

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

PAULINO TAVEIRA DE SOUZA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E
BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA
CULTURA DO MILHO EM ÁREAS COM E SEM APLICAÇÃO DE MICROGEO®
NO CERRADO**

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PAULINO TAVEIRA DE SOUZA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E
BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA
CULTURA DO MILHO EM ÁREAS COM E SEM APLICAÇÃO DE MICROGEO®
NO CERRADO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor.

Especialidade: Sistemas de Produção.

Rafael Montanari
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S729v Souza, Paulino Taveira de.
Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos de um latossolo e componentes de produção da cultura do milho em áreas com e sem aplicação de Microgeo[®] no cerrado / Paulino Taveira de Souza. – Ilha Solteira: [s.n.], 2022
66 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Rafael Montanari
Inclui bibliografia

1. Geoestatística. 2. Adubo biológico. 3. *Zea mays* L. 4. Agricultura de precisão.


Raiane da Silva Santos

Supervisora e realizadora de Seção
Serviço Técnico de Biblioteca, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CIBD - 0999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo e componentes de produção da cultura do milho em áreas com e sem aplicação de microgeo no Cerrado

AUTOR: PAULINO TAVEIRA DE SOUZA

ORIENTADOR: RAFAEL MONTANARI

COORIENTADOR: ORIVALDO ARF

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola-FCAV/UNESP / Jaboticabal/SP



Prof. Dr. Rafael Montanari
Professor de Ensino Superior
UNESP - Ilha Solteira
Mat. 451737-4

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. DOUGLAS HENRIQUE BANDEIRA (Participação Virtual)
Departamento Física e Ciências da Terra / Universidade da Coruña

Prof. Dr. RAYNER SVERSUT BARBIERI (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Faculdade Associadas de Uberaba - FAZU

Prof. Dr. MARCELO RODRIGO ALVES (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade do Oeste Paulista

Ilha Solteira, 04 de março de 2022

DEDICATÓRIA

A memória do meu avô João Taveira que foi o primeiro exemplo que me recordo de contato com a terra e o que ela pode proporcionar. Aos meus pais amores amigos e irmão por todo apoio amor e fé colocados em mim. E espero que um dia meu exemplo possa também inspirar meu filho e até netos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a equipe Geolsa coordenada pelo professor Rafael Montanari em especial TaTu Rayner e Maria Julia que ajudaram a cavar muito solo para essa pesquisa ser possível sem eles não teria passado de uma simples ideia.

Agradeço aos meus pais João Taveira de Souza Filho e Adenice Domingos dos Santos Taveira de Souza por todo apoio e credibilidade em buscar meus sonhos.

Ao meu irmão João Caetano por todo incentivo e carinho, meu filho Pietro por servir de motivação, meu avô Heleno por toda fé partilhada e depositada em mim.

Agradeço também demais familiares pelo apoio direto ou indireto, em especial aos meus tios Alailson e Ronaldo pela inspiração em sempre buscar o conhecimento.

E por fim, um grande agradecimento as minhas avós Maria e Jandira por todo carinho e ternura e que sempre amaram a terra e pelo exemplo me ensinaram a amar, cuidar e cultivar.

Essa coisa de viver do que gosta é pra poucos, você ama o que faz? quanto você dedica da sua vida pra isso? Você lê quanto? Se você não ama, como espera que isso te dê retorno. Você tem que aprofundar na sua arte no seu trabalho seu quer realmente viver disso!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”.

José de Alencar

RESUMO

A agricultura de precisão, através da geoestatística, permite conhecer as variabilidades do solo, tornando possível identificar, nas áreas cultivadas, as zonas com restrições físicas, químicas e biológicas. Com o intenso uso do solo para agricultura problemáticas como a compactação e a falta de vida no solo podem prejudicar a produtividade agrícola, o adubo biológico Microgeo® surge como uma opção de manejo. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo modelar a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo e componentes de produção da cultura do milho segunda safra, além de conhecer entre os dois tratamentos qual proporcionou melhor qualidade do solo com ou sem aplicação do adubo biológico Microgeo®. O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Terezinha, localizada em Jataí, Goiás, Brasil. O solo da área é um Latossolo Vermelho. A área foi dividida quanto à aplicação do adubo biológico Microgeo®, na presença ou ausência. Foram realizados 50 pontos amostrais em cada área compondo a malha geostatística. Foram analisados os seguintes atributos do solo: areia, silte, argila, matéria orgânica (M.O), fósforo (P), potencial hidrogeniônico (pH), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração total do solo (RBS), coeficiente metabólico (qCO_2), altura de planta (ALTP), altura de inserção de espiga (ALTE), número de grãos por espiga (NGE), massa de cem grãos (MCG), massa de espiga (ME) e comprimento da espiga (CE). De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que a melhor qualidade biológica e química do solo foi observada para a área sem aplicação de Microgeo®; a área com aplicação de Microgeo® apresenta maior homogeneidade espacial dos atributos do solo em comparação a área sem aplicação; a área sem aplicação de Microgeo® possui maior teor de argila com média variando entre 322 e 385 g kg⁻¹; a produtividade de grãos foi superior em áreas com Microgeo®; para futuras intervenções de manejo específico do solo nas áreas deve-se: para a área com aplicação de Microgeo® utilizar alcances variando entre 91 e 189 m. Enquanto para área sem aplicação de Microgeo® os alcances variaram entre 61 e 179 m.

Palavras-chave: geoestatística; adubo biológico; *Zea mays* L.; agricultura de precisão.

ABSTRACT

Precision agriculture, through geostatistics, makes it possible to know the variability of the soil, making it possible to identify, in cultivated areas, areas with physical, chemical and biological restrictions. With the intensive use of soil for agriculture, problems such as compaction and lack of soil life can harm agricultural productivity, the Microgeo® biological fertilizer emerges as a management option. In view of the above, the present research aimed to model the spatial variability of the physical, chemical and biological attributes of a Oxysol and production components of the corn crop and to know which of the two treatments provided better soil quality. The experiment was conducted at Fazenda Santa Terezinha, located in Jataí, Goiás, Brazil. The soil of the area is a Oxysol. The area was divided as to the application of Microgeo® biological fertilizer, in the presence or absence. Fifty sample points were made in each area composing the geostatistical mesh. The following soil attributes were analyzed: sand, silt, clay, organic matter, phosphorus, hydrogen potential, microbial biomass carbon, total soil respiration, metabolic coefficient, plant height, ear insertion height, number of grains per ear, hundred grain mass, ear mass and ear length. According to the results obtained, it was concluded that the best biological and chemical quality of the soil was observed for the area without Microgeo® application; the area with Microgeo® application presented greater spatial homogeneity of soil attributes compared to the area without application; the area without Microgeo® application had higher clay content with average ranging between 322 and 385 g kg⁻¹; productivity was higher in areas with Microgeo® application; for future specific soil management interventions in the areas must be considered: for the area with Microgeo® application use ranges varying between 91 and 189 m. For the area without Microgeo® application, ranges varying between 61 and 179 m should be used.

Key words: geostatistics; biological fertilizer; *Zea mays* L.; precision agriculture.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | - Localização e caracterização da área em estudo..... | 28 |
| Figura 2 | - Malha amostral utilizada para a avaliação dos atributos de solo e plantas..... | 28 |
| Figura 3 | - Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (Arg1c (A), Arg2c (B), Arg3c (C), Silte1c (D), Silte2c (E) e Silte3c (F)) com a utilização de Microgeo®. | 47 |
| Figura 4 | - Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (RBSc (A), MCGc (B), MO1c (C), P1c (D) e P2c (E)) com a utilização de Microgeo®..... | 48 |
| Figura 5 | - Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (Arg1c (A), Arg2c (B), Arg3c (C), Silte1c (D), Silte2c (E) e Silte3c (F)) com a utilização de Microgeo®..... | 49 |
| Figura 6 | - Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (RBSc (A), MCGc (B), MO1c (C), P1c (D) e P2c (E)) com a utilização de Microgeo®..... | 50 |
| Figura 7 | - Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (ALTPs (A), Areia3s (B), Arg1s (C), Arg2s (D) e CBMs(E) e CEs (F)) sem a utilização de Microgeo®..... | 53 |
| Figura 8 | - Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (pH2s(A), Silte1s (B) e Silte2s (C)) sem a utilização de Microgeo®..... | 54 |
| Figura 9 | - Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (ALTPs (A), Areia3s (B), Arg1s (C), Arg2s (D) e CBMs(E) e CEs (F)) sem a utilização de Microgeo®..... | 55 |
| Figura 10 | - Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (pH2s(A), Silte1s (B) e Silte2s (C)) sem a utilização de Microgeo®..... | 56 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Distroférico e produtividade de milho com aplicação de Microgeo®..... 37
- Tabela 2** - Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Distroférico e produtividade de milho sem aplicações de Microgeo®..... 38

LISTA DE QUADROS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Quadro 1 | - Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo..... | 18 |
| Quadro 2 | - Quadrante da matriz de correlação linear simples entre alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e produtividade de milho na região de Jatai-GO, com a utilização do produto Microgeo®..... | 42 |
| Quadro 3 | - Quadrante da matriz de correlação linear simples entre alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e produtividade de milho na região de Jatai-GO, sem a utilização do produto Microgeo®..... | 43 |
| Quadro 4 | - Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e produtividade de milho na região de Jatai-GO, com a utilização do produto Microgeo®..... | 46 |
| Quadro 5 | - Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e produtividade de milho na região de Jatai-GO, sem a utilização do produto Microgeo®..... | 52 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 2.1 | Cultura do milho | 14 |
| 2.2 | Adubo biológico MICROGEO® | 16 |
| 2.3 | Atributos do solo | 17 |
| <i>2.3.1</i> | <i>Atributos biológicos</i> | 20 |
| <i>2.3.2</i> | <i>Atributos químicos</i> | 21 |
| <i>2.3.3</i> | <i>Atributos físicos</i> | 25 |
| 2.4 | Geoestatística | 26 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 28 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 5 | CONCLUSÕES | 58 |
| | REFERÊNCIAS | 59 |

1 INTRODUÇÃO

Pertencente à família Poaceae e gênero *Zea*, o milho (*Zea mays* L.) é originário do continente americano, e está entre as culturas mais antigas do mundo. Com importância mundial, o milho é o principal componente energético na suplementação de animais e um dos principais insumos que compõe o complexo agroindustrial (QUADROS *et al.*, 2014; FOSTER *et al.*, 2016).

Nos levantamentos realizados por USDA, referente à safra 2020/21, a produção de grãos de milho no mundo é de aproximadamente 1,1 bilhões de toneladas. Os detentores das maiores produções deste cereal são Estados Unidos da América, China, Brasil, União Europeia e Argentina com produção de 358, 260, 86, 64 e 50 milhões de toneladas respectivamente (USDA, 2021).

O uso dos solos de forma contínua para a produção de grãos, como o milho, e o interesse em incrementar produtividade tem levado ao uso de práticas intensivas de manejo, como uso de máquinas cada vez maiores representando avanço tecnológico no campo. No entanto, embora traga inúmeros benefícios para atender as demandas nas janelas de cultivo, o intenso tráfego de máquinas na área transfere em condições inadequadas modifica a estrutura, resultando no aumento da densidade destes solos (GIRARDELLO *et al.*, 2014).

Em decorrência da modernização da agricultura nas últimas décadas e da importância deste cereal na agricultura nacional e internacional, surge a preocupação com o adequado manejo do solo em grandes áreas de produção. Sabe-se que a qualidade do solo é fortemente influenciada pelos atributos físicos, químicos e biológicos; desta forma, estudos que busquem esclarecer relações desses atributos com os componentes produtivos da cultura são de fundamental importância quanto às práticas de manejo do solo (MONTANARI *et al.*, 2015). Para tal, é necessário levar em consideração a grande variabilidade existente nos atributos do solo dentro de uma mesma área agrícola.

Em áreas com cultivo convencional por muitos anos, a presença de microrganismos variados nichos de microrganismos benéficos é menos abundante. Buscando a reestruturação biológica destes solos, conseqüentemente a microbiota, existe alguns produtos comerciais que podem ser utilizados para tal fim, como o adubo biológico Microgeo®. O adubo Microgeo® é um produto composto por um “pool” de microrganismos que, na presença de nutrientes e substrato adequados,

estimulam a atividade biológica regulando a produção do adubo biológico na forma de Bio-fábrica (MICROGEO, 2017). Aumentando-se a biomassa microbiana haverá a reestruturação biológica e física do solo, e por consequência, uma maior capacidade produtiva e saúde da monocultura (BELLINI; SCHIMIDT FILHO; MORESKI, 2012).

Por sua vez, determinar a variabilidade destes atributos no solo não é questão simples, pois estes se constituem de uma complexa interação de fatores pedogenéticos e heterogeneidade do seu material de origem. Além disso, há influência do clima, relevo e manejo antrópico, resultando assim na variabilidade espacial de seus atributos (MATIAS *et al.*, 2015). O manejo no local específico é o princípio da agricultura de precisão (AP) e tem como objetivo de aumentar a eficiência do processo produtivo por meio de técnicas agrícolas conforme a variabilidade espacial dos atributos do solo (GIRARDELLO *et al.*, 2014).

Por meio da agricultura de precisão tem-se o conhecimento destas variabilidades no solo, tornando possível identificar, nas áreas cultivadas, as zonas com restrições físicas, químicas e biológicas. (MATIAS *et al.*, 2015). A AP permite ainda planejar atividades de recuperação e até mesmo aplicação de insumos agrícolas de acordo com a necessidade do solo, no local e quantidade adequados (ZANÃO JUNIOR *et al.*, 2010). Esta variabilidade espacial e temporal pode ser estudada aplicando-se os princípios da geoestatística as quais permitem identificar áreas deficientes de insumos que podem limitar a produção agrícola (MARASCA *et al.*, 2011; MATIAS *et al.*, 2015).

A análise quantitativa do solo usando a geoestatística tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes para as plantas na lavoura (MOLIN *et al.*, 2010), e seu uso é essencial para descrever e quantificar os fatores limitantes a obtenção de altas produtividades nos sistemas produtivos (VIEIRA *et al.*, 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo modelar a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo e componentes de produção do milho cultivado no Cerrado, com ou sem a aplicação do adubo biológico Microgeo® e conhecer o que proporcionou melhor qualidade do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta pertencente à família Poaceae. Originário das Américas, há indícios de que sua origem tenha sido no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos. A cultura do milho está entre as mais antigas do mundo, cultivado há pelo menos cinco mil anos. Após o descobrimento da América, o milho foi levado para a Europa, onde era cultivado em jardins, até que seu valor alimentício se tornou conhecido e passou a ser cultivado em escala comercial (DUARTE; MATTOSO; GARCIA, 2011).

Sendo um dos cereais de maior importância mundial (FOSTER *et al.*, 2016). Além de ser importante no agronegócio, é uma das principais fontes de carboidratos na alimentação humana e principal componente energético na suplementação animal e um dos principais insumos do complexo agroindustrial, além disso, a cultura representa um importante papel na rotação de culturas, no sistema semeadura direta (SSD) (QUADROS *et al.*, 2014).

A importância da cultura do milho no agronegócio mundial tem aumentado o interesse dos produtores em maximizar quantidade do cereal produzido nas áreas. Com isso, algumas práticas intensas de manejo da cultura e do solo tem sido adotada, como o excessivo uso de fertilizantes e insumos químicos, ausência de rotação de culturas e ainda baixa entrada de fontes orgânicas variadas, o que tem desencadeado desequilíbrio do agroecossistema (RODRIGUES *et al.*, 2013).

Com a modificação das áreas nativas para ambientes agrícolas que não apresentam manejos que visam à rotação de culturas e, conseqüentemente, a diversificação do microbioma dos solos, observa-se o comprometimento de parâmetros ecológicos e biológicos importantes para o sistema produtivo. Estes parâmetros relacionam-se ao equilíbrio nutricional das plantas e adequado ambiente para cultivo (MENDES *et al.*, 2011; RAAIJMAKERS; MAZZOLA, 2016).

O consumo mundial total é estimado em 1,13 bilhões de toneladas e os maiores consumidores são EUA, China, União Europeia e Brasil, nessa ordem (USDA, 2021).

Com um cenário externo favorável, houve ampliação da produção interna do grão no Brasil (incremento de 3,5 milhões de hectares em 2014/15 em relação a 2004/05). E essa expansão ocorreu majoritariamente na segunda safra – safrinha – que registrou um salto de mais de 200% na área cultivada. Com o conseqüente

aumento do volume produzido, o milho se tornou a terceira cultura que mais gera renda no país, estando abaixo apenas da soja e da cana-de-açúcar (SOLOGUREN, 2015).

O milho é cultivado em todas as regiões do Brasil. Sua produção ocorre em diferentes épocas, face às condições climáticas das regiões. O cultivo de verão, também denominado primeira safra, é o semeio concentrado entre primavera e verão. O cultivo do milho realizado após a colheita da soja, com semeio concentrado entre verão e outono, convencionalmente é denominado segunda safra. A Conab, para padronização das estatísticas, realiza seus estudos e estatísticas considerando segunda safra todo o cultivo do milho realizado após o mês de janeiro. O sistema e o fluxo de produção em diferentes meses do ano trazem maior complexidade no entendimento do equilíbrio de oferta e demanda (CONTINI *et al.*, 2019).

Ainda segundo Contini *et al.* (2019), o cultivo de milho é fundamental para o alicerce da agricultura brasileira. Esta cultura compõe diversos sistemas de cultivo, seja na sucessão após a colheita da soja, em cultivo consorciado com gramíneas forrageiras para compor sistemas integrados de produção lavoura-pecuária, ou mesmo compondo esquema de rotação de culturas no sistema plantio direto na região Sul do Brasil. A diversidade de tecnologias empregadas nas regiões produtoras deste cereal torna dinâmica não só a oferta de grãos no mercado brasileiro, como também impactam diretamente nos preços das commodities agrícolas e/ou pecuárias que compõem os sistemas produtivos em que o milho está inserido.

