

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM UMA ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF)

José Mário Lopes da Rocha¹, Danilo Gomes de Oliveira¹, Rossini Sôffa da Cruz², Marcus André Ribeiro Correia², Raphael Pavesi Araújo², Daniel Santana Colares¹

¹ Professores Mestres EBT, Instituto Federal do Tocantins-Campus Colinas do Tocantins-IFTO. e-mail: <danilo.oliveira@ifto.edu.br>

² Professores Doutores colaboradores EBT, Instituto Federal do Tocantins-Campus Colinas do Tocantins-IFTO.

Resumo: diversos estudos mostram que é possível trabalhar com pecuária, agricultura e florestas, conservando o meio ambiente, através da integração sistemática desses componentes. O trabalho foi realizado na fazenda experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, campus Colinas do Tocantins. Foram introduzidas as culturas do milho e sorgo forrageiro em conjunto com as forrageiras *Panicum maximum* cv. Mombaça e *Urochloa brizantha* cv. MG5. A espécie arbórea foi o *Eucalyptus urophylla*, sendo implantada em dois diferentes espaçamentos (12 x 3 m e 18 x 3 m). Os pontos para coleta no grid foram obtidos através de GPS (Garmin Etrex 10), totalizando 20 amostras. A análise do solo foi realizada no Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, campus Araguatins. Foi verificado diferentes graus de dependência espacial para as características avaliadas. Os mapas de isolinhas mostraram a variabilidade dos nutrientes dentro da área trabalhada. Em estudos futuros, poderemos analisar o ciclo de deposição e evolução dos nutrientes, além do impacto desses sistemas de produção nas características químicas a longo prazo.

Palavras-chave: análise, características, dependência espacial

1 INTRODUÇÃO

A atividade pecuária é considerada uma das principais causas de degradação ambiental, acarretando problemas diversos, principalmente aqueles inerentes à perda da biodiversidade (IBRAHIM *et al.*, 2003). As áreas destinadas aos monocultivos agrícolas e florestais também são importantes quanto aos impactos ambientais provocados e a perda da biodiversidade, características desses agroecossistemas. No entanto, do ponto de vista ambiental, diversos estudos mostram que é possível trabalhar com pecuária, agricultura e florestas, conservando o meio ambiente, através da integração sistemática desses componentes (MURGUEITIO, 2003).

A variabilidade espacial das características do solo ocorre naturalmente como consequência do processo de formação, podendo ser acentuada em função dos diferentes manejos aplicados (BROWN *et al.*, 2000). Áreas onde ocorreram manejos específicos, como nos sistemas que integram atividades de lavoura, pecuária e floresta, devem ser monitoradas, a fim de se conhecer o potencial produtivo e a real necessidade de utilização de insumos. Desse modo, entender que há variabilidade no solo, permite adequar o manejo mais apropriado a cada sistema de produção, haja vista os diferentes manejos interferirem nas características químicas e físicas do solo. Esta visualização pode ser feita a partir da geoestatística (SILVEIRA JR. *et al.*, 2014).

Objetivou - se nesse trabalho, diagnosticar as alterações químicas que ocorrem no solo após a implantação e manejo de um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado na fazenda experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, campus Colinas do Tocantins, município de Colinas do Tocantins - TO. Localizada nas seguintes coordenadas geográficas 8° 03' 33" S e 48° 28' 30" O. O clima da região é o AW-tropical com verão úmido e período de estiagem no inverno, com domínio climático tropical semiúmido, com estiagem de junho a setembro, média anual de precipitação de 1800 mm e altitude de 227 m (KÖPPEN, 1931). O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (EMBRAPA, 2013), e apresenta em sua composição física 74,96% de areia, 12,31% de silte e 12,73% de argila. Foram registrados valores de pH (H₂O) = 5,7; Al = 0,20 cmolc/ dm³; P = 1,32 mg/ dm³; K = 17 mg/ dm³; Ca = 0,6 cmolc/ dm³; Mg = 0,3 cmolc/ dm³; H + Al = 1,32 cmolc/dm³; matéria orgânica = 0,81 g/kg; soma de bases = 0,94 cmol/dm³; CTC = 2,26 cmol/dm³; saturação por bases = 41,8%.

