

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

JOSÉ HUGO DE OLIVEIRA FILHO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS EM DOIS TIPOS DE SOLOS COM
PASTAGEM DE CAPIM MOMBAÇA SOB DIFERENTES DOSES DE
FERTILIZANTES**

ARAGUAINA

2017

JOSÉ HUGO DE OLIVEIRA FILHO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS EM DOIS TIPOS DE SOLOS COM
PASTAGEM DE CAPIM MOMBAÇA SOB DIFERENTES DOSES DE
FERTILIZANTES**

Tese apresentada ao curso de Pós - graduação
stricto sensu em Ciência Animal Tropical da
Universidade Federal do Tocantins para obtenção
do título de Doutor em Ciência Animal Tropical

Orientador: Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos

Araguaina

2017

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

- O48a Oliveira Filho, José Hugo de Oliveira Filho.
Atributos Químicos em dois tipos de solos com pastagem de capim Mombaça sob diferentes doses de fertilizantes. / José Hugo de Oliveira Filho Oliveira Filho. – Araguaína, TO, 2017.
82 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Ciência Animal Tropical, 2017.
Orientador: Antonio Clementino dos Santos Santos
Coorientador: José Geraldo Donizetti dos Santos Santos
1. Solos. 2. Atributos Químicos. 3. Produção de Forragem. 4. Adubação N P K. 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).

JOSÉ HUGO DE OLIVEIRA FILHO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS EM DOIS TIPOS DE SOLOS COM
PASTAGEM DE CAPIM MOMBAÇA SOB DIFERENTES DOSES DE
FERTILIZANTES**

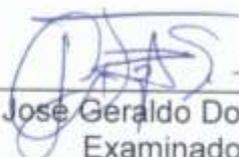
Tese apresentada ao curso de Pós - graduação
stricto sensu em Ciência Animal Tropical da
Universidade Federal do Tocantins para obtenção
do título de Doutor em Ciência Animal Tropical

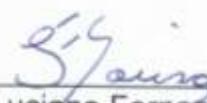
Orientador: Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos

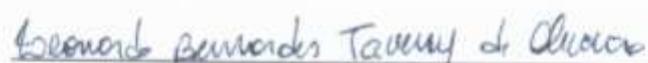
Data 29 / 09 / 2017

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos (UFT)
Orientador:


Prof. Dr. José Geraldo Donizetti do Santos (UFT)
Examinador Interno


Prof. Dr. Luciano Fernandes Sousa (UFT)
Examinador Interno


Dr. Leonardo Bernardes Taverny de Oliveira
Examinador Externo


Dr. Duval Nolaseo das Neves Neto (ITPAC)
Examinador Externo

DEDICO

A minha esposa Ana Cristina, pela dedicação, paciência e companheirismo.
Obrigado.

A Sophia Holanda de Oliveira, por sua alegria e dedicação como filha.

Ao nosso pai José Hugo de Oliveira (*in memorian*), exemplo de vida.

A nossa Mãe Terezinha Barbosa de Oliveira, pela dedicação aos filhos.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Tocantins

Curso de Zootecnia

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical

Aos Professores: Antonio Clementino(Orientador), José Geraldo, Luciano, João Vidal, Emerson a professora Roberta e demais colegas da instituição.

Aos Técnicos do Laboratório de Solos: Klesio e Lucas.

Ao funcionário de campo do setor de ovinos: Waldir.

Aos Colegas Zootecnistas: Otacilio, Marcio e Marcos Odilon, Leonardo.

Aos Alunos de Graduação: Jessica, Antonio, Geisse e demais bolsistas.

A todos que de forma direta e indireta contribuíram para formatação, condução e conclusão do trabalho.

Meu muito obrigado.

SUMÁRIO

Resumo Geral.....	7
Abstract.....	8
Introdução Geral.....	9
Referência Bibliográfica.....	11
CAPITULO 1: ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM RELAÇÃO À ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E FOSFORO.....	12
Resumo	12
Abstract.....	13
Introdução	14
Materiais e Métodos	15
Resultado e Discussão	17
Conclusão	21
Referência Bibliográfica.....	22
CAPITULO 2: USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E FOSFATADOS, NA PRODUTIVIDADE DO CAPIM MOMBAÇA EM NEOSSOLOS	24
Resumo	24
Abstract.....	25
Introdução	26
Materiais e Métodos	27
Resultado e Discussão	30
Conclusão	37
Referência Bibliográfica.....	38
CAPITULO 3: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUIMICOS EM ARGISOLO	40
Resumo	40
Abstract.....	41
Introdução	42
Materiais e Métodos	43
Resultado e Discussão	46
Conclusão	56
Referência Bibliográfica.....	57
CAPITULO 4: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUIMICOS E FISICOS EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO	60
Resumo	60
Astract.....	61
Introdução	62
Materiais e Métodos	64
Resultado e Discussão	68
Conclusão	77
Referência Bibliográfica.....	78

RESUMO

Atributos químicos em dois tipos de solos com pastagem de capim mombaça sob diferentes doses de fertilizantes

A escolha da melhor estratégia de adubação nitrogenada e fosfatada que influencie as características químicas possibilitando a manutenção ou recuperação do solo e proporcionando o aumento produtivo para pastagens permite o uso racional das áreas produtivas. O objetivo do trabalho foi encontrar uma melhor opção de adubação em Neossolo e Argissolo que contribua para melhorar as características químicas e no aumento produtivo do capim mombaça. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e duas doses de fósforo (100 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano), com quatro repetições, os resultados foram submetidos a teste de variância e de significância (teste t-student a 5% de probabilidade) e os efeitos das doses de N e P comparados por meio de equação de regressão linear ou quadrática. Foi avaliado o índice de dependência espacial nas áreas, utilizando a ferramenta da Geo estatística em um grid regular com 64 pontos. Para o neossolo, a adubação fosfatada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou aumento no teor de matéria orgânica e a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ causou efeito contrário. A adubação fosfatada com 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ associada a doses de N propiciou uma tendência de aumento gradual do pH. Para a produção de forragem e colmo (kg MS.ha⁻¹.ciclo⁻¹) obteve-se efeito linear com maiores médias relacionados as doses de 0 e 120 de N, produção total de forragem e lâmina foliar (kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹) obteve efeito quadrático para doses de P₂O₅, Eficiência agrônômica e material morto não obtiveram efeito significativo, para proporção lâmina foliar, colmo e material morta(%) foi observado efeito quadrático com melhor resposta para doses de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano. A relação folha colmo e densidade de perfilho(kg MS.ha⁻¹.cm⁻¹) regressão linear com efeito para N e dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente o número de perfilho e IAF não apresentaram efeito para doses de N e P. Matéria orgânica (MO), K, Alumínio (Al), saturação por alumínio (m%) RP10 e RP15. Os atributos Al, pH, H + Al, CTC e V%, apresentaram dependência espacial sendo os ajustes com IDE forte. Para o neossolo, as variáveis MO, P, K, Ca, Mg, Ca + Mg e CTCe apresentaram efeito pepita puro. A variabilidade espacial mostrou a dinâmica na área avaliada, onde características do solo (fração areia e relevo) influenciam na umidade no solo e CTC, indicando correlação entre estas variáveis. A resistência a penetração mostrou heterogeneidade sendo influenciada, principalmente pela umidade do solo, apresentando maior resistência a partir de 10 cm. A saturação por base sugere que os baixos valores de cátions básicos podem ter influenciado no aumento da acidez e redução do pH.O grau de dependência espacial em argissolo para todas variáveis foi considerado de moderada a forte. As variáveis acidez potencial, P, pH e umidade tiveram influencia do relevo, portanto a avaliação regionalizada dos fatores que influenciam na fertilidade do solo, permite um manejo preciso com redução de custo e aumento de produtividade.

Termos para indexação: *Megathyrus maximus*.; adubação química; cerrado; manejo do solo.

ABSTRACT

Chemical attributes on two types of soils with pasture of mombassa grass under different doses of fertilizers

The choice of the best strategy of nitrogen and phosphate fertilization that influences the characteristics chemical allowing the maintenance or recovery of the soil and providing the productive increase for pastures allows the rational use of productive areas. The objective of this work was to find a better fertilization option in Neosolo and Argissolo that contributes to improve the chemical characteristics and the productive increase of the mombassa grass. The experimental design was randomized blocks with four nitrogen doses (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) and two doses of phosphorus (100 kg ha⁻¹ and 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ per year), with four replicates, the results were submitted to a test of variance and significance (t-student test at 5% probability) and the effects of the N and P doses compared by means of a linear or quadratic regression equation. It was evaluated the spatial dependency index in the areas, using the Geo statistic tool in a regular grid with 64 points. For the Neosol, the phosphate fertilization with 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ increased in organic matter content, and the dose of 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ caused the opposite effect. Phosphate fertilization with 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ associated with N doses resulted in a gradual increase of pH. Forage production and stem (kg MS.ha⁻¹ cycle⁻¹), linear effect was observed with higher averages related to the doses of 0 and 120 of N, total forage yield and Leaf blade (MS.ha kg⁻¹. Year⁻¹) obtained quadratic effect on P₂O₅ doses, agronomic efficiency and dead material had no significant effect to leaf ratio leaf, stem and dead equipment (%) was observed quadratic effect, best response to doses of 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ per year. The leaf and stem ratio (kg MS.ha⁻¹.cm⁻¹) linear regression with effect for N and dose of 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅, respectively the number of tiller and LAI did not present effect for N and P doses. Organic matter (OM), K, Aluminum (Al), aluminum saturation (m%) RP10 and RP15. The attributes Al, pH, H + Al, CTC and V%, presented spatial dependence being the adjustments with strong IDE. For the Neosol, the variables MO, P, K, Ca, Mg, Ca + Mg and CTCe showed pure nugget effect. The spatial variability showed the dynamics in the evaluated area, where soil characteristics (sand fraction and relief) influenced soil moisture and CTC, indicating a correlation between these variables. The resistance to penetration showed heterogeneity being influenced, mainly by the soil moisture, presenting greater resistance from 10 cm. Base saturation suggests that the low values of basic cations may have influenced the increase of acidity and reduction of pH. The degree of spatial dependence in Argisol for all variables was considered moderate to strong. The variables potential acidity, P, pH and humidity had influence of the relief, therefore the regionalized evaluation of the factors influencing the fertility of the soil, allows a precise management with reduction of cost and increase of productivity.

Index terms: *Megathyrus maximus*. ; chemical fertilization; thick; management.

INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro compreende aproximadamente 207 milhões de ha⁻¹ com aproximadamente 127 milhões de ha⁻¹ aptos para uso agrícola e cultivo de pastagens. Neste ecossistema são comuns grandes áreas de solos arenosos de baixa fertilidade, ácidos com baixa retenção de água e nutrientes, conseqüentemente apresentam baixos índices produtivos e susceptibilidade a degradação (CAETANO, 2013).

