



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE ARAGUAÍNA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
TROPICAL**

ANDERSON DA SILVA RICARDO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB CAPIM MOMBAÇA
INTEGRADO COM ALEIAS DE EUCALIPTO**

ARAGUAÍNA – TO

2018

ANDERSON DA SILVA RICARDO

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB CAPIM MOMBAÇA
INTEGRADO COM ALEIAS DE EUCALIPTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal Tropical.

Orientador: Prof.^o Dr.^o Luciano Fernandes Sousa

Coorientador: Prof.^o Dr.^o Antônio Clementino dos Santos

ARAGUAÍNA - TO

2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

R488a Ricardo, Anderson da Silva.

Atributos químicos de solo sob capim Mombaça integrado em aleias de eucalipto. / Anderson da Silva Ricardo. – Araguaína, TO, 2018.

27 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciência Animal Tropical, 2018.

Orientador: Luciano Fernandes Sousa

Coorientador: Antônio Clementino dos Santos

1. Fertilidade do Solo. 2. Integração Pecuária Floresta. 3. Análise Multivariada. 4. Atributos Químicos. I. Título

CDD 636.089

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ANDERSON DA SILVA RICARDO

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB CAPIM MOMBAÇA
INTEGRADO COM ALEIAS DE EUCALIPTO

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal Tropical. Foi avaliada
para obtenção do título de Mestre em
Ciência Animal Tropical e aprovada
em sua forma final pelo orientador e
pela banca examinadora.

Data de Aprovação: 07/08/2018

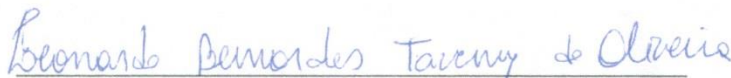
Banca Examinadora:



Prof.º Dr.º Luciano Fernandes Sousa



Prof.º Dr.º Antônio Clementino dos Santos



Dr.º Leonardo Bernardes Taverni de Oliveira

A Deus, o eterno amigo. A minha esposa e companheira Karolina M. A. Silva, a minha mãe Laurinete M. S. Pontillo, a minha querida irmã Adriana S. Ricardo, pela compreensão, colaboração e amor incondicional, por vocês eu vivo. Aos meus amigos de todas as horas a vocês eu dedico.

AGRAECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre me fortalecer nos momentos mais difíceis, por me fazer acreditar que isso tudo seria possível.

Agradeço a minha esposa Karolina, que foi a faísca que me fez prestar a prova do mestrado e a base que me sustentou em todo o processo, pelo apoio, pelo amor e pelos puxões de orelha, eu agradeço.

Agradeço a minha mãe Laurinete, meu padrasto Baltazar e minha irmã Adriana pelo amor, compreensão e ajuda em todos os momentos.

Aos meus amigos que mesmo na distância sempre me apoiam e me dão forças, Thiago, Rafael, Renato, Pedro, Lucas e Matheus.

Ao meu orientador, Luciano Fernandes de Souza sempre solícito compreensivo e disposto a ajudar.

Ao meu coorientador Antônio Clementino dos Santos pelas aulas de solo e pelo esforço em me auxiliar nessa jornada.

Aos amigos da pós, Leonardo Taverni, pela ajuda nas correções deste trabalho e pelas lições de geoestatística, e aos companheiros de turma Leide Karla, Tatiane, Samea, Jeferson, vulgo Xibel e Hugo, obrigado.

Aos técnicos Lucas, Klezion e Josimar, que me deram suporte nas análises laboratoriais.

A CAPES pela bolsa de mestrado e a UFT e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical pela oportunidade.

A vocês meus sinceros agradecimentos, sem vocês a realização deste trabalho não seria possível.

RESUMO

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é útil para o uso racional de insumos, como na aplicação localizada de corretivos e fertilizantes. Objetivou-se, nesta pesquisa analisar a qualidade química de um Latossolo Vermelho Eutrófico sob cultivo de pastagem de *Megathyrsus maximum* cv. Mombaça em sistema integrado com *Eucalyptus urophylla* utilizando análise multivariada. O estudo foi realizado numa fazenda localizada no município de Palmeiras do Tocantins, os dados foram coletados numa área de 6,04 hectares sob sistema de plantio integrado de *Megathyrsus maximum* cv. Mombaça com linhas duplas de *Eucalyptus urophylla* com espaçamento médio de 110 m entre os renques, na qual foram coletadas 40 amostras em duas profundidades, 0,00 – 0,10m e 0,10 – 0,20m. O solo foi classificado como um Latossolo Vermelho Eutrófico típico, foram avaliados os atributos do solo pH (CaCl₂), Ca, Mg, Al, K, P, SB, CTC, H+Al e V além de teores de Areia, Silte e Argila. Com os resultados de análise de solo os dados foram submetidos à estatística descritiva e posterior análise dos componentes principais (ACP). De modo geral as variáveis que mais contribuíram na formação dos componentes, independente da profundidade amostrada foram: pH, Ca, Mg, P, H+Al, e V e somente na profundidade 0,00 – 0,10 m Areia e Argila. As variáveis que não contribuíram na formação dos componentes foram Silte, Al, K, CTC e SB. Através da análise dos componentes principais foi possível entender a dinâmica dos atributos químicos do solo, avaliar a qualidade química do mesmo e correlacionar com o manejo de calagem e adubação praticado na fazenda.

