. No comparativo do GDE entre as camadas, independente do piquete, notou-se uma relação inversa com o alcance, onde o GDE apresentou classe moderada para os maiores alcance e classe forte para alcances menores.

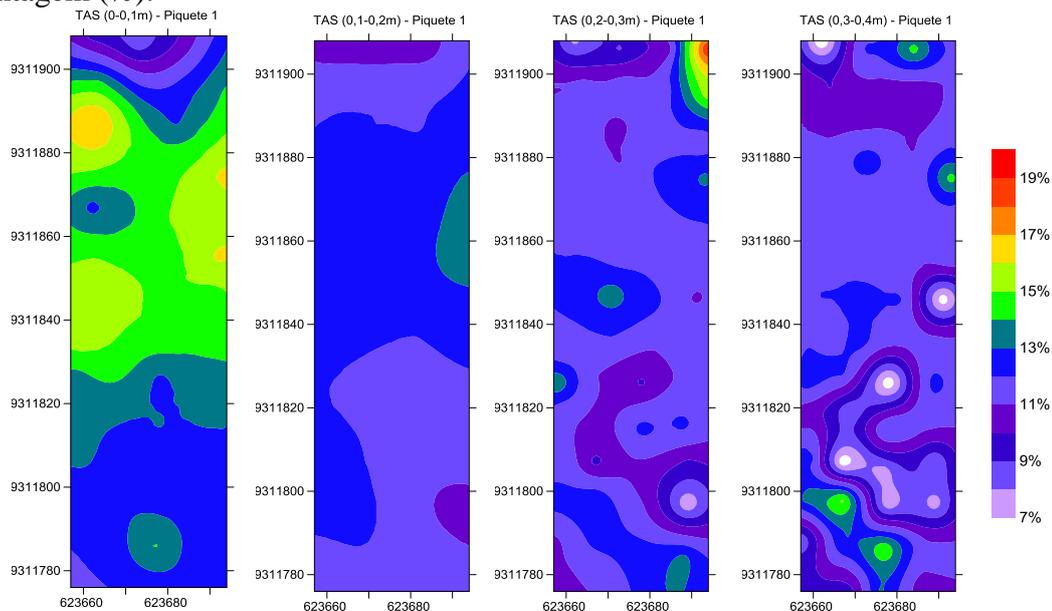
De maneira geral, fenômenos observados na natureza, não apresentam dependência espacial de 100%, e os índices de dependência se associam diretamente ao modelo de ajuste do semivariograma, que explica a dependência espacial das amostras (SEIDEL & OLIVEIRA, 2014). Miguel et al. (2009), estudaram a taxa de infiltração de água no solo em diferentes épocas, resultando em valores crescentes de dependência espacial ao longo do tempo, atribuído a um fator extrínseco, no caso o pastejo do gado, em que influenciou na homogeneização do solo.

Com relação ao ajuste do modelo ao semivariograma (R^2), os piquetes apresentaram menores coeficientes de determinação nas camadas de 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m, com valores variando de 0,02 a 0,94, com isso, a variabilidade existente na semivariância estimada foi pouco explicada pelos modelos ajustados.

3.2.3. Mapas de Isolinhas

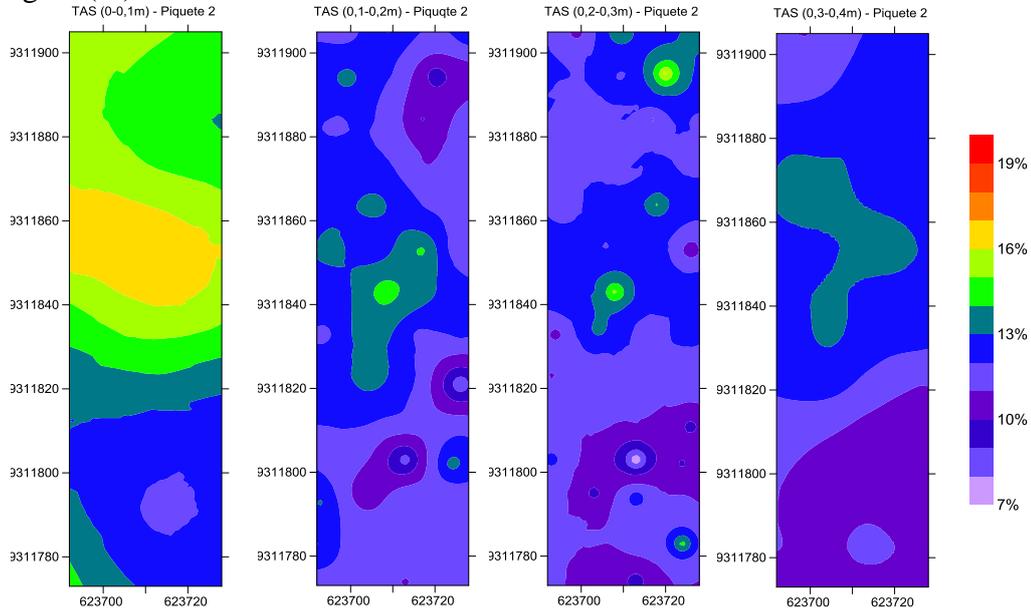
Para realização do mapeamento por krigagem foi considerado o modelo de melhor ajuste para cada piquete (Figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21). A partir dos mapas elaborados, observou-se que o comportamento da variável TAS apresentou três situações semelhantes ao comportamento da RMSp, assim especificado: 1- as manchas do teor de água no solo na cor verde divide a área ao meio a camada 0,0-0,1 m com maior teor (16%) localizada na parte superior do mapa e o inverso na parte inferior (10%) nos piquetes 1 e 2 ; 2- quanto maior a profundidade do solo, as manchas em azul (13%) diminuem até a formação de pequenas manchas de formato esférico na última camada (0,3-0,4 m); e 3- oscilação de TAS no sentido vertical do solo, de modo que, na camada de 0,2-0,3 m o aporte de água diminui, com aumento na camada de solo seguinte com diminuição das manchas em azul de maior concentração de água e aumento de machas em lilás, correspondentes a porcentagens de 9%.

Figura 15: Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 1 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%).



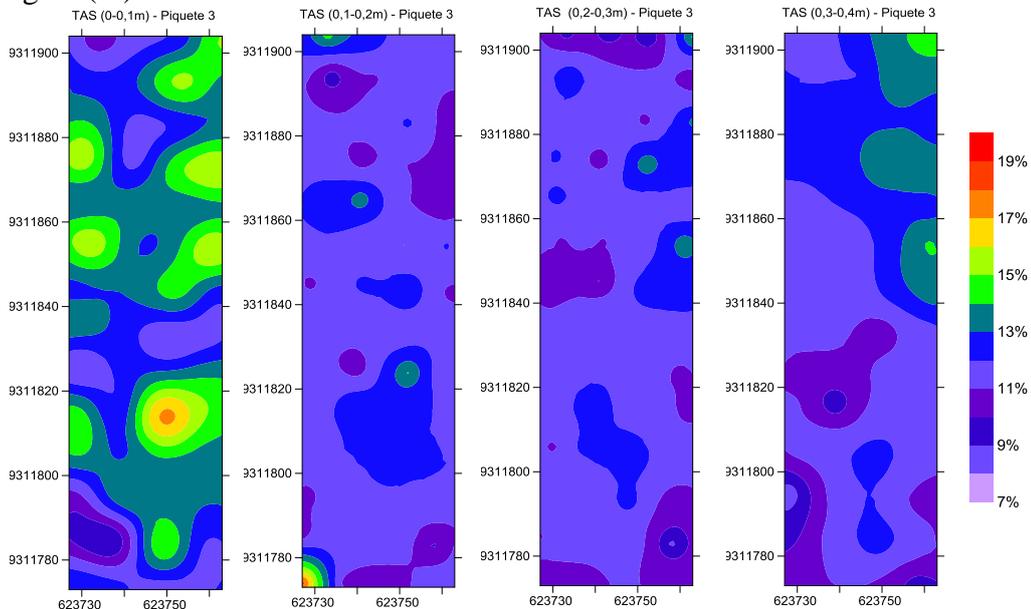
Fonte: Autor, 2018.

Figura 16: Mapas de distribuição espacial do teor de água do solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 2 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%).



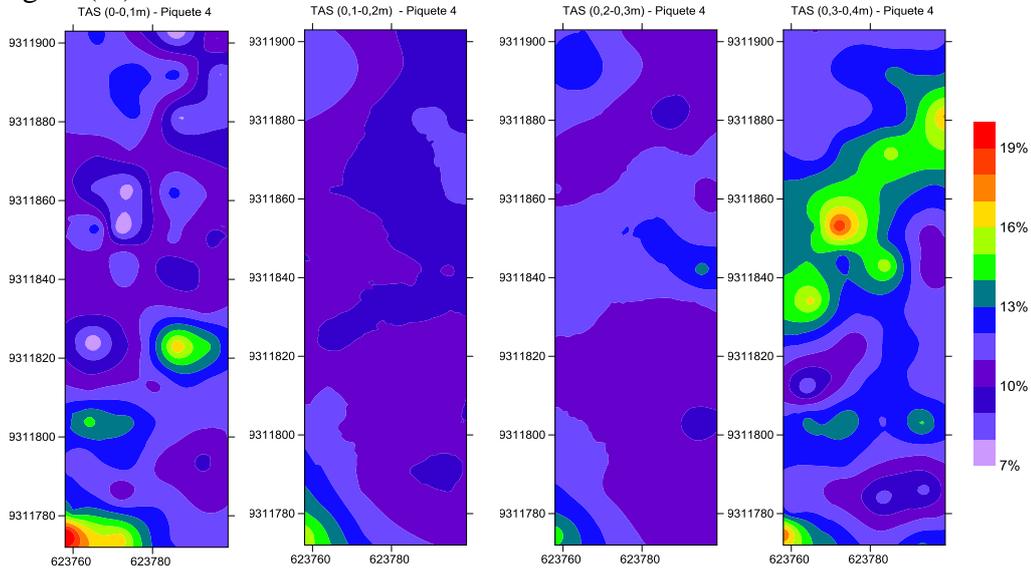
Fonte: Autor, 2018.

Figura 17: Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 3 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%).



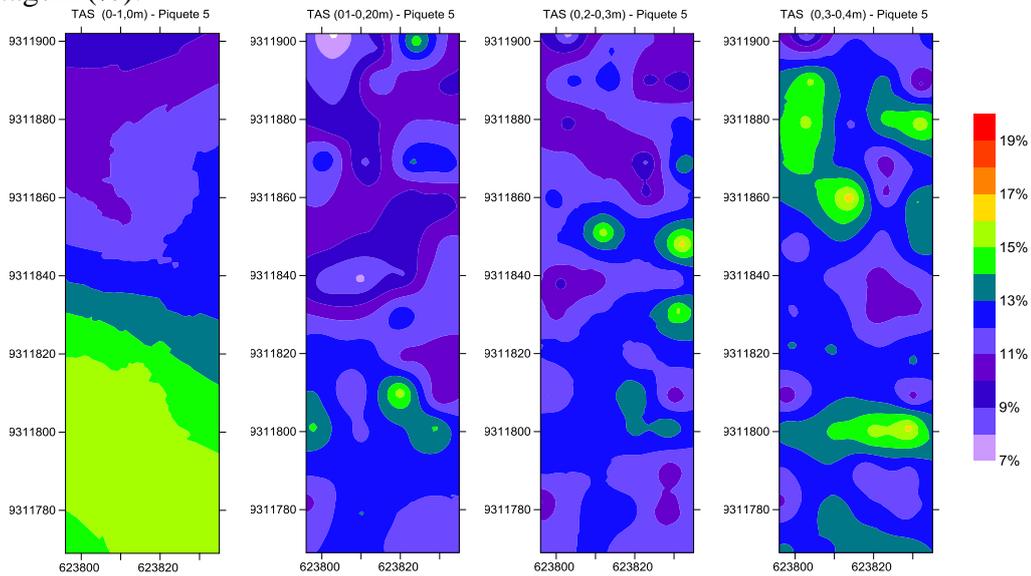
Fonte: Autor, 2018.

Figura 18: Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 4 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%).



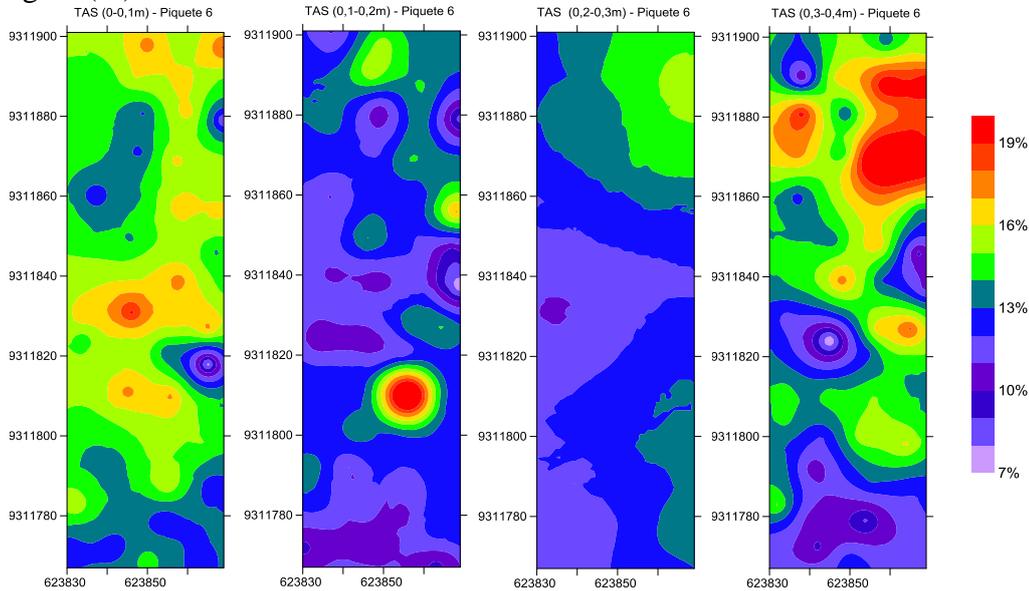
Fonte: Autor, 2018.

Figura 19: Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 5 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%).



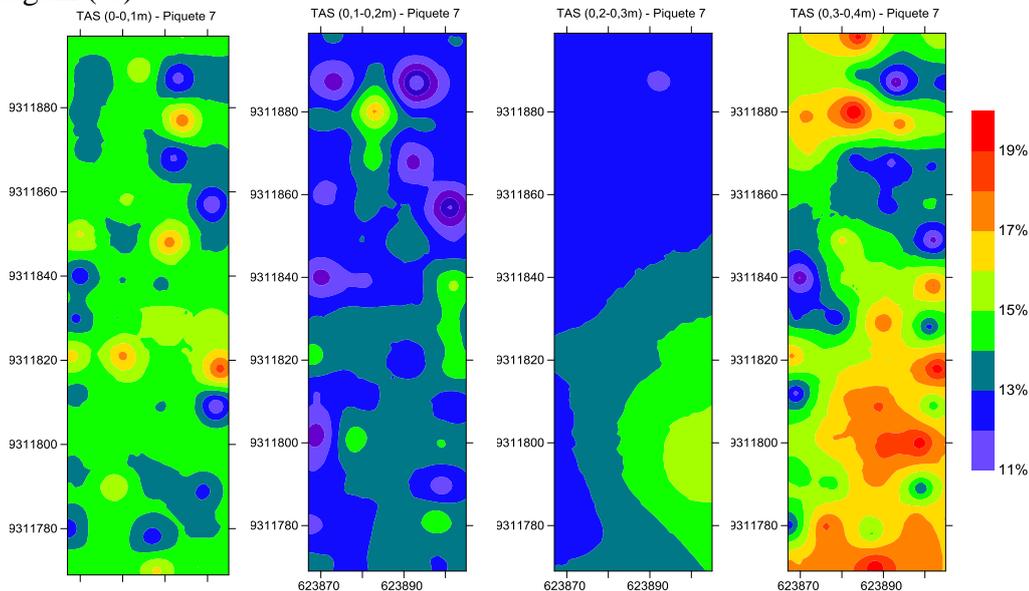
Fonte: Autor, 2018.

Figura 20: Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 6 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%).



Fonte: Autor, 2018.

Figura 21: Mapas de distribuição espacial do teor de água no solo (TAS) nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 7 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do teor de água no solo em porcentagem (%).



Fonte: Autor, 2018.

O teor de água no solo apresentou comportamentos diferentes na variabilidade espacial em cada piquete, porém foi possível observar zonas homogêneas espaciais semelhantes entre duas camadas (0,1-0,2 e 0,2-0,3 m) nos piquete 1, 2, 3 4 e 5, com tendência de menor armazenamento de água no solo na camada de 0,2-0,3 m, o que difere do resultado

relatado por Veiga et al. (2012), que observaram redução na taxa de infiltração de água na camada de 0,1 m, em decorrência do pisoteio animal.