O solo da área experimental foi preparado mediante aração e gradagem. Foi realizada também calagem com calcário dolomítico (PRNT = 89%) mediante análise de solo, na quantidade de 1,7 t/ha, com a finalidade de corrigir o pH, além de fornecer Ca e Mg como nutrientes às plantas. O local de implantação do experimento, possui uma área de 1,92 ha, onde foram introduzidas as culturas do milho e sorgo forrageiro em conjunto com as forrageiras *Panicum maximum* cv. Mombaça e *Urochloa brizantha* cv. MG5. Na adubação de plantio foram utilizados Superfosfato simples (18,75 Kg de P₂O₅/ha⁻¹), Cloreto de potássio (15,0 Kg de P₂O₅/ha⁻¹) e Ureia (23,4 Kg de P₂O₅/ha⁻¹). A espécie arbórea foi o *Eucalyptus urophylla*, sendo implantada em dois diferentes espaçamentos (12 x 3 m e 18 x 3 m), sendo utilizados os adubos: Ureia (23 Kg de N/ha⁻¹), Superfosfato simples (19 Kg de P₂O₅/ha⁻¹) e Cloreto de potássio (15 Kg de K₂O/ha⁻¹) no momento do plantio.

A composição dos tratamentos pode ser visualizada a seguir:

TRATAMENTO:

01. *Panicum maximum* cv. Mombaça + *Zea mays* + *Eucalyptus* (12 X 3 m)
02. *Panicum maximum* cv. Mombaça + *Zea mays* + *Eucalyptus* (18 X 3 m)
03. *Panicum maximum* cv. Mombaça + *Sorghum bicolor* + *Eucalyptus* (12 X 3 m)
04. *Panicum maximum* cv. Mombaça + *Sorghum bicolor* + *Eucalyptus* (18 X 3 m)
05. *Urochloa brizantha* cv. MG5 + *Zea mays* + *Eucalyptus* (12 X 3 m)
06. *Urochloa brizantha* cv. MG5 + *Zea mays* + *Eucalyptus* (18 X 3 m)
07. *Urochloa brizantha* cv. MG5 + *Sorghum bicolor* + *Eucalyptus* (12 X 3 m)
08. *Urochloa brizantha* cv. MG5 + *Sorghum bicolor* + *Eucalyptus* (18 X 3 m)

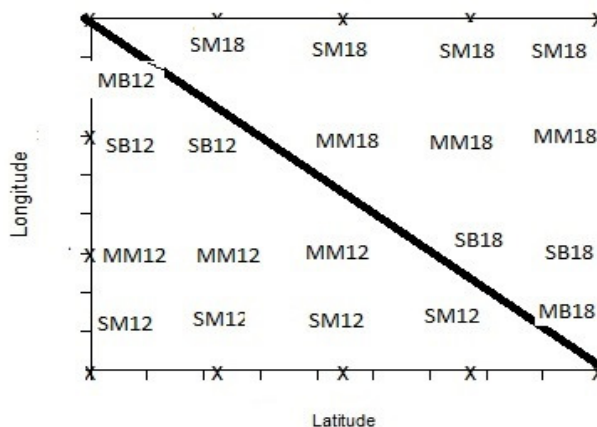


FIGURA 1. Croqui da área experimental.

Os pontos para coleta no grid foram obtidos através de GPS (GPS Garmin Etrex 10), considerando as dimensões da área total. Em cada ponto georreferenciado, foram realizadas uma coleta de solo na profundidade de 0 a 20 cm em uma malha de 3,5 x 3,0 metros de um ponto ao outro, totalizando 20 amostras. A análise do solo foi realizada no Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, campus Araguatins. As análises químicas foram conduzidas de acordo com o manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (SILVA, 2009). Foram mensurados os valores de: pH (em H₂O), Fósforo disponível (P), Potássio trocável (K⁺), extraído em solução Mehlich¹ e quantificados em espectrofotometria e fotometria de chama respectivamente; Cálcio trocável (Ca²⁺), Magnésio trocável (Mg²⁺), Alumínio trocável (Al³⁺) em extração com KCl¹ molar, quantificados por titulação e Matéria Orgânica do solo, quantificada por oxidação com dicromato.