Palavras-chave: *Fertilidade do solo, integração pecuária-floresta, sistemas de produção, sistemas integrados.*

ABSTRACT

Knowledge of the spatial variability of soil chemical components are useful for the rational use of agricultural inputs, such as the localized application of soil acidity correctives and fertilizers. The objective of this work was the chemical analysis of an eutrophic Red Latosol under pasture cultivation of *Megathyrus maximum* cv. Mombaça in an integrated system with *Eucalyptus urophylla* using multivariate analysis. The study was done in a farm located in the city of Palmeiras do Tocantins, with an area of 6.04 hectares under the integrated planting system of *Megathyrus maximum* cv. Mombasa with double lines of *Eucalyptus urophylla* with an average spacing of 110 m between rows, in which 40 samples were collected at two depths, 0.00 - 0.10 m and 0.10 - 0.20 m. The soil was classified as a Red Eutrophic Latosol, the attributes of soil pH (CaCl₂), Ca, Mg, Al, K, P, SB, CEC, H + Al and V were evaluated, as well as sand, silt and clay. With the results the data were submitted to descriptive analysis and subsequent of principal components analysis (PCA). In general the chemical soil attributes that most contribute to the formation of components, regardless of depth measurement: pH, Ca, Mg, P, H + Al, and only on the surface 0.00 - 0.10 m sand and clay . The variables that did not contribute to the formation of the components were Silt, Al, K, CEC and SB. Through the analysis of the main components it was possible to understand the dynamics of soil chemical attributes, to evaluate the chemical quality of the soil and to correlate with the management of liming and fertilization practiced in the farm.

Key-words: *Integrated systems, livestock-forest integration, production systems, soil fertility.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise descritiva dos atributos químicos de um solo sob pastagem de *Megathyrus maximum* cv. Mombaça em duas profundidades, p1(0,00 – 0,10m) e p2 (0,10 – 0,20m).....17

Tabela 2 – Autovalores e porcentagem da variância pela análise dos componentes principais para os atributos químicos do solo.....20

Tabela 3 – Correlação entre variáveis originais e componentes principais nas profundidades, p1(0,00 – 0,10m) e p2 (0,10 – 0,20m).....21

LISTA DE SIGLAS

pH	Potencial Hidrogeniônico
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
Al	Alumínio
K	Potássio
H+Al	Acidez Potencial
SB	Soma de Bases
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
V	Saturação por Bases
m	Saturação por Alumínio
SAF	Sistema agroflorestal
ACP	Análise dos Componentes Principais
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
N-P-K	Nitrogênio-Fósforo-Potássio
Zn	Zinco
IPF	Integração pecuária floresta
CP	Componente Principal
p1	Profundidade 0,00 – 0,10m
p2	Profundidade 0,10 – 0,20m
CV	Coeficiente de variação
SPD	Sistema de Plantio Direto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4 CONCLUS.....	23
REFERÊNCIAS.....	24

1 INTRODUÇÃO

Os processos pedogenéticos do solo refletem a grande heterogeneidade natural sobre os atributos químicos, físicos e biológicos tanto na direção vertical quanto na direção horizontal. A desuniformidade do material de origem do solo aliado às diversas formas de atuação do intemperismo são as responsáveis por este comportamento, principalmente nas camadas mais superficiais (KÄMPF e CURI, 2012).

Em áreas de cultivo, sejam estas culturas vegetais ou animais, acrescenta-se a variabilidade natural do solo, fontes adicionais de variabilidade ocasionados por meio da influência do homem no manejo agropecuário. No cultivo de plantas em linha a constante aplicação localizada de fertilizantes nas culturas influencia diretamente os atributos químicos, físicos e biológicos impactando com maior intensidade as camadas superficiais (BECKETT e WEBSTER, 1971). Já no cultivo de pastagens especificamente as aplicações de fertilizantes pós-implantação são realizadas a lanço em área total, sendo a variabilidade influenciada pela qualidade da operação de distribuição – granulometria do fertilizante/corretivo, manutenção e regulagem de equipamentos distribuidores, capacitação do operador, entre outros pontos. O entendimento destas variações é imprescindível para o levantamento e classificação dos solos, para o desenvolvimento e uso de estratégias de amostragens mais adequadas, para a avaliação de sua fertilidade, planejamento experimental ou comercial e para as definições de práticas apropriadas de manejo e recuperação (GUIMARÃES et al., 2016).

