

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

ESPACIALIZAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS  
GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS EM SOLO  
HIDROMÓRFICO IRRIGADO

Autor: Murilo Alceu de Águas  
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

CERES - GO  
Fevereiro – 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

ESPACIALIZAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS  
GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS EM SOLO  
HIDROMÓRFICO IRRIGADO

Autor: Murilo Alceu de Águas  
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de concentração Tecnologias de Irrigação.

Ceres - GO  
Fevereiro – 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

ÁG282 e ÁGUAS, MURILO ALCEU DE  
Espacialização de características granulométricas e químicas em solo hidromórfico irrigado / MURILO ALCEU DE ÁGUAS; orientador RORIZ LUCIANO MACHADO. -- Ceres, 2019.  
83 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado em Mestrado em Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2019.

1. Fertilidade do solo. 2. Planícies inundáveis. 3. Variabilidade espacial. 4. Amostragem. 5. Geostatística. I. MACHADO, RORIZ LUCIANO, orient. II. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

ESPACIALIZAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS  
GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS EM SOLO  
HIDROMÓRFICO IRRIGADO

Autor: Murilo Alceu de Águas  
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração  
Irrigação

APROVADA em 28 de Fevereiro de 2019.



Prof. Dr. Luís Fernando Stone  
*Avaliador externo*  
Embrapa Arroz e Feijão



Prof. Dr. Ariel Muncio Compagnon  
*Avaliador interno*  
IF Goiano - Campus Ceres



Prof. Dr. Roriz Luciano Machado  
(Orientador)  
IF Goiano - Campus Ceres

A todos aqueles que contribuíram para minha formação profissional até este  
momento,

**OFEREÇO**

A maior riqueza que um homem tem é a sua família.  
À minha família,

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter me abençoado durante toda a minha vida, por me dar sabedoria e suprir todas as dificuldades durante minha formação profissional, possibilitando muitas conquistas.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais e irmãos, que sempre estiveram torcendo e me incentivando em todos os momentos a seguir meus sonhos, independentemente dos desafios e das dificuldades.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres e servidores, por oferecerem todos os recursos disponíveis para amparar minha pesquisa.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, por transmitirem todo conhecimento durante a minha formação.

À Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária do Estado de Goiás - Emater (GO), localizada no povoado de Luiz Alves (GO), pela disponibilização da área de estudo e estadia durante a coleta de amostras. Ao servidor Vagner Silva (Emater), aos cooperados José Eurípedes e Dona Maria e demais da sede da Cooperativa, pelo auxílio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roriz Luciano Machado, pela amizade, confiança, dedicação, correções, ensinamentos, paciência durante todo processo, ajudando sempre da melhor forma possível.

Aos membros da banca, pela colaboração e engrandecimento desse trabalho.

A Ana Paula Santos Oliveira e a Kássia Rabelo, Técnicas do Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, pelo auxílio nas análises feitas.

Ao Valter dos Santos Marques, pelo apoio na obtenção de coordenadas de precisão para georreferenciamento de pontos na área. A Elisa Darim, pelas dicas no uso do software GS<sup>+</sup>.

Ao Leonardo Mariano do Nascimento e João Paulo Souza Carneiro, que contribuíram durante a realização dos trabalhos de campo e laboratório.

Aos colegas de turma, que proporcionaram aprendizado, companheirismo, apoio e amizade.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Murilo Alceu de Águas, nascido no dia 12 de abril de 1993, natural de Uruana – GO. No ano de 2012, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Goiás – Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, Anápolis – GO. Durante a graduação, foi bolsista do Programa de Educação Tutorial – PET do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás no período de dois anos, de 08/2013 a 10/2015. Desenvolveu pesquisa de Iniciação Científica, com bolsa PIBIC/UEG, no período de 2015 a 2016, sob orientação da Profa. Dra. Sandra Mascimo da Costa e Silva. Atuou como monitor nas disciplinas de Geometria Analítica e Cálculo Vetorial I e II. Concluiu a graduação de Engenharia Agrícola no ano de 2016. Em 2017, iniciou o Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres, Área de concentração Tecnologias de Irrigação, concluindo em fevereiro de 2019.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Agricultura em áreas de terras baixas e planícies inundáveis.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Irrigação por superfície.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Irrigação por subirrigação .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Fertilidade do solo em áreas de terras baixas ou planícies inundáveis.....</b>	<b>6</b>
<b>2.5. Variabilidade de características químicas do solo em áreas de terras baixas ou planícies inundáveis.....</b>	<b>7</b>
<b>2.6. Amostragem: número ideal de amostras .....</b>	<b>9</b>
<b>2.7. Geoestatística.....</b>	<b>10</b>
2.7.1. Semivariogramas .....	11
2.7.2. Variabilidade espacial .....	12
2.7.3. Krigagem .....	13

<b>2.8.</b>	<b>Mapas de iso-ocorrência de características do solo .....</b>	<b>13</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
	4.1. Estatística Descritiva .....	20
	4.2. Análise dos semivariogramas ajustados .....	27
	4.3. Mapas de iso-ocorrência dos atributos físicos e químicos do solo .....	31
	4.4. Número ideal de amostras .....	41
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>43</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1.</b> Estatística descritiva para os atributos analisados, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO.....	22
<b>Tabela 2.</b> Coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades do solo, na profundidade de 0,0-0,1 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO.....	25
<b>Tabela 3.</b> Coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades do solo, na profundidade de 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO.....	26
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros do ajuste experimental dos semivariogramas para os atributos do solo, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO	29
<b>Tabela 5.</b> Número calculado de amostras simples para formar uma amostra composta <sup>(1)</sup> para avaliar os atributos do solo na profundidade de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, em área irrigada por inundação e superfície, em Luiz Alves – GO.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo, Luiz Alves – GO.....	15
<b>Figura 2.</b> Vista aérea de parte do Projeto de Irrigação de Luís Alves do Araguaia (PILAA), com detalhe da área experimental .....	16
<b>Figura 3.</b> Croqui dos pontos amostrais georreferenciados.....	17
<b>Figura 4.</b> Perfil de solo próximo à área de estudo em Luiz Alves – GO .....	18
<b>Figura 5.</b> Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO .....	32
<b>Figura 6.</b> Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO .....	32
<b>Figura 7.</b> Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO .....	33
<b>Figura 8.</b> Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO .....	33
<b>Figura 9.</b> Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar MOS ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO .....	34

- Figura 10.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Ca ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 35
- Figura 11.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Mg ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 35
- Figura 12.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 36
- Figura 13.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar H+Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 36
- Figura 14.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 37
- Figura 15.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar K ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 37
- Figura 16.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar CTC ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 38
- Figura 17.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar V (%) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 38
- Figura 18.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Cu ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por inundação e superfície, em Luiz Alves – GO. .... 39
- Figura 19.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Fe ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 39
- Figura 20.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Zn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 40

**Figura 21.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO ..... 41

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de Medida
pH (H <sub>2</sub> O)	Potencial de Hidrogênio em H <sub>2</sub> O	
MOS	Matéria Orgânica do Solo	g kg <sup>-1</sup>
Ca	Cálcio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Mg	Magnésio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Al	Alumínio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
H+Al	Acidez Potencial	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
P	Fósforo	mg dm <sup>-3</sup>
K	Potássio	mg dm <sup>-3</sup>
CTC	Capacidade de Troca Catiônica	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
V	Saturação por bases	%
Cu	Cobre	mg dm <sup>-3</sup>
Fe	Ferro	mg dm <sup>-3</sup>
Zn	Zinco	mg dm <sup>-3</sup>
Mn	Manganês	mg dm <sup>-3</sup>
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Centímol Carga por decímetro cúbico	
mg dm <sup>-3</sup>	Miligrama por decímetro cúbico	
CV	Coefficiente de Variação	%

## RESUMO

ÁGUAS, MURILO ALCEU. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, fevereiro de 2019. **Espacialização de características granulométricas e químicas em solo hidromórfico irrigado.** Orientador: Dr. Roriz Luciano Machado.

A compreensão da variabilidade espacial de solos hidromórficos utilizados na agricultura contribui para aprimorar formas de seu manejo e do uso de corretivos e de fertilizantes. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo caracterizar a dependência espacial, espacializar atributos químicos e de granulometria e determinar o número ideal de amostras em solo hidromórfico em área irrigada por superfície e subirrigação, no Projeto de Irrigação de Luís Alves, do Araguaia. O experimento compreendeu uma área de 1,84 ha, onde foi feita uma amostragem de solo em outubro de 2016 nas profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, em malha amostral de 10 x 10 m, totalizando 432 amostras compostas. Os atributos avaliados foram pH em água, H+Al, MOS, Ca, Mg, Al, P, K, CTC, V%, Cu, Fe, Zn, Mn e granulometria. Foram aplicadas as estatísticas descritivas média, mediana, mínimo, máximo, coeficiente de variação (CV), desvio padrão, assimetria, curtose, teste de normalidade Komorogov-Smirnov e correlação de Pearson. Foi avaliada inicialmente a dependência espacial dos dados, utilizando a semivariância. Os semivariogramas foram calculados e ajustados a modelos teóricos e feita a validação cruzada dos dados. Em seguida, foi feita a interpolação por krigagem ordinária. A textura da área foi classificada como franco-argilo-arenosa e franca para 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente. O CV dos atributos variou de 3,3% para pH (0,0-0,1 m) a 149,07% para Cu (0,1-0,2 m). Os elementos P, K, Fe Mn apresentaram altos teores no solo estudado. Para todos os atributos granulométricos e químicos avaliados, ocorreu dependência espacial variando de moderada (24%) a forte (76%). Os dados da pesquisa foram mais ajustáveis ao modelo

gaussiano (47% dos atributos), seguido do exponencial (29%) e esférico (23%). Os nutrientes Mg, K, Cu e Mn apresentam grande homogeneidade espacial. O número ideal de subamostras para cada amostra composta foi de 19 para granulometria e macronutrientes nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, com exceção de Al, P e K para essa última camada, e de 28 subamostras para os micronutrientes estudados para as duas camadas, exceto Cu e Zn na camada de 0,1-0,2 m. A implantação de novos estudos na área pode ser feita com *grid* amostral com intervalo de amostragem de 20 m com base nos resultados da camada de 0,0-0,1 m. A região norte difere da região sul da área para os atributos granulometria do solo, pH (H<sub>2</sub>O), Al, H+Al, CTC e Fe.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fertilidade do solo, planícies inundáveis, variabilidade espacial, amostragem, geoestatística

## ABSTRACT

ÁGUAS, MURILO ALCEU. Goiano Federal Institute, Ceres Campus - GO, Brazil, February 2019. **Spatialization of granulometry and chemical characteristics in irrigated hydromorphic soil.** Advisor: Dr. Machado, Roriz Luciano.

The understanding of spatial variability of hydromorphic soils used in agriculture contributes to improve its management and a better use of correctives and fertilizers. In this sense, this paper aimed to characterize spatial dependence, spatialize chemical and granulometric attributes, and find the ideal number of samples in hydromorphic soil on surface and subsurface irrigation area in the Luís Alves's Irrigation Project from Araguaia Municipality, Tocantins State, Brazil. The experiment comprised an area of 1.84 ha, where a soil sampling was collected at depths of 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m, in a sample mesh of 10 x 10 m, totaling 432 composed samples, in October 2016. The evaluated attributes were pH in water, H+Al, MOS, Ca, Mg, Al, P, K, CTC, V%, Cu, Fe, Zn, Mn and granulometry. Descriptive statistics mean, median, minimum, maximum, coefficient of variation (CV), standard deviation, asymmetry, kurtosis, Komorogov-Smirnov normality test, and Pearson's correlation were applied. The spatial dependence of the data was initially evaluated using semivariance. The semivariograms were calculated and adjusted to theoretical models and the data were cross-validated. Then, ordinary kriging interpolation was carried out. The area texture was classified as sandy clay loam and loam to 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m, respectively. The CV of the attributes ranged from 3.3% for pH (0.0-0.1 m) to 149.07% for Cu (0.1-0.2 m). The P, K, Fe, and Mn elements showed high levels in the studied soil. For all granulometry and chemical attributes evaluated, spatial dependence varied from moderate (24%) to strong (76%). The research data were most adjustable to the Gaussian model (47% of attributes), followed by exponential (29%) and

spherical (23%). The Mg, K, Cu, and Mn nutrients show great spatial homogeneity. The ideal number of subsamples for each composite sample was 19 for granulometry and macronutrients in the 0.0-0.1 and 0.1-0.2 m layers, excluding Al, P and K for the last layer, and 28 subsamples for the micronutrients studied for both layers, except Cu and Zn in the layer 0.1-0.2 m. New studies in the area can be carried out using sample grid with sampling space of 20 m, based on the results from the 0.0-0.1 m layer. The northern region differs from the southern region with regard to pH (H<sub>2</sub>O), Al, H+Al, CTC, and Fe.

**PALAVRAS-CHAVE:** Soil fertility, floodplains, spatial variation, sampling, geostatistics

## 1. INTRODUÇÃO

A irrigação por superfície e a subirrigação são métodos importantes na produção agrícola, e o uso de geotecnologias pode contribuir para melhor caracterização da fertilidade do solo nessas condições, visando à otimização do manejo e à melhoria da sustentabilidade. A irrigação por superfície é feita sobre a superfície do solo, aplicada em grande volume na lavoura. Já a subirrigação é feita pelo manejo da altura do lençol freático. Estes tipos de irrigações são recomendados para solos hidromórficos.

O manejo de solo e da sua fertilidade em solos de planícies inundáveis nem sempre deve ser o mesmo das terras altas em razão da maior influência do lençol freático. Produtores rurais geralmente desconsideram essas questões, deixando, às vezes, de fazer análise de solo, assim, adubando em excesso ou aquém da quantidade necessária.

Determinar a quantidade de nutrientes no solo se torna fundamental em áreas agrícolas cultiváveis. Quando há carência de nutrientes, a planta não consegue se desenvolver da melhor forma possível e não consegue atingir seu máximo potencial produtivo, limitando a produtividade da lavoura. Quando o problema é o excesso de nutrientes no solo, caracteriza-se o consumo de luxo, ou seja, não há resposta proporcional ao aumento das doses, podendo gerar toxidez para as plantas, impactar negativamente no lucro da lavoura e trazer consequências ao meio ambiente.

As reações de oxirredução em solos inundados alteram a disponibilidade dos nutrientes (Ponnamperuma, 1972). Em áreas de solos com influência de hidromorfismo, a condição de redução eleva a concentração de alguns nutrientes essenciais aplicados na fertilização, exigindo, no decorrer do tempo, que os produtores rurais considerem essas condições, evitando a prática de adubação desequilibrada.

A amostragem de solo em áreas sistematizadas sob solos hidromórficos pode apresentar limitações pela heterogeneidade causada pela exposição de diferentes

horizontes, resultante do processo de aplainamento com cortes e aterros. Em grandes áreas, a amostragem de solo é problemática, demanda elevado tempo em campo e custo da análise laboratorial, necessitando da compreensão da variabilidade espacial de atributos do solo para chegar à quantidade ideal de amostras. Com a geoestatística, é possível obter economia de tempo e trabalho na amostragem de solo, conseqüentemente, menor custo para avaliar suas características e, assim, planejar uma amostragem adequada.

A geoestatística possibilita a avaliação da variabilidade das propriedades do solo e a geração de mapas para determinar as variações que ocorrem no solo e, assim, implementar a aplicação de insumos em taxa variável, como preconiza a agricultura de precisão. Isso pode melhorar a eficiência dos fertilizantes, o desempenho das culturas, redução dos custos e conseguir maior lucratividade para o produtor rural.

Em áreas de solos hidromórficos irrigados por superfície e subirrigação no estado de Goiás, poucos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de compreender a estrutura de espacialização e o mapeamento de atributos químicos e físicos do solo.

A hipótese do trabalho é que existe dependência espacial de características granulométricas e químicas do solo, e seu conhecimento pode contribuir para o manejo da fertilidade do solo e outras tomadas de decisão. Para verificar a hipótese, o trabalho teve como objetivo caracterizar a dependência espacial e o *grid* amostral, espacializar atributos químicos e de granulometria e determinar o número ideal de amostras em solo hidromórfico em área irrigada por superfície e subirrigação no Projeto de Irrigação de Luís Alves – GO e, assim, contribuir para tomadas de decisão na otimização do manejo da fertilidade do solo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Agricultura em áreas de terras baixas e planícies inundáveis**

Solos de terras baixas normalmente são encontrados em situações hidromórficas em planícies de rios, lagos e lagoas (Silva Neto et al., 2015). Apresentam condições desfavoráveis para culturas de sequeiro por acarretar dificuldades no crescimento e desenvolvimento (Bamberg et al., 2009), mas favoráveis para cultivo do arroz irrigado por apresentar drenagem deficiente (Mentges et al., 2012).

No mundo, estima-se que haja cerca de 93 milhões de hectares cultivados de arroz irrigado em terras baixas, correspondendo a 75% da produção total de arroz (GRiSP, 2013). Na Ásia, esse tipo de ecossistema é responsável por cerca de 45 milhões de hectares (Haefele et al., 2014).

O estado do Rio Grande do Sul dispõe de 5,4 milhões de hectares de terras baixas, sem 1,1 milhão de hectares de terras cultivadas com arroz irrigado (Cassol, 2017). O cultivo sob irrigação superficial nesse estado ocorre há mais de um século (Theisen et al., 2017), sendo o maior produtor dessa cultura (Andres et al., 2012), com, aproximadamente, 70% do total produzido no Brasil, com base nas safras 2014/15 e 2015/16 (SOSBAI, 2016).

O estado do Tocantins (TO) tem mais de 500 mil hectares de área de várzea, 9% dela usada com cultivo do arroz no período chuvoso, concentrado, em maior parte, nos municípios de Cristalândia, Dueré, Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão e Pium (Kischel et al., 2011).

Em Goiás (GO), o cultivo em condições de terras baixas ou mais apropriadamente em planícies inundáveis é mais expressivo nas regiões de Flores de Goiás, Formoso e Luiz Alves, onde houve incentivos públicos para implantação dos projetos. Foram feitos grandes investimentos para propiciar a inclusão de pequenos e médios produtores e,

assim, alavancar a produção agrícola no estado. Nos projetos de Formoso e Luiz Alves, que estão em áreas de planícies inundáveis, são utilizados os sistemas de irrigação por inundação (período chuvoso) e subirrigação (período seco). Já no projeto de Flores de Goiás, são utilizados métodos de irrigação por superfície (sulco e inundação) e aspersão, microaspersão e gotejamento.

O cultivo de arroz é influenciado por fatores abióticos e bióticos (Galon et al., 2015). Entre os fatores abióticos, destacam-se temperatura, luz, água e níveis de nutrientes, que, quando desfavoráveis, prejudicam o desenvolvimento, crescimento e produtividade da planta, acarretando prejuízos econômicos (Barkla et al., 2013).

A soja (*Glycine max* L.) é a leguminosa mais cultivada no mundo atualmente (Sediyama et al., 2015). No Brasil, seu cultivo se destaca nos estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul (CONAB, 2017). Em especial no Rio Grande do Sul, o maior cultivo de soja ocorre em terras baixas, nas mesmas áreas onde é cultivado o arroz irrigado por inundação no verão, chegando a 280 mil hectares na safra de 2016/17 (IRGA, 2017). No Tocantins, o cultivo da soja ocorre de maio a junho, em condições de várzea irrigada, pela elevação do lençol freático, em especial na região do Formoso do Araguaia (Almeida et al., 2011), de forma similar a Luís Alves (GO).

Para reduzir os impactos da variabilidade na produtividade das culturas, uma alternativa de manejo é a utilização da agricultura de precisão (AP) (Siqueira et al., 2015). Ela pode ser definida como ferramenta de manejo com base em tecnologias de informação para a compreensão da variabilidade espacial, contribuindo para a segurança alimentar (Gebbers & Adamchuk, 2010) e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade das lavouras (Silva et al., 2008). Neste sentido, a AP tem sido utilizada para otimização do manejo da fertilidade do solo no decorrer dos últimos anos (Bottega et al., 2013).

## **2.2. Irrigação por superfície**

A irrigação por superfície é um dos métodos mais antigos utilizados (Mantovani et al., 2009). Para cada área, a escolha do método de irrigação deve ser feita em função da viabilidade técnica, econômica e ambiental, sendo este método considerado o de menor custo por unidade de área (Bernardo et al., 2009).