Os mapas confeccionados para o piquete 2 (Figura 18) apresentaram diferentes dispersão das manchas na primeira (0,0-0,1 m) e última camada do solo (0,3-0,4 m) em comparação as outras camadas, indicando que a taxa infiltração de água está ocorrendo em menor proporção para subcamadas. Ao comparar os mapas de TAS e RMSP do piquete 2 (Figuras 9 e 16) notou menor RMSP (0,9 MPa) na superfície (0,0-0,1 m) na parte superior do mapa e maior conteúdo de água (16%), além disso, ocorre aumento da compactação do solo em valores acima de 3 MPa nas subcamas (0,2-0,4 m) e consecutiva redução do aporte de água no solo em até 6%. No comparativo dos mapas de TAS, RMSP e AF (Figuras 9, 16 e 29) percebe que na parte inferior dos mapas onde o TAS é menor em todas as camadas variando de 13% na primeira camada e 10% na última, a RMSP apresenta-se a cima de 2,8 em todas as profundidades e é onde ocorre maior AF (1,4 m) em relação ao restante do piquete. Estes resultados mostram que textura influencia na taxa de infiltração, seguida pela condição de maior RMSP nas camadas intermediárias, contudo o aporte de água em torno de 10% e RMSP de 2,8 MPa não foram impeditivos ao crescimento de plantas.

De maneira geral, principalmente os piquetes 1, 3, 4, 6 e 7, apresentaram manchas pontuais com alta concentração de água nas laterais coincidindo com RMSP a cima 2,5 MPa, provavelmente, em decorrência do sistema de irrigação por aspersão, uma vez que apresentava aplicação da lâmina de água diferente entre os piquetes. A irregularidade no sistema de irrigação proporciona maior acúmulo de água em determinadas localidades associado ao pisoteio prejudica a planta (menor altura da forragem) e o solo (menor cobertura do solo). No comparativo dos mapas de TAS e NP nota que os piquetes 1, 2, 3, 6 e 7 apresentam altos teores de água em manchas azuis pontuais próximas a cerca chegando a 15% de TAS nas profundidades 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m e menor NP em relação ao restante da área, com aproximadamente 160 perfilhos em 0,5m².

Os piquetes 6 e 7 (Figura 20 e 21) apresentaram, apenas na camada superficial do solo, os maiores índices de TAS (16%) em manchas verdes conectadas no sentido norte-sul do mapa. Miguel et al. (2009) relataram que a topografia do terreno apresentando certo declive, induz ao escoamento superficial de água na direção descendente da declividade, alterando a drenagem natural e as característica do solo, em contrapartida a baixa declividade do terreno favorece às condições de baixo escoamento superficial, favorecendo a infiltração de água no solo (SANTOS et al., 2012).

Na Figura 21 se observa que no piquete 7 existe concordância espacial entre as manchas nas camadas do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,3-0,4 m, assim, os locais de TAS caracterizados pela cor verde e amarelo com concentrações entre 15 e 17% mantiveram-se nas profundidades do solo, com pouca variação de concentração de água entre 0,1-0,2 m e maior concentração na camada 0,3-0,4 m. Reforçando os resultados obtidos na Figura 21 (piquete 6), a camada do solo entre 0,3 e 0,4 m apresentou maior acúmulo de TAS (19%) comparativamente a camada superficial (15%).

A adoção da mesma grade para os resultados das variáveis do solo possibilitou a realização da análise visual com cruzamento entre as imagens, no qual foi possível verificar que o menor teor de água (13%) nas camadas intermediárias (0,1-0,2 e 0,2-0,3 m) foi resultante dos maiores valores de RMSD (2,5 a 5 MPa), em que promoveram menor infiltração de água no solo, ou então, devido a maior concentração do sistema radicular de plantas nesta camada do solo, proporcionou maior extração de água no solo (CARLESSO, 1995), o que pode explicar o menor armazenamento.

Em um sistema de pastagem rotacionada, a entrada e saída de animais dos piquetes e o ganho de peso é determinante para a baixa intensidade de pastejo, o que resulta em menor deslocamento dos animais para ingerir a forragem (BAGGIO et al., 2009) e menor pisoteio e risco de compactação do solo (VEIGA et al., 2012). No estudo desenvolvido por Miguel et al. (2009), sobre os efeitos do pisoteio na infiltração de água no solo, observou que os piquetes com menor atenção na taxa de lotação animal e cobertura vegetal, apresentaram menor taxa de infiltração de água no solo.

3.3. pH do solo

3.3.1. Análise descritiva

Na Tabela 6 são apresentados os valores de estatística descritiva do atributo pH do solo. Observou-se que a média de pH variou de 5,05 a 6,22, com valor máximo de 7,19 na camada superficial (0,0-0,1 m) no piquete 1 e mínimo 4,16 na profundidade 0,1-0,2 m (piquete 6). Os coeficientes de variação variaram de 6,58 a 10,01%. De acordo com a classificação proposta por Gomes e Garcia (2002), os valores de CV para o pH são classificados como médios ($10\% < CV \leq 20\%$) nos piquetes 4 e 6 na profundidade 0,2-0,3 m. Nos demais piquetes e profundidades, o pH foi classificado em baixa variabilidade ($CV \leq 10\%$). Valores baixos de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores de maior continuidade da dependência espacial do atributo (FROGBROOK et al., 2002).

Tabela 6: Parâmetros da estatística descritiva da variável pH do solo nas profundidades do solo de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 m referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| | pH (0,0-0,1 m) | | | | | | |
|-----------|----------------|------|------|-------|-------|------|------|
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 6,14 | 5,28 | 7,19 | 5,63 | 0,01 | 4,12 | 0,09 |
| Piquete 2 | 5,98 | 4,92 | 6,84 | 6,58 | -0,01 | 3,17 | 0,92 |
| Piquete 3 | 6,08 | 5,20 | 6,90 | 6,17 | -0,25 | 2,69 | 0,85 |
| Piquete 4 | 5,98 | 4,90 | 6,62 | 6,43 | -0,55 | 2,97 | 0,09 |
| Piquete 5 | 5,88 | 4,87 | 6,82 | 7,18 | -0,09 | 3,15 | 0,67 |
| Piquete 6 | 5,93 | 4,81 | 6,87 | 6,79 | -0,09 | 3,11 | 0,99 |
| Piquete 7 | 5,86 | 4,71 | 6,95 | 7,02 | 0,34 | 4,03 | 0,17 |
| | pH (0,1-0,2 m) | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 6,11 | 5,20 | 6,88 | 6,41 | 0,47 | 2,86 | 0,11 |
| Piquete 2 | 6,01 | 5,04 | 6,93 | 7,54 | 0,08 | 2,32 | 0,69 |
| Piquete 3 | 5,93 | 5,22 | 6,77 | 5,90 | 0,19 | 2,57 | 0,89 |
| Piquete 4 | 6,07 | 4,76 | 6,97 | 7,67 | -0,58 | 3,42 | 0,24 |
| Piquete 5 | 5,88 | 5,04 | 6,88 | 8,08 | 0,11 | 2,00 | 0,19 |
| Piquete 6 | 5,64 | 4,16 | 6,62 | 8,92 | -0,27 | 3,11 | 0,79 |
| Piquete 7 | 5,59 | 4,73 | 7,08 | 8,16 | 0,76 | 3,81 | 0,05 |
| | pH (0,2-0,3 m) | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 6,22 | 5,18 | 6,84 | 6,43 | -0,77 | 2,98 | 0,01 |
| Piquete 2 | 5,95 | 5,20 | 6,73 | 6,34 | -0,03 | 2,46 | 0,73 |
| Piquete 3 | 5,75 | 4,66 | 6,70 | 7,60 | -0,01 | 2,89 | 0,96 |
| Piquete 4 | 5,92 | 4,38 | 7,15 | 9,50 | -0,44 | 3,47 | 0,32 |
| Piquete 5 | 5,64 | 4,39 | 6,85 | 8,79 | -0,07 | 3,03 | 0,99 |
| Piquete 6 | 5,35 | 4,23 | 6,69 | 10,01 | 0,52 | 3,08 | 0,07 |
| Piquete 7 | 5,33 | 4,60 | 6,58 | 8,87 | 0,69 | 2,82 | 0,02 |
| | pH (0,3-0,4 m) | | | | | | |
| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
| Piquete 1 | 6,13 | 5,05 | 7,00 | 7,65 | -0,50 | 2,90 | 0,82 |
| Piquete 2 | 5,83 | 5,11 | 7,00 | 7,91 | 0,40 | 2,50 | 0,17 |
| Piquete 3 | 5,96 | 4,89 | 6,53 | 7,96 | -0,03 | 1,91 | 0,09 |
| Piquete 4 | 5,68 | 4,22 | 6,80 | 8,53 | -0,14 | 3,58 | 0,81 |
| Piquete 5 | 5,49 | 4,74 | 6,60 | 8,81 | 0,30 | 2,29 | 0,11 |
| Piquete 6 | 5,07 | 4,48 | 6,30 | 6,69 | 1,04 | 4,78 | 0,01 |
| Piquete 7 | 5,05 | 4,33 | 6,17 | 8,54 | 0,97 | 3,59 | 0,01 |

Méd - média; Mín. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Coeficiente de Variação (%), Ck – curtose e Cs – assimetria; W = coeficiente de Shapiro-Wilk.

Fonte: Autor, 2018.

No estudo de Montanari et al. (2007), o pH se revelou com baixa variabilidade (CV<10%) em Latossolo com pH médio de 7,82 e Argissolo apresentando pH 6,01. O mesmo

ocorreu para Souza et al. (2007) em latossolo sob cultivo de café, o pH apresentou média de 6,62 e menor coeficiente de variação (7,13%) em relação a outros atributos químicos do solo, assemelhando-se aos obtidos por Burack et al. (2012) em Latossolo-vermelho textura argilosa, com CV de 7% nas profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, concluindo que na profundidade de 0,0-0,1 m existe maior influência do relevo, teores de argila e areia grossa e dos fluxos de água em superfície influenciando na variabilidade do pH. Silva e Chaves (2001) enfatizam que as variações dos atributos químicos do solo estão relacionadas a alterações provocadas pelas adubações e calagens sucessivas e irregulares.

3.3.2. Análise Geoestatística

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas (apêndices) ajustados aos modelos que melhor descrevem o comportamento da variabilidade espacial do atributo estudado. O maior alcance (68,70 m) obtido para a variável pH ocorreu no piquete 4 em 0,0-0,1 m de profundidade, apresentando GDE moderado, ajustando-se melhor ao modelo exponencial. No piquete 5 ocorreu o menor alcance (9,30 m) na camada 0,3-0,4 m mostrando-se menor do que a distância entre os pontos amostrados.

No comparativo do alcance entre os atributos físicos e químico avaliados, o TAS (Tabela 5) indicou maiores alcances na camada 0,1-0,2 m demonstrando que dentre os atributos do solo analisados, o conteúdo de água apresenta menor variabilidade e maior continuidade espacial, podendo estar associado, nessa camada, ao material de origem do solo e ação do processo de intemperismo (BOTTEGA et al., 2013). Ainda de acordo com autor, a continuidade da variabilidade espacial dos atributos químicos é menor que a continuidade da variabilidade espacial da textura do solo.

Os modelos que melhor se ajustaram à semivariância (apêndices) dos dados em sua maioria foram exponenciais e esféricos. Para o piquete 1 (0,2-0,3 m) e 4 (0,2-0,3; 0,3-0,4 m) ajustou-se ao modelo gaussiano. Estes ajustes podem ser explicados pela maior facilidade de alteração que o homem pode promover no solo, que está relacionada aos atributos químicos e aos atributos físicos associados à estrutura que variam em função do tipo de preparo do solo, tipo de cultivo e, principalmente, das práticas de fertilização (SILVA; CHAVES, 2001; BOTTEGA et al., 2013).

Foi constatada forte dependência espacial em todos os piquetes, a partir da profundidade 0,1 a 0,4 m e moderada dependência nos piquetes 4 e 6 (0,0-0,1 m) revelando que as distribuições do atributo químico pH no espaço não são aleatórias, uma vez que todos apresentaram valores moderados ou fortes para o GDE.

Tabela 7: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados pH do solo nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes a sete piquetes avaliados no município de Parauapebas - PA.

| pH (0,0-0,1 m) | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|-------|------|----------------|------|--------|
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 14,70 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,79 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 36,30 | 0,17 | 0,03 | 0,80 | 0,80 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 32,70 | 0,15 | 0,02 | 0,85 | 0,86 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 68,70 | 0,16 | 0,08 | 0,60 | 0,50 | Mod |
| Piquete 5 | Exp | 27,60 | 0,17 | 0,01 | 0,81 | 0,93 | Fort |
| Piquete 6 | Exp | 15,90 | 0,17 | 0,04 | 0,02 | 0,75 | Mod |
| Piquete 7 | Esf | 13,80 | 0,17 | 0,01 | 0,55 | 0,97 | Fort |
| pH (0,1-0,2 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 27,00 | 0,17 | 0,03 | 0,90 | 0,83 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 47,70 | 0,24 | 0,05 | 0,84 | 0,79 | Fort |
| Piquete 3 | Esf | 13,30 | 0,12 | 0,00 | 0,15 | 0,99 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 21,60 | 0,20 | 0,00 | 0,15 | 0,99 | Fort |
| Piquete 5 | Exp | 22,80 | 0,23 | 0,02 | 0,76 | 0,93 | Fort |
| Piquete 6 | Esf | 14,50 | 0,25 | 0,00 | 0,42 | 1,00 | Fort |
| Piquete 7 | Esf | 12,20 | 0,20 | 0,00 | 0,01 | 1,00 | Fort |
| pH (0,2-0,3 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Gau | 15,24 | 0,17 | 0,02 | 0,86 | 0,86 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 34,50 | 0,15 | 0,03 | 0,21 | 0,82 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 18,60 | 0,19 | 0,02 | 0,26 | 0,89 | Fort |
| Piquete 4 | Gau | 12,47 | 0,32 | 0,04 | 0,50 | 0,88 | Fort |
| Piquete 5 | Exp | 35,70 | 0,26 | 0,03 | 0,74 | 0,88 | Fort |
| Piquete 6 | Esf | 11,60 | 0,28 | 0,01 | 0,01 | 0,97 | Fort |
| Piquete 7 | Exp | 32,10 | 0,25 | 0,00 | 0,82 | 1,00 | Fort |
| pH (0,3-0,4 m) | | | | | | | |
| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
| Piquete 1 | Exp | 19,20 | 0,23 | 0,33 | 0,45 | 0,86 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 21,00 | 0,20 | 0,00 | 0,55 | 0,98 | Fort |
| Piquete 3 | Exp | 18,90 | 0,19 | 0,01 | 0,28 | 0,94 | Fort |
| Piquete 4 | Gau | 14,55 | 0,23 | 0,00 | 0,71 | 1,00 | Fort |
| Piquete 5 | Exp | 9,30 | 0,21 | 0,03 | 0,00 | 0,87 | Fort |
| Piquete 6 | Exp | 33,90 | 0,13 | 0,02 | 0,60 | 0,81 | Fort |
| Piquete 7 | Exp | 21,00 | 0,19 | 0,02 | 0,67 | 0,88 | Fort |

Modelos: Gau: Modelo Gaussiano; Exp: Modelo Exponencial; Esf: Modelo Esférico; C0: efeito pepita, (C0+C1): patamar, a: alcance, R²: coeficiente de determinação, GDE: grau de dependência espacial, Classe, Mod: Moderada, Fort: Forte.

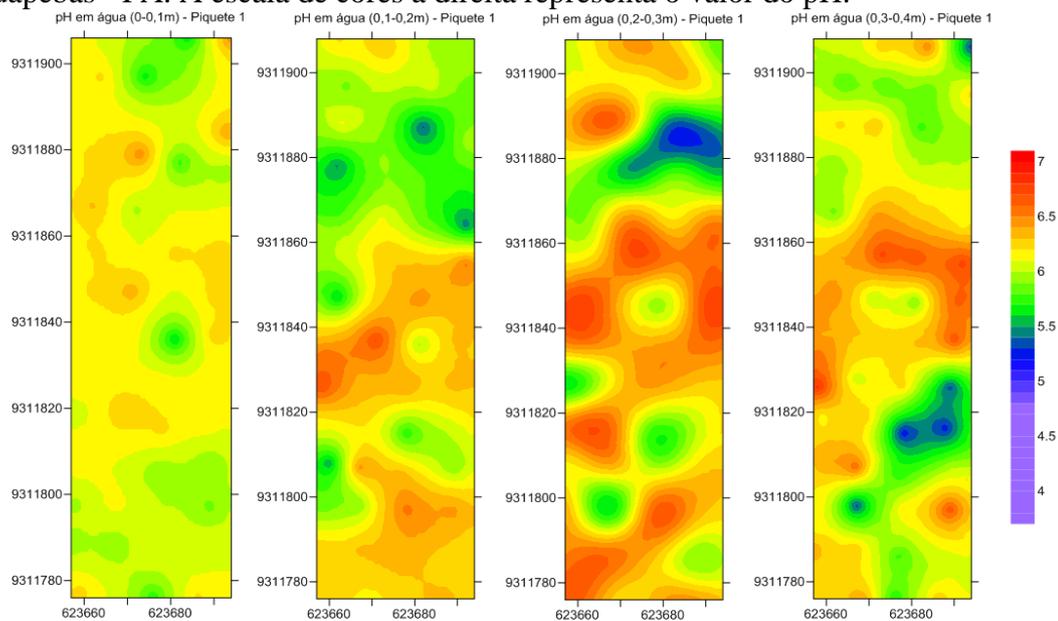
Fonte: Autor, 2018.