Formadores do bioma cerrado, o Neossolo Quartzarênico se origina de depósitos arenosos com presença de areia ou areia franca com presença de argila inferior a 5%. de pequena profundidade ou com predomínio de areia quartzosas ou pela presença de camadas herdadas do material de origem.(EMBRAPA,2006).

Em áreas de Neossolo Quartzarênico, construir a fertilidade desse solo permite a manutenção e ou aumento da produtividade, entretanto, devem-se buscar estratégias que melhor se adapte a região permitindo melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo.

Em Neossolo o uso de adubação fosfatada, permite uma disponibilidade maior para as culturas por ser o P um nutriente pouco adsorvido as partículas deste solo, entretanto nutrientes como N e K são suscetíveis a lixiviação possibilitando a contaminação do lençol freático, quando comparado a solos mais argilosos(Donagemma et al., 2016).

Participando com 46% na formação do cerrado, os Latossolos são caracterizados como solos muito intemperizados com teores variáveis de silte e argila, com pequena reserva de nutrientes para as plantas com baixa a média capacidade de troca de cátions, acidez elevada, pH entre 4,0 e 5,5 e teores de fósforo disponível extremamente baixos, quase sempre inferiores a 1 mg/dm³. Em geral, são solos com grandes problemas de fertilidade. Entretanto o correto manejo com correção da acidez, elevação da CTC e matéria orgânica, permite praticas agrícolas(CNPTIA- EMBRAPA, 2005).

No Brasil a forma mais econômica e viável de alimentação dos ruminantes é através das pastagens. No entanto, a produtividade da pecuária a pasto está muito a quem do seu potencial, isso principalmente devido aos baixos investimentos e falta de manejo adequado (VITOR et al., 2009).

Grande parte das pastagens cultivadas no Brasil são quase sempre implantadas em áreas de baixa fertilidade, proveniente de áreas desmatadas ou após uso intensivo de agricultura, apresentou-se geralmente baixa produtividade devido a solos em processo de degradação e baixos teores de nutrientes do solo.

O gênero *Panicum* é originário da África sendo difundido inicialmente através do capim Colonião e posteriormente pelas cultivares Tanzânia, Tobiata, Aruana e Mombaça (FREITAS et al., 2005). Suas características morfológicas proporcionam grande produção de matéria seca (MS) e grande adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, apesar de ser caracterizada como rústica, expressa sua melhor produtividade em solos de média a alta produtividade apresentando entretanto limitações em pastejo contínuo se comparada com as gramíneas do gênero *Brachiaria* ele se apresenta melhor na forma de pastejo rotacionado.

É caracterizada como uma planta ereta e cespitosa, com altura média variando de 1,60 a 1,65m, possui grande percentual de folhas quebradiças com largura média de 3,0cm, proporcionando uma cobertura de solo que varia de 60 a 80% (CARNEVALLI., 2003).

A cultivar Mombaça, é considerada uma das forrageiras tropicais mais produtivas, podendo atingir uma produção de massa seca em torno de 33 a 41 t.ha⁻¹, com perfilhamento composto em média por 81,9% de folhas e com teores de proteína próxima a 13,4% e 9,7% no colmo (JANK et al 1994 ; JANK, 1995. Esses valores possuem variação dependendo da estação do ano.

O uso de práticas de manejo conservacionista e adubação tornam-se fundamentais na recuperação dos índices de fertilidade dessas áreas, para que as mesmas possam ser produtivas, como hoje acontece nas áreas de agricultura, onde o investimento em práticas de manejo e nas práticas culturais (uso de corretivos e fertilizantes) são elevados. Em áreas de pastagens, o uso de manejo como estratégia para melhoria das características químicas do solo, através correção do solo e de uso de fertilizantes, para que haja no solo, nutrientes em quantidades adequadas e em equilíbrio, permite elevar o potencial produtivo das pastagens cultivadas com um maior tempo de uso.

REFERÊNCIAS

CAETANO, Jeander Oliveira et al. Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 2013, vol.37, n.5,

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.212p. :EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA BRASILEIRA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FREITAS,R.K.; ROSA. B., RUGGIERO.A.J., NASCIMENTO.J.L.do., et al.; Avaliação do capim mombaça (*Panicum maximum jac*) submetido a diferentes doses de nitrogênio Aeta Seientiarum Agronomy.; Maringá. V 27. n 1 p. 83-98. 2005.

G.K DONAGEMMA et al., Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1003-1020, set. 2016.

www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96,2005

VITOR, C.M.T.; FONSECA, D.M.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; RIBEIRO JUNIOR, J. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.3, p.435-442, 2009.

CARNEVALLI, R.A.; Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-mombaça submetidos a regimes de desfolhação intermitente. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CAPITULO 1: ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM RELAÇÃO À ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E FOSFORO.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi estudar uma melhor estratégia de adubação nitrogenada e fosfatada sobre as características químicas do solo proporcionando aumento produtivo para pastagens. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e duas doses de fósforo (100 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano), os resultados foram submetidos a teste de variância e de significância (teste t-student a 5% de probabilidade) e os efeitos das doses de N e P comparados por meio de equação de regressão linear ou quadrática. A adubação fosfatada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ associada a doses de N apresentou aumento no teor de matéria orgânica no solo enquanto que a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ causou efeito contrário. A adubação fosfatada com 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ associada a doses de N propiciou uma tendência de aumento gradual do pH.

Termos para indexação: *Megathyrus maximus*.; nitrogênio, cerrado, manejo do solo, química do solo.

CHAPTER 1: CHEMICAL ATTRIBUTES OF A QUARTIZARENIC NEOSOIL IN RELATION TO FERTILIZATION WITH NITROGEN AND PHOSPHORUS.

ABSTRACT

The objective of this work was to study a better strategy of nitrogen fertilization and phosphate on the chemical characteristics, properties of the soil providing a productive increase for pastures. The experimental design was a randomized blocks with four nitrogen doses (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) and two doses of phosphorus (100 kg ha⁻¹ and 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ per year), the results were tested for variance and significance (t-student test at 5% probability) and the effects of the N and P doses compared by means of a linear or quadratic regression equation. Phosphate fertilization with 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ associated with N doses showed an increase in the organic matter content in the soil, while the dose of 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ had an opposite effect. Phosphate fertilization with 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ associated with N doses resulted in a gradual increase of pH.

Index terms: *Megathyrus maximus*.; nitrogen, cerrado, soil management, soil chemistry.

INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro compreende aproximadamente 207 milhões de ha⁻¹ com aproximadamente 127 milhões de ha⁻¹ aptos para uso agrícola e cultivo de pastagens. Neste ecossistema são comuns grandes áreas de solos arenosos de baixa fertilidade, ácidos com baixa retenção de água e nutrientes, conseqüentemente apresentam baixos índices produtivos e susceptibilidade a degradação (CAETANO, 2013).

Os solos apresentam diferentes formas e capacidades de disponibilizar nutrientes as plantas, depende da quantidade fornecida, de reservas totais e da dinâmica de mobilização e fixação dos mesmos (COELHO, 2007).

Responsáveis por influenciar na produção agrícola, os fertilizantes são fontes de nutrientes, divididos em orgânicos (carbono, hidrogênio e oxigênio) e minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, boro, molibdênio), pode ser caracterizados como fertilizantes minerais, orgânicos ou organominerais, sendo os fertilizantes minerais os mais usados na agricultura por possuir alto conteúdo de nutrientes, menor umidade e efeito resposta mais rápido, com aumento de produtividade (CAMARGO, 2012).

Como a maioria dos solos possuem pH ácido quer seja como característica natural ou em detrimento ao uso de fertilizantes direcionados para o aumento na produtividade. O uso de corretivos como forma de corrigir o pH, neutraliza o alumínio tóxico e melhorar a CTC, permite o melhor aproveitamento dos nutrientes no solo pelas plantas, entretanto, o uso excessivo de corretivos, influi na relação direta entre a CTC, pode influenciar nos teores de matéria orgânica, na redução da disponibilidade de nutrientes e no aumento da dispersão das argilas(Donagemma et al., 2016).

Em Neossolo quartzarênico o uso de adubação fosfatada, permite uma disponibilidade maior para as culturas por ser o P um nutriente pouco adsorvido as partículas deste solo, entretanto nutrientes como N e K são suscetíveis a lixiviação possibilitando a contaminação do lençol freático, quando comparado a solos mais argilosos(Donagemma et al., 2016).

Em áreas de Neossolo Quartzarênico, construir a fertilidade desse solo permite a manutenção e ou aumento da produtividade, entretanto, devem-se buscar

estratégias que melhor se adapte a região permitindo melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo.

O objetivo desse trabalho foi encontrar uma melhor estratégia de adubação nitrogenada e fosfatada que contribua para melhoria das características químicas do solo, proporcionando aumento produtivo para pastagens de capim Mombaça.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins, campus de Araguaína, na escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, no período de janeiro de 2015 a abril de 2016, no setor de Ovinocultura, localizado nas coordenadas em UTM 0808806E e 9214896N quadrante 22 M, com altitude de 257 m. O clima da região caracteriza-se como AW – Tropical com estação seca (junho a setembro) e chuvosa (outubro a maio) bem definido, com precipitação média anual de 1800 mm.

O comportamento pluviométrico da região de estudo encontra-se na (Figura 1), foram registrados pela estação meteorológica de Araguaína, localizada na Universidade Federal do Tocantins nas coordenadas em UTM 0809205E e 9213837N quadrante 22 M, com altitude de 234 m.

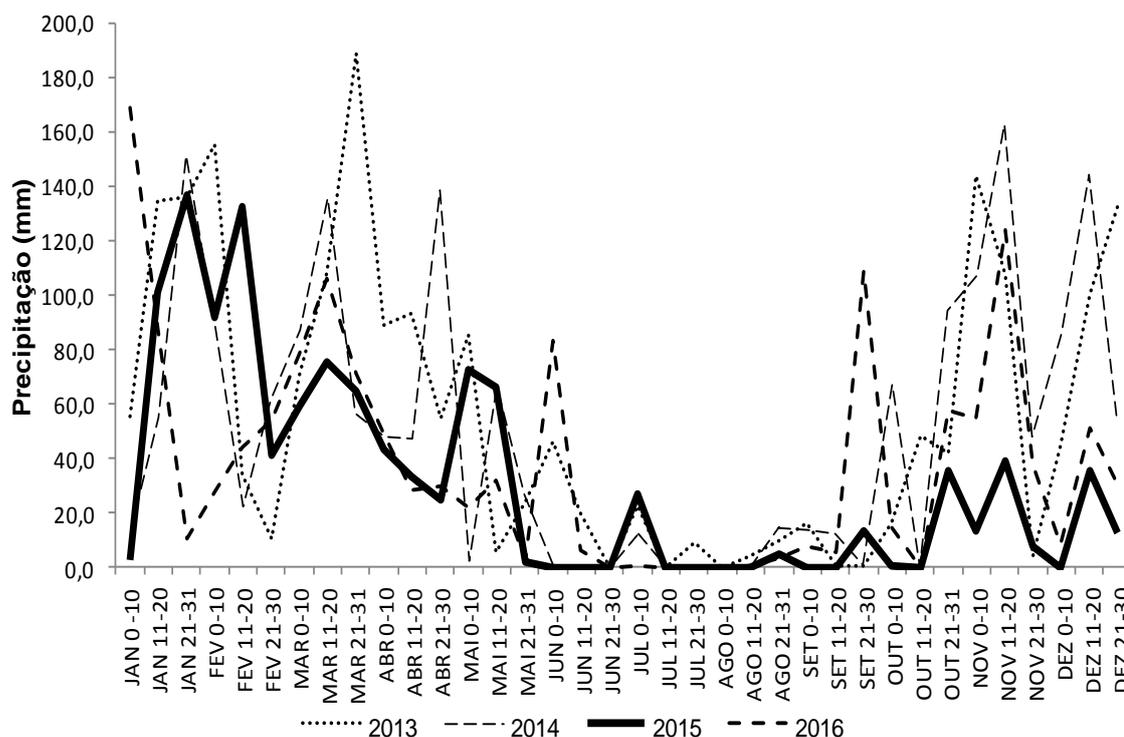


Figura 1. Índices pluviométricos do período de 2013 a 2016.