Na irrigação por superfície, a água escoia sobre o solo por gravidade, cobrindo o solo totalmente (inundação) ou parcialmente (sulcos) (Testezlaf, 2017). Esse sistema de

irrigação comumente é encontrado em regiões áridas, semiáridas e sub-úmidas do mundo, sendo utilizado para irrigar vegetais e culturas em fileiras (Siyal et al., 2012). A eficiência na aplicação da água em métodos de irrigação por superfície é consideravelmente baixa (Kirmak et al., 2013) em decorrência das perdas.

Com a inundação do solo, o meio fica mais homogêneo em relação aos atributos hídricos, físicos e químicos (Pinto et al., 2016). No entanto, no sistema de irrigação por superfície, o desempenho é influenciado por vários fatores do projeto (Gonçalves et al., 2011), que são: nivelamento, forma, área e, principalmente, a infiltração da água no solo (Darouich et al., 2012). Caracterizar esses fatores é o primeiro passo para melhorar a eficiência do sistema de irrigação (Beyene et al., 2018).

### **2.3. Irrigação por subirrigação**

A subirrigação é frequente em áreas baixas ou de várzeas (Mantovani et al., 2009), sendo feita pela elevação do lençol freático, utilizada em solos mal drenados e controlada de acordo com a zona radicular da cultura, conduzindo água e nutrientes através da capilaridade (Testezlaf, 2017). Pode ser utilizada com sistema totalmente automatizado (Ferrarezi et al., 2014), em áreas de várzeas sistematizadas ou drenadas (Aidar et al., 2002).

Pela subirrigação, é possível aumentar a produção por unidade de área, (Rouphael et al., 2006), elevar a eficiência no uso de fertilizantes pela ausência de escoamento superficial e baixa lixiviação de água e nutrientes (Van Iersel & Kang, 2002; Zheng et al., 2004; Schmal et al., 2011). Com isso, podem ser reduzidos a mão de obra e o custo de produção (Montesano et al., 2010). Mas essa técnica tem suas limitações, como o elevado custo de implantação e a manutenção em comparação com outros sistemas (Elliott, 1992; Uva et al., 1998), maior risco de propagação de patógenos (Van Der Gaag et al., 2001), entre outras.

O manejo de solo e da sua fertilidade em solos de planícies inundáveis nem sempre deve ser o mesmo de terras altas pela maior influência do lençol freático. A mobilidade dos fertilizantes minerais (Aidar et al., 2002), a dinâmica dos nutrientes e a decomposição da matéria orgânica são alteradas.

## **2.4. Fertilidade do solo em áreas de terras baixas ou planícies inundáveis**

A fertilidade do solo é fundamental para o crescimento das plantas (Al-Sayed et al., 2016) e obtenção do máximo desempenho das culturas (Worqlul et al., 2017). Para atingir boa produtividade, é necessário utilizar técnicas de diagnóstico (campo ou laboratorial), entre elas, análises químicas, físicas e biológicas do solo, associando o uso de geotecnologias para melhor caracterização da qualidade do solo em diferentes regiões (Davatgar et al., 2012).

O desempenho das culturas muitas vezes está ligado aos fertilizantes aplicados e à existência dos micronutrientes essenciais (Al-Sayed et al., 2016). Para adotar um manejo correto na fertilidade do solo, é fundamental conhecer as alterações temporais e espaciais que ocorrem pela modificação no uso e manejo do solo e da fertilidade (Lindell et al., 2010), pois, ao utilizar fertilizantes sem critérios técnicos, as condições físicas e químicas do solo podem ser modificadas (Kamble et al., 2013).

Terras baixas ou planícies inundáveis normalmente apresentam menor fertilidade do solo em relação a outros ambientes irrigados (Haefele et al., 2014). Grande parte das recomendações de fertilizantes é feita com base em critérios para ambientes de terras altas. Além disso, essas recomendações desconsideram particularidades das terras inundáveis, como a alta variabilidade espacial e temporal da disponibilidade de água, interferências topográficas (Haefele et al., 2016) e condições redox do solo.

Em ambientes de terras baixas ou planícies inundáveis irrigadas por subirrigação ou inundação, alguns metais podem ser limitantes à produção de certas culturas agrícolas. A toxicidade do ferro (Fe) nesses ambientes é apontada como uma das principais restrições à produção (Becker & Asch, 2005). Em função das condições redutoras predominantes em solos sob condições hidromórficas, o ferro, em sua forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ), é limitante ao desenvolvimento de culturas pela sua toxicidade (Worou et al., 2013).

O Fe é fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Müller et al., 2017). No entanto, em áreas úmidas sob cultivo de arroz, em alta disponibilidade, pode resultar em absorção excessiva, ocasionando toxicidade, limitando a produção (Audebert & Fofana, 2009).

A solubilização de praticamente todos os compostos de ferro no solo, além de estar interligada à mobilidade de outros nutrientes, pode afetar a disponibilidade de P, K, Zn, Ca ou Mg (Worou et al., 2013), acarretando deficiências. Quando se tem elevado teor

de ferro disponível, ele pode causar diminuição da absorção de outros nutrientes como N e P (Yoshida, 1981; Diatta & Sahrawat, 2005).

O P é um dos nutrientes mais limitantes ao desempenho das culturas (Rotili et al., 2010). Em solos hidromórficos cultivados, a variação nas condições de redução e oxidação em função das condições de alagamento afeta a dinâmica dos óxidos reativos, influenciando na disponibilidade de P (Guilherme et al., 2000).

Em irrigação por inundação, a condição de redução aumenta a disponibilidade de P (Ponnamperuma, 1972), estando relacionada a substâncias oxidadas como óxidos de Fe e Mn (Shahandeh et al., 2003). Este fato ocorre pela passagem de P não lábil para lábil, o qual limita a absorção de Fe, e isso pode ser benéfico para redução da toxidez do Fe (Novais et al., 2007).

Mesmo após inundação, ocorre redução do nitrogênio ( $N_2$ ) para as plantas pelos processos denominados de desnitrificação (Souza et al., 2017) e volatilização de amônia, sendo as perdas acentuadas com o aumento do pH e da temperatura (Buresh et al., 2008). Além disso, em função da inundação, a disponibilidade de enxofre (S) é afetada pela redução de sulfato a sulfeto (Scivittaro et al., 2011) na forma de gás sulfídrico (reage com o hidrogênio), ou até mesmo reagir com outros metais como o Fe, Zn e Cu (Vahl & Sousa, 2004).

## **2.5. Variabilidade de características químicas do solo em áreas de terras baixas ou planícies inundáveis**

As características do solo variam em diferentes escalas (Outeiro et al., 2008), em espaço e tempo (Salehia et al., 2011). O material de origem, clima, relevo e tempo, além de fatores extrínsecos, como manejo do solo, fertilização, irrigação (Bitencourt et al., 2016), rotação de culturas (Cambardella & Karlen, 1999) e uso da terra (Saglam & Dengiz, 2012), podem alterar constantemente a variabilidade das propriedades do solo em um período relativamente curto (Barrios et al., 2015).

A variabilidade do solo provoca modificações no desenvolvimento e na produtividade das culturas (Barreto et al., 2014) e, conseqüentemente, no seu rendimento (Zhang et al., 2014). Quantificar a heterogeneidade espacial das propriedades do solo é uma exigência para decisões de manejo do solo de forma sustentável (Kilic et al., 2012;

Bernardi et al., 2014; McBratney et al., 2014), bem como para quantificar nutrientes (Moshia et al., 2014) e planejar o uso do solo (Mishra & Riley, 2015).

A heterogeneidade nas propriedades físicas e químicas do solo gera grande influência no desempenho das culturas, tanto quantitativa quanto qualitativamente, e a agricultura de precisão (AP) contribui para reduzir o impacto ambiental causado pela agricultura (Benedetto et al., 2012).

A variabilidade espacial dos nutrientes do solo é influenciada por fatores naturais e atividades humanas (Liu et al., 2013). Obter conhecimento da variabilidade das propriedades do solo é indispensável para seu manejo específico, como a aplicação de fertilizantes em taxa variável (Najafian et al., 2012), podendo aumentar a eficiência da fertilização e a produtividade das culturas (Teshahunegn et al., 2011).

O manejo do solo altera grandemente seus teores de nutrientes e micronutrientes (Peralta & Costa, 2013) espacialmente. Entre os macronutrientes essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, destaca-se o P (Marschner, 2012). Esse nutriente no solo tem grande relevância na variabilidade pela sua menor mobilidade (Acqua et al., 2013).

A disponibilidade de fósforo no solo varia entre as áreas (Turner & Engelbrecht, 2011). Sua quantidade total e a disponível dependem de características do solo como pH, quantidade e composição dos minerais como ferro e alumínio, além de depender de fatores formadores do solo como clima e topografia (Vitousek et al., 2010; Vitousek & Chadwick, 2013). A matéria orgânica também pode afetar a estabilidade (ou solubilidade) do P orgânico do solo (Celi & Barberis, 2005).

Em irrigação por elevação do lençol freático, a movimentação do potássio (K), bem como a de outros nutrientes, pode ser afetada. Nesse sentido, pode apresentar problemas de movimentação vertical pelo fato de a carga hidráulica ter sentido de baixo para cima com a ascensão do lençol freático.

Tagore et al. (2014), estudando Vertissolos para explorar a variabilidade espacial dos principais nutrientes do solo em uma região cultivada com soja, registraram fraca e moderada dependência espacial para os atributos em estudo. Bitencourt et al. (2016), estudando solo de várzea, observaram que as estruturas de variabilidade da maioria das propriedades foram mais bem modeladas por modelos gaussianos e esféricos.

Tendo em vista a variabilidade natural da área após a implantação do projeto de irrigação estudado e o manejo adotado, é importante conhecer o comportamento da

distribuição espacial das características do solo, visando à tomada de decisões, como, por exemplo, na sua amostragem.

## **2.6. Amostragem: número ideal de amostras**

Avaliar a variabilidade de alguns atributos do solo demanda uma quantidade elevada de amostras (Hiltbrunner et al., 2012). Maior número de amostras resulta em menor erro em função da distância dos pontos de amostragem (Miller et al., 2015). A aplicação de insumos incorretos ocorre em função de uma amostragem inadequada (80 a 85% dos casos) (Siqueira et al., 2010). Quando feita uma amostragem menos densa, ela pode conduzir a uma avaliação imprecisa dos padrões espaciais (Montanari et al., 2012a). Por outro lado, ao ocorrer de forma detalhada, pode gerar maiores custos e tempo, porém, com maior precisão. Sendo assim, mapear regiões grandes é, muitas vezes, inviável (Odgers et al., 2015).

Definir a quantidade de amostras a ser coletadas na área para representar os atributos do solo até então é uma incerteza (Souza et al., 2014). No Brasil, as recomendações específicas de fertilizantes ocorrem em função da amostragem de solo, que pode variar de 1 amostra ha<sup>-1</sup> até 1 amostra a cada 5 ha, sem qualquer justificativa (Nanni et al., 2011). Grande parte da escolha de amostragem ocorre por razões econômicas e práticas (Nanni et al., 2011). Sendo assim, cada região adota certa quantidade de amostra para recomendações de fertilizantes.

Gimenez & Zancanaro (2012) sugerem que sejam coletadas 20 subamostras para compor uma amostra. Arruda et al. (2014) recomendam coletar 20 amostras simples para formar uma amostra composta, no entanto, dependendo da homogeneidade do solo, o número pode variar de 10 a 20 amostras simples para uma composta.

Silva et al. (2016), avaliando a fertilidade do solo para produção integrada de pimentão, recomendam 20 a 30 amostras simples para formar uma amostra composta. Resende & Coelho (2017), na amostragem tradicional para análises de fertilidade, relatam que o número recomendado de amostras simples para a formação de uma amostra composta varia de 20 a 30.

Adotar *grid* correto é indispensável na amostragem de solo. Entretanto, ainda não é conhecido o tamanho ideal de *grid* para registrar a variabilidade das propriedades

químicas do solo. A escolha do *grid* ideal só é possível com o auxílio da amostragem sistemática pelo fato de o manejo alterar as características do solo (Cherubin et al., 2014).

Para cada área e atributo do solo, a amostragem de solo deve ser específica e representativa. Thompson (1992) sugeriu um modelo para determinação de unidades amostrais, que utiliza atributos estatísticos da população de dados, conforme a Equação 1.

$$n = \frac{t^2 s^2}{d^2 m^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

n é o tamanho da amostra;

t é o valor da distribuição t de Student a 5% de probabilidade;

s é a variância amostral;

d é o erro na estimativa da média (%); e

m é a média amostral.

O uso de métodos geoestatísticos permite a investigação de variações espaciais do solo (Najafian et al., 2012), por meio de coleta detalhada de amostras com coordenadas geográficas exatas de cada ponto amostral (Montanari et al., 2012b).

## 2.7. Geoestatística

Na geostatística, a teoria das variáveis regionalizadas proporciona a interpretação dos resultados em função da variabilidade natural, considerando a dependência espacial no local amostrado (Barik et al., 2014). Normalmente, os atributos do solo apresentam alto grau de variabilidade espacial em função da junção física, química e biológica, que exercem influência em várias escalas, sendo fundamental para compreender as relações entre as propriedades do solo e os fatores ambientais (Goovaerts, 1998).

A geração de informações sobre a variabilidade espacial das propriedades do solo é fundamental para planejar esquemas adequados de sua amostragem (Kerry et al., 2010). Pela geoestatística, é possível obter análise precisa da variabilidade espacial das propriedades do solo, observando os elementos de autocorrelação e variação aleatória (Montanari et al., 2012b; Rosemary et al., 2017).

É possível admitir modelo adequado, ou seja, representativo e significativo em função da sua variabilidade espacial, estabelecer a estimativa sistemática da quantidade e avaliar sua confiabilidade (Pelillo et al., 2014). Sendo assim, vários métodos geoestatísticos são adotados para avaliar a distribuição espacial das características do solo (De Paz et al., 2015) e auxiliar para um melhor controle no uso da terra (Liu et al., 2016).

Com a geoestatística, é possível verificar as variações horizontais e verticais de uma propriedade específica (Jiang et al., 2015). Os dados obtidos são utilizados em dois momentos: um para determinar a autocorrelação espacial e outro para estabelecer pontos não amostrados (Andriotti, 2002). Em adição, a geoestatística é capaz de analisar, avaliar e interpretar as estruturas espaciais das variáveis regionais e prever variáveis em locais desconhecidos (Ye et al., 2018), estando centralizada na modelagem e interpretação do semivariograma (Barik et al., 2014).

Ranjbar & Jalali (2016) avaliaram propriedades físico-químicas do solo na profundidade de 0,0-0,3 m sob plantio convencional. Com o auxílio da análise geoestatística, foi possível identificar que o pH, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiônica (CEC), razão de adsorção de sódio (SAR) e porcentagem de sódio trocável (ESP) eram fortemente dependentes do espaço, enquanto os teores de argila e silte apresentavam moderada dependência espacial.

Com o auxílio de semivariogramas, é possível planejar amostragem mais adequada, buscando o número ideal de amostras necessárias para o diagnóstico da fertilidade do solo e maior rendimento de áreas agrícolas (Jabro et al., 2010; Moradi et al., 2016).

### **2.7.1. Semivariogramas**

Os semivariogramas caracterizam a dependência dos valores de certa variável (Lipiec & Usowicz, 2018). Por meio do semivariograma, é possível identificar as características que definem a variabilidade espacial de uma variável espacial. Entretanto, o modelo do semivariograma é desconhecido, mas pode ser estimado por dados experimentais (Pardo-Igúzquiza & Dowd, 2013), identificando o melhor modelo que define o desempenho dos dados no espaço (Journel & Huijbregts, 1978). Os modelos de semivariograma propiciam dados necessários para a krigagem (Barik et al., 2014). Os semivariogramas podem ser classificados segundo Guerra (1988) e Campozana (1990) em:

1. Verdadeiro: alcançado pela dependência real da variável, sempre desconhecida;
2. Experimental: por meio dos pontos amostrais conhecidos;
3. Teórico: obtido por equações matemáticas, sendo utilizado para ajustar o semivariograma experimental.

O semivariograma pode ser ajustado por alguns modelos teóricos como esférico, exponencial, gaussiano e linear. Segundo Seidel & Oliveira (2013), ele apresenta os seguintes parâmetros:

- O alcance (a) representa a distância em que as amostras têm dependência espacial.
- O efeito pepita ( $C_0$ ) representa a irregularidade do semivariograma, distância (h) tendendo a zero.
- A contribuição ( $C_1$ ) é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.
- O patamar (C) é a soma de  $C_1$  mais  $C_0$ .

### **2.7.2. Variabilidade espacial**

Para obter melhor eficiência na produção agrícola, é necessário adotar princípios que utilizam a variabilidade do campo (Ranjbar & Jalali, 2016). As propriedades físicas e químicas do solo se modificam espacial e temporalmente em diferentes grandezas (Lipiec & Usowicz, 2018). A variabilidade espacial mostra mudanças no valor de determinada propriedade sobre o espaço (Ettema & Wardle, 2002) e pode ser analisada utilizando a estatística descritiva clássica ou a geoestatística (Jabro et al., 2010).

A variabilidade espacial não depende somente de um fator, mas, sim, de vários, que estão correlacionados em longo período de tempo (Wambo et al., 2018). Pode ser fortemente influenciada pelos processos de pedogênese (Gilliam & Dick, 2010; Moradi et al., 2016), topografia (Jankowski et al., 2011), práticas agrícolas, abrangendo operações de lavoura (Ozpinar & Ozpinar, 2015), compactação do solo (Alaoui et al., 2011), entre outros.

Shukla et al. (2016), avaliando a variabilidade espacial na camada de 0,0-0,15 m dos principais micronutrientes em solos aluviais sob regiões intensivamente cultivadas, encontraram dependência espacial moderada para Zn, Cu e Fe e forte dependência espacial para Mn.

### **2.7.3. Krigagem**

Para mapear a variabilidade espacial das propriedades do solo, é necessário utilizar técnica de interpolação de dados (Cambardella & Karlen, 1999). A krigagem é um método de interpolação de dados em pontos não amostrados (Barik et al., 2014) mais utilizado em geoestatística (Uyan, 2016). Para cada valor estimado, é fornecida a variância estimada (Pellilo et al., 2014).

Há vários métodos de krigagem univariados empregados em variáveis do solo, tais como a krigagem ordinária, krigagem disjuntiva e krigagem do indicador (Bogunovic et al., 2017). Por meio de modelos e mapas gerados por essas técnicas, é possível demonstrar a variação espacial da variável de interesse, porém desconsiderando a interação com outras variáveis ambientais (covariáveis) no local (Lv et al., 2013).

Os métodos utilizados para previsão espacial comumente descritos como interpolação espacial dependem de autocorrelação espacial (Goovaerts, 1998). Um exemplo que incorpora a previsão espacial com autocorrelação espacial é a cokrigagem (McBratney & Webster, 1983) e a krigagem universal (Li et al., 2015). Uma das vantagens de utilizar a krigagem é que esse modelo analisa as relações estatísticas entre observações vizinhas, sendo denominado de autocorrelação espacial (Bockelmann et al., 2018).

Quando a assimetria na distribuição dos dados é elevada, ou seja, distorção severa, pode ser feita a transformação adequada dos dados (Uyan & Cay, 2013), sendo a mais utilizada a transformação logarítmica natural, apropriada para dados lognormais (Wu et al., 2011). Entretanto, vale ressaltar que vários dados de amostras podem ser distribuídos com alta assimetria (Basaran et al., 2011).

Neves Neto et al. (2013), avaliando Neossolo Quartzarênico Órtico típico em diferentes estratos vegetais na profundidade de 0,0-0,1 m, em função dos modelos obtidos para os semivariogramas ajustados para cada atributo estudado, estimaram valores em locais não amostrados por meio do método de interpolação geoestatístico de krigagem ordinária.