Na modelagem da dependência, o menor coeficiente de determinação (R^2) observado foi 0,01 no piquete 6 (0,2-0,3 m) e 7 (0,1-0,2 m), e o maior foi 0,91 para piquete 1 (0,1-0,2 m), enquanto o piquete 5 apresentou coeficiente de determinação igual a zero. É válido ressaltar que o coeficiente de determinação é um parâmetro utilizado na decisão de qual modelo melhor se ajustou a semivariância experimental, não sendo um indicativo de que o ajuste obtido é o que melhor representa a variabilidade espacial do atributo em estudo (BOTTEGA et al., 2013).

3.3.3. Mapas de Isolinhas

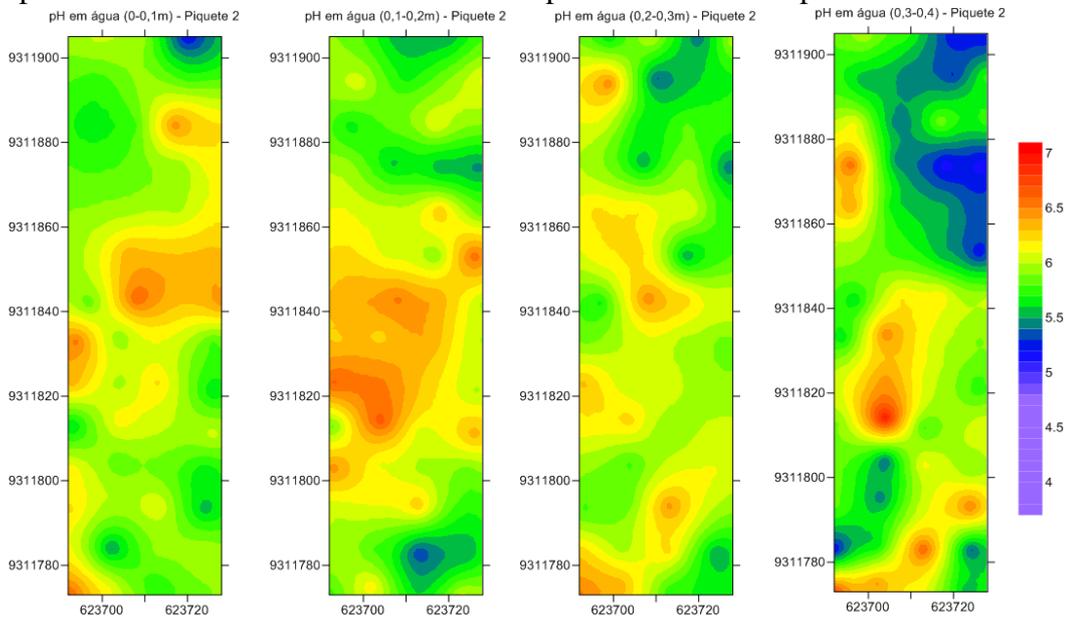
Na Figura 25 o mapa gerado a partir dos dados permitiu uma visão mais detalhada da distribuição espacial do pH, realçando zonas com valores mais altos (acima de 6) na cor laranja, em verde representando pH 5 e lilás para valores a baixo de 4.

Figura 22: Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 1 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH.



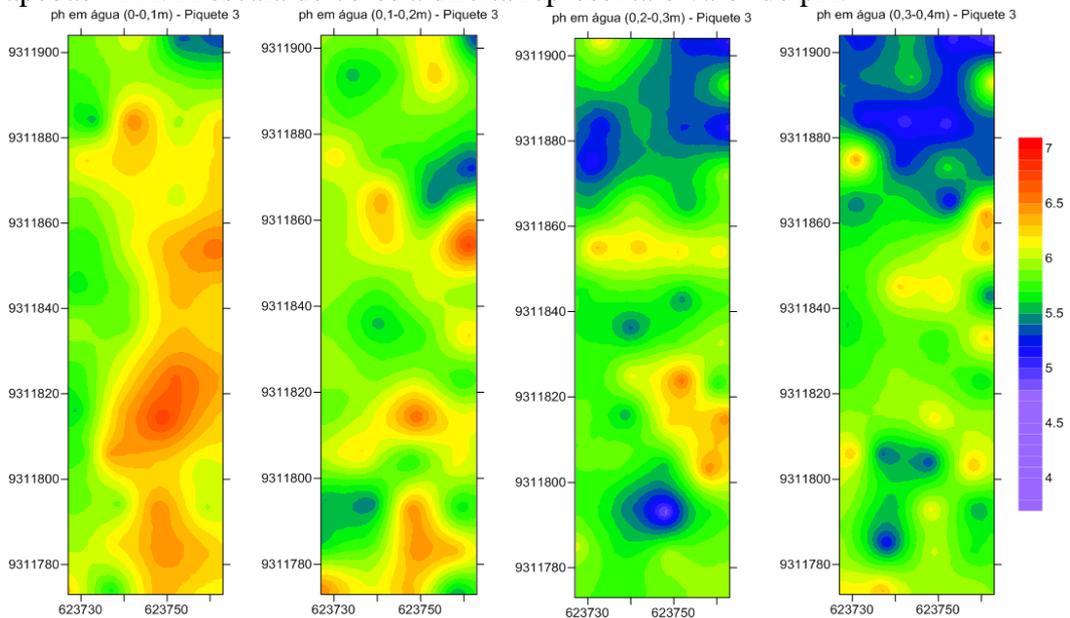
Fonte: Autor, 2018.

Figura 23: Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 2 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH.



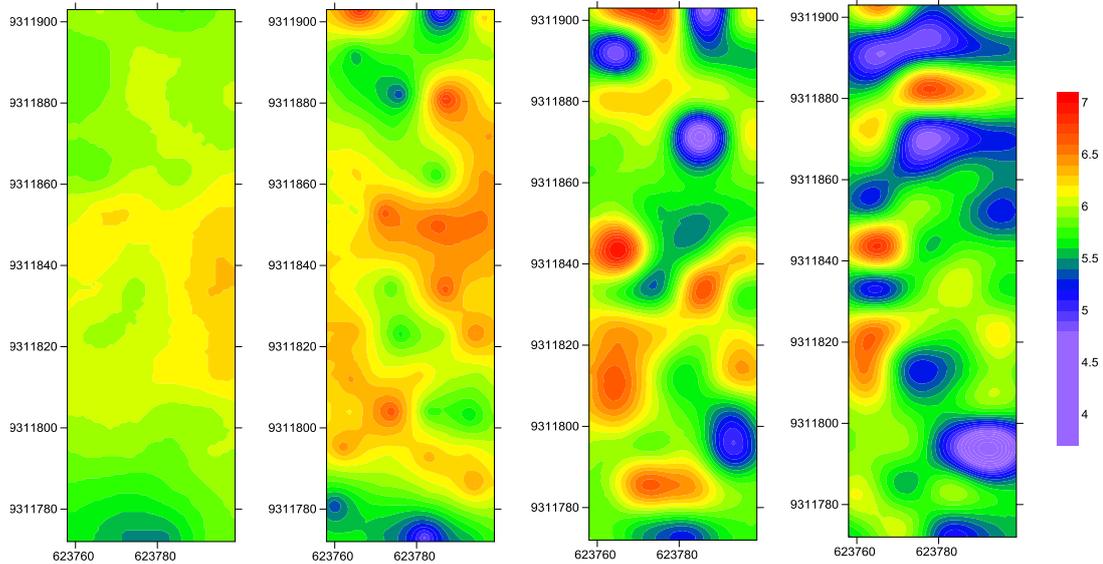
Fonte: Autor, 2018.

Figura 24: Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 3 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH.



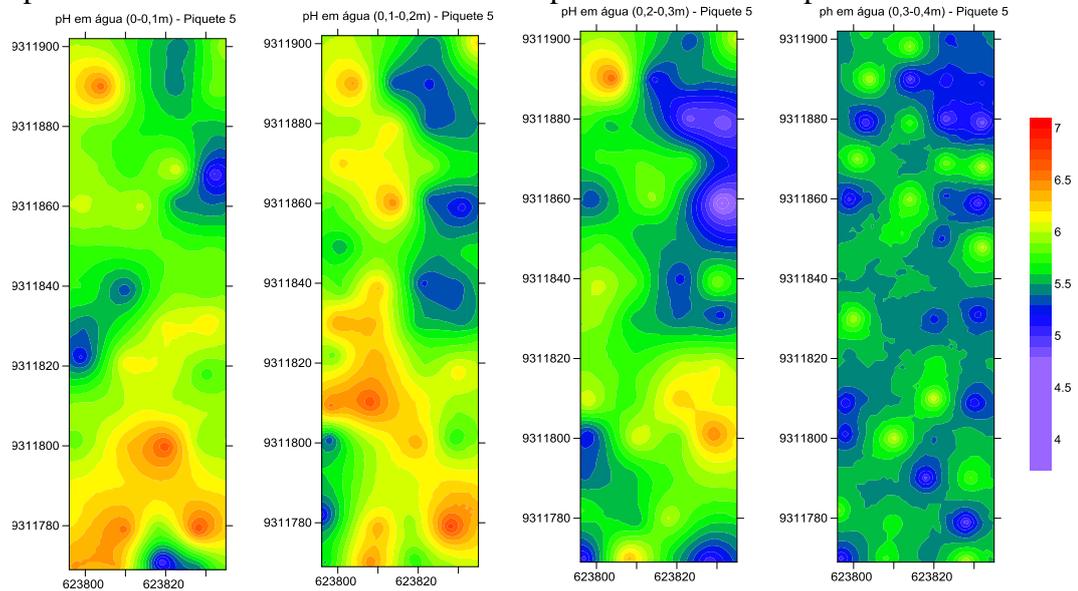
Fonte: Autor, 2018.

Figura 25: Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 4 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH.



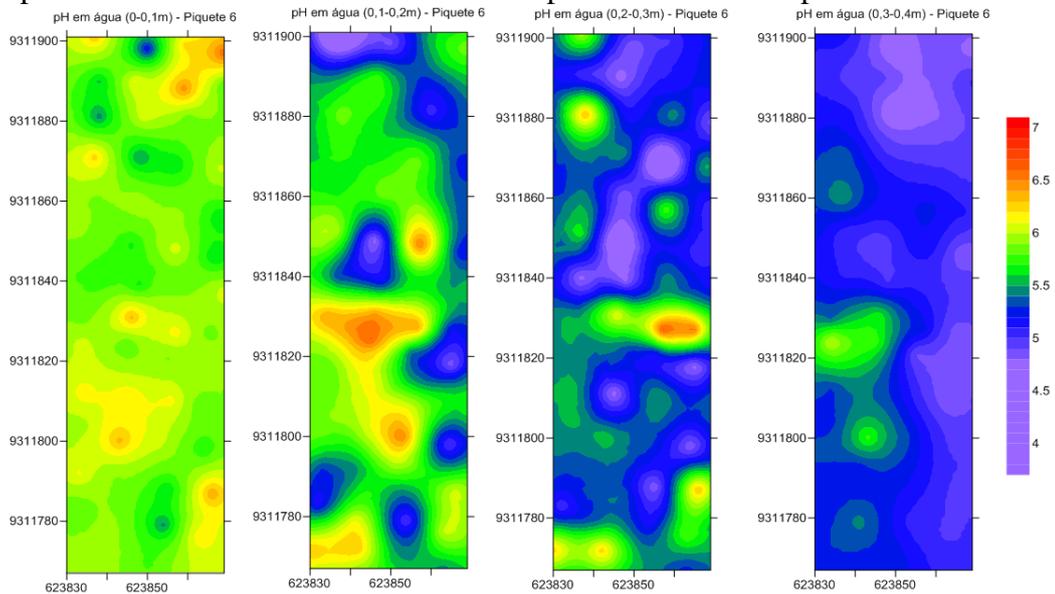
Fonte: Autor, 2018.

Figura 26: Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 5 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH.



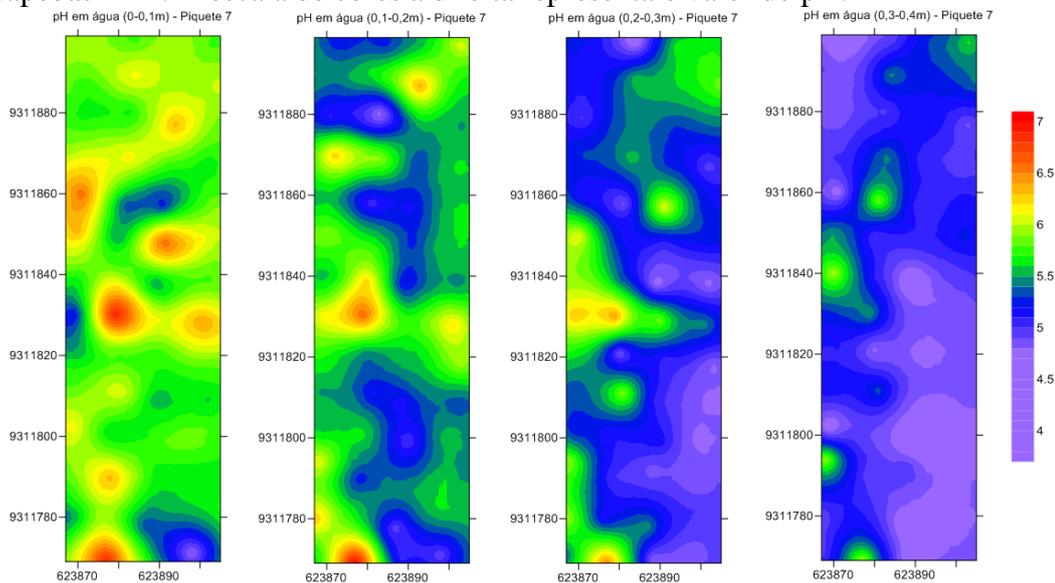
Fonte: Autor, 2018.

Figura 27: Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 6 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 28: Mapas de distribuição espacial e do no pH em água do solo nas profundidades de 0-0,1 (a); 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m referentes ao piquete 7 localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o valor do pH.



Fonte: Autor, 2018.

De acordo com os mapas é possível visualizar zonas nas cores laranja e vermelho representando pH entre 6 e 7 em até 0,40 m de profundidade, principalmente nos piquetes 1, 2, 3 e 4 (Figuras 22, 23, 24 e 25). Percebe-se também que as zonas de pH 6 concentram-se, principalmente, na parte central dos mapas e assemelham-se entre as camadas do solo.

Nos Piquetes 5, 6 e 7 (Figuras 26, 27e 28) percebe-se nas camadas 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m, grandes concentrações de zonas em cores azul e lilás, representando pH entre 5 e 4, o que caracteriza acidificação do solo nessa camada. No comparativo da dispersão da escala de cores nos mapas de pH (Figura 28), AF (Figura 30), TAS (Figura 21) e RMSP (Figura 14) do piquete 7 percebe-se altura de forragem abaixo de 1m, coincidindo com as zonas de pH 4 nas profundidades do solo 0,2-0,4 m e maior conteúdo de água (19%) em relação as demais camadas e RMSP entre 1,4 e 2,8 MPa. A partir disso, nota-se que apesar do aporte de água e menor RMSP no piquete, a acidez do solo pode ter influenciado no desenvolvimento de plantas, ocasionando menor altura nessa localidade do piquete.

Os piquete 5, 6 e 7 apresentam diferença na declividade em relação aos demais, o que pode favorecer o escoamento de água e partículas de solo. De acordo com Montarini et al. (2008) a variabilidade espacial de atributos químicos em Argissolos estão provavelmente associadas variações nas formas do relevo, que condicionam fluxo de água diferenciado, sendo estes os principais responsáveis pelas maiores variabilidades. A perda de partículas mais finas com tamanho das frações argila, assim como a matéria orgânica mais solúvel durante o escoamento superficial em locais de maior declive, pode favorecer o transporte de nutrientes (WALTON et al., 2000) alterando o pH.