O solo da área é um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (EMBRAPA, 2013), o pasto foi estabelecido em fevereiro de 2014 com capim *Megathyrus maximus* cv Mombaça. Antes do plantio, a área foi preparada com gradagem, correção com 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 90% com adubação de plantio com 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de super fosfato simples e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). O plantio da forrageira foi a lanço com 10 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis. Uma nova correção do solo foi realizada em dezembro de 2014, com aplicação de 1000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 90%, de acordo com os resultados da análise química do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do Neossolo Quartzarênico, da área experimental, novembro de 2013 e dezembro de 2014, após a correção inicial.

Ano	M.O.	P	pH	K	Ca	Mg	Al	S.B	H + Al	CTC	V	m
	Dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³										
2013	--	1,89	4,8	0,003	0,50	0,35	0,09	0,943	0,28	2,033	77,10	8,712
2014	1,46	2,59	5,2	0,004	0,88	0,60	0,11	1,48	0,45	1,93	76,73	6,90

M.O. - Matéria orgânica; **P**- Fósforo Melich; **pH** - Solução CaCl₂; **K** – Potássio; **Ca** – Cálcio; **Mg** – Magnésio; **Al** – Alumínio; **S.B.**- Soma de bases; **H + Al** – Acidez potencial; **CTC** – Capacidade de troca de cátions; **V** – Saturação por bases; **m** – Saturação por alumínio.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e duas doses de fósforo (100 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano), totalizou-se oito tratamentos com quatro repetições.

As parcelas experimentais foram dimensionadas em tamanho de 4m x 4m (16 m²), com corredor de 1 m entre as parcelas.

A adubação fosfatada foi dividida em três aplicações ao longo do ano agrícola. A primeira adubação foi no início de 2015, sendo 35 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para os dois níveis de fósforo testado. A segunda com o retorno das chuvas no segundo semestre de 2015 com 35 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e a última no início de 2016 com a aplicação de 30 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

As doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) foram divididas em três aplicações ao longo do ano agrícola, nas mesmas datas da adubação fosfatada.

Além da aplicação de N e P₂O₅, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de K₂O, com intuito de elevar os índices de K no solo.

As coletas de solo foram realizadas após a implantação do experimento, três meses após adubação da área (13/02/2015) e no final da condução (21/04/2016).

Em cada parcela experimental coletou-se duas amostras na camada 0 - 20cm, formando uma amostra composta. No material coletado, determinou-se os seguintes atributos químicos do solo: pH em CaCl₂, matéria orgânica (g dm⁻³), fósforo disponível mehlich-1(mg dm⁻³), potássio trocável (mg dm⁻³), cálcio (cmol_c dm⁻³), magnésio (cmol_c dm⁻³), alumínio (cmol_c dm⁻³), acidez potencial (H + Al em cmol_c dm⁻³), Soma de base (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Saturação por Base (V) e Saturação por Alumínio (m), seguindo os métodos determinados por Embrapa (2009).

Os resultados dos atributos químicos do solo dos diferentes tratamentos foram submetidos às análises estatísticas (ANOVA). Executou-se inicialmente análise de variância e de significância (Teste de t, 5% de probabilidade), sendo posteriormente os efeitos das doses de nitrogênio e fósforo comparados por meio de teste de médias, equação de regressão linear ou quadrática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 2. Análise química do solo Neossolo Quartzarênico.(Atributos químicos: **P**- Fósforo Melich; **Al** – Alumínio; **S.B.**- Soma de bases; **CTC** – Capacidade de troca de cátions; **V** – Saturação por bases; **m** – Saturação por alumínio, **Ca**- Cálcio, **Mg** – Magnésio, **K** – Potássio).

Doses de P kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Teor de N (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)					P	P			PxN	CV
	0	40	80	120	Médias		N				
							EL	EQ	DL		
Fósforo mg dm ⁻³											
100	7,006	5,47	7,78	6,70	6,743	0,183	0,789	0,846	0,179	0,646	31,72
200	7,726	7,375	7,366	9,012	7,870		0,466	0,399	0,802		
Médias	7,366	6,427	7,573	7,860	7,306		0,481	0,463	0,431		
Alumínio cmol _c dm ⁻³											
100	0,280	0,365	0,252	0,297	0,299	0,397	0,778	0,675	0,106	0,387	33,08
200	0,1975	0,2800	0,3100	0,292	0,270		0,149	0,300	0,981		
Médias	0,2387	0,3225	0,2812	0,2950	0,284		0,401	0,305	0,240		
Soma de Bases cmol _c dm ⁻³											
100	2,248	2,667	2,213	2,477	2,301	0,688	0,602	0,649	0,747	0,421	22,81
200	2,372	2,488	2,628	2,024	2,378		0,457	0,192	0,527		
Médias	2,310	2,377	2,420	2,251	2,340		0,874	0,537	0,825		

Continua:

Capacidade de troca de cátions, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$											
100	2,38	2,72	2,55	2,83	2,62	0,419	0,466	0,922	0,561	0,781	26,27
200	2,67	3,00	3,04	2,60	2,83		0,914	0,298	0,904		
Médias	2,52	2,86	2,80	2,71	2,72		0,659	0,419	0,743		
Saturação por bases, (%)											
100	94,52	83,82	85,59	89,97	85,528	0,446	0,518	0,168	0,633	0,832	11,43
200	88,65	82,38	87,65	83,41	88,254		0,643	0,840	0,354		
Médias	91,59	83,10	86,62	86,24	86,89		0,434	0,261	0,323		
Saturação por alumínio, (%)											
100	11,15	13,86	10,01	11,23	10,41	0,428	0,687	0,710	0,201	0,520	35,77
200	7,66	10,90	10,62	12,57	11,56		0,115	0,746	0,520		
Médias	9,40	12,38	10,32	11,90	11,00		0,393	0,624	0,177		
Cálcio, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$											
100	1,01	0,91	1,02	1,12	1,01	0,241	0,396	0,367	0,707	0,753	20,40
200	1,16	1,05	1,15	1,06	1,11		0,699	0,891	0,413		
Médias	1,09	0,98	1,08	1,09	1,06		0,741	0,461	0,399		
Magnésio, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$											
100	0,95	0,98	0,94	1,06	0,98	0,930	0,772	0,841	0,812	0,458	42,39
200	1,00	1,15	1,16	0,66	0,99		0,285	0,137	0,699		
Médias	0,98	1,07	1,05	0,86	0,98		0,576	0,353	0,915		
Potássio $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$											
100	0,006	0,004	0,005	0,005	0,005	0,782	0,487	0,438	0,172	0,452	30,22
200	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005		0,602	0,249	0,861		
Médias	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005		0,392	0,783	0,273		

A análise de variância (ANOVA) demonstrada na tabela 02 não apresentou efeito significativo (5%) para os teores Teor de N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e para as doses de P $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Não foi observado efeito significativo para as interações entre as doses de N e F para os atributos químicos: **P**- Fósforo Melich; **Al** – Alumínio; **S.B.**- Soma de bases; **CTC** – Capacidade de troca de cátions; **V** – Saturação por bases; **m** – Saturação por alumínio, **Ca**- Cálcio, **Mg** – Magnésio, **K** – Potássio.

Mesmo não sendo observado significância nos tratamentos avaliados, os valores iniciais dos atributos químicos da área nos anos de 2013 e 2014 (tabela 01), quando comparado com os valores médios obtidos em 2016 no fim do experimento, apresenta um aumento percentual para os atributos: P – 64,5%; K – 20%; Ca – 17,0%; Mg – 38,7%; Al – 60,%; SB - 36,7%; CTC – 29%; V – 11,7% e m – 37,2%. O

acréscimo percentual indica um acúmulo dos nutrientes no solo com o passar dos anos, a partir da decomposição de tecidos de plantas cultivadas e o uso de adubações nas culturas (MARTINS et al, 2016).

O pH do solo apresentou efeito linear crescente, com tendência a efeito significativo ($t \leq 5\%$) com adubação fosfatada na dose 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 por ano.

A dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 por ano e a interação com as doses de N apresentaram efeito não significativo (Figura 2).

O Fosfato supersimples apresenta em sua composição alta concentração de Cálcio (18 a 20%) e Enxofre (10 a 18%), o que justifica o aumento no pH do solo para os tratamentos que receberam 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Ramos et al., (2006) destacam o efeito da aplicação de termofosfato em aumentar os níveis do pH do solo, apresentando maiores efeito que o próprio calcário, dependendo dos níveis aplicado no solo.