Dentre os atributos químicos do solo podemos citar a capacidade de troca de cátions, a saturação por bases e por alumínio, o pH, os teores de Cálcio, Magnésio, Fósforo, Potássio e demais nutrientes, sejam eles macro ou micronutrientes. O método mais utilizado para avaliação destes atributos é a análise química do solo, prática bastante difundida dentre os agricultores, porém ainda de pouco uso dentre os pecuaristas (CARDOSO et al., 2011).

A prática da análise de solo deve ser realizada regularmente pelo pecuarista, pois assim como nos cultivos de soja, milho e feijão a pastagem deve ser considerada como uma cultura de igual interesse comercial, pois esta é a base da alimentação mais economicamente viável e abundante da pecuária leiteira e de corte. Não somente para indicar os níveis dos atributos químicos do solo e sim

nortear o planejamento do manejo de correções e adubações da propriedade com embasamento teórico centrado nas particularidades de cada área. Como indicador de qualidade do solo a análise química não deve ser tomada como única fonte de informações visto que um pasto pode apresentar elevados teores de nutrientes no solo e apresentar baixa cobertura devido a escolha incorreta da espécie forrageira, ou devido manejo de pastejo incorreto (SILVA et al., 2011).

Rocha Junior (2012) em sua dissertação observou uma correlação entre o nível de degradação e os indicadores químicos de qualidade em quatro pastagens quando comparadas entre si e com áreas de recuperação natural e área de mata nativa, esta utilizada como referência. Os atributos por ele utilizados como indicador de qualidade e que proporcionou a classificação dos manejos estudados em níveis de degradação foram: pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al^{3+} , V e m. Seus resultados permitiram inferir que o manejo influencia na perda de qualidade química do solo, corroborando com a forte tendência de implantações de sistemas sustentáveis, através de práticas conservacionistas e do manejo adequado das pastagens.

Além disso, Cardoso e colaboradores (2011) verificaram que na conversão de áreas de vegetação nativa em áreas de pastagem cultivada houve uma variação nos atributos químicos do solo estudado. As maiores diferenças foram encontradas na camada de 0-10 cm onde os teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , a soma de bases trocáveis, e a capacidade de troca catiônica foram afetados de forma negativa.

Ao avaliarem a qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense, Cardoso et al. (2011), observaram que as pastagens promoveram alterações significativas nos atributos químicos do solo, notadamente na camada de 0–10 cm, o que é evidenciado pela redução da fertilidade do solo nas áreas de pastagens cultivadas, implantadas em substituição às respectivas vegetações nativas. O mesmo processo ocorreu na pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo, quando comparada com a pastagem nativa sem pastejo por 19 anos, porém sem diferir da pastagem nativas em pastejo por três anos.

Os atributos químicos do solo foram observados para os diferentes sistemas (SAF, convencional e floresta nativa) e profundidades amostradas. Na floresta nativa os valores de pH foram mais elevados na camada de 0-20 cm, acompanhados da elevação do Al trocável e da saturação por alumínio (m) em profundidade. Nessas condições, a maior parte dos nutrientes encontra-se na biomassa e na matéria

orgânica presente nos primeiros centímetros do solo. Em todos os sistemas, com o aumento da profundidade há menor saturação por bases e aumento da saturação por Al, influenciando o pH do solo (SILVA et al., 2011).

As áreas sob coberturas vegetais de floresta e pastagem, independente do solo avaliado (Vertissolo ou Argissolo), apresentaram elevados teores de Ca e Mg, já que teores acima de 3 mmolc.dm^{-3} , são elevados para a grande maioria das culturas cultivadas e refletem o material de origem andina na formação destes solos. Foram atribuídos os teores de nutrientes mais elevados em algumas áreas com cobertura florestal nativa, comparativamente a pastagens ou outros usos agrícolas, porque há maior ciclagem de nutrientes na floresta natural (LOSS et al., 2014).

Os diversos atributos físicos, químicos e biológicos do solo são utilizados para a sua caracterização e muitos são analisados em conjunto, o que, ao ser realizado por meio de métodos estatísticos univariados, aumenta a dimensionalidade do problema além de onerar o processo (SILVA et al., 2010). Uma forma de manusear esses dados é por meio de técnicas de análise estatística multivariada, como a análise componentes principais (ACP) por exemplo, que visa explicar a estrutura de variância de um grande número de variáveis, pela construção de combinações lineares dessas e da redução dimensional do fenômeno em estudo. Santi et al. (2012) comentam que o uso da técnica de redução de variáveis na estatística multivariada, é importante para selecionar os principais componentes, para identificar e interpretar a distribuição das variáveis originais.

Segundo Cruz & Regazzi (2001), quando se analisa um grande número de variáveis, a estatística multivariada possibilita novas interpretações e possíveis soluções de problemas que não seriam percebidos pela estatística univariada. Freitas et al. (2014) utilizaram a análise de agrupamento e de componentes principais na interpretação do comportamento de atributos físicos de um solo sob três formas de manejo e identificaram a formação de dois grupos, um formado pela mata nativa e o outro pela área em reflorestamento e a área cultivada com cana-de-açúcar. Os autores salientam ainda que a metodologia utilizada se mostrou eficiente para verificar a similaridade entre os diferentes manejos estudados. Campos et al. (2012) utilizaram técnicas de análise multivariada e mostrou existir diferença nas concentrações das frações granulométricas na caracterização de três diferentes formas de relevo. Segundo os autores, esta técnica facilita compreender o comportamento dos atributos físicos e químicos do solo, que estão principalmente

relacionados com a topografia do terreno; estes afirmam ainda que os métodos multivariados são mais eficientes do que os univariados nesse tipo de estudo.