3.4. Altura da forragem

3.4.1. Análise descritiva

Para a estatística descritiva da variável altura da forragem (Tabela 8). Observa-se valor médio de altura acima a 1 m para todos os piquetes, exceto o piquete 7 com média 0,95 m e diferença média entre os valores máximo e mínimo de 1,60 m.

Tabela 8: Parâmetros da estatística descritiva da variável altura forragem (AF) em metros (m) referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
|-----------|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| Piquete 1 | 1,04 | 0,60 | 1,70 | 28,30 | -0,35 | 4,11 | 0,96 |
| Piquete 2 | 1,04 | 0,49 | 1,50 | 22,43 | -0,54 | 2,62 | 0,95 |
| Piquete 3 | 1,01 | 0,65 | 1,45 | 19,83 | 0,14 | 2,15 | 0,97 |
| Piquete 4 | 1,11 | 0,75 | 1,90 | 20,45 | 0,85 | 3,90 | 0,94 |
| Piquete 5 | 1,08 | 0,55 | 1,64 | 21,44 | -0,35 | 3,41 | 0,97 |
| Piquete 6 | 1,04 | 0,60 | 1,36 | 17,96 | -0,31 | 2,50 | 0,97 |
| Piquete 7 | 0,95 | 0,56 | 1,50 | 22,98 | 0,63 | 2,93 | 0,95 |

Méd - média; Mín. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Coeficiente de Variação (%), Ck – curtose e Cs – assimetria; W = coeficiente de Shapiro-Wilk.

Fonte: Autor, 2018.

O conhecimento da variabilidade na altura da pastagem possibilita considerar a aplicação dos fatores responsáveis pelo crescimento das plantas de acordo com o requerimento de cada área. De acordo com a classificação de Gomes e Garcia (2002), a variabilidade da altura da forragem nos piquetes 3 e 6 foram classificados como média ($10\% < CV \leq 20\%$), e os piquetes 1, 2, 4, 5 e 7 com alta variabilidade ($20\% < CV \leq 30\%$). Os valores para assimetria foram menores que 1 para todos piquetes e negativos nos piquetes 1, 2, 5 e 6, demonstrando distribuição dos dados deslocada para esquerda na curva.

Enquanto, os resultados do teste de Shapiro-Wilk confirmaram a hipótese de normalidade, apesar da normalidade não ser uma exigência da geoestatística (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), desde que a distribuição não apresente caudas muito alongadas (CRESSIE, 1993). Assim, os dados experimentais obtidos foram aplicados à análise geoestatística, uma vez que as distribuições não apresentaram caudas muito alongadas, evidenciado pelos valores de curtose próximos a 3.

3.4.2. Geoestatística

Os semivariogramas foram ajustados aos modelos esférico e exponencial com exceção do piquete 3. Conforme a classificação de Zimbak (2001), para o grau de dependência espacial, os piquetes 1, 2, 3, 4 e 7 apresentaram forte dependência espacial e moderada para os piquetes 5 e 6.

Tabela 9: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos da altura da forragem (AF) em metros (m) referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
|-----------|--------|-------|-------|------|----------------|------|--------|
| Piquete 1 | Esf | 50,50 | 0,11 | 0,02 | 0,76 | 0,82 | Fort |
| Piquete 2 | Exp | 12,50 | 0,05 | 0,04 | 0,78 | 0,99 | Fort |
| Piquete 3 | Gau | 51,10 | 0,07 | 0,01 | 0,96 | 0,83 | Fort |
| Piquete 4 | Exp | 59,00 | 0,05 | 0,01 | 0,44 | 0,91 | Fort |
| Piquete 5 | Exp | 39,80 | 0,07 | 0,03 | 0,79 | 0,53 | Mod |
| Piquete 6 | Esf | 67,70 | 0,04 | 0,02 | 0,85 | 0,50 | Mod |
| Piquete 7 | Exp | 67,60 | 0,06 | 0,03 | 0,63 | 0,91 | Fort |

Modelos: Gau: Modelo Gaussiano; Exp: Modelo Exponencial; Esf: Modelo Esférico; C0: efeito pepita, (C0+C1): patamar, a: alcance, R²: coeficiente de determinação, GDE: grau de dependência espacial, Classe, Mod: Moderada, Fort: Forte.

Fonte: Autor, 2018.

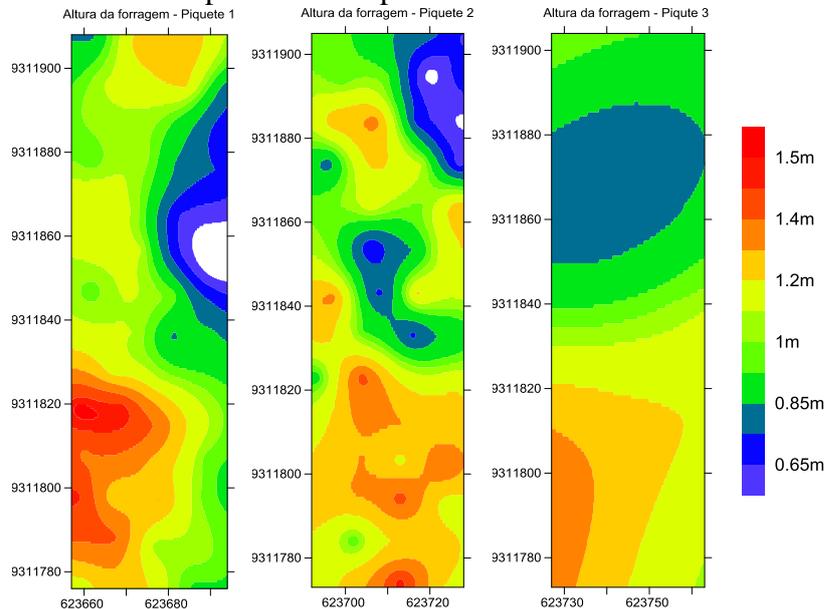
De acordo com Miguel et al. (2009), a dependência espacial de moderada a forte caracteriza a necessidade do uso de ferramenta que necessariamente a expresse, como a krigagem, o que possibilita delimitar possíveis zonas de manejo diferenciado.

As combinações dispostas na Tabela 7 apresentaram estrutura de dependência espacial forte, com alcance representando o dobro da área amostrada, em que os maiores valores foram obtidos nos piquetes 6 (67,70 m) e 7 (67,60 m), com a classificação de GDE moderada e forte, respectivamente. Apenas o piquete 2 apresentou baixo alcance (12,50 m), porém com forte dependência espacial e alto R^2 (0,78).

3.4.3. Mapas de Isolinhas

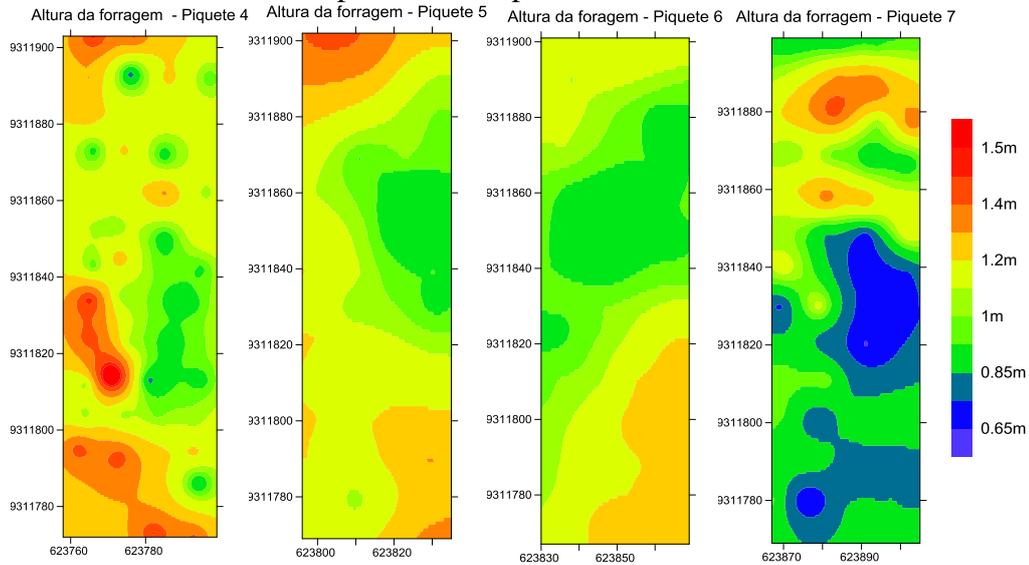
Nas Figuras 29 e 30 apresentam-se os mapas de altura da forragem dos piquetes. Nos piquetes 1, 2, 3, 4 e 6 apresentaram na porção inferior dos mapas, manchas de tons de laranja representando altura acima de 1,15 m, em comportamento crescente chegando a 1,55 m, e, também, maiores alturas das plantas próximas à cerca (1,5 m). É perceptível a presença de porções de plantas com altura abaixo de 1m devido à presença de outra espécie forrageira na área. Com isso, a irregularidade desta variável pode ser associada à presença de outra espécie forrageira na área e ao sistema de irrigação, alterando a capacidade de cobertura do solo pela forrageira.

Figura 29: Mapas de distribuição espacial e da altura da plantas (AF) referentes aos piquetes 1, 2 e 3, localizados no município de Parauapebas - PA.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 30: Mapas de distribuição espacial e da altura da plantas (AF) referentes aos piquetes 4, 5, 6 e 7, localizados no município de Parauapebas, PA.



Fonte: Autor, 2018.

Os Piquete 5 e 6 (Figura 30) possuem zonas semelhantes em verde que indicam altura próxima a 1 m e na cor laranja, apresentando alturas acima de 1m. Esta semelhança indica que a textura do solo nessa região apresenta grau de semelhança alto, como já citado anteriormente devido estes apresentarem semelhança entre as machas de TAS e RMSP, em que, esta alcançou 4 Mpa, TAS de 13% e AF a cima de 1,2 m.

Os mapas das Figuras 29 e 30 mostram uma alta variabilidade nas áreas avaliadas, ou seja, as alturas das plantas foram heterogêneas dentro de cada piquete, possivelmente, resultante do microclima diferenciado na área experimental que pode ter influenciado de forma heterogênea nos processos crescimento, senescência e perfilhamento (SANTOS, et al., 2014), contribuindo para a variabilidade horizontal. Outra justificativa pode estar relacionada com a vegetação existente na pastagem que é, por natureza, espacialmente heterogênea e, mesmo em pastos monoespecíficos, observa-se grande amplitude nos valores da altura, massa de forragem e número de perfilhos (SANTOS et al., 2010; CÂNDIDO et al., 2005).

Pela comparação dos mapas de AF (Figuras 29 e 30) e TAS (Figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21), observa-se que a maior altura da forragem (1,40 m) coincidiu com o solo de maior TAS (15%). Pariz et al. (2011), estudando *Brachiaria decumbens*, descreveram a produtividade de *Brachiaria decumbens* com TAS de 14% e se apresentou semelhante ao das condições e forragem estudadas. Assim como nos atributos do solo RMSP e TAS, percebe-se que os piquetes apresentam manchas dividindo o piquete ao meio, onde a parte inferior dos mapas possui maior RMSP, geralmente a cima de 2,2 MPA e TAS em torno de 13%. No

entanto é perceptível nos mapas de AF que essas regiões detêm altura de forragem a cima de 1,3 m, sendo maior em relação ao restante da área do piquete.

3.5. Número de perfilhos

3.5.1. Análise descritiva

Os coeficientes de assimetria e curtose auxiliam na verificação da distribuição de frequência, e com exceção do piquete 7, a assimetria foi positiva para os piquetes, indicando maior frequência de valores menores que a média. Com relação aos valores médios de número de perfilhos, foi observado que o maior (253 perfilhos) e o menor número (199 perfilhos) ocorreram no piquete 4 e 2, respectivamente, com a maior amplitude dos dados no piquete 4 (Tabela 19). No entanto, a amplitude deve ter cautela, uma vez que a medida considera apenas os dois valores extremos de um conjunto de dados, sendo, muitas vezes, afetada por um valor particularmente discrepante (SOUZA et al., 2006).

Tabela 10: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de perfilhos (NP) em referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| | Média | Mín | Máx | CV | CS | CK | W |
|-----------|-------|-----|-----|-------|-------|------|------|
| Piquete 1 | 232 | 81 | 456 | 32,14 | 0,54 | 3,15 | 0,37 |
| Piquete 2 | 199 | 70 | 342 | 27,15 | 0,12 | 3,05 | 0,98 |
| Piquete 3 | 219 | 102 | 368 | 25,33 | 0,35 | 2,86 | 0,62 |
| Piquete 4 | 253 | 125 | 561 | 31,27 | 1,22 | 5,51 | 0,00 |
| Piquete 5 | 240 | 104 | 435 | 29,57 | 0,19 | 2,93 | 0,68 |
| Piquete 6 | 240 | 137 | 384 | 25,09 | 0,60 | 2,95 | 0,04 |
| Piquete 7 | 227 | 81 | 360 | 25,47 | -0,07 | 3,01 | 0,97 |

Méd - média; Mín. – valor mínimo; Max. – valor máximo; Coeficiente de Variação (%), Ck – curtose e Cs – assimetria; W = coeficiente de Shapiro-Wilk.

Fonte: Autor, 2018.

A partir dos parâmetros propostos por Gomes & Garcia (2002), os piquetes 2, 3, 5, 6 e 7 apresentaram variabilidade espacial alta ($20\% < CV < 30\%$), enquanto que, os piquetes 1 e 4 variabilidade muito alta ($CV > 30\%$) (Tabela 10). Quando se tem um grande número de amostras para representar o valor médio de uma variável em análise, têm sido associados valores altos de coeficiente de variação a uma maior variabilidade dos atributos do solo (MARTINEZ et al. 2003; SOUZA et al. 2004). Ao comparar o CV do atributo da forragem supracitado com a RMSD e TAS foi verificado que estes apresentam variabilidade alta, apresentando CV em sua maioria, acima de 30%. Foi verificado o número médio de perfilhos de 219,57 e 240,43 nos piquetes 3 e 6, os quais apresentaram AP de 1,11 e 1,04 m (Tabela 8) e baixa variabilidade espacial ($CV < 30\%$).

3.5.2. Análise Geoestatística

A utilização dos parâmetros de semivariogramas (Figuras nos apêndices) possibilitou identificar a presença de dependência espacial da variável NP da forragem, a partir dos parâmetros dispostos na Tabela 11 e do melhor ajuste do modelo matemático para o comportamento espacial da variável em função da distância.

A partir dos resultados da Tabela 11 foi verificado que, com exceção do piquete 5, os piquetes avaliados apresentaram dependência espacial com alcances variando de 13,00 a 34,40 m e, o modelo teórico de semivariograma que melhor se ajustou para a maioria dos piquetes, foi o Gaussiano e Exponencial.

Tabela 11: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos valores obtidos do número de perfilhos (NP) em metros (m) referentes aos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, no município de Parauapebas - PA.

| | Modelo | a (m) | C0+C1 | C0 | R ² | GDE | Classe |
|-----------|--------|--------|-------|------|----------------|------|--------|
| Piquete 1 | Exp | 36,40 | 6364 | 2810 | 0,77 | 0,56 | Mod |
| Piquete 2 | Esf | 13,00 | 3010 | 184 | 0,34 | 0,94 | Forte |
| Piquete 3 | Exp | 23,40 | 3396 | 850 | 0,09 | 0,75 | Forte |
| Piquete 4 | Gaus | 15,06 | 620 | 6206 | 0,83 | 0,90 | Forte |
| Piquete 5 | Gaus | 130,07 | 3470 | 7998 | 0,95 | 0,56 | Mod |
| Piquete 6 | Exp | 15,90 | 3396 | 805 | 0,60 | 0,94 | Fort |
| Piquete 7 | Gaus | 16,45 | 10 | 3436 | 0,82 | 0,99 | Fort |

Modelos: Gau: Modelo Gaussiano; Exp: Modelo Exponencial; Esf: Modelo Esférico; C0: efeito pepita, (C0+C1): patamar, a: alcance, R²: coeficiente de determinação, GDE: grau de dependência espacial, Classe, Mod: Moderada, Fort: Forte.

Fonte: Autor, 2018.