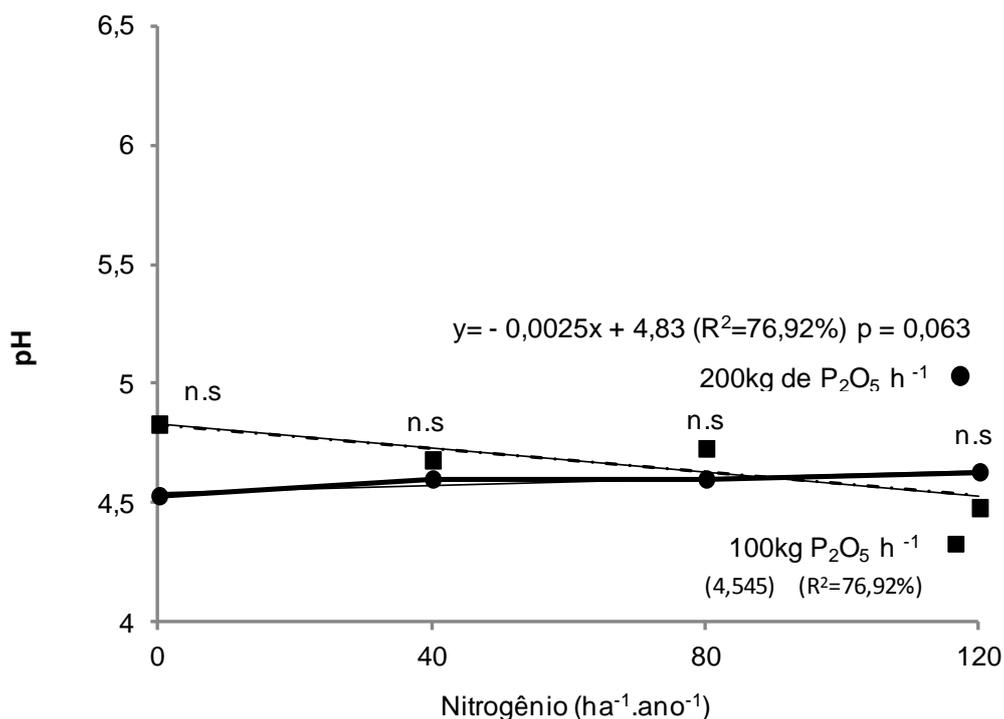


Figura 2. pH em Neossolo Quartzarênico submetido adubação nitrogenada e fosfatada. (n.s – Não significativo pelo teste de t 5% de probabilidade).

A elevação dos níveis de pH com aumento linear crescente e efeito com tendência significativo a ($t \leq 5\%$) esta relacionado com as doses de nitrogênio para

os tratamentos que receberam 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , se deve além da precipitação do alumínio pelo cálcio, mas também pelas altas concentrações de ânions de silicato nos adubos fosfatados, que contribuem para a neutralização do H^+ do solo (DIAS, 2012), favorecendo um aumento nos valores de pH, uma vez que foi aplicado no solo, 200 kg ha^{-1} de superfosfato simples.

Além disso, a adição de nitrogênio ao solo ajuda na melhoria da atividade microbiana, o que favorece a mineralização da matéria orgânica, disponibilizando alguns minerais que atuarão na saturação do solo, como pode ser observado nos tratamentos que receberam 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

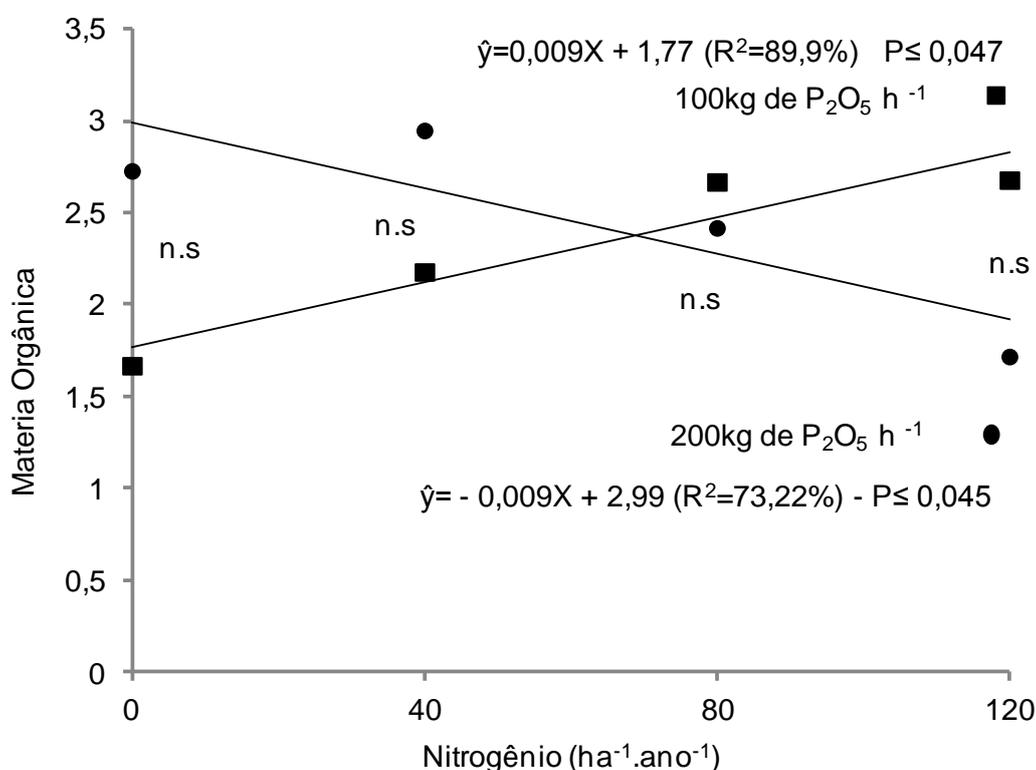


Figura 3. Teor de Matéria Orgânica(%) em Neossolo Quartzarênico submetido adubação nitrogenada e fosfatada. (n.s – Não significativo pelo teste de t 5% de probabilidade).

Para os teores de matéria orgânica, foi observado efeito significativo com aplicação de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e interação com as doses de N, apresentando uma resposta linear crescente com melhor resposta com 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 combinado com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio. Para a aplicação de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi observado uma redução nos teores de matéria orgânica, apresentando uma resposta linear decrescente, com efeito não significativo ($t \leq 5\%$) na interação com as doses de N (Figura 3). Observou-se que os valores referentes à matéria orgânica

para os tratamentos que receberam 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , foram inversos aos que receberam 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Apesar da maior dose de fósforo resultar em um aumento da disponibilidade desse elemento para a planta, parte é perdido por lixiviação dado a sua pouca capacidade de ser adsorvido e sendo também complexado a matéria orgânica, reduzindo seu teor no solo. Mesquita et al.(2004) constataram aumento de 35% na parte aérea e apenas 8% de incremento em raízes, esse fator indica que grande parte do adubo foi disponibilizado para parte aérea da planta reduzindo o aporte de alimento para os microorganismos do solo, fazendo com que os mesmos passem a degradar a matéria orgânica disponível, reduzindo seu teor. Mesmo com uma tendência de elevação do pH, os valores encontrados seguem baixos, segundo (DELBEM et,al. 2011) valores baixos de pH afetam a atividade microbiana pois elementos como Al e Mn atingem níveis tóxicos, comprometendo a atividade microbiana no solo.

.

CONCLUSÃO

A adubação fosfatada com 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 associada a doses de N apresentou aumento no teor de matéria orgânica no solo enquanto que a dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 causou efeito contrário.

A adubação fosfatada com 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 associada a doses de N propiciou uma tendência de aumento gradual do pH.

REFERÊNCIAS

CAETANO, Jeander Oliveira et al. Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 2013, vol.37, n.5,

CAMARGO M. S.; A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. *Pesquisa & Tecnologia*, vol. 9 n. 2. 2012

COELHO, A.M. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 3ª edição Nov./2007

DIAS, K.G.L. Fontes e doses de fósforo para o cafeeiro: produtividade, dinâmica de nutrientes no solo e nutrição mineral das plantas. Dissertação de mestre Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG, 2012. 90p.

DELBEM, F.C.; SCABORA,M,E.; SOARES FILHO,C.V.; HEINRICHS.R.; CROCIOLLI,C.A.; CASSIOLATO,A,M,R.; Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*; *Acta scientiarum, Agronomy, Maringá*, v.3, n.2,p.361-367, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009.627 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.3º edição versão ampliada. Brasília,DF:Embrapa, 2013.353 p.

G.K DONAGEMMA et al., Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1003-1020, set. 2016.

MARTINS, E.C.A.; PELUZIO, J.M.; JUNIOR, W.P.O.; TSAI, S.M.; NAVARRETE, A.A.; MORAES, P.B.; Alterações dos atributos físico-químico da camada superficial do solo em resposta à agricultura com soja na várzea do Tocantins. *Biotaamazonia*, v.5, n.4, p.56-62, 2011.

MESQUITA, E.E.; PINTO, J.C.; NETO, A.E.F.; SANTOS, I.P.A.; TAVARES, V.B. Teores críticos de fósforo em três solos para o estabelecimento de capim-mombaça, capim-marandu e capim –andropogon em vasos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, n.2, p.290-301, 2004.

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

CAPITULO 2: USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E FOSFATADOS, NA PRODUTIVIDADE DO CAPIM MOMBAÇA EM NEOSSOLOS

RESUMO

O objetivo desse trabalho é encontrar uma melhor estratégia de adubação nitrogenada e fosfatada que contribua para o aumento produtivo do capim Mombaça em Neossolo Quartzarenico. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e duas doses de fósforo (100 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano), os resultados foram submetidos a teste de variância e de significância (teste t-student a 5% de probabilidade) e os efeitos das doses de N e P comparados por meio de equação de regressão linear ou quadrática. Para os índices de Produção de forragem e colmo (kg MS.ha⁻¹.ciclo⁻¹) foi observado efeito linear com maiores médias relacionados as doses de 0 e 120 de N. A produção total de forragem e Lâmina foliar (kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹) obteve efeito quadrático para doses de P₂O₅. Eficiência agrônômica e material morto não obtiveram efeito significativo. Para proporção lâmina foliar, colmo e material morta(%) foi observado efeito quadrático com melhor resposta para doses de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano. A relação folha colmo obteve regressão linear para doses crescentes de N, Densidade de perfilho(kg MS.ha⁻¹.cm⁻¹) regressão linear com efeito para dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Número de perfilho e IAF não apresentaram efeito para doses de N e P.

Termos para indexação: *Megathyrsus maximus.*; nitrogênio, cerrado, manejo do solo.

CHAPTER 2: USE OF NITROGEN AND PHOSPHATE FERTILIZERS IN THE PRODUCTION OF MOMBASSA GRASS IN NEOSOILS

ABSTRACT

The objective of this work is to find a better nitrogen and phosphatic fertilization strategy that contributes to the productive increase of Mombassa grass in Neosol Quartzarenico. The experimental design was a randomized complete block design with four nitrogen doses (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) and two doses of phosphorus (100 kg ha⁻¹ and 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ per year), the results were tested for variance and significance (t-student test at 5% probability) and the effects of the N and P doses compared by means of a linear or quadratic regression equation. For the indexes of forage production and stem (kg MS.ha⁻¹.cycle⁻¹) was observed linear effect with higher averages related to the doses of 0 and 120 of N. The total production of forage and leaf blade (MS.ha kg⁻¹.Year⁻¹) obtained quadratic effect at doses of P₂O₅. Agronomic efficiency and dead material did not have a significant effect. A proportion of leaves, stem and dead material (%) was observed to have a quadratic effect with better response at doses of 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ per year. The stem leaf ratio obtained linear regression for increasing doses of N, Tiller Density (kg MS.ha⁻¹.cm⁻¹) linear regression with effect for the dose of 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Tiller number and LAI did not show effect for N and P doses.