## **2.8. Mapas de iso-ocorrência de características do solo**

Por meio de mapas do solo, é possível resumir as propriedades físicas e químicas do solo em unidades homogêneas, contribuindo para melhores modelos de gerenciamento de irrigação (Jiménez-Aguirrea et al., 2018), possibilitando melhorar o manejo do solo

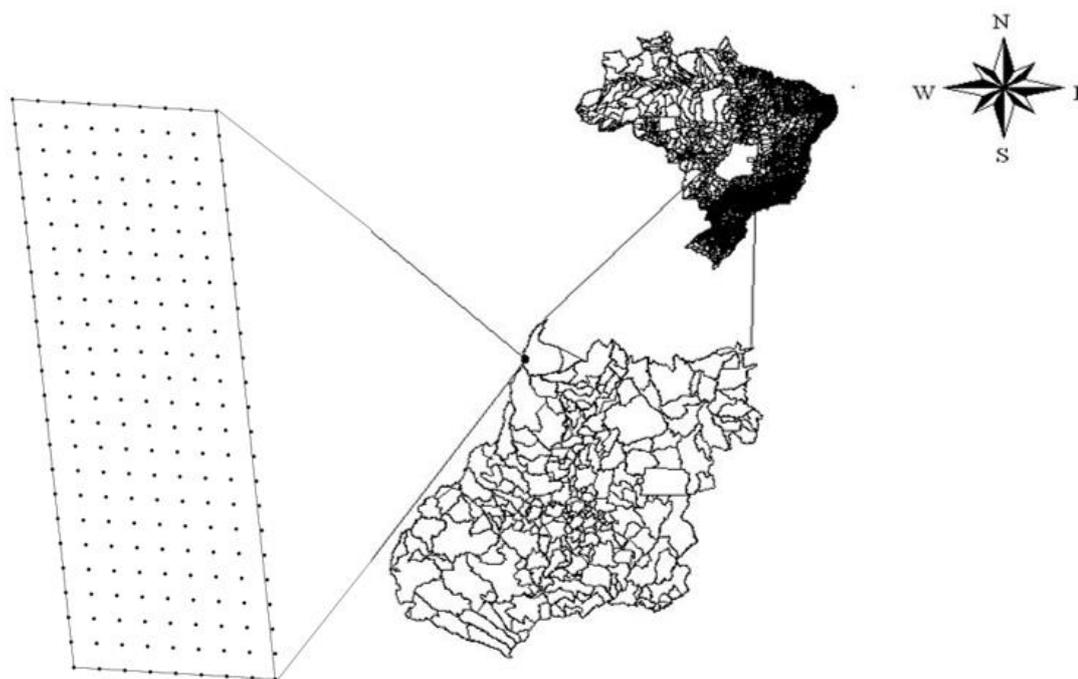
(Fernández-Getino & Duarte, 2015), além de contribuir para a gestão sustentável de áreas agrícolas (Bogunovic et al., 2017).

O mapeamento das características do solo em alta resolução é importante para agricultura e obtenção da melhor gestão ambiental (Shi et al., 2011). Com o auxílio de ferramentas geoestatísticas, é possível mapear parâmetros de fertilidade do solo (Vasu et al., 2017), sendo necessário adotar técnicas eficazes para quantificar as variações que ocorrem nas propriedades do solo e adotar zonas de manejo homogêneas (Peralta et al., 2013).

O mapeamento dos atributos químicos deve sempre ser feito quando se busca melhor adequar as correções do solo (Caon, 2012). Bitencourt et al. (2016), estudando solo de várzea, mapearam propriedades físico-químicas do solo e destacaram a importância do trabalho como ferramenta para definir áreas homogêneas de manejo, visando à recuperação de solos degradados por operações de nivelamento.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Projeto de Irrigação de Luís Alves do Araguaia (PILAA), em Luiz Alves (GO), distrito de São Miguel do Araguaia – GO, Brasil, Figura 1, com área total da 1ª etapa do projeto de 1.843,92 ha (GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS, 2019).



**Figura 1.** Localização da área de estudo, Luiz Alves – GO

A área pertence à Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária do Estado de Goiás - Emater (GO) e está localizada na Zona 22L do sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), com coordenadas geográficas 547525,5680 m (E) e 8537244,9750 m (S). O clima da região se enquadra em Aw - clima Tropical, do tipo savana, de verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco, conforme a

classificação climática de Köppen. O experimento bem como a área total do PILLA se situam em planície inundável do Rio Araguaia, sendo irrigada por superfície na época da seca e por subirrigação com lençol freático variável na época das águas (Figura 2).



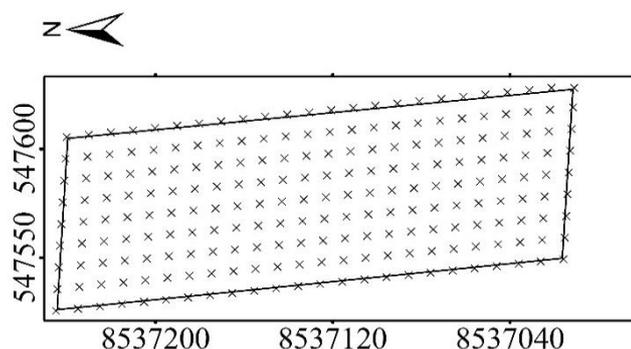
**Figura 2.** Vista aérea de parte do Projeto de Irrigação de Luís Alves do Araguaia (PILAA), com detalhe da área experimental  
Fonte: Google EarthPRO [Adaptado]

A área de estudo bem como a área total do projeto são utilizadas por produtores rurais desde o ano de 2000. Os cultivos são de arroz na época das águas (outubro a março) e outras culturas na época da seca (abril a setembro) como sorgo, melancia, abóbora kabutiá, melão, feijão caupi, tomate industrial, soja e milho (GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS, 2019), predominando essas duas últimas. Após a colheita do arroz, é feito o manejo de queima da palhada sob o argumento de que ela dificulta a germinação de sementes, na sequência, é realizado o preparo convencional do solo com grade, visando ao plantio dessa cultura, do milho ou de outras culturas.

O experimento teve as dimensões 230 x 80 m (1,84 ha), Figura 2, onde foi feita amostragem de solo, com cultura soja implantada em outubro de 2016 nas profundidades de 0,0 a 0,1 e de 0,1 a 0,2 m, em malha amostral de 10 x 10 m, conforme a literatura (Parfitt et al., 2009; Farias Filho, 2014 e Bitencourt et al., 2016), totalizando 432 amostras compostas. Para marcação da malha amostral do experimento, foram utilizados teodolito, balizas e trena para determinação da malha amostral na área. Para cada amostra composta,

foram coletadas três amostras simples (triplicata) distanciadas 1 m entre si na entrelinha da cultura da soja, com o auxílio de trado tipo holandês.

Utilizando GPS Leica 900CS, com precisão de 10 mm, foram coletadas coordenadas no Sistema Universal Transverse Mercator (UTM) em três vértices e na base do GPS para georreferenciamento da área experimental e transporte de coordenadas para cada um dos 216 pontos, ou seja, para construção do *grid* (Figura 3). Após essa etapa, foi criado um arquivo contendo as coordenadas UTM de cada ponto da área, associadas aos atributos físicos e químicos em estudo.



**Figura 3.** Croqui dos pontos amostrais georreferenciados

Foi feita a classificação do solo da área estudada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2013b), encontrando um Plintossolo Háptico. Para tanto, foi aberto perfil em barranco de área de empréstimo próxima à área, Figura 4, e feita a descrição de perfil de solo de acordo com Santos et al. (2015b), e os resultados estão apresentados no Anexo I.

Com o objetivo de avaliar e correlacionar com os demais atributos, foi feita análise granulométrica pelo método da pipeta para as amostras coletadas, conforme Donagema et al. (2011). Para as análises químicas, foram analisados no Laboratório de Solos do Instituto Federal Goiano- Campus Ceres, os atributos pH (H<sub>2</sub>O), H+Al, MOS, Ca, Mg, Al, P, K, CTC, V%, Cu, Fe, Zn, Mn.

A MOS foi extraída por oxidação com dicromato de sódio e determinada por colorimetria; P, extraído por Melisch I e determinado por colorimetria. Os demais nutrientes foram extraídos por KCl e determinados por espectrometria de absorção atômica, exceto alumínio, que foi por titulação com hidróxido de sódio (Donagema et al., 2011).

De posse dos resultados dos atributos analisados, foram aplicadas estatísticas descritivas para cálculo de média, mediana, mínimo, máximo, coeficiente de variação

(CV), assimetria, curtose, desvio padrão, teste de normalidade Komorogov-Smirnov e correlação de Pearson a nível de significância de 1 e 5% de probabilidade, com o auxílio do *software* ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2016).



**Figura 4.** Perfil de solo próximo à área de estudo em Luiz Alves – GO  
Fonte: Arquivo pessoal (2017)

Visando a avaliar a variabilidade espacial e a elaboração de mapas de iso-ocorrência de atributos físicos e químicos do solo utilizando as técnicas de geoestatística, foi avaliada, inicialmente, a dependência espacial dos dados, utilizando a semivariância (Equação 2), segundo a metodologia descrita por Vieira & Lombardi Neto (1995). Esse procedimento foi feito utilizando o *software* geoestatístico GS<sup>+</sup> 7.0 (Robertson, 1998).

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

Em que:

(h) é a semivariância estimada a uma distância h;

N(h) é o número de pares de valores  $[Z(x_1), Z(x_1 + h)]$  separados por um vetor h;

$X_i$  é a posição espacial da variável Z; e

Z sendo,  $Z(x_i)$  o valor da propriedade Z na localização  $x_i$ , no espaço.

Os modelos teóricos de ajuste de semivariograma utilizados foram o linear, gaussiano, exponencial e esférico, em que foram utilizados como critérios o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a menor soma de quadrado dos resíduos (SQR) na escolha do modelo teórico mais adequado. Para os modelos dos semivariogramas ajustados, foi feita a validação cruzada dos dados, com auxílio do *software* GS<sup>+</sup> 7.0 (Robertson, 1998).

Para os atributos que apresentaram dependência espacial, foi feita interpolação por krigagem ordinária por meio do *software* GS<sup>+</sup> 7.0 (Robertson, 1998).

Os resultados da krigagem dos dados das análises físicas e químicas foram utilizados na confecção de mapas de iso-ocorrência ou de distribuição de “manchas” de determinada característica entre as propriedades do solo avaliadas, utilizando o *software* ArcGIS (ESRI, 2014), tendo como critérios de intervalos de classe as respectivas classes de interpretação do nível dos nutrientes, segundo Souza & Lobato (2004).

Para avaliação do grau de dependência espacial, foi usado o critério sugerido por Cambardella et al. (1994), modificado por Zimback (2001), chamado de índice de dependência espacial (IDE). Esse índice é a razão entre a semivariância estrutural (C) e o patamar ( $C+C_0$ ), dado em porcentagem, que classifica o resultado em dependência espacial fraca ( $IDE < 25\%$ ), moderada ( $25 > IDE > 75\%$ ) e forte ( $> 75\%$ ).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Estatística Descritiva

Os resultados gerados pela análise estatística descritiva estão apresentados na Tabela 1. Analisando o teor de argila, verifica-se que essa fração tendeu a decrescer com o aumento da profundidade, passando de 270,7 para 214,2 g kg<sup>-1</sup> quando a profundidade foi alterada de 0,0-0,1 para 0,1-0,2 m. Para silte, houve tendência de aumento, possivelmente em detrimento da argila, passando de 230,9 para 291,5 g kg<sup>-1</sup>. O atributo areia variou pouco da camada superficial para a camada mais profunda avaliada. Dessa forma, o solo da área de estudo pôde ser classificado como franco-argilo-arenoso e franco para as camadas de 0,0-0,1 e de 0,1-0,2 m, respectivamente, com base no triângulo textural (Santos et al., 2015b).

Quanto ao pH em água, foram observados valores médios de 5,3 e 5,4 na profundidade de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente. Com a inundação, o pH tende a aumentar (Moraes & Dynia, 1992), sendo necessário que ocorram processo de redução avançado e existência de Fe<sup>2+</sup> (Camargo et al., 1999). Segundo Kiehl (1979), o pH nas camadas mais profundas tende a ser maior em relação às camadas mais superficiais do solo. No presente estudo, não se observou grande variação desse atributo entre as camadas 0-0,1 e 0,1-0,2 m, sugerindo elevado grau de homogeneidade entre as duas profundidades avaliadas (Tabela 1).

Para o solo em estudo, com base nos valores médios, Tabela 1, o pH se apresenta como mediantemente ácido (5,2 a 5,5) (Sousa & Lobato, 2004). De acordo com esses autores, para Ca e Mg, os teores foram adequados para ambas as camadas, com valores de 1,5 - 7,0 e 0,5 - 2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Quanto ao P, o teor é classificado como muito alto (>30 mg dm<sup>-3</sup>) para ambas as profundidades.

De acordo com Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2016), o cultivo de arroz em solo com teor de P acima de  $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$  (teor crítico) obtém retorno econômico muito pequeno ou nulo com a adubação. Para os atributos V% e T (CTC), pode-se observar que para ambas as camadas os teores são considerados adequados com 36 - 60% e  $6,1 - 9,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente (Souza & Lobato, 2004).

Pode-se verificar que, para os atributos pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), MOS, Ca, Mg, P e K na profundidade de 0,0-0,1 m e os atributos MOS, Ca, Mg, CTC, V% e Fe na profundidade de 0,1-0,2 m, os valores das medidas de tendência central (média e mediana) ficaram próximos ou iguais, indicando distribuição normal, o que pode ser confirmado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 1). Além disso, a mediana da maioria dos atributos do solo em estudo foi menor que a média, Tabela 1, indicando que a magnitude dos dados anormais no valor amostral não foi tão elevada.

A maioria das variáveis analisadas apresentou coeficientes de assimetria positivos (distribuição assimétrica à direita): os maiores valores para Zn (profundidade de 0,1-0,2 m) e o menor para potássio (profundidade de 0,0-0,1 m). Coeficientes de assimetria negativos (distribuição assimétrica à esquerda) foram encontrados em ambas as profundidades, sendo o maior para K e CTC (-0,0) e o menor para ferro (-0,8), ambos na profundidade de 0,0-0,1 m.

Segundo Webster (1985), valores de assimetria no intervalo de -0,5 e 0,5 e curtose menor que 3 indicam que os dados têm distribuição normal, o que se mostra relativamente coerente ao comparar com o teste de normalidade (Tabela 1).

De acordo com Srinivasarao et al. (2011) e Behera et al. (2016), a ausência de distribuição normal dos dados pode estar relacionada a práticas de manejo adotadas e à variação na aplicação de fertilizantes.

Segundo Paz-Gonzalez et al. (2001), ao atender a normalidade dos dados, a estimativa de valores em locais não amostrados, com o auxílio da krigagem na interpolação, aponta melhores resultados em função de outros métodos utilizados. Cambardella et al. (1994) afirmam que dados com distribuição normal, são mais adequados para aplicação da geoestatística. No entanto, a ausência de normalidade não impede que se possa aplicar a interpolação por krigagem ordinária (Cressie, 1991).

Observando a variabilidade dos dados por meio do coeficiente de variação (CV) para as propriedades do solo analisadas, os resultados variaram de 3,3% (pH, 0,0-0,1 m) a 149,07% (Cu, 0,1-0,2 m) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Estatística descritiva para os atributos analisados, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	CV	Assimetria	Curtose	ND
0,0-0,1 m									
Argila <sup>(1)</sup>	270,7	247,8	98,7	463,8	75,5	27,9	0,1	-1,1	0,1 <sup>A</sup>
Silte <sup>(1)</sup>	230,9	220,9	77,8	390,6	57,2	24,8	0,8	0,5	0,1 <sup>A</sup>
Areia <sup>(1)</sup>	498,4	451,1	365,2	785,4	95,4	19,1	0,6	-0,9	0,2 <sup>A</sup>
pH (H <sub>2</sub> O)	5,3	5,3	4,8	6,0	0,2	3,3	0,2	0,6	0,1 <sup>N</sup>
MOS <sup>(1)</sup>	20,2	20,2	14,0	29,2	2,5	12,4	0,3	0,4	0,0 <sup>N</sup>
Ca <sup>(2)</sup>	2,3	2,2	1,2	3,5	0,4	19,9	0,2	-0,4	2,5 <sup>N</sup>
Mg <sup>(2)</sup>	0,9	0,9	0,3	1,6	0,3	30,1	0,4	-0,1	0,1 <sup>N</sup>
Al <sup>(2)</sup>	0,5	0,5	0,1	1,2	0,2	43,9	1,0	0,5	0,1 <sup>A</sup>
H+Al <sup>(2)</sup>	2,6	2,5	1,3	3,8	0,5	18,4	0,3	-0,3	0,1 <sup>A</sup>
P <sup>(3)</sup>	109,9	101,0	12,2	202,0	31,2	28,4	0,5	1,1	0,1 <sup>A</sup>
K <sup>(3)</sup>	195,3	193,8	85,5	292,3	42,5	21,8	0,0	-0,1	0,1 <sup>N</sup>
CTC <sup>(2)</sup>	6,3	6,3	4,3	8,7	0,9	13,7	-0,0	-0,1	0,1 <sup>A</sup>
V <sup>(4)</sup>	57,7	58,3	40,1	79,6	6,8	11,9	-0,1	-0,2	0,1 <sup>A</sup>
Cu <sup>(3)</sup>	1,6	1,7	0,8	2,9	0,4	25,4	-0,1	-0,6	0,1 <sup>A</sup>
Fe <sup>(3)</sup>	336,4	345,2	265,0	369,7	22,9	6,8	-0,8	-0,2	0,2 <sup>A</sup>
Zn <sup>(3)</sup>	2,7	2,5	0,8	10,5	1,3	47,0	2,2	9,3	0,1 <sup>A</sup>
Mn <sup>(3)</sup>	17,5	17,1	5,0	43,5	9,4	53,9	0,6	-0,5	0,1 <sup>A</sup>
0,1-0,2 m									
Argila	214,2	207,5	97,4	418,2	77,5	28,7	0,4	0,0	0,1 <sup>A</sup>
Silte	291,5	306,8	111,1	427,6	61,6	26,6	-0,6	-0,7	0,1 <sup>A</sup>
Areia	494,3	445,0	333,2	773,6	116,2	23,5	1,0	-0,5	0,2 <sup>A</sup>
pH (H <sub>2</sub> O)	5,4	5,1	4,4	7,1	0,7	12,2	0,7	-0,7	0,2 <sup>A</sup>
MOS	10,2	10,2	4,7	17,5	2,6	25,4	0,0	-0,6	0,1 <sup>N</sup>
Ca	1,6	1,6	0,6	2,6	0,4	25,9	0,2	-0,4	0,0 <sup>N</sup>
Mg	0,8	0,8	0,2	1,6	0,2	30,5	0,4	0,1	0,0 <sup>N</sup>
Al	0,9	0,8	0,1	2,7	0,7	79,4	0,5	-0,9	0,1 <sup>A</sup>
H+Al	4,3	4,2	1,3	8,8	1,9	44,7	0,2	-1,1	0,1 <sup>A</sup>
P	31,3	27,5	3,1	119,0	20,6	65,8	1,3	2,4	0,1 <sup>A</sup>
K	33,8	28,2	4,2	242,5	25,8	76,4	3,7	22,0	0,2 <sup>A</sup>
CTC	6,7	7,0	3,5	11,2	1,8	26,8	0,0	-1,1	0,1 <sup>N</sup>
V	39,2	37,9	11,5	73,1	14,4	36,8	0,3	-0,9	0,1 <sup>N</sup>
Cu	0,2	0,0	0,0	1,3	0,3	149,1	1,6	2,6	0,3 <sup>A</sup>
Fe	461,4	462,6	233,5	630,3	82,4	17,9	-0,3	-0,3	0,0 <sup>N</sup>
Zn	1,3	1,0	0,0	11,4	1,3	106,5	4,4	25,7	0,2 <sup>A</sup>
Mn	7,0	6,6	1,3	22,0	3,7	53,0	1,4	2,8	0,1 <sup>A</sup>

DP - Desvio padrão; CV - Coeficiente de variação; ND - Normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade; <sup>A</sup>: Distribuição assimétrica; <sup>N</sup>: Distribuição normal; <sup>(1)</sup>: g kg<sup>-1</sup>; <sup>(2)</sup>: cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; <sup>(3)</sup>: mg dm<sup>-3</sup>; <sup>(4)</sup>: %

Warrick & Nielsen (1980) propuseram classificação baixa para CV < 12%; média de 12% < CV < 60%; e alta para CV > 60%. Verifica-se que na profundidade de 0,0-0,1

m os atributos pH (H<sub>2</sub>O), V% e Fe apresentaram baixa variação e os demais atributos obtiveram variação média. Essa baixa variabilidade, em especial para o atributo pH (H<sub>2</sub>O), pode ocorrer, segundo Reza et al. (2017), pelo fato de os valores desse atributo serem apresentados em escala logarítmica da concentração de prótons na solução do solo. Concordando com o presente estudo, Polo et al. (2010), Reza et al. (2012), Reza et al. (2016), e Shukla et al. (2016) verificaram CV menor para pH, quando comparado com outras propriedades do solo em estudo.