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a qualidade química de um Latossolo Vermelho Eutrófico sob cultivo de pastagem de *Megathyrus maximum* cv. Mombaça em sistema integrado com *Eucalyptus urophylla* utilizando análise multivariada. Especificamente avaliou-se pH (potencial hidrogeniônico), SB (Soma de Bases), H + Al (Acidez Potencial), Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), P (Fósforo), K (Potássio), MO (Matéria Orgânica), V (Saturação em Bases) e CTC (Capacidade de Troca Catiônica).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de dados foi realizada numa área de pastagem plantada em sistema convencional de *Megathyrus maximum* cv. Mombaça localizada no município de Palmeiras do Tocantins, na Fazenda Gaúcha de propriedade do senhor Ademir José Ferreira de Godoy. A fazenda está localizada entre as coordenadas geográficas de 06° 38' de latitude sul e 47° 37' longitude oeste, com altitude média de 202 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948) é Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno e pluviosidade média de 1800 mm e temperatura média de 28°C.

O solo predominante na área amostrada foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, com teor de argila médio de 283,8 g.kg⁻¹, portando sendo consideradas áreas de textura média segundo Embrapa (SANTOS, et al., 2013). O relevo da área é predominantemente suave ondulado, com declividade média de 2 a 4%. O local de amostragem está sob cultivo a nove anos, sendo os quatro primeiros sob cultivo de arroz de sequeiro e a partir de 2013 cultivada sob pastagem plantada integrada com eucalipto.

Na safra 2008/2009 toda a fazenda foi aberta para cultivo, na ocasião foi realizado o preparo convencional do solo com aplicação de 3 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico incorporado no solo. Durante as safras 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012 foram plantados arroz de sequeiro em toda a extensão da Fazenda, a cultura era adubada no plantio com 200 kg.ha⁻¹ de formulado 08-20-25 (N-P-K) + 0,5% Zn, colhida e a palhada era deixada na área até a próxima safra.

Após os quatro anos de cultivo de arroz a área foi convertida para pastagem, parte da área total foi implantada de forma convencional e outra parte foi implantada em integração pecuária-floresta (IPF). Foi realizado aplicação em área total de 2 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico incorporado no solo antes do plantio a lanço de *Megathyrus maximum* cv. Mombaça foi também realizado o plantio em nível de clones de eucalipto com espaçamento entre linhas médio de 110 m, sendo o máximo espaçamento 150 m e o mínimo 90 m. Durante todos os anos de cultivo, anualmente foi aplicado em área total: 2 t.ha⁻¹ de esterco de frango curtido produzido na própria fazenda. Nos anos de 2013, 2015 e 2017 foram aplicados 2 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico em superfície em área total.

Foi confeccionada uma malha geoestatística composta por 40 pontos amostrais georreferenciados no espaçamento 15x15 m distribuídos numa área de 6,04 hectares, em cada ponto georeferenciado foi obtido uma amostra de solo composta por cinco amostras simples, representativas das camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade. As amostras simples foram coletadas com trado holandês em um raio de 3,0 m do ponto georeferenciado e, após homogeneização, retirou-se aproximadamente 300 g de solo que foram colocados em embalagem plástica identificada.

As amostras de solo, após serem secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm de abertura, foram analisadas determinando-se teores de areia, silte e argila (análise granulométrica - dispersão total), pH (Cloreto de Cálcio), P e K (Mehlich-1), Ca, Mg e Al trocáveis (Cloreto de Potássio), Acidez potencial (Acetato de Cálcio). Com os resultados foram calculados, SB – Soma de bases (Ca + Mg + K), CTC_{pot} – Capacidade de troca de cátions potencial (SB + Acidez Potencial), V – Saturação por bases ($100 \times SB / CTC_{pot}$), (DONAGEMA et al.; 2011).

Os dados de solo foram submetidos à estatística descritiva, calculando-se média, mediana, máximo, mínimo, coeficiente de variação, coeficiente de curtose, coeficiente de assimetria.

A análise de componente principal (ACP) foi realizada, de forma a identificar variáveis que explicam a maior parte da variação apresentada nos dados de originais (LIMA et al., 2013). Essas componentes são construídas pela combinação da correlação entre as demais variáveis e são extraídas em ordem de importância em termos de sua contribuição para a variação total dos dados (KENT, COKER, 1992). A seleção do número de componentes principais (CP) foi baseada no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlações, utilizando-se os componentes associados a autovalores superiores a 2,5. No caso da correlação das componentes com os atributos químicos do solo, consideraram-se significativos os valores superiores a $|0,70|$, conforme Figueiredo Filho & Silva Junior (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para os valores de Areia, Silte, Argila, pH, Ca, Mg, Al, K, P, SB, H + Al, CTC e V são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise descritiva dos atributos químicos de um solo sob pastagem de *Megathyrus maximum* cv. Mombaça em duas profundidades, p1 0-10cm e p2 10-20 cm.

Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio	CV (%)
Areia ^{p1}	630.19	630.75	508.00	854.00	81.81	13%
Areia ^{p2}	638.79	625.00	569.50	801.00	51.09	8%
Silte ^{p1}	94.82	86.65	8.75	194.90	47.97	51%
Silte ^{p2}	68.60	66.53	9.20	134.85	31.35	46%
Argila ^{p1}	275.00	279.45	137.25	364.40	49.43	18%
Argila ^{p2}	292.61	304.85	166.45	364.70	49.01	17%
pH ^{p1}	5.42	5.60	2.61	6.77	0.97	18%
pH ^{p2}	5.28	5.49	3.32	5.98	0.69	13%
Ca ^{p1}	2.72a	2.70	1.20	3.72	0.54	20%
Ca ^{p2}	2.37b	2.35	1.01	3.37	0.65	27%
Mg ^{p1}	2.37a	2.36	1.10	3.58	0.57	24%
Mg ^{p2}	2.08b	2.16	0.47	3.35	0.69	33%
Al ^{p1}	0.02	0.00	0.00	0.94	0.13	632%
Al ^{p2}	0.03	0.00	0.00	0.54	0.13	443%
K ^{p1}	35.67a	29.07	7.02	98.25	26.48	74%
K ^{p2}	25.04b	19.05	7.01	58.15	15.43	62%
P ^{p1}	4.08a	3.76	3.23	7.50	0.88	22%
P ^{p2}	3.63b	4.52	2.98	5.48	0.58	16%
SB ^{p1}	5.19a	5.60	2.67	7.41	0.98	19%
SB ^{p2}	4.51b	3.38	1.65	6.38	1.29	29%
H+Al ^{p1}	3.29	2.99	1.06	7.92	1.60	48%
H+Al ^{p2}	3.52	3.17	2.36	6.75	1.15	33%
CTC ^{p1}	8.47a	8.24	5.47	13.75	1.68	20%
CTC ^{p2}	8.09b	7.97	5.39	13.01	1.59	20%
V ^{p1}	62%a	64%	29%	88%	0.12	20%
V ^{p2}	56%b	58%	25%	73%	0.11	20%

p1: profundidade 0-10 cm; p2: profundidade 10-20 cm; Médias seguidas por mesma letra minúscula, para a mesma variável, não diferem significativamente pelo teste t (valor – $p \leq 0,05$)

Para fins de comparação, foram adotados os limites de coeficiente de variação (CV) propostos por Warrick e Nielsen (1980), para a classificação da variabilidade dos atributos analisados, sendo: $CV < 12 \%$, $12 \% < CV < 60 \%$ e $CV > 60 \%$, considerados de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente. Nota-se a

partir da Tabela 1 que todos os atributos avaliados apresentaram CV acima de 12%, 16 observações com CV médio e 4 observações com CV classificado como alto. Na profundidade de 0,00 – 0,10m das 10 variáveis analisadas 8 apresentaram CV médio e 2 apresentaram CV alto. O mesmo comportamento foi observado na profundidade 0,10 – 0,20m. De modo geral os resultados observados apresentaram comportamento semelhante ao constatado na literatura, visto que os atributos químicos do solo apresentam, em sua maioria, maiores CV (BARBIERI et al, 2017; CARNEIRO^a et al, 2016; DIAS et al, 2015; SANTOS^b et al, 2015).

Os maiores CV encontrados foram para variável Al, 632% e 443% seguidos da variável K, 74% e 62% nas profundidades 0,00 – 0,10m e 0,10 – 0,20m respectivamente. Já os menores CV foram encontrados na variável pH, 18 % e 13% nas profundidades 0,00 – 0,10m e 0,10 – 0,20m respectivamente.

Para caracterizar a fertilidade do solo foi utilizado os critérios estabelecidos por Tomé Junior (1997) para pH em CaCl₂ e por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) para os demais atributos. Em relação à acidez do solo o pH médio na superfície do solo foi de 5,42 e na camada de 0,10 – 0,20 m foi observado 5,28 de média, para ambas as profundidades o valor de pH foi classificado como média acidez segundo Tomé Junior (1997). Níveis de acidez semelhantes foram encontrados em outros estudos em áreas cultivadas sob soja em SPD (DIAS et al., 2015; LIMA, SILVA e SILVA, 2015) e cultivadas sob pastagens (BARBIERI et al., 2017; MONTANARI et al., 2013). Entretanto ao observarmos a amplitude dos valores de pH conclui-se que existem áreas com elevados níveis de acidez no solo o que compromete o bom desenvolvimento das plantas.