Index terms: *Megathyrsus maximus* . ; nitrogen, cerrado, soil management.

INTRODUÇÃO

No Brasil a forma mais econômica e viável de alimentação dos ruminantes é através das pastagens. No entanto, a produtividade da pecuária a pasto está muito a quem do seu potencial, isso principalmente devido aos baixos investimentos e falta de manejo adequado (VITOR et al., 2009).

Grande parte das pastagens cultivadas no Brasil são quase sempre implantadas em áreas de baixa fertilidade, proveniente de áreas desmatadas ou após uso intensivo de agricultura, apresentou-se geralmente baixa produtividade devido a solos em processo de degradação e baixos teores de nutrientes do solo.

O uso de práticas de manejo conservacionista e adubação tornam-se fundamentais na recuperação dos índices de fertilidade dessas áreas, para que as mesmas possam ser produtivas, como hoje acontece nas áreas de agricultura, onde o investimento em práticas de manejo e nas práticas culturais (uso de corretivos e fertilizantes) são elevados. Tornando fundamental, para as áreas de pastagens, estratégia para melhoria das características químicas do solo, através correção do solo e de uso de fertilizantes, para que haja no solo nutrientes em quantidades adequadas e em equilíbrio.

O uso de nitrogênio contribui para o aumento da produtividade e para o desenvolvimento das gramíneas, auxiliando na persistência das pastagens ao longo dos anos (SANTOS et al., 2009; MARTUSCELLO et al., 2006; MOREIRA et al., 2015). O nitrogênio acelera o crescimento, através do aumento no perfilhamento, emissão e alongamento de novas folhas, propiciando aumento da produção de fotoassimilados favorecendo a manutenção da produtividade e na melhoria da qualidade das pastagens (MOREIRA et al., 2009; PRIMAVESI et al., 2006).

O fósforo é considerado nutriente essencial nas pastagens, (fotossíntese, respiração, armazenamento e transporte de energia, divisão, crescimento celular, dentre outros atributos), sendo importante para o seu estabelecimento e manutenção. Apesar da importância para a fisiologia da planta, o fósforo apresentam-se, em geral, em baixa disponibilidade no solo, devido a baixa mobilidade e alto poder de adsorção (SOUZA et al., 2014; COSTA et al., 2009; EPSTEIN et al., 2006; PRADO et al., 2005).

Nesse intuito, conduziu-se o presente estudo com o objetivo de verificar a influência do adubo químico combinado, de nitrogênio e fósforo, sobre a produtividade do capim Mombaça.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins, campus de Araguaína, na escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, no período de janeiro de 2015 a abril de 2016, no setor de Ovinocultura, localizado nas coordenadas em UTM 0808806E e 9214896N quadrante 22 M, com altitude de 257 m. O clima da região caracteriza-se como AW – Tropical com estação seca (junho a setembro) e chuvosa (outubro a maio) bem definido, com precipitação média anual de 1800 mm. O comportamento pluviométrico da região de estudo encontra-se na (Figura 1), foram registrados pela estação meteorológica de Araguaína, localizada na Universidade Federal do Tocantins nas coordenadas em UTM 0809205E e 9213837N quadrante 22 M, com altitude de 234 m.

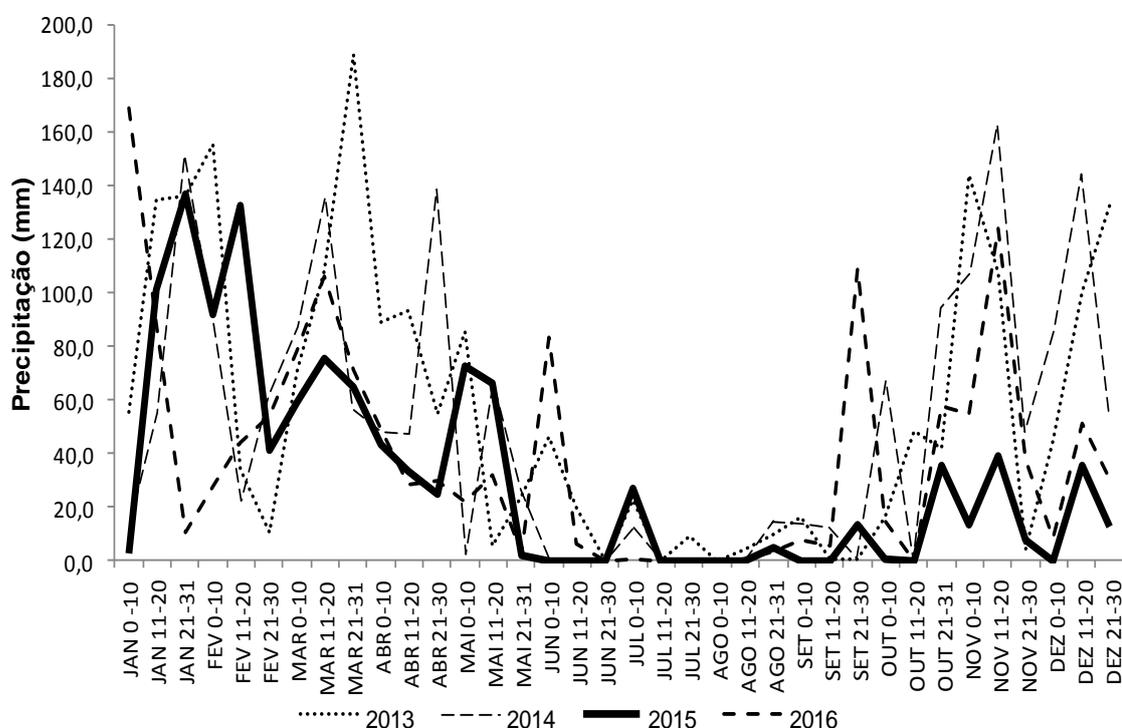


Figura 1. Índices pluviométricos do período de 2013 a 2016, na Universidade Federal do Tocantins, município de Araguaína.

O solo da área um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (EMBRAPA, 2013). O pasto foi estabelecido em fevereiro de 2014 com capim *Megathyrsus maximus* cv Mombaça. Antes do plantio, a área foi preparada com gradagem, correção com 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 90% com adubação de plantio com 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). O plantio da forrageira foi a lanço com 10kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis. Uma nova correção do solo foi realizada em dezembro de 2014, com aplicação de 1000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 90%, de acordo com os resultados da análise química do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do solo Neossolo Quartzarênico, da área experimental, novembro de 2013 e dezembro de 2014, após a correção inicial.

Ano	M.O.	P	pH	K	Ca	Mg	Al	S.B	H + Al	CTC	V	m
	Dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³				%	
2013	--	1,89	4,8	0,003	0,50	0,35	0,09	0,943	0,28	2,033	77,10	8,712
2014	1,46	2,59	5,2	0,004	0,88	0,60	0,11	1,48	0,45	1,93	76,73	6,90

M.O. - Matéria orgânica; **P**- Fósforo Melich; **pH** - Solução CaCl₂; **K** – Potássio; **Ca** – Cálcio; **Mg** – Magnésio; **Al** – Alumínio; **S.B.**- Soma de bases; **H + Al** – Acidez potencial; **CTC** – Capacidade de troca de cátions; **V** – Saturação por bases; **m** – Saturação por alumínio.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, sendo quatro doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e duas doses de fósforo (100 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano), totalizando oito tratamentos com quatro repetições cada. As parcelas experimentais foram dimensionadas em tamanho de 4 x 4 m (16 m²), com corredor de 1m entre as parcelas. As doses de fósforo aplicadas tem por objetivo atingir os níveis médio e alto de recomendação para forrageira.

A adubação fosfatada foi dividida em três aplicações ao longo do ano agrícola. A primeira adubação foi no início de 2015, sendo 35 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para os dois níveis de fósforo testado. A segunda com o retorno das chuvas no segundo semestre de 2015 com 35 e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e a ultima no início de 2016 com a aplicação de 30 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

As doses de nitrogênio foram definidas conforme os níveis tecnológicos (baixo, médio e alto), com intuito de elevar o potencial produtivo do capim Mombaça, sendo aplicado a cada ciclo. Além da aplicação de N e P₂O₅, foram aplicados 50 kg

ha⁻¹ de K₂O, com intuito de elevar os índices de K para médio nível tecnológico a cada ciclo.

As amostras do capim Mombaça para estudo dos atributos estruturais e agronômicos foram obtidas com corte rente ao solo com o auxílio de um quadro de amostragem de 1,00 x 0,5m (0,5m²) quando a forrageira atingiu 0,70m de altura (média de altura nas 4 repetições). A amostra inicial foi pesada, sendo retirada uma alíquota de peso conhecido e acondicionada em saco de plástico, identificada e armazenadas em refrigerador, para posterior separação dos componentes morfológicos. Apartir das alíquotas, foi realizado a separação e pesagem dos componentes: lâmina foliar, colmo e material morto. Após a contabilização desses componentes, a parte correspondente a lâmina foliar foi também utilizada para determinação do Índice de Área Foliar, seguindo a metodologia de Sousa et al.(2014). Após a coleta dos dados, as amostra devidamente separadas, foram acondicionadas em sacos de papel e levados à estufa de circulação de ar forçada para secagem a 55°C, por 72 horas, sendo posteriormente realizada a pesagem do material seco em estufa.

A contagem de perfilhos vivos utilizando quadro amostral de 1,00 x 0,20 (0,15m²) de forma aleatória na área da parcela em estudo no mesmo dia em que acontecia a coleta das amostras, sendo feita a totalização do numero de perfilhos vivos no interior do quadro amostral.

Os atributos estruturais e agronômicos avaliados foram: produção de massa seca de forragem por ciclo (kg.ha⁻¹.ciclo⁻¹) e produção de massa seca de forragem total por ano (kg.ha⁻¹.ano⁻¹), a proporção dos componentes morfológicos lâmina foliar (%), colmo (%), material morto (%), eficiência agronômica (kg MS.kg N⁻¹), relação folha/material morto, relação folha/colmo, índice de área foliar (IAF), densidade volumétrica (kg.ha⁻¹.cm⁻¹ de MS), densidade populacional de perfilho (Unid.m⁻²), período de descanso e número de ciclos de produção avaliados no ano.

Os resultados dos atributos estruturais e agronômicos do capim Mombaça foram submetidos às análises estatísticas. Executando inicialmente análise de variância e de significância dos tratamentos (Teste de F, 5% de probabilidade), sendo posteriormente os efeitos dos diferentes níveis tecnológicos e das doses de fósforo comparados por meio de teste de média (t- student, 5% de probabilidade).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado que para a produção de forragem, não ocorreu interação entre os diferentes níveis de dose de N e adubação fosfatada, contudo segundo a média de produção de forragem, houve efeito linear crescente. Segundo a análise de variância observou-se efeito quadrático com níveis de dose de N. André (2015), obteve máxima produção com aplicação de 39 kg ha^{-1} de N por ciclo, trabalhando com capim Mombaça. Silva (2016) trabalhando com diferentes doses de N verificou que o capim Massai responde positivamente adubação nitrogenada com doses de até 50 kg ha^{-1} por ciclo de N. Já Silveira Junior et al. (2017), em ambiente sombreado verificou máxima produção de forragem com aplicação de 32 kg ha^{-1} de N por ciclo, o mesmo foi observado por Melo (2014) trabalhando com capim Piatã em diferentes alturas de manejo, a adubação preconizada por ciclo variou de 36 a 44 kg ha^{-1} de N.

