



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JOSÉ FRANCIRLEI DE OLIVEIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-
HÍDRICOS EM LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO DO
BIOMA CERRADO**

Londrina
2011

JOSÉ FRANCIRLEI DE OLIVEIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-
HÍDRICOS EM LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO DO
BIOMA CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador(a): Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães

Co-Orientador: Dr. Robélio Leandro Marchão

Londrina
2011

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

O48v Oliveira, José Francirlei de.
Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em latossolos vermelho amarelo do bioma cerrado / José Francirlei de Oliveirta. – Londrina, 2011.
80 f. : il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.
Co-orientador: Robélio Leandro Marchão.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2011.
Inclui bibliografia.

1. Solos – Densidade – Teses. 2. Solos – Mineralogia – Teses. 3. Solos – Estrutura – Teses. 4. Física do solo – Teses. 5. Hidrologia agrícola – Teses. 6. Solos – Cerrados – Teses. I. Guimarães, Maria de Fátima. II. Marchão, Robélio Leandro. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 631.43

JOSÉ FRANCIRLEI DE OLIVEIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS EM
LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO DO BIOMA CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Maria de Fátima Guimarães
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. João Tavares Filho
UEL – Londrina – PR

Pesquisador Dr. Edegar Joaquim Corazza
SCT/EMBRAPA

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo
UENP – PR

Londrina, 25 de fevereiro de 2011.

AGRADECIMENTOS

A vida não é vivida isoladamente, dificilmente o ser humano realiza algo sozinho, concretiza seus sonhos sem ter alguém ao seu lado. Este convívio gera compromissos e amizades que norteiam nossa vida durante um período de tempo, alguns se tornam eternos. Eternas amizades que compartilham idéias e ideais. Foi assim que cumpri mais esta etapa de minha formação, por estes motivos agradeço:

Aos meus pais, que constituem a base da minha formação e me proporcionaram a oportunidade de continuar estudando.

À minha namorada pela compreensão e incentivo nos momentos difíceis desta caminhada.

À professora e orientadora Maria de Fátima Guimarães, não apenas por ter me proporcionado o prazer de trabalhar no Cerrado com tantos outros pesquisadores ou pelos ensinamentos e oportunidades de crescimento profissional e pessoal, mas sobretudo pela amizade e confiança em mim despositada.

Aos amigos e coorientadores Robélio Leandro Marchão e Edegar Joaquim Corazza, pela dedicação empenhada ao trabalho e também pela amizade e confiança construídas nestes dois anos.

Ao pesquisador Michel Brossard por aceitar participar desta pesquisa e dedicar boa parcela do seu tempo aqui no Brasil para me ensinar e auxiliar no direcionamento dos objetivos do trabalho.

Ao professor Marco Antonio Gandolfo que me orientou na graduação e, com certeza, tem uma parcela significativa no “norte” que escolhi para meu futuro profissional.

Ao pesquisador Marco Aurélio Carolino de Sá que tanto me incentivou para a realização deste trabalho e, de certa forma, me orientou na busca dos objetivos.

Aos pesquisadores Juaci Vitória Malaquias e Sandro Carmelino Hurtado por dedicar grande parte do seu tempo e paciência para me ensinar alguns fundamentos de estatística e geoestatística, partes fundamentais para realização deste trabalho.

À Weda que me ajudou em alguns momentos decisivos, como a ajuda na concessão da bolsa e por estar sempre pronta para resolver os problemas burocráticos que atravessamos.

Aos colegas da pós-graduação da UEL, em especial ao amigo Stanislas Mayi III que muito me ensinou na época de coleta na Fazenda.

Ao membros da banca por aceitarem participar e contribuir para melhora significativa deste trabalho, em especial ao professor João Tavares Filho que muito me auxiliou nas dúvidas sobre física do solo.

À Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade de participar do programa do curso de pós graduação *strictu sensu*

Aos proprietários da Fazenda Alto Alegre que me receberam tão amigavelmente, em especial ao Héber que esteve sempre pronto para auxiliar o trabalho de campo e principalmente pelo apoio de infraestrutura e parte do financeiro.

À Embrapa Cerrados por me permitir conhecer muitas pessoas, inclusive os pesquisadores citados acima e possibilidade de uso da infraestrutura dos laboratórios.

À Capes pela concessão da bolsa durante a realização deste estudo.

Gostaria de agradecer também ao Nelson e ao Lucas do Laboratório do CPAC, que dedicaram boa parte do seu tempo no processamento de parte das amostras deste trabalho, e àquelas que injustamente não foram citadas aqui mas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Obrigado!

“A adversidade desperta em nós capacidades que,
em circunstâncias favoráveis, teriam ficado
adormecidas”. (Horácio)

OLIVEIRA, José Francirlei. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em Latossolos Vermelho Amarelo do Bioma Cerrado**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

RESUMO

A água no solo exerce influência no desenvolvimento das plantas e transporte de nutrientes no solo. A variabilidade espacial tem um importante papel neste processo, permitindo o reconhecimento de subáreas com melhor aeração, porém com menor capacidade de retenção de água o que proporciona a percolação e lixiviação de nutrientes, principalmente nitrato, para camadas mais profundas fora do alcance das raízes, em contrapartida, também é importante o reconhecimento de subáreas com maior capacidade de retenção de água nas camadas do subsolo pois estas podem apresentar menor velocidade de infiltração e condutividade hidráulica, submento este solo a um maior potencial erosivo. Os objetivos deste trabalho foram analisar a variabilidade espacial do teor de água no solo equivalente aos potenciais $\theta_{0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,5\text{MPa}}$ e teor de água disponível, avaliar suas correlações espaciais com a textura, densidade do solo e matéria orgânica em subsolo (0,80-1,00) de Latossolos formado sob condições de savana tropical e caracterizar a porosidade de retenção de cada subregião detectada nestes Latossolos. Em duas glebas, com 297 ha e 312 ha foram coletadas amostras deformadas e indeformadas na profundidade 0,80-1,00 m para obtenção da textura, mineralogia, densidade do solo e de partículas, matéria orgânica e capacidade de retenção de água equivalente aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$, e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, geoestatística e análise de componentes principais. Analisando o alcance geoestatístico dos teores de água no solo foi possível observar uma variação de 600m ($\theta_{-1,500\text{MPa}}$ da gleba 1) e 865,32m ($\theta_{-1,500\text{MPa}}$ da gleba 2), o que denota a forte dependência espacial do teor de água no solo. Através do semivariograma cruzado para as glebas foi possível observar que a matéria orgânica tem um importante papel na variabilidade espacial dos conteúdos de água equivalentes à aeração e ao teor de água disponível no solo. No entanto, a capacidade de retenção de água no solo é dependente do teor de argila em um primeiro momento, e a influência da fração mineral da argila foi evidenciada neste estudo, pois subáreas com maior teor de caulinita apresentaram a menor densidade do solo, maior porosidade, capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas

Palavras-chave: Caulinita. Argila. Densidade do solo. Porosidade.

OLIVEIRA, José Francirlei. **Spatial variability of the physical-hidric attributes in Rhodic Yellow Red of the Cerrado Plateau**. 2011. 80 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

ABSTRACT

The soil water content exerts great impact in plant growth and transport of soil nutrients. The spatial variability has an important role in this process, allowing the knowledge of subareas with better aeration, but with lower holding water capacity which provides the percolation and leaching of the nutrients, specially nitrate, to deep layers away from roots, in contrast, is also important the knowledge with major holding water capacity in subsoil layers because this may show slower infiltration and hydraulic conductivity, subjecting it to greater soil erosive potential. The objectives of this work was to analyze the spatial variability of soil water content equivalent to the potential $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,5\text{MPa}}$ and plant available water, analyze their spatial correlations with texture, bulk density and organic carbon in subsoil (0,80-1,00m) of Oxisols formed under Savana conditions. In two fields, with 297 ha and 312 ha, were collected disturb and non-disturb samples in the 0,80-1,00 m depth . It were determined: particle size distribution, mineralogy, bulk density, particle density, organic matter and retention capacity of water in potential -0,001, -0,006, -0,100, and -1,500 MPa. Analyzing the scope geostatistical of water content in soil was possible to observe a range of 600m ($\theta_{-1, 500\text{MPa}}$ of field 1) and 865.32 m ($\theta_{-1, 500\text{MPa}}$ of field 2), demonstrating the strong spatial dependence of the content soil water. Through the cross semivariogram for the fields was observed that organic matter has a important role in spatial variability of water content equivalent to available water content and soil aeration. However, the ability to retain water in soil depends on soil clay content at first, and the influence of the clay mineral fraction was observed in this study because subareas with higher content of kaolinite showed a lower density, higher porosity , retention capacity and water availability for plants

Keywords: Kaolinite. Clay. Bulk density. Porosity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** – Grade amostral com malha regular de 175m nos 297 ha da gleba 1(a) e com malha regular de 200m nos 312 ha da gleba 2 (b). 34
- Figura 3.2** – Semivariogramas para o conteúdo gravimétrico de água em equilíbrio com os potenciais θ -0,001MPa (a), θ -0,006MPa (b), θ -0,100MPa (c) e θ -1,500MPa (d) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 1 e para os potenciais θ -0,001MPa (e), θ -0,006MPa (f), θ -0,100MPa (g) e θ -1,500MPa (h) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 2; a linha sólida representa o modelo de ajuste para obtenção dos valores experimentais..... 40
- Figura 3.3** – Semivariogramas cruzados entre o teor de carbono orgânico e o conteúdo gravimétrico de água em equilíbrio com os potenciais θ -0,001MPa (a), θ -0,006MPa (b), θ -0,100MPa (c) e θ -1,500MPa (d) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 1 e entre a densidade do solo e os potenciais θ -0,001MPa (e), θ -0,006MPa (f), θ -0,100MPa (g) e θ -1,500MPa (h) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 2; a linha sólida representa o modelo de ajuste para obtenção dos valores experimentais..... 42
- Figura 3.4** – Distribuição espacial dos teores de água equivalente aos potenciais θ -0,001MPa (a), θ -0,006MPa (b), θ -0,100MPa (c) e θ -1,500MPa (d) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 1 e aos potenciais θ -0,001MPa (e), θ -0,006MPa (f), θ -0,100MPa (g) e θ -1,500MPa (h) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 2..... 43
- Figura 4.1** – Grade amostral com malha regular de 175m nos 297 ha da gleba 1(a) e com malha regular de 200m nos 312 ha da gleba 2 (b) 49
- Figura 4.2** – Mapas da distribuição espacial dos agrupamentos formados nas glebas 1(a) e 2 (b) 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Estatística descritiva dos atributos físico-hídricos e matéria orgânica do subsolo (0,80-1,00m) dos 97 pontos coletados na gleba 1 e dos 78 pontos coletados na gleba 2	36
Tabela 3.2 – Parâmetros dos semivariogramas da textura, densidade do solo, carbono orgânico e dos potenciais θ -0,001MPa, θ -0,006MPa, θ -0,100MPa e θ -1,500MPa do subsolo (0,80-1,00 m) das glebas 1 e 2	38
Tabela 3.3 – Parâmetros dos semivariogramas cruzados entre carbono orgânico e os potenciais θ -0,001MPa, θ -0,006MPa, θ -0,100MPa e θ -1,500MPa do subsolo (0,80-1,00 m) da gleba 1 e entre a densidade do solo e os potenciais θ -0,001MPa, θ -0,006MPa, θ -0,100MPa e θ -1,500MPa do subsolo (0,80-1,00 m) da gleba 2	41
Tabela 4.1 – Autovalores para os quatro primeiros componentes e comunalidades resultantes da análise de componentes principais dos atributos físico-hídricos, mineralogia e matéria orgânica dos Latossolos das duas áreas (n=177)	52
Tabela 4.2 – Autovalores para os quatro primeiros componentes principais para textura, densidade do solo e de partículas, mineralogia, carbono orgânico e conteúdo de água equivalente aos potenciais θ -0,001MPa, θ -0,003MPa, θ -0,006MPa, θ -0,100MPa, θ -1,00MPa e θ -1,500MPa da camada subsuperficial (0,80-1,00m) da gleba 1 (n=97) e da gleba 2 (n=78)	54
Tabela 4.3 – Comparação entre os agrupamentos formados, com base nos atributos físico-hídricos, mineralogia e matéria orgânica para as glebas 1 e 2	56
Tabela 4.4 – Comparação entre os agrupamentos formados, com base na curva característica de água no solo para as glebas 1 e 2	57
Tabela 4.5 – Distribuição de poros por tamanho para os grupos formados no subsolo (0,80-1,00m) nas glebas 1 e 2	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	MINERALOGIA	14
2.2	TEXTURA	16
2.3	MATÉRIA ORGÂNICA	18
2.4	DENSIDADE DO SOLO	19
2.5	CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	21
2.5.1	Porosidade	23
2.5.2	Água Prontamente Disponível	25
2.6	VARIABILIDADE ESPACIAL	28
3	ARTIGO A: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO - HÍDRICOS EM LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO DO BIOMA CERRADO – I CORRELAÇÃO ESPACIAL	31
3.1	RESUMO	31
3.2	INTRODUÇÃO	32
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.3.1	Caracterização das Áreas	33
3.3.2	Amostragem e Análise dos Solos	33
3.3.3	Análise Estatística e Geoestatística	34
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.4.1	Caracterização das Propriedades dos Solos	35
3.4.2	Parâmetros Geoestatísticos	37
3.5	CONCLUSÕES	44
4	ARTIGO B: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO - HÍDRICOS EM LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO DO BIOMA CERRADO – II – POROSIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA	45
4.1	RESUMO	45
4.2	INTRODUÇÃO	46
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	48

4.3.1	Caracterização das Áreas.....	48
4.3.2	Procedimento de Amostragem e Análises.....	49
4.3.3	Análise Estatística	50
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.4.1	Análise de Componentes Principais.....	51
4.4.1.1	Análise global das duas glebas.....	51
4.4.1.2	Análise de componentes principais para as glebas 1 e 2.....	53
4.4.2	Delimitação das Zonas Homogêneas e suas Características Físico-Hídricas.....	55
4.4.2.1	Delimitação espacial	55
4.4.2.2	Caracterização da variabilidade físico-hídrica.....	56
4.5	CONCLUSÕES	49
5	CONCLUSÕES GERAIS	60
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICES	69
	APÊNDICE A	70
	APÊNDICE B.....	71
	APÊNDICE C	72
	APÊNDICE D	73
	APÊNDICE E.....	74
	APÊNDICE F	75
	APÊNDICE G	76
	APÊNDICE H	77
	APÊNDICE I.....	78
	APÊNDICE J.....	79
	APÊNDICE K	80

1 INTRODUÇÃO

A savana tropical no Brasil é representada pelo bioma Cerrado, cobre 24% do território brasileiro. Este bioma pode ser dividido em duas principais superfícies geomorfológicas, Sul Americana e Velhas.

Nessas superfícies há predominância dos Latossolos que, apesar da aparente homogeneidade, apresentam grande variabilidade espacial de atributos como mineralogia, granulometria, matéria orgânica, densidade do solo e, conseqüentemente, capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas.

A mineralogia dos Latossolos dessas superfícies pode ser explicada em uma escala local ou regional. Ela proporciona um efeito significativo na estrutura do solo, assim, os Latossolos caulíníticos, presente principalmente na superfície Velhas, apresentam maiores valores de densidade e microporosidade em relação aos Latossolos gibsíticos, presentes principalmente na superfície Sul Americana. Isto permite inferir uma diferença entre as propriedades hidráulicas e a capacidade de retenção de água destes solos. No entanto, as pesquisas acerca da formação dos microagregados e estrutura do solo influenciada pela mineralogia são controversas, sendo que existem relatos que essa relação se deve principalmente a origem biológica dessas estruturas e tem pouca relação com a mineralogia.

O manejo da água no solo é essencial para os sistemas agrícolas, particularmente na região dos Cerrado, devido às características climáticas bem definidas e por constantes períodos de seca no período chuvoso (veranicos). O conhecimento das variáveis envolvidas na capacidade do solo em disponibilizar água, especialmente nas camadas subsuperficiais, é fundamental para a sobrevivência das plantas no período de entressafra, sendo que o estudo da variabilidade espacial do subsolo permite o reconhecimento de regiões com menor capacidade de retenção de água.

Os objetivos desta dissertação foram analisar a variabilidade espacial da capacidade de retenção de água equivalente aos potenciais -0,001, -0,006, -0,100 e -1,500 MPa e sua correlação com a textura, densidade do solo e de partículas, mineralogia, matéria orgânica em profundidade (0,80-1,00m) de Latossolos do Cerrado, bem como caracterizar o funcionamento da capacidade de retenção e disponibilidade de água através da porosidade destas áreas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Um dos principais desafios para as gerações futuras, é com a manutenção e disponibilidade de água, visto que seu estoque é finito e sua escassez tem causado preocupação crescente, já se constituindo em fator limitante para o desenvolvimento econômico de vários países (BERRITTELLA et al., 2007; GOEDERT et al., 2008). Fraiture et al. (2001) observaram a necessidade de um investimento substancial na conservação da água, principalmente no aumento da eficiência do seu uso pela agricultura.

A utilização da água para irrigação tende a crescer junto com a demanda por alimentos, hoje esta tecnologia utiliza entre 65 a 75% da água doce consumida no mundo (FAO, 2009), portanto estudos devem ser feitos visando melhorar a eficiência tanto desta tecnologia, quanto do aproveitamento da água da chuva pelas culturas de sequeiro. Neste contexto, o solo é o principal recurso de disponibilidade de água para as plantas.

As savanas tropicais caracterizam-se pela distribuição anual das chuvas, com estações bem definidas: chuvosa e seca. Cobrem quase um quarto da superfície do globo terrestre, representam cerca de 50% do continente africano e significativa parcela na América do Sul. No Brasil ela corresponde à região do Cerrado, que cobre cerca de 206 milhões de hectares (aproximadamente 24 % de todo território brasileiro) e exerce um papel fundamental no cenário agrícola do país. A conservação e uso do solo em áreas já desmatadas é imprescindível para o contínuo desenvolvimento da agricultura (BALBINO et al., 2002a; MULLER; MARTHA JUNIOR, 2008).

Estudos detalhados como os de Carmo et al. (1984) e Motta et al. (2002) demonstraram que, apesar da grande variabilidade de solo no Cerrado, há predominância dos Latossolos, que ocupam cerca de 50 % de toda sua superfície.

Apesar da aparente homogeneidade, os Latossolos do Cerrado apresentam grande variabilidade de mineralogia, textura, matéria orgânica, densidade do solo e propriedades hidráulicas, a junção destes atributos caracteriza a capacidade do solo em disponibilizar água às plantas, e o entendimento desta interação ainda gera controvérsia.

2.1 MINERALOGIA

Em um estudo detalhado do Cerrado, com o objetivo de identificar as relações solo - superfície geomorfológica, Braun (1970) relataram a presença de duas principais superfícies. A primeira, conhecida como Superfície Sul Americana, cujos remanescentes constituem as chapadas atuais, apresentam declividade inferior a 3% e altitudes entre 900 e 1200 m. A segunda, conhecida como superfície Velhas, apresenta relevo mais inclinado a partir das bordas da primeira até os principais cursos de água, e altitude abaixo de 900 m.

Na superfície Sul Americana, em função da paisagem mais estável, encontra-se os Latossolos mais intemperizados do Brasil, reflexo do maior tempo de exposição ao intemperismo e lixiviação. A distribuição dos solos desta superfície ocorre em função do comprimento da chapada, em geral, encontra – se Latossolo Vermelho no centro e Latossolo Vermelho Amarelo ou Amarelo em direção à borda. Em chapadas mais curtas a presença de Latossolo Vermelho é menos evidente. Os solos desta superfície não apresentam, claramente, litodependência e sua distribuição é condicionada, principalmente, pelo regime hídrico (KER, 1997; MOTTA et al. 2002).

Na segunda superfície há evidência de maior influência do material de origem e os solos apresentam características mais variáveis. A presença de concreções lateríticas de pequeno tamanho misturada com material latossólico indica a mistura de material proveniente de superfícies mais altas. E, a partir da mistura de material pré intemperizado oriundo da primeira superfície e o intemperismo da rocha subjacente se formam os solos da segunda superfície, sendo que sua variabilidade é dependente da contribuição de cada um deles. Apesar da distinta característica de formação, as duas superfícies não mostram diferenças significativas quanto ao grau de desenvolvimento pedogenético, possivelmente esta semelhança se deve à contribuição do material pré intemperizado da primeira superfície (KER, 1997; MOTTA et al., 2002).

Em função do processo de formação, os Latossolos tendem a apresentar características químicas, morfológicas e mineralógicas mais homogêneas no perfil. Apresentam predominantemente quartzo na fração mais grosseira (silte+areia) e variadas quantidades de hematita, goetita, gibsitita e caulinita, dependendo do material de origem e processo de intemperismo e drenagem (CARMO et al., 1984; KER, 1997; GOMES et al., 2004a; MIGUEL; VILAR, 2009).

A mineralogia influencia as propriedades físicas dos diferentes tipos de Latossolo (FERREIRA et al., 1999a,b; AJAYI et al., 2009). Ghidin et al. (2006) estudando Latossolo oriundo de basalto, observaram uma forte e significativa relação entre os agregados do solo e a mineralogia, sendo que houve aumento da porosidade total e redução da densidade do solo em função da concentração dos óxidos de ferro.

Ferreira et al. (1999a,b) e Ajayi et al. (2009) estudaram a estrutura formada por Latossolos gibsítico e caulínítico. Observaram que o caulínítico apresentou macroestrutura subangular com ajuste face a face dos minerais, menor diâmetro médio geométrico de agregados e, conseqüentemente, maior densidade do solo e menor porosidade total, principalmente, macroporosidade; o gibsítico apresentou macroestrutura granular muito pequena com porosidade formada por empacotamento composto, ou seja, as faces dos microagregados não apresentam acomodação entre si e os poros foram fortemente interconectados e, conseqüentemente, apresentaram menor densidade e maior porosidade total. Estes autores observaram que a densidade do solo apresentou correlação significativamente positiva com os teores de caulinita e negativa com a gibsita.

Os minerais gibsita e caulinita predominam nos Latossolos das superfícies Sul Americana e Velha, respectivamente. Entretanto, podem apresentar uma variabilidade mineralógica considerável dentro da mesma superfície geomorfológica, de acordo com a topografia local (GOMES et al., 2004a,b; REATTO et al., 2008).

Apesar da variabilidade e diferenças estruturais proporcionadas pela mineralogia, Reatto et al., (2007) observaram que ela não interferiu nas propriedades hidráulicas dos Latossolos do Cerrado. Gomes et al. (2004a) observaram que os horizontes subsuperficiais dos Latossolos caulíníticos, podem apresentar estrutura forte muito pequena e granular, típica dos Latossolos mais intemperizados.

Neste contexto, Balbino et al. (2002b) estudando as modificações da porosidade e microagregação dos Latossolos do Cerrado, causadas pelo desmatamento e abertura para pastagens, observaram que a perturbação da paisagem modificou a porosidade e microagregação, principalmente, em função da alteração da fauna do solo, sendo que os microagregados entre 50 e 300 μm no Cerrado nativo foram atribuídos à atividade dos térmitas e os microagregados entre 500 e 1000 μm na pastagem foram relacionados à atividade biológica das minhocas.

Reatto et al. (2009) estudando o desenvolvimento estrutural de diferentes tipos de Latossolo do Cerrado, observaram que a microestrutura não foi influenciada pela posição no relevo ou material de origem e não apresentou correlação com a composição dos

horizontes diagnósticos, seja com a textura ou mineralogia da fração argila. Atribuíram à atividade biológica, principalmente, de térmitas e formigas, a origem dessas estruturas. Nos perfis analisados naquele trabalho foi observado que os microagregados apresentaram, predominantemente, uma fraca união entre si e porosidade próxima de 50%, porém em algumas partes dos mesmos perfis apresentaram – se mais densos, com menor espaço poroso, entre 20 e 35%.

A origem biológica dos microagregados dos Latossolos pode responder, em parte, as diferentes características estruturais dos Latossolos caulíníticos e a ausência do efeito da mineralogia nas propriedades hidráulicas do solo. Estudos são necessários para analisar o efeito das diferentes estruturas do perfil na capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas e também se estas estruturas apresentam variabilidade horizontal e, ou vertical com dependência espacial significativa.

2.2 TEXTURA

Em função de sua grande superfície específica, a argila é a parte mais ativa dentre as frações granulométricas, conseqüentemente, é a fração que exerce maior influência no comportamento do solo, inclusive na sua capacidade de retenção e disponibilidade de água, pelos efeitos de adsorção e capilaridade. Em relação à argila, as frações silte e areia são consideradas inertes, e constituem o esqueleto do solo (BAVER et al., 1972; HILLEL, 1998).

O fenômeno da adsorção é um processo entre interfaces resultante de diferentes forças de atração ou repulsão entre moléculas ou íons em diferentes fases. Pode – se fazer uma distinção entre adsorção e absorção, sendo que no primeiro ocorre uma relação entre superfícies e no segundo uma fase penetra na outra. A adsorção da água na superfície das argilas geralmente é um processo eletrostático em função da natureza bipolar da molécula de água, sendo este mecanismo responsável pela forte retenção da água em solos argilosos (BAVER et al., 1972; HILLEL, 1998).