Desse modo, é evidente a necessidade de prosseguirem-se os estudos sobre essa cultura de destaque nacional e mundial, seus ambientes de cultivo e ainda a busca por possibilidades sustentáveis para impulsionar o crescimento da produtividade do milho, aumentando a produção de alimentos e a rentabilidade do produtor rural. Como a cultura do milho na segunda safra tem se mostrado de maior relevância para o cenário agrícola brasileiro, mas sua produtividade é inferior à da primeira safra, há maior necessidade de estudos para essa situação específica (FANCELLI, 2015).

2.2 Adubo Biológico MICROGEO®

O adubo Microgeo® pode ser definido como um adubo biológico, constituído por microrganismos, exclusivos e adaptados ao local onde a biofábrica está

instalada, além de nutrientes e metabólitos. É um componente balanceado que nutre, regula e mantém a produção contínua do adubo biológico através do processo de compostagem líquida, além de ser um insumo aprovado para a agricultura orgânica (MICROGEO, 2021).

Apresenta como finalidade restabelecer o microbioma do solo, ou seja, atua recompondo o conjunto de microrganismos que vivem e interagem com as plantas e solo. Ao reestabelecer a biodiversidade microbiana do solo e estimular seu microbioma, este insumo promove benefícios no condicionamento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo não apenas para agricultura, mas também para a pecuária ou reflorestamento. Pode ser aplicado sob qualquer temperatura, luminosidade e umidade, em conjunto com defensivos químicos, fertilizantes, biológicos, insumos foliares e vinhaça.

O reestabelecimento do microbioma do solo promove melhorias como bioestruturação física do solo, agregação das partículas do solo, descompactação do solo, maior infiltração e retenção de água e com isso menor erosão do solo. Além de melhorar a eficiência nutricional e enraizamento, biossolubilização dos minerais e ciclagem de matéria orgânica. Atua beneficiando a saúde ecológica do solo e da planta, redução de danos por nematoides, indução de resistência vegetal, plantas resistentes a pragas e doença e sinergismo com defensivos e herbicidas, resultando em altas produtividades e rentabilidade.

Maior resistência ao estresse hídrico, redução do efeito da salinização sobre a cultura, maior capacidade de armazenamento de água, aumento na capacidade de campo e redução no ponto de murcha permanente, otimização do manejo da irrigação e fertirrigação, redução do estresse térmico na cultura, maior eficiência no uso de herbicidas e defensivos sistêmicos são benefícios também observados pelo uso deste insumo biológico.

Além da atuação direta no solo e plantas, o adubo biológico proporciona melhorias no momento da semeadura, aumentando a janela operacional, incremento da área efetiva plantada, melhor plantabilidade, homogeneidade na germinação e emergência e melhor arquitetura das plantas. Com relação ao manejo nutricional, o insumo promove maior absorção de nutrientes pelas plantas, maior aproveitamento de fertilizantes e corretivos, solubilização de nutrientes fixados no solo, ciclagem da matéria orgânica, maior eficiência na adubação a lanço, maior volume explorado de solo pelas raízes e com isso maior eficiência nutricional.

Ricardo, Lagrassa e Ciarlo (2020), ao estudarem adubação biológica e a matéria orgânica na Faculdade de Agronomia da Universidade de Buenos Aires em parceria com uma empresa de pesquisa e desenvolvimento, observaram que o uso do Microgeo[®], tem como propriedade decompor materiais orgânicos como amido e celulose.

Ao avaliarem o efeito do Adubo Biológico na região de Maracaju/MS, em um Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa, no fornecimento do fósforo (P) em superfície e no sulco de semeadura, na produtividade do milho safrinha, observaram que o Microgeo[®] proporcionou maior teor de P e aumento na produtividade da cultura (GITTI; ROSCOE, 2020).

O Adubo Biológico, produzido com MICROGEO[®], melhorou a qualidade do solo em áreas de produção de grãos, sob sistema de plantio direto. Existe interação entre a sequência de cultivos e o número de safras com o Adubo Biológico, para que haja melhoria das condições físicas do solo (FIORIN; VENZKE FILHO, 2020).

Os microrganismos encontrados nos solos catalisam uma série de processos na rizosfera das plantas, excretando substâncias orgânicas, que agem na agregação do solo, contribuindo em melhorias de suas condições físicas. Portanto, eles agem na estruturação do solo, amenizando os efeitos negativos causados pela compactação do solo.

2.3 Atributos do solo

O solo é capaz de dar sustentação às plantas, e estão associados à inúmeros processos, como a germinação, crescimento radicular, armazenamento de água, aeração, atuando assim, como substrato nutritivo, cooperando para a dinâmica de nutrientes, no entanto, para que exerça suas funções é necessário que o solo esteja em condições adequadas (MONTANARI, 2016).

Doran e Parkin (1994) definiram qualidade do solo como sendo a capacidade do solo em manter a qualidade ambiental, produtividade biológica, e promover a vida vegetal e animal na face da terra. O solo, como sistema aberto não atinge qualidade por si só num sistema de exploração agrícola, mas sim pela eficiência do funcionamento do sistema solo-planta-microrganismos (VEZZANI, 2001). Desta

forma, o manejo do solo configura-se como um dos principais fatores que definem a qualidade do solo e a sustentabilidade de um sistema de produção.

Dessa forma, deve ser levado em consideração a qualidade do solo, a qual é determinada através da mensuração de atributos físicos, químicos e biológicos (Quadro 1), os quais medem ou refletem o status ambiental e sustentabilidade do ecossistema (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), além de permitir o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo (MARCHINI *et al.*, 2015). A qualidade do solo pode ser incluída como um dos principais fatores que definem a sustentabilidade de um sistema de exploração agrícola.

Quadro 1. Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

| Indicadores | Relação com a qualidade do solo |
|--|---|
| Matéria orgânica | Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo |
| <i>Físicos</i> | |
| Estrutura do solo | Retenção, transporte de água e nutrientes |
| Infiltração e densidade do solo | Movimento de água e porosidade do solo |
| Capacidade de retenção de água | Armazenamento e disponibilidade de água |
| <i>Químicos</i> | |
| pH | Atividade biológica e disponibilidade de nutriente |
| Condutividade elétrica | Crescimento vegetal e atividade microbiana |
| Conteúdo de macro e micronutrientes | Disponibilidade de nutrientes para as plantas |
| <i>Biológicos</i> | |
| Biomassa microbiana | Atividade microbiana e reposição de nutrientes |
| Mineralização de nutrientes (N, P e S) | Produtividade do solo e de suprimento de nutrientes |
| Respiração do solo | Atividade microbiana |
| Atividade enzimática do solo | Atividade microbiana e catalítica no solo |

Fonte: (Adaptado de DORAN; PARKIN, 1994)

Um eficiente indicador deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferencialmente, de fácil e barata mensuração (DORAN; ZEISS, 2000), devendo ser, ainda, sensível às alterações na qualidade do solo induzidas por modificações recentes no manejo do solo. Esses bioindicadores têm sido reconhecidos como ótima ferramenta de avaliação e monitoramento da qualidade do solo com eficiência. Diferentes manejos interferem nos atributos biológicos e bioquímicos do solo, dentre

estes a adoção de insumos orgânicos, os quais são utilizados para reestabelecer a microbiota do solo e incrementar a produtividade de grãos.

A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo influência, tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais (JENKINSON; LADD, 1981). Com o crescente interesse em aspectos relacionados como funcionamento biológico do solo sob sistemas agrícolas tem-se utilizado a agricultura de precisão como ferramenta de mapeamento das diferentes respostas desses atributos.

Portanto, avaliar a qualidade do solo por meio de indicadores biológicos e bioquímicos do solo pode auxiliar a tomada de decisões quanto à implantação, condução e manejo do sistema. O monitoramento da qualidade do solo permite manter uma maior biodiversidade e torna possível o restabelecimento das funções biológicas no sistema solo, o que proporcionará um adequado ambiente produtivo para as culturas de importância econômica, como o milho.

Estimar a qualidade do solo é um desafio, e a dificuldade decorre do fato de que a qualidade do solo depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso, influenciadas inclusive, por aspectos socioeconômicos e políticos (DORAN; PARKIN, 1994). A partir da definição dos atributos, pode-se avaliar o atual estado de qualidade do solo medindo e comparando estes atributos com os valores encontrados no solo sob estado natural ou com valores considerados ideais. Estes atributos de qualidade do solo podem ser correlacionados com a produtividade das culturas, o qual pode gerar conhecimentos para o aprimoramento do manejo do solo provendo melhorias para desenvolvimento de plantas.

Vale ressaltar que é de extrema importância compreender o comportamento dos atributos do solo de acordo com sua heterogeneidade para que se possa atuar com o manejo adequado nas áreas agrícolas de acordo com suas especificidades. Numa paisagem natural, os solos apresentam ampla variabilidade dos seus atributos, tanto no sentido espacial como no volumétrico, resultante da interação dos processos de sua formação. Além disso, o solo cultivado possui fontes adicionais de heterogeneidade, originadas exclusivamente do efeito antrópico da agricultura (BECKETT; WEBSTER, 1971).

Segundo os princípios básicos da experimentação estabelecidos pelo método estatístico clássico, a variabilidade do solo ocorre de forma inteiramente aleatória, admitindo-se que seus atributos possuam distribuição de frequência do tipo normal (SANTOS; VASCONCELOS, 1987). Entretanto, vários estudos têm relatado que os atributos do solo apresentam intensa dependência espacial, ou seja, os valores são autocorrelacionados no campo (MONTANARI *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2015) necessitando, portanto, de uma análise geoestatística, ferramenta adequada para estas estimativas (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2016).

2.3.1 Atributos biológicos

A presença de microrganismos no solo contribui para ciclagem de nutrientes e conseqüentemente, para a manutenção dos ecossistemas. A atividade dos microrganismos está estritamente relacionada com fatores ambientais, como temperatura, umidade, pH, matéria orgânica e nutrientes (ATLAS; BARTHA, 1993).

O metabolismo microbiano é um dos principais processos que regulam a transformação de nutrientes no solo. Entre as formas de avaliação da atividade metabólica da microbiota do solo, destaca-se a quantificação de carbono pela liberação de CO₂, conhecida por respiração do solo. A respiração do solo é definida pela soma das funções metabólicas, nas quais o CO₂ é produzido e as bactérias e fungos são responsáveis pela maior liberação deste CO₂, o que ocorre via degradação da matéria orgânica (LUNDEGARDH, 1927).

O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) do solo também é comumente adotado para expressar os efeitos do manejo do solo (SANTOS *et al.*, 2019; SOLEIMANI *et al.*, 2019; BARROS *et al.*, 2020). Os fungos representam boa parte da biomassa microbiana do solo, responsáveis pela degradação de matéria orgânica, relacionam-se simbioticamente com plantas e podem atuar como agentes de controle biológico (PERSMARK; BANCK; JANSSON, 1996) e as bactérias 25 a 30% dessa biomassa, através da ciclagem de nutrientes e transformações específicas (MADIGAN *et al.*, 2010).

Quantificar o carbono da biomassa microbiana é demonstrar a fração ativa da matéria orgânica, refletindo possíveis mudanças sofridas (FEIGL; CERRI; BERNOUX, 1998). A quantificação do carbono liberado pelo CO₂ demonstra em que velocidade está ocorrendo a disponibilidade de nutrientes para as plantas e perdas de carbono orgânico por parte do solo (D'ANDRÉA *et al.*, 2002).

Porém, apenas a determinação do CBM e respiração não fornecem indicações suficientes sobre a atividade dos microrganismos do solo, sendo necessário avaliar outros atributos que possam medir o estado metabólico da comunidade microbiana edáfica (MENDES *et al.*, 2012). Souza *et al.* (2019), em pesquisa com 17 anos da implantação do SPD no Cerrado brasileiro, concluíram que o CBM, o índice de manejo do carbono e o qCO_2 são os principais atributos a serem usados como indicadores de qualidade do solo.

Todavia, os atributos comumente adotados na avaliação da microbiota do solo de acordo com os manejos adotados podem ser ineficientes em prever os efeitos a curto prazo, pois, segundo Franco *et al.* (2020), o CBM, respiração basal do solo, qCO_2 , quociente microbiano ($qMic$) e eficiência de uso de carbono (EUC) não foram influenciados pela diversidade funcional causada pelos sistemas no curto prazo.

Portanto, a manutenção da produtividade dos agroecossistemas depende, em suma, do processo de transformação da matéria orgânica e, conseqüentemente, da biomassa microbiana do solo. A qualidade da matéria orgânica merece essencial atenção devido ao importante papel por ela desempenhado, uma vez que à medida que se proporciona aumentos ou mesmo a manutenção dos teores de matéria orgânica em níveis aceitáveis, ocorre um aumento no número e diversidade de microrganismos no solo (SMITH; PAUL, 1990).

2.3.2 Atributos químicos do solo

2.3.2.1 pH

Dentre os atributos do solo o pH, índice que indica o grau de acidez ativa do solo, talvez seja, de forma isolada, o mais relevante, no que se refere a utilização de fertilizantes químicos. De maneira especial, a disponibilidade de nutrientes contidos no solo, ou a ele adicionado por meio das adubações, é bastante variável em função do pH do solo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Conseqüentemente, também são influenciadas a absorção e a utilização destes nutrientes. A grande maioria dos solos tropicais apresentam sérias limitações ao desenvolvimento das culturas agrícolas, em virtude do efeito nocivo da acidez, impondo severas restrições à produtividade agrícola (MCBRIDE; BLASIAK, 1979).

Os solos, quando corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial para uma agricultura de elevada produtividade. O entendimento da relação entre a

acidez do solo e o crescimento e desenvolvimento das plantas é de extrema importância para o estabelecimento das práticas corretivas, que visem à maior eficiência, tanto dos sistemas de produção agrícola como do uso dos recursos naturais (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Ainda, o pH influencia a atividade de microrganismos do solo que estão ligados com a mineralização da matéria orgânica, nitrificação, fixação biológica de nitrogênio e infecção do sistema radicular com micorrizas, os quais aumentam a disponibilidade de nutrientes, sendo considerado ideal na faixa de 6,0 a 6,5. Portanto, considerado um dos atributos químicos do solo mais importantes para a determinação da produção agrícola (FAGERIA, 2001).

2.3.2.2 *Matéria orgânica*

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta por resíduos vegetais, em sua maioria, e animais sendo controlada por uma dinâmica de diferentes graus de deposição, decomposição e renovação do material (LEHMANN; KLEBER, 2015). A MOS é o produto final da ciclagem de todo material orgânico em minerais através da atividade biológica da microbiota e microrganismos presentes no solo (FERNANDES *et al.*, 2013).

O manejo inadequado do solo, baixos teores de matéria orgânica e a sucessão de culturas, são pontos negativos, pois acabam prejudicando a microbiota, fazendo com que haja modificação na sua estrutura. De acordo com Simansky (2012) para haver a formação dos agregados no solo são necessárias duas condições fundamentais, sendo a primeira relacionada à presença de uma força mecânica qualquer que promova a aproximação das partículas do solo e a segunda condição, é que após o contato das partículas, haja um agente cimentante para consolidar essa união, gerando o agregado.

Existem duas classes de agentes cimentantes: os inorgânicos e os orgânicos, sendo os primeiros constituídos principalmente por componentes da fração argila, cátions polivalentes, óxidos e hidróxidos de Fe e de Al e carbonatos de cálcio e de magnésio. Os agentes cimentantes orgânicos são classificados em função da idade e do grau de estabilização da MO em: transientes, temporários e persistentes (OADES, 1993). Além disso, muitos microrganismos são capazes de catalisar uma série de processos na rizosfera das plantas, excretando substâncias orgânicas, os quais atuam na agregação do solo, contribuindo em melhorias de suas condições

físicas. Portanto, estes microrganismos agem na estruturação do solo, mitigando os efeitos negativos causados pela compactação do solo (FIORIN; VENZKE FILHO, 2014).

A MOS é constituída, em maior fração de C, pois as plantas fixam C-CO₂ da atmosfera e produzem alguns compostos - amido, hemicelulose, celulose, ligninas, proteínas, ácidos nucleicos -, os quais chegam ao solo por meio dos seus resíduos, que posteriormente são utilizados pelos microrganismos como fonte de C, energia e nutrientes (PULROLNIK, 2009).

No processo de síntese da MOS ocorre a formação das substâncias não húmicas e das substâncias húmicas. As substâncias não húmicas são constituídas de carboidratos, gorduras, ceras e proteínas, representando de 10 a 15% da MOS (PINHEIRO; PEREIRA; ANJOS, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2010), sendo facilmente degradadas. As substâncias húmicas, por sua vez, são compostos coloidais estáveis e de difícil degradação, persistindo no solo por um período maior (HAN *et al.*, 2016), e constituindo cerca de 80 a 90% da MOS (PINHEIRO; PEREIRA; ANJOS, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2010).

Silva e Mendonça (2007) referem-se à MOS como sendo a fração não-vivente, a qual é representada especialmente pelas frações orgânicas estabilizadas na forma de substâncias húmicas (SHs). A MOS tem um papel importante na produtividade de solos tropicais, uma vez que fornece energia e substratos que promovem a diversidade biológica, contribuindo e influenciando na manutenção da qualidade do solo e dos ecossistemas (WENDLING *et al.*, 2012).

As frações não húmicas, compostos lábeis com taxa de decomposição relativamente rápida, são facilmente utilizadas como substratos por microrganismos do solo (SCHMIDT *et al.*, 2011). Em contrapartida, as SHs, frações mais estáveis da MOS, são compostos coloidais com elevado tempo médio de persistência, onde se encontram grande parte do C orgânico total e N do solo (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014; HAN *et al.*, 2016). A MOS é alterada em menor ou maior intensidade, sendo considerada um dos atributos mais sensíveis ao manejo dos solos (BARRETO *et al.*, 2008).

2.3.2.3 Fósforo

O fósforo no solo está distribuído em cinco compartimentos: precipitado com alumínio, ferro ou cálcio, adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio da fração argila,

em solução, na forma orgânica ou fazendo parte de compostos marcadamente insolúveis.

Esses compartimentos exibem variadas capacidades de fixação e, portanto, de liberação do nutriente disponível às raízes das plantas na solução do solo. Em função do pH, o fósforo ocorre nas formas aniônicas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , ou PO_4^{3-} (BAHIA FILHO, 1982; RAIJ, 1991). Em solos tropicais, em função do pH normalmente encontrado, o fósforo ocorre quase que exclusivamente como ânion ortofosfato (H_2PO_4^-), derivado do ácido ortofosfórico (H_3PO_4).