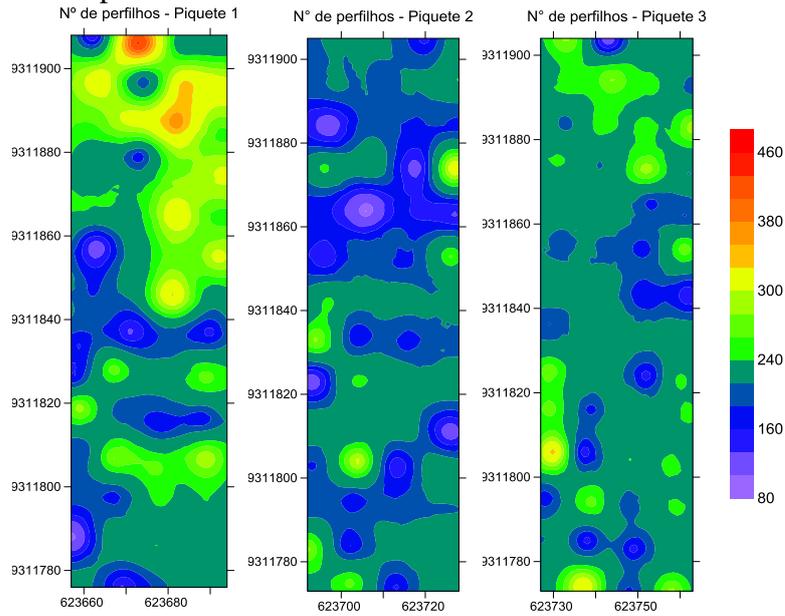
Os semivariogramas obtidos no estudo, exceto os piquetes 1 e 5, apresentaram forte dependência espacial, demonstrando que os modelos de semivariograma explicaram a maior parte da variância dos dados. O alcance da dependência espacial foi menor no piquete 2, indicando maior descontinuidade espacial dos números de perfilhos. Diferente de Santos et al. (2015) que estudaram a variabilidade espacial das características qualitativas e quantitativas da pastagem, verificando baixo grau de dependência espacial para número de perfilhos e melhor ajuste para o modelo esférico.

3.5.3. Mapas de Isolinhas

Para melhor visualização da distribuição espacial da variável número de perfilhos nos piquetes, realizou a interpolação por krigagem a partir dos ajustes dos modelos de semivariogramas, no qual verificou, com exceção do piquete 5, manchas esféricas com maiores concentrações de número de perfilhos representadas pelas cores em lilás (Figuras 34

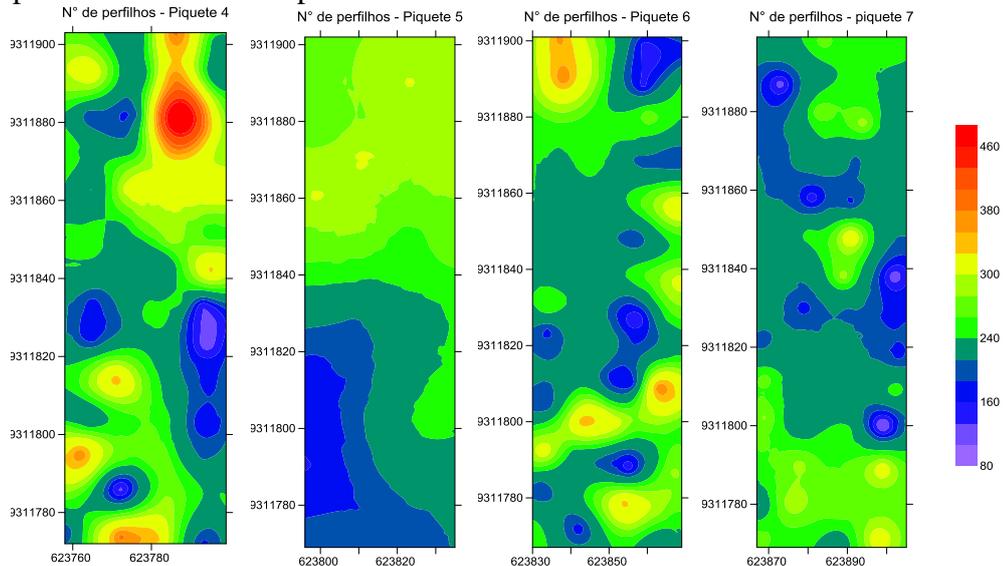
e 35). O perfilamento de gramíneas forrageiras é um fator de grande importância para produção de biomassa e representa uma das mais importantes características para o estabelecimento das plantas e da produtividade de pastagens (FARIA et al., 2015), assim, o aumento no número de perfilhos de gramíneas forrageiras promove maior incremento na produção de massa seca das pastagens (MAYA et al., 2001).

Figura 31: Mapas de distribuição espacial do número de perfilhos (NP) referentes aos piquetes 1, 2, 3 e 4, localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o número de perfilhos.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 32: Mapas de distribuição espacial do número de perfilhos (NP) em $0,5m^2$ referentes aos piquetes 4, 5, 6 e 7, localizados no município de Parauapebas - PA. A escala de cores a direita representa o número de perfilhos.



Fonte: Autor, 2018.

No comparativo entre atributos da forragem no piquete 1, 2, 3 e 5 percebe-se que as áreas do piquete com menor NP, a baixo de 240 perfilhos, na parte inferior do mapa refere-se a regiões do mapas de AF (Figura 32) com menor altura a cima de 1,2 m, ou seja, maiores alturas. Quando compara mapas de atributos da forragem e os atributos físicos do solo no piquete 3, a variável NP apresenta manchas em formatos esféricos na cor verde indicando número de perfilhos a cima de 240, onde na camada de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m do solo possui TAS (Figura 17) em 15% concentrando-se em machas esféricas próximas a cerca e RMS (Figura 10) em torno de 1,5 MPa. Assim, percebe-se que os atributos físicos do solo influenciam nas características da forragem, contudo, ao compara os mapas verificou que mesmo a forragem sob condições de RMS em 3 MPa, o com TAS em pelo menos 13% não prejudicou no crescimento da forragem.

CONCLUSÕES

Os atributos do solo RMS, TAS e pH e as características da forragem *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça, em sistema de pastejo rotacionado com búfalas, apresentam estrutura de dependência espacial de moderada a forte nos piquetes.

O sistema de pastejo rotacionado com búfalas ocasiona aumento da resistência mecânica do solo à penetração e diminui o conteúdo de água no solo.

As alterações físicas do solo ocasionadas pelo pastejo rotacionado não causam diminuição no rendimento da forragem.

O pH do solo 4 altera interfere no crescimento da forragem *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Mombaça.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, 2003.
- AQUINO R.E.; CAMPOS M.C.C.; MARQUES JUNIOR J.; OLIVEIRA I.A.; TEIXEIRA D.B.; CUNHA J.M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in Southern Amazonas Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, n. 1, p. 21-30, 2015.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

- ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, ALBERTO. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 4, p.558-568, 2009.
- BATISTA, P. H. D.; ALMEIDA, G. L. P.; TAVARES, U. E.; NASCIMENTO, V. N.; SARMENTO, R. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no Agreste Pernambucano. *Engenharia na Agricultura*, v. 25, n. 4, p. 307-317, 2017.
- BELTRAME, L. F. S.; GONDIN, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 5, n. 1, p. 145-149, 1981.
- BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M. RESENDE, A. V.; BASSOI, H. L.; INAMASU, R. Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.– Brasília, DF : Embrapa, p. 596, 2014.
- BOGUNOVIC, I.; MESIC, M.; BIRKÁS, M. Spatial Variability of Penetration Resistance on Pseudogley. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 80, p. 9-16, 2015.
- CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.
- 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.
- CANTO, M. W.; BARTH NETO, A.; PANCERA JÚNIOR, E. J.; GASPARINO, E.; BOLETA, V. S. Produção e qualidade de sementes do capim-mombaça em função da adubação nitrogenada. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 430-437, 2012.
- CAVALLINI, M. R.; ANDREOTTI, M.; OLIVEIRA, L. L.; PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. P. Relações entre produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1007-1015, 2010.
- CORTEZ, J. W. F.; MARQUES, B. J.; OLSZEWSKI, N.; LOPES, H. L.; NAGAHAMA, H. J. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em Argissolo amarelo no Semiárido Nordeste. **Nucleus**, v.7, n. 2, 2010.
- COSTA, J. P. V. da; BARROS, N. F. de; BASTOS, A. L.; ALBUQUERQUE, A. W. de. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 13, n. 1, p. 56-62, 2009.
- CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data, revised edition**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 928p.
- CUNHA NETO, F. V. da; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. dos S.; ABEL, E. L. da S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba – MG. **Ciência Florestal**, v. 28, n.1, p.13-24, 2018.
- DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. Ed. 4. Belém, 2011. 214p.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: Processos, Causas e Estratégias de Recuperação**. 4. ed. Belém: MBDF, 2011. 215p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Pecuária mais eficiente pouparia atmosfera de 30 milhões de toneladas de CO2 por ano.2016
- EMBRAPA - Manual de métodos de análise de solos— Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, p. 230, 2011.
- FERRARI, J. M. S.; GABRIEL, C. P. C.; SILVA, T. B. G.; MOTA, F. D. GABRIEL FILHO L. R. A.; Tanaka, E.M. Análise da variabilidade espacial da resistência à penetração do solo em diferentes profundidades. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 2, p.164-175, 2018.

- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p.771-780, 2007.
- FRANZEN, D.W. et al. Topography-based sampling compared with grid sampling in the northern great plains. **Journal of Production Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 364-370, 1998.
- FREITAS, G. A. de; BENDITO, B. P. C.; SANTOS, A. C. M. dos; SOUSA, P. A. de; Diagnóstico ambiental de áreas de pastagens degradadas no município de Gurupi-TO. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 1, p. 10-15, 2016.
- GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, p. 477-484, 2004.
- GOMES, F.P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFÓS, 1984. 160p.
- GONÇALVES, A. C. S. **Geoestatística aplicada ao estudo da variabilidade espacial em ecossistemas**. Maringá: Universidade Federal de Maringá, 2000.
- GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A. de; ALMEIDA, C. G. F. de; FURTADO, A. L. dos S.; DEMARCHI, J. J. A. de A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epigea de pastagem, identificada por meio de geoestatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1404-1412, 2012.
- HORN, R.; ROSTEK, J. Subsoil compaction processes-satate of knowledge. In: HORN, R. et al. **Subsoil compaction: distribution, processes and consequences**. Reiskirchen: Catena Verlag, p.44-54, 2000.
- HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/ strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil & Tillage Research**, v.73, n.1, p.101-106, 2003.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENTA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.7, p.1493-1500, 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mudanças na Cobertura e Uso da Terra 2000 – 2010 – 2014**. Rio de Janeiro, 2016. 44p.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. 1.ed. New York: Oxford University Press, 1989. 5p.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University, p. 561, 1989.
- JOHNSON, R. M.; RICHARD JUNIOR, E. P. Sugarcane yield, sugarcane quality, and soil variability in Louisiana. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p.760-771, 2005.
- KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; BASEGGIO, M. Ensaio de Proctor normal-análise metodológica e planilha para cálculo da densidade do solo máxima e teor de água ótimo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 2, p. 199-203, 2013.
- 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**, v. 28, n.1, p. 415-423, 2004.
- LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, M. M. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de uma forragem, uma porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1233-1244, 2007.
- LIMA, J. S. de S.; SATTLER, M. A.; PASSOS, R. R.; OLIVEIRA, P. C. I, SOUZA, G. S. de. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural. **Revista Engenharia Agrícola**, v.29, n. 2, p. 185-195, 2009.

- LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, v. 60, n. 4, p. 577-581, 2013.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Editora Agronômica Ceres**, 2006.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, n. 8, p.1246-1266, 1963.
- MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. **Paris School of Mines Publication**, p. 211, 1971.
- MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do deserto salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 01, p. 19-27, 2008.
- MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L.M.M.; PEREIRA, F.C.B.L.; SILVA, J.O.R.; YANO, E.H. Corn production for silage intercropped with forage in the farming-cattle breeding integration. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 738-745, 2014.
- MERCANTE, E. URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1149-1159, 2003.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 44, n. 11, p. 1513-1519, 2009.
- MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1 ed. São Paulo, 2015.
- MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 567-573, 2008.
- MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. dos; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 584-590, 2012.
- MONTANARI, R.; LIMA, E. de S.; LOVERA, L. H.; GODOY, L. T. R. HENRIQUE, A. F.; DALCHIAVON, F. C. Correlación de la productividad de un forraje con las propiedades físicas de un Ultisol en Aquidauana. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 102-110, 2013.
- MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 5, p. 1266-1272, 2008.
- MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1 p. 389-400, 2012.
- NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C. dos; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 17, n. 9, p. 995-1004, 2013.
- OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. **Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper**. 23. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

- OLIVEIRA, T. C.; PEREIRA, D. N.; BRITO, T. E.; AGOSTINI, J.A.F.; LIMA, P.F.; SILVA, A.V.; SANTOS, C.S.; BREGAGNOLI, M. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. **Revista Agrogeoambiental**, n. 1, p. 49-53, 2013.
- PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. P.; CHIODEROLI, C. A.; NAKAYAMA, F. T.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Spatial variability of forage yield and soil physical attributes of a *Brachiaria decumbens* pasture in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 722- 729, 2011.
- PEREIRA, D. N.; OLIVEIRA, T. C.; BRITO, T. E.; AGOSTINI, J. A. F.; LIMA, P. F.; SILVA, A. V.; SANTOS, C. S.; BREGAGNOLI, M. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. **Revista Agrogeoambiental**, n. 1, p. 49-53, 2013.
- PIRES, B.S.; DIAS JUNIOR, M. de S.; ROCHA, W.W.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; CARVALHO, R. de C.R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.1, p. 635-642, 2012.
- RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 1, p. 1-6, 1986.
- REINERT, D. J.; COLLARES, G. L.; REICHERT, J. M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionalidade. **Revista de Engenharia Agrícola**. v. 27, n. 1, 2007.
- RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J.; FERNANDES, K. L.; ALVES, A. R.; BACKES, C.; SANTOS, A.J.M. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração em pomar de citros análise exploratória. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 4, p. 335-342, 2017.
- ROBERTSON, G. P. **Gs+: Geostatistics For The Environmental Sciences**. Versão 7.0, Paninwell, Gamma Desing Software, p .152, 2004.
- RODRIGUES, M. O. D.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; SOUSA, J. T. L.; ALEXANDRINO, E.; SANTOS, J. G. D. Mombasa grass characterisation at different heights of grazing in an intercropping system with Babassu and monoculture. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 2085-2098, 2016.
- RODRIGUES, M. S; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Spatial Relationships Between Soil Attributes and Corn Yield, In No-Tillage System. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 36 p. 599-609, 2012.
- ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 7, p. 744-750, 2010.
- ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. de. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 491-497, 1994.
- SALTON, J. C.; CARVALHO, P. C. F. Heterogeneidade da pastagem – causas e consequências. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**. n. 91. p. 41, 2007.
- SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 115-122, 1998.
- SANTOS, E. O. de J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L. R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 16, n. 10, p. 1062–1068, 2012.

- SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. da; BALBINO, E. M.; SILVA, S. P. da; MONNERA, J. P. I. dos S. Variabilidade espacial e temporal da vegetação em pastos de capim braquiária **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 4, p. 727-735, 2010.
- SANTOS, R. O.; FRANCO, L. B.; SILVA, S. A.; SODRÉ, G. A.; MENEZES, A. A. Spatial variability of soil fertility and its relation with cocoa yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 88-93, 2017.
- SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A.; PEREIRA, L. B. Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 474-486, 2016.
- SCHAEFER, G. R. Tópicos em Ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, cap. 1, p. 1-54, 2000.
- SIBALDELLI, R. N. R.; CARVALHO, J. de F. C.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Uso de geostatística no estudo da variabilidade espacial da capacidade de troca de cátions do solo. **Global. Science Technology**, v. 8, n. 1, p. 141-156, 2015.
- SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, A. C. dos; LEITE, R. L. de L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N. das; SILVA, J. E. C. da. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 41-53, 2012.
- SILVA, A. R.; SILVA, L. L.; FRAZÃO, J. J.; SALGADO, F. H. M.; SILVA, M. C.; CORRECHEL, V. Resistência mecânica à penetração do solo com diferentes coberturas vegetais sob sistema. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 22, n. 2, p.10-10, 2012.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; VIEIRA, S. R., Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.1, p.1-5, 1989.
- SILVA, F. J. da; OLIVEIRA, C. A. A. de, ALMEIDA, L. da S.; LIMA, L. P. de; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 77-84, 2017.
- SILVA, G.; NELSON, L.; CAPPELLI N. L.; UMEZU, C. K. Métodos probabilístico e determinístico para diagnóstico da necessidade de subsolagem de solos. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.24, p.130-141, 2004.
- SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 544-552, 2005.
- SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 544-552, 2005.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.
- SILVEIRA, D.C. Diagnóstico da qualidade do solo em um pomar de citros cultivado com plantas de cobertura nas condições ambientais do Recôncavo da Bahia. 2009. Tese (Mestrado em Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.
- SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JUNIOR, J.; MATIAS, S. S. R.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAFFA, O.; OLIVEIRA, L. C. de. Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. **Soil Use and Management**, v.26, p.425-431, 2010.
- SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. da; MANTOVANELLI, C. B.; OLIVEIRA I. A. de; BRITO FILHO, E. G. de; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2, p.125-133, 2018.