A capilaridade ocorre em função do contato entre a parede do poro capilar e a água, que formará um menisco como resultado do ângulo de contato formado entre as duas superfícies. A curvatura do menisco será maior quanto mais estreito o diâmetro do poro (HILLEL, 1998).

Conhecida a importância da argila na umidade do solo sabe-se que, morfologicamente, os Latossolos do Cerrado apresentam fraca diferenciação vertical, no entanto, o teor de argila varia muito entre os Latossolos (de 6 a 83%), principalmente naqueles da superfície Velha (KER, 1997; BALBINO et al., 2002a; GOMES et al., 2004a).

Diversos trabalhos comprovam o efeito da argila na umidade do solo. Gomes et al. (2004b) estudaram, em horizontes superficiais de Latossolos da superfície Sul Americana e Velha, as variáveis relacionadas com a retenção e disponibilidade de água e verificaram que houve uma sobreposição dos efeitos da argila, carbono orgânico e retenção de água e, que a argila, em um primeiro momento, exerceu maior influência nas propriedades hidráulicas daqueles solos. Balbino et al. (2004) e Reichert et al. (2009) observaram que o efeito da argila nas propriedades hidráulicas é tão significativo a ponto de permitir boa predição destas propriedades a partir de equações de pedotransferência. Reichert et al. (2009) observaram que os solos de textura arenosa apresentaram menor capacidade de água disponível, em função da menor superfície específica.

Em detrimento do alto grau de intemperismo, os valores de argila dispersa em água são muito baixos, indicando alto grau de estabilidade dos agregados que lhes conferem uma drenagem excessiva, condizente com valores obtidos em solos arenosos (CARMO et al., 1984; BALBINO et al., 2002a; MIGUEL; VILAR, 2009).

Em função destas características percebe - se que a participação da argila ocorre principalmente nos pontos de baixa tensão, próximos do ponto de murcha permanente e as propriedades hidráulicas próximas da capacidade de campo são influenciadas pela relação entre a argila e outros atributos do solo como sua densidade ou porosidade.

Majou et al. (2007) mostraram que a variação das propriedades hidráulicas do solo pode ser predita através de dados da granulometria e densidade do solo, e concluíram que as equações múltiplas de pedotransferência que utilizam a densidade do solo apresentaram melhor predição que aquelas compostas unicamente pela granulometria.

Van den Berg et al. (1997) estudaram as características de retenção de água dos Latossolos e observaram que o intervalo entre as tensões – 10 e - 1500 kPa foi influenciado não apenas pela argila mas também pela densidade do solo.

Reatto et al. (2007) estudando as propriedades hidráulicas de horizontes diagnósticos dos Latossolos ao longo de uma topossequência regional, não observaram o efeito da matéria orgânica ou mineralogia nas propriedades hidráulicas. Contudo, concluíram que a porosidade explicou a maior parte da variância dos dados de retenção até a tensão – 300 kPa e, que a partir desta, a argila apresentou melhor correlação com as propriedades

hidráulicas. Assim, as propriedades hidráulicas dos Latossolos são influenciadas principalmente pelo teor de argila e desenvolvimento de canais de poucos milímetros de diâmetro e cavidades de poucos centímetros oriundos da atividade dos térmitas.

Ciachota e van Lier (2004), estudando a variabilidade espacial das propriedades hidráulicas de um Latossolo Vermelho amarelo álico, observaram que com o aumento da profundidade do solo os valores de umidade tendem a se tornar mais homogêneos em função do aumento dos teores de argila e homogeneidade da estrutura do solo no perfil.

O aumento dos teores de argila não significa, necessariamente, aumento na disponibilidade de água para as plantas, como observaram Van den Berg et al. (1997), Gomes et al. (2004a) e Reichert et al. (2009).

Embora a argila tenha capacidade de aumentar o teor de umidade do solo, a amplitude entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, geralmente, não se altera. Estes resultados demonstram que apenas o conhecimento dos teores de argila não responde satisfatoriamente a capacidade do solo em disponibilizar água para as plantas e, quando o objetivo é aumentar a eficiência do uso da água pela agricultura temos que considerar outras variáveis envolvidas neste processo, como matéria orgânica e densidade do solo, o que não está de acordo com Reatto et al. (2007).

2.3 MATÉRIA ORGÂNICA

Diversos autores constataram a influência positiva da MO nas propriedades físicas de diferentes classes de solo. Barzegar et al. (2002) e Zhang et al. (2007) observaram que o aumento da MO melhorou a estrutura e aumentou a porosidade do solo, resultando em maior teor de água em pontos de baixa tensão e melhor taxa de infiltração no solo saturado, tornando - o assim, menos susceptível ao estresse hídrico ou ao arraste de partículas.

O aumento da umidade em baixas tensões proporcionada pela MO é um efeito benéfico para solos de granulometria arenosa e, em regiões áridas e semi-áridas por limitar a descida da água para camadas mais profundas, saindo do alcance das raízes. (HU et al., 2008).

No entanto, Beutler et al. (2002) observaram para MO o mesmo efeito da argila, ou seja, quando a MO eleva a capacidade de retenção de água no solo, eleva também o ponto de murcha permanente, não alterando a quantidade de água disponível para as plantas.

Portanto, sistemas agrícolas que proporcionam maior aporte de MO ao solo auxiliam, direta ou indiretamente, a eficiência do uso da água pela agricultura, em função da melhor estruturação e aumento da capacidade de retenção de água. Entretanto, sua relação com a disponibilidade de água ainda não é consenso.

2.4 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo (D_s) representa a relação entre a massa de solo, em seu estado natural, e o volume ocupado pelo mesmo. Nesta relação estão inclusos o material sólido e o espaço vazio do solo, que têm uma relação direta com as propriedades hidráulicas do mesmo. Assim, a D_s é uma importante ferramenta para análise de riscos ambientais e do estado da qualidade física do solo (BIRKÁS et al., 2004; REYNOLDS et al., 2002, 2007).

Assim como o arranjo dos microagregados, a mineralogia e textura interferem nos valores da D_s , por exemplo, Latossolos caulíníticos apresentaram maior D_s que os gibsíticos, em função do ajuste face a face das placas de caulinita, desenvolvendo um plasma mais denso que um Latossolo gibsítico (FERREIRA et al., 1999b).

Contudo, Volland-Tuduri et al. (2005), estudando horizontes diagnósticos de Latossolos de textura semelhante do Cerrado, observaram que a D_s não foi influenciada pelo teor de argila, e que ela foi significativamente maior no solo sob pastagem, quando comparado ao Cerrado nativo, pelo fato de a D_s estar correlacionada, principalmente, com o arranjo e tamanho dos microagregados. Os autores afirmaram ainda que a diferença de D_s entre os diferentes usos do solo ocorreu devido a diminuição da proporção de microagregados com diâmetro menor que 0,84 mm na pastagem e concluíram que a formação dos microagregados foi influenciada, principalmente, pela atividade biológica. E, também que a D_s pode ser utilizada para um estudo mais detalhado das modificações estruturais do solo.

Em relação as propriedades hidráulicas, Gomes et al. (2004a), estudando horizontes superficiais de Latossolos do Cerrado, observaram em solos com a mesma textura, que a densidade do solo apresentou influência significativa nas propriedades hidráulicas. Concordando com Van den Berg et al. (1997), Majou et al. (2007) e Reichert et al. (2009) que propuseram equações de pedotransferências para determinação da curva de retenção de água do solo, e com Reynolds et al. (2002, 2007) que estudaram o efeito da D_s nos parâmetros de armazenamento de água do solo.

Balbino et al. (2004), analisando o efeito do desmatamento do Cerrado nativo para implantação de pastagens nas estruturas do solo e nas propriedades hidráulicas, observaram que abaixo de 0,40 m de profundidade o Cerrado nativo e a pastagem não apresentaram estrutura e D_s significativamente diferentes e, conseqüentemente, as propriedades hidráulicas foram semelhantes entre as duas áreas estudadas.

A D_s pode influenciar as propriedades hidráulicas do solo, porém, em diferentes teores de argila e, ou densidade do solo a disponibilidade de água pode ser homogênea (VAN DEN BERG et al., 1997; REYNOLDS et al., 2002; GOMES et al., 2004a; DUFFERA et al., 2007; REICHERT et al., 2009).

No entanto, Marchão et al. (2007), em horizontes superficiais de um Latossolo, estudando os efeitos de diferentes sistemas de integração lavoura pecuária sobre a qualidade física do solo, observaram que os sistemas de manejo aumentaram a D_s e, conseqüentemente, a capacidade de retenção e disponibilidade de água em relação ao Cerrado. Asgarzadeh et al. (2010), estudando diferentes teores de água disponível obtido pelo método tradicional, intervalo hídrico ótimo e capacidade integral de água e se estes valores têm relação com o Índice S proposto por Dexter et al. (2004), em horizontes superficiais de solos com distintas características texturais e químicas, apesar das críticas acerca do método tradicional, observaram que a quantidade de água disponível obtida não foi diferente entre os métodos. Ressaltaram ainda que os mesmos não apresentaram relação com a textura ou matéria orgânica, e apresentaram uma correlação significativa com a D_s e com o Índice S.

Para solos de textura fina a média, o intervalo ótimo da densidade para o máximo de produtividade das culturas está entre 0,90 e 1,20 g cm⁻³. Valores acima deste promovem queda no rendimento das culturas devido à deficiência de aeração, e valores abaixo de 0,90 g cm⁻³, potencialmente, causam queda de rendimento devido à redução da capacidade de água disponível, do fluxo de água no solo insaturado e redução da disponibilidade de nutrientes às raízes (REYNOLDS et al., 2009). Amplitude semelhante foi relatada por Balbino et al. (2002a) e Reatto et al. (2009), cujos valores de densidade dos Latossolos do Cerrado situaram-se entre 0,80 e 1,20 g cm⁻³. Assim, percebe-se que os Latossolos com densidade abaixo do mínimo relatado, podem apresentar baixa capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas. Contudo, esses valores limites devem ser tomados como balizadores apenas, uma vez que dependo da estrutura e do uso do solo e das condições em que foram avaliados, esses limites podem ser ampliados, como em Tormena et al. (1999) e Beutler et al. (2005) que observaram amplitude de 0,95 a 1,32 g cm⁻³ e um patamar de 1,40 g cm⁻³, respectivamente.

De modo geral, percebe-se que, em um primeiro momento, há divergências acerca da influência das características do solo na sua D_s e também que ela influencia significativamente as propriedades hidráulicas do solo. Porém, assim como a fração argila e a MO, a análise da D_s , unicamente, não responde satisfatoriamente ao volume de água disponível para as plantas. A umidade próxima da capacidade de campo sofre maior influência da densidade do solo e aquela próxima do ponto de murcha permanente é influenciada pela superfície específica da argila e, como a concentração de argila pouco interfere na disponibilidade, a quantidade de água possível de ser absorvida pela planta é reflexo da maior ou menor influência do arranjo dos agregados, representados pela densidade do solo no intervalo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Em grandes áreas com textura homogênea este efeito pode ser ainda maior, porém em solos de granulometria média e arenosa a participação da matéria orgânica, que reveste a fração areia tornando – a quimicamente mais ativa, torna esta relação ainda mais complexa.

2.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A variabilidade do teor de água por unidade ou volume de solo, bem como seu potencial matricial afeta diretamente o desenvolvimento das plantas. Em solos argilosos a umectação - dessecação e mudança de umidade afetam diretamente algumas propriedades como a densidade, porosidade total e distribuição do tamanho de poros. A umidade do solo também governa a entrada de ar e trocas gasosas entre ele e a atmosfera, processo que afeta diretamente a respiração das raízes, atividade microbiana e o estado químico do solo (oxidação – redução) (HILLEL, 1998; ASGARZADEH et al., 2010).

Assim, para aumentar a eficiência do uso da água pela agricultura é de fundamental importância o conhecimento das características de retenção de água nos solos insaturados, usualmente representada pela curva de retenção de água no solo (CRAS), que expressa a quantidade de água presente no solo e seu estado energético, através do grau de saturação e potencial mátrico, respectivamente (HILLEL, 1998; ZHANG, et al., 2007). Não há uma metodologia padrão para determinação da CRAS, ela pode ser obtida pelos métodos: gravimétrico, resistência elétrica ou sonda de nêutrons (que apresenta uma vantagem em relação ao gravimétrico por ser menos trabalhoso, mais rápido e não destrutivo) (HILLEL, 1998).

Além dos citados acima, para determinação da curva de retenção de água no solo, tem-se o método da câmara de pressão de Richards e o da centrífuga. Centurion et al. (1997) observaram que a CRAS determinada pela câmara de pressão promove maior variabilidade dos dados e está mais propensa ao efeito da histerese, quando comparado ao método da centrífuga, que apresenta algumas vantagens pois, independe do contato entre a amostra e a placa porosa, é determinada mais rapidamente e minimiza os efeitos da histerese por não exigir adição de água após atingir o equilíbrio a uma determinada pressão, envolvendo então, uma única saturação no processo. Freitas Junior e Silva (1984) e Silva e Azevedo (2002) também atestam as vantagens do método da centrífuga.

A centrifugação de uma amostra previamente saturada gera um potencial matricial crescente que está relacionado diretamente com a velocidade angular e o raio da centrífuga, a equação que demonstra esta correlação pode ser estudada com mais detalhes em Freitas Junior e Silva (1984).

Para determinação do gráfico da CRAS pode-se utilizar a forma expedita, que obtêm a curva a partir dos dados reais, no entanto, dificilmente eles apresentam qualidade necessária para que detalhes sejam observados. O gráfico também pode ser obtido através de equações matemáticas, sendo a similaridade entre os métodos (matemático ou forma expedita) dependentes da qualidade das equações utilizadas (DEXTER, 2004). Uma destas equações, amplamente utilizada foi proposta por Van Genuchten (1980) e pode ser expressa como:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \psi)^n]^m}$$

Sendo θ o teor de água volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), θ_s e θ_r teor de água na saturação e residual, respectivamente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), α o parâmetro de ajuste da curva de retenção (kPa^{-1}), ψ a sucção matricial, n e m os parâmetros de ajuste relacionados à distribuição dos poros e simetria da curva, respectivamente.

Sob o ponto de vista prático é suficiente adotar a umidade residual de um solo na tensão $\psi = -1500 \text{ kPa}$, mesmo em casos onde uma diminuição ainda maior da tensão resulte em maior dessorção de água do solo, especialmente em solos com textura fina. Pois, mudanças de umidade abaixo desta tensão são pouco importantes para problemas agrônômicos e podem ser inconsistentes com o formato geral da curva de retenção (VAN GENUCHTEN, 1980; KLEIN et al., 2006; COSTA et al., 2009).

Hillel (1998) e Miguel e Vilar (2009) ressaltaram que a CRAS pode variar entre as diferentes classes de solo. Neste contexto, Dexter (2004) concorda que a curva de retenção de água apresenta sensibilidade suficiente para mostrar diferentes níveis estruturais do solo, inclusive um que esteja degradado, pois um solo nestas condições apresenta uma diminuição tanto da assíntota superior (ponto de saturação) quanto do ponto de inflexão da curva.

Marchão et al. (2007) estudaram o efeito de diferentes sistemas de integração lavoura pecuária nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo, e observaram que a curva de retenção de água no solo foi sensível para determinar os diferentes impactos do manejo nos atributos do solo. Birle et al. (2008) utilizando a CRAS, observaram que o aumento da densidade afetou a macroporosidade e aumentou o grau de saturação do solo, para um mesmo teor de umidade.

Além da relação com a densidade do solo, a CRAS permite o conhecimento de alguns importantes indicadores de qualidade do solo, dentre eles a quantificação da porosidade em classes de diâmetro de poros e a capacidade de água disponível às plantas.

2.5.1 Porosidade

As classes de diferentes diâmetros de poros podem ser obtidas através da relação entre a umidade e o potencial matricial da água no solo.

$$D=4\sigma\cos\theta/h$$

Sendo D o diâmetro do poro (μm), σ a tensão superficial da água (0,727 bar μm a 20°C), θ o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como zero) e h a tensão da água no solo (kPa).

A importância de estudo da porosidade está no fato de que a aeração, infiltração e movimentação de água e nutrientes no solo são dependentes deste (HILLEL, 1998) e o reflexo do distúrbio do solo pode ser observado nas camadas mais profundas que aquelas alcançadas pelo manejo Weisskopf et al. (2010).

Neste contexto, diversos estudos acerca da porosidade são feitos para melhor entender os efeitos dos diferentes manejos na estrutura do solo e sustentabilidade dos agroecossistemas.

A classificação do diâmetro de poros ainda é divergente na literatura, porém Pagliai et al. (2004) utilizando técnicas de micromorfologia e intrusão de mercúrio, relataram que a macroporosidade pode ser representada por poros com diâmetro maior que 50 μm e a microporosidade os poros com diâmetros menores que este. Estes autores, avaliando a porosidade do solo, observaram que o cultivo mínimo aumenta os poros de armazenamento de água no solo (diâmetro de poros variando de 0,5 a 50 μm) e a conectividade dos poros com diâmetro entre 50 e 500 μm .

Poros com diâmetro maior que 50 μm são responsáveis pela velocidade de infiltração e drenagem da água no solo e, conseqüentemente, exercem maior influência na capacidade de aeração do solo. Weisskopf et al. (2010) observaram que o manejo promoveu redução da porosidade de aeração que interferiu significativamente na atividade biológica do solo, especificamente na capacidade de nitrificação.

A capacidade de retenção de água do solo é caracterizada por poros com diâmetro entre 50 e 0,29 μm , e a influência da textura ou estrutura do solo na formação desta classe de poros precisa ser melhor entendida pois trabalhos como os de Duffera et al. (2007), Reichert et al. (2009) e Oliveira et al. (2010) mostraram que, mesmo sob ampla variação textural a disponibilidade de água às plantas permaneceu homogênea, porém Marchão et al. (2007) avaliando diferentes sistemas de integração lavoura pecuária, observaram a influencia destes manejos na classe de mesoporos e, conseqüentemente, na densidade do solo, aumentando assim a disponibilidade de água às plantas.

Neste contexto, Tavares Filho e Tessier (2010) observaram, em dois Latossolos com diferentes teores de gibsitita, que houve modificação estrutural e porosa do solo até a camada de 60 cm de profundidade em função do manejo e, ao qualificarem e quantificarem a porosidade, constataram a influência da mineralogia na porosidade, sendo que o Latossolo mais gibsítico apresentou maior porosidade em relação ao caulínítico, independente do sistema de manejo. E ainda Morales et al. (2010) observaram que as bactérias e os fungos podem interferir significativamente na capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas, em função das modificações causadas na porosidade do solo bem como a característica hidrofóbica da matéria orgânica que acaba por criar colunas de fluxos de água no solo, principalmente em solos de clima árido. Poucos são os trabalhos

que avaliaram os efeitos das bactérias e fungos na porosidade e capacidade de retenção de água em solos tropicais.

Balbino et al. (2002, 2004) e Reatto et al. (2007, 2009) estudaram as propriedades hidráulicas especificamente dos horizontes diagnósticos porém não abordaram nos respectivos trabalhos a discussão acerca classes de diâmetros dos poros, embora tenham demonstrado que há uma variabilidade significativa da porosidade no perfil dos Latossolos e que estes solos não apresentam-se homogêneos como são classificados conceitualmente.

Volland-Tuduri et al. (2005) observaram um importante efeito da matéria orgânica na capacidade de compressão-dilatação dos microagregados de Latossolos, capacidade esta que pode diminuir o volume de poros destes solos. Reatto et al. (2009) observaram que o mesmo perfil de Latossolo apresenta diferentes arranjos dos microagregados e, conseqüentemente, diferente volume de poros no perfil.

Assim sabe-se que o horizonte diagnóstico dos latossolos apresenta uma variabilidade quanto ao volume de poros e poucos estudos foram feitos para averiguar se esta variabilidade apresenta alguma dependência espacial que resulta em diferentes unidades cartográficas no mesmo Latossolo, com diferente capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas.

2.5.2 Água Prontamente Disponível

Um dos métodos para obtenção dos teores de água disponível às plantas no solo é aquele obtido pela diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. No entanto, alguns autores como Reichardt (1988), Hillel (1998) Ruiz, (2003) e Asgarzadeh et al. (2010), criticaram os conceitos envolvidos nestes fatores.

O movimento da água em solos não saturados pode ser descrito pela equação de Darcy – Buckingham e ocorre de acordo com as características de condutividade hidráulica e do seu potencial total:

$$q = -k(\theta) \times \text{grad } \psi$$

Onde, q é a densidade do fluxo de drenagem de água, $k(\theta)$ a condutividade hidráulica do solo ($m s^{-1}$), que é altamente dependente da umidade θ ($g g^{-1}$), e $grad \psi$ é o gradiente do potencial total da água.

Em um solo saturado, a razão do teor de água no solo muda com o tempo em função da drenagem e redistribuição interna (condutividade hidráulica associada com potencial gravimétrico e mátrico), esta movimentação tende a diminuir com o tempo podendo apresentar comportamento insignificante depois de poucos dias (1 a 2 dias). O teor de água que fica retida no solo depois que o excesso é drenado é conhecido como “capacidade de campo” (CC) (HILLEL, 1998).

Ruiz, (2003) observou que testes de laboratório apresentaram valores próximos aos obtidos no campo, quando a capacidade de campo é analisada em Neossolos Quartzarênicos e Latossolos. Contudo, o autor relatou que tal conceito deve ser utilizado com cautela, pois induz a uma avaliação onde há um equilíbrio estático e intrínseco, ou seja, onde ocorre uma descontinuidade abrupta na transição dos poros drenáveis (macroporos) para os poros capilares (microporos), e que é uma característica inerente ao solo. Este tipo de abordagem é questionável, pelo fato da movimentação da água no solo ser contínua e variável no espaço e no tempo (REICHARDT, 1988; HILLEL, 1998).

A equação de Darcy – Buckingham mostra que, para que haja uma interrupção na densidade de fluxo de água no solo (fluxo) é preciso que ao menos um fator se anule, ou a condutividade hidráulica ou o potencial total da água no solo. É bem verdade que a condutividade hidráulica diminui drasticamente com o tempo de drenagem, principalmente devido à sua forte dependência da umidade, assim, a condutividade é nula quando a umidade é zero, porém, esta situação é praticamente impossível (REICHARDT, 1988).

O segundo componente da equação, gradiente do potencial total, é representado principalmente pelo potencial gravitacional e matricial. Quando o solo apresenta-se saturado o potencial matricial é zero e há predomínio do efeito gravitacional, com maior tempo de drenagem o inverso é verdadeiro, ou seja, o efeito do potencial gravitacional é zero e o matricial passa a predominar na movimentação da água no solo. O potencial matricial apresenta uma relação direta com a umidade, ou seja, quanto menor a umidade menor o potencial mátrico da água no solo passando de zero (condição de solo saturado) para valores negativos que podem anular o gradiente do potencial total, sendo esta condição de fluxo de drenagem o real ponto de capacidade de campo. Porém, para que isto ocorra o tempo necessário é de semanas ou meses, dependendo da textura do solo, principalmente se este apresentar granulometria fina (REICHARDT, 1988; HILLEL, 1998).

Assim, percebe-se a dificuldade de se considerar desprezível a densidade de drenagem do fluxo de água no solo, sendo o principal fator de redução do fluxo de drenagem a condutividade hidráulica. Devido à dinâmica do processo de capacidade de campo talvez fosse mais conveniente determinar esta capacidade em função da condutividade e não do potencial matricial; contudo, isto não é feito devido à dificuldade metodológica da condutividade em relação à obtenção do potencial matricial (REICHARDT, 1988).

Talvez a capacidade de campo seja um índice mais apropriado para análise de solos arenosos, que retém menos água e possuem drenagem relativamente mais rápida do que os argilosos. Em solos arenosos a maioria dos poros drena rapidamente após uma chuva ou irrigação e sua capacidade de retenção capilar é bem menor que a de solos de textura mais fina (HILLEL, 1998; JABRO et al., 2009). Entretanto, apesar das críticas acerca do conceito e a aplicabilidade em solos arenosos, talvez seja viável seu estudo para avaliação dos atributos físico-hídricos dos Latossolos em função das características dos microagregados destes solos, que lhes conferem comportamento hídrico semelhante aos solos mais arenosos (RUIZ, 2003; MIGUEL; VILAR, 2009).