Analisando a profundidade de 0,1-0,2 m, todos os atributos mostraram variação média, com exceção para os atributos Al, P, K, Cu e Zn, que apresentaram alta variação. Em grande parte das amostras, o nível dos nutrientes Cu e Zn não foi detectável. Essa maior variação do Cu pode estar relacionada, entre outros fatores, com a granulometria do solo. Esse nutriente se relacionou positivamente com o teor de argila e negativamente com o teor de areia, embora isso tivesse sido mais evidente na camada de 0,0-0,1 m (Tabela 2).

Marques Júnior et al. (2014), estudando Planossolo em profundidade de 0,0-0,2 m, encontraram valores para CV próximos (médios) ao do presente estudo para Ca, Mg, H+Al e argila.

Para os nutrientes P e K, o manejo da fertilidade do solo (correção e adubação) pode ter contribuído para a variabilidade dos dados, tendo em vista o histórico de aplicação em linhas ou a lanço com fontes e doses variáveis ao longo dos anos de cultivo. Em adição, a desuniformidade da irrigação na época da seca, por irregularidades no umedecimento da área, pode também influenciar na dinâmica desses nutrientes e, conseqüentemente, nos resultados obtidos.

Os coeficientes de correlação de Pearson ( $\rho^{\wedge}$ ) entre as propriedades do solo em estudo estão apresentados nas Tabelas 2 e 3. Conforme classificação de Callegari-Jacques (2003), para a camada de 0,0-0,1, Tabela 2, pode-se observar que os valores de correlação de Pearson variaram de fraco ( $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$ ) a forte ( $0,60 \leq \rho^{\wedge} < 0,90$ ), registrando valores de 0,01 (argila e silte) e de 0,84 (Cu e Fe), respectivamente. Já para a camada de 0,1-0,2 m, Tabela 3, os valores variaram de fraco ( $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$ ) a muito forte ( $0,90 < \rho^{\wedge} < 1,0$ ), registrando valores de 0,00 (argila e Mg) a 0,94 (H+Al e CTC), respectivamente.

Na camada de 0,1-0,2 m, o pH (H<sub>2</sub>O) se correlacionou positivamente com V%, registrando valores muito altos, o que, segundo Batista (2014), já era esperado por ser um parâmetro indireto da acidez do solo. Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> tiveram correlação positiva

entre si, para ambas as profundidades analisadas, sendo considerados fortes. A areia, para a profundidade de 0,0-0,1 m, se correlacionou negativa e fortemente com os micronutrientes (1% de probabilidade), com valores acima de -0,74, exceto para o Zn. Em relação à camada mais profunda, foram observados maiores valores para o atributo pH (H<sub>2</sub>O), correlacionando-se negativamente com os atributos Al, H+Al, e CTC e positivamente com o atributo V%, registrando valores fortes.

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades do solo, na profundidade de 0,0-0,1 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

	Argila	Silte	Areia	pH (H <sub>2</sub> O)	MOS	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	CTC	V	Cu	Fe	Zn	Mn
<b>Argila</b>	1,00																
<b>Silte</b>	0,01 <sup>ns</sup>	1,00															
<b>Areia</b>	-0,80 <sup>**</sup>	-0,61 <sup>**</sup>	1,00														
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	1,00													
<b>MOS</b>	0,51 <sup>**</sup>	0,28 <sup>**</sup>	-0,58 <sup>**</sup>	0,19 <sup>**</sup>	1,00												
<b>Ca</b>	0,33 <sup>**</sup>	0,21 <sup>**</sup>	-0,39 <sup>**</sup>	0,33 <sup>**</sup>	0,49 <sup>**</sup>	1,00											
<b>Mg</b>	0,22 <sup>**</sup>	0,18 <sup>**</sup>	-0,28 <sup>**</sup>	0,50 <sup>**</sup>	0,43 <sup>**</sup>	0,81 <sup>**</sup>	1,00										
<b>Al</b>	0,36 <sup>**</sup>	0,14 <sup>*</sup>	-0,37 <sup>**</sup>	-0,59	0,02 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>**</sup>	-0,53 <sup>**</sup>	1,00									
<b>H+Al</b>	0,52 <sup>**</sup>	0,29 <sup>**</sup>	-0,59 <sup>**</sup>	-0,43 <sup>**</sup>	0,27 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>*</sup>	0,67 <sup>**</sup>	1,00								
<b>P</b>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>*</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,00							
<b>K</b>	0,13 <sup>*</sup>	0,12 <sup>*</sup>	-0,18 <sup>**</sup>	0,16 <sup>**</sup>	0,37 <sup>**</sup>	0,44 <sup>**</sup>	0,48 <sup>**</sup>	-0,35 <sup>*</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>**</sup>	1,00						
<b>CTC</b>	0,55 <sup>**</sup>	0,35 <sup>**</sup>	-0,64 <sup>**</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>**</sup>	0,83 <sup>**</sup>	0,71 <sup>**</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>**</sup>	0,11 <sup>*</sup>	0,45 <sup>**</sup>	1,00					
<b>V</b>	-0,12 <sup>*</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>*</sup>	0,57 <sup>**</sup>	0,19 <sup>**</sup>	0,69 <sup>**</sup>	0,75 <sup>**</sup>	-0,73 <sup>**</sup>	-0,68 <sup>**</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>**</sup>	0,26 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>				
<b>Cu</b>	0,66 <sup>**</sup>	0,41 <sup>**</sup>	-0,77 <sup>**</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>**</sup>	0,31 <sup>**</sup>	0,23 <sup>**</sup>	0,38 <sup>**</sup>	0,58 <sup>**</sup>	0,18 <sup>**</sup>	0,17 <sup>**</sup>	0,58 <sup>**</sup>	-0,16 <sup>**</sup>	1,00			
<b>Fe</b>	0,56 <sup>**</sup>	0,49 <sup>**</sup>	-0,74 <sup>**</sup>	-0,15 <sup>**</sup>	0,35 <sup>**</sup>	0,23 <sup>**</sup>	0,13 <sup>*</sup>	0,40 <sup>**</sup>	0,60 <sup>**</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>**</sup>	-0,24 <sup>**</sup>	0,84 <sup>**</sup>	1,00		
<b>Zn</b>	0,29 <sup>**</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>**</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>**</sup>	0,34 <sup>**</sup>	0,26 <sup>**</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>**</sup>	0,47 <sup>**</sup>	0,39 <sup>**</sup>	0,40 <sup>**</sup>	0,17 <sup>**</sup>	0,40 <sup>**</sup>	0,19 <sup>**</sup>	1,00	
<b>Mn</b>	0,61 <sup>**</sup>	0,46 <sup>**</sup>	-0,76 <sup>**</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>**</sup>	0,48 <sup>**</sup>	0,33 <sup>**</sup>	0,21 <sup>**</sup>	0,52 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>**</sup>	0,69 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>**</sup>	0,60 <sup>**</sup>	0,40 <sup>**</sup>	1,00

<sup>\*\*</sup>Correlação significativa a 1% de probabilidade; <sup>\*</sup>Correlação significativa a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>Não significativo

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades do solo, na profundidade de 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

	Argila	Silte	Areia	pH (H <sub>2</sub> O)	MOS	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	CTC	V	Cu	Fe	Zn	Mn
<b>Argila</b>	1,00																
<b>Silte</b>	0,39**	1,00															
<b>Areia</b>	-0,79**	-0,87**	1,00														
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	-0,29**	-0,65**	0,59**	1,00													
<b>MOS</b>	0,31**	0,48**	-0,48**	-0,57**	1,00												
<b>Ca</b>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,39**	0,18**	1,00											
<b>Mg</b>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,50**	-0,02 <sup>ns</sup>	0,87**	1,00										
<b>Al</b>	0,34**	0,57**	-0,56**	-0,84**	0,44**	-0,52**	-0,60**	1,00									
<b>H+Al</b>	0,19**	0,64**	-0,53**	-0,87**	0,64**	-0,29**	-0,46**	0,84**	1,00								
<b>P</b>	-0,23**	-0,25**	0,29**	0,19**	0,21**	0,43**	0,21**	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	1,00							
<b>K</b>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,19**	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,18**	0,23**	0,10 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,15**	0,25**	0,14*	1,00						
<b>CTC</b>	0,18**	0,66**	-0,54**	-0,77**	0,72**	0,04 <sup>ns</sup>	-0,16**	0,70**	0,94**	0,03 <sup>ns</sup>	0,14**	1,00					
<b>V</b>	-0,16**	-0,55**	0,45**	0,90**	-0,49**	0,59**	0,73**	-0,87**	-0,91**	0,20**	0,14*	-0,74**	1,00				
<b>Cu</b>	0,30**	0,24**	-0,32**	-0,40**	0,31**	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,11*	0,39**	0,30**	0,11*	0,14*	0,29**	-0,28**	1,00			
<b>Fe</b>	0,13*	0,29**	-0,26**	-0,57	0,50**	0,01 <sup>ns</sup>	-0,18**	0,38**	0,55**	0,24**	0,11*	0,56**	-0,50**	0,37**	1,00		
<b>Zn</b>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,14*	0,33**	0,13*	-0,01 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,16**	0,50**	0,20**	0,21**	-0,10 <sup>ns</sup>	0,21**	0,29**	1,00	
<b>Mn</b>	0,09 <sup>ns</sup>	0,28**	-0,24**	-0,25**	0,48**	0,35**	0,14*	0,19**	0,28**	0,31**	0,39**	0,41**	-0,13*	0,37**	0,22**	0,28**	1,00

\*\*Correlação significativa a 1% de probabilidade; \*Correlação significativa a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>Não significativo

#### 4.2. Análise dos semivariogramas ajustados

A granulometria do solo apresentou dependência espacial para todos os atributos (argila, silte e areia). Para os atributos argila e areia, o modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou para a profundidade de 0,0-0,1 m (Tabela 4). Já os modelos exponencial e esférico apresentaram melhor ajuste para argila e areia na camada de 0,1-0,2 m, e silte para as profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente (Tabela 4).

Concordando com o presente estudo, Bitencourt et al. (2016), estudando solo de várzea na profundidade de 0,0-0,2 m, observaram que o modelo gaussiano antes do nivelamento do solo apresentou melhor ajuste para argila e areia.

O valor do alcance para granulometria do solo variou de 94,7 m para argila na profundidade de 0,0-0,1 m até 243,6 m e no silte para a camada de 0,0-0,1 m. Os maiores valores de alcance foram sempre associados com a profundidade de 0,1-0,2 m, com exceção do atributo silte.

Para todos os atributos químicos avaliados, ocorreu dependência espacial na área de estudo, indicando que o solo não é homogêneo, mesmo em pequenas escalas. Entretanto, o tipo de modelo ajustado depende do atributo e da camada de solo analisada.

Na profundidade mais superficial (0,0-0,1 m), o modelo mais adequado foi o gaussiano (53% das variáveis) para os atributos argila, areia, MOS, Mg, Al, CTC, Cu, Fe, Mn; exponencial para silte, pH (H<sub>2</sub>O), P, K e V%; e esférico para Ca, H+Al e Zn. Na camada de 0,1-0,2 m, o modelo gaussiano foi mais apropriado para os atributos pH (H<sub>2</sub>O), MOS, Al, H+Al, K, CTC e V%; exponencial para argila, Ca, Mg, P e Zn; e esférico para os atributos silte, areia, Cu, Fe e Mn.

Os dados da pesquisa foram mais ajustáveis ao modelo gaussiano, para 47% dos atributos, seguido dos modelos exponencial (29%) e esférico (23%), considerando as duas camadas (0,0-0,2 m). Marques Júnior et al. (2014), estudando Planossolo em profundidade de 0,0-0,2 m, constataram que a maioria das propriedades do solo do estudo teve melhor ajuste ao modelo esférico.

De modo geral, a profundidade de 0,0-0,1 m apresentou maior alcance que a de 0,1-0,2 m, o que pode ter sido causado pela maior homogeneização pelo preparo do solo com grades (Marcolan et al., 2007), pelas sucessivas aplicações de fertilizantes superficiais e ascensão do lençol freático aflorando e homogeneizando os nutrientes solubilizados ou não na superfície do terreno. Pode-se observar que, conforme o intervalo de dependência espacial (alcance) aumenta, as distâncias de coleta de solo podem ser

mais espaçadas e, conseqüentemente, poderão ser reduzidos o número de amostras e o custo com amostragem do solo. Em geral, quanto maior o intervalo de dependência espacial, maior a homogeneidade do solo. Sendo assim, o atributo que melhor apresentou homogeneidade na área em estudo foi o Ca, registrando alcance de 510,9 m na profundidade de 0,0-0,1 m (Tabela 4).

No presente estudo, o intervalo de dependência espacial para as propriedades do solo em estudo variou entre 20,9 (pH (H<sub>2</sub>O)) e 510,9 m (Ca) para a profundidade de 0,0-0,1 m. Isso indica que o *grid* (10 x 10 m) adotado para amostragem foi adequado para avaliar a variabilidade espacial das propriedades do solo na área estudada para essa profundidade.

Avaliando a profundidade de 0,1-0,2 m, a dependência espacial para os atributos avaliados variou de 8,7 (Ca) e 292,8 m (K). Além do Ca, o Zn e o P foram os nutrientes que apresentaram menor alcance, sendo os dois primeiros inferiores ao *grid* adotado. Isso mostra que esses elementos são bastante erráticos na área, provavelmente pela baixa mobilidade de P e pelo baixo teor de Zn no solo, sendo que em várias amostras o teor não foi detectável, devendo ser mais bem investigadas suas causas. Em geral, os atributos com maiores intervalos de dependência espacial encontrados na profundidade de 0,0-0,1 m (59%) indicam que eles apresentam maior homogeneidade nessa camada avaliada.

Bitencourt et al. (2016), estudando solo de várzea, em *grid* amostral de 10 x 10 m, encontraram em avaliações feitas na profundidade de 0,0-0,2 m resultados semelhantes aos modelos ajustados para Mg, Fe e Mn, na profundidade de 0,0-0,1 m do presente estudo.

Avaliando o grau de dependência espacial (GDE) das propriedades do solo na área de estudo, esse parâmetro variou de forte (76%) a moderado (24%) (Tabela 4). Isso indica que, para os atributos que apresentaram forte dependência espacial, a amostragem de solo na área de estudo deve ser mais criteriosa em razão da maior heterogeneidade.

**Tabela 4.** Parâmetros do ajuste experimental dos semivariogramas para os atributos do solo, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Atributo	Prof. (m)	MDL	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C	A <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	SQR	IDE	GDE
Argila	0,0-0,1	GAU	2110,00	9013,00	94,70	0,97	5,02E <sup>+06</sup>	77	Forte
	0,1-0,2	EXP	1350,00	7168,00	158,90	0,89	4,33E <sup>+06</sup>	81	Forte
Silte	0,0-0,1	EXP	1870,00	6552,00	243,60	0,94	9,00E <sup>+05</sup>	71	Moderada
	0,1-0,2	ESF	70,00	9409,00	173,80	0,97	5,39E <sup>+06</sup>	99	Forte
Areia	0,0-0,1	GAU	460,00	23930,00	132,60	0,99	5,19E <sup>+06</sup>	98	Forte
	0,1-0,2	ESF	860,00	22760,00	201,40	0,95	5,20E <sup>+07</sup>	96	Forte
pH (H <sub>2</sub> O)	0,0-0,1	EXP	0,01	0,03	20,90	0,62	3,20E <sup>-04</sup>	86	Forte
	0,1-0,2	GAU	0,04	0,91	110,00	0,96	8,92E <sup>-02</sup>	96	Forte
MOS	0,0-0,1	GAU	2,87	25,73	246,70	0,99	6,39E <sup>+00</sup>	89	Forte
	0,1-0,2	GAU	2,45	14,72	140,10	0,99	3,96E <sup>+00</sup>	83	Forte
Ca	0,0-0,1	ESF	0,09	0,52	510,90	0,91	1,55E <sup>-02</sup>	83	Forte
	0,1-0,2	EXP	0,01	0,16	8,70	0,29	7,06E <sup>-03</sup>	91	Forte
Mg	0,0-0,1	GAU	0,04	0,61	497,40	0,89	3,13E <sup>-03</sup>	93	Forte
	0,1-0,2	EXP	0,03	0,06	27,90	0,75	3,86E <sup>-04</sup>	57	Moderada
Al	0,0-0,1	GAU	0,02	0,05	25,00	0,25	3,84E <sup>-03</sup>	62	Moderada
	0,1-0,2	GAU	0,10	0,75	83,20	0,86	1,92E <sup>-01</sup>	87	Forte
H+Al	0,0-0,1	ESF	0,02	0,28	111,20	0,47	1,34E <sup>-01</sup>	91	Forte
	0,1-0,2	GAU	0,24	6,55	89,50	0,90	1,32E <sup>+01</sup>	96	Forte
P	0,0-0,1	EXP	566,00	1133,00	56,80	0,81	9,73E <sup>+04</sup>	50	Moderada
	0,1-0,2	EXP	72,00	447,90	11,40	0,70	1,30E <sup>+04</sup>	84	Forte
K	0,0-0,1	EXP	1454,00	3325,00	438,10	0,82	2,53E <sup>+05</sup>	56	Moderada
	0,1-0,2	GAU	402,00	2914,00	292,80	0,83	6,91E <sup>+05</sup>	86	Forte
CTC	0,0-0,1	GAU	0,24	1,29	104,00	0,98	5,43E <sup>-02</sup>	81	Forte
	0,1-0,2	GAU	0,21	5,88	90,80	0,94	6,02E <sup>+00</sup>	96	Forte
V	0,0-0,1	EXP	8,90	53,35	31,50	0,56	1,65E <sup>+03</sup>	83	Forte
	0,1-0,2	GAU	50,00	380,10	103,40	0,94	1,95E <sup>+04</sup>	87	Forte
Cu	0,0-0,1	GAU	0,04	0,33	111,10	0,98	4,42E <sup>-03</sup>	89	Forte
	0,1-0,2	ESF	0,03	0,07	72,20	0,68	7,19E <sup>-04</sup>	54	Moderada
Fe	0,0-0,1	GAU	153,00	887,00	99,90	0,94	9,79E <sup>+04</sup>	83	Forte
	0,1-0,2	ESF	3570,00	9970,00	246,80	0,87	1,25E <sup>+07</sup>	64	Moderada
Zn	0,0-0,1	ESF	1,02	2,05	189,20	0,85	4,18E <sup>-01</sup>	50	Forte
	0,1-0,2	EXP	0,16	1,30	8,10	0,29	2,61E <sup>-01</sup>	88	Forte
Mn	0,0-0,1	GAU	5,80	137,10	75,50	0,79	1,30E <sup>+04</sup>	96	Forte
	0,1-0,2	ESF	8,92	18,25	224,40	0,95	1,05E <sup>+01</sup>	51	Moderada

Prof. - Profundidade; MDL - Modelo teórico; C<sub>0</sub> - efeito pepita; C<sub>0</sub>+C - patamar; A<sub>0</sub> - alcance (m); R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação; SQR - Soma de quadrados dos resíduos; IDE - Índice de dependência espacial; GDE - Grau de dependência espacial; GAU - Gaussiano; EXP - Exponencial; ESF - Esférico; MOS - Matéria orgânica do solo; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; Al - Alumínio; H+Al - Acidez potencial; P - Fósforo; K - Potássio; CTC - Capacidade de troca catiônica; V - Saturação por bases; Cu - Cobre; Fe - Ferro; Zn - Zinco; Mn - Manganês