Os níveis de Potássio (Tabela 1), foram considerados baixos independente da profundidade amostrada, 35,67 e 25,04 mg.dm⁻³ respectivamente. Já os níveis de Fósforo foram considerados como muito baixos também para as duas camadas amostradas, 4,08 e 3,63 mg.dm⁻³. Além do mais, os CV de variação para estes atributos foram classificados como médio ou alto, demonstrando uma heterogeneidade na fertilidade do solo, que é dada principalmente pela forma de aplicação destes nutrientes, realizada anualmente via cama de frango curtida aplicado em superfície e em área total. Resultados semelhantes foram observados num Argissolo Vermelho sob pastagem degradada (BARBIERI et al., 2017). Já em trabalhos sob culturas anuais como soja, milho e feijão, por exemplo, os níveis observados destes atributos foram maiores devido ao maior investimento em

adubação praticado nestes sistemas de cultivo (BERNARDI et al., 2014, BERNARDI et al., 2017; CARNEIRO et al., 2016^a; VIAN et al., 2016).

Para os macronutrientes, os níveis de Cálcio foram considerados bons na superfície e médio na subsuperfície. Já para o Magnésio em ambas as profundidades os níveis encontrados foram classificados como muito bom (TOMÉ JUNIOR, 1997). Entretanto cabe a mesma colocação feita anteriormente, a variação entre o máximo e mínimo amostrado para os atributos foi muito elevada, para Cálcio o mínimo foi 1,2 e 1,01 cmolc.dm^{-3} nas respectivas profundidades e o valor máximo constatado foi de 3,72 e 3,37 cmolc.dm^{-3} . Cabe ressaltar que as variáveis apresentaram médio CV o que novamente confirma uma certa heterogeneidade na fertilidade do solo estudado.

Na profundidade 0,00 – 0,10m os componentes 1, 2, 3, e 4 explicam, respectivamente 31,8, 23,9, 16,3 e 7,3% da variância total dos dados, sendo que juntas as quatro explicam 79,4% (Tabela 2). Já na profundidade 0,10 – 0,20m os 4 componentes juntos explicam 91,2% da variância total dos dados, sendo 40,3, 28,9, 13,9 e 8,0% os valores individuais para os componentes 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

A ACP possibilita melhor avaliação de grupos de atributos inter-relacionadas no solo a partir da sua interpretação, distribuição espacial e correlação com atributos geomorfológicos. Segundo Cruz e Regazzi (2001), em estudos de ACP almeja-se que 70% da variação total acumulada sejam explicadas pelos dois primeiros componentes. Quando tal acumulação não ocorre, pode-se optar pela utilização dos primeiros componentes com autovalores maiores que 1.

Na ACP, para as variáveis na profundidade de 0,00 – 0,10m, foram avaliados os três primeiros componentes que explicaram 72,0% da variabilidade total dos dados e que tiveram autovalores maiores que 1 (Tabela 2), para as variáveis na profundidade de 0,10 – 0,20m foram avaliados os dois primeiros componentes que explicam 69,4% da variabilidade total dos dados.

Tabela 2. Autovalores e porcentagem da variância pela análise dos componentes principais para os atributos químicos do solo.

Componentes	Autovalor	Variância total (%)	Variância acumulada (%)
Profundidade 0.0 - 0.1 m			
1	4.7720	31.8134	31.8134
2	3.5900	23.9335	55.7469
3	2.4465	16.3099	72.0568
4	1.1074	7.3824	79.4392
5	0.8963	5.9753	85.4145
Profundidade 0.1 - 0.2 m			
1	5.6520	40.3714	40.3714
2	4.0569	28.9779	69.3493
3	1.9480	13.9143	83.2636
4	1.1227	8.0191	91.2827
5	0.5638	4.0270	95.3097

Na análise de correlação dos atributos com químicos avaliados com os componentes principais (Tabela 3), no primeiro componente principal da profundidade de 0,00 – 0,10m CP1p1 explica-se 31,8% da variabilidade total dos dados e a elevada correlação positiva com as variáveis pH e V(%) e negativa com H + Al (acidez potencial). Tal correlação identifica a variação na área referente as reações ácido-base no solo, visto que pH esta inversamente relacionado a concentração de íons H⁺ este, um dos fatores da acidez potencial (H + Al). A importância relativa ou influência de cada atributo químico em estudo sobre os componentes é dada pelas suas correlações com os componentes principais.

No segundo componente principal CP2p1, correspondendo a 23.9% da variância total dos dados, observa-se a contribuição dos teores de Ca, Mg e P, que apresentam correlação positiva com o componente. Cabe destacar a leve correlação negativa do teor de areia do solo, o que sugere uma maior influência dos componentes minerais do solo na retenção de bases. Observando maiores teores de Ca, Mg e P nas áreas com menores teores de areia, conseqüentemente é esperado maiores teores de argila no mesmo ponto o que possibilita a maior retenção das de bases. O terceiro componente principal CP3p1, explicaram 16,3% da variância total dos dados, observa-se a contribuição da argila com correlação positiva e da areia com correlação negativa com o componente.