Além das críticas ao conceito, não há consenso no meio científico sobre qual tensão representa melhor o equilíbrio entre o potencial matricial e a umidade do solo (capacidade de campo). Em geral, encontram-se trabalhos que utilizam as tensões de -6, -10 e -33 kPa. Entretanto, sabe-se que a tensão -33 kPa é mais apropriada à solos de clima temperado devido à presença de argilas mais ativas. Em solos tropicais, com predominância de caulinita e óxidos de ferro e alumínio, a tensão que melhor representa a capacidade de campo, proposta por Reichardt (1988), e confirmada por Ruiz (2003) e Miguel e Vilar (2009), ocorre entre -6 e -10 kPa. Para os Latossolos do Cerrado, Marchão et al. (2007) utilizaram o potencial de -6 kPa, e Klein et al. (2006) verificaram que -10 kPa representa melhor o conceito da capacidade de campo para os latossolos. Vale ressaltar que não há embasamento teórico para estas tensões serem consideradas como capacidade de campo, porém não há nada de errado em adotá-las, desde que se compreenda que trata-se de um processo dinâmico (REICHARDT, 1988).

Semelhante ao conceito de capacidade de campo, a metodologia para obtenção da quantidade de água disponível para as plantas é estática e não considera alguns fatores importantes como a dinâmica da água no solo, tipo de planta e sua capacidade de absorver água a um potencial maior que a capacidade de campo ou menor que a umidade residual, a concentração de oxigênio no solo, um possível impedimento mecânico para o desenvolvimento das raízes ou outros processos físicos que afetem a absorção de água pelas

raízes das plantas (CARLESSO, 1995; ASGARZADEH et al., 2010). E também pelo fato de não haver consenso da tensão que determina a capacidade de campo de um solo, como discutido anteriormente.

Apesar das críticas ao conceito, o conhecimento da capacidade do solo em disponibilizar água para as plantas é amplamente utilizado (CARLESSO, 1995; VAN DEN BERG et al., 1997; REYNOLDS et al., 2002, 2007; GOMES et al., 2004a; DUFFERA et al., 2007; MARCHÃO et al., 2007; REICHERT et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2010; ASGARZADEH et al., 2010).

Oliveira et al. (2010) observaram maior volume de exudato no xilema da planta, quando ocorreu redução do tamanho dos agregados e aumento da disponibilidade de água no solo. E, Lawes et al. (2009) observaram a importância da capacidade de retenção e disponibilidade de água às plantas e concluíram que este atributo interferiu significativamente nas produtividades de trigo em ambiente mediterrâneo, principalmente, nas épocas onde a disponibilidade de água está abaixo da média necessária para as plantas.

Para aumentar a eficiência de uso da água pela agricultura é necessário o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos envolvidos no processo de retenção e disponibilidade de água para as plantas.

2.6 VARIABILIDADE ESPACIAL

O manejo do solo e das culturas em função das diferenças espaciais e temporais caracteriza a agricultura de precisão. Preocupada em otimizar a utilização dos recursos naturais ou sintéticos, busca melhorar o rendimento econômico com menor impacto ambiental.

Avanços significativos da agricultura de precisão foram conseguidos com o advento e integração de tecnologias como os sensores, computadores, sistema de posicionamento global (GPS), sistemas de informação geográfica (SIG) e sensoriamento remoto, sendo que dentre estes, o computador é o mais importante pela capacidade de armazenamento e análise de grande volume de dados utilizados (COELHO, 2000).

A integralização entre os conhecimentos da variabilidade espacial e temporal das propriedades envolvidas na capacidade de retenção e disponibilidade da água do solo como: argila, matéria orgânica e densidade do solo, e os recursos da agricultura de

precisão permitem melhor compreensão da dinâmica da produtividade das zonas homogêneas e utilização mais eficiente do solo e da água.

Shahandeh et al. (2010) observaram que as zonas de manejo para produção de milho podem ser obtidas com o conhecimento da variabilidade espacial do nitrato residual, textura e elevação do terreno. Zhu et al. (2009) estudando a relação entre os atributos hídricos e disponibilidade do nitrogênio para a cultura do milho, observaram que os solos com textura mais fina, em função da menor condutividade hidráulica e maior capacidade de retenção de água durante o desenvolvimento do milho, apresentaram as maiores disponibilidades de nitrogênio para a cultura. Em contrapartida, solos com textura mais grosseira (>20% areia) apresentaram maior condutividade hidráulica e menor capacidade de retenção de água e disponibilidade de nitrogênio durante o desenvolvimento do milho. Constataram ainda que, quando os teores de nitrogênio não eram limitantes à produtividade, a quantidade de água disponível limitava a produção de biomassa do milho.

Neste contexto, Amado et al. (2007), para a cultura da soja, observaram que em anos com boa precipitação a produtividade foi boa e apresentou baixa variabilidade espacial, já em anos com precipitação abaixo da média houve queda de produtividade e aumento da variabilidade espacial. Isto mostra, indiretamente, a variabilidade espacial da capacidade que o solo tem de disponibilizar água à planta.

Para aumentar a eficiência do uso da água pela agricultura, Amaro Filho et al. (2007) estudaram a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho e observaram possíveis subáreas de manejo de acordo com a distribuição espacial da porosidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Relataram também que, apesar dos Latossolos serem bastante intemperizados e considerados relativamente homogêneos, os resultados apresentaram variabilidade considerável para os atributos argila, silte e teor de água na capacidade de campo e ponto de murcha permanente.

Duffera et al. (2007) com o objetivo de determinar a variável ou conjunto de variáveis que melhor definem a variabilidade do solo, observaram, através da geoestatística, que os atributos físicos foram distribuídos em duas categorias distintas. Um dos grupos foi formado pela distribuição da granulometria e pelos parâmetros hídricos do solo (teor de água e de água disponível), apresentando forte dependência espacial, sendo que quando um atributo apresenta forte dependência espacial, geralmente é controlado por variações intrínsecas do solo (CAMBARDELLA et al., 1994). Duffera et al. (2007) constataram que o melhor método para determinação de zonas homogêneas de manejo é através do mapa da granulometria.

Porém, observaram também que, mesmo com as diferenças significativas da distribuição espacial da granulometria os teores de água disponível mantiveram-se semelhantes.

Em contrapartida, Hedley e Yule (2009) estudando o mapeamento da água no solo em dois cenários de irrigação, constataram o aumento da eficiência do uso da água através do conhecimento diário da variabilidade espacial do teor de água disponível e capacidade de campo do solo. Starr (2005) observaram que os mapas de distribuição de água tem um papel importante na gestão da agricultura de precisão, principalmente dos recursos hídricos.

Assim, em função das divergências acerca do melhor atributo para determinação de zonas homogêneas, torna-se interessante o uso de diversas características e propriedades do solo para determinação destas zonas. E um dos métodos, já utilizado na agricultura, é a análise de agrupamentos. Ikenaga e Inamura (2008) que determinaram zonas homogêneas em 124 pequenas propriedades agrícolas no Japão em função de diversos atributos do solo e, Reyniers et al. (2006) que encontraram cinco zonas homogêneas de manejo ligadas à diferentes produtividades em função da posição na paisagem e propriedades de um solo argiloso no centro da Bélgica.

3 ARTIGO A: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO - HÍDRICOS EM LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO DO BIOMA CERRADO – I CORRELAÇÃO ESPACIAL

3.1 RESUMO E ABSTRACT

Resumo

O teor de água intervém no desenvolvimento das plantas e transporte dos nutrientes no solo. A variabilidade espacial tem uma importante implicação nestes processos, permitindo o reconhecimento de áreas com melhor aeração, porém com menor capacidade de retenção potencial perda de água e nutrientes por percolação e lixiviação profunda. O objetivo deste estudo foi analisar a variabilidade espacial do teor de água no solo equivalente aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,5\text{MPa}}$ em subsolo (0,80-1,00) de duas glebas (gleba 1 de 297 ha e gleba 2 de 312 ha). A camada 0,80-1,00m foi amostrada em malha regular de 175m para a gleba 1 e 200m para a gleba 2. Os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,5\text{MPa}}$ foram obtidos pelo método da centrífuga, o teor de água disponível foi obtido pela diferença entre os potenciais $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$, a textura pelo método da agitação lenta e o teor de carbono orgânico pelo método da oxidação por dicromato de potássio. Os resultados foram avaliados com a estatística convencional e geoestatística. A gleba 2 apresentou coeficiente de variação (CV) menor que 12% para o potencial $\theta_{-1,5\text{MPa}}$ mostrando-se mais homogênea que a gleba 1. O valor do alcance geoestatístico foi entre 600,00m ($\theta_{-1,5\text{MPa}}$ da gleba 1) e 865,32m ($\theta_{-1,5\text{MPa}}$ da gleba 2) ressaltando a forte dependência espacial do teor de água no solo. A dependência cruzada entre o teor de carbono orgânico da gleba 1 e a densidade do solo da gleba 2 e o teor de água no solo apresentou que nas condições destas duas glebas um manejo sustentável deve primar para o aumento do teor de carbono orgânico no solo.

Palavras-chave: Argila. Densidade do solo. Semivariograma cruzado.

Abstract

The water content involved in plant growth and transport of soil nutrients. The spatial variability has an important implication of these processes, allowing the recognition of areas with better aeration, but with less capacity to water retention and potential loss of nutrients by leaching and deep percolation. The aim of this study was to analyze the spatial variability of soil water content equivalent to potential $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ and $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ in subsoil (0.80 to 1.00) of two fields (field 1 of 297 ha and field 2 of 312 ha). 0.80 to 1.00 m layer was sampled at regular grid of 175m to field 1 and 200m to field 2. The potential $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ and $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ were obtained by the centrifuge method, the amount of available water was calculated as the difference between potential $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ and $\theta_{-1,500\text{MPa}}$, the texture by the method of slow agitation and organic carbon content by the method of oxidation by potassium dichromate. The results were evaluated with conventional statistics and geostatistics. The second field showed coefficient of variation (CV) less than 12% of the potential $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ becoming more homogeneous than the field one. The amount of

geostatistical range was between 600.00 m ($\theta_{-1,500\text{MPa}}$ field 1) and 865.32 m ($\theta_{-1,500\text{MPa}}$ field 2) underscoring the strong spatial dependence of water content in soil. The cross-dependence between the organic carbon content field 1 and a bulk density field 2 and the water content in soil showed that the conditions of these two fields sustainable management must take precedence to the increase in organic carbon in soil.

Keywords: Clay. Bulk density. Cross-semivariogram.

3.2 INTRODUÇÃO

O movimento da água no solo pode ser caracterizado por um processo contínuo, sem início ou fim, porém pode-se conceber que este ciclo inicia-se com a entrada de água no solo pelo processo de infiltração, continua com o armazenamento temporário da água no solo e termina com sua remoção por drenagem, evaporação ou absorção pela planta. A água no solo representa uma pequena parcela do ciclo hidrológico com um todo, porém tem um papel fundamental na sustentabilidade dos agroecossistemas por controlar o desenvolvimento das plantas e influenciar diversos processos no solo, incluindo a erosão, atividade biológica, lixiviação de nutrientes, dentre outros (HILLEL, 1998). Considerando o cenário atual de mudanças climáticas, onde o aumento dos eventos climáticos desfavoráveis terá impacto na escassez de água, a compreensão da variabilidade espacial da capacidade de retenção de água que englobe o teor de água disponível para as plantas será fundamental para o uso racional da água na produção de alimentos, principalmente nas camadas subsuperficiais.

O solo varia espacialmente. Esta variabilidade pode ser aleatória ou sistemática sendo que uma variação sistemática apresenta um consistente padrão espacial. Muitos são os estudos que relataram a variabilidade sistemática do conteúdo de água no solo sob diversas condições a exemplo de Grego e Vieira (2005), Starr (2005), Ersahin e Brohi (2006), Duffera et al. (2007), Amaro Filho et al. (2007). No entanto, o grau de organização varia de acordo com o solo e condições climáticas.

As Savanas tropicais apresentam grande variabilidade na disponibilidade de água para as plantas e aproximadamente 65% destas áreas ao redor do mundo apresentam problemas com estresse hídrico (GOEDERT et al., 2008). No Brasil as Savanas são representadas pela região do Cerrado, que cobre 24% de todo território brasileiro, sendo que 49% desta área é representada pela classe dos Latossolos (BALBINO et al. 2002a).

O conhecimento da variabilidade espacial do teor de água no solo equivalente à capacidade de aeração e dentro do intervalo que caracteriza o teor de água

disponível pode ser importante para manejar espacialmente as propriedades do solo, especialmente em subsuperfície tomando em conta a variabilidade espacial de percolação e lixiviação de nutrientes para fora do alcance das raízes.

Os objetivos deste estudo foram analisar a variabilidade espacial do teor de água no solo equivalente aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,5\text{MPa}}$ e teor de água disponível e avaliar suas correlações espaciais com a textura, densidade do solo e matéria orgânica em subsolo (0,80-1,00) de Latossolos formado sob condições de savana tropical.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Caracterização das Áreas

O estudo foi conduzido no município de Planaltina – GO. A gleba 1 (G1) situa-se na superfície Velhas e consiste em uma área de 297 ha com coordenadas geográficas, no ponto central, de 15°, 32' S de Latitude e 47°, 67' W de Longitude e altitude média de 1000 m, a gleba 2 (G2) situa-se na superfície Sul Americana e consiste em uma área de 312 ha com coordenadas geográficas, no ponto central, de 15°, 37' S de Latitude e 47°, 32' W de Longitude distante cinco quilômetros em linha reta da primeira e altitude média de 1068 m.

3.3.2 Amostragem e Análise dos Solos

As áreas foram amostradas em um grid regular espaçado de 175 m para G1 e 200 m para a G2, resultando em 97 e 78 pontos de coleta para cada gleba, respectivamente (Figura 1). A profundidade de coleta foi de 0,80-1,00 m buscando-se chegar o mais próximo do horizonte diagnóstico dos solos de cada gleba. Foi coletado com auxílio

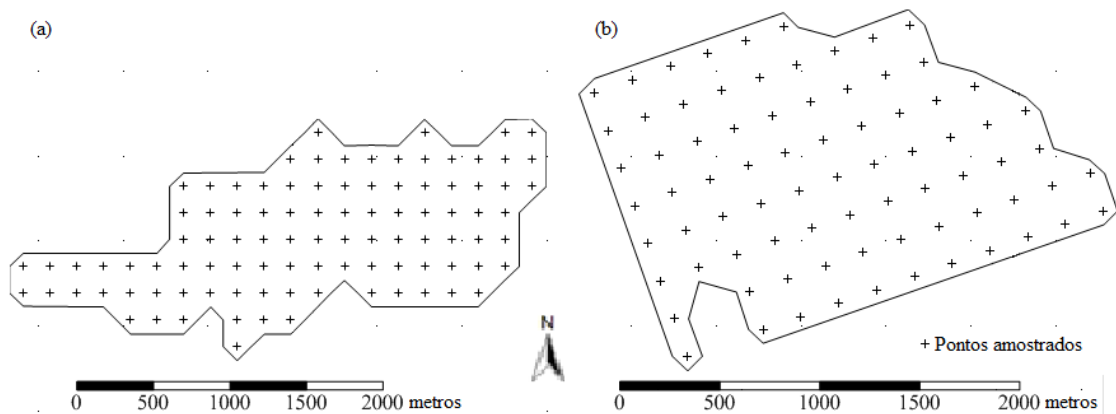


Figura 3.1 – Grade amostral com malha regular de 175m nos 297 ha da gleba 1(a) e com malha regular de 200m nos 312 ha da gleba 2 (b).

Para as 175 amostras foram analisados: o teor de argila, silte, areia fina e areia grossa pelo método da pipeta com agitação lenta por 16 horas e dispersão com NaOH 1N; o conteúdo de água em equilíbrio com os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ pelo método da centrífuga (FREITAS JUNIOR; SILVA, 1984); o teor de água disponível pela diferença entre os potenciais $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,5\text{MPa}}$; a densidade do solo pela massa do solo seco a 105 °C em $94,17 \text{ cm}^{-3}$; e o teor de carbono orgânico pelo método de oxidação por dicromato de potássio (EMBRAPA, 1997).

3.3.3 Análise Estatística e Geoestatística

A estatística descritiva, que incluiu a média, mediana, mínimo, máximo, coeficientes de variação, assimetria e curtose, foi calculada para todas as variáveis.

A variabilidade espacial dos atributos estudados foi analisada por meio do cálculo da semivariância $\gamma(h)$ (VIEIRA, 2000) baseada nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca através da equação:

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

Em que $\gamma^*(h)$ é a estimativa da semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$; h é a distância entre os pontos amostrais; e $N(h)$ é o número total de pares de pontos possíveis dentro da área de amostragem, com distância h .

Os semivariogramas que apresentaram dependência espacial foram ajustados com os modelos matemáticos esférico, exponencial e gaussiano que foram estabelecidos considerando a menor soma dos quadrados do resíduo e, o escolhido foi aquele que apresentou média e variância do resíduo mais próximo de zero e 1, respectivamente.

A classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e a contribuição $[C0/(C0+C1)]$, onde C0 é o efeito pepita e C1 a contribuição. O grau de dependência é expresso em porcentagem, e é considerado forte quando a razão for $\leq 25\%$, moderado quando $25\% < GDE \leq 75\%$ e fraco quando $> 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

Para averiguar a correlação espacial entre os atributos físico-hídricos foram construídos os semivariogramas cruzados (VIEIRA, 2000), que podem assumir valores positivos, indicando que o aumento de um atributo é acompanhado do aumento do outro, ou negativos, indicando que o aumento de um atributo promove decréscimo do outro (BATHI et al., 1991). Para a krigagem e construção dos mapas foi utilizado o programa SURFER 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Caracterização das Propriedades dos Solos

A gleba 1 apresentou teor médio de argila de 486,44 g kg⁻¹ (textura argilosa), e a gleba 2 de 784,40 g kg⁻¹ (textura muito argilosa). A G1 apresentou teor de areia fina de 336,0 g kg⁻¹ e a G2 de 41,0 g kg⁻¹. A densidade do solo na gleba 1 apresentou média de 1,03 g cm⁻³ e na gleba 2 de 0,90 g cm⁻³. O teor médio de matéria orgânica na G1 foi de 0,64 dag dm⁻³ e a G2 de 1,1 dag dm⁻³. O conteúdo gravimétrico de água equivalente aos potenciais $\theta_{-0,001MPa}$, $\theta_{-0,006MPa}$, $\theta_{-0,100MPa}$ e $\theta_{-1,500MPa}$ foram maiores na gleba 2 que na gleba 1, no entanto o teor de água disponível foi próximo entre as glebas (Tabela 1). De como geral, estes dados corroboram aos encontrados por Balbino et al. (2002b) e Reatto et al. (2007) que avaliaram topossequencia de diferentes Latossolos em escala regional no Bioma Cerrado.

Tabela 3.1 – Estatística descritiva dos atributos físico-hídricos e matéria orgânica do subsolo (0,80-1,00m) dos 97 pontos coletados na gleba 1 e dos 78 pontos coletados na gleba 2

Atributos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	C.V.	Coeficiente	
						Assimetria	Curtose
Gleba 1							
Argila (g kg ⁻¹)	486,44	447,20	224,00	846,00	36,97	0,48	-0,93
Silte (g kg ⁻¹)	112,72	99,48	25,74	496,53	58,67	2,39	10,9
A. fina (g kg ⁻¹)	335,57	371,36	53,15	605,90	47,85	-0,44	-1,09
A. grossa (g kg ⁻¹)	65,27	75,09	7,07	138,15	44,98	-0,19	-0,85
Ds (g cm ⁻³)	1,03	1,02	0,85	1,35	9,09	0,72	1,26
C.O. (dag cm ⁻³)	0,64	0,65	0,24	1,29	31,14	0,77	1,05
$\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,48	0,47	0,26	0,70	17,54	0,11	0,24
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,33	0,33	0,21	0,49	16,36	0,36	0,07
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,23	0,22	0,14	0,36	23,21	0,34	-0,76
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,18	0,17	0,07	0,29	27,68	0,26	-0,82
AD (g g ⁻¹)	0,15	0,16	0,08	0,21	17,35	-0,47	0,32
Gleba 2							
Argila (g kg ⁻¹)	784,40	831,68	414,80	908,00	14,41	-1,68	2,18
Silte (g kg ⁻¹)	115,59	104,81	22,21	257,37	44,72	0,69	0,10
A. fina (g kg ⁻¹)	40,93	29,24	15,34	146,97	68,95	1,62	2,15
A. grossa (g kg ⁻¹)	59,08	33,53	15,01	273,98	106,54	2,14	3,82
Ds (g dm ⁻³)	0,90	0,88	0,72	1,12	9,40	0,78	0,24
C.O. (dag cm ⁻³)	1,11	1,18	0,44	1,87	28,24	-0,36	-0,08
$\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,58	0,60	0,39	0,69	10,59	-0,91	0,41
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,44	0,44	0,31	0,55	10,66	-0,97	1,20
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,39	0,41	0,28	0,46	10,28	-0,90	0,14
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,28	0,29	0,18	0,31	10,75	-1,72	2,38
AD (g g ⁻¹)	0,16	0,16	0,08	0,24	18,72	0,07	0,39

C.V. coeficiente de variação; A. fina, areia fina; A. grossa, areia grossa; Ds, densidade do solo; C.O., carbono orgânico; $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$, umidade gravimétrica do solo equivalente aos potenciais - 0,001, -0,006, 0,100 e 1,500 MPa; AD, água disponível em base gravimétrica

Os conteúdos de água equivalentes aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ na G1 apresentou distribuição assimétrica a esquerda, indicando que grande parte dos dados apresentou conteúdo de água menor que a média, comportamento diferenciado foi observado na G2 cujos conteúdos de água equivalente aos potenciais estudados apresentaram assimetria a direita, sugerindo que a maior parte dos dados apresenta conteúdo de água acima da média, no entanto, observa-se que os valores da média são próximos aos da mediana, indicando que a presença de valores discrepantes não é predominante nos dados.

Conforme classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), observa-se que nas glebas 1 e 2, o coeficiente de variação excedeu 12% para a textura e matéria orgânica,

ressaltando a variabilidade dos solos destas glebas, porém, observa-se também que a densidade do solo apresentou baixa variabilidade dos dados nas duas glebas. Observando a variabilidade espacial, na camada superficial, de Latossolos Grego e Vieira (2005), Amaro Filho et al. (2007), Guedes Filho et al. (2010), reportaram coeficiente de variação médio para o teor de argila e matéria orgânica e baixo para a densidade do solo (Tabela 1).

O conteúdo de água equivalente aos potenciais estudados foi mais variável na G1 que na G2, com CV maior que 12%, no entanto o teor de água disponível exibiu variação similar entre as glebas (Tabela 1). Ersahin e Brohi (2006) enfatizaram que o solo pode ser considerado uniforme em casos onde o CV do potencial $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ não ultrapassa 15%, neste sentido observa-se na tabela 1 que o Latossolo da G2 apresenta maior uniformidade na camada 0,80-1,00 que o Latossolo da G1.

3.4.2 Parâmetros Geoestatísticos

A variância pepita (C_0) representa a variância devido ao erro de medição ou a variabilidade da propriedade que não pode ser detectada com a escala atual de amostragem (VIEIRA 2000). A semivariância aumenta à medida que aumenta a distância entre locais amostrados, alcançando um valor aproximadamente constante chamado patamar (C_0+C_1), a diferença entre o patamar e a variância pepita é chamada de componente estrutural (C_1) e a razão de C_0 e C_0+C_1 de efeito pepita, a distância quando o patamar torna-se constante, é chamada de alcance e indica o limite de dependência espacial entre os pontos amostrados e que amostragens em distâncias maiores apresentam distribuição espacial aleatória. (VIEIRA, 2000).

Os parâmetros geoestatísticos dos atributos físico-hídricos e matéria orgânica das glebas 1 e 2 são listados na tabela 2. Observa-se que o efeito pepita da textura e matéria orgânica na gleba 1 é maior que na gleba 2 indicando maior variabilidade destes atributos no subsolo (0,80-1,00 m) em menores distâncias, é possível observar também que na gleba 1 a textura, densidade do solo e teor de carbono orgânico apresentam distribuição aleatória em menores distâncias que a gleba 2.