Os parâmetros da validação cruzada para os atributos analisados estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Parâmetros da validação cruzada para os atributos do solo, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Atributo	Prof. (m)	CR	SE	Y	R <sup>2</sup>
Argila	0,0-0,1	1,02	0,06	-5,95	0,61
	0,1-0,2	1,01	0,03	-1,82	0,80
Silte	0,0-0,1	1,01	0,09	-3,00	0,39
	0,1-0,2	1,20	0,06	-42,54	0,64
Areia	0,0-0,1	1,01	0,03	-5,17	0,86
	0,1-0,2	1,07	0,03	-38,82	0,84
pH (H <sub>2</sub> O)	0,0-0,1	0,89	0,08	0,59	0,36
	0,1-0,2	1,02	0,04	-0,10	0,78
MOS	0,0-0,1	0,93	0,07	0,18	0,48
	0,1-0,2	1,00	0,06	0,00	0,57
Ca	0,0-0,1	1,01	0,08	-0,03	0,46
	0,1-0,2	0,74	0,12	0,40	0,15
Mg	0,0-0,1	1,07	0,10	-0,05	0,37
	0,1-0,2	0,91	0,11	0,08	0,23
Al	0,0-0,1	0,96	0,07	0,02	0,47
	0,1-0,2	1,02	0,05	-0,01	0,70
H+Al	0,0-0,1	0,98	0,05	0,05	0,68
	0,1-0,2	1,01	0,04	-0,05	0,80
P	0,0-0,1	0,99	0,13	1,45	0,22
	0,1-0,2	0,69	0,13	9,91	0,12
K	0,0-0,1	0,76	0,16	47,77	0,10
	0,1-0,2	0,69	0,16	10,53	0,09
CTC	0,0-0,1	1,02	0,05	-0,13	0,63
	0,1-0,2	1,02	0,03	-0,16	0,83
V	0,0-0,1	0,99	0,07	0,74	0,48
	0,1-0,2	1,00	0,05	-0,18	0,63
Cu	0,0-0,1	1,03	0,04	-0,04	0,73
	0,1-0,2	0,97	0,10	0,01	0,31
Fe	0,0-0,1	1,03	0,05	-8,43	0,66
	0,1-0,2	1,03	0,09	-12,60	0,41
Zn	0,0-0,1	0,88	0,10	0,33	0,25
	0,1-0,2	0,43	0,15	0,69	0,04
Mn	0,0-0,1	1,01	0,03	-0,28	0,81
	0,1-0,2	0,90	0,11	0,75	0,23

Prof. - Profundidade; CR - Coeficiente de regressão; SE - Erro padrão; Y - Intercepto; R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação; MOS - Matéria orgânica do solo; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; Al - Alumínio; H+Al - Acidez potencial; P - Fósforo; K - Potássio; CTC - Capacidade de troca catiônica; V - Saturação de bases; Cu - Cobre; Fe - Ferro; Zn - Zinco; Mn - Manganês

Os menores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para a estimativa dos atributos do solo em locais não amostrados foram observados para Ca, Mg, P, K e Zn, principalmente na camada de 0,1-0,2 m. Isso indica que os modelos para esses atributos por melhor que sejam não foram capazes de estimar (interpolar) dados com alta precisão para locais não amostrados, devendo os mapas de iso-ocorrência dos atributos supracitados serem vistos e utilizados com cautela.

Para silte e pH, os maiores valores ocorreram nos primeiros 0,1 m, e para os atributos Cu e Mg, para a camada de 0,1-0,2 m. Os maiores coeficientes de determinação para a camada mais superficial foram observados para areia e Mn e, para a camada de 0,1-0,2 m, para os atributos Areia, pH, H+Al e CTC.

O atributo silte na camada de 0,1-0,2 m apresentou o CR mais distante de 1 (Tabela 5). Para todos os atributos, o SE se apresentou próximo de zero. Em trabalho de Bottega et al. (2013), demonstra que os modelos ajustados tiveram, no geral, boa precisão na estimativa de valores destes atributos em locais não amostrados, apresentando validação. No entanto, os atributos Ca (0,1-0,2 m), Mg, H+Al, P, K, Cu, Zn e Mn (0,1-0,2 m) foram os que ficaram mais distantes de zero. Esses resultados refletiram nos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos entre dados estimados e observados que foram os mais baixos do estudo. Isso indica que mesmos os melhores modelos possuem como característica baixa capacidade de explicação dos dados, e com isso, e conseqüentemente a precisão das estimativas para locais não amostrados, e conseqüentemente, dos mapas não são altas como dos demais atributos.

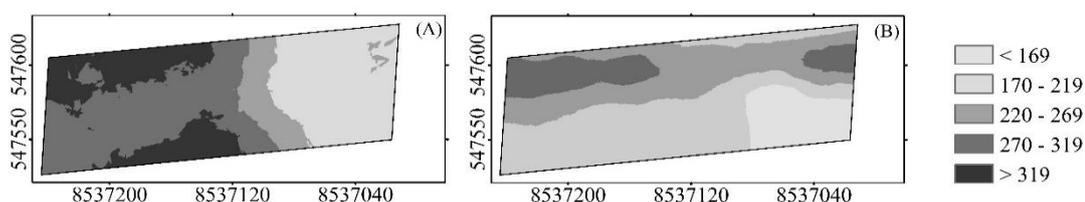
Para os atributos pH, MOS, Ca, Mg, Al, H+Al, T, V% e Cu, foram obtidos os melhores valores de Y, que, segundo Lundgren et al. (2017), quanto mais próximo de zero, melhor a estimativa.

#### **4.3. Mapas de iso-ocorrência dos atributos físicos e químicos do solo**

Os mapas dos atributos físicos e químicos construídos com dados obtidos por interpolação por krigagem ordinária são apresentados a seguir. Para o atributo argila, foram registrados menores teores na parte sul da área para a camada de 0,0-0,1 m, caracterizando como textura arenosa (Figura 5). Na parte norte da área, predomina textura média de acordo com Santos et al. (2015b). De forma geral, ocorreu tendência de menores

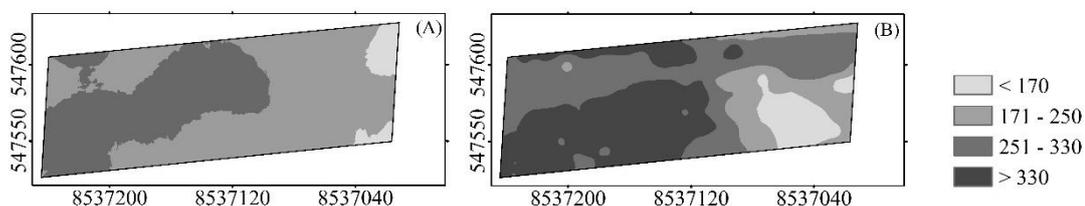
teores desse atributo com o aumento da profundidade ao comparar as duas camadas estudadas (Figura 5).

As variações espaciais nos teores de argila e na granulometria na área de estudo podem ser relacionadas ao material parental (Ranjbar & Jalali, 2016), processos pedogenéticos decorridos de condições alternadas de oxidação e redução conhecida por ferrólise (Brinkman, 1970), comum em solos hidromórficos. O processo de sistematização da área, normalmente expõe diferentes horizontes do solo e pode ter contribuído também para a variabilidade da granulometria. Montanari et al. (2015), avaliando Planossolo Hidromórfico, observaram menores teores de argila com aumento da profundidade, concordando com o presente estudo.



**Figura 5.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

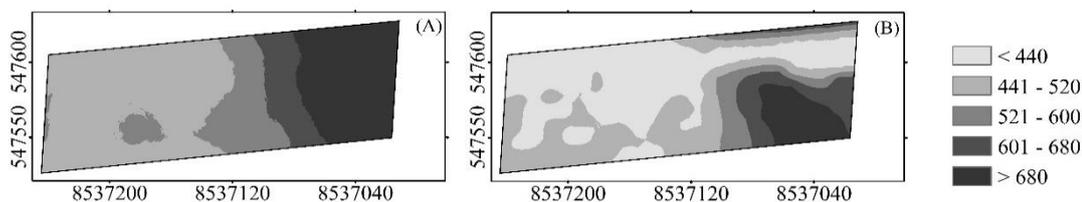
Para o atributo silte, Figura 6, são observados teores menores na parte sul da área para as duas profundidades avaliadas, com valores menores que  $250 \text{ g kg}^{-1}$ . Para a parte norte da área, na camada de 0,1-0,2 m, observou-se classe de silte a mais que a camada superficial, com valores acima de  $330 \text{ g kg}^{-1}$ . Esses resultados são concordantes com os obtidos por Santos et al. (2015a), que estudaram Plintossolos na região sudoeste do estado de Mato Grosso e encontraram incremento no teor de silte com aumento da profundidade.



**Figura 6.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

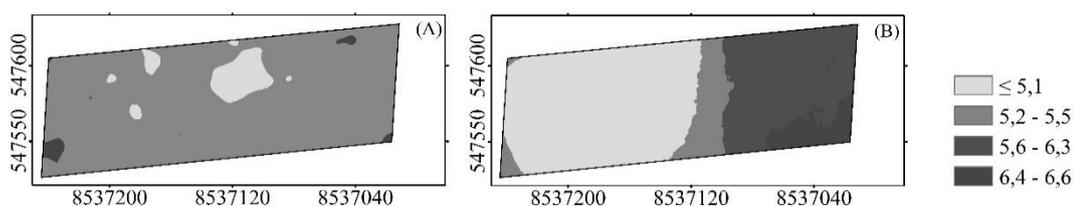
Em relação ao atributo areia, a parte norte da área apresentou menor teor para ambas as camadas avaliadas e maiores teores na parte sul (Figura 7). Isso pode estar relacionado ao fato de a porção norte ser mais argilosa em detrimento do teor de areia e

vice-versa. O processo de sistematização do terreno com cortes e aterros pode ser uma das causas das diferenças na granulometria, expondo horizontes de textura diversa, como discutido anteriormente (Anexo I). Montanari et al. (2015), estudando Planossolo Hidromórfico, observaram pouca variação para o atributo areia (valor mínimo e máximo), comparando em profundidade.



**Figura 7.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Analisando o mapa de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), nota-se que esse atributo se apresenta de forma bem homogênea na área, com valores de 5,2 a 5,5 na profundidade de 0,0-0,1 m, Figura 8, caracterizando-se como pH médio, segundo Sousa & Lobato (2004). Para a camada de 0,1-0,2 m, a parte norte da área apresenta pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) baixo ( $\leq 5,1$ ). Já em relação à parte sul, o pH variou de médio a alto (5,2 - 6,6), com predominância de pH adequado (5,6 - 6,3), segundo Sousa & Lobato (2004). Elevar o pH em solos ácidos é fundamental para aumentar a produtividade de culturas agrícolas, em razão de retirar a toxidez gerada por  $\text{Al}^{+3}$  e reduzir  $\text{Fe}^{+2}$ , incrementando maior disponibilidade de  $\text{K}^+$  (Ponnamperuma, 1972).

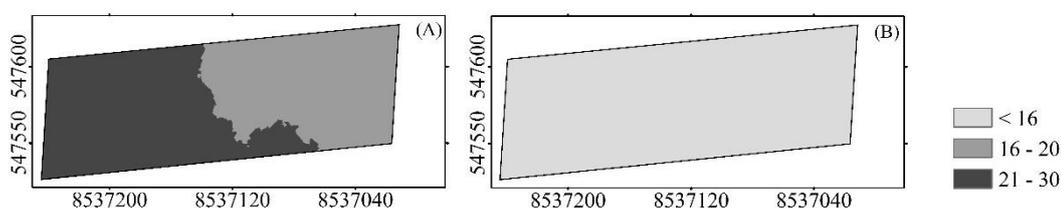


**Figura 8.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Quanto à MOS, são observadas maiores concentrações (21 - 30  $\text{g kg}^{-1}$ ) na porção norte da área para a camada de 0,0-0,1 m, considerada adequada, e na parte sul, valores considerados médios (16 - 20  $\text{g kg}^{-1}$ ) (Souza & Lobato, 2004) (Figura 9A). A camada de 0,1-0,2 m apresenta valores de MOS considerados baixos ( $< 16 \text{ g kg}^{-1}$ ), segundo esses autores, havendo essa única classe em toda a área (Figura 10B).

Normalmente, os teores de MOS estão relacionados à deposição de resíduos vegetais na superfície do solo (Acqua et al., 2013). Podem estar relacionados também com a maior quantidade de argila presente na camada mais superficial, o que reduz sua taxa de decomposição quando comparado com textura mais arenosa, acarretando sua manutenção (Chapin et al., 2002). Na área de estudo, as condições de redução na maior parte do ano são favoráveis à manutenção da matéria orgânica. Entretanto, a prática de queima dos resíduos das culturas pelos agricultores com o argumento de que a palha atrapalha a germinação das sementes contribui para o baixo aporte de resíduos das culturas, podendo comprometer esse atributo no médio ou longo prazo.

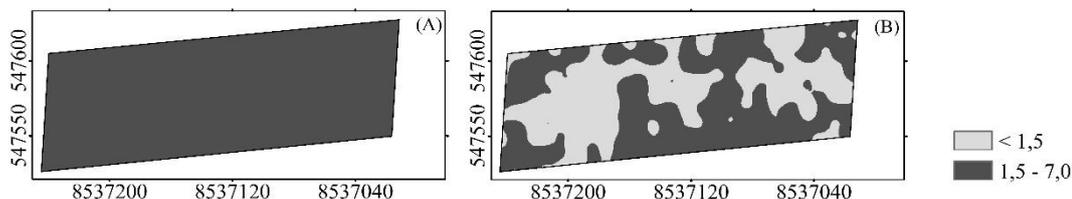
Outros aspectos relacionados com os teores de MOS são temperatura, aeração, pH e disponibilidade de água e nutrientes (Nascimento et al., 2010). Segundo Xu et al. (2000), as condições de redução antes e depois da inundação podem favorecer o aumento da matéria orgânica do solo. Montanari et al. (2013), estudando Planossolo de textura média em Miranda - MS, registraram maiores teores de MOS nos primeiros 0,1 m, concordando com o presente estudo. Barreto et al. (2014), estudando Neossolos, também observaram valores de MOS mais altos na camada mais superficial.



**Figura 9.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar MOS ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

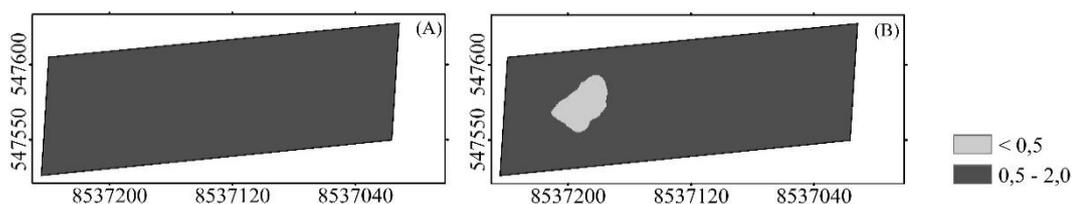
Em relação ao cálcio (Ca), de forma geral, esse elemento apresentou baixa variação nos teores entre as duas camadas de solo analisadas (Figura 10). Isso pode estar relacionado à boa incorporação com grades aradoras até 0,15 m e também ao efeito da inundação. Na profundidade de 0,0-0,1 m, os teores de Ca estão na faixa adequada ( $1,5 - 7,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), segundo Souza & Lobato (2004). Na profundidade de 0,1-0,2 m, observa-se heterogeneidade dos teores embora, em grande parte, o nível seja considerado adequado para esse elemento ( $> 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), exceto em grandes manchas localizadas ao longo do eixo central da área, considerado baixo (Figura 10B). Para corrigir esses teores baixos de Ca, deve-se atentar à calagem para não comprometer a produtividade das culturas. Em áreas de várzeas sob condições de inundação, as modificações que ocorrem

nas concentrações de Ca e Mg são consideradas pequenas, segundo Fageria et al. (2011), corroborando o presente estudo.



**Figura 10.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Ca ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Para Mg, Figura 11, observou-se que praticamente não houve formação de classes de teores para cada camada de solo avaliada, embora com níveis distintos em cada uma. Para ambas as profundidades, os teores estão adequados ( $0,5 - 2,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) em toda a área (Souza & Lobato, 2004) para esse nutriente, exceto para uma pequena mancha para a camada mais profunda (Figura 11B). Menores teores de argila podem influenciar esse resultado pela baixa adsorção desse nutriente.

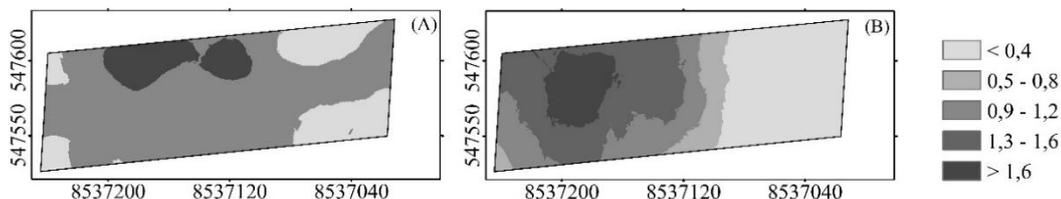


**Figura 11.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Mg ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Para Al, as menores concentrações foram observadas na região sul da área para ambas as camadas analisadas (Figura 12). Na profundidade de 0,0-0,1 m, grande parte da área apresenta valores na faixa de  $0,5$  a  $0,8 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Na parte norte da área, na camada de 0,1-0,2 m, os valores de Al predominam na faixa de  $0,9$  a  $1,6 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Isso pode estar relacionado ao maior teor de argila, que tem maior capacidade de retenção de cátions. Essas informações são úteis para aplicação de calcário para correção de Al em taxa variável.

Bitencourt et al. (2016), estudando solo de várzea, registraram maiores valores de alumínio após nivelamento do terreno. Santos et al. (2015a), estudando Plintossolo na região sudoeste no estado de Mato Grosso, também registraram maiores teores de Al com

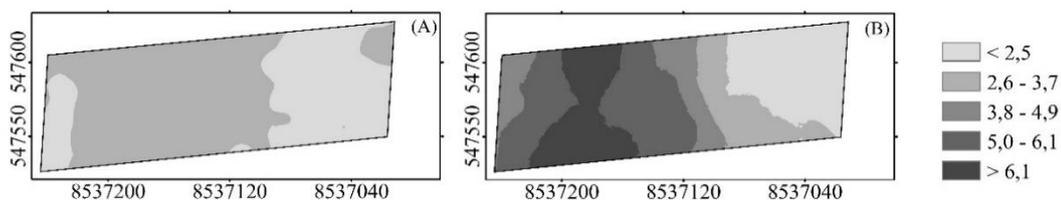
o aumento de profundidade. Deve-se atentar para a correção desse elemento por meio de calagem.



**Figura 12.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

A acidez potencial (H+Al) apresentou menores valores para a profundidade de 0,0-0,1 m que a camada mais profunda (Figura 13A). Na camada de 0,1-0,2 m, a parte norte apresenta baixa acidez potencial ao passo que na região sul ocorreu aumento gradativo (Figura 13B). Maiores valores de acidez potencial podem implicar maiores quantidades de calcário para correção da acidez pelo maior efeito tampão do solo.

Resultados similares foram encontrados por Anjos et al. (2007) e Coringa et al. (2012) estudando Plintossolo Argilúvico. Marques Júnior et al. (2014), estudando Planossolo em profundidade de 0,0-0,2 m, encontraram valores para H+Al variando de 1,5 até  $5,2 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , valores próximos aos encontrados para a camada mais profunda do presente estudo.