As medidas descritivas avaliadas foram: média, mediana, coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria e curtose com o auxílio do software GS+ versão 7.0 (Gamma Design Software®). De acordo com os valores de CV, a variabilidade dessas variáveis foram classificadas, segundo Warrick & Nielsen (1980) em baixa (CV < 12%), média (12% < CV < 62%) e alta (CV > 62%).

As variabilidades espaciais foram determinadas por meio de exames de semivariogramas obtidos, ajustados a modelos teóricos para obtenção de seus parâmetros (pepita, patamar e alcance). Após o ajuste dos semivariogramas, os dados foram aplicados diretamente na interpolação por krigagem ordinária para a geração dos mapas das variáveis: pH (em H₂O), Fósforo (mg/dm³), Potássio (mg/dm³), Cálcio (cmolc dm⁻³), Magnésio (cmolc dm⁻³), Hidrogênio + Alumínio (cmolc dm⁻³), Matéria Orgânica do solo (%).

Para análise do grau de dependência espacial (GDE) das variáveis foi utilizada a relação C/(C+C₀), classificada segundo Dalchiavon et. al (2012) como forte (GDE ≤ 25 %), moderada (25 ≤ GDE < 75 %) e baixa dependência (GDE ≥ 75 %). Os modelos de semivariogramas considerados foram o linear, o esférico, o exponencial e o gaussiano, sendo ajustados por meio do programa GS+ versão 7.0. Após a escolha do melhor modelo com base no maior r² e menor soma de quadrado do resíduo, foi possível realizar a construção dos mapas de isolinhas pelo software GS+ versão 7.0, que realiza as interpolações utilizando-se o método de

krigagem originária.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando os semivariogramas, os modelos obtidos nas características químicas estudadas, mostraram que foram encontrados grau de dependência espacial forte para as variáveis: Ph, K⁺ (potássio trocável), Ca²⁺ (cálcio trocável), Mg²⁺ (magnésio trocável), M.O (matéria orgânica), H+Al (hidrogênio+alumínio) e P (fósforo disponível), respectivamente (Tabela 1). As variáveis Ph, K⁺ (potássio trocável), Mg²⁺ (magnésio trocável) e H+Al (hidrogênio+alumínio), se ajustaram ao modelo esférico, sendo que P (fósforo disponível), Ca²⁺ (cálcio trocável) e M.O (matéria orgânica), se ajustaram ao modelo gaussiano (Tabela 1). Segundo Miles et al. (2008) quando os semivariogramas se ajustam a algum dos modelos observados, existe um ponto a partir de um determinado valor da distância entre pontos amostrados, na qual não mais se observa dependência espacial, isto é dado pelo fato desses modelos possuírem patamares. Os coeficientes de determinação (r²) indicam a qualidade do ajuste do modelo de semivariograma teórico experimental, sendo que valores próximos da unidade indicam bom ajuste (SILVA; FERRARI, 2011).

Tabela 1. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as características químicas do solo em uma área de integração lavoura-pecuária-floresta

Variáveis	Modelo	(C0)	(C0+C1)	A	GDE(%)	Classificação	R ²
Ph (H ₂ O)	Esférico	0,002	0,0489	6,89	4,089	Forte	0,32
P (mg/dm ³)	Gaussiano	0,08	0,729	8,02	10,97	Forte	0,69
K ⁺ (mg/dm ³)	Esférico	0,0002	0,004	8,37	5,00	Forte	0,93
Ca ²⁺ (cmolc/dm ⁻³)	Gaussiano	0,016	0,147	4,55	10,88	Forte	0,99
Mg ²⁺ (cmolc/dm ⁻³)	Esférico	0,003	0,027	11,48	11,11	Forte	0,97
H+Al (cmolc/dm ⁻³)	Esférico	0,028	0,487	7,81	5,74	Forte	0,57
M.O (%)	Gaussiano	0,003	0,057	23,07	5,26	Forte	0,99

*C0: Efeito Pepita; (C0+C1): Patamar; A: Alcance; GDE: grau de dependência espacial; P: Fósforo disponível; K⁺: Potássio trocável; Ca²⁺: Cálcio trocável; Mg²⁺: Magnésio trocável; H + Al: Hidrogênio + Alumínio; M.O: Matéria orgânica;