Tabela 3.2 – Parâmetros dos semivariogramas da textura, densidade do solo, carbono orgânico e dos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ do subsolo (0,80-1,00 m) das glebas 1 e 2

Atributos	Modelo	C ₀	C ₁	Alcance (m)	r ²	RMSE	GDE
Gleba 1							
Argila (g kg ⁻¹)	Esférico	2288,29	4912,75	550,30	0,73	14,89	0,32
a. fina (g kg ⁻¹)	Esférico	1868,33	5061,69	641,51	0,91	8,35	0,27
a. grossa (g kg ⁻¹)	Esférico	204,46	227,52	607,82	0,76	0,68	0,47
Silte (g kg ⁻¹)	Esférico	1780,10	2158,45	606,70	0,78	6,69	0,45
Ds (g cm ⁻³)	Efeito Pepita Puro						
C.O. (dag dm ⁻³)	Exponencial	0,50	4,32	568,33	0,74	0,01	0,10
$\theta_{-0,001}$ (g g ⁻¹)	Esférico	0,00149	0,00422	795,48	0,62	0,000014	0,26
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	Esférico	0,00064	0,00168	800,00	0,61	0,000010	0,27
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	Esférico	0,00002	0,00182	800,72	0,68	0,000008	0,01
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	Esférico	0,00025	0,00024	600,00	0,57	0,000001	0,51
AD (g g ⁻¹)	Exponencial	0,00032	0,00034	600,00	0,36	0,000002	0,49
Gleba 2							
Argila (g kg ⁻¹)	Esférico	223,57	3541,00	604,99	0,90	6,46	0,06
A. fina (g kg ⁻¹)	Esférico	2,72	10,06	656,92	0,85	0,02	0,21
A. grossa (g kg ⁻¹)	Esférico	345,16	1019,23	729,49	0,89	2,15	0,25
Silte (g kg ⁻¹)	Esférico	516,87	1612,40	639,16	0,83	4,14	0,24
Ds (g dm ⁻³)	Exponencial	0,0027	0,0045	901,09	0,69	0,000012	0,37
CO (dag dm ⁻³)	Gaussiano	0,0359	0,0559	1133,13	0,89	0,000116	0,39
$\theta_{-0,001}$ (g g ⁻¹)	Exponencial	0,0012	0,0021	800,27	0,75	0,000005	0,36
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	Esférico	0,0009	0,0010	800,02	0,87	0,000002	0,20
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	Gaussiano	0,0007	0,0009	700,41	0,93	0,000002	0,44
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	Esférico	0,0002	0,0006	865,32	0,87	0,000001	0,19
AD (g g ⁻¹)	Efeito Pepita Puro						

C₀, efeito pepita; C₁, componente estrutural; RMSE, raiz quadrada do erro médio; GDE, grau de dependência espacial; A. fina, areia fina; A. grossa, areia grossa; Ds, densidade do solo; CO, carbono orgânico; $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$, umidade gravimétrica do solo equivalente aos potenciais -0,001, -0,006, 0,100 e 1,500 MPa; AD, água disponível em base gravimétrica

O maior efeito pepita e menor alcance da textura, densidade do solo e carbono orgânico para a G1 pode ser explicado em função da pedogênese destes solos. A região da gleba 2 apresenta paisagem mais estável, cujas planícies foram soerguidas no Terciário-Médio, anterior à formação da superfície Velhas, com grande uniformidade de aplainamento apresentando, comumente, chapadas longas cuja variabilidade das características do solo é mais dependente do regime hídrico; a G1 situa-se em uma região que raramente atinge a fase de aplainamento generalizado e os solos desta região são formados a partir da mistura de material pré-intemperizado, oriundo da superfície Sul Americana, e do intemperismo da rocha subjacente e a variabilidade do solo é dependente da contribuição de cada um deles (KING, 1956; KER, 1998; MOTTA et al. 2002; REATTO et al., 2008).

Porém para o conteúdo de água no solo em equilíbrio com os potenciais $\theta_{0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$, $\theta_{-1,500\text{MPa}}$, bem como para o teor de água disponível observa-se na tabela 2 que o efeito pepita foi próximo entre as glebas estudadas, isto posto indica que apesar da variabilidade dos atributos físicos e matéria orgânica, a capacidade de retenção de água equivalente aos potenciais estudados apresentaram variabilidade semelhante entre as glebas amostradas.

O alcance do semivariograma é dependente da escala de observação assim como dos fatores que influenciam a variabilidade espacial nos solos. Analisando a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em Latossolos, Grego e Vieira (2005), em uma área de parcelas experimentais de 0,09 ha com malha amostral de 5 m, reportaram um alcance geoestatístico de 10 m para os potenciais -0,003, -1,500 e de 13 m para o potencial -0,100 MPa, Amaro Filho et al. (2007), em uma área de 1 ha com malha amostral de 10 m cultivada com meloeiro, observaram alcance de 93 m para o potencial equivalente à capacidade de campo e de 39 m para o potencial -1,5MPa, Gomes et al. (2007), em uma área de 477 ha com malha amostral de 240 m com pastagens, observaram alcance de 2362 m para o potencial equivalente à capacidade de campo. Os valores do alcance geoestatístico dos potenciais $\theta_{-0,001}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ deste estudo apresentaram dependência espacial de aproximadamente 700 m para o subsolos (0,80-1,00m) das glebas 1 e 2, o teor de água disponível das glebas, apresentaram alta variabilidade em distâncias menores que a malha amostral dentro de cada gleba como pode ser observado no baixo coeficiente de correlação do ajuste do semivariograma na gleba 1 e o efeito pepita puro na gleba 2 (Tabela 2).

A figura 2a-h apresenta o formato dos semivariogramas para os conteúdos de água no solo correspondente a cada potencial estudado, os quais indicam a presença de uma dependência cruzada entre o teor de água no solo e algumas propriedades que influencia sua variabilidade espacial no subsolo (0,80-1,00 m) das glebas 1 e 2. As análises dos semivariogramas cruzados foram conduzidas entre os teores de água ($\theta_{-0,001}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$) e as propriedades do solo (textura separadamente, teor de carbono orgânico e densidade do solo) de cada gleba para identificar aquela que influencia mais fortemente os padrões espaciais do teor de água no solo.

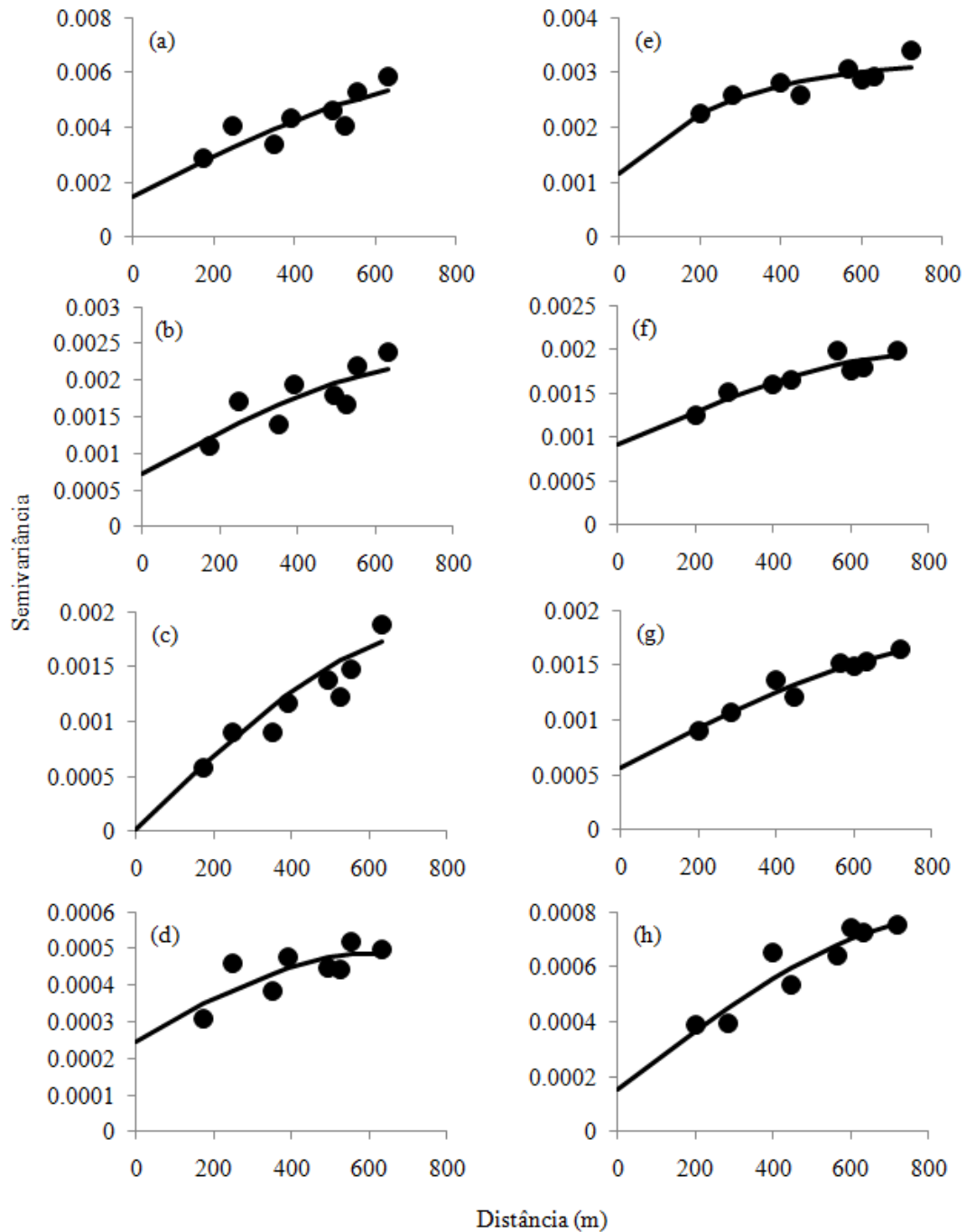


Figura 3.2 – Semivariogramas para o conteúdo gravimétrico de água em equilíbrio com os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (a), $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (b), $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (c) e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (d) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 1 e para os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (e), $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (f), $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g) e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (h) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 2; a linha sólida representa o modelo de ajuste para obtenção dos valores experimentais

Dentre os semivariogramas cruzados, o teor de água no solo apresentou maior dependência cruzada com a textura, especificamente a areia fina, e o teor de carbono orgânico (Figura 3 e Tabela 3 apresentam os semivariogramas para o carbono orgânico, que

apresentou maior influência). Isto sugere que, para esta gleba o teor de carbono orgânico é responsável pelos padrões espaciais do conteúdo de água para os quatro potenciais hídricos. Em escala regional, Gomes et al. (2004) observaram, em superfície, a relação positiva entre o teor de carbono orgânico e capacidade de retenção de água de solos com textura semelhante.

A relação entre o carbono orgânico e a capacidade de retenção de água na gleba 1 pode estar associada à textura do solo. No entanto, a relação causa efeito é mais complexa que se possa imaginar a primeira vista, Feller e Beare (1997), em uma ampla pesquisa sobre a dinâmica do carbono orgânico em solos tropicais, observaram forte correlação entre o teor de carbono e a capacidade de campo em solos com predominância de caulinita, e, embora os autores não expliquem a razão desta relação, levanta a hipótese dela estar relacionada à distribuição dos poros que influencia o acesso dos microorganismos à matéria orgânica.

Tabela 3.3 – Parâmetros dos semivariogramas cruzados entre carbono orgânico e os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ do subsolo (0,80-1,00 m) da gleba 1 e entre a densidade do solo e os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ do subsolo (0,80-1,00 m) da gleba 2

Variável	Modelo	C_0	C_1	Alcance	R^2	rmse	GDE
Gleba 1							
CO x $\theta_{-0,001\text{MPa}}$	Esférico	0,0012	0,0089	897,81	0,71	0,000032	0,12
CO x $\theta_{-0,006\text{MPa}}$	Esférico	0,0005	0,0056	600,00	0,68	0,000023	0,08
CO x $\theta_{-0,100\text{MPa}}$	Gaussiano	0,0002	0,0046	445,59	0,77	0,000017	0,03
CO x $\theta_{-1,500\text{MPa}}$	Gaussiano	0,0014	0,0026	600,36	0,76	0,000014	0,35
Gleba 2							
Ds x $\theta_{-0,001\text{MPa}}$	Exponencial	-0,0003	-0,0031	678,56	0,66	0,000009	0,08
Ds x $\theta_{-0,006\text{MPa}}$	Exponencial	-0,0001	-0,0028	1257,73	0,89	0,000004	0,15
Ds x $\theta_{-0,100\text{MPa}}$	Exponencial	0	-0,0031	1396,29	0,79	0,000005	0,15
Ds x $\theta_{-1,500\text{MPa}}$	Exponencial	0	-0,0018	1392,57	0,84	0,000004	0,04

CO, teor de carbono orgânico (dag dm^{-3}); Ds, densidade do solo (g cm^{-3}); C_0 , efeito pepita; C_1 , componente estrutural; RMSE, raiz quadrada do erro médio; GDE, grau de dependência espacial

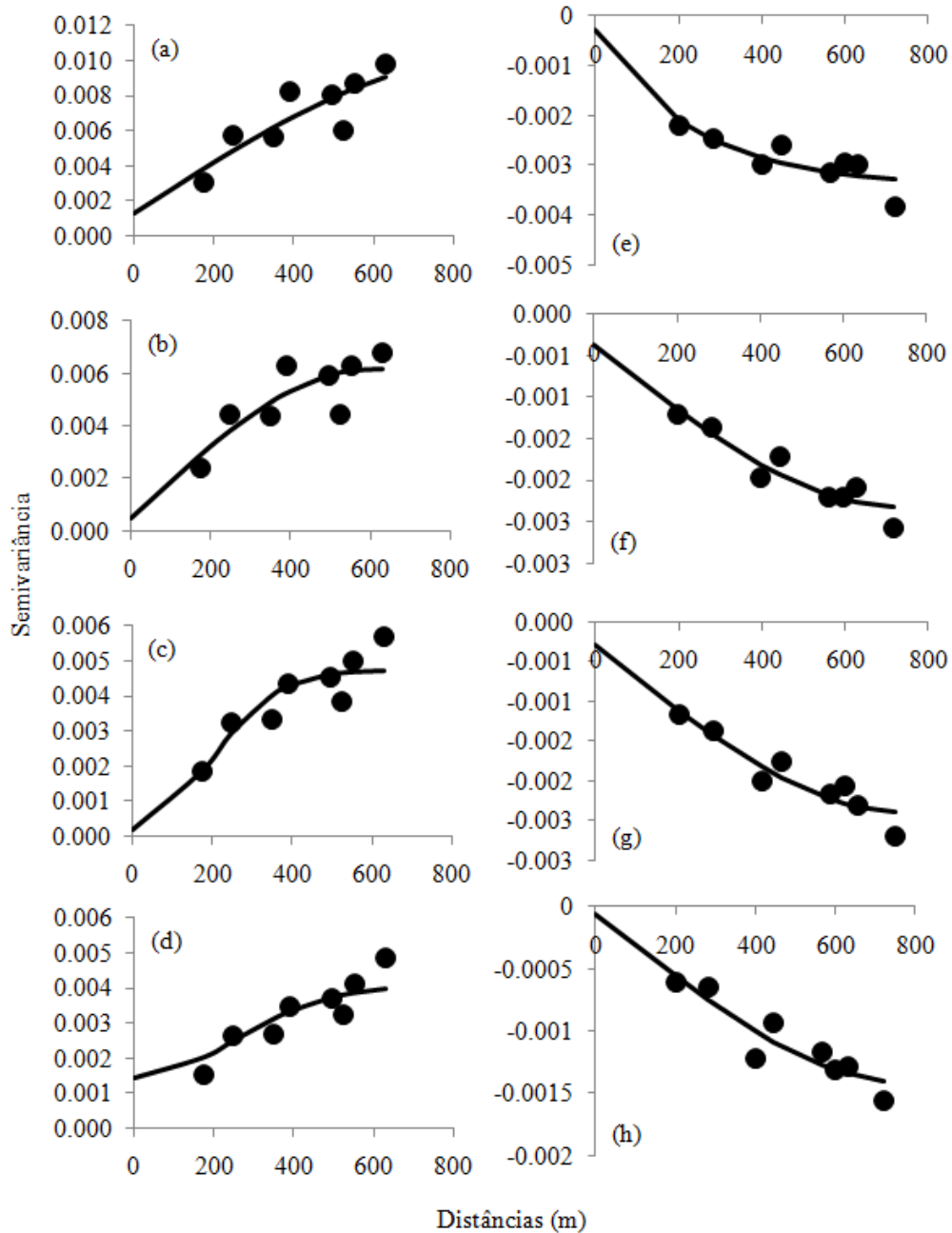


Figura 3.3 – Semivariogramas cruzados entre o teor de carbono orgânico e o conteúdo gravimétrico de água em equilíbrio com os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (a), $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (b), $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (c) e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (d) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 1 e entre a densidade do solo e os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (e), $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (f), $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g) e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (h) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 2; a linha sólida representa o modelo de ajuste para obtenção dos valores experimentais

Dentre os semivariogramas cruzados na gleba 2 aqueles entre o teor de água e o teor de argila e a densidade do solo apresentaram a maior dependência cruzada (Figura 3 e Tabela 3 apresentam os semivariogramas para a densidade do solo). Isto sugere que, para esta gleba, a densidade do solo é responsável pelos padrões espaciais dos conteúdos de água

equivalentes aos potenciais estudados. Este resultado concorda com Schaffrat et al. (2008) que, analisando a variabilidade e correlação espacial de atributos físicos e a porosidade de um Latossolo Vermelho, observaram que, independente do manejo a que o solo é submetido a densidade do solo foi responsável pelos padrões espaciais da porosidade.

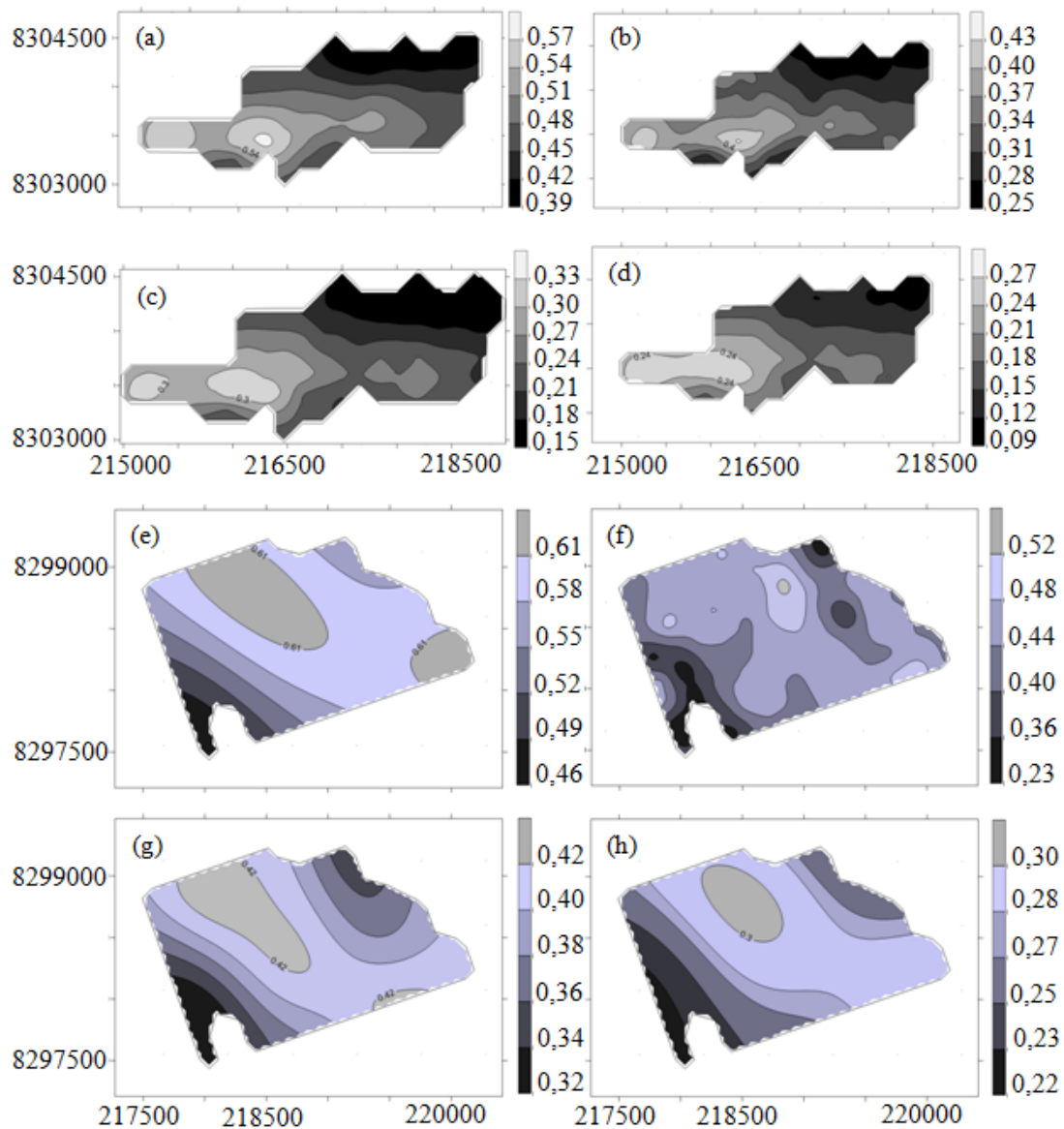


Figura 3.4 – Distribuição espacial dos teores de água equivalente aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (a), $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (b), $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (c) e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (d) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 1 e aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (e), $\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (f), $\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g) e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (h) para o subsolo (0,80-1,00m) da gleba 2

Regiões com baixa capacidade de retenção de água (Figura 4) representam áreas com maior potencial de oxigenação, o que permite melhor desenvolvimento radicular,

porém, estas podem apresentar perda de água e nutrientes por percolação e lixiviação (principalmente nitrogênio); assim, o maior controle de irrigação e parcelamento da fertilização e utilização de culturas com maior eficiência de utilização da água, como o milho em relação ao citrus ou algodão (DABROWSKI, et al., 2009), pode reduzir a quantidade de água perdida por percolação profunda e lixiviação de nitrato nestas regiões. Hedley e Yule (2009) concluíram que o conhecimento da variabilidade espacial da capacidade de retenção de água do solo melhora a eficiência de uso da água pela agricultura tornando os sistemas de produção mais sustentáveis no uso de água potável.

De maneira geral, para as condições destes Latossolos, observou-se que devem ser privilegiados os sistemas de manejo que aumentem o teor de carbono orgânico no subsolo (0,80-1,00), diminuindo conseqüentemente a quantidade de água e nutrientes perdidos por percolação e lixiviação profunda.

3.5 CONCLUSÕES

Os semivariogramas simples e cruzados apresentaram dependência espacial, com maior variabilidade espacial para o Latossolo da superfície Velha que para o Latossolo da superfície sul americana para textura, matéria orgânica e conteúdo de água equivalente aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$, e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$.

A dependência cruzada entre a textura, densidade do solo, matéria orgânica e os potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$, e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ indicou que o carbono orgânico é determinante na variabilidade espacial do conteúdo de água do solo da gleba 1; e que a densidade do solo é o atributo determinante na variabilidade espacial dos conteúdos de água equivalente aos potenciais estudados na gleba 2.

Para aumentar a eficiência de uso da água, nestas condições devem ser aplicados sistemas de manejo que aumentem o teor de carbono orgânico no solo.

4 ARTIGO B: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO - HÍDRICOS EM LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO DO BIOMA CERRADO – II – POROSIDADE E RETENÇÃO DE ÁGUA

4.1 RESUMO E ABSTRACT

Resumo

O aumento da eficiência do uso da água pela agricultura é essencial, em função das grandes incertezas acerca da sua disponibilidade para o futuro, então o conhecimento da variabilidade espacial do teor de água no subsolo apresenta um importante papel na sustentabilidade dos agroecossistemas, visto que este é responsável pelo suprimento em água para as plantas em longos períodos de estiagem. O objetivo deste trabalho foi identificar a variabilidade espacial do subsolo (0,80-1,00m) de duas glebas com predominância de Latossolo, em função de diversos atributos físico-hídricos e promover uma discussão acerca do principal atributo que condiciona a capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas e sua relação com a porosidade de retenção de água no solo. Foram coletadas, na profundidade 0,80-1,00m, amostras deformadas e indeformadas em 97 pontos da gleba 1 (G1) e em 78 pontos na gleba 2 (G2). Os atributos do solo analisados nos 175 pontos amostrados foram, textura, densidade do solo e de partículas, mineralogia, carbono orgânico, conteúdo de água equivalente aos potenciais -0,001, -0,003, -0,006, -0,100, -1,000 e -1,500 MPa e o teor de água disponível. A distribuição espacial de grupos homogêneos dos atributos do solo foi determinada pela análise de agrupamentos e os principais atributos que influenciam a capacidade de retenção de água destas glebas foram obtidos através da análise de componentes principais. Os resultados demonstraram que os grupos caracterizados pela análise apresentaram subáreas com distinta capacidade de retenção e disponibilidade de água. De maneira geral, a argila é o principal atributo do solo que condiciona o funcionamento hídrico dos solos dessas glebas. As subáreas com maior teor de caulinita apresentaram a menor densidade do solo, maior porosidade, capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas.

Palavras-chave: Caulinita. Porosidade. Água disponível.

Abstract

The increased efficiency of water use in agriculture is essential, in function of the great uncertainties concerning its availability for the next years, then knowledge of the spatial variability of water content in the subsoil plays an important role in the sustainability of agroecosystems, as this is responsible for supplying water to plants over long periods of drought. The aim of this study was to identify the spatial variability of subsoil (0.80 to 1.00 m) from two fields with predominance of Latossolo, depending on various physical attributes, resources and promote a discussion about the main attribute that affects the retention capacity and water availability for plants and its relation to the porosity of the soil water retention. Were collected at 0.80 to 1.00 m depth, and undisturbed samples in 97 points in Field 1 (G1) and 78 points in Field 2 (G2). The attributes analyzed were sampled at 175 points: texture, bulk and particle density, mineralogy, organic carbon content, water potential equivalent to -

0.001, -0.003, -0.006, -0.100, -1.000 and -1.500 MPa and available water content. The spatial distribution exercise of homogeneous groups of soil attributes was determined by cluster analysis and main attributes that influence the ability of water retention of these lands were obtained through principal component analysis. The results showed that both groups were characterized by analysis of distinct sub-holding capacity and water availability. In general, clay is the main attribute of soil that affects the functioning of soil drainage of these lands. Subareas with higher content of kaolinite showed a lower density, higher porosity, retention capacity and water availability to plants.