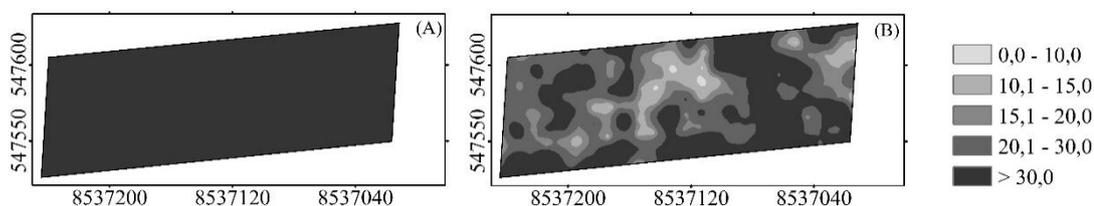


**Figura 13.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar H+Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Em relação ao P, Figura 14, na camada mais superficial, em toda a área, os valores estão acima de  $70 \text{ mg dm}^{-3}$ , o que é considerado alto ( $>30 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Para a profundidade de 0,1-0,2 m, os teores desse nutriente tendem a ser menores que na camada mais superficial, conforme podem ser observadas algumas manchas (Figura 14B). Desse modo, considerando o teor de argila como de textura média, há na área experimental estudada, predominância de teores altos e manchas muito baixas, adequadas para o teor de P. Esses resultados altos de P podem estar associados à baixa fixação de P no ambiente

estudado e a adubações sucessivas nos cultivos, muitas vezes sem considerar a interpretação e a recomendação com base na análise de solo.

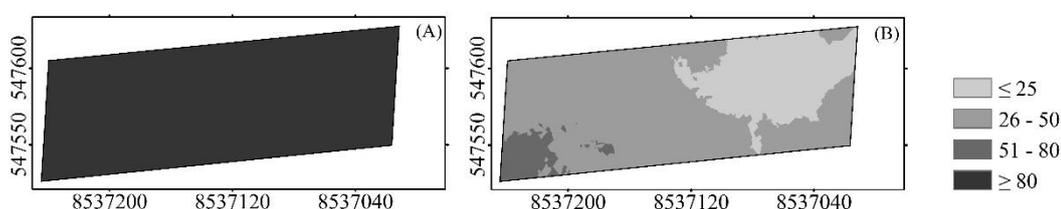
Parfitt et al. (2013), estudando solos de terras baixas, registraram antes do nivelamento do solo teores de P de 4,5 a 26,1 mg dm<sup>-3</sup>, considerados de nível médio a muito alto para a cultura do arroz irrigado.



**Figura 14.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar P (mg dm<sup>-3</sup>) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Em relação a K, na camada de 0,0-0,1 m, pode-se observar que o teor desse elemento apresenta uma única classe de interpretação no mapa, com teores no nível alto ( $\geq 80$  mg dm<sup>-3</sup>) (Souza & Lobato, 2004), Figura 15A, com concentrações acima de 151 mg dm<sup>-3</sup>. As diferenças espaciais podem estar relacionadas à heterogeneidade de umedecimento da área, decorrente da elevação do lençol freático, o que influencia no movimento vertical do potássio. Na profundidade de 0,1-0,2 m, na parte sul da área, registrou-se grande mancha com nível baixo (<25 mg dm<sup>-3</sup>), ao passo que no restante da área predomina o teor em nível médio (26 - 50 mg dm<sup>-3</sup>) (Souza & Lobato, 2004) (Figura 15B).

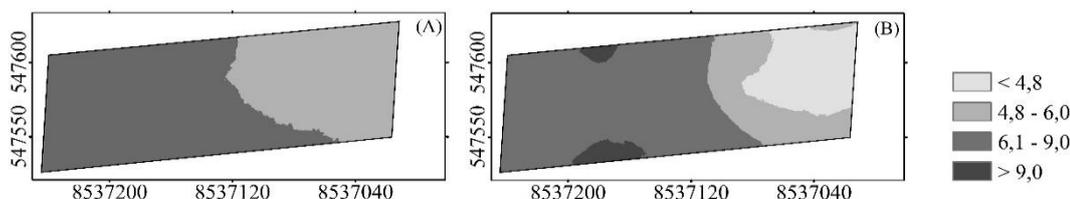
Chaurasia et al. 2013, estudando a profundidade de 0,0-0,15 m em solos de baixa planície de inundação em Varanasi (Índia), observaram baixos e médios teores de P e K disponível, respectivamente.



**Figura 15.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar K (mg dm<sup>-3</sup>) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

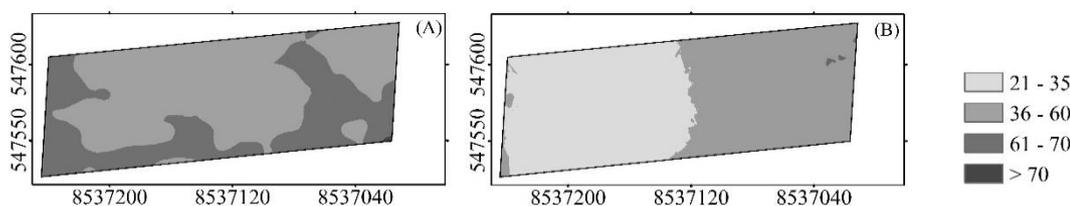
Quanto à CTC, Figura 16, são observadas maiores concentrações na porção norte da área em estudo para ambas as profundidades, registrando valores adequados (6,1 - 9,0

cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Para a região sul na camada de 0,0-0,1 m, são observados valores com CTC média (4,8 - 6,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), já para a camada mais profunda, valores entre baixo e médio, segundo Souza & Lobato (2004). Esses resultados indicam que na parte sul a fertilidade do solo é menor, confirmando maior teor de areia (Figura 7), menor teor de matéria orgânica (Figura 9), menor teor de Ca (Figura 10) e menor teor de K (Figura 15). O aumento da matéria orgânica do solo é uma das melhores alternativas para aumento da CTC e, conseqüentemente, da fertilidade da área.



**Figura 16.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar CTC (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

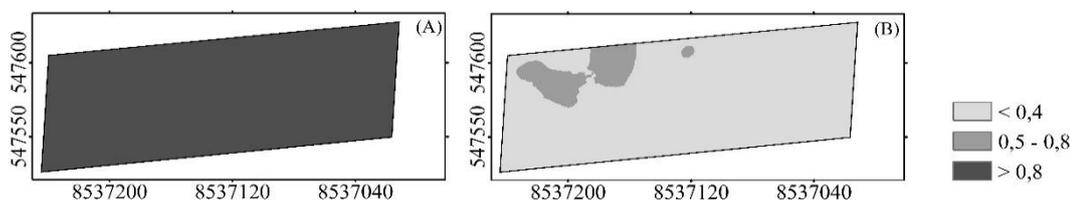
Para o atributo V%, na profundidade de 0,0-0,1 m, grande parte da área em estudo apresenta valores adequados (36 - 60%) e o restante, valores altos (61 - 70%) (Figura 17A). Na camada de 0,1-0,2 m, observa-se que a região norte tem valores médios (21 - 35 %) e a região sul, Figura 17B, maiores valores, que estão em nível adequado, segundo Souza & Lobato (2004). Com base nos resultados, nos solos da área, principalmente na primeira camada, há predominância de solos eutróficos (V% >50) ou próximo a esses solos, indicando boa fertilidade. Atenção deve ser dada ao manejo da fertilidade, buscando aumentar a saturação de bases, principalmente na parte norte da área.



**Figura 17.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar V (%) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Para o atributo Cu, na camada mais superficial, encontrou-se uma única classe de teores de Cu, que foi superior a 1,0 mg dm<sup>-3</sup>, Figura 18, considerado alto (>0,8 mg dm<sup>-3</sup>). No entanto, para a camada mais profunda, em toda a área predominou teor baixo (<0,4). Deve-se ressaltar que, em grande parte dos pontos amostrados, o nível desse nutriente não

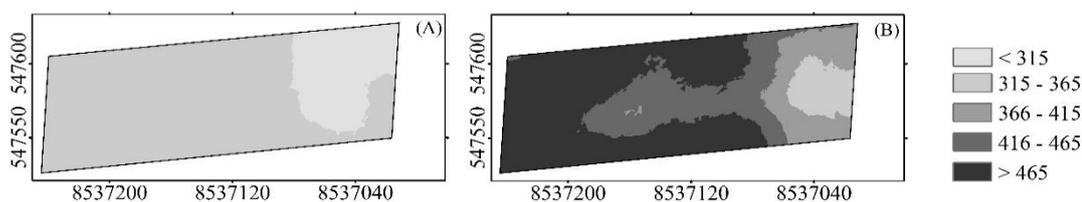
foi detectável, devendo esse comportamento ser mais bem investigado. O baixo teor desse nutriente pode estar relacionando à pobreza no material de origem (sedimentos), ao maior teor de areia do solo e ao aumento de pH (Novais et al., 2007).



**Figura 18.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Cu ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por inundação e superfície, em Luiz Alves – GO.

Em relação ao ferro (Fe), na camada de 0,0-0,1 m, observa-se grande homogeneidade no teor desse nutriente, predominando em quase toda a área (exceto mancha na parte sul) valores na faixa de 315 a 365  $\text{mg kg}^{-1}$  (Figura 19A). Na camada de 0,1-0,2 m, o teor diminui de norte a sul, mas predominando em quase toda a área valores acima de 416  $\text{mg kg}^{-1}$ . Isso pode ser devido ao efeito das condições redutoras aumentarem a disponibilidade desse elemento no solo (Verma et al., 2013). Sob condições de alagamento contínuo, ocorre o favorecimento no aumento da concentração de  $\text{Fe}^{+2}$  para solução do solo.

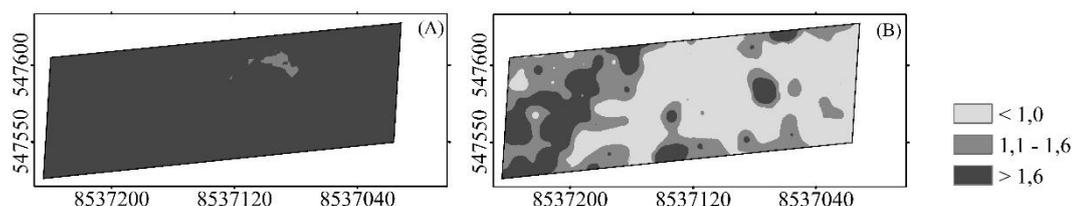
Com a diminuição do pH, ocorre passagem de óxidos férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) para a ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (Schmidt et al., 2013). O ferro na sua forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ) pode ser influenciado, além do pH, pela temperatura, teor da matéria orgânica, população microbiana e composição do solo (Kögel-Knabner et al., 2010). Com a inundação do solo, a elevação dos teores de  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{F}^{2+}$  gera deslocamento dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  (Ponnamperuma, 1972).



**Figura 19.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Fe ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

A respeito do Zn, Figura 20, na camada de 0,0-0,1 m, o teor desse nutriente é bastante homogêneo, com teores acima de 1,6  $\text{mg dm}^{-3}$  na quase totalidade da área, sendo

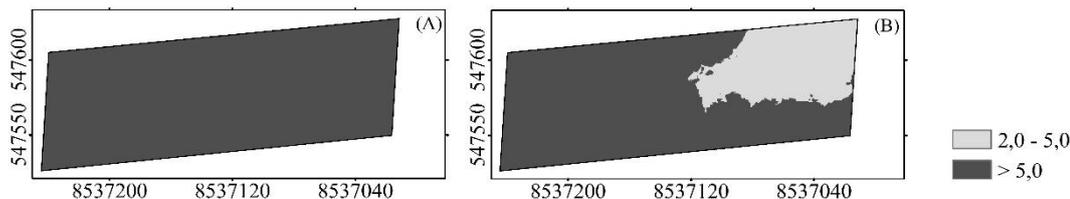
considerados altos (Souza & Lobato, 2004). Na camada de 0,1-0,2 m, a distribuição espacial do teor de Zn é mais desuniforme, predominando teores abaixo de  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$  em quase toda a área, considerados baixos, com exceção para a porção da parte norte, com teores de médio (1,1) a alto ( $>1,6 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Isso pode estar relacionado ao fato de o Zn ter sua disponibilidade diminuída em solos com maiores teores de areia e fósforo. Em adição, Fageria et al. (2003) destacam aumento do pH e falta de aeração do solo por causa da inundação, da remoção da camada superficial do solo no processo de sistematização e do baixo teor de matéria orgânica.



**Figura 20.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Zn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

Para o nutriente Mn, Figura 21, para a camada mais superficial, foram encontrados teores altos ( $>5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) em toda a área, ou seja, só houve uma classe. Em relação à camada de 0,1-0,2 m, em quase toda a área os teores são altos, com exceção da porção da parte sul, em que os teores foram médios ( $2,0 - 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

O Mn tem sua disponibilidade favorecida em ambientes de redução permanecendo na forma  $\text{Mn}^{+2}$  (Novais et al., 2007; Souza, 2017). Nesse caso, sugere-se que os locais da área de estudo que apresentaram variações nos valores desse elemento podem estar associados a diferenças no grau de hidromorfismo decorrente da desuniformidade da altura do lençol freático na época da seca, quando se irriga a área pela elevação do lençol freático, com elevação da água na rede de canais. De acordo com Albuquerque et al. (2001) valores acima de 20 ppm é considerado tóxico, sendo necessário correção do Mn por meio de calagem.



**Figura 21.** Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na profundidade de (A) 0,0-0,1 e (B) 0,1-0,2 m, em área irrigada por superfície e subirrigação, em Luiz Alves – GO

#### 4.4. Número ideal de amostras

Observa-se que, para a profundidade mais superficial (0,0-0,1 m), há tendência de menores quantidades de amostras simples para formar uma amostra composta, mesmo levando em consideração o erro na estimativa da média (10, 15 e 20%). À medida que o erro é aumentado, a estimativa do número de unidades amostrais diminui (Tabela 6).

Pode-se observar que na camada de 0,1-0,2 m, mesmo considerando erro maior (20%), a quantidade de amostras para Al, P, K, Cu e Zn apresentou números muito altos de amostras simples para cada amostra composta, tornando inviável coletar a quantidade de amostras necessárias. Esse maior valor está relacionado ao alto CV desses nutrientes em estudo (Tabela 1).

Com base no teor de argila, o número de subamostras para formar uma amostra composta variou de 7 a 32 amostras simples na camada de 0,0-0,1 m ao considerar erro de 10 a 20% em relação à média. Para erro de 20% na camada de 0,0-0,1 m, a quantidade de 19 amostras simples por composta mostra-se adequada para amostragem para granulometria e macronutrientes e de 28 subamostras para micronutrientes. Considerando a camada de 0,1-0,2 m, são necessárias 19 amostras para macronutrientes, exceto Al, P e K, e 27 subamostras para micronutrientes, exceto Cu e Zn.

A quantidade de amostras coletadas em um talhão homogêneo para representar a área irá depender da precisão e do objetivo da amostragem (Rozane et al., 2011). Espera-se que em um talhão heterogêneo a quantidade de unidades amostrais seja maior, o que irá depender do nutriente que será avaliado. Sendo assim, é fundamental que as amostras coletadas sejam representativas para a área e para o atributo avaliado.

Hernandes et al. (2011), avaliando a fertilidade do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, considerando o erro amostral de 20% em torno da média, recomendaram 14 e 17 amostras simples para formar uma amostra composta para as camadas de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, respectivamente. Santos et al. (2013a), estudando

Latossolo Amarelo distrófico típico, recomendaram que, em condições similares à área estudada, é necessário coletar 18 subamostras de solo para formar uma amostra composta.

Estes resultados comprovam que a quantidade de amostras simples para gerar uma amostra composta é alterada conforme a área e os atributos analisados. Para solos hidromórficos, como os do presente estudo, são raros os trabalhos disponíveis, o que limitou a discussão com solos da classe e as condições desse trabalho.

**Tabela 5.** Número calculado de amostras simples para formar uma amostra composta<sup>(1)</sup> para avaliar os atributos do solo na profundidade de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, em área irrigada por inundação e superfície, em Luiz Alves – GO

Atributo	Erro em relação à média (%)					
	10		15		20	
	0,0-0,1 m	0,1-0,2 m	0,0-0,1 m	0,1-0,2 m	0,0-0,1 m	0,1-0,2 m
<b>Argila</b>	30	32	13	14	7	7
<b>Silte</b>	24	27	11	12	6	8
<b>Areia</b>	14	21	6	9	4	5
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	1	6	1	3	1	1
<b>MOS</b>	6	25	3	11	1	6
<b>Ca</b>	15	26	7	11	4	6
<b>Mg</b>	35	36	15	16	9	9
<b>Al</b>	74	242	33	108	19	61
<b>H+Al</b>	13	77	6	34	3	19
<b>P</b>	31	167	14	74	8	42
<b>K</b>	18	225	8	100	5	56
<b>CTC</b>	7	28	3	12	2	7
<b>V</b>	5	52	2	23	1	13
<b>Cu</b>	25	855	11	380	6	214
<b>Fe</b>	2	12	1	5	1	3
<b>Zn</b>	85	343	38	153	21	86
<b>Mn</b>	112	108	50	48	28	27

<sup>(1)</sup>  $n = (t^2 s^2 / d^2 m^2)$  conforme Thompson (1992); MOS - Matéria orgânica do solo; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; Al - Alumínio; H+Al - Acidez potencial; P - Fósforo; K - Potássio; CTC - Capacidade de troca catiônica; V - Saturação de bases; Cu - Cobre; Fe - Ferro; Zn - Zinco; Mn - Manganês

## 5. CONCLUSÕES

As análises de semivariograma mostraram presença de dependência espacial forte (76%) a moderada (24%) das propriedades do solo dentro da área de estudo.

A implantação de novos estudos na área pode ser feita com *grid* amostral com intervalo de amostragem de 20 m, com base nos resultados da camada de 0,0-0,1 m.

O número ideal de subamostras para compor cada amostra composta é de 19 para granulometria e macronutrientes nas camadas de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, com exceção de Al, P e K para essa última camada, e de 28 subamostras para os micronutrientes estudados para as duas camadas, excetuando Cu e Zn na camada de 0,1-0,2 m.

A camada de 0-0,1 m tem distribuição espacial mais homogênea dos nutrientes que a camada de 0,1-0,2 m. Os nutrientes P, K, Fe e Mn estão em nível alto na camada de 0-0,1 m e a MOS, em nível baixo na camada de 0,1-0,2 m, devendo-se atentar para o manejo adequado.

A região norte difere da região sul da área para os atributos de granulometria do solo, pH (H<sub>2</sub>O), Al, H+Al, CTC e Fe, o que pode ser usado na tomada de decisão no manejo da fertilidade do solo e na implantação de experimentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acqua, N. H. D.; Silva, G. P.; Benites, V. M.; Assis, R. L.; Simon, G. A. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.2, p.117-122, 2013.

Aidar, H.; Kluthcouski, J.; Stone, L. F. Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio do Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 2002. 305p.

Alaoui, A.; Lipiec, J.; Gerke, H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.115-116, p.1-15, 2011.

Albuquerque, M. M.; Vieira, J. C.; Lemos, J. W. V. Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro no Estado do Alagoas, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. 34p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 21).

Almeida, R. D.; Peluzio, J. M.; Afféri, F. S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins, *Revista Ciência Agrônômica*, v.42, n.1, p.108-115, 2011.

Al-Sayed, H. M.; Elgharably, G. A. S.; Abdel-Mawgoud, A. S. A.; Eissa, M. A. Evaluation of phosphorous and potassium status in soils of Assiut Governorate. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, v.47, n.1, p.89-104, 2016.

Andres, A.; Concenço, G.; Theisen, G.; Galon, L.; Tesio, F. Management of red rice (*Oryza sativa*) and barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) grown with sorghum with reduced rate of atrazine and mechanical methods. *Experimental Agriculture*, v.48, n.4, p.587-596, 2012.

Andriotti, J. L. S. Notas de Geoestatística. *Acta Geologica Leopoldensia*, v.25, n.55, p.3-14, 2002.

Anjos, L. H. C.; Pereira, M. G.; Pérez, D. V.; Ramos, D. P. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.5, p.1035-1044, 2007.

Arruda, M. R.; Moreira, A.; Pereira, J. C. R. Amostragem e cuidados na coleta de solo para fins de fertilidade. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 18p. (Documentos, 115).

Audebert, A.; Fofana, M. Rice yield gap due to iron toxicity in West Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.195, n.1, p.66-76, 2009.

Bamberg, A. L.; Pauletto, E. A.; Gomes, A. S.; Timm, L. C.; Pinto, L. F. S.; Lima, A. C. R.; Silva, T. R. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.33, n.5, p.1079-1086, 2009.

Barik, K.; Aksakal, E. L.; Islam, K. R.; Sari, S.; Angin, I. Spatial variability in soil compaction properties associated with field traffic operations. *Catena*, v.120, p.122-133, 2014.