A deficiência de P nos solos tropicais é acentuada graças à elevada acidez e a presença de grandes proporções de argila sesquioxídica, o que aumenta muito a adsorção de fosfatos e a formação de precipitados com Fe e Al, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade de P para as plantas (SANCHEZ; SALINAS, 1981).

A retenção de fósforo adicionado ao solo, em formas lábeis ou não, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como, principalmente, de maneira mais significativa, pela sua adsorção pelos oxidróxidos de Fe e de Al, presentes, de modo geral, em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados, de modo particular nos mais argilosos. Reação semelhante a apresentada pelos oxidróxidos de Fe ocorre, também, com os oxidróxidos de Al (BAHIA FILHO, 1982; RESENDE, 1983; SANYAL; DE DATTA, 1991).

A eficiência da adubação fosfatada em solos tropicais normalmente é muito baixa. Isto se deve à forte tendência do P aplicado ao solo de reagir com substâncias formando compostos de baixa solubilidade, ocorrendo a fixação. Portanto, ao contrário dos demais nutrientes, a adubação com P assume a particularidade de aplicar uma quantidade maior do que a exigida pelas plantas, uma vez que, antes de mais nada, podendo ser necessário satisfazer a exigência do solo, saturando os componentes responsáveis pela fixação do P (FURTINI NETO *et al.*, 2001).

O fósforo é um elemento essencial ao crescimento e reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (MARSCHNER, 1995). Além disso, constitui compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato presente nas moléculas de açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como dos fosfolípidos que compõem as membranas vegetais. É, também, componente de nucleotídeos

utilizados no metabolismo energético das plantas como ATP e dos ácidos nucleicos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

2.3.3 Atributos físicos

A textura do solo, como se sabe, informa a proporção de partículas de tamanho areia, silte, e argila presentes na amostra, constituindo-se em fator muito importante, por tratar-se de um atributo que é pouco modificado pelo uso (GAVANDE, 1976), mas que interfere fortemente nas propriedades do solo e consequentemente no comportamento da vegetação.

A formação e estabilidade de agregados no solo, são influenciados pela textura. Segundo dados encontrados na literatura, maiores teores de argila favorecem a agregação (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; SILVA *et al.*, 2014). Isto se deve à maior quantidade de argila e maior aproximação entre as partículas de areia, silte e argila do solo.

Por outro lado, em solos com horizontes arenosos no perfil dificultam a proteção física da matéria orgânica, a formação destes agregados (SANTOS *et al.*, 2011). Por isso, em alguns casos apresentam dificuldade de manutenção desta fração orgânica no solo, o que traz como consequência menor retenção de água, chegando a interferir, em determinadas situações, inclusive na produtividade das culturas.

Solos de textura arenosa são normalmente bem arejados e com drenagem rápida, o que lhes confere baixa capacidade de retenção de água. No entanto, os argilosos apresentam elevada capacidade de retenção de água, resultado dos maiores valores da microporosidade e da porosidade total, os quais podem apresentar problemas de aeração decorrentes dos baixos valores de macroporosidade (GONÇALVES; STAPE, 2002).

2.4 Geoestatística

Os métodos geoestatísticos foram originalmente desenvolvidos e aplicados em mineração, mas passaram a ser usados para uma análise e descrição detalhada da variabilidade dos atributos do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO *et al.*, 2002). A geoestatística se constitui em um conjunto de conceitos e ferramentas utilizados para a caracterização da variação espacial e/ou temporal de grandezas ou

fenômenos que manifestam autocorrelação espacial e/ou temporal, respectivamente (RODRIGUES; VASQUES, 2017).

Considerando o espaço, a geoestatística baseia-se no pressuposto de que observações localizadas mais próximas entre si são mais parecidas do que as que se localizam mais distantes, ou seja, na semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados (GREGO *et al.*, 2014). Neste sentido, a teoria das variáveis regionalizadas apresenta-se como importante ferramenta para análise da estrutura da dependência espacial das variáveis, indicando o número e a distribuição de amostras a serem coletadas, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área (VENDRUSCULO, 2002).

Avanços tecnológicos nos sistemas produtivos têm mostrado a importância de se medir a variabilidade espacial e temporal dos atributos que interferem na produtividade das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento dos recursos naturais, diminuir os custos e melhorar a qualidade dos solos (MONTANARI *et al.*, 2010).

A análise geoestatística é a ferramenta adequada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, por meio da interpolação por krigagem, ou a partir de estimativas de duas variáveis que se correlacionem pela cokrigagem. Estas técnicas são capazes de minimizar a variância estimada por meio de análise de regressão, levando-se em conta a dependência entre os dados distribuídos no espaço (ANDREOTTI *et al.*, 2010). Dessa forma, as interpolações por krigagem, e por cokrigagem, estão fortemente associadas aos modelos de semivariogramas ajustados, que podem ser avaliados por meio da validação cruzada (DALCHIAVON *et al.*, 2013).

A produção de culturas agrícolas varia espacialmente, e identificar as causas dessas variações é o desafio que enfrenta a Agricultura de Precisão (AP). A partir do georreferenciamento, das informações obtidas, podem ser elaborados mapas digitais e delimitar áreas de manejo diferenciadas, isolada ou conjuntamente, consagradas atualmente como zonas específicas de manejo (MONTANARI *et al.*, 2012; DALCHIAVON *et al.*, 2013). Esta estratificação a partir do estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo permite aumentar a rentabilidade dos sistemas produtivos agrícolas (BERNARDI *et al.*, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e histórico da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Terezinha, localizada no município Jataí, Goiás, nas coordenadas geográficas -17.9020364, -51.8135190 e altitude média de 708 m. O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO (DEMATÊ, 1980 atualizado por EMBRAPA, 2018). A área onde foi conduzido experimento vem sendo cultivada em sucessão soja/milho desde 1989, sendo que desde 1999 vem se adotando práticas de semeadura direta e mínimo revolvimento do solo.

A área analisada foi dívida e classificada em duas partes sendo uma acima da estrada e outra a baixo da estrada que corta o talhão principal ilustrados na imagem abaixo. Ao longo dos anos ambos talhões receberam as mesmas práticas de adubação e manutenção sendo que o a diferença veio com a aplicação do produto Microgeo® no talhão acima da estrada (Talhão A), enquanto que o talhão abaixo da estrada (Talhão B) ficou como “testemunha” para o produto. Dessa forma para compor a malha geoestatística foram coletados e georreferenciados 50 pontos acima da estrada (Talhão A) e 50 pontos abaixo da estrada

O talhão B localizado abaixo da estrada apresenta declividade mais acentuada finalizando próximo de uma mata, essa declividade acentuada pode ser notada durante as coletas, bem como a deposição de solo proveniente do escoamento superficial.

As 5 safras precedentes as coletas no talhão A foram feitas aplicações com o adubo biológico Microgeo® (300L/ha) sendo 150L em soja (30 dias após plantio) e 150L em Milho 15 dias após plantio, sendo aplicado via barra com pulverizador. O espaçamento adotado no cultivo de milho segunda safra foi de 0,45 m fechando estande final de 49 mil plantas. Já o talhão B não recebeu aplicações do adubo biológico Microgeo® porém recebeu todas as práticas de adubação e correção do talhão A, a semeadura adotada no talhão B foi de 90 cm fechando estande final de 44 mil plantas ambos talhões com o material LG3055® pro2, a diferença de espaçamento foi uma estratégia adotada pelo produtor para melhor aproveitamento da área. As coletas foram realizadas com a cultura do milho já instalada próximo a data de colheita garantido assim ponto de maturação fisiológico da cultura.

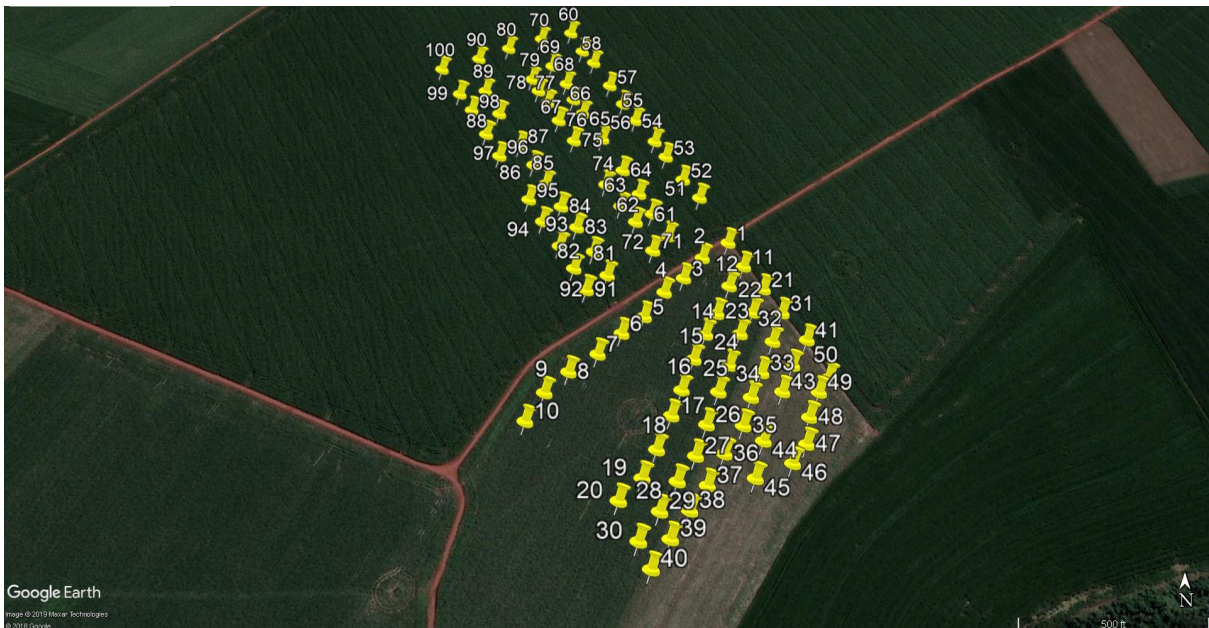
Figura 1 – Localização e caracterização da área em estudo.



Fonte: Próprio autor.

Na figura 1 é possível observar área em estudo, onde a seta em amarelo localizada no talhão B (abaixo da estrada) evidencia o sentido do declive acentuado do terreno, já na figura 2 estão evidenciados os pontos amostrais que compõem a malha estatística sendo o Talhão A acima da estrada e Talhão B abaixo da estrada.

Figura 2 - Malha amostral utilizada para a avaliação dos atributos de solo e plantas.



Fonte: Próprio autor.

Amostragens e atributos do solo avaliados

Foram realizadas análises dos atributos físicos e químicos do solo, com a cultura do milho segunda safra ainda instalada na área, as coletas foram realizadas durante o mês de julho com o milho já em ponto de colheita. Em todos os pontos da malha foram coletadas amostras de estrutura deformada e indeformadas, para determinação dos atributos químicos e físicos do solo nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, além de amostras para a determinação de umidade gravimétrica.

As amostras de solo foram coletadas com trado holandês e utilizadas para determinar pelo método da resina o teor de fósforo disponível (P) mg dm^{-3} , potencial hidrogeniônico (pH) CaCl_2 e teor de matéria orgânica (MO) g dm^{-3} conforme metodologia descrita por Raij *et al.* (2001). Para determinação dos teores de Areia, Silte e Argila, foi utilizado o método da pipeta (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Avaliações microbiológicas

O solo coletado na primeira camada foi utilizado para as avaliações biológicas. Para a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana foi utilizado o

método da EMBRAPA (2012). O cálculo da concentração de carbono foi obtido através da equação encontrada, onde:

$$C \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = ((\text{Absorb.} - a)/b) \cdot (V/P) \cdot F$$

Já o cálculo para encontrar o carbono da biomassa microbiana do solo foi obtido através da seguinte equação, com fator de correção $K_c=0,33$:

$$CBMs = (C(\text{amostras fumigadas}) - C(\text{amostras não fumigadas}))/0,33.$$

A respirometria (C-CO₂) foi conduzida junto com a análise do carbono da biomassa microbiana (CBM), determinada pela quantidade de CO₂ liberado do solo não fumigado, durante sete dias de incubação. Os dados da respirometria foram expressos em mg C-CO₂ kg de solo⁻¹. O qCO₂ foi estimado pela razão entre C-CO₂ liberado e o CBM (ANDERSON; DOMSCH, 1993), sendo expresso em (mg C-CO₂ mg C-BM⁻¹ kg⁻¹ h⁻¹) .103, à partir das expressões (4) e (5) a seguir:

$$qCO_2 = RM/CBM(4)$$

$$C-CO_2 \text{ liberado} = TRM/h(5)$$

onde: qCO₂= quociente metabólico (mg C-CO₂ . mg C-BM⁻¹ kg⁻¹ h⁻¹).103; TRM= taxa de respiração microbiana (mg C-CO₂ .kg de solo⁻¹); C-CO₂ liberado= atividade microbiana (mg C-CO₂ .kg de solo⁻¹ h⁻¹); h= horas de incubação para a determinação da respiração microbiana; CBM= carbono da biomassa microbiana (mg C-BM kg⁻¹ de solo seco).

Para cada atributo do solo avaliado foi considerado após a abreviação os numerais 1, 2 e 3 sendo:

1 para primeira cama de profundidade (0-10cm), 2 para segunda cama de profundidade (10-20cm) e 3 para terceira cama de profundidade (20-30cm). E as letras minúsculas (c) e (s) representando respectivamente com e sem Microgeo®.

Parâmetros fitotécnicos e componentes produtivos na cultura do milho

No final do ciclo do milho foram avaliados:

- **Altura de planta (ALTP) e inserção de espiga (ALTE)**

As dimensões de altura média de planta de milho foram medidas por uma régua graduada em centímetros, na distância compreendida entre o colo da planta até a inserção da folha bandeira para milho, conforme a descrição de (CHIODEROLI, 2010), em 5 plantas a cada ponto da malha.

A altura de inserção de 1ª espiga foi determinada pela medição, com régua graduada em centímetros, medindo a distância entre o colo da planta até a base da primeira espiga avaliada, para isto foram tomadas medidas de cinco plantas da área em torno do ponto da malha, na época da colheita.

- Número de grãos por espiga (NGRE), comprimento da espiga (CE), massa de 100 grãos (MCG) e massa da espiga (ME)

Nas mesmas plantas utilizadas para altura de planta e inserção de espigas, foram coletadas as espigas para realizar as medições de comprimento de espiga número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e massa da espiga (CHIODEROLI, 2010).

Para avaliar a massa de 100 grãos, foram coletadas 5 espigas, após a debulha foram pesados os grãos e a massa de grãos foi corrigida para a base úmida de 13%, conforme a equação referente à Regras de Análise de Sementes Brasil (1992):

$$P = I \times (100 - U) / (100 - 13)$$

Após transformar a massa dos grãos à base úmida de 13%, a produção de grãos foi transformada em kg ha⁻¹. Foi mensurado também o peso da espiga afim de contabilizar a diferença entre o tamanho da espiga e o peso dos grãos.

Análises estatísticas

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica. Utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997) foi calculados a média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria. A seguir, identificou-se os outliers (dados discrepantes), conforme identificação do gráfico de ramos e folhas, efetuando-se sua substituição pelo valor médio dos circunvizinhos. Também

foi efetuada a análise da distribuição de frequência por meio do teste de Shapiro e Wilk (1965) com 5% probabilidade de erro.

A modelagem geoespacial foi realizada utilizando o programa GS+ 7.0 (ROBERTSON, 1998). A análise inicial dos dados demonstrará que para alguns atributos a tendência foi retirada, utilizando o método do refinamento da mediana destes atributos, conforme proposto por Silva *et al.* (2003):

$$NV = VO - (ML + MC) + MG$$

onde: NV representou o novo valor residual do atributo do qual foi retirada a tendência; VO o valor original do atributo do qual foi retirada a tendência; ML e MC representam, respectivamente, os valores da mediana da linha e da coluna nas quais estava o atributo; MG representou a mediana geral dos atributos contidos na malha amostral.

Desta forma, pôde-se calcular novamente o semivariograma com os resíduos obtidos deste procedimento. O ajuste do semivariograma efetuado por meio da validação cruzada de acordo com Robertson (1998) possibilitou a determinação dos parâmetros de ajuste do semivariograma experimental: efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1) e alcance (a). O grau de dependência espacial (GD) como também estudado por Montanari *et al.* (2010), onde valores $\leq 25\%$ indicam grau de dependência espacial fraco, de 25% - 75% indicam grau de dependência espacial moderado e $> 75\%$ indicam grau de dependência espacial forte entre amostras (Equação 5).

$$GD = \left[\left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \right] * 100$$

A técnica de *krigagem* foi utilizada para estimar valores nos locais não amostrados por ser um estimador linear não enviesado. Uma vez determinados os valores para os locais não amostrados com a ajuda da técnica de *krigagem*, foram construídos mapas de isolinhas utilizando-se o programa GS+ (ROBERTSON, 1998), que emprega os mesmos valores estimados por meio da técnica de *krigagem* para determinação e localização das isolinhas. Desta maneira, os mapas representam linhas bem definidas e embasadas em um algoritmo de regressão linear, conforme descrito por Carvalho e Assad (2002) e Siqueira *et al.* (2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e componentes produtivos do milho em área com ou sem o adubo biológico Microgeo® constam nas tabelas 1 e 2, respectivamente. Conforme Pimentel Gomes e Garcia (2002) o coeficiente de variação (CV) é utilizado para mensurar a variabilidade de um atributo, onde suas classes foram determinadas como baixa, média, alta e muito alta, sendo $CV \leq 10\%$, $10\% < CV \leq 20\%$, $20\% < CV \leq 30\%$ e $CV > 30\%$, nessa ordem.

É de grande relevância o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em uma determinada área para que seja possível o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental e sustentabilidade do sistema produtivo como um todo.