Tabela 3. Correlação entre variáveis originais e componentes principais nas profundidades, p1(0,00 – 0,10m) e p2 (0,10 – 0,20m).

Variável	Componente Principal				
	Prof. 0.0 - 0.1 m			Prof. 0.1 - 0.2 m	
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2
Areia g.kg ⁻¹	0.2525	-0.5550	0.7530	0.1998	0.5698
Silte g.kg ⁻¹	-0.2786	0.4495	-0.5590	0.0850	-0.4641
Argila g.kg ⁻¹	-0.1475	0.4824	-0.7039	-0.2627	-0.2971
pH CaCl ₂	0.9124	-0.2071	-0.3277	-0.5182	0.7673
Ca ²⁺ (cmolc.dm ⁻³)	0.4463	0.6906	0.2413	-0.8684	-0.3692
Mg ²⁺ (cmolc.dm ⁻³)	0.4396	0.6773	0.2703	-0.8853	-0.3165
Al ³⁺ (cmolc.dm ⁻³)	-0.5670	-0.1829	0.2046	0.6305	-0.3347
K ⁺ (mg.dm ⁻³)	0.2810	0.0718	0.4152	-0.2924	0.4006
P (mg.dm ⁻³)	0.5196	0.7773	0.3181	-0.9171	-0.3420
SB (cmolc.dm ⁻³)	0.4549	-0.3809	0.2609	-0.0413	0.4917
H + Al (cmolc.dm ⁻³)	-0.9124	0.2071	0.3277	0.5182	-0.7673
CTC _{pot} (cmolc.dm ⁻³)	-0.5605	0.6480	0.4949	-0.3755	-0.6373
V (%)	0.9579	0.1186	-0.0917	-0.9402	0.2528

Prof: Profundidade amostrada; CP1: Componente Principal 1; CP2: Componente Principal 2; CP3: Componente Principal 3.

Na profundidade de 0,10 – 0,20 m, no primeiro componente principal (CP1p2), explicando 40.3% da variação total dos dados, observou-se forte correlação negativa com teores de Ca, Mg e P (Tabela 3) e uma leve correlação positiva com teores de Al no solo. O CP1p2 pode ser interpretado novamente como resultante das reações de neutralização da acidez do solo em função da aplicação de fertilizantes e corretivos, porém não havendo nenhum outro atributo do solo (soma de bases, teores de K ou textura, por exemplo) fortemente inter-relacionado a esse grupo. O CP2p2, que participa com 28.9% da variação total possui forte correlação positiva com pH e forte correlação negativa com acidez potencial o que identifica a variação na área inerente às reações ácido-base no solo.

De modo geral as variáveis que mais contribuíram na formação dos componentes, independente da profundidade amostrada foram: pH, Ca, Mg, P, H+Al, e V e somente na profundidade 0,00 – 0,10 m Areia e Argila. Seguindo o critério de valores de contribuição superiores a |0,70|, conforme Figueiredo Filho & Silva Junior (2010). Para as variáveis Ca e Mg na primeira profundidade foram considerados significativos os valores de contribuição de 0,69 e 0,68 devido a proximidade ao valor limite proposto pelos autores acima citados. O principal ponto

na maior contribuição destes atributos é devido ao fato da prática de calagem ser realizada frequentemente na área estudada, o que aumenta as interações entre essas variáveis e o solo.

Burak e colaboradores (2012) avaliaram os atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cafeeiro Conilon e observaram que os atributos pH, Ca, Mg e Al contribuíram na formação dos componentes principais em ambas as profundidades avaliadas, exceto para Mg na profundidade 0,00 – 0,10m que apresentou valores inferiores a $|0,70|$. No que tange a textura do solo, Argila e Areia Grossa contribuíram na formação dos componentes somente na profundidade 0,10 – 0,20m. Purcena e colaboradores (2014) em solo sob cultivo de cana-de-açúcar, observaram contribuição de vários atributos na formação dos componentes principais: Silte, Areia, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al e V. A participação dos atributos Ca, Mg e pH também foi observada em estudos na Colômbia (RODRIGUEZ-GARAI et al., 2016) e na Malásia (HILMAN et al., 2007).

Dentre as variáveis que não contribuíram na formação dos fatores CTC e SB é dado principalmente pela relação direta com os teores de Ca e Mg, sendo inclusive retirados das ACP visando evitar redundância de informações. Já para as variáveis individuais Silte, Al e K foi observado altos valores de CV, 51% e 46% para Silte, 632% e 443% para Al e 74% e 62% para K nas respectivas profundidades avaliadas no presente estudo (CRUZ e REGAZZI, 2001).

Para Al o resultado foi reflexo do baixo teor do elemento presente nas amostras de solo, com elevado número de valores nulos o que pode originar dados não normais e conseqüentemente altos valores de CV. O K é reflexo do manejo de adubação da fazenda, via cama de frango curtida que gera desuniformidade na distribuição e na deposição do elemento no solo. O uso das técnicas multivariadas mostrou-se útil no estudo entre as correlações dos atributos químicos e físicos do solo no ambiente estudado.