Barkla, B. J.; Vera-Estrella, R.; Pantoja, O. Progress and challenges for abiotic stress proteomics of crop plants. *Proteomics*, v.13, n.12-13, p.1801-1815, 2013.

Barreto, H. B. F.; Miranda, N. O.; Medeiros, J. F.; Lira, J. F. B. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e seus efeitos sobre parâmetros de produção de arroz vermelho. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.3, n.3, p.23-45, 2014.

Barrios, P. G.; Bidegain, M. P.; Gutiérrez, L. Effects of tillage intensities on spatial soil variability and site-specific management in early growth of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management*, v.346, p.41-50, 2015.

Basaran, M.; Erpul, G.; Ozcan, A. U.; Saygin, D. S.; Kibar, M.; Bayramin, I.; Yilman, F. E. Spatial information of soil hydraulic conductivity and performance of cokriging over kriging in a semi-arid basin scale. *Environmental Earth Sciences*, v.63, p.827-838, 2011.

Batista, I. M. P. Recomendação de calagem para alguns solos do Estado do Amazonas. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2014. 41f. Tese Doutorado.

Becker, M.; Asch, F. Iron toxicity in rice-conditions and management concepts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.168, p.558-573, 2005.

Behera, S. K.; Suresh. K.; Rao, B. N.; Mathur, R. K.; Shukla, A. K.; Manorama, K.; Ramachandrudu, K.; Harinarayana, P.; Prakash, C. Spatial variability of some soil properties varies in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations of west coastal area of India. *Solid Earth*, v.7, p.979-993, 2016.

Benedetto, D.; Castrignano, A.; Sollitto, D.; Modugno, F.; Bettafuoco, G.; Papa, G. Integrating geophysical and geostatistical techniques to map the spatial variation of clay. *Geoderma*, Amsterdam, v.171-172, p. 53-63, 2012.

Bernardi, A. C. C.; Rabello, L. M.; Inamasu, R. Y.; Grego, C. R.; Andrade, R. G. Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.18, n.6, p.623-630, 2014.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625p.

Chapin, F. S.; Matson, P. A.; Vitousek, P. M. Principles of terrestrial ecosystem ecology. 2.ed. New York: Springer, 2002. 529p.

Beyene, A.; Cornelis, W.; Verhoest, N. E. C.; Tilahun, S.; Alamirew, T.; Adgo, E.; Pue, J.; Nyssen, J. Estimating the actual evapotranspiration and deep percolation in irrigated soils of a tropical floodplain, northwest Ethiopia. *Agricultural Water Management*, v.202, p.42-56, 2018.

Bitencourt, D. G. B.; Barros, W. S.; Timm, L. C.; She, D.; Penning, L. H.; Parfitt, J. M. B.; Reichardt, K. Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.156, p.63-73, 2016.

Bockelmann, F. D.; Puls, W.; Kleeberg, U.; Müller, D.; Emeis, K. C. Mapping mud content and median grain-size of North Sea sediments – A geostatistical approach. *Marine Geology*, v.397, p.60-71, 2018.

Bogunovic, I.; Pereira, P.; Brevik, E. C. Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. *Science of The Total Environment*, v.584-585, p.535-545, 2017.

Bottega, L. E.; Queiroz, D. M.; Pinto, F. A. C.; Souza, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v.44, n.1, p.1-9, 2013.

Brinkman, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil-forming process. *Geoderma*, Amsterdam, v.3, p.199-206, 1970.

Buresh, R. J.; Reddy, K. R.; Van Kessel, C. Nitrogen transformation in submerged soils. In: Schepers, J. S.; Raun, W. R. (Ed.). *Nitrogen in agricultural systems*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2008. p. 401-436.

Callegari-Jacques, S. M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. 1.ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2003. 255p.

Camargo, F. A. O.; Santos, G. A.; Zonta, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.29, n.1, p.171-180, 1999.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

Cambardella, C. A.; Karlen, D. L. Spatial analysis of soil fertility parameters. *Precision Agriculture*, v.1, p.5-14, 1999.

Campozana, F. P. *Modelagem probabilística e simulação de reservatórios*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1990. 164p. Tese Doutorado.

- Caon, D. Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro Oeste, 2012. 63p. Dissertação Mestrado.
- Cassol, G. V. Sistemas de implantação, irrigação e alterações fisiológicas de plantas de soja sob cultivo em terras baixas. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2017. 140p. Tese Doutorado
- Celi, L.; Barberis, E., Abiotic stabilization of organic phosphorus in the environment. In: Turner, B. L., Frossard, E., Baldwin, D. S. (Eds.). *Organic Phosphorus in the Environment*. CAI International, Oxfordshire, p. 113-132, 2005.
- Chaurasia J.; Rai, P. K.; Mishra, P. K. Study of macro nutrient and physical status of soil in a part of Varuna River in Varanasi, India. *International Journal of Environmental Sciences*, v.4, n.4, p.468-471, 2013.
- Chapin, F. S.; Matson, P. A.; Vitousek, P. M. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. 2.ed. New York: Springer, 2002. 529p.
- Cherubin, M. R.; Santi, A. L.; Eitelwein, M. T.; Da Ros, C. O.; Bisognin, M. B. Sampling grids used to characterise spacial variability of pH, Ca, Mg and % in Oxisoils. *Revista Ciência Agronômica, Fortaleza*, v.45, n.4, p.659-672, 2014.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. Brasília: CONAB, 2017.
- Coringa, E. A. O.; Couto, E. G.; Perez, X. L. O.; Torrado, P. V. Atributos de solos hidromórficos no pantanal norte Matogrossense. *Acta Amazonica*, v.472, n.1, p.19-28, 2012.
- Cressie, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 1991. 920p.
- Darouich, H.; Gonçalves, J. M.; Muga, A.; Pereira, L. S. Water saving vs. farm economics in cotton surface irrigation: An application of multicriteria analysis. *Agricultural Water Management*, v.115, p.223-231, 2012.
- Davatgar, N.; Neishabouri, M. R.; Sepaskhah, A. R. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma, Amsterdam*, v.173-174, p.111-118, 2012.
- De Paz, J. M.; Albert, C.; Visconti, F.; Jiménez, M. G.; Ingelmo, F.; Molina, M. J. A new methodology to assess the maximum irrigation rates at catchment scale using geostatistics and GIS. *Precision Agriculture*, v.16, n.5, p.505-531, 2015.
- Donagema, G. K.; Campos, D. V. B. de; Calderano, S. B.; Teixeira, W. G.; Viana, J. H. M. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed.rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 212p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- Diatta, S.; Sahrawat, L. K. Iron toxicity of rice in West Africa: screening tolerant varieties and the role of N, P, K and Zn. In: Audebert, A.; Narteh, L. T.; Kiepe, P.; Millar, D.

B.Iron Toxicity in Rice-Based Systems in West Africa. Africa Rice Center (WARDA), Cotonou, Benin, p.75, 2005.

Elliott, G. C. A pulsed subirrigation system for small plots. HortScience, v.27, n.1, p.71-72, 1992.

Ettema, C. H.; Wardle, D. A. Spatial soil ecology. Trends in Ecology & Evolution, v.17, n.4, p.177-183, 2002.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.2.2. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, 2014.

Fageria, N. K.; Carvalho, G. D.; Santos, A. B.; Ferreira, E. P. B.; Knupp, A. M. Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.42, n.16, 1913-1933, 2011.

Fageria, N. K.; Santos, A. B.; Stone, L. F. Manejo do zinco. In: Fageria, N. K.; Stone L. F.; Santos, A. B. Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.167-186.

Farias Filho, M. S. Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos em um Gleissolo Melânico sob três áreas no município Arari – MA. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2014. 98p. Tese Doutorado

Fernández-Getino, A. P.; Duarte, A. C. Soil management guidelines in Spain and Portugal related to EU soil protection strategy based on analysis of soil databases. Catena, v.126, p.146-154, 2015.

Ferrarezi, R. S.; Van Iersel, M. W.; Testezlaf, R. Subirrigation automated by capacitance sensors for salvia production. Horticultura Brasileira, v.32, p.314-320, 2014.

Galon, L.; Guimarães, S.; Radünz, A. L.; Lima, A. M.; Burg, G. M.; Zandoná, R. R.; Bastiani, M. O.; Belarmino, J. G.; Perin, G. F. Competitividade relativa de cultivares de arroz irrigado com *Aeschynomene denticulata*. Bragantia, Campinas, v.74, n.1, p.67-74, 2015.

Gebbers, R.; Adamchuk, V. I. Precision agriculture and food security. Science, Washington, v.327, n.5967, p.828-831, 2010.

Guilherme, L. R. G.; Curi, N.; Silva, M. L. N.; Renó, N. B.; Machado, R. A. F. Adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, v.24, n.1, p.27-34, 2000.

Gilliam, F. S.; Dick, D. A. Spatial heterogeneity of soil nutrients and plant species in herb-dominated communities of contrasting land use. Plant Ecology, v.209, p.83-94, 2010.

Gimenez, L. M.; Zancanaro, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica de amostragem em grade. Informações Agrônomicas, Piracicaba, n.138, p.19-25, 2012.

Gonçalves, J. M.; Muga, A. P.; Horst, M. G.; Pereira, L. S. Furrow irrigation design with multicriteria analysis. *Biosystems Engineering*, v.109, p.266-275, 2011.

Goovaerts, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, v.27, p.315-334, 1998.

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS. Secretaria De Desenvolvimento. Projeto de Irrigação Luís Alves do Araguaia / PILAA. Disponível em <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2017-07/projeto-de-irrigacao-luis-alves.pdf>. Acesso em: 14fev.2019.

GRiSP - Global Rice Science Partnership. Rice Almanac. 4th ed. Manila: International Rice Research Institute, 2013. 283p.

Guerra, P. A. G. Geoestatística operacional. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 1988. 145p.

Haefele, S. M.; Kato, Y.; Singh, S. Climate ready rice: augmenting drought tolerance with best management practices. *Field Crops Research*, v.190, p.60-69, 2016.

Haefele, S. M.; Nelson, A.; Hijmans, R. J. Soil quality in the major rice environments of the world: characterization and distribution. *Geoderma*, Amsterdam, v.235, p.250-259, 2014.

Hernandes, A.; Rozane, D. E.; Souza, H. A.; Romualdo, L. M.; Natale, W. Amostragem para diagnose do estado nutricional e avaliação da fertilidade do solo em caramboleiras. *Bragantia*, Campinas, v.70, n.3, p.657-663, 2011.

Hiltbrunner, D.; Schulze, S.; Hagedorn, F.; Schmidt, M. W. I.; Zimmermann, S. Cattle trampling alters soil properties and changes soil microbial communities in a Swiss sub-alpine pasture. *Geoderma*, Amsterdam, v.170, p.369-377, 2012.

IRGA - INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ Soja 6000, Manejo para alta produtividade em terras baixas. Porto Alegre: Gráfica e Editora RJR, 2017. 68p.

Jabro, J. D.; Stevens, W. B.; Evans, R. G.; Iversen, W. M. Spatial variability and correlation of selected soil properties in the Ap horizon of a CRP grassland. *Applied Engineering in Agriculture*, v.26, p.419-428, 2010.

Jankowski, M.; Przewoźna, B.; Bednarek, R. Topographical inversion of sandy soils due to local conditions in Northern Poland. *Geomorphology*, v.135, p.277-283, 2011.

Jiang, X.; Liu, X.; Wang, E.; Li, X. G.; Sun, R.; Shi, W. Effects of tillage pan on soil water distribution in alfalfa-corn crop rotation systems using a dye tracer and geostatistical methods. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.150, p.68-77, 2015.

Jiménez-Aguirrea, M. T.; Isidoro, D.; Usón, A. Soil variability in La Violada Irrigation District (Spain): I Delineating soil units for irrigation. *Geoderma*, Amsterdam, v.311, p.78-90, 2018.

Journel, A. G.; Huijbregts, C. J. Mining geostatistics. London: Academic Press, 1978. 600p.

Kamble, P. N.; Kurhe, A. R.; Pondhe, G. M.; Gaikwad, V. B.; Baath, E. Soil nutrient analysis and their relationship with special reference to ph in pravaranagar area, district Ahmednagar, Maharashtra, India. *International Journal of Scientific & Technology Research*, v.2, n.3, p.216-218, 2013.

Kerry, R.; Oliver, M. A.; Frogbrook, Z. L. Sampling precision agriculture. In: Oliver, M.A. (Ed.). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer Science, 2010. p.35-63.

Kiehl, E. J. *Manual de Edafologia, Relações solo-planta*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. 262p.

Kilic, K.; Kilic, S.; Kocyigit, R. Assessment of spatial variability of soil properties in areas under different land use. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, v.18, n.5, p.722-732, 2012.

Kirnak, H.; Doğan, G.; Çopur, O.; Gökalp, Z. Irrigation and yield parameters of soybean as effected by irrigation management, soil compaction and nitrogen fertilization. *Tarım Bilimleri Dergisi - Journal of Agricultural Sciences*, v.19, p.297-309, 2013.

Kischel, E.; Fidelis, R. R.; Santos, M. M.; Brandão, D. R.; Cancellier, E. R.; Nascimento, I. R. Efeito do nitrogênio em genótipos de arroz cultivados em várzea úmida do Estado do Tocantins. *Revista Ceres, Viçosa*, v.58, n.1, p.84-89, 2011.

Kögel-Knabner, I.; Amelung, W.; Cao, Z.; Fiedler, S.; Frenzel, P.; Jahn, R.; Kalbitz, K.; Kölbl, A.; Schloter, M. Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*, Amsterdam, v.157, p.1-14, 2010.

Li, H. Y.; Webster, R.; Shi, Z. Mapping soil salinity in the Yangtze delta: REML and universal kriging (E-BLUP) revisited. *Geoderma*, Amsterdam, v.237-238, p.71-77, 2015.

Lindell, L.; Åström, M.; Öberg, T. Land-use versus natural controls on soil fertility in the Subandean Amazon, Peru. *Science of the Total Environment*, v.408, n.4, p.965-975, 2010.

Lipiec, J.; Usowicz, B. Spatial relationships among cereal yields and selected soil physical and chemical properties. *Science of the Total Environment*, v.633, p.1579-1590, 2018.

Liu, R.; Xu, F.; Yu, W.; Shi, J.; Zhang, P.; Shen, Z. Analysis of field-scale spatial correlations and variations of soil nutrients using geostatistics. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.188, n.2, p.1-10, 2016.

Liu; Y.; Lv, J.; Zhang, B.; Bi, J. Spatial multi-scale variability of soil nutrients in relation to environmental factors in a typical agricultural region, Eastern China. *Science of the Total Environment*, v.450-451, p.108-119, 2013.

Lundgren, W. J. C.; Silva, I. F.; Lundgren, G. A. Estimativa da pluviométrica através das técnicas da krigagem e cokrigagem no Estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.10, n.3, p.854-865, 2017.

Lv, J.; Liu, Y.; Zhang, Z.; Dai, J. Factorial kriging and stepwise regression approach to identify environmental factors influencing spatial multi-scale variability of heavy metals in soils. *Journal of Hazardous Materials*, v.261, p.387-397, 2013.

Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. *Irrigação - princípios e métodos*. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p.

Marcolan, A. L.; Anghinoni, I.; Fraga, T. I.; Leite, J. G. D. B. Recuperação de atributos físicos de um Argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.3, p.571-579, 2007.

Marques Júnior, J.; Siqueira, D. S.; Camargo, L. A.; Teixeira, D. D. B.; Barrón, V.; Torrent, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. *Geoderma*, Amsterdam, v.219-220, p.63-71, 2014.

Marschner, H.; Functions of macronutrients. In: Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Jan Schjoerring, I.; Møller, I. S.; White, P. (ed) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3ed. New York: Academic Press, 2012. p.158-165.

McBratney, A. B.; Field, D. J.; Koch, A. The dimensions of soil security. *Geoderma*, Amsterdam, v.213, p.203-213, 2014.

McBratney, A. B., Webster, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties v. co-regionalization and multiple sampling strategy. *Journal of Soil Science*, v.34, p.137-162, 1983.

Mentges, M. I.; Reichert, J. M.; Gubiani, P. I.; Reinert, D. J.; Xavier, A. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.37, n.1, p.221-23, 2012.

Miller, B. A.; Koszinski, S.; Hierold, W.; Rogasik, H.; Schröder, B.; Oost, K. V.; Wehrhan, M.; Sommer, M. Towards mapping soil carbon landscapes: Issues of sampling scale and transferability. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.156, p.194-208, 2015.

Mishra, U.; Riley, W. J. Scaling impacts on environmental controls and spatial heterogeneity of soil organic carbon stocks. *Biogeosciences*, v.12, p.3993-4004, 2015.

Montanari, R.; Panachuki, E.; Lovera, L. H.; Correa, A. R.; Oliveira, I. S.; Queiroz, H. A.; Tomaz, P. K. variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.39, n.2, p.385-396, 2015.

Montanari, R.; Panachuki, E.; Lovera, L. H.; Oliveira, I. A.; Bonini, C. S. B. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e atributos físicos em um Planossolo. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.7, n.3, p.252-261, 2013.

Montanari, R.; Souza, G. S. A.; Pereira, G. T.; Marques Júnior, J.; Siqueira, D. S.; Siqueira, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. *Precision Agriculture*, v.13, p.542-552, 2012a.

Montanari, R.; Zambianco, E. C.; Corrêa, A. R.; Pellin, D. M. P.; Carvalho, M. P.; Dalchiavon, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. *Revista Ceres*, Viçosa, v.59, n.1, p.125-135, 2012b.

Montesano, F.; Parente, A.; Santamaria, P. Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be used for soilless tomato production in saline conditions. *Scientia Horticulturae*, v.124, p.338-344, 2010.

Moradi, F.; Moosavi, A. A.; Moghaddam, B. K. Spatial variability of water retention parameters and saturated hydraulic conductivity in a calcareous Inceptisols (Khuzestan province of Iran) under sugarcane cropping. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.62, n.12, p.1686-1699, 2016.

Moraes, J. F. V.; Dynia, J. F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley Pouco Húmico sob inundação e após a drenagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.27, n.2, p.223-235, 1992.

Moshia, M. E.; Khosla, R.; Longchamps, L.; Reich, R.; Davis, J. G.; Westfall, D. G. Precision manure management across site-specific management zones: grain yield and economic analysis. *Agronomy Journal*, v.106, p.2146-2156, 2014.

Müller, C.; Silveira, S. F. S.; Daloso, D. M.; Mendes, G. C.; Merchant, A.; Kuki, K. N., Oliva, M. A.; Loureiro, M. E.; Almeida, A. M. Echophysiological responses to excess iron in lowland and upland rice cultivars. *Chemosphere*, v.189, p.123-133, 2017.

Najafian, A.; Dayani, M.; Motaghian, H. R.; Nadian, H. Geostatistical assessment of the spatial distribution of some chemical properties in calcareous soils. *Journal of Integrative Agriculture*, v.11, n.10, p.1729-1737, 2012.

Nanni, M. R.; Povh, F. P.; Demattê, J. A. M.; Oliveira, R. B.; Chicati, M. L.; Cezar, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. *Scientia Agrícola*, v.68, n.3, p.386-392, 2011.

Nascimento, P. C.; Lani, J. L.; Mendonça, E. S.; Zoffoli, H. J. O.; Peixoto, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.2, p.339-348, 2010.

Neves Neto, D. N.; Santos, A. C.; Santos, P. M.; Melo, J. C.; Santos, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.9, p.995-1004, 2013.

Novais, R. F.; Alvarez V.; V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. Fertilidade do solo. In: Ernani, P. R.; Almeida, J. A.; Santos, F. C. (Eds.), IX – Potássio. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594, 2007.