Avaliando o capim Mombaça submetido a diferentes doses de N, Freitas et al. (2005) obtiveram produção de massa seca de forragem bem abaixo das verificadas nesse trabalho. Os autores obtiveram ao longo de seis ciclo com produção média de 2040 kg ha^{-1} por ciclo e máxima resposta com aplicação de 280 kg ha^{-1} de N, o que correspondia a produção de 2644 kg ha^{-1} por ciclo, sendo uma das causas atribuídas a baixa resposta a adubação nitrogenada no capim Mombaça, foi a carência de fósforo no solo, o que interferiu diretamente a resposta da forrageira.

Tabela 2. Produção de massa seca de forragem, componentes morfológicos (lâmina foliar, colmo, material morto), produção total de forragem e eficiência agrônômica do capim Mombaça adubado com fertilizantes fosfatado em diferentes níveis tecnológicos.

Doses de P kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Teor de N (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)					P	P			PxN	CV
	0	40	80	120	Médias		N				
							EL	EQ	DL		
Produção de Lamina Foliar (kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹)											
100	14296,9a	15921,7a	14527,7a	26202,8a	11474,9	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	<0,001	17,39
200	17257,9a	4816,9b	9052,4b	14772,2b	17737,3		0,577	<0,001	0,014		
Médias ¹	15777,4	10369,3	11790,1	20847,5	14606,1		<0,001	<0,001	0,912		
Produção de Colmo (kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹)											
100	6732,6b	8704,7a	7947,3a	12225,4a	4886,4	<0,001	<0,001	0,087	0,013	<0,001	18,7
200	10175,3a	2431,7b	3136,2b	3802,5b	8902,5		<0,001	<0,001	0,008		
Médias	8453,95	5568,17	5541,17	8014,02	6894,5		0,515	0,000	0,861		
Produção de Material Morto MM (kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹)											
100	12986,4b	10548,9b	8803,0b	14288,7a	11656,8	<0,001	0,709	0,005	0,265	<0,001	17,9
200	19940,0a	27591,7a	14159,1a	6017,0b	16926,9		<0,001	<0,001	<0,001		
Médias	16463,2	19070,3	11481,1	10152,8	14291,8		<0,001	0,041	<0,001		
Produção Total de Forragem (kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹)											
100	34016,0b	35175,3a	31278,1a	52717,2a	38296,6	0,005	<0,001	<0,001	0,007	<0,001	12,62
200 ²	47373,3a	34840,3a	26347,8a	24591,6b	33288,2		<0,001	0,027	0,792		
Médias	40694,7	35007,8	28812,9	38654,4	35792,5		0,099	<0,001	0,031		
Eficiência Agrônômica (kg MS.kg N⁻¹)											
100	-	30,54	27,08	13,58	23,74 a	<0,001	-	-	-	0,321	13,40
200	-	3,19	4,03	6,81	4,67 b		-	-	-		
Médias	-	16,86 A	15,56 A	10,19 B			<0,001				

Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna e maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de t-student a 5% probabilidade; 1 - $\hat{y}=2,203x^2 - 225,602x + 15790,854$ ($R^2=99,98\%$); 2 - $\hat{y}=1,684x^2 - 394,160x + 47508,104$ ($R^2=99,89\%$)

Ponto de mínima equação 1: 51,20 kg/N; Ponto de mínima equação 2: 117,00 kg/N.

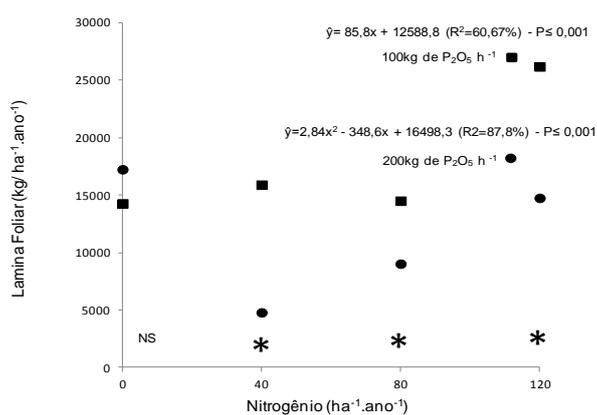


Figura 3. Produção de Lamina Foliar ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) submetido adubação nitrogenada e fosfatada. (n.s – Não significativo pelo teste de t 5% de probabilidade, * - Significativo pelo teste de t 5% de probabilidade).

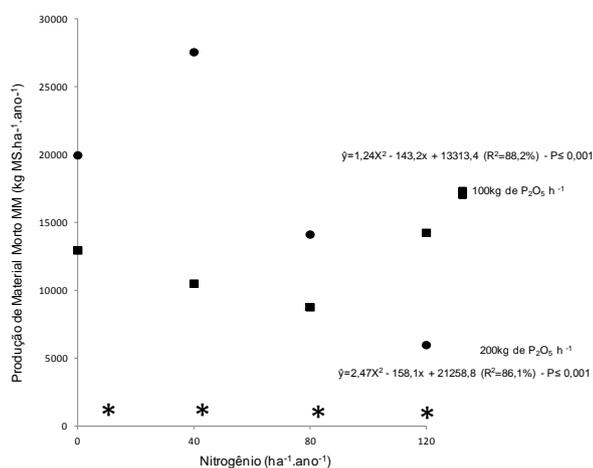


Figura 4. Produção de Material Morto MM ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) submetido adubação nitrogenada e fosfatada. (* - Significativo pelo teste de t 5% de probabilidade).

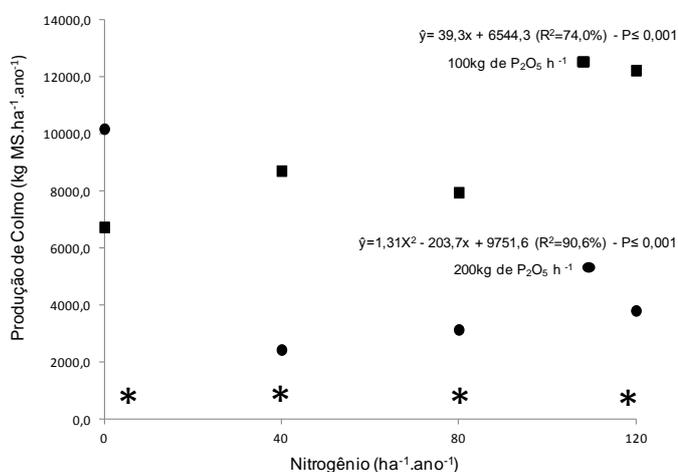


Figura 5. Produção de Colmo ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) submetido adubação nitrogenada e fosfatada. (* - Significativo pelo teste de t 5% de probabilidade).

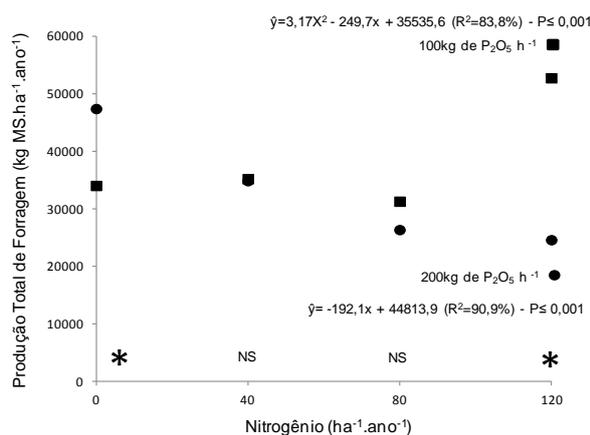


Figura 6 . Produção Total de Forragem (kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹) submetido adubação nitrogenada e fosfatada. (n.s – Não significativo pelo teste de t 5% de probabilidade * - Significativo pelo teste de t 5% de probabilidade).

Diferente de Freitas et al. (2005) os resultados obtidos nesse trabalho, apresentou alta produção, chegando a 3309,60 kg ha⁻¹ por ciclo com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, podendo atribuir os melhores resultados pelo melhor balanço de nutrientes no solo, obtido através da correção e uso de fertilizantes, em destaque ao fertilizante fosfatado. Pela equação, observou-se que para cada adição de 1 ponto percentual nos níveis de N obtém-se um aumento de 5,70 kg MS ha⁻¹.

.Para o componente morfológico lâmina foliar, constatou-se efeito linear crescente com as doses de N aplicadas, pela equação para cada adição de um ponto percentual nos níveis de N, obtém-se um aumento de 4,95 kg MS ha⁻¹. Para produção de colmo material morto, não foi observado efeito significativo.

O grande problema das gramíneas ao uso de fertilizantes nitrogenados está na facilidade de erro no manejo da planta, isso porque a planta acelera seu desenvolvimento rapidamente com uso de N, atinge-se ponto de corte bem mais rápido, dessa forma, qualquer problema no manejo afeta a resposta da planta. Como foi observado no decorrer do experimento, a planta com os diferentes ciclos de corte ao longo do ano, alongou a estrutura residual do pasto, aumentando a proporção de material morto à medida que pastagem envelhecia (Tabela 2 e 3). Essa situação acontece na maioria das propriedades rurais, no entanto, o produtor inconscientemente realiza estratégias para amenizar essa situação, através do rebaixamento do resíduo do pasto no período de seca (isso acontece muita vez por falta de alimento no período de seca), assim quando inicia o período das águas, a

planta cresce novamente, com massa verde nova, sem aquela estrutura residual de material morto, que dificulta o pastejo dos animais.

Para produção total de forragem, observou-se efeito quadrático com dose de N ao nível de $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

A eficiência agrônômica reflete a produção de massa seca de forragem para cada quilograma de N aplicado no solo. Constatou-se para eficiência agrônômica, efeito significativo para adubação fosfatada e para os diferentes níveis tecnológicos.

O capim Mombaça manejado com $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 foi o que apresentou maior eficiência em utilização do nitrogênio nos diferentes níveis tecnológicos trabalhado. Observou-se eficiência agrônômica para os tratamentos que receberam menor teor de fósforo de 23,74 kg de MS por kg de N aplicado, apresentando as melhores eficiências com baixo uso de N (40 kg.ha^{-1} de N), demonstrando que o capim Mombaça em Neossolo Quartzarênico apresenta produção satisfatória com pouca aplicação de fertilizante nitrogenado (40 kg.ha^{-1} de N). Silveira Junior et al., (2017) relata que o capim Mombaça apresenta alta plasticidade fenotípica, por isso é possível encontrar trabalhos, em outras regiões com característica química do solo diferentes, com alta demanda de fertilizante nitrogenado para apresentar produção satisfatória e em outras localidades pode se obter produção satisfatória com baixo uso de N.