Diante disso, ao analisar os atributos físicos e químicos do solo em áreas com e sem a aplicação de Microgeo®. Pode-se inferir que os teores de areia (AREc) e silte (SILc) apresentaram maior homogeneidade na área com Microgeo®, com baixo coeficiente de variabilidade para as 3 camadas de profundidade (0-10 10-20 20-30) avaliadas assim, como pH, isso pode ser em parte atribuído a declividade do terreno. O pH e areia tendem a ter variação menor nos solos de maneira geral em comparação aos demais atributos como os atributos químicos do solo que são de um conjunto de relações entre solo-planta-ambiente, desde os processos de formação até seu manejo (CARNEIRO *et al.*, 2016). Em contrapartida, o teor de argila (ARGc) apresentou variação alta para a primeira e terceira camada e muito alta para a segunda camada indicando certa heterogeneidade do solo quanto a este atributo.

Ainda na área com aplicação de Microgeo®, o teor de matéria orgânica na camada de 0-10 apresentou variabilidade média, e nas demais camadas, o coeficiente de variação ficou abaixo de 10%, conferindo homogeneidade do solo nestas camadas. Parte desta variação na primeira camada pode vir da aplicação do produto Microgeo® que apresentou influencia no crescimento da população microbiana que por sua vez pode refletir na decomposição e variação dos resíduos depositados sob o solo. Enquanto em solos sem aplicação, as três camadas de solo amostradas, apresentaram baixo coeficiente de variação para esta variável.

O teor de P disponível no solo, também foi quantificado nas diferentes camadas e apresentou, em áreas com e sem Microgeo® alta variabilidade dos dados. Ainda sobre a área sem aplicação do adubo biológico (Microgeo®), os dados apresentaram a mesma tendência na área, tanto para os teores de areia (AREs), como pH nas três camadas os quais apresentaram baixa variabilidade, evidenciando os resultados de literatura citados. Enquanto que, os teores de silte (SILs) e argila (ARGs) tiveram variação de alta a muita alta, conferindo uma heterogeneidade da área avaliada. Tais dados são similares aos observados por Krinke Neto *et al.* (2017), os quais estudaram os atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO e observaram variabilidade muito alta para silte, média para argila, e baixa para areia.

A maior variabilidade encontrada na área sem Microgeo® para silte e argila pode estar relacionada com a declividade mais acentuada observada na área amostrada contribuindo assim para deposição do escoamento superficial de outros talhões.

Quanto aos atributos biológicos do solo, coletados na camada superficial a variabilidade referente à análise descritiva foi alta para respiração basal do solo (RBS_c), e muito alta para carbono da biomassa microbiana (CBM_c) e quociente metabólico (qCO₂) em solo com a aplicação de Microgeo®.

Em áreas sem a aplicação de Microgeo®, o coeficiente de variação para respiração basal do solo foi de 14,48% enquadrando-se dentro da classe média, enquanto que o carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico, assim como em áreas com o produto biológico, apresentaram alta variação, com 52,38 e 41,46%, respectivamente.

Valores de RBS elevados podem indicar maior atividade da biomassa microbiana no solo. A atividade microbiana alta pode estar relacionada a rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas. Ou em alguns casos, pode ser indicativo de estresse sobre os microrganismos pela intervenção no solo, como trânsito de máquinas e implementos agrícolas durante o cultivo.

De maneira geral, áreas com menor intervenção apresentam maior atividade microbiana, como relatado no trabalho de Lisboa *et al.* (2012) onde a maior taxa de respiração foi observada em solo sob vegetação nativa e sob plantio direto, em comparação onde havia revolvimento de solo. Também observaram maiores valores

de RBS, Guimarães *et al.* (2017) ao trabalhar em área de fragmento florestal quando comparada a áreas destinadas a agricultura e em pousio.

O CBM pode variar durante as épocas do ano. Este atributo pode aumentar com aportes de substratos e ou da quantidade, do tipo e do tempo em que a biomassa vegetal está aportada no solo. No início do processo de decomposição, pode haver tendência de maior imobilização de nutrientes na própria biomassa microbiana, pois a quantidade de nutrientes disponíveis no resíduo não é adequada em quantidade para a microbiota heterotrófica, o que implica imobilização e diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes para as culturas (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Assim, aumentos na biomassa microbiana são condicionantes de um incremento na ciclagem de nutrientes no solo provenientes da fitomassa. Após a decomposição da fitomassa, os nutrientes são liberados para o solo e a própria biomassa microbiana constitui-se em uma reserva lábil de nutrientes, pois devido ao baixo tempo de vida dos microrganismos estes rapidamente liberam os nutrientes para o solo (CARNEIRO *et al.*, 2008).

O quociente metabólico do solo (qCO_2) representa a taxa de respiração liberada pela biomassa microbiana, ou seja, a quantidade de emissão de CO_2 por unidade de biomassa em um determinado tempo, e é conhecido como um indicador sensível às alterações no manejo dos sistemas. Foi possível notar valores menores na área com a utilização do Microgeo® em comparação a área sem o uso, isso é reflexo de uma maior eficiência dos microrganismos estão gastando uma menor quantidade de energia no processo.

E por fim, as variáveis relacionadas à cultura do milho (ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE), em ambas as áreas – com e sem Microgeo®, também apresentaram baixo coeficiente de variação demonstrando uma boa padronização de plantas e estabilidade do material utilizado.

Quanto a normalidade dos dados, de acordo com Lemos Filho *et al.* (2017) uma condição desejável é a normalidade dos dados para o ajuste dos semivariogramas pela metodologia da máxima verossimilhança, devido ao fato do ajuste do modelo de semivariograma por essa metodologia não se basear nos pontos do semivariograma, mas sim, nas diferenças dos dados originais.

Alguns autores comentam que a normalidade não é uma exigência para a execução da análise geoestatística. No entanto, quando o pressuposto de

normalidade é atendido, existe a possibilidade de uma qualidade melhor da predição para os valores não amostrados (YAMAMOTO, 2020).

Uma variável estatística que possui distribuição de frequência do tipo normal, deve adotar a média como medida de tendência central mais adequada para representá-la, em contrapartida, será representada pela mediana, ou pela média, caso seja do tipo lognormal (DALCHIAVON *et al.*, 2017).

Dentre os atributos do solo que apresentaram distribuição de frequência do tipo normal foram RBSc; ARGc1; Moc3 e pHc2 para a área com aplicação de Microgeo® já para a área sem aplicação os atributos que apresentam normalidade foram RBSs; qCO2s; AREs1; AREs2; Mos1; Mos2; pHs1; Ps1 e Ps2. Portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios. Assim como os atributos de planta: ALTPc; ALTEc; NGREc; Mec; CEC; ALTPs; ALTEs; NGREs e MCGs.

No entanto, assim como Dalchiavon *et al.* (2017) em estudo acerca dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO, também foram obtidos dados que não apresentaram distribuições simétricas, contudo, com coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero. Deste modo, possibilita ocorrer à avaliação da dependência espacial dos atributos, como os que foram apresentados na Tabela 1 com aplicação de Microgeo® SILc1; SILc3; AREc3; pHc1 e pHc3 e os atributos Mos3; MEs e CEs na Tabela 2 sem a aplicação de Microgeo®, onde todos apresentam distribuição de frequência tendendo a normalidade.

Os demais atributos tanto na Tabela 1 como Tabela 2 apresentaram distribuição de frequência indeterminada, tendo em vista que pela probabilidade do teste de Shapiro-Wilk, os valores apresentaram-se não significativos a 5% de probabilidade, rejeitando-se a hipótese de nulidade H0 de normalidade.

Os resultados ideais para a estimação por krigagem é manifestada quando a normalidade dos dados é satisfeita (BERTOLANI; VIEIRA, 2001). Por outro lado, como citado anteriormente não é uma exigência da geoestatística a normalidade de seus dados, sendo apropriado apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, no qual poderia comprometer as estimativas da krigagem, que são baseadas nos valores médios (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Os atributos da malha geoestatística com Microgeo® (Tabela 1) que apresentaram coeficientes de assimetria negativa foram a respiração basal do solo (RBSc); teor de silte nas três profundidades avaliadas (SILc1; SILc2 e SILc3); areia

e matéria orgânica na segunda camada (AREc2 e Moc2) e também os parâmetros produtivos como número de grãos na espiga (NGEc); massa da espiga (MEc) e comprimento de espiga (CEc). Os demais atributos apresentaram coeficientes de assimetria positiva.

Tabela 1. Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Distroférico e componentes biométricos e de produção de milho com aplicação de Microgeo®.

| Medidas estatísticas descritivas | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----|--------|---------|--------|--------|------------------|-----------------|-------------|------------|--|----|
| Atributo (^a) | N | Valor | | | | Desvio Padrão | Variação (%) | Coeficiente | | Probabilidade do teste (^b) | |
| | | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | | | Curtose | Assimetria | Pr<w | DF |
| CBMc | 50 | 3,88 | 3,22 | 0,18 | 14,62 | 2,62 | 67,72 | 4,552 | 1,744 | 0,0001 | IN |
| RBSc | 50 | 30,64 | 30,87 | 10,20 | 47,70 | 7,92 | 25,85 | 0,434 | -0,229 | 0,3585 | NO |
| qCO2 | 50 | 14,37 | 9,12 | 1,59 | 140,86 | 21,11 | 146,91 | 27,350 | 4,859 | 0,0001 | IN |
| ARGc1 | 50 | 104,26 | 100,63 | 58,42 | 172,19 | 26,40 | 25,325 | -0,322 | 0,431 | 0,4139 | NO |
| ARGc2 | 50 | 89,85 | 78,28 | 58,50 | 176,05 | 29,08 | 32,361 | 0,477 | 1,068 | 0,0001 | IN |
| ARGc3 | 50 | 103,35 | 96,07 | 66,40 | 167,58 | 27,52 | 26,622 | -0,325 | 0,738 | 0,0033 | IN |
| SILc1 | 50 | 716,44 | 721,91 | 609,46 | 766,20 | 33,12 | 4,623 | 0,757 | -0,774 | 0,0405 | TN |
| SILc2 | 50 | 740,62 | 750,28 | 783,92 | 652,32 | 30,86 | 4,167 | 0,500 | -1,187 | 0,0002 | IN |
| SILc3 | 50 | 730,17 | 737,55 | 652,47 | 781,35 | 32,15 | 4,403 | -0,594 | -0,545 | 0,0424 | TN |
| AREc1 | 50 | 179,30 | 177,55 | 155,96 | 269,94 | 16,67 | 9,300 | 17,477 | 3,308 | 0,0001 | IN |
| AREc2 | 50 | 169,52 | 171,01 | 196,52 | 142,56 | 8,90 | 5,252 | 2,447 | -0,279 | 0,0079 | IN |
| AREc3 | 50 | 166,47 | 168,70 | 202,06 | 139,34 | 10,53 | 6,327 | 1,990 | 0,113 | 0,0263 | TN |
| Moc1 | 50 | 28,92 | 27,00 | 23,00 | 44,00 | 5,06 | 17,741 | 0,787 | 1,270 | 0,0001 | IN |
| Moc2 | 60 | 29,50 | 29,00 | 20,00 | 36,00 | 2,70 | 9,169 | 2,797 | -0,074 | 0,0009 | IN |
| Moc3 | 50 | 28,26 | 28,00 | 24,00 | 34,00 | 2,52 | 8,924 | -0,337 | 0,481 | 0,0674 | NO |
| pHc1 | 50 | 5,12 | 5,20 | 4,40 | 6,30 | 0,37 | 7,233 | 1,383 | 0,692 | 0,0201 | TN |
| pHc2 | 50 | 5,25 | 5,20 | 4,60 | 6,00 | 0,29 | 0,085 | 0,028 | 0,319 | 0,3100 | NO |
| pHc3 | 50 | 4,65 | 4,60 | 4,30 | 5,10 | 0,17 | 3,616 | 0,220 | 0,550 | 0,0291 | TN |
| Pc1 | 50 | 58,36 | 54,50 | 30,00 | 159,00 | 25,97 | 44,506 | 3,471 | 1,569 | 0,0001 | IN |
| Pc2 | 50 | 25,16 | 23,00 | 12,00 | 76,00 | 11,38 | 45,248 | 7,674 | 2,346 | 0,0001 | IN |
| Pc3 | 50 | 10,62 | 8,00 | 5,00 | 32,00 | 5,53 | 52,094 | 5,339 | 2,157 | 0,0001 | IN |
| ALTPc | 50 | 1,97 | 1,97 | 1,78 | 2,14 | 0,10 | 4,904 | -0,686 | 0,037 | 0,2505 | NO |
| ALTEc | 50 | 1,13 | 1,13 | 1,00 | 1,26 | 0,06 | 4,977 | 0,005 | 0,274 | 0,6092 | NO |
| NGEc | 50 | 48,47 | 48,40 | 43,8 | 52,80 | 2,05 | 4,222 | -0,103 | -0,022 | 0,4463 | NO |
| MCGc | 50 | 24,64 | 24,20 | 21,71 | 29,40 | 2,17 | 8,809 | -0,796 | 0,533 | 0,0067 | IN |
| MEc | 50 | 153,60 | 151,83 | 114,78 | 179,58 | 13,91 | 9,057 | -0,122 | -0,171 | 0,5599 | NO |
| CEc | 50 | 19,79 | 19,90 | 18,40 | 20,61 | 0,51 | 2,582 | -0,053 | -0,598 | 0,1124 | NO |

(^a) CBM, RBS, qCO2, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fósforo,

altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo '1' na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (c) com microgeo®; (b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Já os atributos da malha geoestatística sem Microgeo® (Tabela 2) que apresentaram assimetria negativa foram RBSs; ARGs2; ARGs3; SILs1; AREs1e AREs2, bem como todos os atributos de planta ALTPs; ALTEs; NGREs; MCGs; MEs e CEs.

Tabela 2. Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Distroférico e componentes biométricos e de produção do milho sem aplicações de Microgeo®

| Atributo (a) | Medidas estatísticas descritivas | | | | | | | | | | Probabilidade do teste (b) | |
|-----------------|----------------------------------|--------|---------|--------|--------|------------------|----------------|---------|------------|--------|-------------------------------|----|
| | N | Valor | | | | Desvio Padrão | Coeficiente | | | Pr<w | | DF |
| | | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | | Varição (%) | Curtose | Assimetria | | | |
| CBMs | 50 | 1,79 | 1,51 | 0,72 | 5,20 | 0,94 | 52,38 | 3,682 | 1,787 | 0,0001 | IN | |
| RBSs | 50 | 51,12 | 50,39 | 32,40 | 63,78 | 7,37 | 14,42 | -0,037 | -0,401 | 0,1788 | NO | |
| qCO2s | 50 | 34,58 | 34,62 | 10,20 | 67,72 | 14,34 | 41,46 | -0,382 | 0,397 | 0,2440 | NO | |
| ARGs1 | 50 | 331,27 | 324,13 | 138,23 | 562,81 | 129,30 | 39,032 | -1,354 | 0,104 | 0,0005 | IN | |
| ARGs2 | 50 | 385,80 | 412,63 | 177,19 | 584,85 | 148,86 | 38,585 | -1,612 | -0,056 | 0,0001 | IN | |
| ARGs3 | 50 | 322,70 | 406,46 | 49,61 | 561,40 | 186,58 | 57,819 | -1,530 | -0,324 | 0,0001 | IN | |
| SILs1 | 50 | 470,62 | 466,31 | 249,19 | 653,51 | 131,90 | 28,026 | -1,486 | -0,055 | 0,0012 | IN | |
| SILs2 | 50 | 435,56 | 409,85 | 236,94 | 655,29 | 153,23 | 35,180 | -1,636 | 0,087 | 0,0001 | IN | |
| SILs3 | 50 | 501,37 | 404,11 | 257,93 | 778,85 | 189,47 | 37,791 | -1,559 | 0,307 | 0,0001 | IN | |
| AREs1 | 50 | 198,10 | 197,04 | 160,20 | 229,12 | 14,77 | 7,455 | 0,035 | -0,118 | 0,9225 | NO | |
| AREs2 | 50 | 178,64 | 178,57 | 150,00 | 207,57 | 12,77 | 7,149 | -0,275 | -0,134 | 0,6715 | NO | |
| AREs3 | 50 | 181,79 | 179,65 | 158,86 | 231,48 | 12,44 | 6,845 | 4,059 | 1,408 | 0,0012 | IN | |
| Mos1 | 50 | 39,26 | 39,00 | 33,00 | 47,00 | 3,50 | 8,925 | -0,633 | 0,171 | 0,3675 | NO | |
| Mos2 | 50 | 23,40 | 23,00 | 18,00 | 30,00 | 2,28 | 9,730 | 0,984 | 0,432 | 0,0796 | NO | |
| Mos3 | 50 | 26,80 | 27,00 | 24,00 | 30,00 | 1,59 | 5,935 | -0,274 | 0,279 | 0,0165 | TN | |
| pHs1 | 50 | 6,01 | 6,00 | 5,20 | 7,50 | 0,42 | 7,022 | 1,919 | 0,722 | 0,0577 | NO | |
| pHs2 | 50 | 4,95 | 4,80 | 4,30 | 6,10 | 0,45 | 9,181 | 0,198 | 0,979 | 0,0006 | IN | |
| pHs3 | 50 | 4,61 | 4,60 | 4,20 | 5,60 | 0,24 | 5,176 | 4,810 | 1,333 | 0,0006 | IN | |
| Ps1 | 50 | 89,58 | 90,00 | 33,00 | 165,00 | 29,46 | 32,884 | -0,015 | 0,503 | 0,3971 | NO | |
| Ps2 | 50 | 23,88 | 22,00 | 8,00 | 48,00 | 9,27 | 39,664 | 0,535 | 0,867 | 0,0930 | NO | |
| Ps3 | 50 | 10,34 | 8,00 | 4,00 | 24,00 | 4,61 | 44,581 | 0,686 | 1,213 | 0,0001 | IN | |
| ALTPs | 50 | 2,52 | 2,52 | 2,36 | 2,66 | 0,06 | 2,494 | 0,004 | -0,030 | 0,8985 | NO | |
| ALTEs | 50 | 1,40 | 1,40 | 1,27 | 1,50 | 0,05 | 3,657 | 0,066 | -0,199 | 0,2789 | NO | |
| NGREs | 50 | 47,82 | 48,10 | 44,60 | 50,60 | 1,36 | 2,853 | -0,483 | -0,338 | 0,3120 | NO | |
| MCGs | 50 | 27,19 | 26,95 | 24,48 | 30,10 | 1,46 | 5,359 | -0,455 | 0,324 | 0,1072 | NO | |
| MEs | 50 | 180,64 | 181,88 | 152,73 | 208,14 | 12,93 | 7,157 | -0,058 | -0,549 | 0,0445 | TN | |

| CEs | 50 | 19,26 | 19,30 | 18,10 | 20,30 | 0,53 | 2,719 | 0,011 | -0,635 | 0,0168 | TN |
|-----|--|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|----|
| (a) | CBM, RBS, qCO ₂ , ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo '1' na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo®; | | | | | | | | | | |
| (b) | DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada. | | | | | | | | | | |
| | Fonte: Elaboração do próprio autor. | | | | | | | | | | |

O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria, sendo que: se coeficiente de assimetria maior que zero se tem que a distribuição é assimétrica à direita (positiva): se coeficiente de assimetria menor que zero distribuição é assimétrica à esquerda (negativa): e se coeficiente de assimetria igual a zero a distribuição é simétrica (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2010).