- Odgers, N. P.; McBratney, A. B.; Minasny, B. Digital soil property mapping and uncertainty estimation using soil class probability rasters. *Geoderma*, Amsterdam, v.237-238, p.190-198, 2015.
- Outeiro, L.; Aspero, F.; Ubeda, X. Geostatistical methods to study spatial variability of soil cations after a prescribed fire and rainfall. *Catena*, v.74, p.310-320, 2008.
- Ozpinar, S.; Ozpinar, A. Tillage effects on soil properties and maize productivity in western Turkey. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.61, p.1029-1040, 2015.
- Pardo-Igúzquiza, E.; Dowd, P. A. Comparison of inference methods for estimating semivariogram model parameters and their uncertainty: The case of small data sets. *Computers & Geosciences*, v.50, p.154-164, 2013.
- Parfitt, J. M. B.; Timm, L. C.; Pauletto, E. A.; Sousa, R. O.; Castilhos, D. D.; Ávila, C. L.; Reckziegel, N. L. Spatial variability of the chemical, physical and biological properties in lowland cultivated with irrigated rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.33, p.819-830, 2009.
- Parfitt, J. M. B.; Timm, L. C.; Reichardt, K.; Pinto, L. F. S.; Pauletto, E. A.; Castilhos, D. D. Chemical and biological attributes of a lowland soil affected by land leveling. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.48, n.11, p.1489-1497, 2013.
- Paz-Gonzalez, A.; Taboada, M. T. C.; Vieira, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. *Canadian Journal of Soil Science*, v.81, p.469-479, 2001.
- Pellilo, V.; Piper, L.; Lay-Ekuakille, A.; Lanzolla, A.; Andria, G.; Morello, R. Geostatistical approach for validating contaminated soil measurements. *Measurement*, v.47, p.1016-1023, 2014.
- Peralta, N. R.; Costa, J. L.; Balzarini, M.; Angelini, H. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Canadian Journal of Soil Science*, v.93, p.205-218, 2013.
- Peralta, N. R.; Costa, J. L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.99, p.218-226, 2013.
- Pinto, M. A. B.; Parfitt, J. M. B.; Timm, L. C.; Faria, L. C.; Scivittaro, W. B. Produtividade de arroz irrigado por aspersão em terras baixas em função da disponibilidade de água e de atributos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.51, n.9, p.1584-1593, 2016.
- Polo, J. R. V.; Garcia, D. B.; Flores, J. C. M. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta Agronómica*, v.59, n.4, p.449-456, 2010.
- Ponnamperuma, F. N. The chemistry of submerged soil. *Advances in Agronomy*, New York, v.24, p.29-96, 1972.

- Ranjbar, F.; Jalali, M. The combination of geostatistics and geochemical simulation for the site-specific management of soil salinity and sodicity. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.121, p.301-312, 2016.
- Resende, A. V.; Coelho, A. M. Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.159, p.1-8, 2017.
- Reza, S. K.; Baruah, U.; Sarkar, D. Spatial variability of soil properties in Brahmaputra plains of north-eastern India: a geostatistical approach. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, v.60, n.2, p.108-115, 2012.
- Reza, S. K.; Baruah, U.; Sarkar, D. Spatial variability of soil properties using geostatistical method: a case study of lower Brahmaputra plains, India. *Arabian Journal of Geosciences*, v.9, n.6, p.1-8, 2016a.
- Reza, S. K.; Baruah, U.; Singh, S. K.; Srinivasan, R. Spatial Heterogeneity of Soil Metal Cations in the Plains of Humid Subtropical Northeastern India. *Agricultural Research*, v.5, n.4, p.346-352, 2016b.
- Reza, S. K.; Nayak, D. C.; Mukhopadhyay, S.; Chattopadhyay, T.; Singh, S. K. Characterizing spatial variability of soil properties in alluvial soils of India using geostatistics and geographical information system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v.63, n.11, p.1489-1498, 2017.
- Robertson, G. P. *GS<sup>+</sup>: Geostatistics for the environmental sciences – GS<sup>+</sup> User's Guide*. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- Rosemary, R.; Vitharana, U. W. A.; Indraratne, S. P.; Weerasooriya, R.; Mishra, U. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. *Catena*, v.150, p. 53-61, 2017.
- Rotili, E. A.; Fidelis, R. R.; Santos, M. M.; Castro Neto, M. D.; Kichel, E.; Cancellier, E. L. Eficiência no uso de fósforo de variedades de arroz cultivadas em solos de várzea irrigada. *Revista Ceres*, Viçosa, v.57, n.3, p.415-420, 2010.
- Rouphael Y.; Cardarelli M.; Rea, E.; Battistelli A. C. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agricultural Water Management*, v.82, p.99-117, 2006.
- Rozane, D. E.; Romualdo, L. M.; Centurion, J. F.; Barbosa, J. C. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.32, n.1, p.111-118, 2011.
- Santos, E. O. J.; Gontijo, I.; Silva, M. B. Planejamento amostral de propriedades químicas do solo em lavoura de café conilon. *Coffee Science*, Lavras, v.8, n.4, p.423-431, 2013a.
- Santos, F. A. S.; Pierangeli, M. A. P.; Silva, F. L.; Serafim, M. E.; Souza, C. A. Atributos químicos, físicos e estoque de cálcio, magnésio, potássio e fósforo em solos de campos de murundus no Brasil. *Acta Amazonica*, v.45, n.2, p.101-110, 2015a.

Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. rev.ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013b. 353p.

Santos, R. D.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C.; Shimizu, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7.ed.rev.ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015b. 101p.

Saglam, M.; Dengiz, O. Influence of selected land use types and soil texture interactions on some soil physical characteristics in an alluvial land. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, v.3, n.11, p.508-513, 2012.

Salehia, M. H.; Esfandiarpour, I.; Sarshogh, M. The effect of aspect on soil spatial variability in Central Zagros, Iran. *Procedia Environmental*, v.7, p.293-298, 2011.

Schmidt, F.; Fortes, M. A.; Wesz, J.; Buss, G. L.; Sousa, R. O. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.37, p.1226-1235, 2013.

Schmal, J. L.; Dumroese, R. K.; Davis, A. S.; Pinto, J. R.; Jacobs, D. F. Subirrigation for production of native plants in nurseries - Concepts, current knowledge, and implementation. *Native Plants Journal*, v.12, n.2, p.81-93, 2011.

Scivittaro, W. B.; Gonçalves, D. R. N.; Braun, J. A. F.; Castilhos, R. M. V. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à época de início de irrigação. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 27p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 138).

Sediyama, T.; Silva, F.; Borém, A. Soja do Plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV, MG, 2015. 333p.

Seidel, E. J.; Oliveira, M. S. Proposta de uma generalização para os modelos de semivariogramas Exponencial e Gaussiano. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v.34, n.1, p.125-132, 2013.

Shahandeh, H.; Hossner, L. R.; Turner, F. T. Phosphorus relationships to manganese and iron in rice soils. *Soil Science*, v.168. p.489-500, 2003.

Shi, W.; Liu, J.; Du, Z.; Stein, A.; Yue, T. Surface modelling of soil properties based on land use information. *Geoderma*, Amsterdam, v.162, p.347-357, 2011.

Shukla, A. K.; Behera, S. K.; Lenka, N. K.; Tiwari, P. K.; Prakash, C.; Malik, R. S.; Sinha, N. K.; Singh, V. K.; Patra, A. K.; Chaudhary, S. K. Spatial variability of soil micronutrients in the intensively cultivated trans-gangetic plains of India. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.163, p.282-289, 2016.

Silva, F. A. S.; Azevedo, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analyses of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

Silva, F. M.; Souza, Z. M.; Figueiredo, C. A. P.; Vieira, L. H. S.; Oliveira, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n.1, p.231-241, 2008.

Silva, J.; Félix, A. C. A.; Oliveira, J. R.; Guedes, I. M. R.; Guimarães, J. A. Avaliação da fertilidade do solo para a produção integrada de pimentão. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2016. 37p. (Documentos, 150).

Silva Neto, L. F.; Inda, A. V.; Nascimento, P. C.; Giasson, E.; Schimitt, C.; Curi, N. Characterization and classification of floodplain soils in the Porto Alegre metropolitan region, RS, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.39, n.5, p.423-434, 2015.

Srinivasarao, C.; Venkateswarlu. B.; Lal, R.; Singh, A. K.; Kundu, S.; Vittal, K. P. R.; Patel, J. J.; Patel, M. M. Long-term manuring and fertilizer effects on depletion of soil organic carbon stocks under pearl millet-cluster bean-castor rotation in Western India. *Land Degradation & Development*, v.25, n.2, p.173-183, 2011.

Siqueira, D. S.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. *Geoderma*, Amsterdam, v.155, n.1, p.55-66, 2010.

Siqueira, G. M.; Silva, E. F. F.; Dafonte, J. D. Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética e da produtividade de cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, v.74, n.2, p.215-223, 2015.

Siyal, A. A.; Bristowc, K. L.; Simünek, J. Minimizing nitrogen leaching from furrow irrigation through novel fertilizer placement and soil surface management strategies. *Agricultural Water Management*, v.115, p.242-251, 2012.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de arroz irrigado. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXXI Reunião técnica da cultura do arroz irrigado, 10 a 12 de agosto de 2016. Bento Gonçalves, RS: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Santa Maria, 2016. 199p. Disponível em: <[http://www.sosbai.com.br/docs/Boletim\\_RT\\_2016.pdf](http://www.sosbai.com.br/docs/Boletim_RT_2016.pdf)>. Acesso em: 13 novembro de 2018.

Sousa, D. M. G.; Lobato, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

Souza, E. F.; Morassuti, C. Y.; Soares, E.; Duarte, G. S. V.; Soares, J. S.; Jorge, M. B.; Silva, C. A. A. Classificação de solos e análise da vegetação em relação às características locais nos municípios de Dourados e Jateí/MS. *Engevista*, v.19, n.2, p.293-305, 2017.

Souza, M. E. Manganês suplementar na cultura do arroz irrigado. Gurupi-TO: Universidade Federal do Tocantins, 2017. 70p. Dissertação Mestrado.

Souza, Z. M.; Souza, G. S.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.2, p.261-268, 2014.

Tagore, G. S.; Bairagi, G. D.; Sharma, R.; Verma, P. K. Spatial variability of soil nutrients using geospatial techniques: a case study in soils of Sanwer tehsil of Indore district of Madhya Pradesh. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v.8, p.1353-1363, 2014.

Tesfahunegn, G. B.; Tamene, L.; Vlek, P. L. G. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.117, p.124-139, 2011.

Testezlaf, R. *Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011. 215p.

Theisen, G.; Silva, J. J. C.; Silva, J. S.; Andresa, A.; Anten, N. P. R.; Bastiaans, L. The birth of a new cropping system: towards sustainability in the subtropical lowland agriculture. *Field Crops Research*, v.212, p.82-94, 2017.

Thompson, S. K. *Sampling*. New York: John Wiley, 1992. 343p.

Turner, B. L.; Engelbrecht, B. M. J. Soil organic phosphorus in lowland tropical rain forests. *Biogeochemistry*, v.103, p.297-315, 2011.

Uva, W. F. L.; Weiler, T. C.; Milligan, R. A. A survey on the planning and adoption of zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations. *HortScience*, v.33, n.2, p.193-196, 1998.

Uyan, M.; Cay, T. Spatial analyses of groundwater level differences using geostatistical modeling. *Environmental and Ecological Statistics*, v.20, n.4, p.633-646, 2013.

Uyan, M. Determination of agricultural soil index using geostatistical analysis and GIS on land consolidation projects: A case study in Konya/Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.123, p.402-409, 2016.

Vahl, L. C.; Sousa, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: Gomes, A. S.; Magalhães Júnior, A. M. (Ed.). *Arroz irrigado no Sul do Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p.97-118.

Van Der Gaag, D. J.; Keressies, A.; Lanser, C. Spread of phytophthora root and crown rot in saintpaulia, gerbera and spathiphyllum pot plants in ebb-and-flowsystems. *European Journal of Plant Pathology*, v.107, p.535-542, 2001.

Van Iersel, M. W.; Kang, J. G. Nutrient solution concentration affects whole-plant CO<sub>2</sub> exchange and growth of subirrigated pansy. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.127, n.3, p.423-429, 2002.

Vasu, D.; Singh, S. K.; Sahu, N.; Tiwary, P.; Chandran, P.; Duraisami, V. P.; Ramamurthy, V.; Lalitha, M.; Kalaiselvi, B. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.169, p.25-34, 2017.

Verma, U. S.; Jatav, G. K.; Bhagat, R. K. Evaluation of soil fertility status in Inceptisol of Malkharauda block in Janjgir district of Chhattisgarh. *Asian Journal of Soil Science*, v.8, n.1, p.103-109, 2013.

Vieira, S. R.; Lombardi Neto, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.54, n.2, p.405-412, 1995.

Vitousek, P. M.; Chadwick, O. A. Pedogenic thresholds and soil process domains in basalt-derived soils. *Ecosystems*, v.16, p.1379-1395, 2013.

Vitousek, P. M.; Porder, S.; Houlton, B. Z.; Chadwick, O.A. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions. *Ecological Applications*, v.20, n.1, p.5-15, 2010.

Xu, H.; Cai, Z. C.; Li, X. P.; Tsuruta, H. Effect of antecedent soil water regime and rice straw application time on CH<sub>4</sub> emission from rice cultivation. *Australian Journal of Soil Research*, v.38, p.1-12, 2000.

Wambo, J. D. T.; Ganno, S.; Lahe, Y. S. D.; Nono, G. D. K.; Fossi, D. H.; Tchouatcha, M. S.; Nzenti, J. P. Geostatistical and GIS analysis of the spatial variability of alluvial gold content in Ngoura Colomines area, Eastern Cameroon: Implications for the exploration of primary gold deposit. *Journal of African Earth Sciences*, v.142, p.138-157, 2018.

Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.

Webster, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: Stewart, B.A. (ed). *Advance in Soil Science*, v.3, p.1-70, 1985.

Worou, O. N.; Gaiser, T.; Saito, K.; Goldbach, H.; Ewert, F. Spatial and temporal variation in yield of rainfed lowland rice in inland valley as affected by fertilizer application and bunding in North-West Benin. *Agricultural Water Management*, v.126, p.119-124, 2013.

Worqlul, A. W.; Jeong, J.; Dile, Y. T.; Osorio, J.; Schmitter, P.; Gerik, T.; Srinivasan, R.; Clark, N. Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia. *Applied Geography*, v.85, p.1-13, 2017.

Wu, C.; Wu, J.; Luo, Y.; Zhang, H.; Teng, Y.; Degloria, S. D. Spatial interpolation of severely skewed data with several peak values by the approach integrating kriging and triangular irregular network interpolation. *Environmental Earth Sciences*, v.63, p.1093-1103, 2011.

Ye, L.; Tan, W.; Fang, L.; Ji, L.; Deng, H. Spatial analysis of soil aggregate stability in a small catchment of the Loess Plateau, China: I. Spatial variability. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v.179, p.71-81, 2018.

Yoshida, S. *Fundamentals of Rice Crops Science*. Manila, Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1981. p.81-82.

Zhang, S.; Huffman, T.; Zhang, X.; Liu, W.; Liu, Z. Spatial distribution of soil nutrient at depth in black soil of Northeast China: a case study of soil available phosphorus and total phosphorus. *Journal of Soils and Sediments*, v.14, p.1775-1789, 2014.

Zheng, Y.; Graham, T. H.; Richard, S.; Dixon, M. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience*, v.39, n.6, p.1283-1286, 2004.

Zimback, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001. 114p. Tese Livre-Docência.

## ANEXOS

### Anexo I

Descrição de perfil de solo.

#### DESCRIÇÃO GERAL

Perfil nº: 1

DATA: outubro de 2017.

CLASSIFICAÇÃO: Plintossolo Háptico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADAS: Distrito de Luiz Alves do Araguaia, Rod. GO 080, próximo à sede da Cooperativa de Produtores Rurais de Luís Alves do Araguaia e a 2 km do Distrito de Luiz Alves (GO), São Miguel do Araguaia (GO), Latitude: 8536985,6380 m (S); Longitude: 547286,8560 m (E).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil analisado em barranco de área de empréstimo ao lado da BR 080, aberta no terço inferior/baixada de encosta em relevo plano sob vegetação secundária do tipo savana.

LITOLOGIA: Sedimentos consolidados e inconsolidados<sup>1</sup>.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Cobertura Sedimentar do Bananal<sup>1</sup>.

CRONOLOGIA: Quaternário<sup>1</sup>.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de Meteorização de Sedimentos<sup>1</sup>.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: plano<sup>1</sup>.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Savana<sup>1</sup>.

USO ATUAL: Reserva.

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): Inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Murilo Alceu de Águas, Leonardo Mariano do Nascimento, João Paulo Souza Carneiro e Roriz Luciano Machado.

<sup>1</sup> Fonte: Projeto Radam Brasil.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A – 0 - 21 cm, bruno acinzentado (2,5Y 5/2, úmida), bruno forte (7,5 YR 5/8, seca), mosqueado comum, pequeno e distinta amarelo-avermelhado (5YR 4/6); franca-argilo-arenosa; forte, angular, médio; ligeiramente dura, muito friável/friável, muito plástica, pegajosa; muitos poros e muito pequenos; plana e gradual.

EA – 21 - 44 cm, bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/3, úmida) mosqueado comum, médio e distinto vermelho-amarelado (7,5YR 5/8); franca-argilo-arenosa; forte, blocos sub-angulares, pequena; firme, muito plástica e pegajosa; muitos poros e muito pequenos; plana e clara/abrupta.

E – 44 - 80 cm, cinzento brunado claro (2,5Y 6/2 úmida) mosqueado comum, pequena e difuso vermelho-amarelado (7,5YR 5/8); franca argilo arenosa; forte, blocos angulares, pequena; firme, muito friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa/pegajosa; muitos poros e muito pequenos; plana e abrupta.

Bf<sub>1</sub> – 80 - 150 cm, cinzento (5Y 6/1, úmida) mosqueado abundante, médio e proeminente vermelho (10R 4/6); franca argilo arenosa; forte/moderada blocos sub-angulares, muito pequena/pequena; muito firme, muito friável a firme, muito plástica; ligeiramente pegajosa/pegajosa; poucos poros e muito pequenos; ondulada e abrupta.

Bf<sub>2</sub>/C<sub>1</sub> – 150 - 176 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida); mosqueado pouco, pequeno e difuso vermelho (2,5YR 4/8); franco-argilo-arenosa; maciça; firme, muito friável/friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; poucos poros e muito pequenos; ondulada/irregular e abrupta.

Bf<sub>3</sub>/C<sub>2</sub> – 176 - 209 cm<sup>+</sup>, bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/4, úmida), mosqueado comum, médio e distinto vermelho-amarelado (5YR 5/8); franco arenosa; maciça; solta, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; poucos poros e muito pequenos.

RAÍZES - Muitas e médias nos horizontes A e EA; muitas/comuns e médias/finas no horizonte E, comuns e finas/muito finas no Bf1, poucas e muito finas no Bf2/C1 e poucas/raras e muito finas no Bf3/C2.

## ANÁLISES QUÍMICAS

Horizonte	Profundidade	pH (H <sub>2</sub> O)	MOS	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T	K	P	V	m
	cm		g dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					mg dm <sup>-3</sup>		%		
A	0 a 21	4,7	18,0	0,2	0,6	0,9	4,2	0,338	5,3	132,0	5,9	20,57	45,28
EA	21 a 44	4,4	12,2	0,1	0,6	1,3	3,8	0,015	4,5	6,0	1,8	15,84	64,51
E	44 a 80	4,5	5,5	0,1	0,8	1,4	4,2	0,013	5,1	5,0	2,0	18,33	58,88
Bf <sub>1</sub>	80 a 150	4,6	2,9	0,0	0,5	1,6	3,8	0,023	4,4	9,0	1,0	13,70	72,63
Bf <sub>2</sub> /C <sub>1</sub>	150 a 176	5,0	8,5	0,1	0,5	0,8	3,1	0,003	3,7	1,2	1,3	16,74	56,22
Bf <sub>3</sub> /C <sub>2</sub>	176 a 209	5,0	1,2	0,0	0,6	1,1	3,1	0,003	3,7	1,0	0,9	16,94	63,49

## ANÁLISES FÍSICAS

Horizonte	Composição Terra Fina (dispersão em NaOH)			Relação Silte/Argila
	Areia Total	Silte	Argila	
	(0,2-0,05 mm)	(0,05-0,002 mm)	(<0,002 mm)	
	g kg <sup>-1</sup>			
A	656	126	219	0,574
EA	594	202	204	0,993
E	599	133	268	0,495
Bf <sub>1</sub>	595	61	344	0,177
Bf <sub>2</sub> /C <sub>1</sub>	742	50	208	0,241
Bf <sub>3</sub> /C <sub>2</sub>	816	34	150	0,229