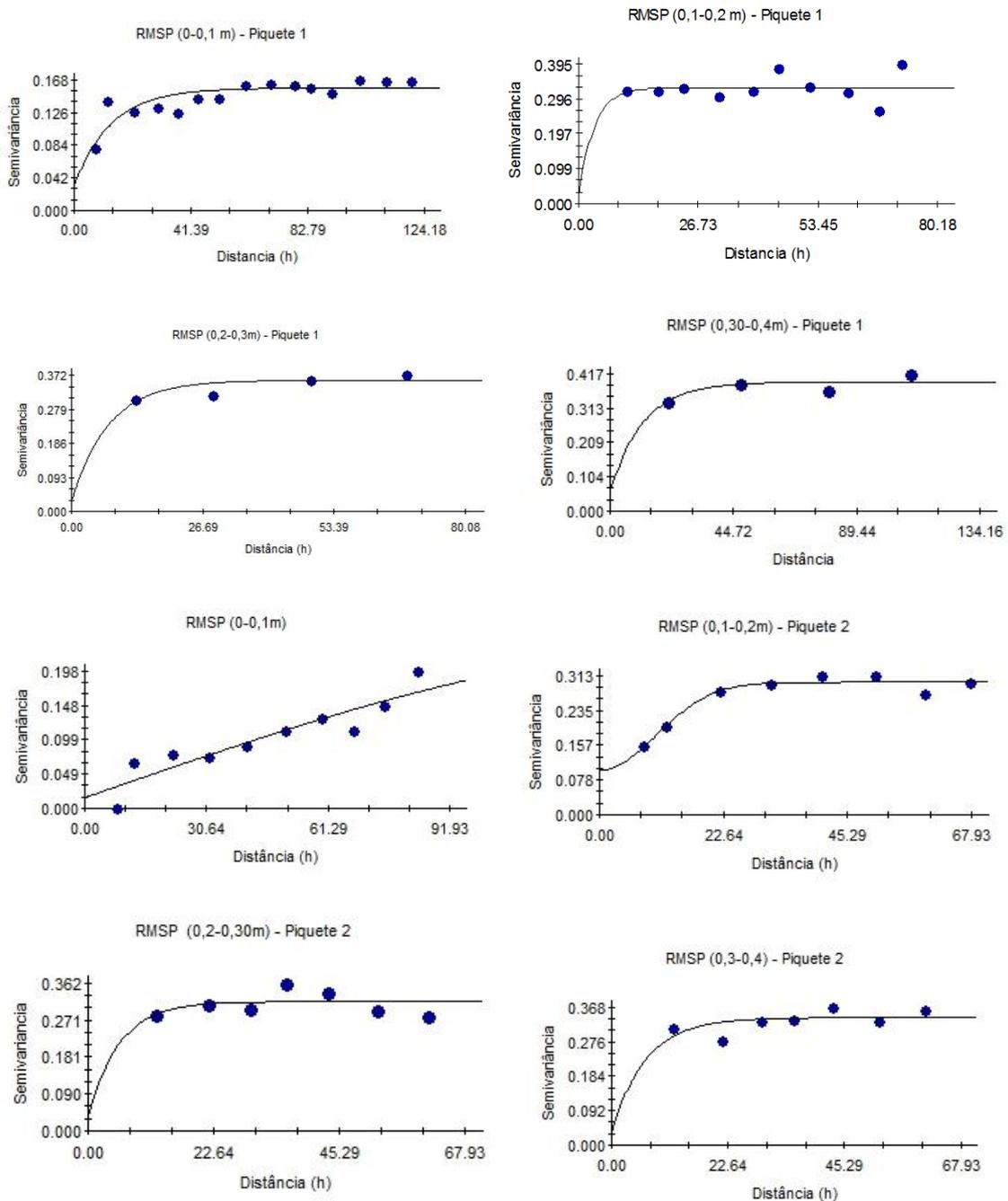
- SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A. Variabilidade espacial do fósforo, potássio e da necessidade de calagem numa área sob pastagem. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, p. 384-391, 2008.
- SOUZA, Z. M. de; CAMPOS, M. C. C; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. de. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.128-134, 2006.
- SOUZA, Z. M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2004.
- TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 487-494, 2008.
- TAYLOR, H.M. & BURNETT, E. Influence of soil on the root growth habitat of plants. **Soil Science**, v.98, p. 174-180, 1964.
- TORMENA, C. A. A compactação do solo em agroecossistemas agrícolas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Viçosa, MG. Anais. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. 1 CD-ROM.
- TORMENA, D.A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 20, p. 333-339, 1996.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p.
- TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. A; SILVA NETO, O. F.; ARAÚJO, A. S.; SILVA, V. R.; VIEIRA, D. M. S. Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num Latossolo sob semeadura direta há doze anos. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 1, p. 131-140, 2015.
- TRIMBLE, S. W.; MENDEL, A. C. The cow as a geomorphic agent – A critical review. **Geomorphology**, v.13, n.1, p.233-253, 1995
- UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, v.61, n. 3-4, p. 193- 202, 2001.
- UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferrosol at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 61, p. 193-202, 2001.
- VALADÃO, F. C. A., WEBER, O. L. S., VALADÃO JÚNIOR, D. D., SCAPINELLI, A., DEINA, F. R. E BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 243-255, 2015.
- VEIGA, M. da; DURIGON, L.; PANDOLFO, C. M.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 444-450, 2012.
- VIEIRA, S. R.; Geoestatística aplicada à agricultura de precisão, In: BORÉN, A, et al. **Agricultura de precisão**, p. 93-108, 2000.
- VIEIRA, S.R; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R; BIGGAR, JW. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, p.1-75. 1983.
- WEIRICH NETO, P. H.; BUZOLINI JUNIOR, O.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B. Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. *Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ciência. Agr. Eng.*, v. 12, n. 1, p. 41-49, 2006.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2013. 215p.

- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.
- ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science**, v.3, n. 1, p. 1-70, 1985.

APÊNDICES

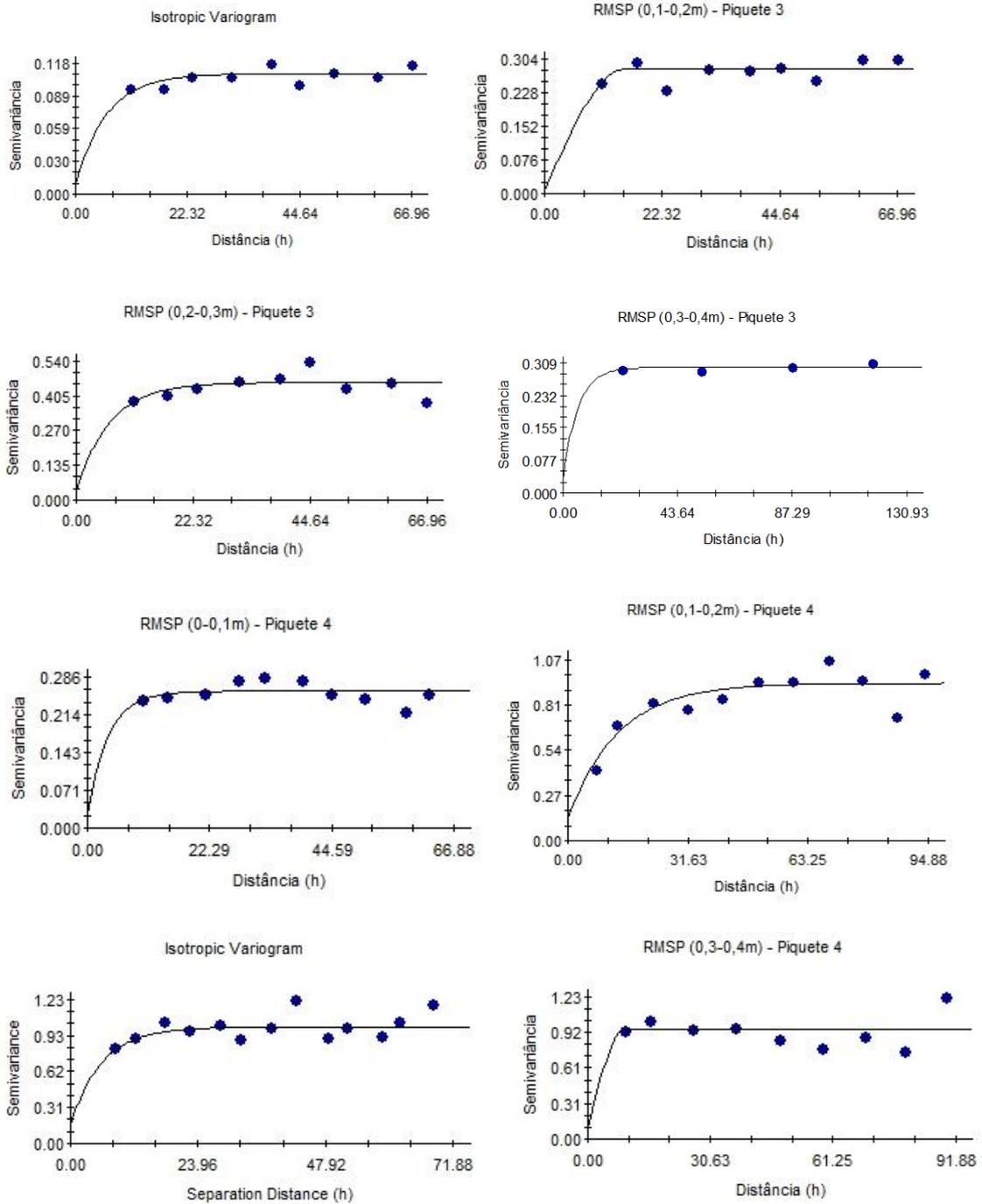
Apêndice A

Semivariogramas ajustados para a RMSP nas profundidades 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,30; 0,30-0,4 m para os piquetes 1 e 2.



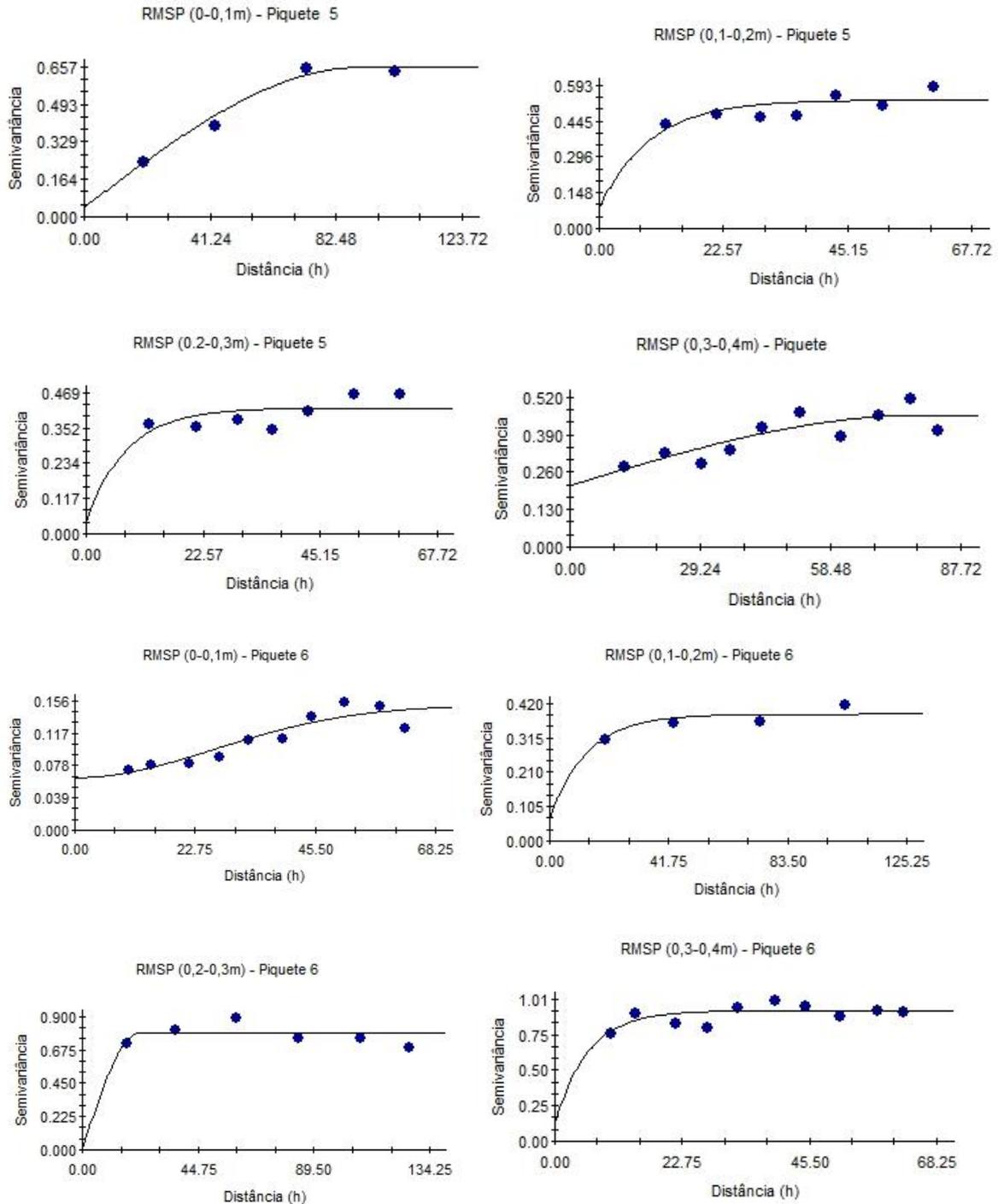
Apêndice B

Semivariogramas ajustados para a RMSP nas profundidades 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,30; 0,30-0,4 m para os piquetes 3 e 4.



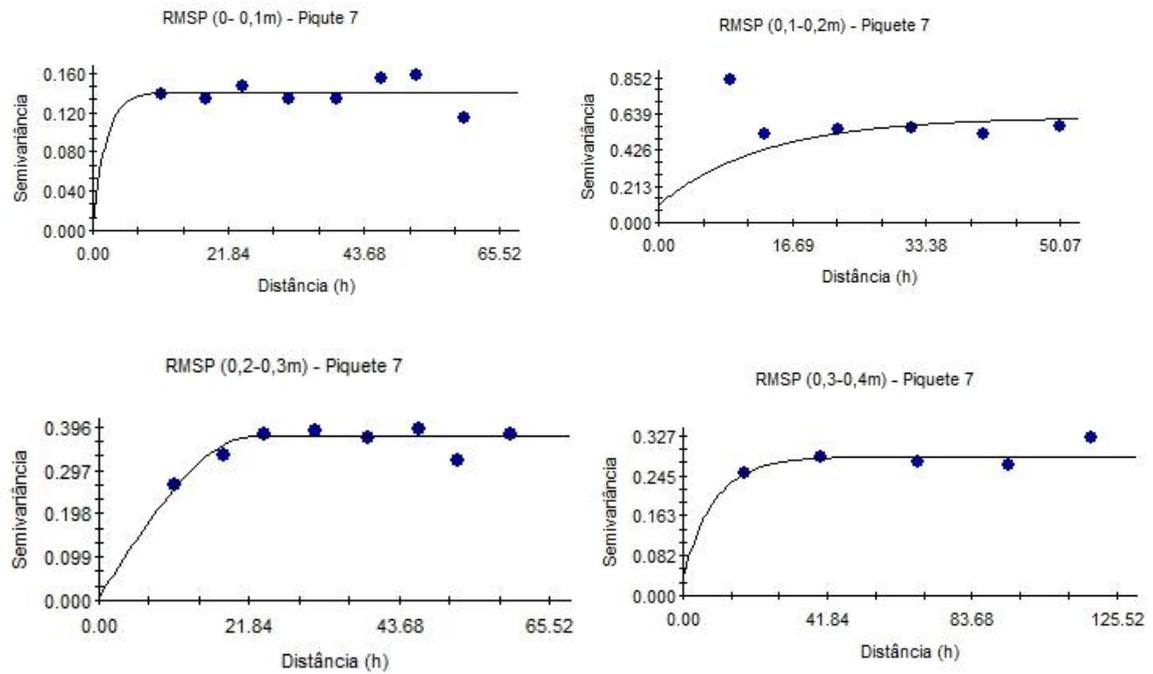
Apêndice C

Semivariogramas ajustados para a RMSP nas profundidades 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,30; 0,30-0,4 m para os piquetes 5 e 6.