Keyword: Kaolinite. Porosity. Availability water.

4.2 INTRODUÇÃO

A agricultura está entre as atividades humanas que mais necessitam de água, e a interação entre o solo e o clima é um dos principais fatores que controlam a disponibilidade de água para as plantas. As savanas tropicais apresentam grande variabilidade na disponibilidade de água sendo que aproximadamente 65% destas áreas ao redor do mundo apresentam problemas de estresse hídrico causados por longos períodos de estiagem Goedert et al. (2008). No Brasil a savana corresponde ao bioma Cerrado, que cobre cerca de 206 milhões de hectares, aproximadamente 24 % de todo território brasileiro, sendo que 49% dos seus solos são representados pelos Latossolos (BALBINO et al., 2002; MULLER; MARTHA JUNIOR, 2008).

Os Latossolos são conhecidos pelas suas propriedades físicas favoráveis à agricultura, porém com limitações de reserva hídrica bem como capacidade de retenção semelhante aos solos mais arenosos (MIGUEL; VILAR, 2009), assim, a compreensão das relações entre as propriedades físico-hídricas e a disponibilidade da água deve ser aprimorada por meio de uma abordagem sistêmica que possa trazer melhor conhecimento do funcionamento físico-hídrico do solo. Neste contexto, Duffera et al. (2007), Amaro Filho et al. (2007) e Guedes Filho et al. (2010), estudaram a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos de diferentes solos, inclusive Latossolos, e observaram que o conhecimento da variabilidade espacial da granulometria, densidade do solo, porosidade total, capacidade de campo e ponto de murcha permanente pode ser utilizada como fator determinante para aumentar a eficiência de uso do solo pela agricultura assim como auxiliar na caracterização de zonas homogêneas para agricultura de precisão.

Mais recentemente, técnicas de análises estatísticas multivariadas têm sido utilizadas como ferramentas para determinar a presença de zonas homogêneas. A análise de

agrupamentos é uma das técnicas que permite obter unidades homogêneas do solo em função de diversos atributos. Ikenaga e Inamura (2008) relataram a formação de cinco zonas homogêneas em função de seis atributos do solo, sendo que estas zonas foram determinadas principalmente pelos atributos ligados à fertilidade e pelo padrão de drenagem da área. Vitharana et al. (2008), também em função da variabilidade da fertilidade, condutividade elétrica e topografia, observaram que o pH, textura e matéria orgânica foram os atributos do solo que determinaram as diferentes classes de manejo.

As propriedades físico-hídricas do horizonte diagnóstico dos Latossolos no bioma Cerrado têm sido intensamente estudadas. Volland-Tuduri et al. (2005) observaram um desarranjo dos microagregados em camadas abaixo de 0,5 m, e que os teores de argila pouco interferem na densidade do solo em horizontes subsuperficiais, que por sua vez, é influenciado pela proporção de microagregados menores que 0,84 mm. Balbino et al. (2004) discutiram amplamente a influência da estrutura do solo na sua capacidade de retenção e observaram que tal efeito restringe-se à camadas mais superficiais do solo.

Considerando o cenário atual de mudanças climáticas, onde o aumento nos eventos climáticos desfavoráveis terão impactos na escassez de água (FRAITURE et al., 2001), a compreensão do funcionamento físico hídrico será fundamental para uso racional da água para produção de alimentos. Percebe-se que são escassos os estudos acerca da variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas dos Latossolos bem como da sua relação com a disponibilidade de água para as plantas e com o funcionamento do solo, principalmente em camadas do subsolo, responsáveis pelo fornecimento de água para as plantas em períodos de estiagem.

Assim, os objetivos deste trabalho foram identificar em áreas cultivadas sob Latossolo Vermelho Amarelo: i) a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do subsolo (0,80-1,00m) em função de diversos atributos do solo; ii) aqueles que condicionam a capacidade de retenção e a disponibilidade de água para as plantas por meio de uma abordagem quantitativa da porosidade.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Caracterização das Áreas

O estudo foi conduzido em duas áreas Fazenda Alto Alegre, município de Planaltina – GO. O clima local é caracterizado, segundo Koopen, como tropical úmido (Aw) e precipitação média entre 1500 e 2000 mm. Apesar das estações chuvosa e seca serem bem definidas, a distribuição espacial e temporal é bastante variável dentro da estação chuvosa. A região apresenta umidade relativa média de 75% nos meses de janeiro a abril, e média de 30% na estação seca (ASSAD et al., 1993).

A Gleba 1 (G1) consiste em um talhão de 297 ha (15°, 32' S de Latitude e 47°, 67' W de Longitude) com altitude média 1000m, onde a vegetação nativa de cerrado típico foi retirada na década de 80 para implantação de agricultura de grãos sendo desde então manejada sob sistema de plantio convencional com aração e gradagens. A partir de 1995 adotou-se o sistema de plantio direto, sendo o cultivo anual caracterizado pela sucessão soja-milho no período chuvoso e pousio no período seco. Após 2007 o milho passou a ser cultivado em sistema de consórcio com forrageiras do gênero *Brachiaria*, principalmente *B. ruziziensis* visando implantar o sistema de integração lavoura-pecuária para produção de bovinos a pasto na entressafra.

A Gleba 2 (G2), distante de cinco quilômetros em linha reta da primeira área, consiste em um talhão de 312 ha (15°, 37' S de Latitude e 47°, 32' W de Longitude) com altitude média de 1068m, cuja vegetação nativa de cerrado típico foi retirada entre os anos 1987 e 1989 e, a partir deste ano implantou-se o cultivo da soja conduzido sob sistema de plantio convencional com aração e gradagens até 1994. A partir de 1995 a área passou a ser cultivada sob sistema de plantio direto, principalmente com sucessão soja-milho na época das chuvas e pousio na seca. Da mesma forma que na gleba 1, a partir de 2006 foi implantado o sistema de integração lavoura-pecuária. Em ambas as glebas, no ano agrícola com soja, na entressafra há predomínio de gramíneas do gênero *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp., utilizadas para pastejo de bovinos.

4.3.2 Procedimento de Amostragem e Análises

Foram coletadas, na camada 0,80-1,00 m, amostras indeformadas e deformadas em malha regular de 175m em 97 pontos na G1 e malha regular de 200m em 78 pontos na G2 (Figura 1).

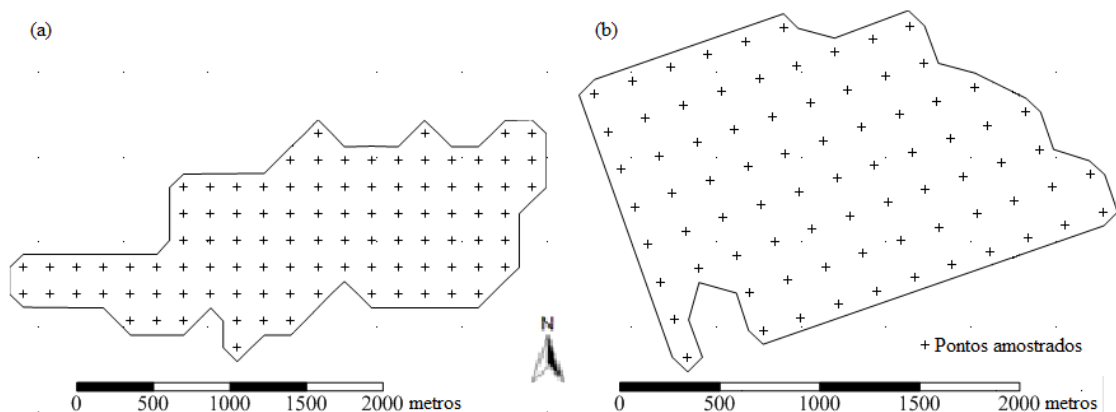


Figura 4.1 – Grade amostral com malha regular de 175m nos 297 ha da gleba 1(a) e com malha regular de 200m nos 312 ha da gleba 2 (b)

As amostras indeformadas foram coletadas com auxílio do trado tipo Uhland, utilizando cilindros de 94,16 cm³ ($\varnothing=4,84$ cm, h=5 cm), de forma alternada, onde no primeiro ponto foi coletado apenas 1 cilindro e 3 cilindros no ponto seguinte e assim sucessivamente totalizando 193 cilindros na GL e 160 cilindros na GD. Os cilindros foram envolvidos em folha PVC e acondicionados em caixas térmicas para manter a umidade do solo até o processamento no laboratório.

Inicialmente os cilindros foram saturados por 24 horas e os conteúdos de água (em base gravimétrica) equivalente aos potenciais -0,001, -0,006, -0,100, e -1,500 MPa foram obtidos pelo método da centrífuga (FREITAS JUNIOR; SILVA, 1984). As amostras foram submetidas a rotação na centrífuga por 30 minutos. O teor de água disponível foi obtido através da diferença entre os potenciais -0,006 e -1,5MPa.

Após a rotação equivalente à tensão -1,500 MPa as mesmas foram postas em estufa a 105 °C durante 24 horas para a determinação da massa seca do solo. A densidade do solo foi calculada a partir da massa de solo seco em 94,16 cm⁻³.

Para determinação da textura foi utilizado o método da pipeta com agitação lenta por 16 horas e dispersão química com hidróxido de sódio (NaOH, 1 mol L⁻¹).

O teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 foram determinados após dissolução com 1:1 H_2SO_4 (EMBRAPA 1997). Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 foram utilizados para determinação da caulinita (Ct) e gibsitita (Gb) (RESENDE et al., 1987) e os teores de hematita (Hm) e goetita (Gt) foram determinados a partir dos teores de Fe_2O_3 associado à matiz e cor do solo (RESENTE; SANTANA, 1988).

Foi determinado o teor de carbono orgânico do solo pelo método da oxidação por dicromato de potássio (0,4 N) (EMBRAPA, 1997).

A distribuição dos diâmetros de poros foi calculada utilizando a relação entre o teor de água e o potencial mátrico (HILLEL et al., 1980).

Os poros foram classificados em macroporos, mesoporos e microporos os poros sendo maior que 50 μm (PAGLIAI et al., 2004; SASAL et al., 2010), entre 50 e 0,29 μm e menor que 0,29 μm , respectivamente (TAVARES FILHO; TESSIER, 2009). Contudo, na classe de mesoporos foi feita ainda uma distinção dos poros com diâmetro entre 50 e 2,9 μm e entre 2,9 e 0,29 μm para melhor análise da estrutura dos poros de armazenamento.

4.3.3 Análise Estatística

O teste de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$) foi utilizado para testar a hipótese de normalidade na distribuição dos dados da textura, densidade do solo e de partículas, mineralogia, matéria orgânica e o conteúdo de água em equilíbrio com os potenciais -0,001, -0,006, -0,100, e -1,500 MPa assim como o teor de água disponível. Determinou-se a média aritmética, mediana, desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) dos atributos físico-hídricos analisados.

A análise de agrupamentos foi utilizada para cada gleba, visando identificar possíveis conjuntos de atributos do solo com base na sua variabilidade. Os dados foram transformados em escores padrão (estatística Z), em que cada escore de dados originais foram convertidos em um valor padronizado com média 0 e desvio padrão igual a 1, eliminando o efeito das diferentes escalas dos atributos analisados (HAIR et al., 2005).

Foi utilizado também o procedimento hierárquico de agrupamento, construído por meio de uma estrutura hierárquica “tipo árvore”, representada pelo dendograma. Para determinação dos agrupamentos foi utilizado o método de hierarquização, cuja distância entre dois grupos é igual a soma dos quadrados entre os dois agrupamentos

feitos sobre todas as variáveis. A similaridade entre os subgrupos foi determinada de acordo com a distância euclidiana de corte igual a 5.

Para avaliação da diferença entre os grupos formados dentro de cada gleba foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis (estatística H), entre as variáveis de cada grupo. Determinadas as diferenças, foi utilizado o teste Dunn (5%) para comparação das médias dos postos. Para confecção da distribuição espacial das classes formadas pela análise de agrupamento foi utilizado o inverso da distância.

Por se tratar de um estudo descritivo, com grande número de variáveis, a análise de componentes principais (ACP) foi realizada inicialmente com os atributos do solo das duas áreas (175 pontos no total, sendo 97 da GL e 78 da GD), para uma discussão global ampla acerca da relação entre eles e a capacidade de retenção de água, e posteriormente, foi feita ACP para a gleba visando avaliar se as mesmas tendências se aplicam às áreas individualmente. A análise de componentes principais foi utilizada neste trabalho para condensar o grande número de variáveis físico-hídricas em um conjunto menor de variáveis estatísticas (“supervariáveis”), utilizando o programa SPSS 15.0 (In. EUA). Foram consideradas significativas, dentro de cada fator, as cargas acima de 0,70, cujo fator explica ao menos 50% da variável (HAIR et al., 2005).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Análise de Componentes Principais

4.4.1.1 Análise global das duas glebas

Na tabela 4.1 observa-se que na análise de componentes principais para as duas glebas, foram extraídos 4 componentes, que explicaram 81% da variância total dos dados, os demais apresentaram autovalores menores que a unidade e não foram considerados nas análises. Observa-se ainda, nos valores das comunalidades, que os componentes extraídos da análise explicaram satisfatoriamente a variação dos dados da capacidade de retenção de água destes solos.

O primeiro componente explicou 59% da variância total dos dados e, dentre as variáveis explicativas, a argila, areia fina, densidade do solo, Hm, Ct e matéria orgânica apresentaram alta correlação com o primeiro componente, sendo a argila o atributo de maior

carga (0,94). O segundo componente explicou 9% da variância dos dados e o teor de água disponível apresentou a maior carga (0,87). O terceiro e quarto componentes explicaram 7% e 6% da variância dos dados e a Gb e densidade de partículas apresentaram as maiores cargas, 0,79 e 0,66, respectivamente.

Tabela 4.1 – Autovalores para os quatro primeiros componentes e comunalidades resultantes da análise de componentes principais dos atributos físico-hídricos, mineralogia e matéria orgânica dos Latossolos das duas áreas (n=177)

Atributos	1	2	3	4	Comunalidades
Argila (g kg ⁻¹)	0,95	-0,11	0,04	-0,11	0,93
Silte (g kg ⁻¹)	-0,13	-0,60	0,04	0,51	0,64
Areia fina (g kg ⁻¹)	-0,90	0,32	0,08	-0,10	0,94
Areia grossa (g kg ⁻¹)	-0,49	-0,06	-0,55	0,27	0,62
Densidade do solo (g cm ⁻³)	-0,13	0,11	0,20	0,66	0,79
Densidade de partículas (g cm ⁻³)	-0,84	-0,23	0,10	-0,14	0,50
Hematita (g kg ⁻¹)	0,78	0,17	0,25	0,08	0,70
Goetita (g kg ⁻¹)	0,66	-0,04	0,36	-0,29	0,65
Gibbsita (g kg ⁻¹)	0,23	0,12	0,79	0,21	0,74
Caulinita (g kg ⁻¹)	0,89	-0,12	-0,17	-0,18	0,87
Carbono orgânico (dag dm ⁻³)	0,78	0,03	0,03	-0,17	0,64
$\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,92	0,22	-0,07	0,15	0,92
$\theta_{-0,003\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,92	0,23	-0,17	0,13	0,94
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,94	0,19	-0,15	0,12	0,96
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,95	-0,13	-0,15	0,06	0,95
$\theta_{-1,00\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,97	-0,15	-0,09	0,07	0,97
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,98	-0,12	-0,04	0,07	0,97
Água disponível (g g ⁻¹)	-0,17	0,87	-0,14	0,13	0,83
Variância (%)	59	9	7	6	
Variância acumulada (%)	59	68	75	81	

Na análise conjunta das glebas percebe que a argila explicou 95% da variabilidade total dos dados e é o principal componente do solo que influencia sua capacidade de retenção de água. Isto porque esta fração mineral favorece a ocorrência de microporos e retenção de água pelo efeito da capilaridade, e também por que promove aumento da superfície específica da matriz do solo, aumentando, assim, o processo de adsorção da água (HILLEL, 1998). Estes dois fenômenos, adsorção e capilaridade, são os principais responsáveis pelo potencial mátrico e retenção da água no solo. Então, solos com maior teor de argila, como a gleba 1, apresentam maior capacidade de retenção de água.

Efeito significativo da argila na capacidade de retenção de água nos solos também foi observado por Gomes et al. (2004), Balbino et al. (2004) e Reatto et al. (2007).

Para explicar a forte correlação negativa da fração areia fina deve-se considerar que em relação à argila, a fração areia diminui a superfície específica da matriz do solo, reduzindo sobremaneira a ocorrência de poros capilares e a capacidade de adsorção de água.

Para o conteúdo de água equivalente aos menores potenciais, o restante da variância não explicada pela argila refere-se à porosidade resultante do arranjo dos agregados destes solos que podem representar poros com diâmetro maior que 50 μm , responsáveis pela movimentação e drenagem da água no perfil do solo (SASAL et al., 2010). Para os potenciais $\theta_{-0,001}$, $\theta_{-0,100}$ e $\theta_{-1,500}$ MPa, a porcentagem não explicada pela argila, possivelmente é representada pela porosidade textural e pela mineralogia, corroborando com Reatto et al. (2007). Sabe-se que a gibbsita promove maior variabilidade na porosidade do solo, em relação à caulinita (BALBINO et al., 2002; REICHERT et al., 2009), e ainda que o aumento da concentração da hematita, goetita e gibbsita aumenta a porosidade do solo (FERREIRA et al., 1999b; GHIDIN et al., 2006), o que pode ter caracterizado a correlação da mineralogia com os diferentes potenciais de água no solo.

4.4.1.2 Análise de componentes principais para as glebas 1 e 2

Na análise de componentes principais da gleba 1, apresentada na tabela 4.2, observa-se que foram extraídos quatro componentes, que explicaram conjuntamente 81%, sendo que o primeiro componente explicou 54% da variância total dos dados. Dentre as variáveis explicativas, o primeiro componente foi caracterizado pela argila, areia fina, densidade do solo, Hm e Ct, sendo que, assim como na análise conjunta das glebas, dentre as variáveis explicativas, a argila apresentou maior carga (0,92). O segundo componente explicou 14% da variância dos dados e foi caracterizado pelo teor de água disponível (0,89). O terceiro e quarto componentes responderam 7 e 6% da variância dos dados e foram caracterizados pelo silte (0,65) e gibbsita (0,62), respectivamente. Na análise de componentes da gleba 2 observa-se que foram extraídos quatro componentes que explicaram conjuntamente 80% da variância total dos dados, sendo que o primeiro componente respondeu por 52% desta variância e, dentre as variáveis explicativas, foi caracterizado pela argila, areia grossa, densidade do solo, Hm e Gt e matéria orgânica. O segundo componente explicou 13% da

variabilidade dos dados e foi caracterizado pelo teor de água disponível. O terceiro e quarto componentes responderam por 9 e 6% da variância total dos dados sendo o terceiro componente caracterizado pelo silte (0,74) e Gb (0,68) (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Autovalores para os quatro primeiros componentes principais para textura, densidade do solo e de partículas, mineralogia, carbono orgânico e conteúdo de água equivalente aos potenciais $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,003\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$, $\theta_{-1,00\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ da camada subsuperficial (0,80-1,00m) da gleba 1 (n=97) e da gleba 2 (n=78)

Atributos	Componentes principais da Gleba 1				Componentes principais da gleba 2			
	1				2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Argila (g kg ⁻¹)	0,92	-0,27	-0,20	0,12	0,86	-0,38	-0,23	-0,09
Silte (g kg ⁻¹)	-0,08	-0,43	0,65	-0,54	-0,47	0,20	0,74	-0,19
Areia fina (g kg ⁻¹)	-0,89	0,37	0,00	0,09	-0,63	0,35	-0,30	0,43
Areia grossa (g kg ⁻¹)	-0,60	0,56	-0,23	0,02	-0,87	0,36	-0,05	0,13
Ds (g cm ⁻³)	-0,75	-0,35	0,13	0,11	-0,77	-0,27	-0,14	-0,02
Dp (g cm ⁻³)	0,32	-0,11	0,26	0,31	-0,23	0,35	0,00	-0,45
Hematita (g kg ⁻¹)	0,73	0,23	0,27	0,21	0,76	-0,33	0,06	0,31
Goetita (g kg ⁻¹)	0,52	-0,30	-0,12	0,09	0,82	-0,38	0,05	0,24
Gibbsita (g kg ⁻¹)	0,36	0,21	0,54	0,62	0,18	-0,42	0,68	0,37
Caulinita (g kg ⁻¹)	0,83	-0,35	-0,37	-0,06	0,69	-0,12	-0,61	-0,21
C.O (dag kg ⁻¹)	0,44	0,40	0,33	-0,39	0,73	-0,35	-0,08	0,04
$\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,92	0,26	-0,03	-0,10	0,88	0,27	0,00	0,06
$\theta_{-0,003\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,87	0,40	-0,04	-0,12	0,78	0,44	0,01	0,13
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,93	0,33	-0,01	-0,06	0,81	0,50	0,03	0,06
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,97	-0,05	0,01	-0,02	0,82	0,36	0,17	0,02
$\theta_{-1,00\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,98	-0,10	0,01	0,00	0,86	0,20	0,24	-0,26
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,98	-0,12	0,00	0,00	0,87	0,08	0,17	-0,32
AD (g g ⁻¹)	0,07	0,89	-0,01	-0,11	0,40	0,69	-0,11	0,39
Variância (%)	54	14	7	6	52	13	9	6
Variância acumulada (%)	54	68	75	81	52	65	74	80

Ds, densidade do solo; Dp, densidade de partículas; CO, carbono orgânico; AD, água disponível

As tendências globais acerca do funcionamento hídrico dos solos aplica-se a cada área individualmente e a textura e mineralogia influenciaram a capacidade de retenção de água no subsolo (0,80-1,00m) das glebas 1 e 2, em função das características das frações

argila e areia, conforme discutido anteriormente. Assim percebe-se que o conhecimento da variabilidade espacial da argila é um dos primeiros passos para aumentar a eficiência de uso da água pela agricultura como já observaram Vitharana et al. (2008) para solos da região de clima temperado.

Observa-se maior efeito da matéria orgânica no Latossolo da gleba 2 em relação á gleba 1 (Tabelas 4.2), possivelmente em função da capacidade de compressão-dilatação que a matéria orgânica imprime aos microagregados do Latossolo muito argiloso da G2 (VOLLAND-TUDURI et al., 2004), corroborando com Reatto et al. (2009b) que estudaram as características dos microagregados dos Latossolos e concluíram que estes não são rígidos, e este efeito tem um importante papel na variabilidade natural da estrutura do solo, com potencial efeito sobre suas propriedades hidráulicas (STRUDLEY et al., 2008).

4.4.2 Delimitação das Zonas Homogêneas e suas Características Físico-hídricas

4.4.2.1 Delimitação espacial

Observa-se na figura 4.2 a distribuição espacial dos grupos formados com o resultado da análise de agrupamentos. É possível observar a presença de três subáreas dentro de cada gleba de estudo sendo identificados como grupos 1-A, 1-B e 1-C da gleba 1 e grupos 2-A, 2-B e 2-C da gleba 2. Na G1 os grupos 1-A, 1-B e 1-C localizaram-se na região nordeste, centro e centro-oeste, respectivamente e ocuparam 22,69, 45,39 e 31,98% da área total, respectivamente. Na G2 o grupo 2-A ficou distribuído em duas áreas do mapa, nas regiões centro-sudeste e nordeste ocupou 26,92% da área total e os grupos 2-B e 2-C localizaram-se na região centro-sudoeste e oeste e ocuparam 57,69 e 15,38% da área total, respectivamente.