Além disso, a qualidade do solo vai refletir na eficiência com que a planta responderá aos fertilizantes nitrogenados. Trabalho realizado por Castagnara et al. (2011), trabalhando com capim Mombaça, Tanzânia e Mulato e com diferentes doses de N, verificaram máxima eficiência agrônômica com aplicação de 106 kg.ha^{-1} de N, apresentando o capim Mombaça a menor eficiência agrônômica, média de 12,73 kg MS por Kg de N aplicado, sendo atribuído a essa baixa eficiência a boa fertilidade do solo, que por sua vez consegue suprir boa parte da demanda pela planta, reduzindo o incremento de produção com uso de fertilizante nitrogenado.

Foi observado efeito linear crescente com os níveis de N para relação folha / colmo(Tabela 3). Isso provavelmente se deve a grande plasticidade fenotípica do capim Mombaça, respondendo de forma direta tanto aos diferentes manejos empregados, como a adubação nitrogenada, assim quando se aumentou a proporção de folha, houve também aumento no alongamento de colmo.

Tabela 3. Proporção dos componentes morfológicos (colmo, lâmina foliar, material morto), relação folha colmo, N⁰ de perfilho por m², densidade de perfilho por m² e Índice de área foliar (IAF) do capim Mombaça adubado com fertilizantes fosfatado em diferentes níveis tecnológicos.

Doses de P kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Teor de N (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)					P	P			PxN	CV
	0	40	80	120	Médias		N				
							EL	EQ	DL		
Proporção de Lamina Foliar (%)											
100 ¹	45,18 a	41,15 a	44,22 a	55,84 a	46,88a	<0,001	<0,001	<0,001	0,833	0,005	18,9
200	38,58b	23,11 b	38,78 b	53,24 a	38,42a		<0,001	<0,001	<0,001		
Médias	41,88	31,53	41,50	54,54	42,59		0,000	0,000	0,005		
Proporção de Colmo (%)											
100 ²	18,32	22,49	23,36	22,72	21,93	0,000	0,007	0,032	0,710	<0,001	21,8
200	20,20	10,95	15,68	15,85	15,37		0,087	<0,001	<0,001		
Médias	19,26	16,34	19,52	19,28	18,59		0,340	0,084	0,009		
Proporção de Material Morto (%)											
100 ³	36,50	36,35	32,41	21,45	31,18	<0,001	<0,001	0,010	0,672	0,004	22,8
200	41,22	65,94	45,53	30,91	46,21		<0,001	<0,001	<0,001		
Médias	38,86	52,13	38,97	26,18	38,83		<0,001	<0,001	<0,001		
Relação Folha / Colmo											
100	2,28	2,12	2,20	2,77	2,47 a	0,056	0,956	0,043	0,835	0,068	59,5
200	2,09	2,88	2,97	3,40	2,88 a		0,005	0,538	0,442		
Médias ⁴	2,45	2,52	2,58	3,08	2,68		0,048	0,315	0,636		
Número de Perfilho / m ²											
100	392,22b	477,38a	416,24b	745,00a	516,72	0,4813	<0,001	0,002	0,002	<0,001	23,9
200	779,17a	442,92a	541,46a	422,29b	530,94		<0,001	0,003	<0,001		
Médias	585,69	458,10	478,85	583,65	523,95		0,878	<0,001	0,498		
Densidade de Perfilho (kg MS.ha ⁻¹ .cm ⁻¹)											
100	60,34 b	64,55 a	55,35 a	84,18 a	66,55	0,575	0,002	0,006	0,009	<0,001	25,1
200 ⁵	87,53 a	74,34 a	60,38 a	55,20 b	68,15		<0,001	0,324	0,596		
Médias	73,94	69,77	57,86	69,69	67,37		0,064	0,009	0,020		
Índice de área foliar (IAF)											
100	2,51 b	4,16 a	3,26 a	4,91 a	3,10	0,0053	0,000	0,989	0,002	0,002	40,9
200	3,74 a	1,94 b	3,17 a	3,68 b	3,78		0,426	0,001	0,014		
Médias	3,13	2,98	3,22	4,30	3,43		0,001	0,011	0,651		

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de t-student a 5% probabilidade; 1 - $\hat{y}=45,256 - 0,206X + 0,0024X^2$ ($R^2=99,91\%$); 2 - $\hat{y}=10,409 + 0,125X - 0,0007X^2$ ($R^2=98,99\%$); 3 - $\hat{y}=33,334 - 0,0802X + 0,0017X^2$ ($R^2=99,65\%$); 4 - $\hat{y}=2,3699 + 0,0048X$ ($R^2=77,17\%$); 5 - $\hat{y}=86,067 - 0,277x$ ($R^2=96,76\%$).

Para as proporções dos componentes morfológicos lamina foliar, colmo e material morto, houve efeito significativo para as doses de N empregadas nos diferentes níveis tecnológicos, apresentando maiores proporções de lamina foliar para os níveis de médio e alto nível tecnológico. Pode-se observar que o N favoreceu aumento na participação de folha, com o aumento dos níveis de investimento em fertilizante nitrogenado, isso ocorre pelo fato do N participar na composição da clorofila e sínteses de nutrientes, sendo responsável pelo aumento do crescimento da planta.

Para proporção de Lâmina Foliar, verificou-se efeito linear crescente para aplicação de $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 . Já para proporção de colmo e material morto, verificou-se efeito quadrático com as doses de N aplicadas ao nível de $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 .

A relação folha colmo apresentou efeito linear crescente com os níveis de adição de N. Já para densidade de perfilho houve redução linear com as doses de N utilizadas ao nível de $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 . (Tabela 3). Pela análise de variância o menor valor encontrado foi com as doses de 120 N e $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e para dose de $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 e 0 de N.

Não houve efeito significativo nos diferentes níveis de intensificação combinado com níveis de adubação fosfatada para o Índice de Área Foliar (Tabela 3), porém com aplicação de $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 e tratamento com 0 de N obteve-se o menor IAF, os tratamentos que receberam $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 apresentaram baixo IAF, provavelmente, ocasionado pelas altas doses aplicadas no solo de fósforo que podem ter efeito inibidor e provocando redução das bases do solo, impedindo absorção de alguns nutrientes pela planta, já que foram aplicados no solo 100 kg ha^{-1} de superfosfato simples, e além do fósforo na composição do superfosfato simples, há presença de alto teores de cálcio e gesso.

Pode-se observar que, com baixo uso de N, verificaram-se resultados satisfatórios, em aumento de produção, maior eficiência agrônômica, densidade de forragem e na população de perfilhos, não sendo necessário aumento na intensificação para obter resultados melhores.

CONCLUSÃO

O uso de altas doses de fósforo compromete o desempenho do capim Mombaça. Adubação de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 é a que apresenta os melhores resultados de produtividade para o capim Mombaça em Neossolo Quartzarênico.

Os diferentes níveis de intensificação proporcionaram aumento na produtividade do capim Mombaça, apresentando com médio nível de intensificação ($80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N) ótimo desempenho produtivo do capim Mombaça.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRÉ, T.B. Fertilização nitrogenada no capim Mombaça em sistema de integração pecuária-floresta intensificado. Dissertação (mestrado em Ciência Animal Tropical), Universidade Federal do Tocantins, 2015.

CASTAGNARA, D.D.; ZOZ, T.; KRUTZMANN.; UHLEIN, A.; MESQUITA, E.E.; NERES, M.A.; OLIVEIRA, P.S.R. Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1637-1648, 2011.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 229- 235, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.3º edição versão ampliada. Brasília,DF:Embrapa, 2013.353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 402 p.

FREITAS, K.R.; ROSA, B.; RUGGIERO, J.A.; NASCIMENTO, J.L.; HEINEMAM, A.B.; FERREIRA, P.H.; MACEDO, R. Avaliação do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) submetido a diferentes doses de nitrogênio. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 1, p. 83-89, 2005

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; SANTOS, P.M.; CUNHA, D.N.F.V.; MOREIRA, L.M. Características morfogênicas e estruturais de capim-massai submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.665-671, 2006.

MELO, J.C. Capim-Piatã (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) manejado sob lotação intermitente em função da altura do pasto por bovinos na Amazônia Legal. Tese (Doutorado em Ciência Animal Tropical) - Universidade Federal do Tocantins, 2014. 120p.

MOREIRA, A.L.; FAGUNDES, J.L.; YOSHIHARA, E.; BACKES, A.A.; BARBOSA, L.T.; OLIVEIRA JUNIOR, L.F.G.; SANTOS, G.R.A.; SANTOS, M.A.S. Acúmulo de

ferragem em pastos de Tifton 85 adubados com nitrogênio e manejados sob lotação contínua. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, n.3, p.2275-2286, 2015.

MOREIRA, L.M.; MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; MISTURA, C.; MORAIS, R.V.M.; RIBEIRO JUNIOR, J.I. Perfilhamento, acúmulo de ferragem e composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.38, n.9, pp. 1675-1684, 2009.

PRADO, R. M.; VALE, D. W.; ROMUALDO, L. M. Fósforo na nutrição e produção de mudas de maracujazeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 27, n. 03, p. 493-498, 2005.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G.; CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. *Ciência Agrotecnica*, 30:562-568, 2006.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; BALBINO, E.M.; MONNERAT, J.P.I.S.; SILVA, S.P. Capim-braquiária diferido e adubado com nitrogênio: produção e características da ferragem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.04, p.650-656, 2009.

SILVA, F.C. Capim Massai manejado em sistemas de produção com diferentes doses de nitrogênio. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical) - Universidade Federal do Tocantins, 2016. 41p.

SILVEIRA JUNIOR, O.; SANTOS, A.C.; RODRIGUES, M.O.D.; RODRIGUES, M.O.D.; ALENCAR, N.M. Productive efficiency of mombasa grass in silvopastoral system under pasture deferment and nitrogen fertilizer. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.38, n.5, set-out, 2017.

SOUZA, M.S.S.; MEDEIROS, J.F.; SILVA, M.V.T.; SILVA, O.M.P.; CHAVES, S.W.P. Estado nutricional da melancia fertirrigada com doses de nitrogênio e fósforo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 4, p.2301-2316, 2014.

VITOR, C.M.T.; FONSECA, D.M.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; RIBEIRO JUNIOR, J. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.3, p.435-442, 2009.