Na observância do mapa de isolinhas, verifica-se que a característica Ph, variou de 5,62 a 6,27 dentro da área (Figura 2A). Os valores máximos de Ph, foram mais enunciados próximo ao espaçamento (12 x 2 m) entre as fileiras de eucalipto (Figura 1), onde o milho foi associado às forrageiras Mombaça (MM12) e Brachiária (MB12) (Figura 2A). Para entender a dinâmica da acidez nessa área, devemos analisar o mapa de isolinhas relativo ao parâmetro químico H + Al (hidrogênio + alumínio) e analisar os fatores de formação do solo (Figura 2F). A figura 2F, nos mostra a distribuição desses dois elementos na área, ocorrendo naturalmente maior quantidade de hidrogênio e alumínio justamente no local onde existe uma mancha de solo divergente. Santos, et. al, (2009), após compararem as propriedades químicas e físicas do solo, em áreas sob pastagens no cerrado do norte tocantinense, observaram que as propriedades físicas e pH para as classes

de solos, possuíam características e/ou propriedades diferenciadas, podendo estas, ser fator para entender de forma espacial a variabilidade e compreender a diferenciação na produtividade.

Em relação à distribuição do elemento P (fósforo disponível), o mapa de isolinhas (Figura 2B) demonstra o perfil de extração desse nutriente no solo em relação à exigência das culturas que foram instaladas. Em locais onde foram implantadas a cultura do sorgo, nota –se claramente um maior resíduo de fósforo disponível no solo, em comparação à cultura do milho, que é grande extratora desse nutriente. Esse diagnóstico se torna mais evidente, quando partimos do pressuposto de que todas as culturas receberam a mesma adubação de plantio. Oliveira et al., (2010), analisando a extração de nutrientes do solo por quatro espécies forrageiras utilizadas comumente para ensilagem, dentre elas, o milho e o sorgo forrageiro, verificaram após a colheita, que o nível de extração de fósforo do sorgo forrageiro foi de 29,7 kg/ha, ao passo que na cultura do milho, essa exportação foi de 33,1 kg/ha, dadas exigências nutricionais mais elevadas, desta, em relação àquela. Quanto à distribuição do nutriente K^+ (potássio trocável), verificou – se o mesmo perfil de extração observado para o P (fósforo disponível). Naqueles locais onde foram implantadas culturas menos exigentes (sorgo forrageiro), observa – se maiores resíduos de K^+ (potássio trocável) (Figura 2C). Em relação a esse nutriente, foi observada uma grande amplitude dentro da área, ocorrendo variação de 0,09 mg/dm³, para os menores valores, a 0,280 mg/dm³ (Figura 2C), sendo verificada grande exportação desse elemento pelas culturas instaladas; haja vista análises anteriores à implantação das cultivares, terem demonstrado um nível de 17 mg/dm³ no solo. Os níveis de Ca^{2+} (cálcio trocável) e de Mg^{2+} (magnésio trocável) variaram de 1,17 a 2,39, e 0,88 a 1,4 mg/dm³, respectivamente (Figura 2D e 2E). Antes da implantação do experimento, foi realizada calagem, aumentando em sobremaneira os teores destes nutrientes no solo. A distribuição desses elementos, divergiram contrariamente ao ocorrido em relação ao potássio e fósforo. São observados maiores níveis de extração de cálcio e magnésio, principalmente nos locais de implantação da cultura do sorgo, sendo verificados através dos mapas de isolinhas (Figura 2D e 2E), padrões semelhantes de variação de ambos no decorrer da área. De acordo com Albuquerque et al., (2013) a colheita de plantas inteiras para uso como forragem, promove intensa remoção de nutrientes das áreas de cultivo, quando comparadas apenas a colheita de grãos. Pitta et al. (2001), estudando a extração média de nutrientes pela cultura do sorgo em diferentes níveis de produtividade, verificaram que as extrações de Ca e Mg aumentam linearmente com o acréscimo na produtividade.