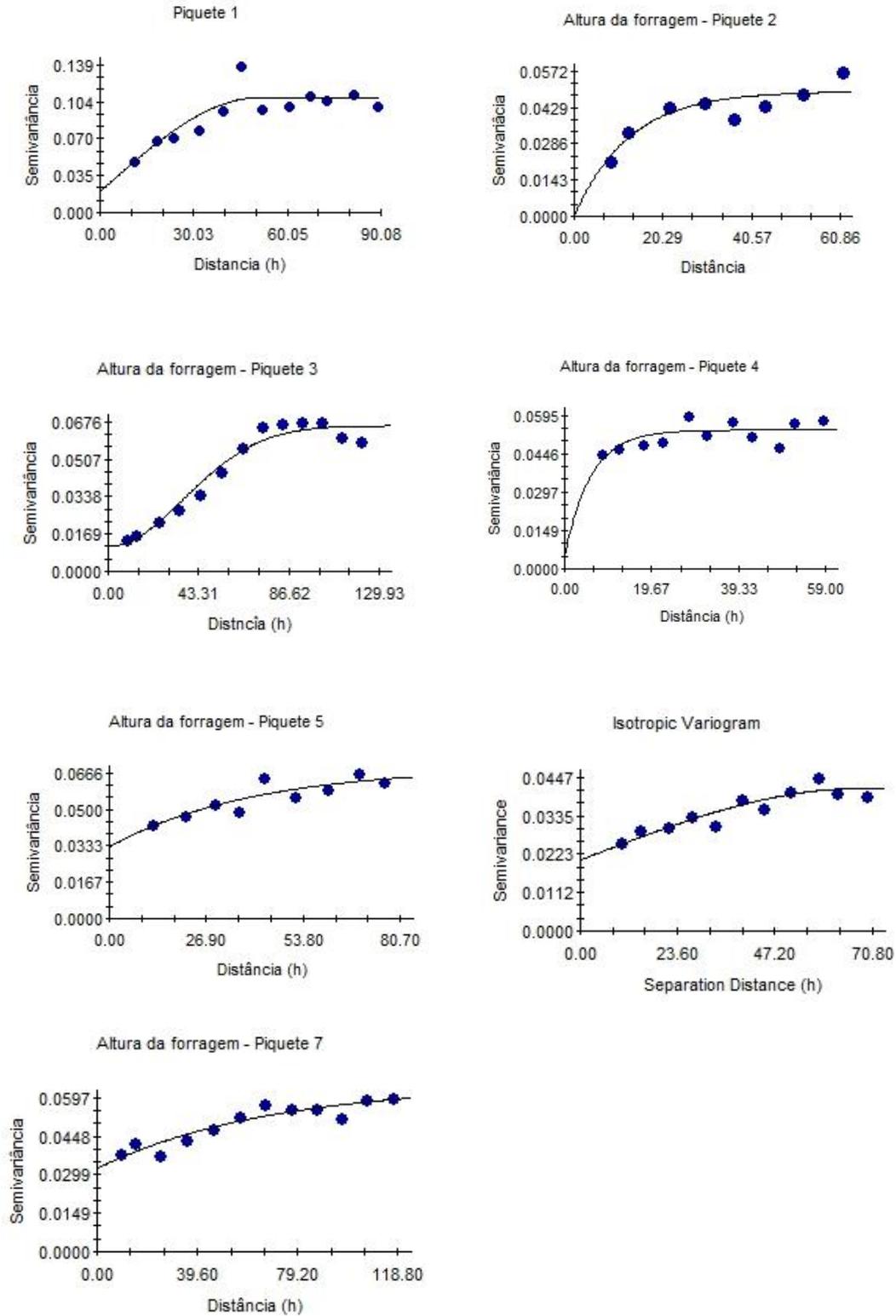
Apêndice D

Semivariogramas ajustados para a RMSP nas profundidades 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,30; 0,30-0,4 m para o piquete 7.



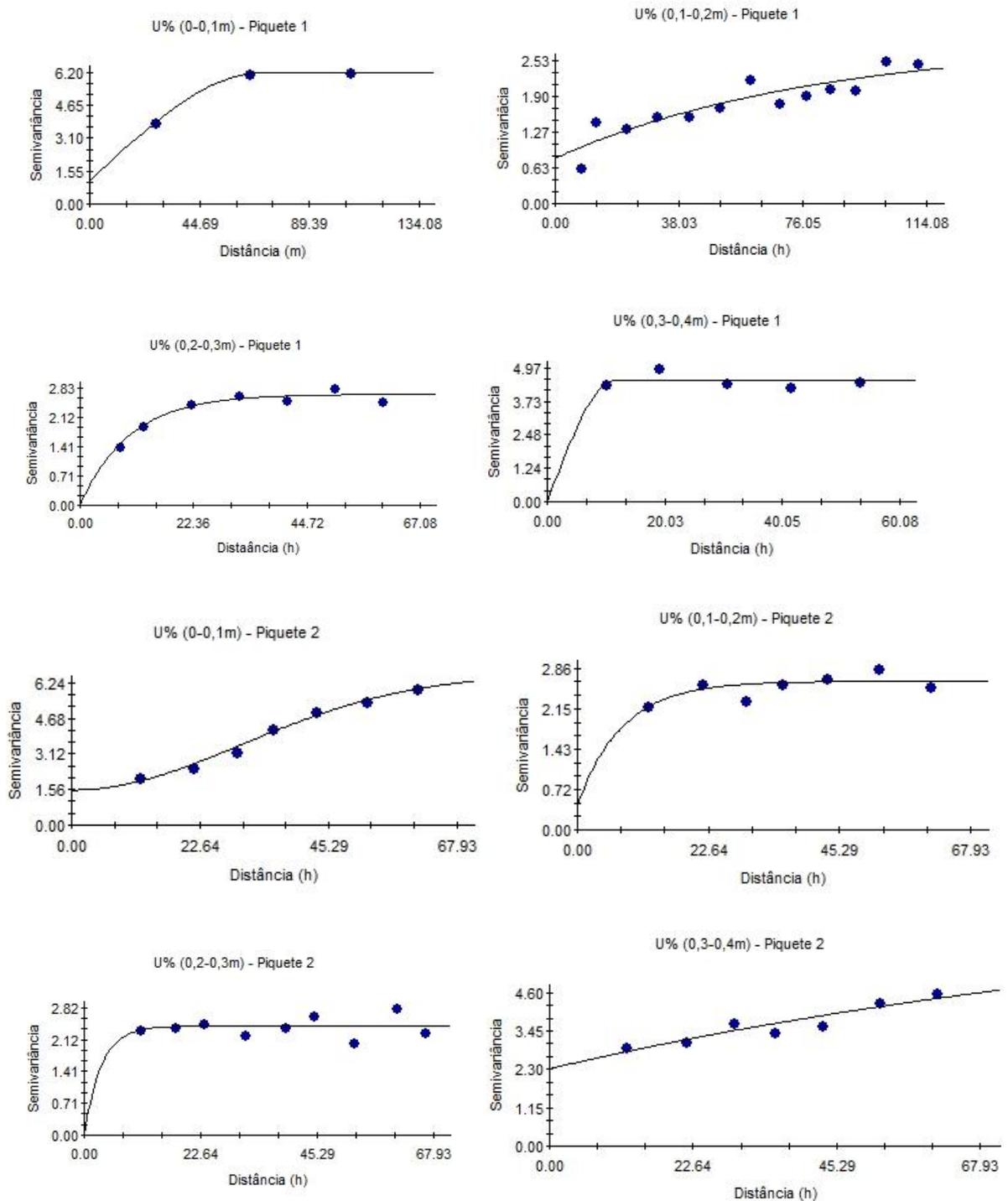
Apêndice E

Semivariogramas ajustados para altura da forragem (AF) nos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.



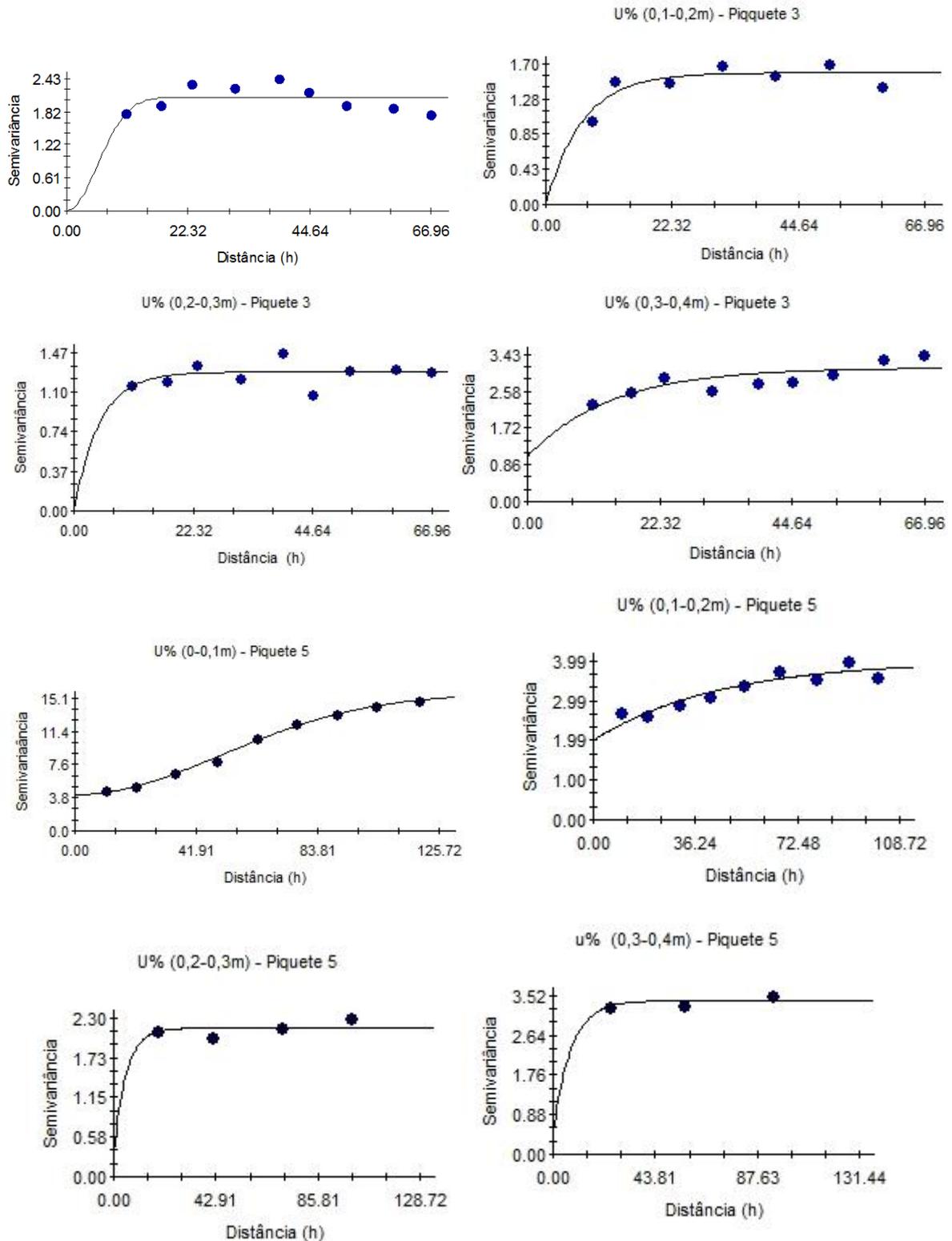
Apêndice F

Semivariogramas ajustados para teor de água no solo (TAS) nos piquetes 1e 2.



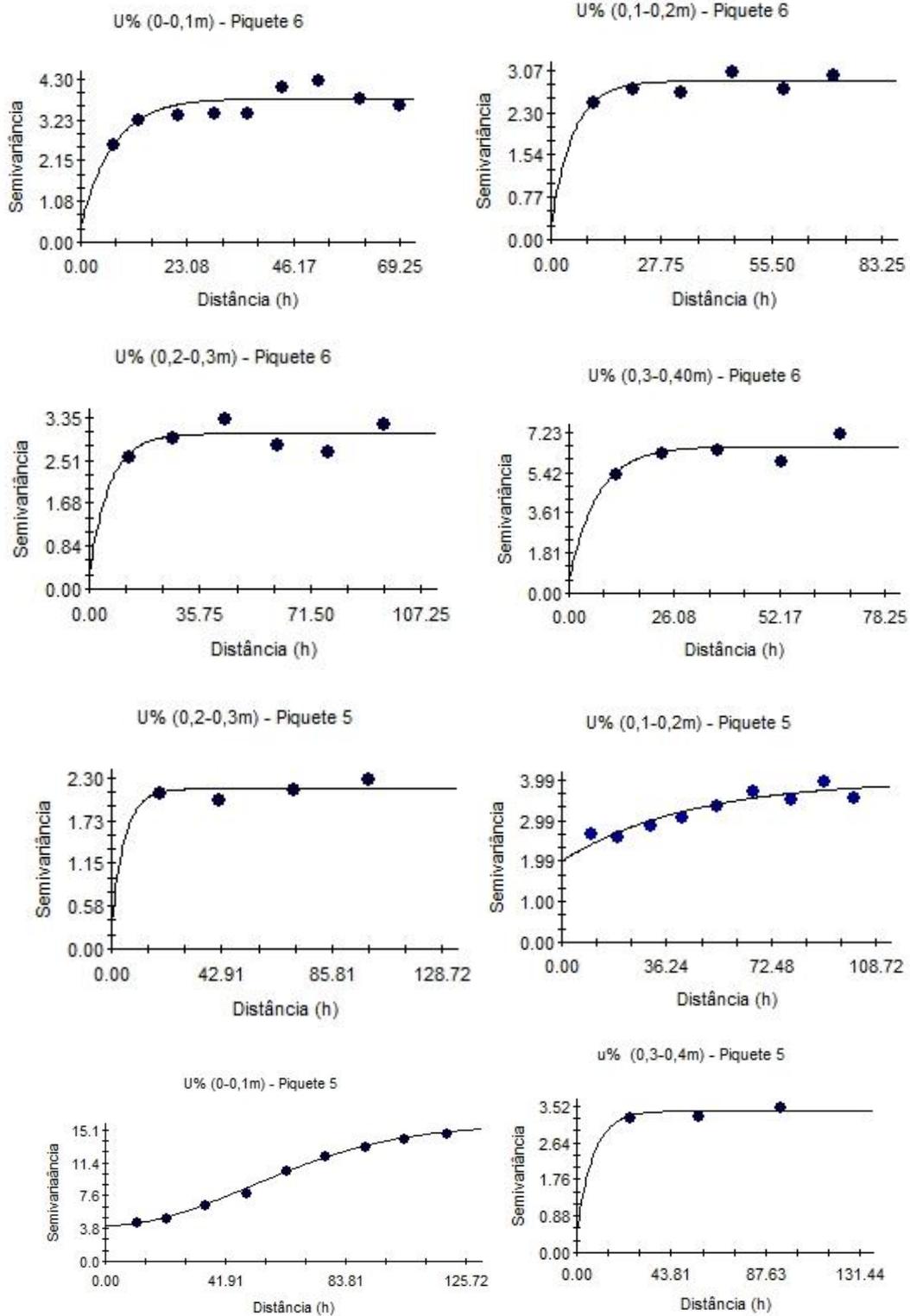
Apêndice G

Semivariogramas ajustados para teor de água no solo (TAS) nos piquetes 3 e 4.



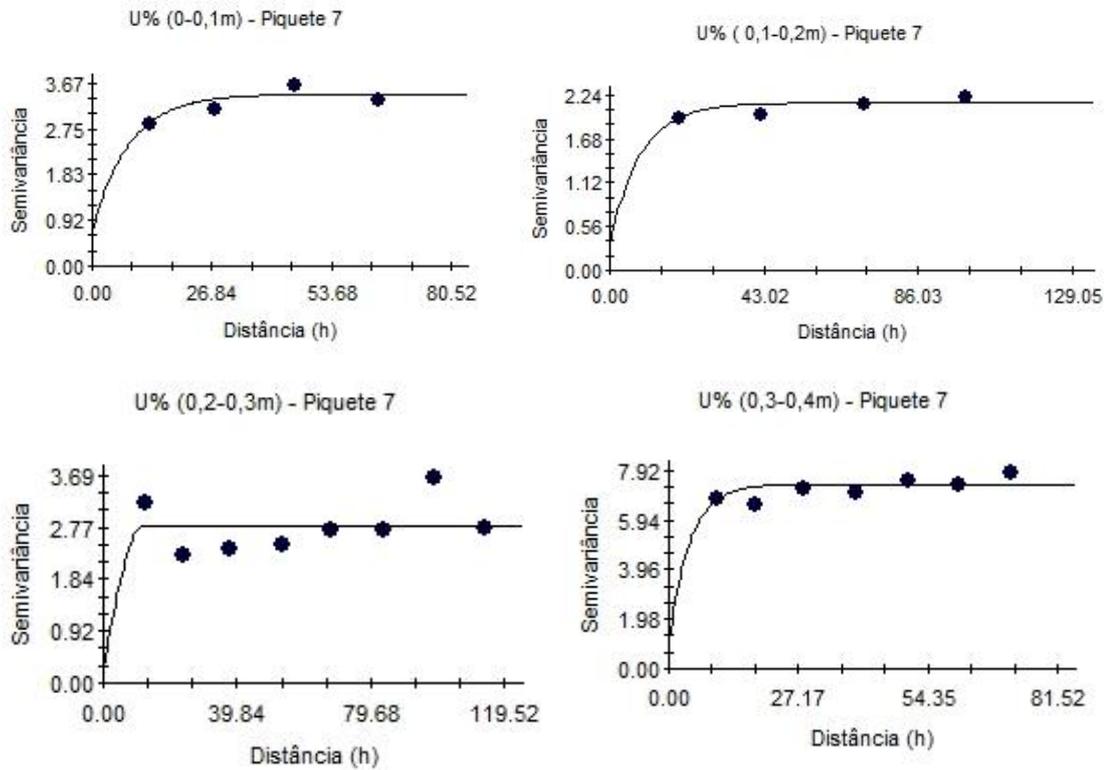
Apêndice H

Semivariogramas ajustados para teor de água no solo (TAS) nos piquetes 5 e 6.