Em relação ao coeficiente de curtose, este é utilizado para caracterizar a forma da distribuição de frequências quanto ao seu achatamento. O termo médio de comparação é a distribuição normal que apresente valor de coeficiente de curtose igual a zero tem-se então a distribuição mesocúrtica, se coeficiente de curtose menor que zero a distribuição será platicúrtica, e se coeficiente de curtose maior que zero se tem a distribuição leptocúrtica. Os atributos da malha geostática com Microgeo® (Tabela 1) que apresentaram maior distribuição leptocúrtica foram: CBMc; qCO₂; AREc1; AREc2; AREc3; Moc2; pHc1; Pc1; Pc2 e Pc3 e para a malha geoestatística sem Microgeo® (Tabela 2) apenas CBMs; AREs3; pHs3 e Ps3 apresentaram distribuição leptocúrtica. Os demais dados aproximaram de zero.

Nos Quadros 2 e 3 estão apresentadas as matrizes de correlação linear simples entre os atributos de produtividade de planta (ALTPc; ALTEc; NGEc; MCGc; MEc e CEc) e microbiológicos do solo (CBMc; RBSc e qCO₂c), em relação aos atributos físico-químicos e biológicos do solo com a utilização do produto Microgeo® e (ALTPs; ALTEs; NGEs; MCGs; MEs e CEs) e microbiológicos do solo (CBMs; RBSs e qCO₂s) em relação aos atributos físico-químicos e biológicos do solo sem a utilização do produto Microgeo® respectivamente.

Através da matriz de correlação com a utilização do produto Microgeo® (Quadro 2) e sem a utilização do produto (Quadro 3) é possível interpretar os atributos de acordo com suas correlações positivas (diretamente proporcional) e

negativas (inversamente proporcional), bem como as correlações significativas a 1% (**) e significativas a 5% (*).

As correlações entre (CBMc* qCO_2c) e (CBMc* Moc1) foram significativas a 1% com valores respectivos de -0,46096** e 0,41088**, sendo inversamente proporcional com qCO_2 , isso porque quanto menor o número de microrganismos mais energia será gasta por eles para degradar ou quebrar o substrato, com a matéria orgânica da primeira camada do solo se mostrou proporcional, evidenciando o fato de que há uma maior população microbiana nas primeiras camadas do solo e tende a ser maior com o maior teor de matéria orgânica disponível. Também houve correlação significativa a 5% entre (CBMc*ARGs1 e ARGc3) onde quanto maior o teor de argila maior a população microbiana.

Este fato evidencia a eficiência da microfauna no uso do substrato disponível, fato este que corrobora com diversos dados em literatura a exemplo dos trabalhos de Dornelles *et al.* (2017) e Zhang *et al.* (2018) que obtiveram ao mesmo resultado, avaliando a aplicação de doses de dejetos líquidos suínos em um Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico com textura argilosa e em três solos do sul da China, respectivamente, destacaram o aumento e eficiência da biomassa microbiana.

A correlação entre CBMc*SILc1 e CBMc*SILc3 foi inversamente proporcional. O CBM representa a fração viva do carbono orgânico total do solo, sendo considerado um indicador sensível da qualidade do solo, por ser facilmente alterado através da ação antrópica e pelas diferentes estratégias de uso do solo (KASCHUK *et al.*, 2011).

Até mesmo diferentes cultivos alteram o valor do CBM o maior valor de CBM observado por Kuwano *et al.* (2014) foi em solo sob floresta nativa seguida por floresta secundária. Estes autores também constataram que mesmo depois de duas décadas sem interferência antrópica no solo da floresta secundária, o CBM não foi restabelecido para os níveis encontrados na mata nativa. O tipo de uso do solo leva à seleção de grupos microbianos mais adaptados e acaba diminuindo o CBM. Silva *et al.* (2015) também sugerem que os teores de CBM são muito variáveis, pois estão diretamente ligados às condições climáticas, manejo, fertilidade do solo e as espécies cultiváveis.

Ao observarmos a respiração basal do solo (RBS_c) a qual indica a quantidade de CO_2 que é liberada pela quebra do de carbono da matéria orgânica do solo percebemos uma correlação positiva significativa a 5% com a argila da primeira

camada do solo (RBS_c*ARG_{c1}); com a areia da segunda camada (RBS_c*ARG_{c2}) e com o silte da terceira camada (RBS_c*SIL_{c3}). Já para argila da terceira camada (RBS_c*ARG_{c3}) e pH da primeira camada (RBS_c*pH_{c1}) apresentou correlação positiva significativa a 1%.

A altura de plantas apresentou correlação positiva a 5% (RBS_c*ALTP_c), enquanto a massa de cem grãos apresentou correlação positiva significativa a 1% (RBS_c*MCG_c). Como relatado anteriormente elevados valores de RBS indicam maior atividade da biomassa microbiana no solo. Alta atividade microbiana pode significar rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas ou pode ser indicativo de estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação no solo.

De acordo com Balota *et al.* (2010) maiores taxas respiratórias podem ser observadas em solos que sem intervenção ou preparo, provavelmente devido ao maior teor de C orgânico acumulado, o que favorece a comunidade microbiana, além da maior disponibilidade de substratos e também devido as condições de umidade e temperatura homogêneas, fato este que pode ter influenciado os resultados observados neste trabalho, devido à época de coleta ser caracterizado por um longo período de seca e oscilação de temperatura.

Quanto à textura do solo, a argila da primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 5% quanto à altura de plantas (ARG_{c1}*ALTP_c) e correlação positiva significativa a 1% para massa de cem grãos e massa da espiga (ARG_{c1}*MCG_c e ARG_{c1}*ME_c). Para altura da espiga, essa fração apresentou correlação inversamente proporcional a 5% (ARG_{c1}*ALTE_c). Os teores de argila da segunda camada apresentaram correlação positiva significativa a 1% para número de grãos por espiga, massa de cem grãos e massa da espiga (ARG_{c2}*NGE_c; ARG_{c2}*MCG_c e ARG_{c2}*ME_c). Na terceira camada, a ARG_{c3} apresentou correlação positiva significativa a 1% para altura de plantas, massa de cem grãos e massa da espiga (ARG_{c3}*ALTP_c; ARG_{c3}*MCG_c e ARG_{c3}*ME_c).

O silte da primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 5% para altura da espiga (SIL_{c1}*ALTE_c) e correlação inversamente proporcional significativa a 5% para número de grãos por espiga (SIL_{c1}*NGE_c) e para massa de cem grãos e massa da espiga significativo a 1% (SIL_{c1}*MCG_c; SIL_{c1}*ME_c). Os teores de silte das camadas dois e três apresentaram valores de correlação inversamente proporcional significativo a 1% para os seguintes atributos:

(SILc2*NGEc; SILc2*MCGc e SILc2*MEc) e (SILc3*ALTPc; SILc3*NGEc; SILc3*MCGc; SILc3*MEc; SILc3*CEc).

A fração areia na primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 5% apenas com número de grãos por espiga (AREc1*NGEc), tanto os teores de areia da segunda como da terceira camada apresentaram correlação positiva significativa a 5% apenas para massa de cem grãos (AREc2*MCGc e AREc3*MCGc).

A matéria orgânica da primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 1% tanto para altura de plantas como massa de cem grãos (Moc1*ALTPc e Moc1* MCGc). A matéria orgânica da terceira camada apresentou correlação inversamente proporcional com significância de 1% para massa de cem grãos (Moc1*MCGc) assim como o pH da primeira camada (pHc1*MCGc).

Quadro 2. Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos físicos, químicos e biológicos do solo e componentes biométricos e de produção do milho na região de Jataí-GO, com a utilização do produto Microgeo®.

| Atributos (a) | ALTPc | ALTEc | NGEc | MCGc | MEc | CEc | CBMc | RBSc | qCO ₂ c |
|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| CBMc | 0.16983 | -0.07861 | 0.03218 | 0.27095 | 0.09846 | -0.01180 | | | |
| RBSc | 0.32569* | -0.01593 | -0.02084 | 0.38132** | 0.03997 | 0.18586 | -0.01546 | | |
| qCO₂c | -0.12842 | -0.13914 | 0.00997 | -0.08353 | -0.11243 | 0.27044 | -0.46096** | 0.09650 | |
| ARGc1 | 0.31662* | -0.31186* | 0.18437 | 0.73416** | 0.44122** | 0.19099 | 0.28703* | 0.27018* | -0.03357 |
| ARGc2 | 0.18669 | -0.19011 | 0.38316** | 0.43512** | 0.38754** | 0.17936 | 0.21409 | -0.01856 | 0.07862 |
| ARGc3 | 0.45284** | -0.23320 | 0.22933 | 0.80388** | 0.48684** | 0.25831 | 0.34521* | 0.32025** | -0.04066 |
| SILc1 | -0.21297 | 0.31328* | -0.29565* | -0.69704** | -0.40523** | -0.26700 | -0.34844* | -0.24578 | 0.00440 |
| SILc2 | -0.23867 | 0.14071 | -0.38800** | -0.49294** | -0.37234** | -0.23261 | -0.21116 | -0.08442 | -0.11035 |
| SILc3 | -0.44032** | 0.18366 | -0.24984 | -0.78220** | -0.45349** | -0.29208* | -0.33991* | -0.35192* | 0.00389 |
| AREc1 | -0.07836 | -0.12842 | 0.29528* | 0.22194 | 0.10622 | 0.22789 | 0.23758 | 0.06034 | 0.04441 |
| AREc2 | 0.21611 | 0.13206 | 0.09350 | 0.28602* | 0.02410 | 0.21953 | 0.03274 | 0.35382* | 0.12608 |
| AREc3 | 0.16103 | 0.04862 | 0.16349 | 0.28750* | 0.11241 | 0.21670 | 0.13570 | 0.23758 | 0.09432 |
| Moc1 | 0.46799** | 0.15317 | 0.04002 | 0.57076** | 0.26222 | 0.17591 | 0.41088** | 0.41088 | -0.08258 |
| Moc2 | 0.08461 | 0.19226 | 0.02617 | -0.11766 | 0.00836 | -0.08339 | 0.03154 | -0.03759 | 0.00524 |
| Moc3 | 0.05498 | 0.10098 | 0.03009 | -0.41361** | 0.04111 | -0.05327 | -0.22413 | -0.22841 | 0.15750 |
| pHc1 | 0.22674 | -0.12080 | 0.10892 | 0.41070** | 0.03052 | 0.22678 | 0.08500 | 0.39247** | 0.10153 |
| pHc2 | 0.05498 | 0.10098 | 0.03009 | -0.08665 | -0.08484 | 0.05723 | -0.04801 | -0.02017 | -0.13741 |
| pHc3 | 0.14366 | -0.14493 | -0.08837 | 0.09276 | -0.02076 | 0.06886 | -0.03072 | 0.07808 | -0.15505 |

| | | | | | | | | | |
|------------|------------------|----------|----------|------------------|------------------|----------|----------|---------|----------|
| Pc1 | 0.34902* | -0.05008 | 0.04999 | 0.62701** | 0.37202** | 0.20121 | 0.13649 | 0.15674 | 0.03642 |
| Pc2 | 0.41460** | 0.07089 | 0.23016 | 0.49254** | 0.36126** | 0.12776 | -0.04427 | 0.26910 | -0.01180 |
| Pc3 | 0.13143 | 0.11795 | -0.07345 | -0.05244 | 0.05393 | -0.07063 | -0.06092 | 0.14054 | 0.18885 |

(a) CBM, RBS, qCO₂, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo '1' na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo®; Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os teores de fósforo da primeira e da segunda camada do solo foram correlacionados positivamente a 1% de significância para massa de cem grãos e massa da espiga (Pc1*MCGc; Pc1*MEc Pc2*MCGc e Pc2*MEc), sendo o da segunda camada também significativo a 1% para altura de plantas (Pc2* ALTPc) e os teores da primeira camada apresentou significância a 5% para altura de plantas (Pc1*ALTPc).

Quanto às correlações lineares em áreas sem aplicação de Microgeo® (Quadro 3), observa-se que houve correlação positiva de CBMs com o comprimento de espiga e número de grãos por espiga, com valores de 0,32620* e 0,31556*, respectivamente, inferindo sobre a correlação proporcional deste atributo biológico com os parâmetros produtivos da cultura.

Quadro 3. Quadrante da matriz de correlação linear simples entre alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e produtividade de milho na região de Jataí-GO, sem a utilização do produto Microgeo®.

| Atributos (a) | ALTPs | ALTEs | NGEs | MCGs | MEs | CEs | CBMs | RBSs | qCO ₂ s |
|-------------------------|-----------------|----------|-------------------|------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| CBMs | 0.23605 | -0.16136 | 0.32620* | 0.00677 | -0.10565 | 0.31556* | | | |
| RBSs | -0.05592 | -0.16264 | -0.10812 | -0.20789 | -0.22448 | -0.16143 | 0.09800 | | |
| qCO₂s | -0.16629 | 0.12248 | -0.47389** | -0.09039 | -0.00342 | -0.43120** | -0.81614** | 0.21112 | |
| ARGs1 | 0.20768 | -0.09382 | 0.38111** | 0.27922* | 0.02983 | 0.42802** | 0.43140** | -0.16707 | -0.47560** |
| ARGs2 | 0.26463 | -0.04044 | 0.39421** | 0.25185* | -0.04014 | 0.43494** | 0.51302** | -0.19860 | -0.57261** |
| ARGs3 | 0.19116 | -0.10278 | 0.36509** | 0.34584* | 0.04715 | 0.44017** | 0.50122** | -0.28294* | -0.57213* |
| SILs1 | -0.24358 | 0.07013 | -0.37596** | 0.25185* | -0.00556 | -0.41196** | -0.44317** | 0.20462 | 0.49838** |
| SILs2 | -0.26529 | 0.04765 | -0.39265** | -0.27038* | 0.04997 | -0.41219** | -0.50655** | 0.21607 | 0.57280** |
| SILs3 | -0.14371 | 0.14253 | -0.30207* | -0.35500* | -0.07185 | -0.41520** | -0.41366** | 0.27472 | 0.52650** |
| AREs1 | 0.35708* | 0.19507 | 0.02089 | 0.20123 | -0.21152 | -0.06830 | 0.18091 | -0.36470** | -0.28688* |
| AREs2 | 0.09852 | -0.10030 | 0.11609 | 0.30848* | -0.13174 | -0.12417 | 0.09785 | -0.27749* | -0.19819 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|------------------|-----------------|------------------|----------|-------------------|----------|----------|------------------|------------------|
| AREs3 | -0.00729 | -0.21068 | 0.10310 | 0.18930 | -0.07687 | 0.12107 | 0.12747 | 0.03728 | -0.21110 |
| Mos1 | 0.47793** | 0.24504 | -0.25296 | 0.01703 | -0.28196** | 0.11100 | 0.04502 | -0.10874 | -0.10518 |
| Mos2 | 0.11771 | 0.03126 | 0.11562 | 0.16368 | -0.07632 | 0.06971 | -0.14483 | -0.27850 | -0.06905 |
| Mos3 | 0.17174 | 0.16238 | -0.00376 | 0.33849* | -0.05615 | -0.05907 | 0.03039 | -0.31477* | -0.10935 |
| pHs1 | 0.12810 | 0.12753 | -0.03586 | -0.13428 | -0.03556 | 0.06232 | 0.12942 | -0.09371 | -0.25378 |
| pHs2 | 0.12428 | 0.05822 | 0.05712 | 0.25205 | 0.07435 | -0.00407 | 0.08932 | -0.28623* | -0.28998* |
| pHs3 | 0.01859 | 0.08314 | 0.01679 | 0.23547 | 0.22042 | 0.19115 | -0.03315 | -0.24108 | -0.12639 |
| Ps1 | 0.37501** | 0.26807* | -0.36041* | -0.11888 | 0.12728 | 0.13107 | -0.00640 | -0.19756 | -0.01668 |
| Ps2 | 0.22561 | 0.00404 | 0.21036 | 0.20157 | -0.04513 | 0.11539 | 0.08882 | -0.13451 | -0.22520 |
| Ps3 | 0.04875 | -0.09067 | -0.01214 | 0.13248 | 0.01294 | 0.11386 | 0.16559 | -0.10325 | -0.17510 |

(a) CBM, RBS, qCO₂, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo '1' na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo®; Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O quociente metabólico, apresentou correlação linear negativa, sendo inversamente proporcional ao comprimento e número de grãos por espiga, assim como para o carbono da biomassa microbiana. A correlação negativa entre os dois atributos biológicos, manteve a mesma tendência do Quadro 2, uma vez que quanto maior o carbono da biomassa, maior a atividade dos microrganismos e com isso, menor quociente metabólico.

O teor de argila, nas três camadas de solo, apresentou correlação positiva com NGEs, MCGs, CEs e CBMs. Em contrapartida, com qCO₂ essa interação foi inversamente proporcional, com correlação negativa de -0,47560**, -0,57261** e -0,57213*, nas três camadas de solo, respectivamente. Além de ser inversamente proporcional à qCO₂, a ARG3s também apresentou correlação negativa significativa com RBSs.