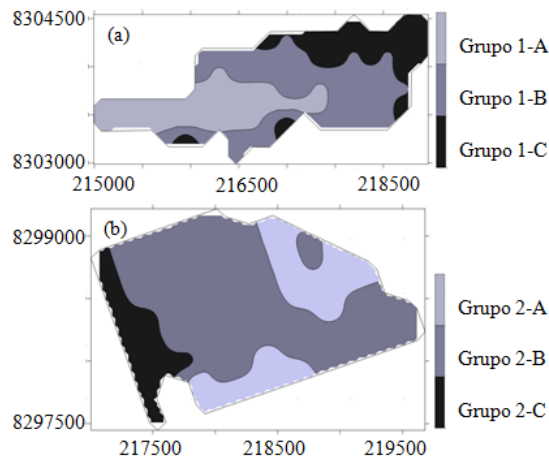


Figura 4.2 – Mapas da distribuição espacial dos agrupamentos formados nas glebas 1(a) e 2 (b)

4.4.2.2 Caracterização da variabilidade físico-hídrica

As subáreas 1-A, 1-B e 1-C, caracterizados na G1, podem ser classificados como textura média, argilosa e muito argilosa com teores de 287,59, 452,59 e 675,59 g kg⁻¹, respectivamente. Apresentaram também diferenças significativas para as médias de densidade do solo com 1,13, 1,02 e 0,96 g dm⁻³ para os grupos 1-A, 1-B e 1-C, respectivamente (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Comparação entre os agrupamentos formados, com base nos atributos físico-hídricos, mineralogia e matéria orgânica para as glebas 1 e 2

Grupos	n	Argila	Silte	A.fina	A.grossa	Ds	Dp	Hm	Gt	Gb	Ct	C.O.
Gleba 1												
1-A	22	287.59 c*	138.31 a	490.14 a	83.96 a	1.13 a	2.59 a	10.97 b	36.78 b	146.28 b	153.19 c	0.56 b
1-B	44	452.59 b	106.32 a	372.02 b	69.07 b	1.02 b	2.62 a	19.39 b	35.66 b	145.98 b	299.54 b	0.60 b
1-C	31	675.59 a	103.64 a	174.15 c	46.61 c	0.96 c	2.64 a	54.31 a	77.39 a	203.52 a	450.51 a	0.76 a
Gleba 2												
2-A	12	563.97 b	160,69 a	89,54 a	185,80 a	1,00 a,	2,60 a	20,78 b	27,78 b	122,14 b	405,25 c	0,62 b
2-B	45	833.21 a	102,89 b	32,05 b	31,85 b	0.85 b	2.57 a	60,30 a	77,77 a	169,12 a	629,44 a	1,23 a
2-C	21	805.76 a	117,03 b	32,20 b	45,01 b	0.96 a	2.59 a	54,53 a	73,42 a	201,65 a	566,34 b	1,12 a

*Letra diferente na coluna indica diferença significativa pelo teste de Dunn a 5% de probabilidade; Ds, densidade do solo; Dp, densidade de partículas; Hm, hematita, Gt, goetita, Gb, gibsita, Ct, caulinita; CO, matéria orgânica

Os grupos formados na Gleba 2 foram caracterizados em função do teor de argila e da densidade do solo. O grupo 2-A apresentou textura argilosa, com média de 563 g kg⁻¹, e os grupos 2-B e 2-C apresentaram textura muito argilosa, com médias de 833 e 805 g kg⁻¹, respectivamente. Entretanto, a densidade do solo foi semelhante entre os grupos 2-A e 2-C, com médias de 1,00 e 0,96 g dm⁻³, respectivamente, e significativamente menor no grupo 2-B, que apresentou média de 0,85 g dm⁻³ (Tabela 4.3).

As diferenças significativas entre os atributos físicos e mineralogia dos grupos formados na G1 caracterizaram subáreas com capacidade de retenção de água significativamente diferente. Porém, apesar dos diferentes conteúdos de água equivalentes aos potenciais mátricos estudados, os teores gravimétricos de água disponível foram semelhantes entre os grupos da gleba 1. Na gleba 2, a capacidade de retenção de água do grupo 2-A foi significativamente menor que nos grupos 2-B e 2-C e ainda o grupo 2-B apresentou capacidade de retenção de água significativamente maior que o grupo 2-C. Esta diferença de umidade, em oposição ao resultado dos agrupamentos da gleba 1, proporcionou maior capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas na subárea 2-B (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Comparação entre os agrupamentos formados, com base na curva característica de água no solo para as glebas 1 e 2

Grupos	n	$\theta_{-0,001\text{MPa}}$	$\theta_{-0,003\text{MPa}}$	$\theta_{-0,006\text{MPa}}$	$\theta_{-0,100\text{MPa}}$	$\theta_{-1,000\text{MPa}}$	$\theta_{-1,500\text{kPa}}$	AD
Gleba 1								
1-A	22	0,38 c*	0,31 c	0,27 c	0,17 c	0,13 c	0,12 c	0,15 a
1-B	44	0,47 b	0,38 b	0,32 b	0,22 b	0,18 b	0,17 b	0,15 a
1-C	31	0,57 a	0,45 a	0,39 a	0,29 a	0,25 a	0,24 a	0,16 a
Gleba 2								
2-A	12	0,50 c	0,44 c	0,38 c	0,34 c	0,27 c	0,23 c	0,15 c
2-B	45	0,62 a	0,53 a	0,47 a	0,42 a	0,34 a	0,29 a	0,17 a
2-C	21	0,55 b	0,48 b	0,42 b	0,37 b	0,30 b	0,27 b	0,15 b

*Letra diferente na coluna indica diferença significativa pelo teste de Dunn a 5% de probabilidade; $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,003\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$, $\theta_{-1,000\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$, umidade gravimétrica do solo equivalente aos potenciais -0,001, -0,003, -0,006, -0,100, -1,000 e -1,500 MPa, em g g⁻¹; AD, água disponível em g g⁻¹

A distribuição do diâmetro de poros em diferentes sistemas de manejo é amplamente estudado a exemplo de Lima et al. (2009) observaram que o manejo afeta principalmente os poros com diâmetro maior que 50 μm sendo que poros com diâmetro menor que este, responsável pelo armazenamento e disponibilidade de água para as plantas, não foi influenciado pelo diferentes manejos. Tavares Filho et al. (2010) observaram que o

manejo afetou a porosidade maior que 15 μ m em um Latossolo Vermelho distroférico e a porosidade menor que este diâmetro em um Latossolo Vermelho eutroférico. Poucos estudos envolvendo a porosidade e o subsolo estão disponíveis a exemplo de Balbino et al. (2002b) que observaram uma diminuição no diâmetro de poros em função do aumento dos microagregados no horizonte diagnóstico em função do desmatamento e modificação da atividade biológica do solo.

Na tabela 4.5, observa-se que os grupos apresentaram porosidade significativamente diferentes, sendo menor no grupo 1-A, intermediária no 1-B e maior no grupo 1-C, independente do diâmetro do poro. Na G2 verifica-se que a porosidade entre 50 e 2,9 μ m, foi maior no grupo 2-B e semelhante entre os grupos 2-A e 2-C e ainda percebe-se uma diminuição do volume de poros menores que 2,9 μ m no grupo 2-C.

Tabela 4.5 – Distribuição de poros por tamanho para os grupos formados no subsolo (0,80-1,00m) nas glebas 1 e 2

Grupos	Diâmetro de poros			
	> 50 μ m	50 - 2,9 μ m	2,9 - 0,29 μ m	< 0,29 μ m
-----m ³ m ⁻³ -----				
Gleba 1				
1-A	0,4008 c*	0,2866 c	0,1898 c	0,1664 c
1-B	0,5002 b	0,3389 b	0,2222 b	0,1997 b
1-C	0,5907 a	0,4041 a	0,2801 a	0,2594 a
Gleba 2				
2-A	0,5193 c*	0,4446 b	0,3843 b	0,3642 b
2-B	0,6423 a	0,5063 a	0,4159 a	0,3900 a
2-C	0,5611 b	0,4419 b	0,3645 c	0,3430 c

*Letra diferente na coluna indica diferença significativa pelo teste de Dunn a 5% de probabilidade

De maneira geral, há necessidade de uma análise mais detalhada da mineralogia destas áreas para melhor entendimento da porosidade, capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas pois observa-se nas tabelas 4,3, 4,4 e 4,5 que os grupos 1-C da G1 e 2-B da G2 apresentaram o maior teor de caulinita porém apresentaram a menor densidade do solo, maior porosidade e capacidade de retenção de água equivalente aos potenciais estudados, e ainda o grupo 2-B apresentou maior teor de água disponível para as plantas. Sendo que este resultado é contrário ao observado por Ferreira et al. (1999) e Ghidin et al. (2006) pois ambos observaram que solos com predominância de caulinita promove o

desenvolvimento de macroestrutura do tipo em blocos, originando regiões com maior densidade, consequência do ajuste face a face das placas de caulinita e solos com estas características em geral apresentam maior densidade do solo e menor porosidade.

Nexte contexto, é possível que as características do solo nestas subáreas apresentem estrutura forte muito pequena granular, típica de solos mais gibbsíticos, mesmo com predominância de caulinita como relatou Gomes et al. (2004).

4.5 CONCLUSÕES

Para as duas áreas estudadas as propriedades de retenção de água no solo variam principalmente em função do teor de argila.

As regiões com maior teor de caulinita apresentaram menor densidade do solo e maior porosidade, capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As propriedades de retenção de água no solo, em primeira instância, são dependentes do teor de argila do solo, contudo, os sistemas de manejo que permitem maior aporte de matéria orgânica em subsuperfície (0,80-1,00m) podem reduzir a percolação e lixiviação de nutrientes para camadas mais profundas do solo.

A mineralogia influenciou a capacidade de retenção de água das glebas, sendo que as regiões com maior teor de caulinita proporcionaram maior porosidade e capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas.

REFERÊNCIAS

- AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; GONTIJO, I.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; VASCONCELOS JUNIOR, A. I. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian Latosols. **Soil & Tillage Research**. v. 102, p. 14 – 18, 2009.
- ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; MUGGLER, C.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; SANTOS, F.C. Solos com morfologia latossólica e caráter câmbico na região de Governador Valadares, médio rio doce, Minas Gerais: Gênese e micromorfologia. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 259-270, 2008.
- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.** v.42, n.8, p. 1101-1110, 2007.
- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN, **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 415-422, 2007.
- ASGARZADEH, H.; MOSADDEGHI, M. R.; MAHBOUBI, A. A.; NOSRATI, A.; DEXTER, A. R. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. **Plant Soil**. v. 335, p. 229 – 244, 2010.
- ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.R.; SILVA, F.A.M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 28, p. 993–1002, 1993.
- BALBINO, L.C.; BROSSARD, M.; LEPRUN, J. C.; BRUAND, A. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques : une étude bibliographique. **Étude et Gestion des Sols**, v. 9, n.2, p. 83 – 104, 2002a.
- BALBINO, L. C.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; GRIMALDI, M.; HAJNOS, M.; GUIMARÃES, M. F. Changes in porosity and microaggregation in clayey Ferralsols of the Brazilian Cerrado on clearing for pasture. **European Journal of Soil Science**, v. 53, p. 219 – 230, 2002b.
- BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUETIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**. v. 120, p. 297–307, 2004.
- BARZEGAR, A. R.; YOUSEFI, A.; DARYASHENAS, A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. **Plant and Soil**, v. 247, p. 295–301, 2002.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4. ed. London: JHON WILEY & SONS, 1972. 498 p.

- BERRITTELLA, M.; HOEKSTRA, A.Y.; REHDANZ, K.; ROSON, R. & TOL, R.S.J. The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis. **Water research**, v. 41, p. 1799-1813, 2007.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos vermelhos para a produtividade de soja. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 29, p. 843-849, 2005.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 26, p. 829-834, 2002.
- BHATTI, A.U.; MULLA, D.J.; KOEHLER, F.E.; GURMANI, A.H. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 55, p. 1523-1528, 1991.
- BIRKÁS, M.; JOLÁNKAI, M.; GYURICZA, C.; PERCZE, A. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. **Soil & Tillage Research**, v. 78, p. 185–196, 2004.
- BIRLE, E.; HEYER, D.; VOGT, N. Influence of the initial water content and dry density on the soil–water retention curve and the shrinkage behavior of a compacted clay. **Acta Geotechnica**, v. 3, p. 191 – 200, 2008.
- BRAUN, O.P.G. Contribuição à geomorfologia do Brasil central. **Atlas de Relações internacionais**. n. 15, p. 3-39, 1970.
- CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; HORVAT, R.A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - Correlação espacial entre mineralogia e agregados. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 2279-2288, 2008.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência rural**, v. 25, n. 1, p. 183 – 188, 1995.
- CARMO, D. N.; CURI, N.; RESENDE, M. Caracterização e gênese de Latossolos da região do alto Paraniba (MG). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 8, p. 235 – 240, 1984.
- CENTURION, J. F.; MORAES, M. H.; DELLA LIBERA, C. L. F. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 21, p. 173 – 179, 1997.
- CIACHOTA, R.; van LIER, Q. J. Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção da água no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 585 - 596, 2004.

- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: Manejo de variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.v. 3. p. 249-290.
- COSTA, C. S.; RODRIGUES, J. J. V.; CAVALCANTI, A. C.; MARINHO, L. B.; ALMEIDA NETO, L. A.; SILVA, T. J. A. Água disponível em um Neossolo Quartzarênico após adição de um condicionador mineral do solo. **R. Bras. Eng. Agrí. Ambi.** v.13, n.5, p.524 – 530, 2009.
- DABROWSKI, J.M.; MURRAY, K.; ASHTON, P.J.; LEANER, J.J. Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. **Ecological Economics.** v. 68, p. 1074-1082, 2009.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma.** v. 120, p. 201 – 214, 2004.
- DUFFERA, M.; WHITE, J. G.; WEISZ, R. Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. **Geoderma**, v. 137, p. 327 – 339, 2007.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2 ed. rev. Atual, Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- ERSAHIN, S.; BROHI, R. Spatial variation of soil water content in top soil and subsoil of a Typic Ustifluent. **Agricultural Water Management.** v. 83, p. 79-86, 2006.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 515 - 524, 1999a.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 507 - 514, 1999b.
- FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Afrontar a escassez de água**. Disponível em: < <http://www.rlc.fao.org/pr/tierra/agua07.htm>>. Acesso em: 03 maio 2009.
- FRAITURE, C.; MOLDEN, D.; AMARASINGHE, U. & MAKIN I. PODIUM: Projecting Water Supply and Demand for Food Production in 2025. **Phys. Chem. Earth (B)**, v. 26, p. 869-876, 2001.
- FREITAS JUNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 19, n. 11, p. 1423 – 1248, 1984.
- GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II – Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 307 - 319, 2006.

- GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. **Savanas desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina – DF: EMBRAPA, 2008. p. 49-80.
- GOMES, J. B. V.; CURI, N.; SCHULZE, D. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; KER, J. C.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia, morfologia e análise microscópica de solos do bioma Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 679 - 694, 2004a.
- GOMES, J. B. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 137 - 153, 2004b.
- GOMES, N.M.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; FARIA, M.A.; OLIVEIRA, P.M. Métodos de ajuste e modelo de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 435-443, 2007.
- GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 29, p. 169-177, 2005.
- GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S.R.; CHIBA, M.K.; NAGUMO, C.H.; DECHEN, S.C.F. Spatial and temporal variability of crop yield and some Rhodic Hapludox properties under no-tillage. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 34, p. 1-14, 2010.
- HAIR, J.F; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2005. p.89-124; 381-417.
- HEDLEY, C. B.; YULE, I. J. Soil water status mapping and two variable-rate irrigation scenarios. **Precision Agriculture**, v. 10, p. 342 – 355, 2009.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**, Amsterdam: ACADEMIC PRESS, 1998. 771 p.
- IKENAGA, S.; INAMURA, T. Evaluation of site-specific management zones on a farm with 124 contiguous small paddy fields in a multiple-cropping system. **Precision Agriculture**, v. 9, p.147–159, 2008.
- JABRO, J. D.; EVANS, R. G.; KIM, Y.; IVERSEN, W. M. Estimating in situ soil–water retention and field water capacity in two contrasting soil textures. **Irrigation Science**. v. 27, p. 223 – 229, 2009.
- KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17 – 40, 1997.
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil oriental. **R. Bras.Geografia**. n. 2, p. 147-265, 1956.
- KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **R. Bras. Eng. Agrí. Ambi.** v.10, n.3, p.646 – 650, 2006.

- LAWES, R. A.; OLIVER, Y.M.; ROBERTSON, M. J. Integrating the effects of climate and plant available soil water holding capacity on wheat yield. **Field Crops Research**. v. 113, p. 297 – 305, 2009.
- LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, L.F.C. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em áreas de proteção ambiental do sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 33, p. 1087-1095, 2009.
- MAJOU, H. A.; BRUAND, H. A.; DUVAL, O.; COUSIN, I. Variation of the water-retention properties of soils: Validity of class-pedotransfer functions. **C. R. Geoscience**, v. 339, p. 632 - 639, 2007.
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.** v.42, n.6, p.873-882, 2007.
- MIGUEL, M. G.; VILAR, O. M. Study of the water retention properties of a tropical soil. **Can. Geotech. J.** v. 46, p. 1084–1092, 2009.
- MORALES, V.L.; PARLANGE, J.Y.; STEENHUIS, T.S. Are preferential flow paths perpetuated by microbial activity in the soil matrix? A review. **Journal of Hydrology**. v. 393, p. 29–36, 2010.
- MORETI, D.; LIBARDI, P.L.; ROCHA, G.C.; LOVATTI, M.J.; AGUIAR, L.I.G. Avaliação espaço-temporal das armazenagens gravimétrica e volumétrica da água num latossolo com citros. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 31, p. 1281-1290, 2007.
- MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002.
- MUELLER, C. C.; MARTHA JUNIOR, G. A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. **Savanas Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina – DF: EMBRAPA, 2008, p. 105 a 172.
- OLIVEIRA, E. M. M. ; RUIZ, H. A.; ALVAREZ V, V. H.; FERREIRA, P. A.; COSTA, F. O.; ALMEIDA, I. C. C. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plants in response to soil aggregate size and water potential. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 34, p. 317 - 327, 2010.
- PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil & Tillage Research**. v. 79, p.131–143, 2004.
- REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E. M.; MARTINS, E. S.; BROSSARD, M. Hydraulic properties of the diagnostic horizon of Latosols of a regional toposequence across the Brazilian Central Plateau. **Geoderma**, v. 139, p. 51 – 59, 2007.

- REATTO, A.; BRUAND, A.; MARTINS, E. S.; MULLER, F.; SILVA, E. M.; CARVALHO JUNIO, O. A.; BROSSARD, M. Variation of the kaolinite and gibbsite content at regional and local scale in Latosols of the Brazilian Central Plateau. **C. R. Geoscience**, v. 340, p. 741 - 748, 2008.
- REATTO, A.; BRUAND, A.; MARTINS, E. S.; MULLER, F.; SILVA, E. M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; BROSSARD, M.; RICHARD, G. Development and origin of the microgranular structure in latosols of the Brazilian Central Plateau: Significance of texture, mineralogy, and biological activity. **Catena**, v. 76, p. 122 – 134, 2009a.
- REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E.M.; GUEGAN, R.; COUSINC, I.; BROSSARD, M. & MARTINS, E. S. Shrinkage of microaggregates in Brazilian Latosols during drying: significance of the clay content, mineralogy and hydric stress history. **Eur. J. Soil Sci.**, 60:1106-1116, 2009b.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 12, p. 211 – 216, 1988.
- REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1547 - 1560, 2009.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de latossolos a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 11, p. 17-23, 1987.
- RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Uso das Relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos Latossolos. In. **Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola**, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA–SNLCS/SECS, 1988. p. 225-229.
- REYNIERS, M.; MAERTENS, K.; VRINDTS, E.; DE BAERDEMAEKER, J. Yield variability related to landscape properties of a loamy soil in central Belgium. **Soil & Tillage Research**. v. 88, p. 262–273, 2006.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131 – 146, 2002.
- REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; FOX, C. A.; YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**. v. 152, p. 252 – 263, 2009.
- REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; FOX, C. A.; TAN, C. S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, v. 96, p. 316 – 330, 2007.
- ROCHA, G.C.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; CRUZ, A.C.R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29 p.41-50, 2005.

- RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de latossolos e neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 389-393, 2003.
- SASAL, M.C.; CASTIGLIONI, M.G.; WILSON, M.G. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. **Soil & Tillage Res.** v. 108, p. 24-29, 2010.
- SCHAFFRATH, V.R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 32:1369-1377, 2008.
- SHAHANDEH, H.; WRIGHT, A. L.; HONS, F. M. Use of soil nitrogen parameters and texture for spatially-variable nitrogen fertilization. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 146-163, 2011. <DOI 10.1007/s11119-010-9163-8>.
- SILVA, E.M.; AZEVEDO, J.A. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 37, n. 10, p. 1487-1494, 2002.
- SILVA, E.M.; LIMA, J.E.F.W.; AZEVEDO, J.A.; RODRIGUES, L.N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 41, p. 323-330, 2006.
- STARR, G. C. Assessing temporal stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management. **Agricultural Water Management**. v. 72, p. 223 – 243, 2005.
- STRUDLEY, M.W.; GREEN, T.R. & ASCOUGH II, J.C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil & Tillage Res.** v. 99, p. 4-48, 2008.
- TAVARES FILHO, J & TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 33, p. 1837-1844, 2009.
- TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná, Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 34, p. 899-906, 2010.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: Um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **R. Bras. Eng. Agri. Ambi.** v.3, n.3, p.286-292, 1999.
- VAN DEN BERG, M.; KLAMT, E.; van REEUWIJK, L.P.; SOMBROEK, W.G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, v. 78, p. 161 - 180, 1997.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturate soils. **Soil science society american journal**, v. 44, p. 892 – 898, 1980.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

VITHARANA, U.W.A.; MEIRVENNE, M.V.; SIMPSON, D.; COCKX, L. & BAERDEMAEKER, J.D. Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area. **Geoderma**. v. 143, p. 206-215, 2008.

VOLLAND-TUDURI, N.; BROSSARD, M.; BRUAND, A. & GARREAU, H. Direct analysis of microaggregates shrinkage for drying: Application to microaggregates from a Brazilian clayey Ferralsol. **C. R. Geoscience**. v.336, p. 1017-1024, 2004.

VOLLAND-TUDURI, N.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, M. I. L.; MARTINS, E. S. Mass Proportion of Microaggregates and Bulk Density in a Brazilian Clayey Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, v. 69, p. 1559 – 1564, 2005.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: ACADEMIC PRESS, 1980. p.319-344.

WEISSKOPF, P.; REISER, R.; REK, J.; OBERHOLZER, H.R. Effect of different compaction impacts and varying subsequent management practices on soil structure, air regime and microbiological parameters. **Soil & Tillage Research**. v. 111, p. 65–74, 2010.

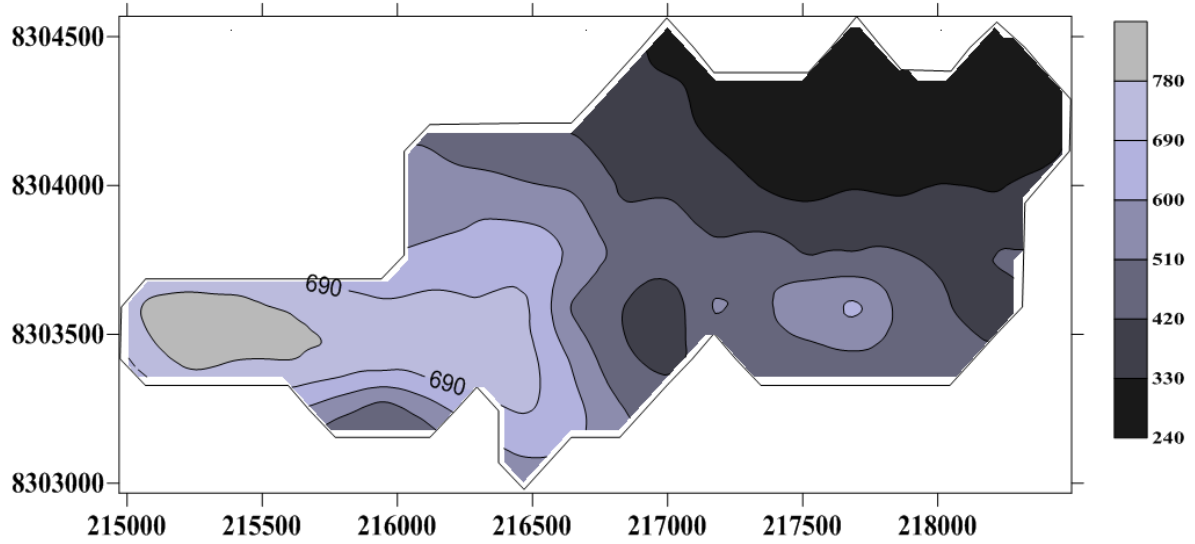
ZHANG, B.; WANG, Z.; LIU, Z.; HUANG, A.; TANG, Q.; HE, Y. Influence of soil organic matter contents on soil water characteristics of forests on east slope of Gongga Mountain. **Journal of Forestry Research**, v. 18, n. 1, p. 78–80, 2007.

ZHU, Q.; SCHMIDT, J. P.; LIN, H. S.; SRIPADA, R. P. Hydropedological processes and their implications for nitrogen availability to corn. **Geoderma**, v. 154, p. 111 – 122, 2009.