4 CONCLUSÃO

Com o uso da análise de componentes principais, atributos inter-relacionados às reações ácido-base no solo (pH, Ca, Mg, H+Al, e V) contribuem com a formação do primeiro e do segundo componente principal nas duas profundidades avaliadas.

A análise de componentes principais permitiu interpretar o comportamento dos atributos químicos do solo nas diferentes profundidades estudadas, sendo possível fazer inferências sobre o sistema de manejo de calagem e adubação da fazenda.

REFERÊNCIAS

- BARBIERI, R S.; MONTANARI, R; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; PANOSSO, A. R.; LIMA, C. G. R. Variabilidade de atributos físicos e químicos para recuperação de um Argissolo Vermelho sob pastagem degradada no Cerrado. **Revista Espacios**. v.38, n.32, p.5, 2017.
- BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soil fertility** v.34, n.1, p.1-15, 1971.
- BERNARDI, A. C. C.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.21, n.8, p.513-518, 2017.
- 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**. v.18, n.6, p.623-630, 2014.
- BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo **Bragantia, Campinas**, v. 71, n. 4, p.538-547, 2012.
- CAMPOS, M.C.C; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; SIQUEIRA, D.S.S.; PEREIRA, G.P. Discrimination of geomorphic surfaces with multivariate analysis of soil attributes in sandstone - basalt lithosequence. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.429-438, 2012.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 613-622, 2011.
- CARNEIRO, J. S. S.; SANTOS, A. C. M.; FIDELIS, R. R.; SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. R. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**. v.14, n.2, p.10-21, 2016
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento**
- DIAS, M. J.; ALVES, S. M. F.; REIS, E. F.; OLIVEIRA, D. G. Probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um Latossolo sob plantio direto. **Revista Caatinga**. v.28, n.4, p.181-189, 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. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2011. 230p.

FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A. Visão além do alcance: Uma introdução à análise fatorial. *Opinião pública*, v.16, n.1, p.160-185. 2010.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A.; SOUZA JUNIOR, P.R.; CAMPOS, M.C.C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@ambiente**, v.8, n.2, p.155-164. 2014.

genético. 2.ed. rev. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

GUIMARÃES, W. D.; GRIPP JUNIOR, J.; MARQUES, E. A. G.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**. v.47, n.2, p.247-255, 2016.

HILMAN, Y.; RAHIM, A. A.; MUSA, M. H.; HASHIM, A. Principal component analysis of factors determining phosphate rock dissolution on acid soils. **Indonesian Journal of Agricultural Science**. v.8, n.1, p.10-16. 2007.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012, p.207-302.

KENT, M; COKER, P. *Vegetation description and analysis*. Baffins Lane: John Wiley & Sons. 1992. 363p.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**. v.44, n.1, p.16-23, 2013.

LIMA, J.S.S.; SILVA, A.S.; SILVA, J.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.16-23. 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BERNINI, T. A.; ZATORRE, N. P.; WADT, P. G. S. Soil fertility and organic matter in Vertisol and Ultisol under forest and pasture coverage. **Comunicata Scientiae**. Vol.5, n.1, p.1-10, 2014.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. DALCHIAVON, F. C. Produção de matéria seca da braquiária de acordo com os atributos químicos de

um Latossolo em Selvíria, Mato Grosso do Sul. **Revista Ceres**. v.60, n.4, p.519-527, 2013.

PURCENA, L. L. A.; MEDEIROS, M. C. B. Di; LEANDRO, W. M.; FERNANDES, K. F. Effects of organic and conventional management of sugar cane crop on soil physicochemical characteristics and phosphomonoesterase activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.62, p.1456-1463, 2014.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Editores. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5a aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. 359p.

ROCHA JUNIOR, P. R. **Indicadores de Qualidade do Solo e Determinação de níveis de Degradação de Pastagens**. 2012. 135p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2012.

RODRÍGUEZ-GARAY, F. A.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; RUBIANO-SANABRIA, Y. Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo en el rendimiento y calidad de café. **Corpoica Ciencia Tecnologia Agropecuária**. v.17, n. 2, p.237-254, 2016.

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C., CHERUBIN, M.R.; MARTIN, T.N.; PIRES, J.L.; DELLA FLORA, L.P.; BASSO, C.J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1346-1357. 2012.

SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; SILVA, M. B.; DRUMOND NETO, A. P. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**. v.46, n.3, p.469-476, 2015.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed., Brasília, EMBRAPA, 2013. 306p.

SILVA, A.S.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.15-22. 2010.

SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Análise Conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1277-1283, 2011.

TOMÉ JÚNIOR, B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p

VIAN, A.L.; SANTI, A.L.; AMADO T.J.C.; CHERUBIN, M.J.; SIMON, D. H.; JUNIOR M.D. BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p.464-471, 2016.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.