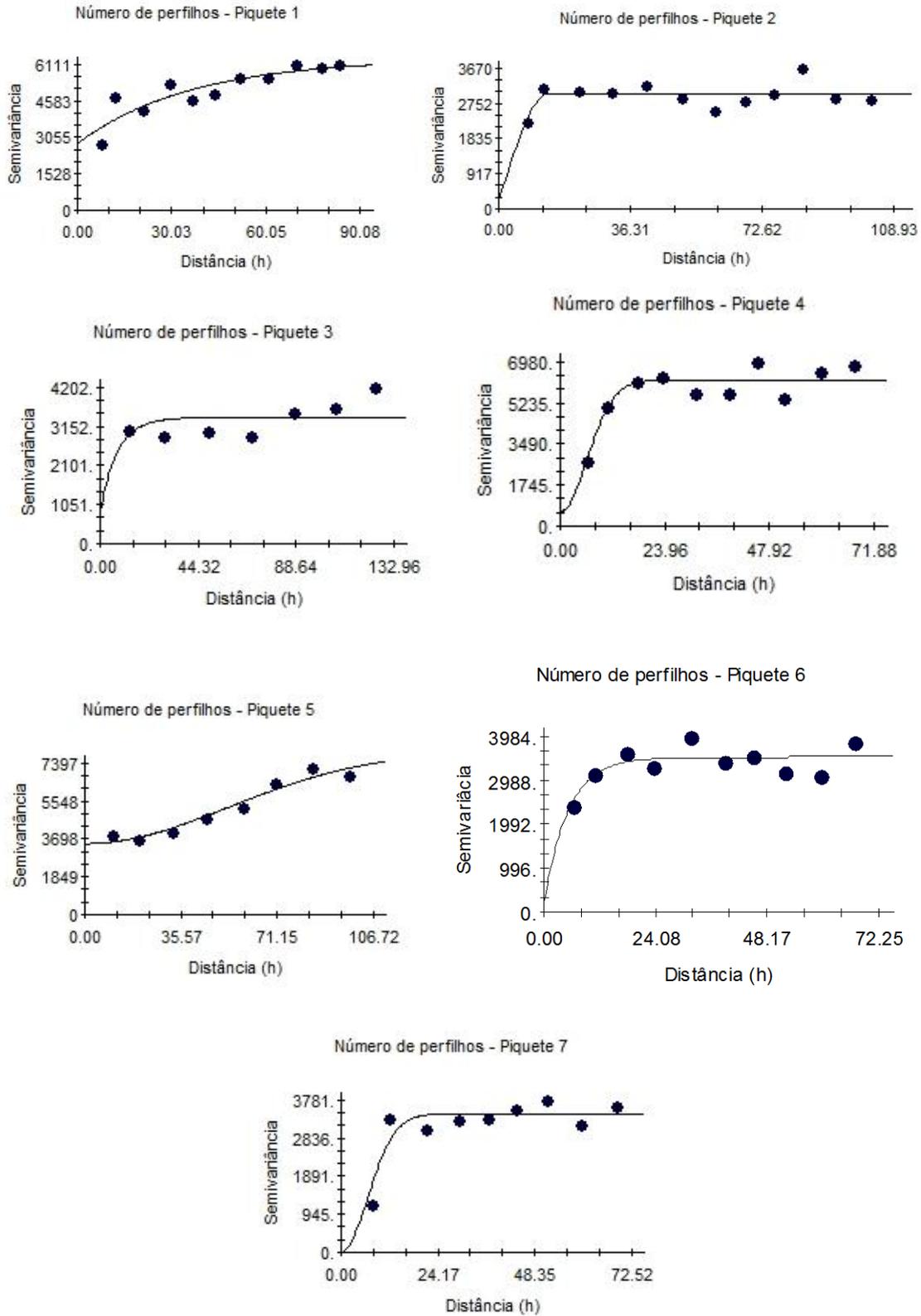
Apêndice I

Semivariogramas ajustados para teor de água no solo (TAS) no piquete 7.



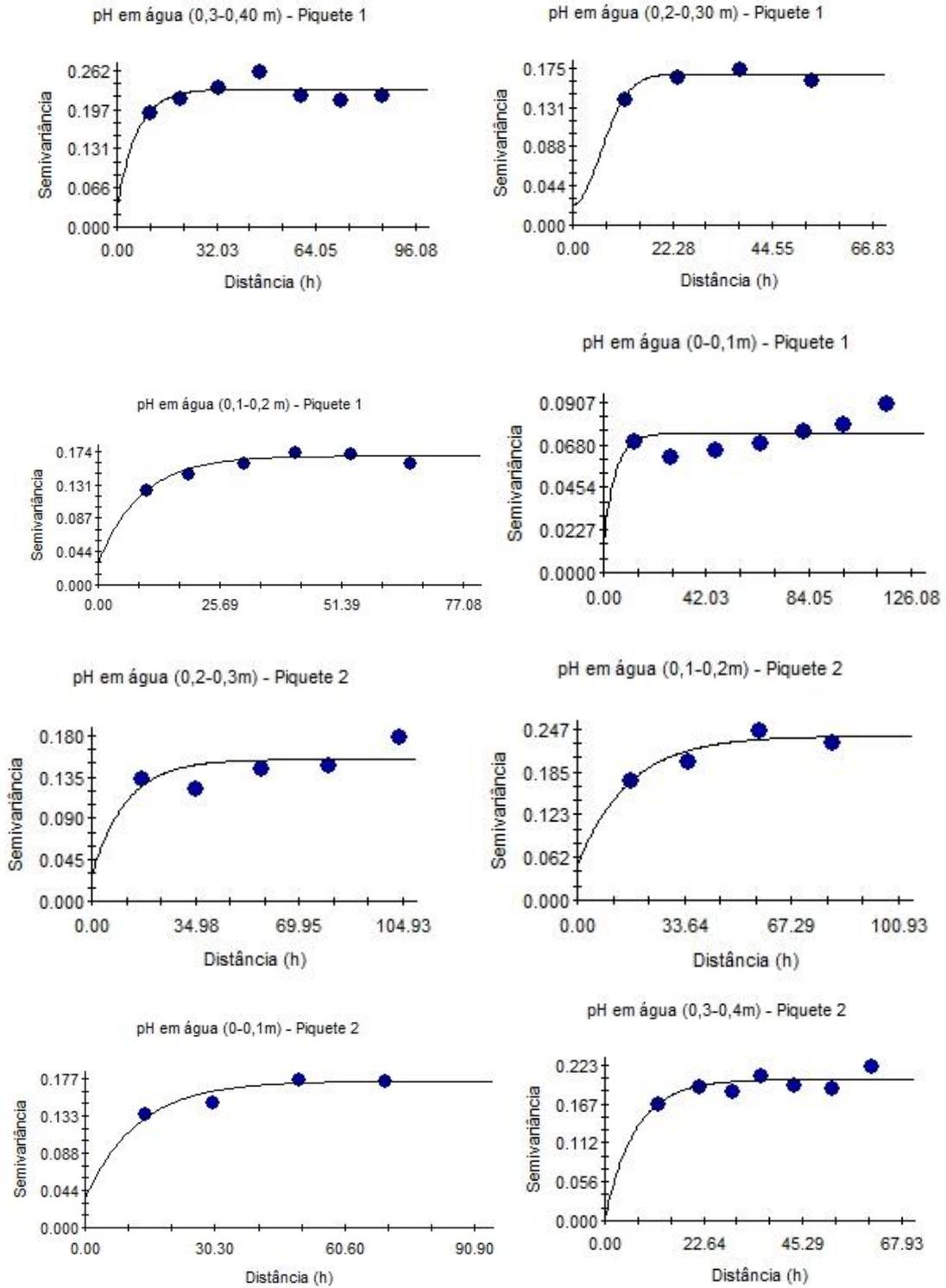
Apêndice J

Semivariogramas ajustados para número de perfis (NP) nos piquetes 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.



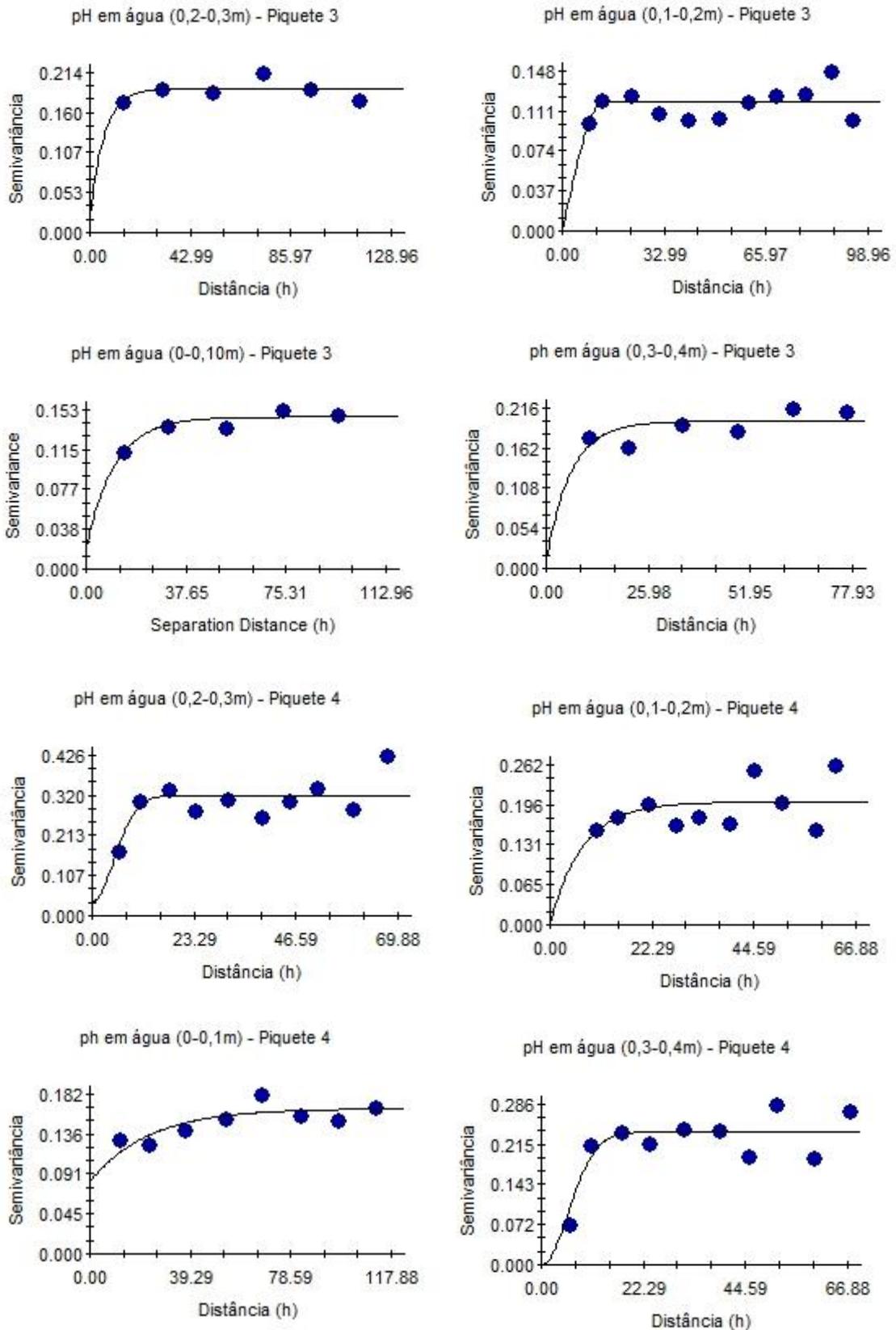
Apêndice K

Semivariogramas ajustados para pH do solo no piquete 1 e 2.



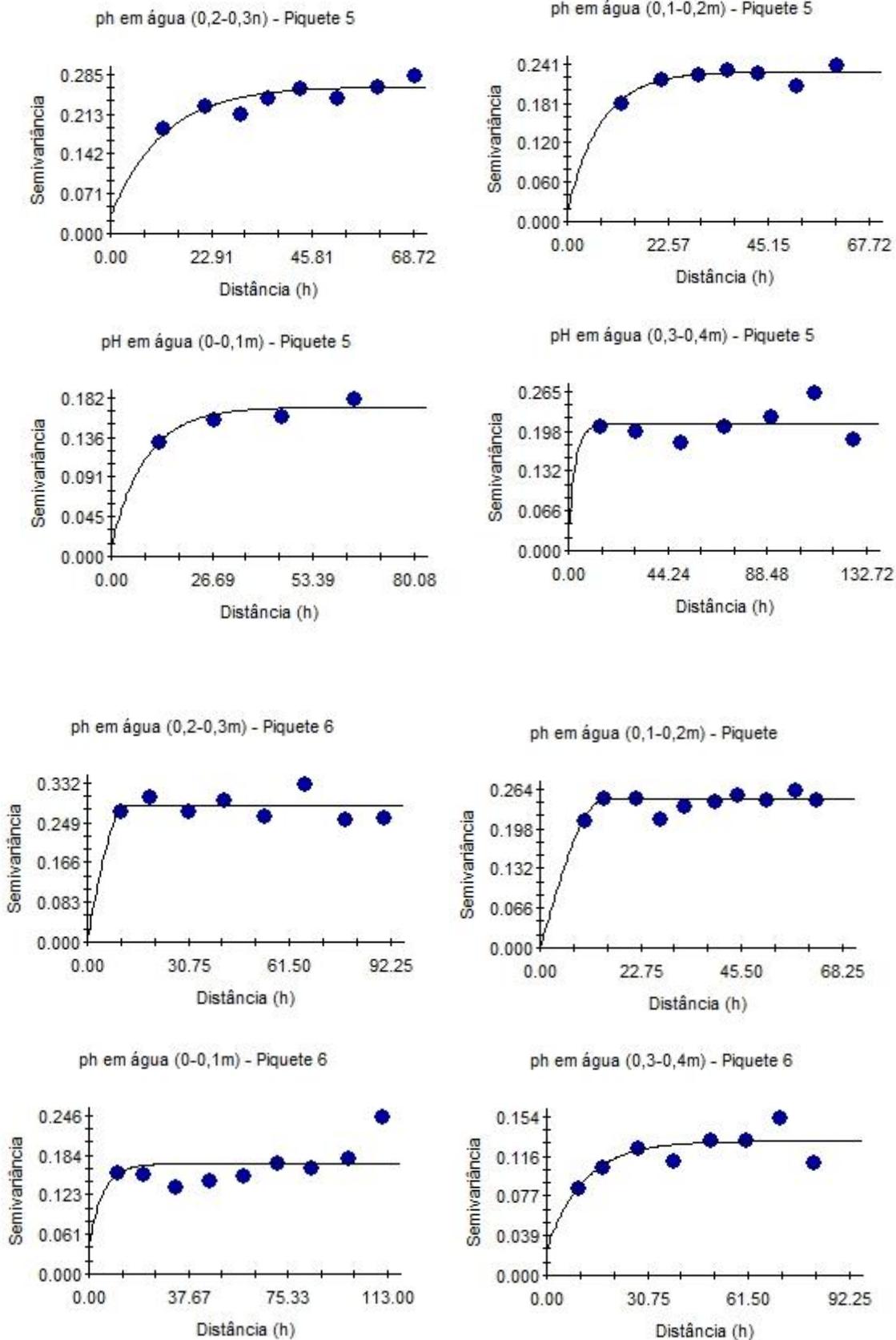
Apêndice L

Semivariogramas ajustados para pH do solo no piquete 3 e 4.



Apêndice M

Semivariogramas ajustados para pH do solo no piquete 5 e 6.



Apêndice N

Semivariogramas ajustados para pH do solo no piquete 7.