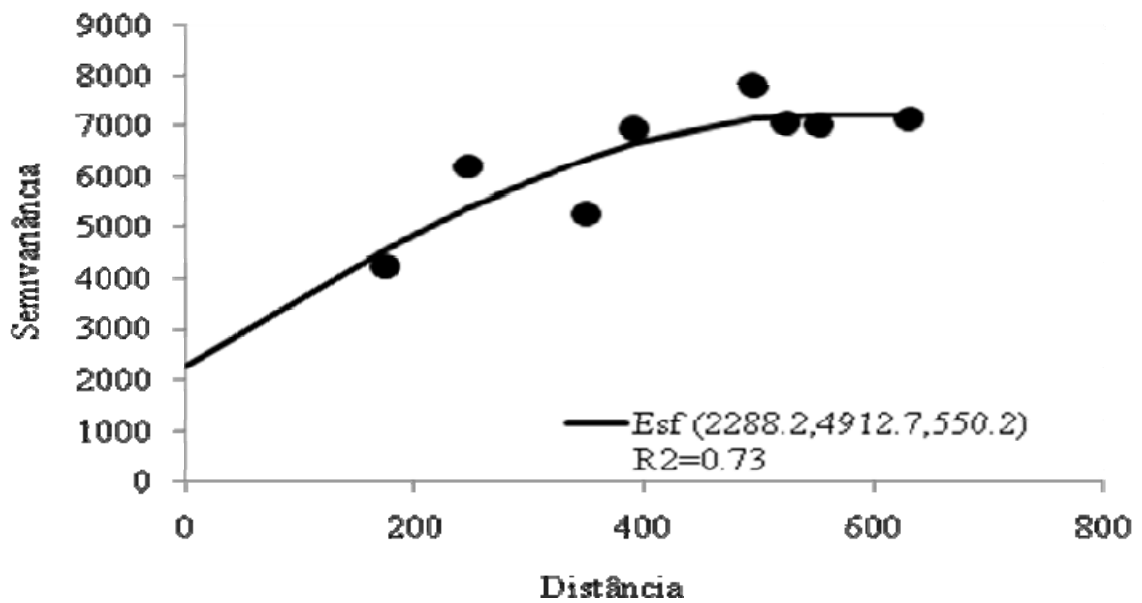
APÊNDICES

APÊNDICE A – Mapa da variabilidade espacial do teor de argila da gleba 1

Mapa da variabilidade espacial do teor de argila da profundidade 0,80-1,00m da gleba 1

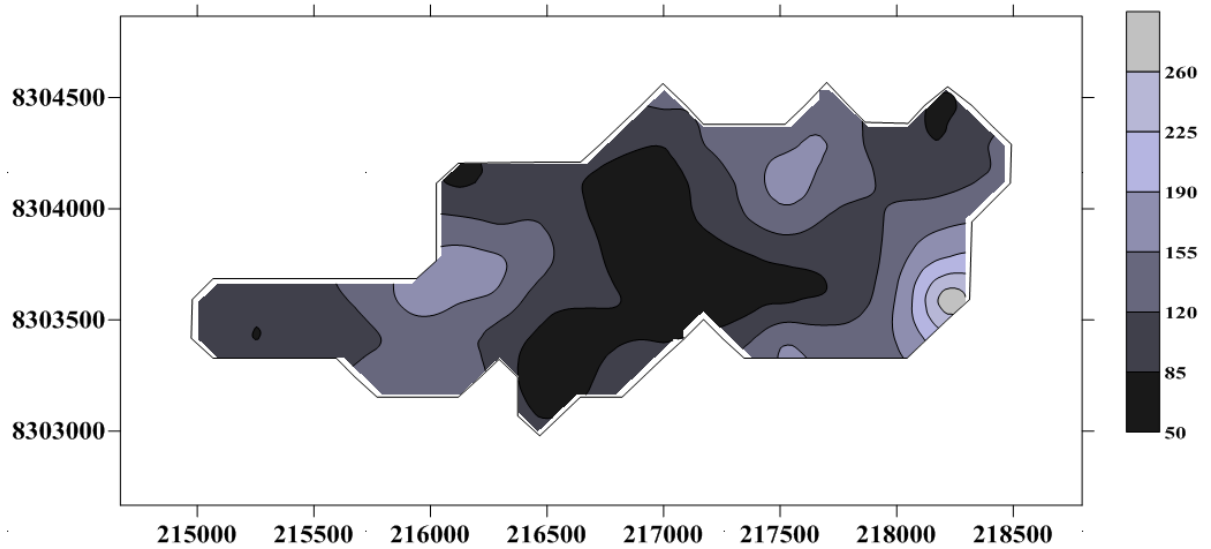


Semivariograma para o teor de argila da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 1

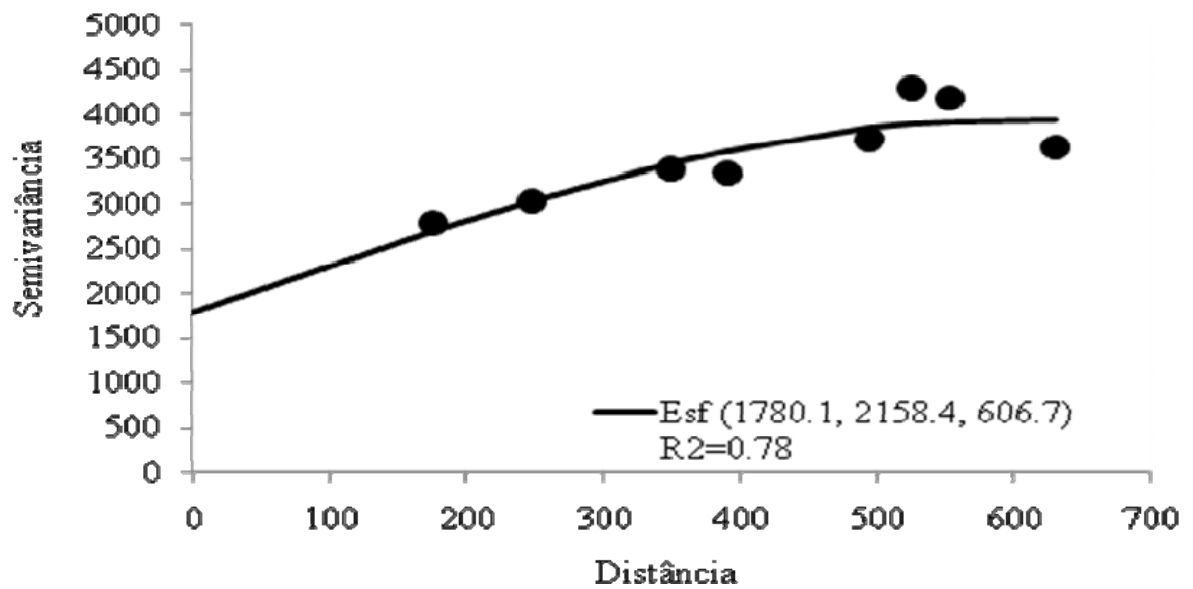


APÊNDICE B – Mapa da variabilidade espacial do teor de silte da gleba 1

Mapa da variabilidade espacial do teor de silte da profundidade 0,80-1,00m da gleba 1

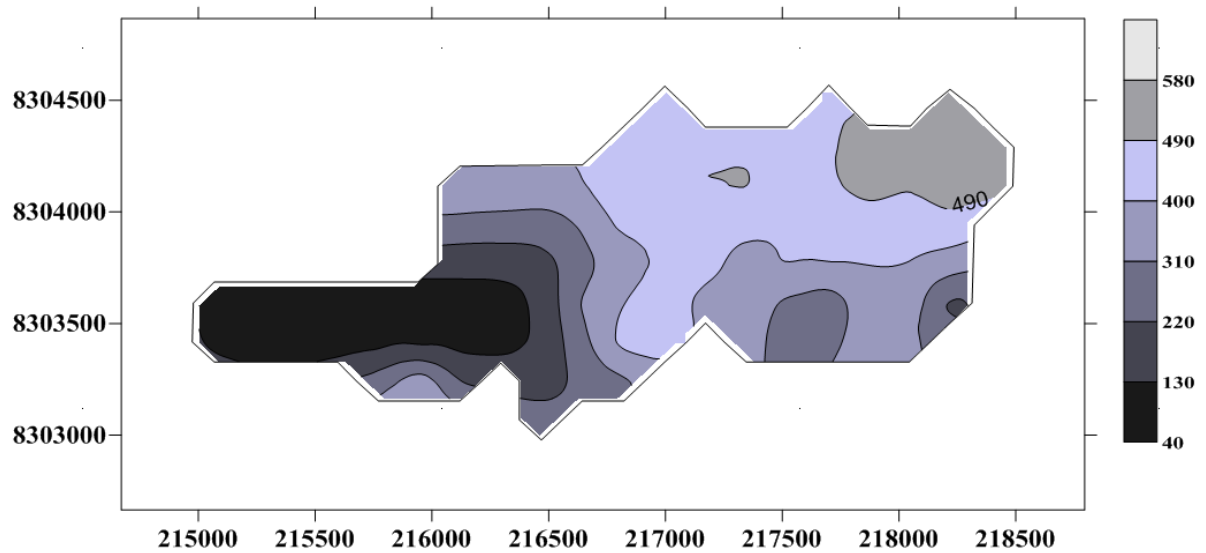


Semivariograma para o teor de argila da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 1

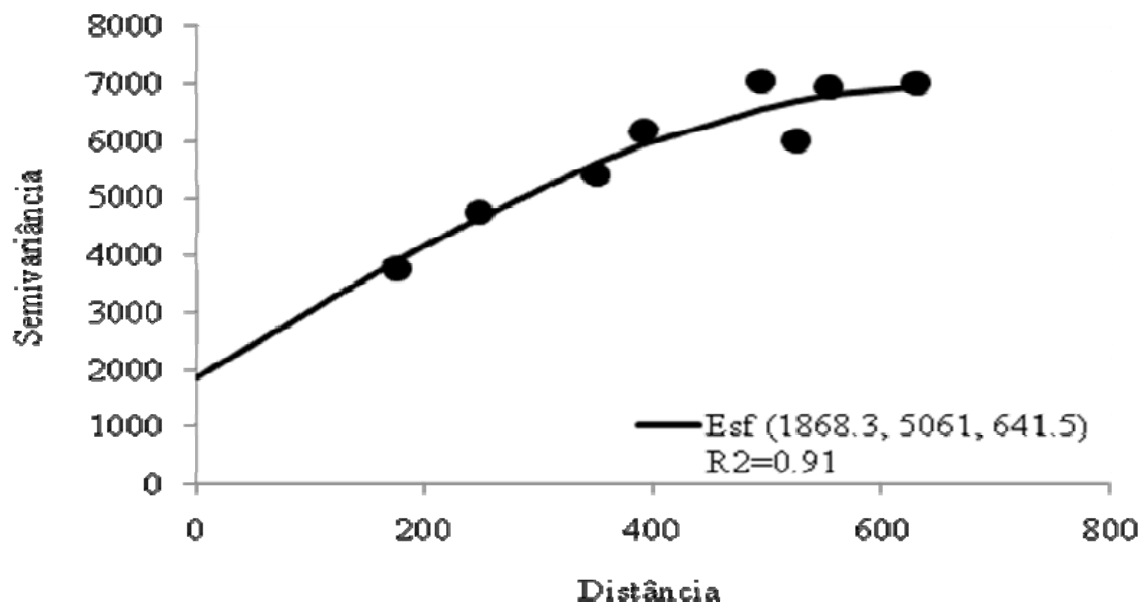


APÊNDICE C – Mapa da variabilidade espacial do teor de areia fina da gleba 1

Mapa da variabilidade espacial do teor de areia fina da profundidade 0,80-1,00m da gleba 1

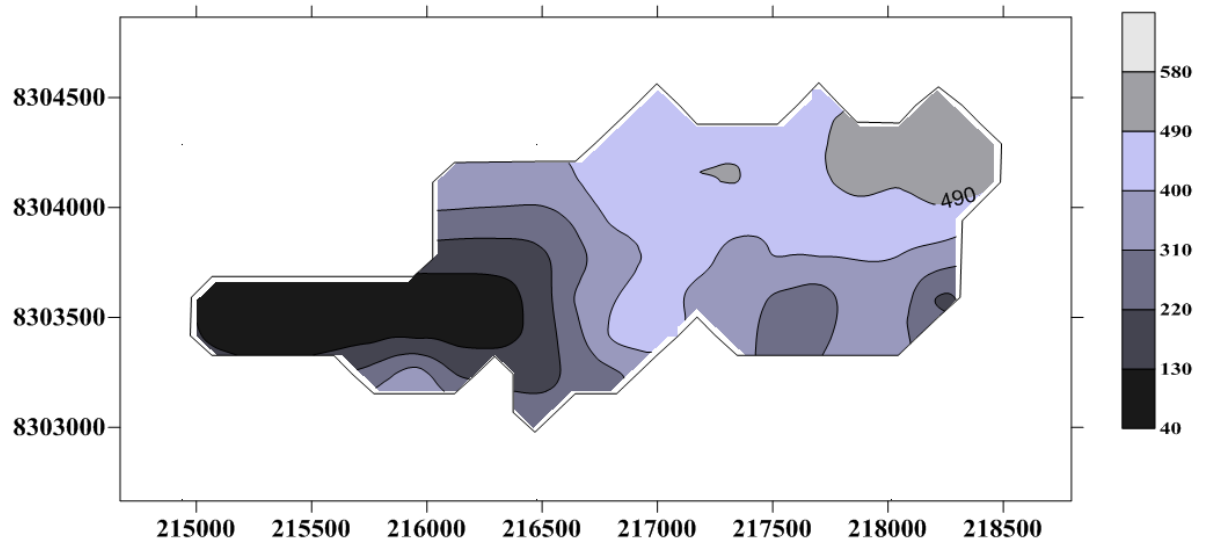


Semivariograma para o teor de areia fina da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 1

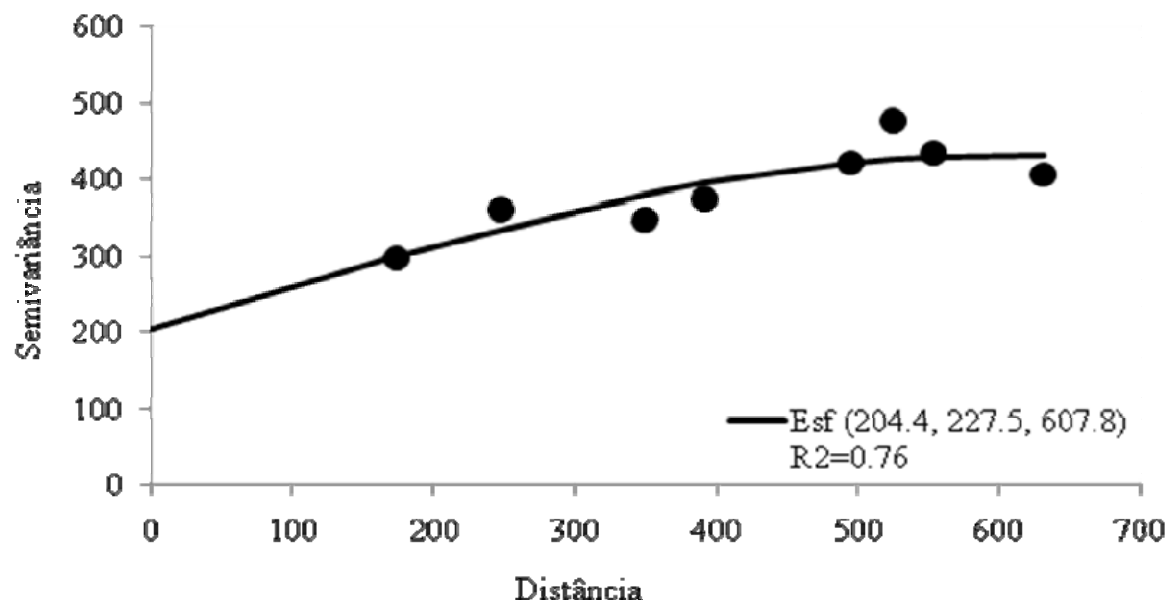


APÊNDICE D – Mapa da variabilidade espacial do teor de areia grossa da gleba 1

Mapa da variabilidade espacial do teor de areia grossa da profundidade 0,80-1,00m da gleba 1

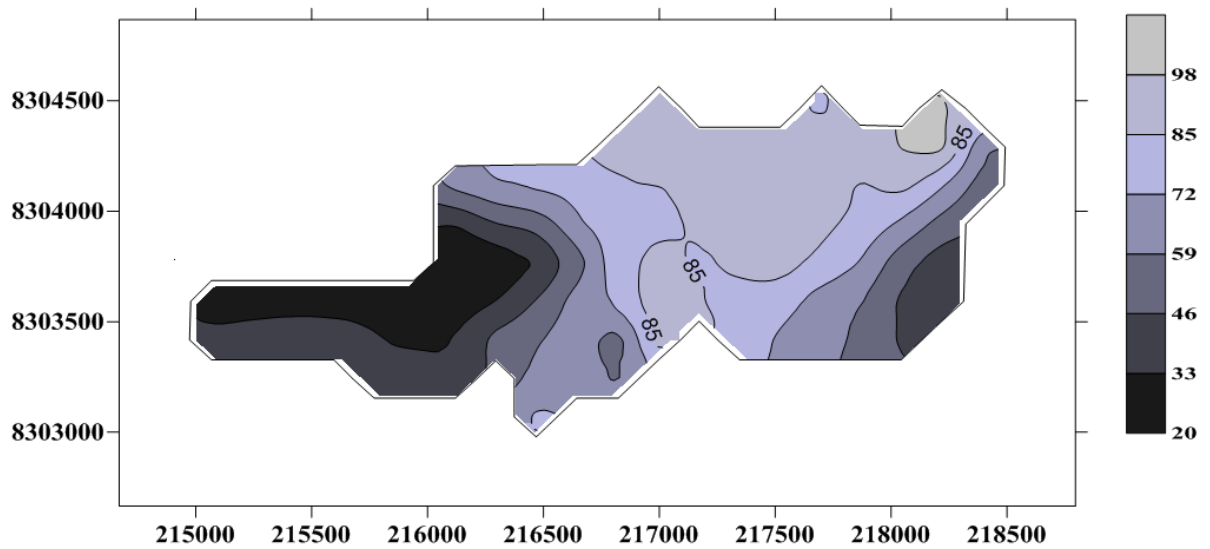


Semivariograma para o teor de areia grossa da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 1

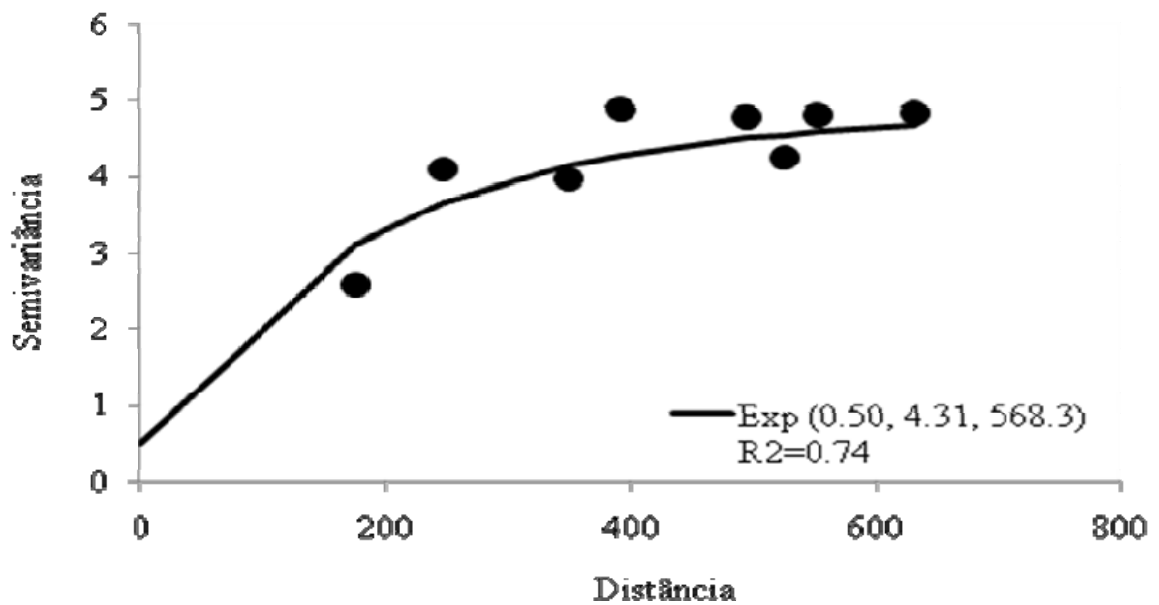


APÊNDICE E – Mapa da variabilidade espacial do teor de carbono orgânico da gleba 1

Mapa da variabilidade espacial do teor de carbono orgânico da profundidade 0,80-1,00m da gleba 1

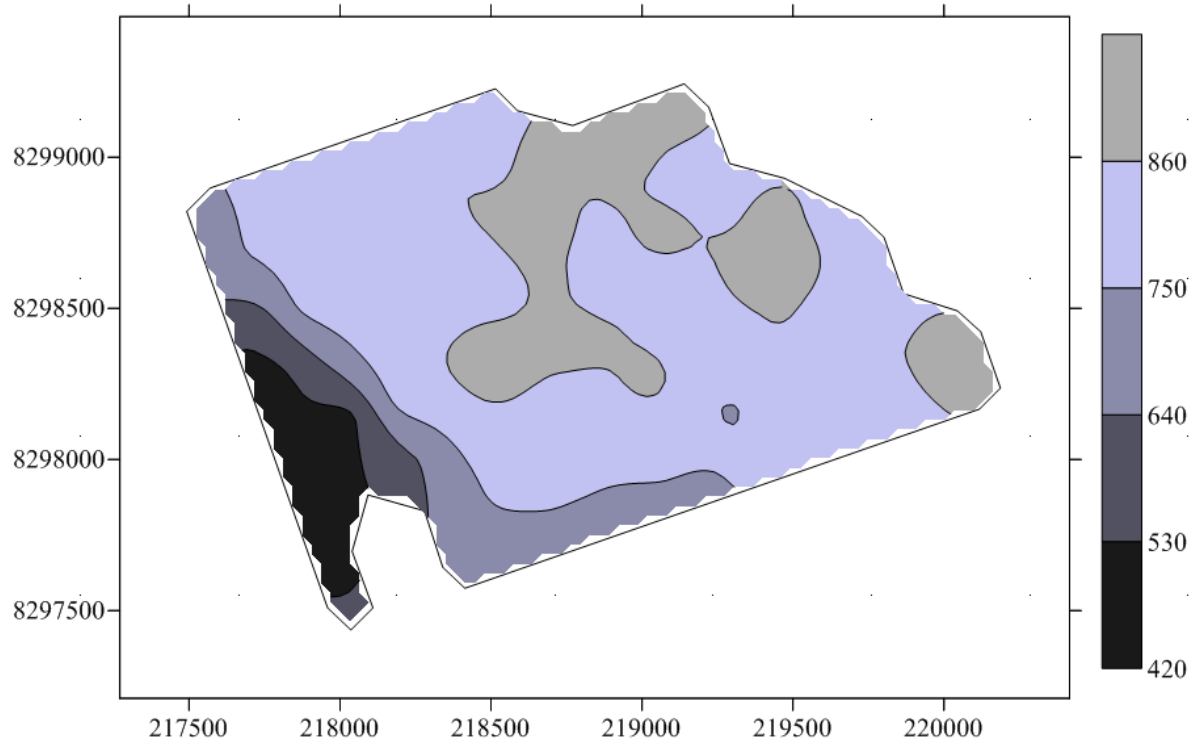


Semivariograma para o teor de carbono orgânico da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 1

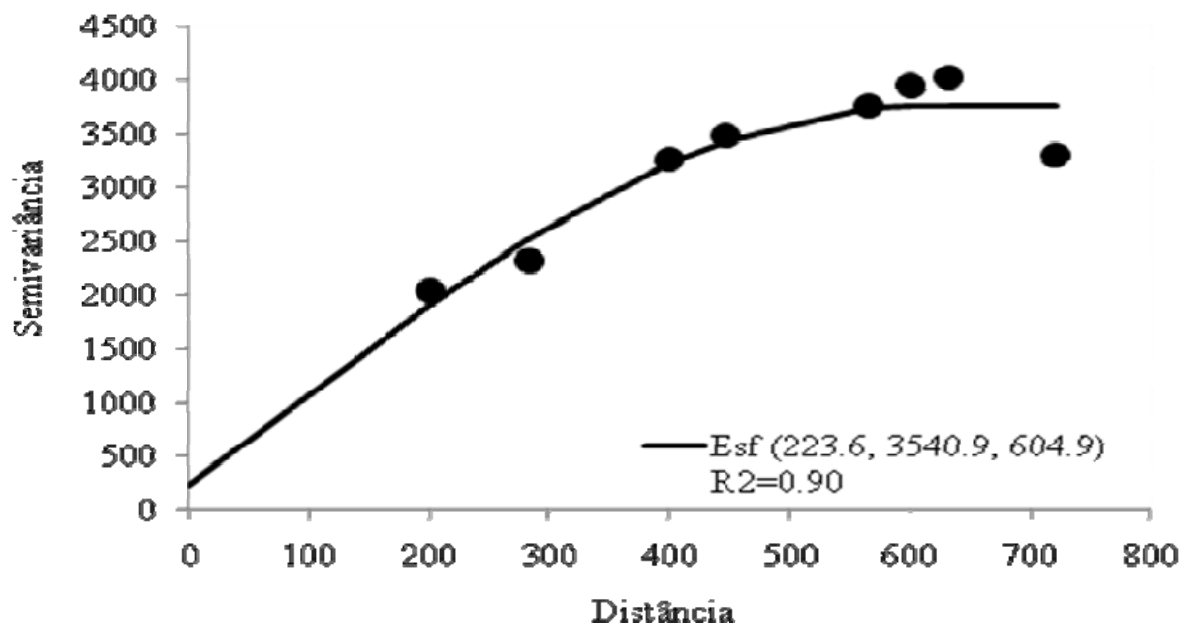


APÊNDICE F – Mapa da variabilidade espacial do teor de argila da gleba 2

Mapa da variabilidade espacial do teor de argila da profundidade 0,80-1,00m da gleba 2