Quanto à fração silte, na camada de 0-0,10 m foi significativa a correlação positiva SILs1*MCGs e SILs1*qCO₂s e negativa, entre SILs1*NGEs, SILs1*CEs e SILs1*CBMs. Enquanto que, na segunda e terceira camada de solo o silte apresentou correlação proporcional apenas com qCO₂s, sendo inversamente proporcional com NGEs, MCGs, CEs e CBMs.

O teor de areia no solo, correlacionou-se positivamente com ALTPs na camada de 0 – 0,10 m e com MCGs na camada de 0,10 – 0,20 m. Ainda na primeira

camada AREs1 foi inversamente proporcional à RBSs e qCO_2 , enquanto que AREs2*RBSs (-0,27749*).

Quanto aos atributos químicos, a matéria orgânica do solo apresentou as seguintes correlações, Mos1*ALTPs (0,47793**), Mos1*MEs (-0,28196**) e Mos3*RBSs (-0,31477), ambas significativas a 1%. Em relação ao pH do solo, este apresentou correlação apenas na camada de 0,10 – 0,20 m, sendo inversamente proporcional à RBSs e qCO_2 s.

As correlações com o teor de P no solo foram na camada superficial do solo, de 0 – 0,10 m, onde o teor deste macronutriente foi diretamente proporcional à ALTPs e ALTEs, e inversamente proporcional a NGEs. Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas para os pontos amostrais da área que recebeu aplicação do produto Microgeo® estão na Quadro 4, bem como seus respectivos semivariogramas (Figuras 3 e 4), dentre os parâmetros apenas a respiração basal do solo RBS_c se ajustou adequadamente ao modelo exponencial e apresentou dependência espacial muito alta.

Com relação aos atributos ARG_{c2}; SIL_{c1}; SIL_{c2} e Moc₁, estes apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico, todos apresentando dependência espacial muito alta. Neves Neto *et al.* (2013) apontaram os modelos esféricos e exponenciais como os mais frequentes aos atributos do solo. O modelo esférico é um dos mais ajustados na prática e se caracteriza por alcançar o patamar a uma distância finita e é indicativo de fenômenos contínuos. O modelo exponencial é detentor de maior alcance entre os dois, nas mesmas circunstâncias (CALVETE; RAMIREZ, 1996) O modelo de semivariograma que se ajustou adequadamente aos atributos ARG_{s1}; ARG_{c3}; SIL_{c3}; Pc₁; Pc₂ e MCG_c foi o gaussiano. Segundo Grego *et al.* (2014), o modelo gaussiano representa os processos de maior continuidade, com um crescimento lento na origem e um ponto de inflexão próximo ao alcance.

As demais variáveis (CBM_c e qCO_{2c}) apresentaram efeito pepita puro, nesse caso, encontram-se com distribuição aleatória para distâncias maiores que a menor distância de amostragem, distribuindo-se de forma independente no espaço, indicando que para essas variáveis a distância de amostragem não foi capaz de exibir toda a variância dos dados (ROSA FILHO *et al.*, 2011). O mesmo foi observado para ARE_{c1}; ARE_{c2}; ARE_{c3}; Moc₂; Moc₃; pH_{c1}; pH_{c2}; pH_{c3}; Pc₃; ALTP_c; ALTE_c e NGE_c (Quadro 4).

De acordo com Dalchiavon *et al.* (2012), onde: a) $ADE < 20\%$ = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) $20\% \leq ADE < 40\%$ = baixa dependência (BA); c) $40\% \leq ADE < 60\%$ = média dependência (ME); d) $60\% \leq ADE < 80\%$ = alta dependência (AL) e e) $80\% \leq ADE < 100\%$ = muito alta.

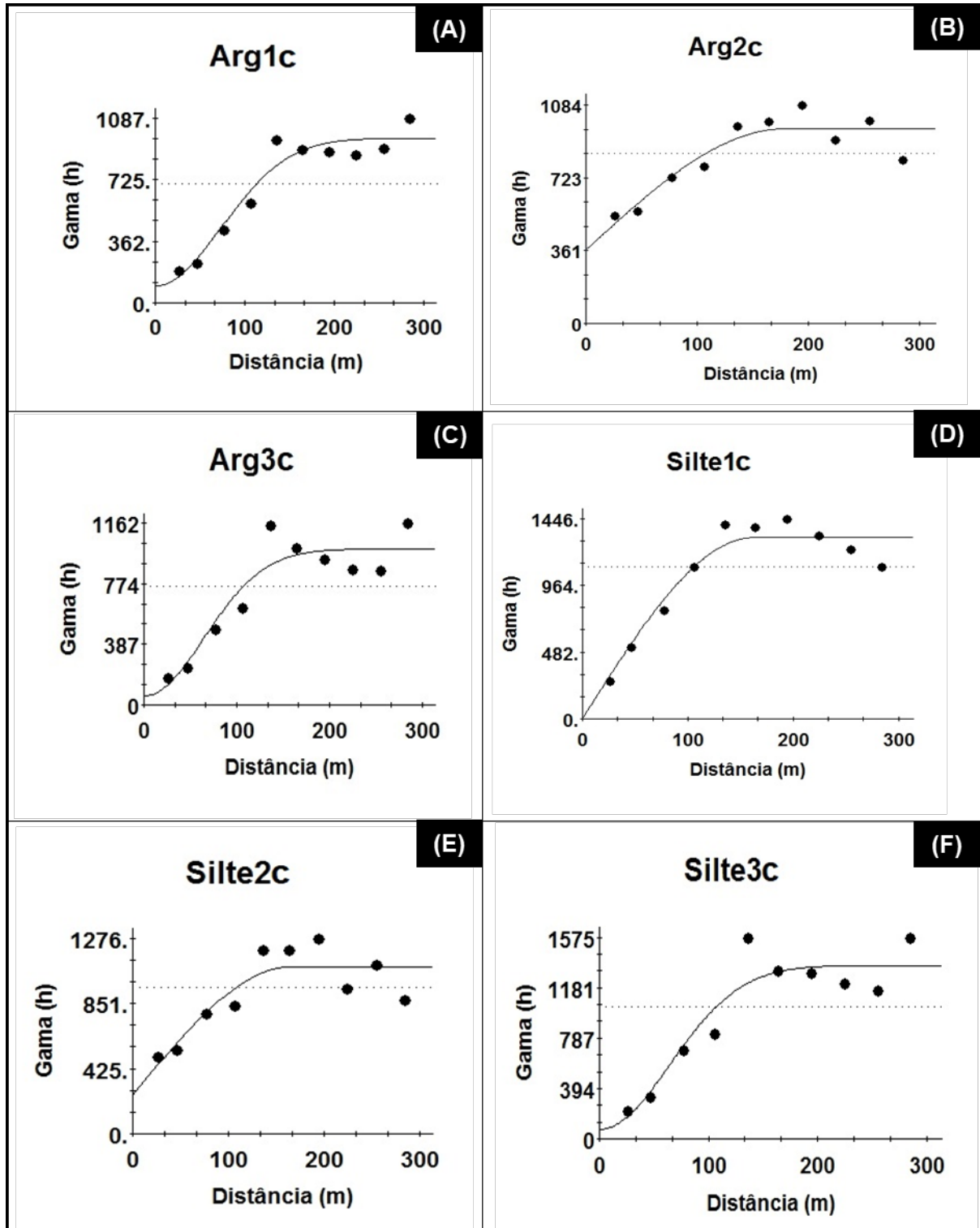
Quadro 4. Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos físicos, químicos e biológicos do solo e componentes biométricos e de produção do milho na região de Jataí-GO, com a utilização do produto Microgeo®.

| Atributos (a) | Modelo (b) | Efeito pepita | Patamar | Alcance | r ² | SQR ^(c) | ADE ^(d) | |
|------------------|------------|-------------------|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------|
| | | (C ₀) | (C ₀ +C) | (A ₀) (m) | | | % | Classe |
| CBMc | Epp | 5,705 | 5,705 | - | - | - | - | - |
| RBSc | Exp (30) | 11,40 | 74,45 | 189 | 0,719 | 515 | 0,847 | MA |
| qCO2c | Epp | 545,9 | 545,9 | - | - | - | - | - |
| ARGs1 | Gaus (30) | 100 | 968 | 180 | 0,937 | 58723 | 0,897 | MA |
| ARGc2 | Esf (30) | 364 | 965 | 178 | 0,834 | 54525 | 0,623 | MA |
| ARGc3 | Gaus (30) | 57 | 996 | 158 | 0,783 | 156509 | 0,943 | MA |
| SILc1 | Esf (30) | 1 | 1311 | 163 | 0,931 | 104409 | 0,999 | MA |
| SILc2 | Esf (30) | 253 | 1090 | 166 | 0,768 | 154276 | 0,768 | MA |
| SILc3 | Gaus (30) | 75 | 1356 | 158 | 0,867 | 278705 | 0,945 | MA |
| AREc1 | Epp | 266 | 266 | - | - | - | - | - |
| AREc2 | Epp | 74,36 | 74,36 | - | - | - | - | - |
| AREc3 | Epp | 111,8 | 111,8 | - | - | - | - | - |
| Moc1 | Esf (30) | 2,72 | 30,72 | 171 | 0,786 | 161 | 0,911 | MA |
| Moc2 | Epp | 17,77 | 17,77 | - | - | - | - | - |
| Moc3 | Epp | 25,76 | 25,76 | - | - | - | - | - |
| pHc1 | Epp | 0,141 | 0,141 | - | - | - | - | - |
| pHc2 | Epp | 0,085 | 0,085 | - | - | - | - | - |
| pHc3 | Epp | 0,0287 | 0,0287 | - | - | - | - | - |
| Pc1 | Gaus (30) | 170 | 712 | 144 | 0,429 | 237455 | 0,761 | MA |
| Pc2 | Gaus (30) | 13,6 | 135,7 | 91 | 0,322 | 19980 | 0,900 | MA |
| Pc3 | Epp | 29,59 | 29,59 | - | - | - | - | - |
| ALTPc | Epp | 0,012 | 0,012 | - | - | - | - | - |
| ALTEc | Epp | 0,019 | 0,019 | - | - | - | - | - |
| NGEc | Epp | 4,122 | 4,122 | - | - | - | - | - |
| MCGc | Gaus (30) | 0,58 | 6,47 | 177 | 0,936 | 2,73 | 0,910 | MA |
| MEc | Epp | 213 | 213 | - | - | - | - | - |
| CEc | Epp | 0,258 | 0,258 | - | - | - | - | - |

(a) CBM, RBS, qCO₂, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo '1' na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (c) com microgeo®; (b) Modelo: epp = efeito pepita puro, exp = exponencial, esf = esférico, gau = gaussiano. (c) SQR = soma de quadrado de resíduos; (d) ADE = avaliador de dependência espacial: M = média; A = alta; MA = muito alta.

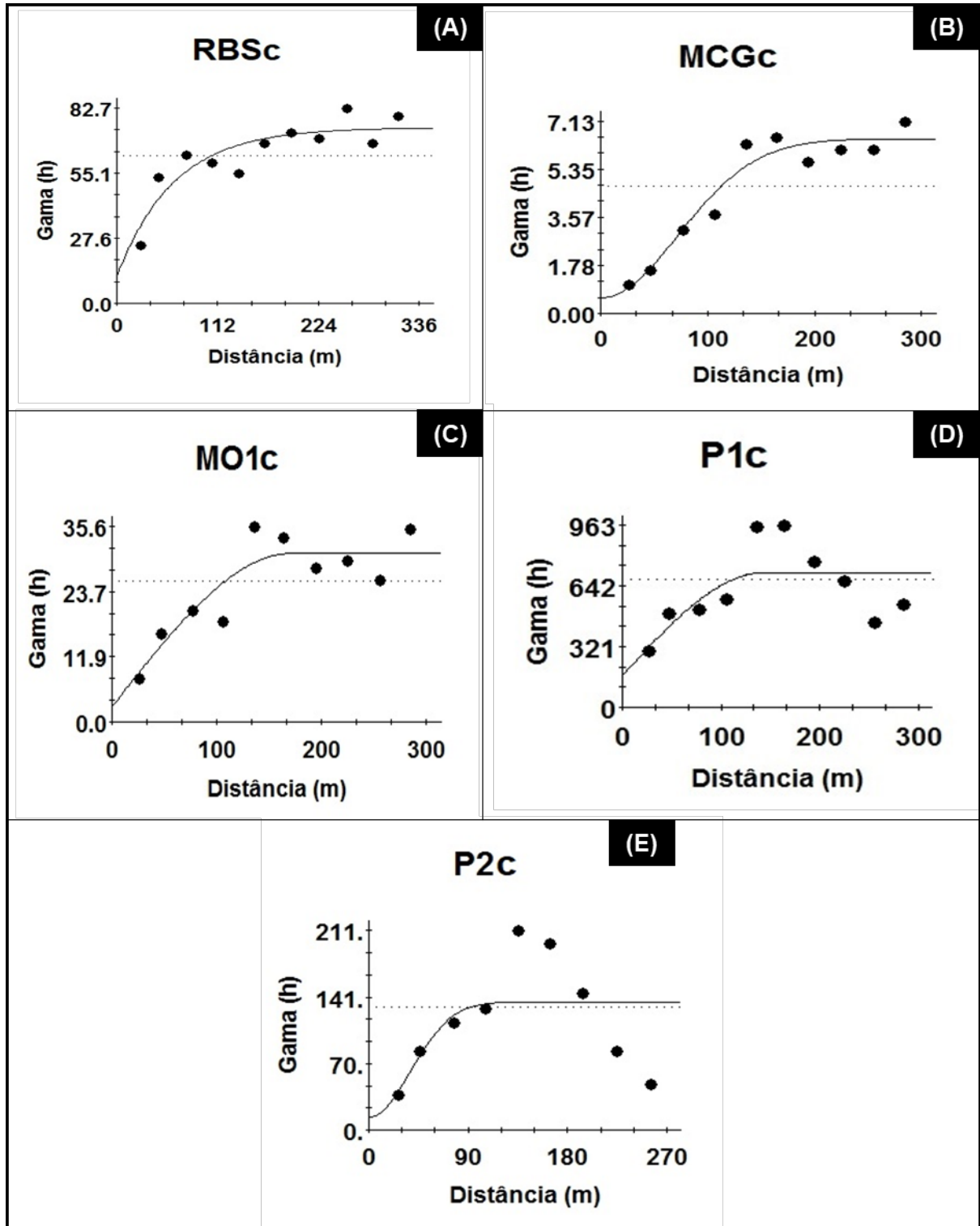
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 3. Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (Arg1c (A), Arg2c (B), Arg3c (C), Silte1c (D), Silte2c (E) e Silte3c (F)) com a utilização de Microgeo®.



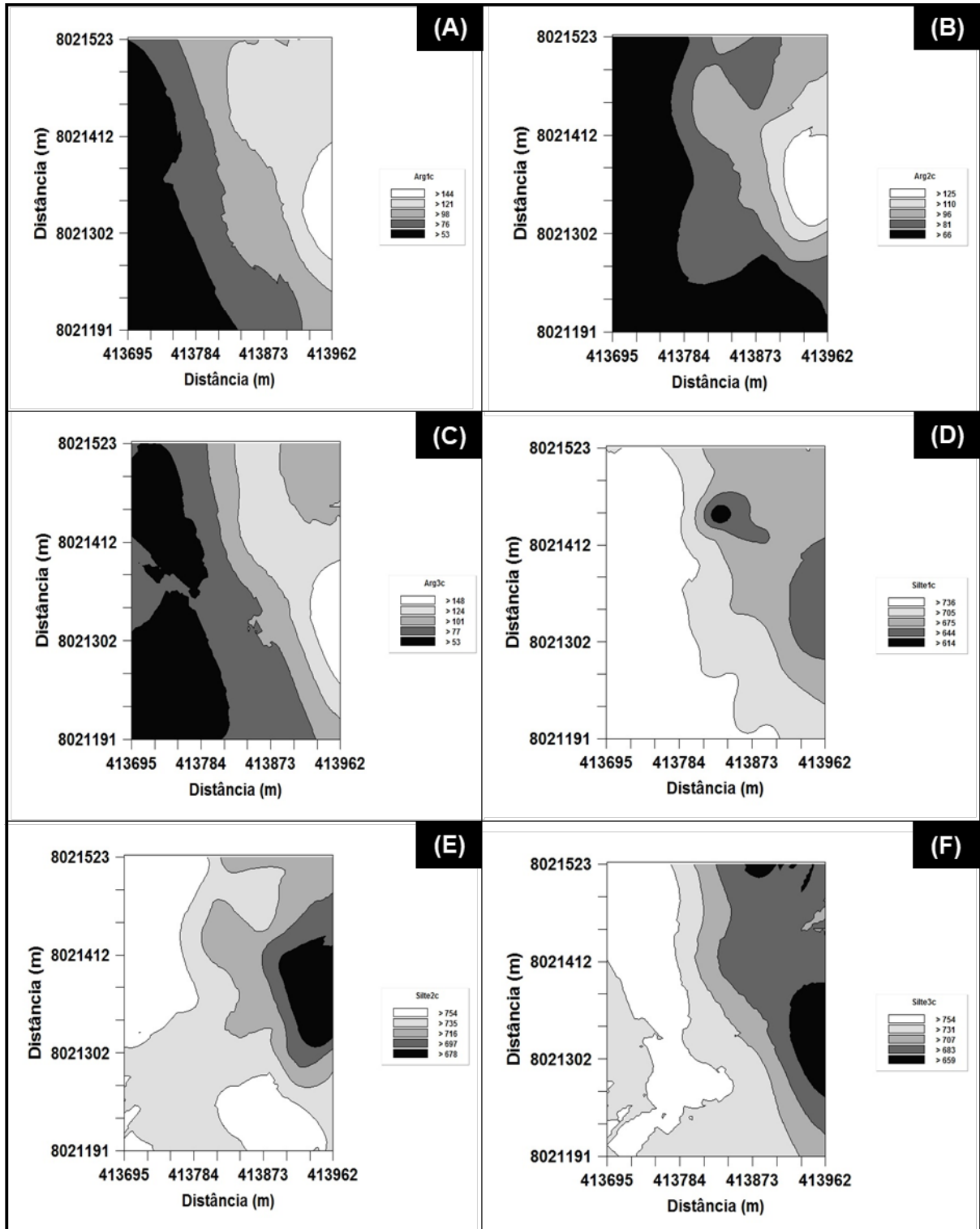
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 4. Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (RBS_c (A), MCG_c (B), MO1_c (C), P1_c (D) e P2_c (E)) com a utilização de Microgeo®.