Os teores de matéria orgânica do solo, aumentaram linearmente, acompanhando o sentido em que foram plantados os eucaliptos. Ocorreu aumento de 0,5 % na matéria orgânica, com variação de 0, 2 a 0,7 % do menor para o maior (Figura 2G). Essa grande variabilidade da matéria orgânica, foi ocasionada, por um melhor desenvolvimento na estrutura do dossel dos eucaliptos no decorrer da linha de plantio. As plantas que melhor se desenvolveram, apresentaram maior porte e diâmetro do seu dossel, produzindo mais sombreamento. Esse fato refletiu em maior acúmulo de serapilheira em suas bases, dado em função de maiores teores de material morto, oriundo do alongamento de hastes do pasto, com conseqüente aumento na

mortalidade de folhas da base da planta. Rocha, et al., (2016), avaliando o acúmulo de forragem da *Urochloa brizantha*, cv. Piatã, integrada ao milho, observou que o efeito do sombreamento do milho sobre o dossel do pasto, influenciou em maior acúmulo de material morto na base da planta. Segundo os autores, isso ocorre devido à mudança da relação fonte dreno, dado pelo porte da cultura anual em relação à planta forrageira.

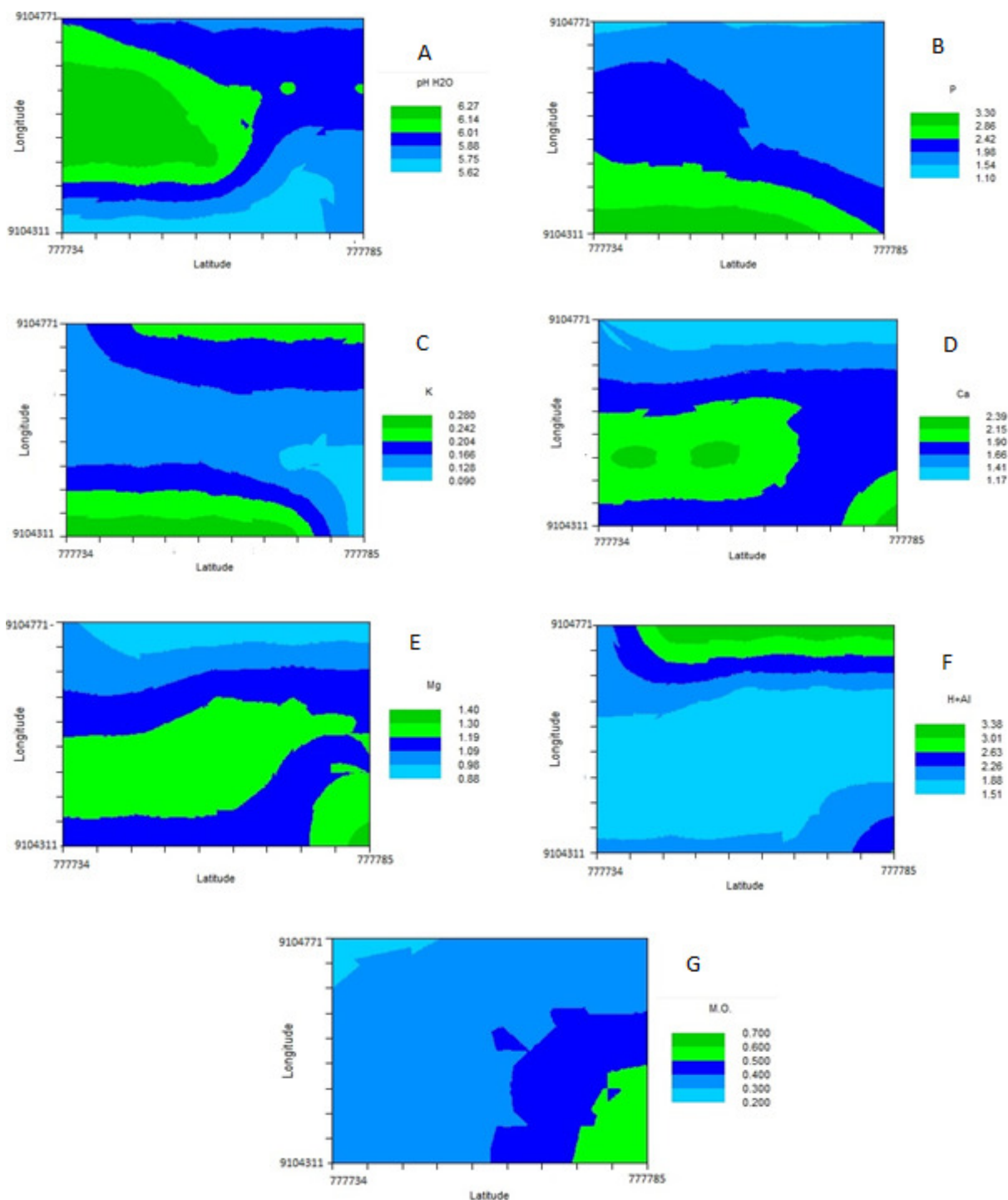


FIGURA 2. (A) Mapa espacial de Ph do solo; (B) Mapa espacial de Fosforo no solo; (C) Mapa espacial de Potássio no solo; (D) Mapa espacial de Cálcio no solo; (E) Mapa espacial de Magnésio no solo; (F) Mapa espacial H+AL; (G)

Mapa espacial de Matéria Orgânica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi verificada dependência espacial entre as características químicas do solo no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. O uso de mapas de isolinhas, mostrou - se capaz de diagnosticar a variabilidade existente nos elementos químicos que compõem o solo, e planejar melhor esses sistemas de produção. Em estudos futuros, poderemos analisar o ciclo de deposição e evolução dos nutrientes, além do impacto desses sistemas de produção nas características químicas a longo prazo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.J.B.; CAMARGO, R.; SOUZA, M.F. **Extração de macronutrientes no sorgo granífero em diferentes arranjos de plantas**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.12, n.1, p. 10-20, 2013.

BROWN, S; SCHREIER, H; SHAH, P.B. Soil phosphorus fertility degradation: a Geographic Information System-based assessment. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, n.4, p.1152-1160, 2000.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 43, n. 3, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.