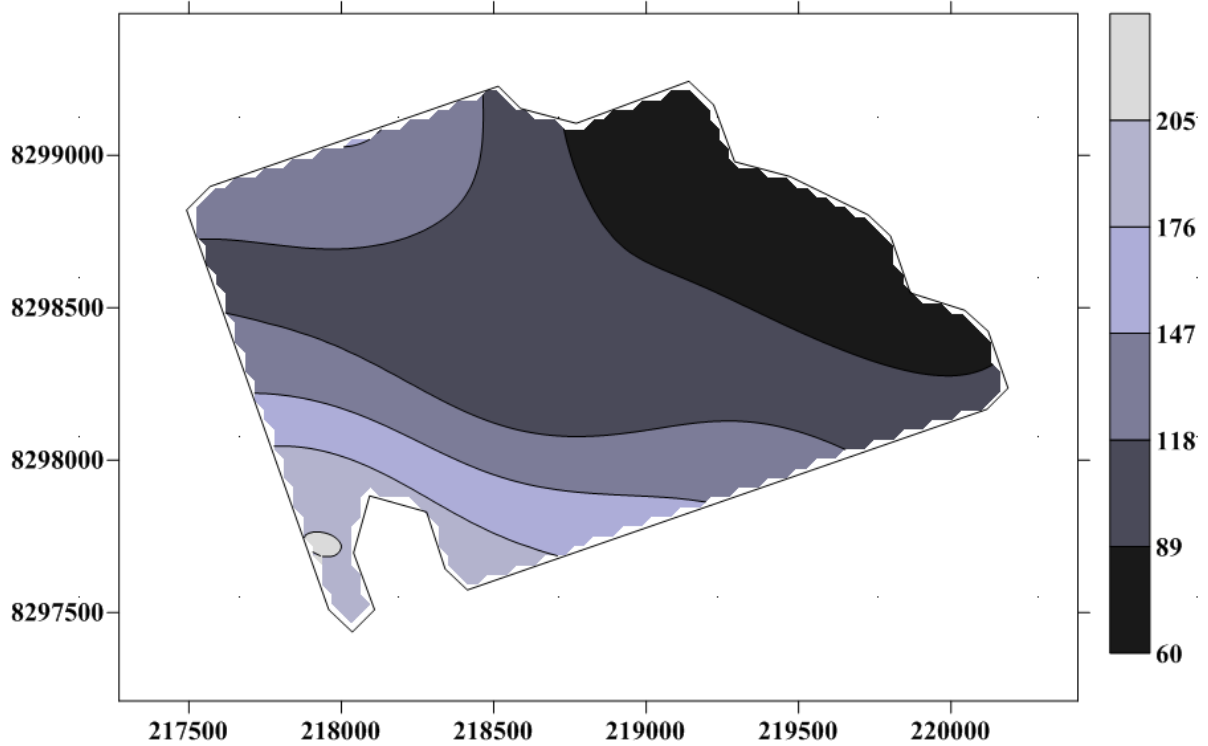


Semivariograma para o teor de argila da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 2

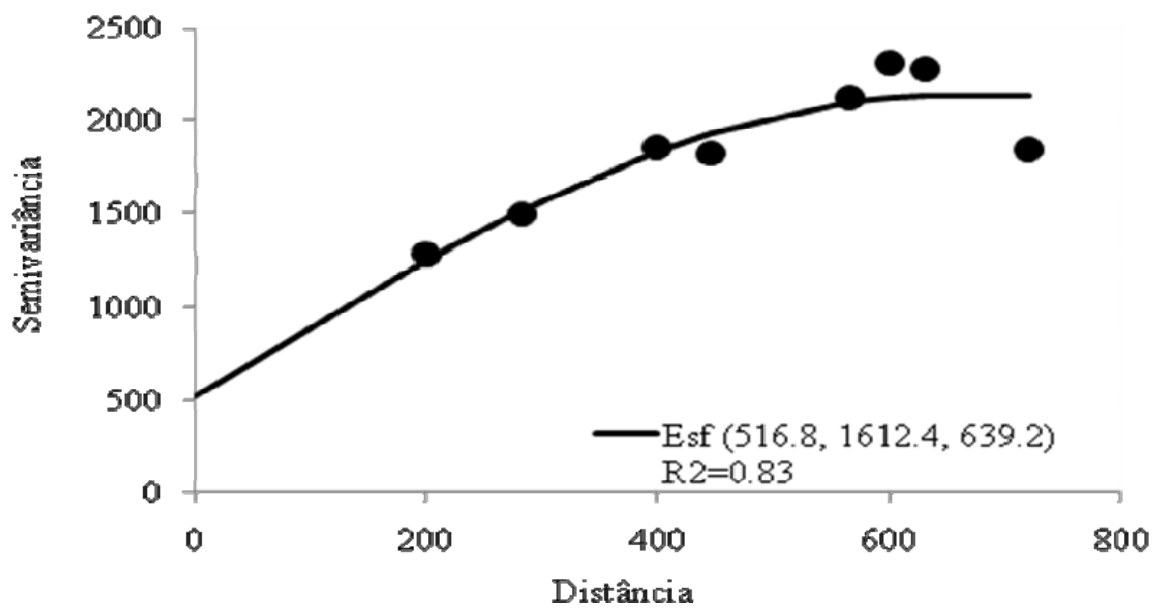


APENDICE G – Mapa da variabilidade espacial do teor de silte

Mapa da variabilidade espacial do teor de silte da profundidade 0,80-1,00m da gleba 2

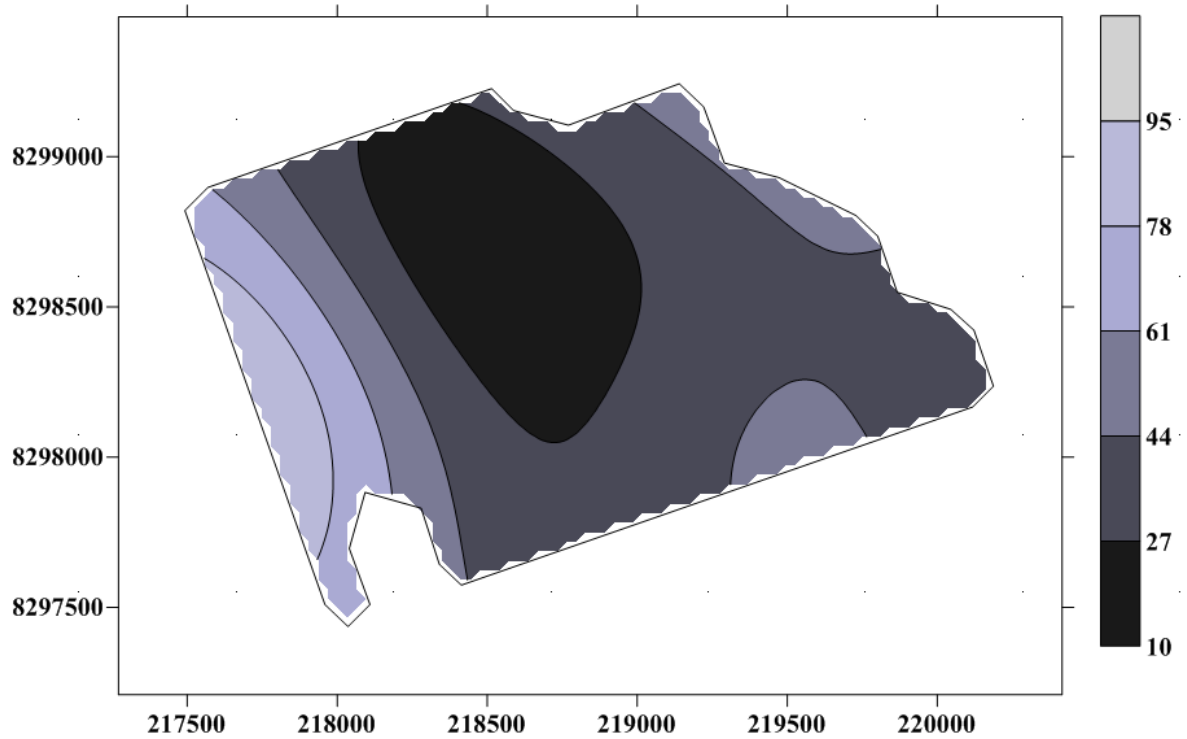


Semivariograma para o teor de silte da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 2

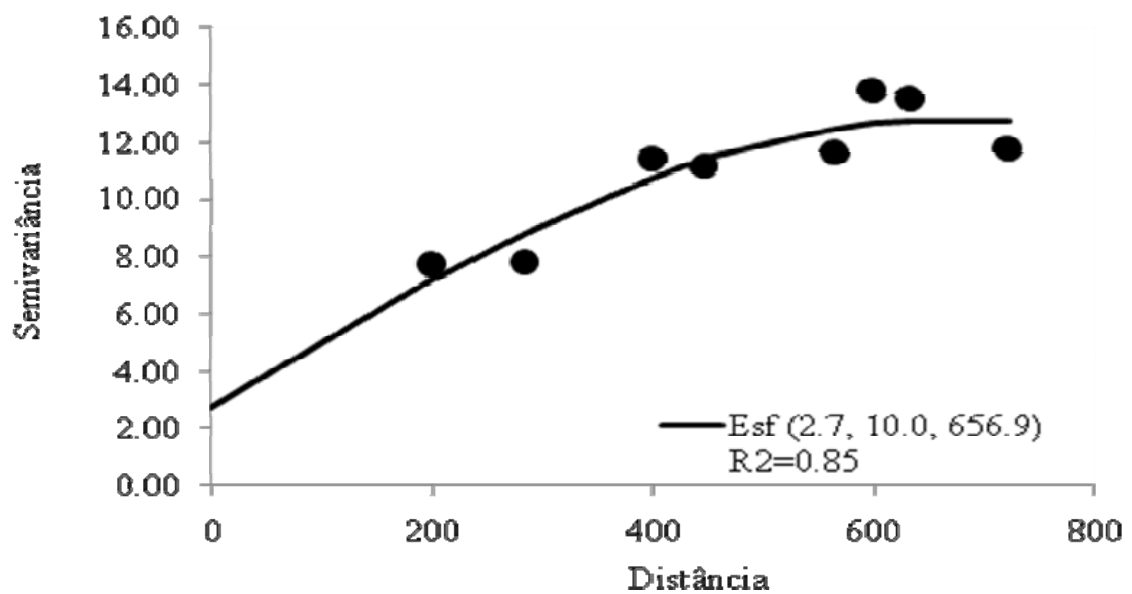


APENDICE H – Mapa da variabilidade espacial do teor de areia fina

Mapa da variabilidade espacial do teor de areia fina da profundidade 0,80-1,00m da gleba 2

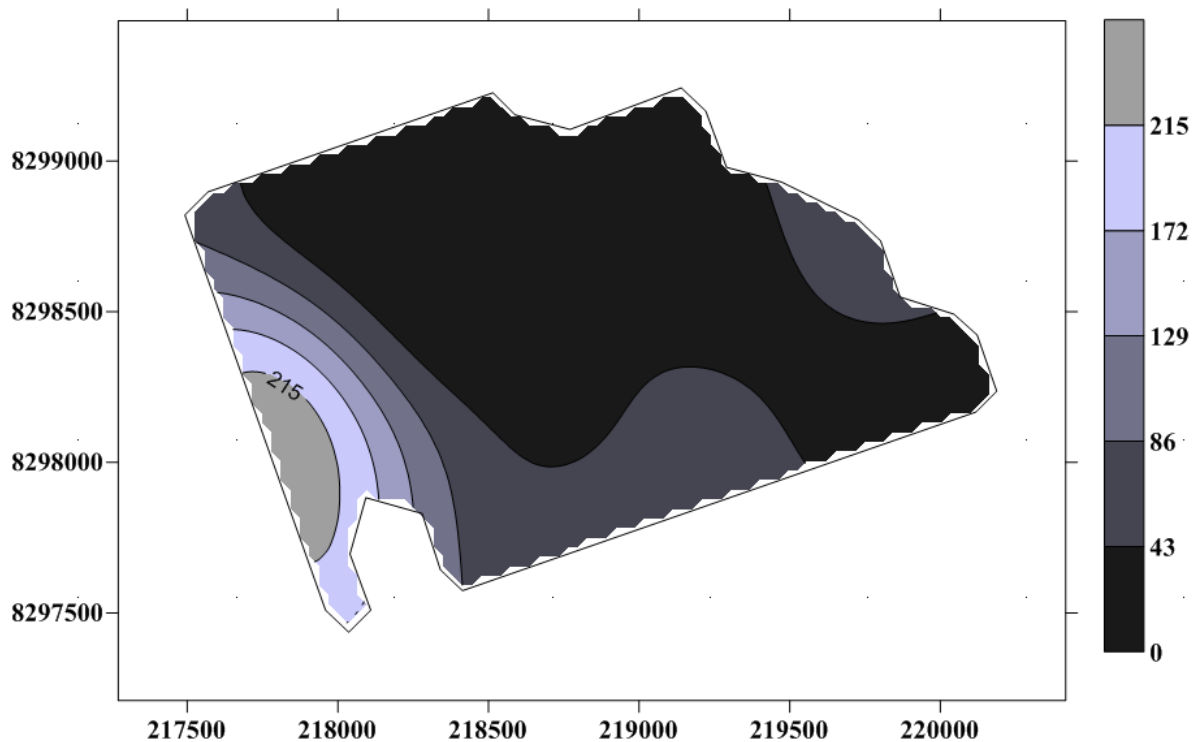


Semivariograma para o teor de areia fina da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 2

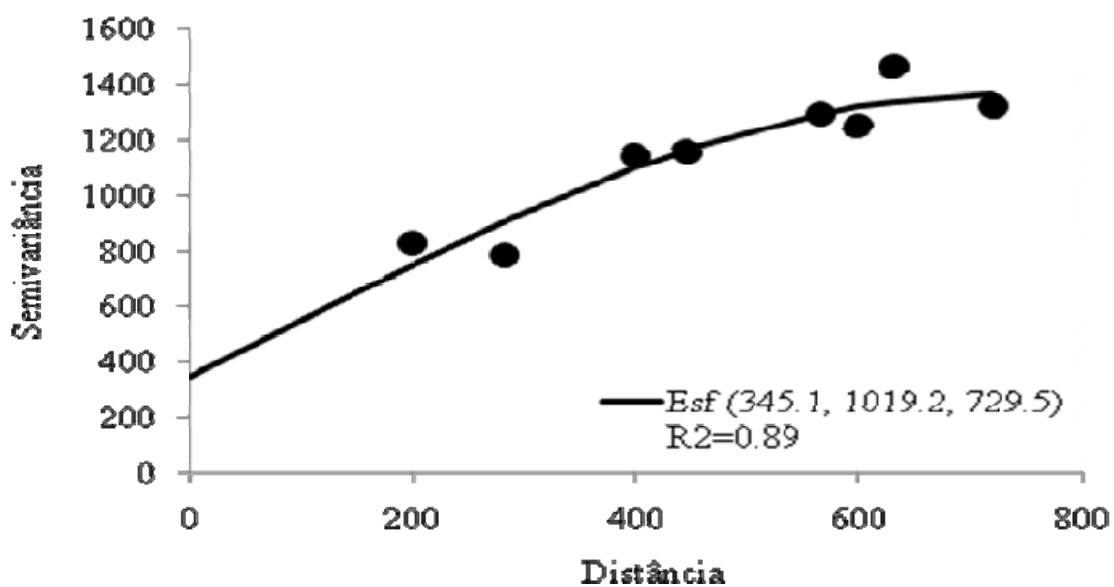


APENDICE I – Mapa da variabilidade espacial do teor de areia grossa

Mapa da variabilidade espacial do teor de areia grossa da profundidade 0,80-1,00m da gleba 2

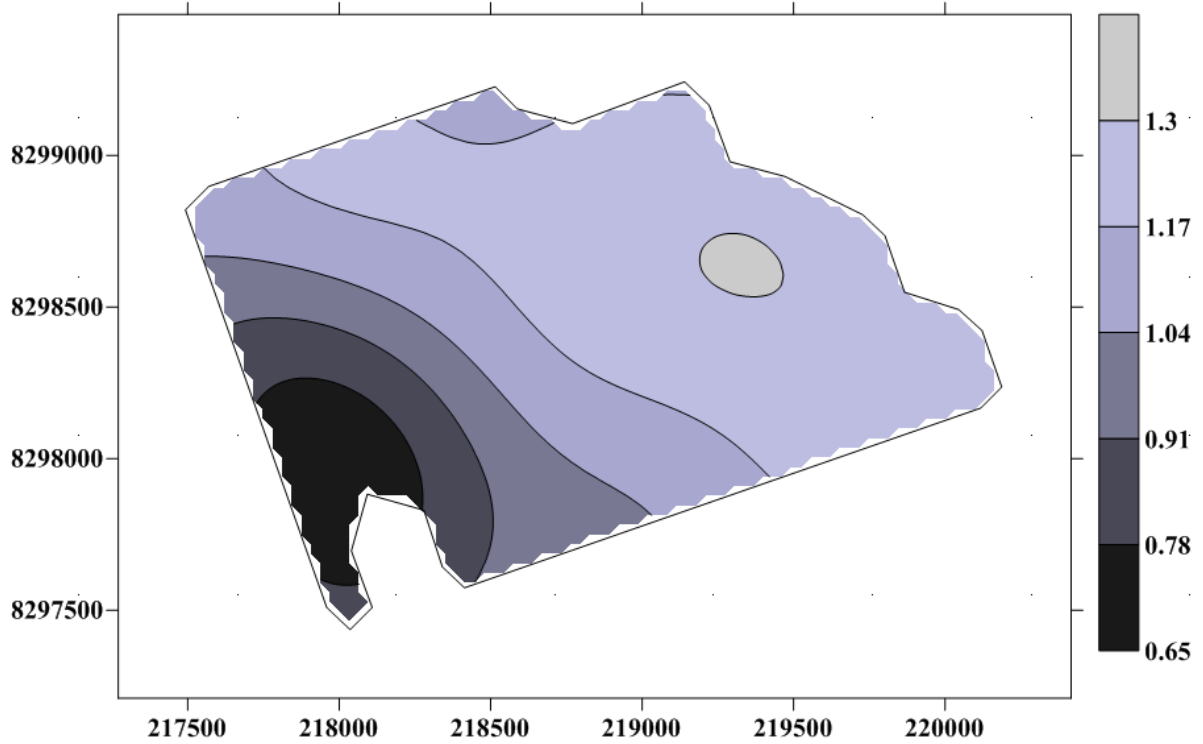


Semivariograma para o teor de areia grossa da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 2

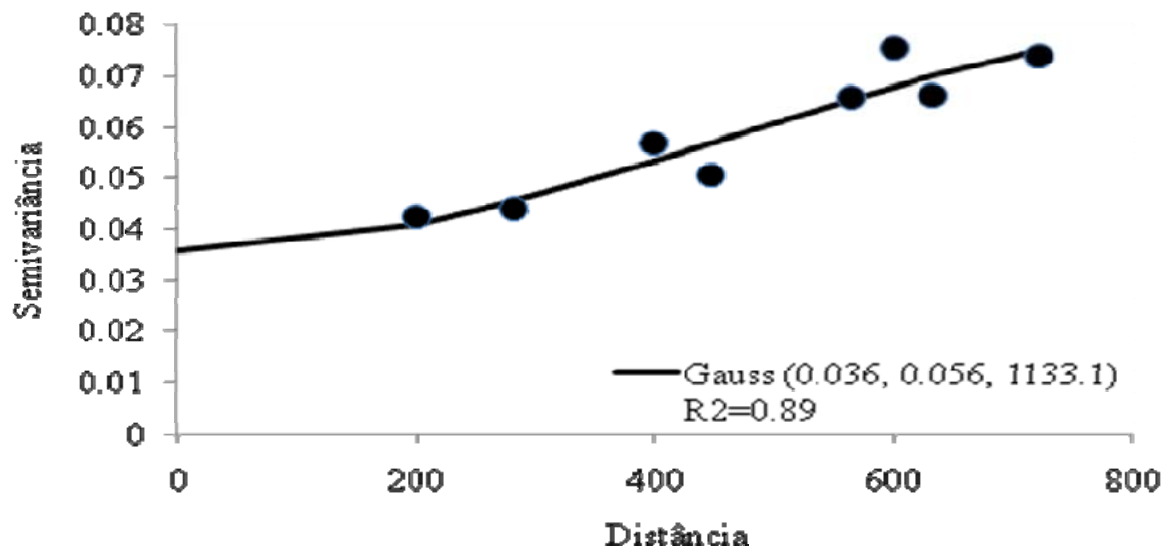


APENDICE J – Mapa da variabilidade espacial do teor de carbono orgânico da gleba 2

Mapa da variabilidade espacial do teor de carbono orgânico da profundidade 0,80-1,00m da gleba 2

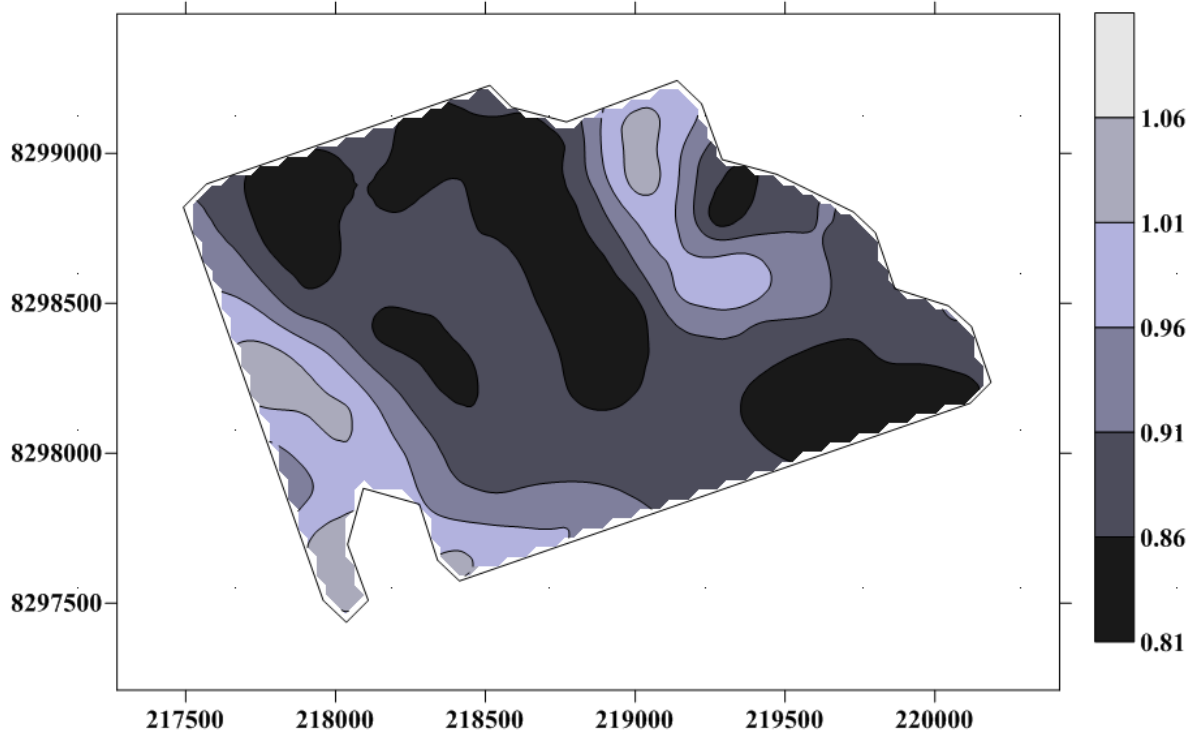


Semivariograma para o teor de carbono orgânico da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 2



APENDICE K – Mapa da densidade do solo da gleba 2

Mapa da variabilidade espacial da densidade dos solo da profundidade 0,80-1,00m da gleba 2



Semivariograma para a densidade do solo da profundidade 0,80-1,00m do solo da gleba 2