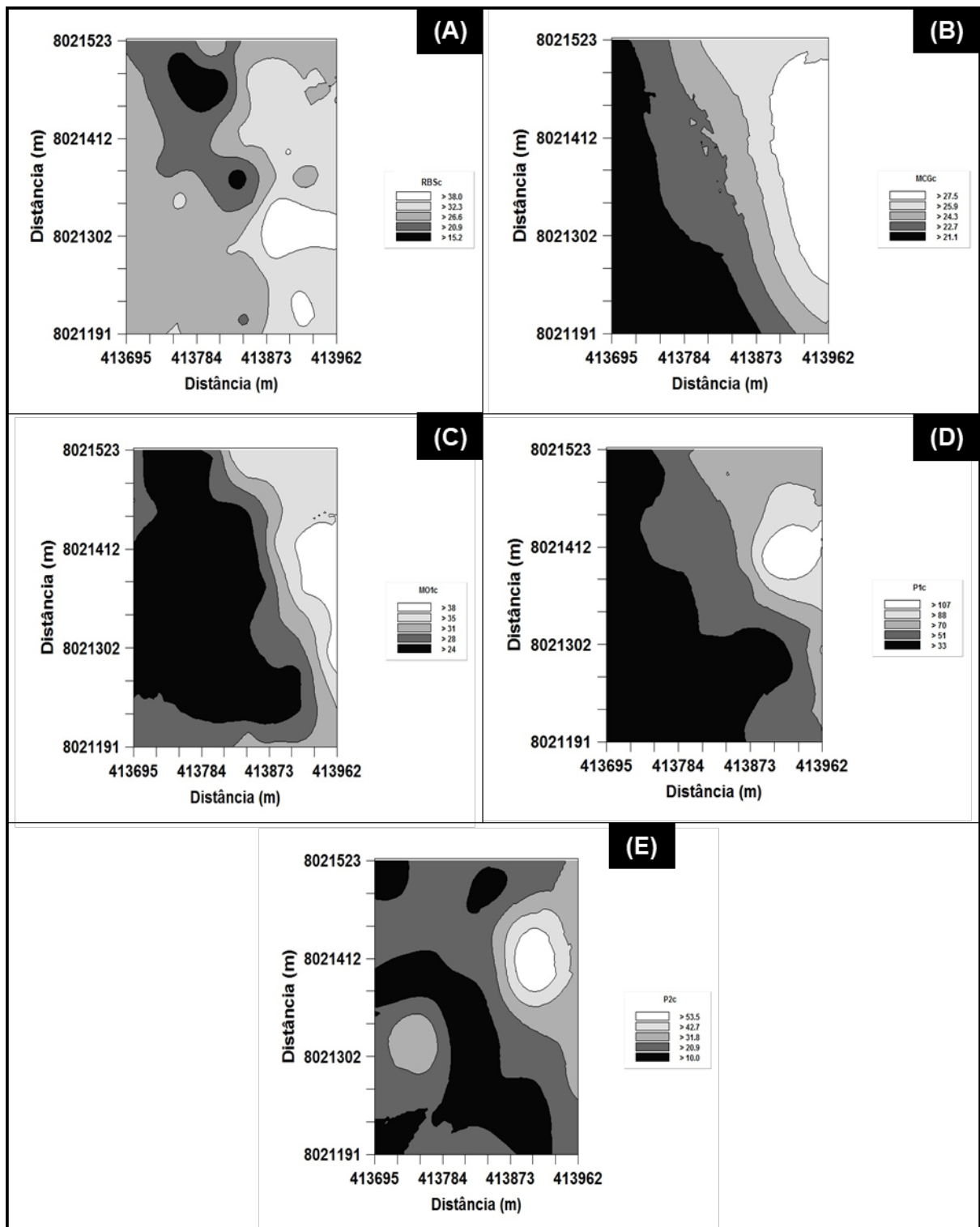
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 5. Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (Arg1c (A), Arg2c (B), Arg3c (C), Silte1c (D), Silte2c (E) e Silte3c (F)) com a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 6. Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (RBS_c (A), MCG_c (B), MO1_c (C), P1_c (D) e P2_c (E)) com a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas para os pontos amostrais da área que não recebeu aplicação do produto Microgeo® estão na Quadro 5, bem como seus respectivos semivariogramas (Figuras 7 e 8), os atributos CBMs; AREs3 e ALTPs apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico tendo alta dependência espacial para altura de plantas e muito alta para carbono da biomassa microbiana e areia na terceira camada.

Quanto ao pHs2 e CEs, ambos foram melhor ajustados ao modelo exponencial apresentando dependência espacial muito alta e alta, respectivamente. Enquanto isso, a ARGs1; ARGs2 e SILs1; SILs2 tiveram ajustes gaussiano com dependência espacial muito alta. Cambardella *et al.* (1994) afirmam que os atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados pelas propriedades intrínsecas do solo (textura, mineralogia) e aqueles influenciados por propriedades extrínsecas do solo (cultivo e aplicação de fertilizantes) apresentam fraca dependência espacial.

Tanto para a malha amostral com ausência e fornecimento de Microgeo®, a aplicação os valores de alcance observados foram acima de 60 metros, sendo os menores valores dos atributos areia da terceira camada sem Microgeo® (AREs3 61,7) e comprimento da espiga sem Microgeo® (CEs 65,0).

O alcance (A) representa a distância em que a variável sinaliza continuidade espacial e a partir dessa distância, o comportamento da variável passa a ser aleatório sendo de grande valia para o planejamento e avaliação de experimentos, auxiliando na definição de procedimentos amostrais (WEBSTER, 1990).

Significa a distância máxima de correlação espacial da variável, portanto, distâncias entre pontos maiores que o alcance representa distribuição aleatória (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2010). Todos os valores de alcance obtidos foram maiores que o valor do espaçamento entre amostras, indicando estarem correlacionadas umas às outras, permitindo as interpolações. Por outro lado, valores baixos de alcance influem negativamente nas estimativas, porque poucos pontos são usados na interpolação, podendo prejudicar a qualidade dos mapas.

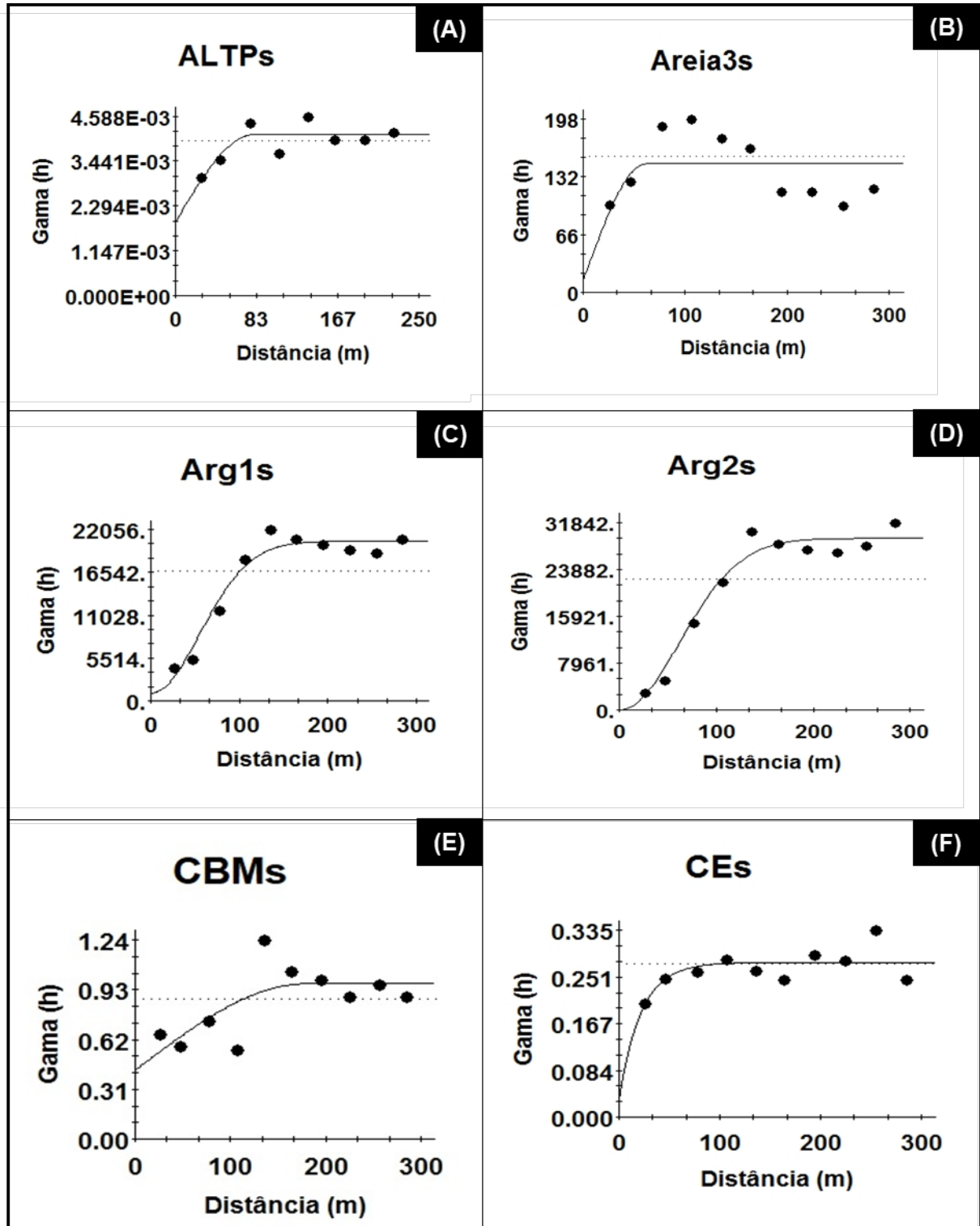
Quadro 5. Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e componentes biométricos e de produção do milho na região de Jataí-GO, sem a utilização do produto Microgeo®.

| Atributos ^(a) | Modelo ^(b) | Efeito pepita (C ₀) | Patamar (C ₀ +C) | Alcance (A ₀) (m) | r ² | SQR ^(c) | ADE ^(d) | |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|--------------------|--------|
| | | | | | | | % | Classe |
| CBMs | Esf (30) | 0,431 | 0,972 | 179 | 0,492 | 0,223 | 0,557 | MA |
| RBSs | Epp | 291 | 291 | - | - | - | - | - |
| qCO ₂ s | Epp | 223 | 223 | - | - | - | - | - |
| ARGs1 | Gaus (30) | 1000 | 20530 | 136 | 0,959 | 1,64x10 ⁷ | 0,951 | MA |
| ARGs2 | Gaus(30) | 10 | 29150 | 152 | 0,963 | 3,71x10 ⁷ | 0,878 | MA |
| ARGs3 | Epp | 43970 | 43970 | - | - | - | - | - |
| SILs1 | Gaus (30) | 80 | 22010 | 142 | 0,969 | 1,59x10 ⁷ | 0,996 | MA |
| SILs2 | Gaus (30) | 10 | 30780 | 151 | 0,969 | 3,63x10 ⁷ | 0,956 | MA |
| SILs3 | Epp | 4429 | 4429 | - | - | - | - | - |
| AREs1 | Epp | 596,9 | 596,9 | - | - | - | - | - |
| AREs2 | Epp | 221,7 | 221,7 | - | - | - | - | - |
| AREs3 | Esf (30) | 13,1 | 146 | 61,7 | 0,158 | 10841 | 0,911 | MA |
| Mos1 | Epp | 12,262 | 12,262 | - | - | - | - | - |
| Mos2 | Epp | 5,09 | 5,09 | - | - | - | - | - |
| Mos3 | Epp | 2,411 | 2,411 | - | - | - | - | - |
| pHs1 | Epp | 0,185 | 0,185 | - | - | - | - | - |
| pHs2 | Exp (30) | 0,0417 | 0,222 | 73 | 0,204 | 0,0141 | 0,813 | MA |
| pHs3 | Epp | 0,107 | 0,107 | - | - | - | - | - |
| Ps1 | Epp | 918 | 918 | - | - | - | - | - |
| Ps2 | Epp | 79,1 | 79,1 | - | - | - | - | - |
| Ps3 | Epp | 54,6 | 54,6 | - | - | - | - | - |
| ALTPs | Esf (30) | 0,0018 | 0,0041 | 80 | 0,676 | 6,08x10 ⁻⁷ | 0,544 | A |
| ALTEs | Epp | 0,00259 | 0,00259 | - | - | - | - | - |
| NGEs | Epp | 1,896 | 1,896 | - | - | - | - | - |
| MCGs | Epp | 2,121 | 2,121 | - | - | - | - | - |
| MEs | Epp | 165,4 | 165,4 | - | - | - | - | - |
| CEs | Exp (30) | 0,0311 | 0,277 | 65 | 0,461 | 5,781x10 ⁻³ | 0,888 | A |

(a) CBM, RBS, qCO₂, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo '1' na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo® (b) Modelo: epp = efeito pepita puro, exp = exponencial, esf = esférico, gau = gaussiano. (c) SQR = soma de quadrado de resíduos; (d) ADE = avaliador de dependência espacial: M = média; A = alta; MA = muito alta.

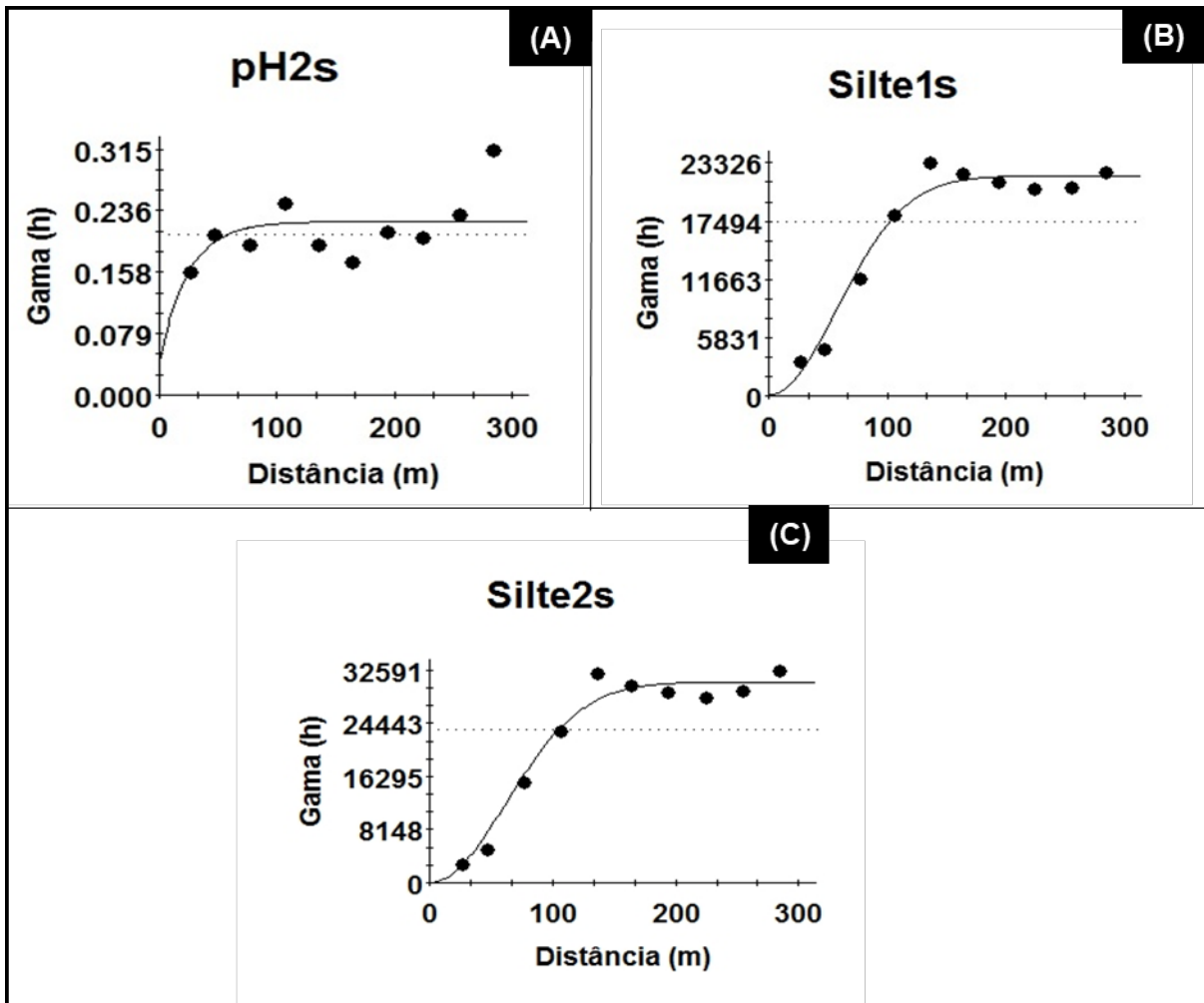
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 7. Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (ALTPs (A), Areia3s (B), Arg1s (C), Arg2s (D) e CBMs(E) e CEs (F)) sem a utilização de Microgeo®.