IBRAHIM, M; DELGADO, J.M.; CASASOLA, F. Ganadería y Medio Ambiente en Mesoamérica. Potencialidades y experiencias de investigación y desarrollo del **CATIE** en la región. Curso Internacional sobre Ganadería y Medio Ambiente. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp. 25, 2003.

SILVEIRA JUNIOR, O; SANTOS, A.C; SANTOS, P.M; ROCHA, J.M.L; ALEXANDRINO, E. **Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas sob diferentes usos agrícolas**. Engenharia na agricultura, viçosa - mg, V.22 N.5, SETEMBRO 442-455p. / OUTUBRO 2014.

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.
MILES, D.M.; ROWE, D.E.; OWENS, P.R. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: temporal and spatial trends. **Atmospheric Environment**, v.42, p.3351-3363, 2008.

MURGUEITIO, E. Investigación participativa en sistemas silvopastoriles integrados: La experiencia de CIPAV en Colombia. **Taller Internacional Ganadería Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**. La Habana, Cuba. 207p. 2003.



OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.P.; VIANA, A.L.S.; MATSUMOTO, S.N.; CARVALHO, G.G.P.C.; RIBEIRO, L.S.O. Produtividade, composição química e características agrônômicas de diferentes forrageiras. R. Bras. Zootec., v.39, n.12, p.2604-2610, 2010.

PITTA, G. V. E.; VASCONCELLOS, C. A.; ALVES, V. M. C. Fertilidade do solo e nutrição mineral do sorgo forrageiro. In: CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J. Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p. 519-544.

ROCHA, J.M.L.; SANTOS, A.C.; SILVEIRA JUNIOR, O.; FERREIRA, C.L.S.; SANTOS, J.G.D.; SILVA, R.R. **Desempenho produtivo e morfogênese do capim-piatã em sistemas consorciados sobre influência do nitrogênio. Tecnologia & Ciências Agropecuárias**, João Pessoa, v.10, n.3, p.8-18, 2016.

SANTOS, A. C.; FERREIRA, E. M.; ARAÚJO, L. C. Propriedades químicas e físicas de solos em áreas sob pastagens em cerrado do norte do Tocantins. Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, v. 7, n. 1, p. 55-63, jan./mar. 2009.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF. Embrapa. 2ª Edição., 2009. 624p.

SILVA, S.F; FERRARI, J.L. Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicos da água em viveiros de piscicultura. In: II Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias, 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2011, p. 35 – 41.

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. p.319-344.