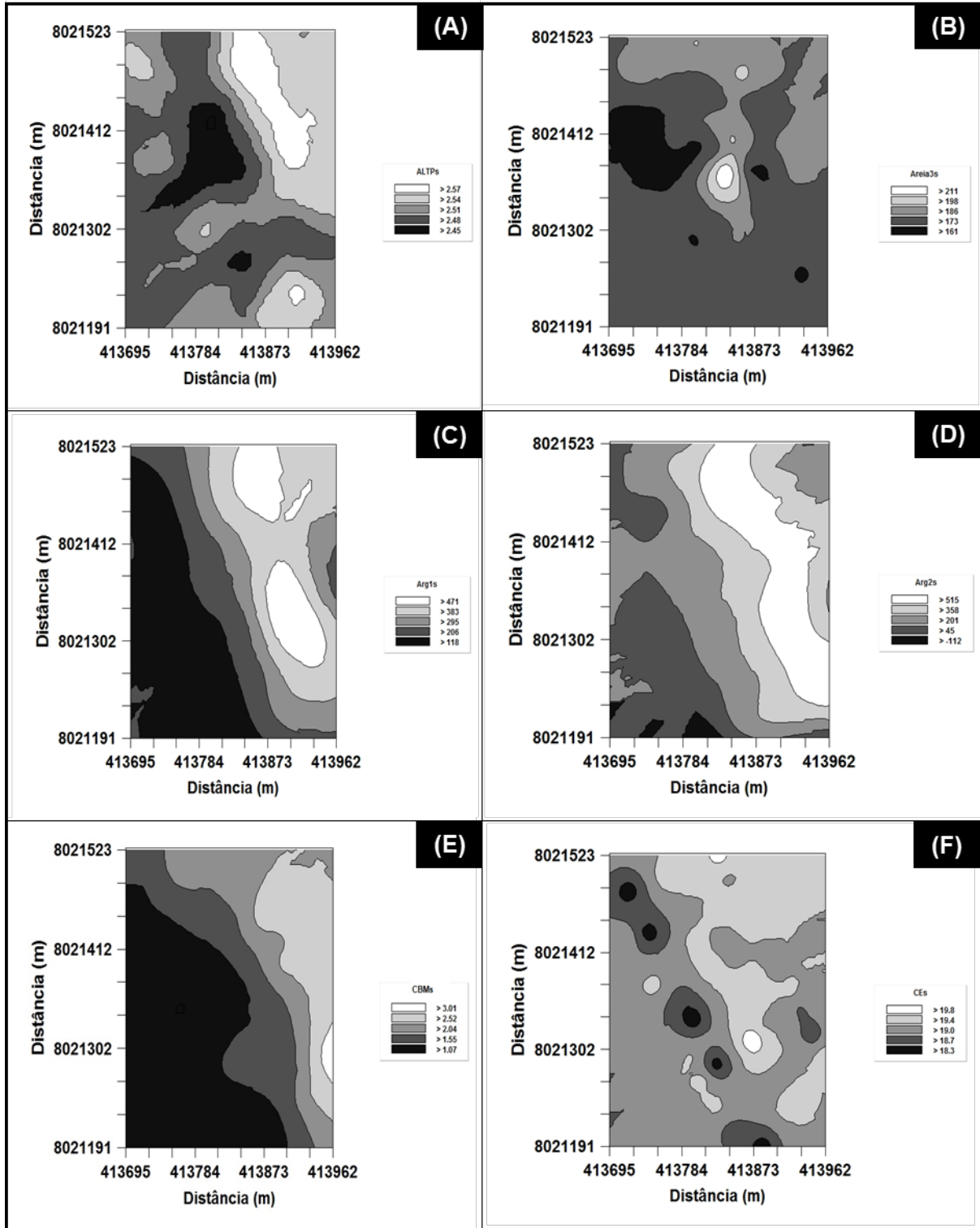
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 8. Semivariogramas simples dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (pH2s(A), Silte1s (B) e Silte2s (C)) sem a utilização de Microgeo®.



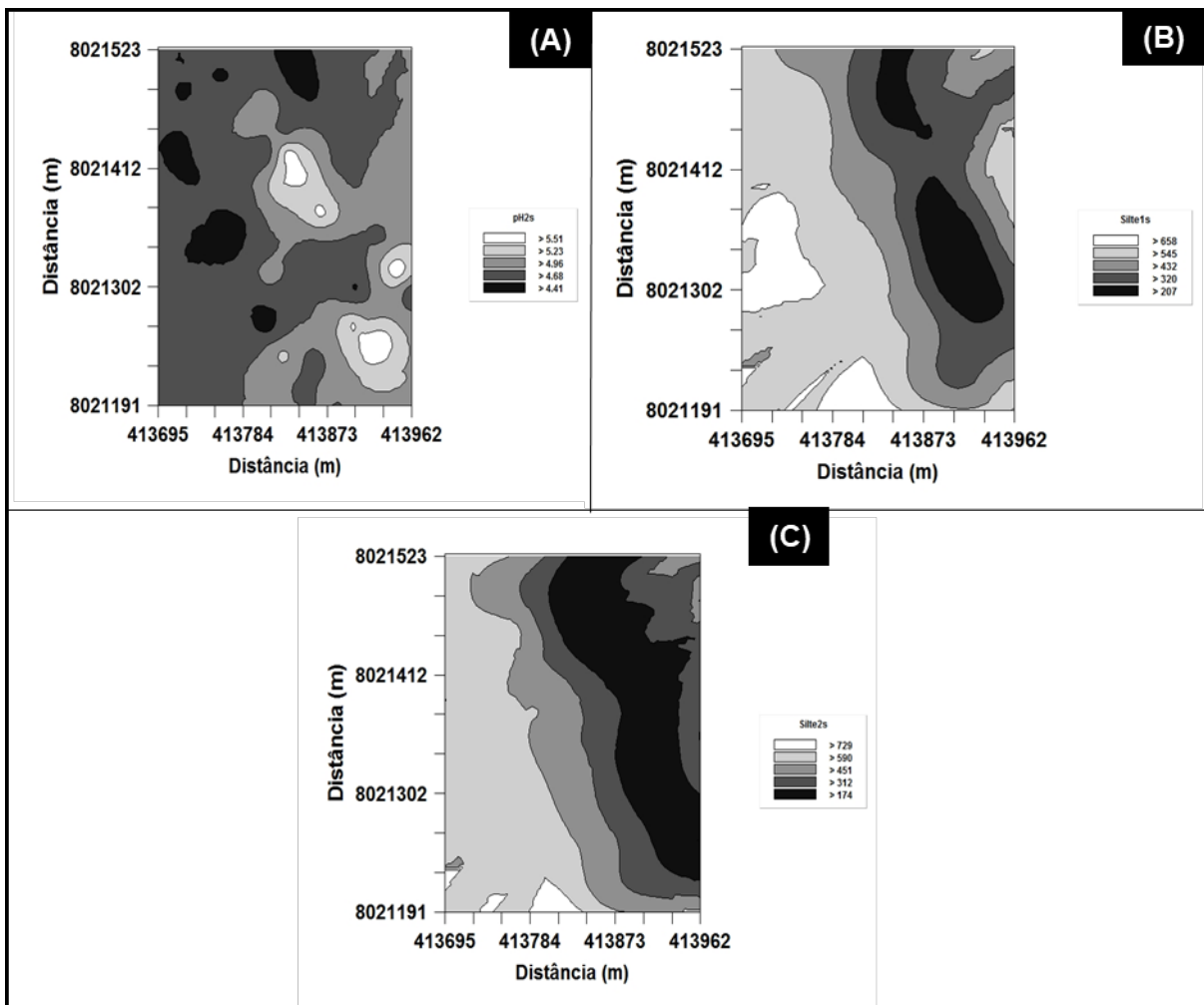
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 9. Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (ALTPs (A), Areia3s (B), Arg1s (C), Arg2s (D) e CBMs(E) e CEs (F)) sem a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 10. Mapas de krigagem dos atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico (pH2s(A), Silte1s (B) e Silte2s (C)) sem a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

5 CONCLUSÕES

A área sem aplicação de Microgeo®. Apresentou maiores valores para parâmetros biológica e químicos do solo sendo parte reflexo das diferenças entre declividade do terreno.

Ao observar o quociente metabólico a área com a aplicação de Microgeo® apresentou menores valores refletindo uma maior eficiência dos microrganismos nos processos biológicos. foi observada para a área sem aplicação de Microgeo®.

A área com aplicação de Microgeo® apresenta maior homogeneidade espacial dos atributos do solo de maneira geral em comparação a área sem aplicação. Fato que contribui para melhor definição de zonas de manejo específico e facilidade do processo de execução.

Para futuras intervenções de manejo específico do solo nas áreas deve-se: para a área com aplicação de Microgeo® utilizar alcances variando entre 91 e 189 m e para área sem aplicação de Microgeo® alcances variando entre 61 e 179 m.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística e análise fatorial exploratória para representação espacial de atributos químicos do solo, na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p.195 - 203, 2016.
- ANDREOTTI, M. *et al.* Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do Cerrado Brasileiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 520-526, 2010.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ATLAS, R. M.; BARTHA, R. **Fundamentals and applications**. 3. ed. [S.l.]: The Benjamin, 1993.
- BAHIA FILHO, A. F. C. **Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas**. 1982. 88 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 856-881, 2014.
- BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1573–1583, 2010.
- BARRETO, A. C. *et al.* Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1471-1478, 2008.
- BARROS, J. A. *et al.* Human disturbance affects enzyme activity, microbial biomass and organic carbon in tropical dry sub-humid pasture and forest soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Abingdon, v. 66, n. 4, p. 458-472, 2020.
- BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. Soil variability. **Soil Fertility**, Farnham Royal, v. 34, n. 1, p. 1-15, 1971.
- BELLINI, G.; SCHMIDT FILHO, E.; MORESKI, H. M. Influência da aplicação de um fertilizante biológico sobre alguns atributos físicos e químicos do solo no cultivo rotacionado de arroz (*Oriza sativa*), milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*). In: MOSTRA INTERNA DE TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6, 2012, Maringá. **Anais eletrônicos** [...]. Maringá: CESUMAR, 2012.
- BERNARDI, A. C. C. *et al.* **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- BOOM, R. **Solo saudável, pasto saudável, rebanho saudável: a abordagem equilibrada**. In: CONFERÊNCIA VIRTUAL GLOBAL SOBRE PRODUÇÃO

ORGÂNICA DE BOVINOS DE CORTE, 1, 2002, Concórdia. **Anais** [...]. Concórdia: [s.n.], 2002. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congressovirtual/pdf/portugues/03pt03.pdf>. Acesso em: dez. 2021.

CALVETE, F. J. S.; RAMIREZ, J. C. **Geoestadística**: aplicaciones a la hidrogeologia subterránea. [S.l.]: Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria, 1996. 484 p.

CARDOSO, E. J. B. N. *et al.* Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CARNEIRO, J. S. S. *et al.* Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 2, p. 10-21, 2016.

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

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 133-142, 1990.

CONTINI, E. *et al.* **Milho**: caracterização e desafios tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2).

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 541-552, 2012.

DALCHIAVON, F. C. *et al.* Strategy of specification of management areas: rice grain yield as related to soil fertility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 45-54, 2013.

DALCHIAVON, F.C.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Production and quality of *Urochloa decumbens* (stapf) r.d. webster forage co-related to the physical and chemical properties of the soil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 3, p. 315-326, 2017.

DALCHIAVON, F. C. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 2, p. 144-154, 2017.

D'ANDRÉA, A. F. *et al.* Atributos de agregação indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1047-1054, 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA special publication, 35)

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 3-11, 2000.

DORNELLES, H. S. *et al.* Biomassa e atividade microbiana de solos com aplicação de resíduo sólido urbano e dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 44, p. 18-26, 2017.

DUARTE, J. O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. **Milho**: importância socioeconômica. 2011. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html. Acesso em: 29 jan. 2019.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 1419-1424, 2001.

FANCELLI, A. L. Visão sistêmica e estratégias de manejo são imperiosos para garantir cultura sustentável. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 13, p. 58-60, 2015. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Manejo_cultura-artigo1.pdf. Acesso em: 27 abr. 2022.

FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solos da Amazônia. *In*: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. (ed.). **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. Cap.17, p. 423-442.

FERNANDES, M. M. *et al.* Biomassa microbiana e matéria orgânica em áreas desertificadas revegetadas com pinhão-manso solteiro e consorciado com gramínea no Sul do Piauí. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, p. 464-469, 2013.

FIORIN, J. E.; VENZKE FILHO, S. P. **Reestruturação do solo com microgeo®**. Arquivo de pesquisas Microgeo®. 2011. Disponível em: <http://www.microgeo.com.br/ns/pesquisas-e-resultados>. Acesso em: 12 out. 2021.

FOSTER, E. J. *et al.* Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, n. 223, p. 404-414, 2016.

FRANCO, A. L. C. *et al.* Linking soil engineers, structural stability, and organic matter allocation to unravel soil carbon responses to land-use change. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 150, p. e-107998, 2020.

FURTINI NETO, A. E. *et al.* **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GAVANDE, S. A. **Física del suelos**: principios y aplicaciones. Ciudad del México: Editorial Limusa, 1976. 351 p.

GIRARDELLO, V. C. *et al.* Resistencia à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. *In*: BERNARDI, A. C. *et al.* (org.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. V. 1, p. 74-83.

GUIMARÃES, N. F. *et al.* Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

HAN, L. *et al.* Some concepts of soil organic carbono characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 94, p. 107-121, 2016.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *In*: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (ed.). **Soil Biochemistry**. [S.l.]: Marcel Dekker, 1981. p. 425-471.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: Inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 338, n. 1, p. 467-481, 2011.

KLINKE NETO, G.; OLIVEIRA, A. H.; PEREIRA, S. Y. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma sub-bacia às margens do rio Mogi Guaçu (SP). **Geociências**, Rio Claro, v. 36, n. 2, p. 381 - 394, 2017.

KUWANO, B. H. *et al.* Soil quality indicators in a rhodic kandiuult under different uses in northern Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 50-59, 2014.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, Washington, v. 528, p. 60-65, 2005.

LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA, L. L. N.; LYRA, D. L. de. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 11, n. 1, p.11-20, 2017.

- LISBOA, B. B. *et al.* Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 33–44, 2012.
- LUNDEGÅRDH, H. Carbon dioxide evolution and crop growth. **Soil Science**, Philadelphia, v. 23, p. 417- 453, 1927.
- MADIGAN, M. T. *et al.* **Microbiologia de Brock**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARASCA, I. *et al.* Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.
- MARCHINI, D. C. *et al.* Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n. 6, p. 574-580, 2015.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MATIAS, S. S. R. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agro@ambiente On-line**, Monte Cristo, v. 9, n. 1, p. 17-26, 2015.
- MCBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 866-870, 1979.
- MENDES, I. C. *et al.* biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 359, p. 183-195, 2012.
- MENDES, R. *et al.* Deciphering the rhizosphere microbiome for disease suppressive bacteria. **Science**, Washington, v. 332, p. 1097-1100, 2011.
- MOLIN, J. P. *et al.* Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 309-324, 2010.
- MONTANARI R. *et al.* Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência o Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 385-96, 2015.
- MONTANARI, R. **Atributos do solo e componentes produtivos da cultura da pupunha: uma abordagem linear, geoestatística e multivariada**. 2016. 106 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

MONTANARI, R. *et al.* Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

MONTANARI, R. *et al.* The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, New York, v. 35, p. 1234-39, 2012.

NASCIMENTO, P. C. *et al.* Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 339-348, 2010.

NEVES NETO, D. N. *et al.* Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 995-1004, 2013.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 377-400, 1993.

PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008.

PERSMARK, L.; BANCK, A.; JANSSON H, B. Population dynamics of nematophagous fungi and nematodes in an arable soil: vertical and seasonal fluctuations. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 28, p. 1005 – 1014, 1996.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a red latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, p. 79-84, 2004.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 36 p.

QUADROS, P. D. *et al.* Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-214, 2014.

RAAIJMAKERS, J.; MAZZOLA, M. Soil immune responses. **Science**, Washington, v. 352, n. 6292, p. 1392-1393, 2016.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

RESENDE, J. M. A. **Comparação de índices de sorção de fósforo no solo**. 1983. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

RODRIGUES, H. M.; VASQUES, G. M. Propriedades eletromagnéticas mostram potencial para mapear atributos do solo correlacionados em R. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ESTATÍSTICA COM R*, 1, 2016, Niterói. **Anais** [...]. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2016.

RODRIGUES, J. L. M. *et al.* Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, p. 988-993, 2013.

ROSA FILHO, G. *et al.* Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 439-446, 2011.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 34, p. 280-406, 1981.

SANTOS, G. G. *et al.* Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1339-48, 2011.

SANTOS, H. G. *et al.* Análise exploratória espacial dos preços das terras agrícolas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira Geomática**, Apucarana, v. 3, p. 7-16, 2015.

SANTOS, H. L.; VASCONCELOS, C. A. determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, p. 97-100, 1987.

SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SANTOS, U. J. *et al.* Land use changes the soil carbon stocks, microbial biomass and fatty acid methyl ester (FAME) in Brazilian semiarid area. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Abingdon, v. 65, p. 755-769, 2019.

SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transmutation in soil. **Advances in Soil Science**, New York, v. 16, p. 1-120, 1991.

SCHMIDT, M. W. I. *et al.* Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, Washington, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SILVA I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. *In: NOVAIS, R. F. et al.* (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, A. S. *et al.* Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, D. M. *et al.* Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1585–1594, 2015.

SIMANSKY, V. Soil structure stability and distribution of carbon in waterstable aggregates in different tilled and fertilized haplic luvisol soil structure stability and distribution of carbon in waterstable aggregates in different tilled and fertilized haplic Luvisol. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, Brno, v. 20, p. 173-178, 2012.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. *In*: BOLLAG, J.; STOTZKY, D. G. (ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. V. 6, p. 357-396.

SOLEIMANI, A. *et al.* Influence of land use and land cover change on soil organic carbon and microbial activity in the forests of northern Iran. **Catena**, Amsterdam, v. 177, p. 227-237, 2019.

SOLOGUREN, L. Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 9, p. 8-11, 2015. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.

SOUZA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. V. A acidez do solo e sua correção. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo: a acidez do solo e sua correção**. Viçosa: Ed. da UFV, 2007. Cap. 5, p. 205-274.

SOUZA, E. D. *et al.* Soil quality indicators after conversion of “murundu” fields into no-tillage cropping in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 54, e.0037, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE- USDA. **Grain: world markets and trades**. United States: USDA, 2021. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.

TEIXEIRA, C. M. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 647–653, 2009.

VEZZANI, F. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

VIEIRA, S. R. *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 423-432, 2010.

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

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resourcer survey**. Oxford: Oxford Univesity Press, 1990. 319 p.

WENDLING, B. *et al.* Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256 – 265, 2012.

YAMAMOTO, J. K. **Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais**. São Paulo: Gráfica Paulos, 2020. 308 p.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

ZHANG, J. *et al.* Effect of pig manure amendments on microbial biomass and functional diversity in three agricultural soils. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Bristol, v. 186, n. 3, 012061, 2018.