CAPITULO 3: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUIMICOS EM ARGISOLO

RESUMO

O conhecimento da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos possibilita a manutenção ou a recuperação da fertilidade do solo. O trabalho foi conduzido na escola de Medicina Veterinária e Zootecnia (Fazendinha) em Araguaina, teve como objetivo analisar a variabilidade espacial no solo Argissolo em uma malha regular com 64 pontos amostrais em uma área de 1.225,00 m². Os resultados das análises descritiva demonstraram distribuição não normal para MO, potássio (K), Alumínio (Al) e saturação por alumínio (m%) com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, para as variáveis Al e saturação por alumínio com 5 cmol_c dm⁻³ e 4,98 5%, respectivamente observou-se grau de assimetria elevado baseado no coeficiente de curtose. As variáveis P, Al, Ph, H+Al e m% tiveram ajustes ao modelo gaussiano, porém CTCe, Ca e K ajustaram-se ao modelo exponencial, tendo a variável Ca + Mg ajuste ao modelo esférico. Os coeficientes de determinação variaram entre os atributos com melhores índices para P, Al e pH com 0,99, 0,98 e 0,96, respectivamente. O grau de dependência espacial em todas variáveis foi considerado de moderada a forte. As variáveis acidez potencial, P, pH e umidade tiveram influência do relevo, portanto a avaliação regionalizada dos fatores que influenciam na fertilidade do solo, permite um manejo preciso com redução de custo e aumento de produtividade.

Termos para indexação: Adubação química; Geoestatística; manejo do solo, topografia.

CHAPTER 3: SPACE VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES IN ARGOLIC

ABSTRACT

Knowledge of spatial variability of chemical and physical attributes makes it possible to maintain or recover soil fertility. The work was conducted at the School of Veterinary Medicine and Animal Science (School Farm) in Araguaina, with the objective to analyze the spatial variability in the Argissolo soil in a regular mesh with 64 sample points in an area of 1.225.00 m². The results of the descriptive analysis demonstrated non-normal distribution for OM, potassium (K), aluminum (Al) and saturation per aluminum io (m%) based on the normality test of Kolmogorov-Smirnov, for aluminum variables and aluminum saturation with 5 cmol dm⁻³ and 4.98 5% , respectively, a high degree of asymmetry was observed based on the kurtosis coefficient. The variables P, Al, Ph, H + A 1 in% had adjustments to the Gaussian model, but CTC and Ca and K adjusted to the exponential model, with the Ca + Mg variable fitting to the spherical model. The determination coefficients varied among the attributes with better indexes for P, Al and pH with 0.99, 0.98 and 0.96, respectively. The degree of spatial dependence in all variables was considered moderate to strong. The variables potential acidity, P, pH and humidity had influence of the relief, therefore the regionalized evaluation of the factors influencing the fertility of the soil, allows a precise management with reduction of cost and increase of productivity.

Index terms: Chemical fertilization; Geostatistic; soil management, topography.

INTRODUÇÃO

Os Argissolos são caracterizados como solos medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados, com fertilidade variável dependendo do seu material de origem.

Cultivos intensivos dos solos com monoculturas e o uso de máquinas e equipamentos pesados, bem como pastagens degradadas com pastejo excessivo levam à degradação das condições físicas e químicas (MOME FILHO et al., 2014). Segundo Araújo et al., (2007) atributos químicos como: P melich (mg dm^{-3}), acidez ativa (pH em CaCl_2), K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al, acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) expressos em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, P remanescente, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%) e matéria orgânica(M.O), podem ajudar a identificar o grau de alterações químicas no solo, mediante práticas adotadas na condução da cultura. Desta forma, entender e visualizar variabilidades no solo em função do uso de tratos culturais de forma homogênea em locais com características diversas permite um controle das intervenções em áreas cultivadas acima do necessário.

A geoestatística como ferramenta de trabalho, permite entender a ocorrência de variabilidade no solo em função do seu uso, permitindo adequar o manejo otimizando recursos, através da análise das características e de seus aspectos aleatórios e espaciais.

O estudo da dependência espacial, permite o desenvolvimento de imagens representativas da distribuição desses atributos no campo, possibilitando uma avaliação do comportamento de uma determinada variável.

Através do semivariograma, pode-se modelar e verificar a dependência espacial de uma variável e o interpolador de Krigagem, a partir de observações pontuais, possibilita estimar dados de áreas maiores baseados nas observações de uma variável a ser estimada em pontos não amostrados(OLIVEIRA 2003).

O objetivo com o trabalho foi identificar alterações químicas que ocorrem no solo diante do uso de adubação, avaliando alterações pontuais no manejo, que melhorem sua condição de uso.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins, campus de Araguaína, na escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, no período de janeiro de 2015 a abril de 2016, em uma área anexa denominada Fazenda Escola, localizado nas coordenadas em UTM 0810724E e 9213420N quadrante 22 M, com altitude de 265 m. O clima da região caracteriza-se como Aw – Tropical com estação seca (junho a setembro) e chuvosa (outubro a maio) bem definido, com precipitação média anual de 1800 mm. O comportamento pluviométrico da região de estudo encontra-se na (Figura 1), foram registrados pela estação meteorológica de Araguaína, localizada na Universidade Federal do Tocantins nas coordenadas em UTM 0809205E e 9213837N quadrante 22 M com altitude de 234 m.

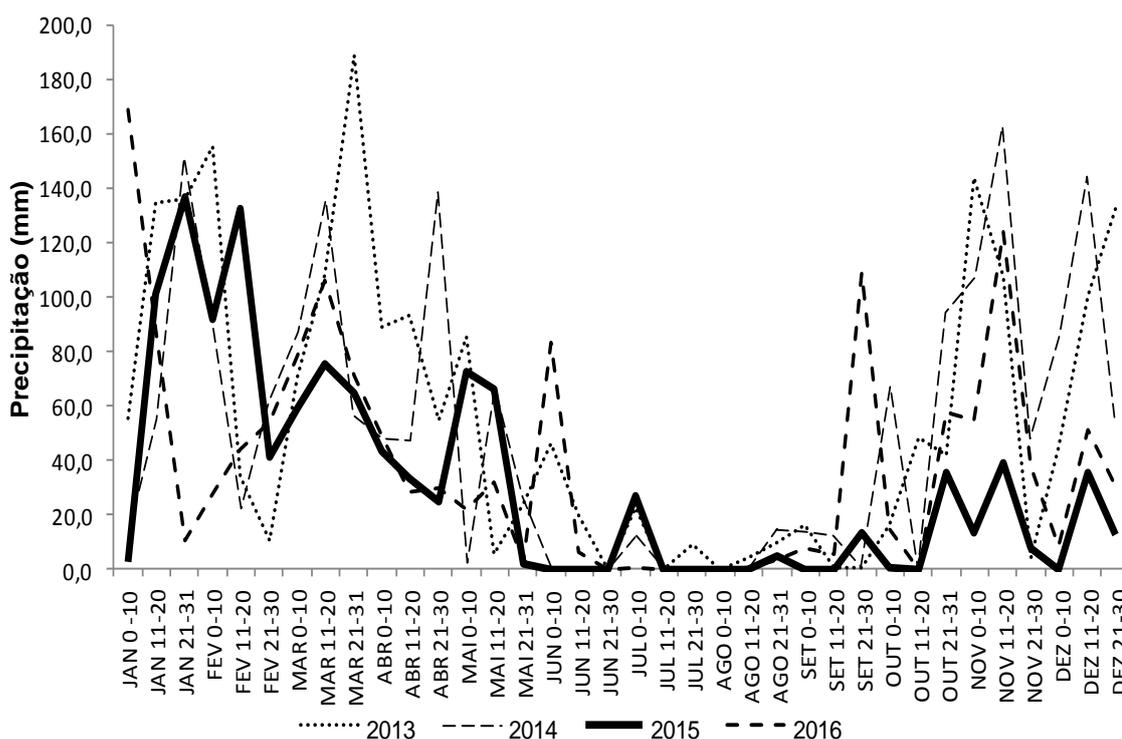


Figura 1. Índices pluviométricos do período de 2013 a 2016.

O solo da área é um Argissolo (EMBRAPA, 2013). O pasto foi estabelecido em fevereiro de 2014 com capim *Megathyrus maximus* cv Mombaça. Antes do plantio, a área foi preparada com gradagem, correção com $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico PRNT 90% com adubação de plantio com 50 kg ha^{-1} de nitrogênio, 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio). O plantio da forrageira foi a lanço com 10 kg ha^{-1} de sementes puras e viáveis. Uma nova correção do solo foi realizada

em dezembro de 2014, com aplicação de 1000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 90%, de acordo com os resultados da análise química do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo Argissolo área experimental, novembro de 2013 e dezembro de 2014, após a correção inicial.

Ano	M.O.	P	pH	K	Ca	Mg	Al	S.B	H + Al	CTC	V	m
	Dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³				%	
2013	4,89	2,95	4,7	0,004	6,26	4,95	0,12	11,33	1,89	13,22	85,7	1,04
2014	5,01	3,01	5,1	0.007	7,03	6,02	0,14	13,19	1,95	15,14	87,12	1,05

M.O. - Matéria orgânica; **P**- Fósforo Melich; **pH** - Solução CaCl₂; **K** – Potássio; **Ca** – Cálcio; **Mg** – Magnésio; **Al** – Alumínio; **S.B.**- Soma de bases; **H + Al** – Acidez potencial; **CTC** – Capacidade de troca de cátions; **V** – Saturação por bases; **m** – Saturação por alumínio.

Após a implantação da cultura, foram feitas três adubações distribuídas no decorrer dos 12 meses de coleta de dados: 1^a adubação 16/03/2015, 2^a adubação 14/11/2015 e 3^a adubação 26/02/2016, utilizando a dose de 40 P:80 N e mantendo uma relação de 60 kg ha⁻¹ de K⁺ mediante análise química da área. Durante o período de 12 meses foram efetuados cortes regulares da pastagem, simulando o pastejo de animais considerando a altura de entrada entre 0,70 e 0,80 m.

A área de Argissolo foi demarcada com estacas numeradas em sequência de 0 a 64, dispostos em 8 linhas paralelas com 8 pontos em cada, no espaçamento de 5 x 5 m formando um grid com 64 pontos. Todos os 64 pontos foram georeferenciados em UTM com GPS (Global Position System), formando um GRID regular destinado as avaliações.

O espaçamento adotado para a malha é determinado em função da dependência espacial, menor resíduo e maior coeficiente de determinação, sendo o mínimo de 64 pontos de amostragem. o suficiente para obtenção de dependência espacial.

A sistematização da amostragem adotada permite a realização de estudos da variabilidade e dependência espacial das variáveis a serem analisadas utilizando análise geoestatística (DALCHIAVON e CARVALHO, 2012).

A análise do grau de dependência espacial foi realizado pelo método geoestatístico de Krigagem, de modo a definir o padrão espacial das variáveis estudadas por meio de gráficos de contorno, com auxílio do programa GS + v. 5.1.1 (ROBERTSON, 1998), que permite a seleção dos modelos com base na menor SQR (soma de quadrados dos resíduos) e melhor R² (coeficiente de determinação

espacial) e grau de dependência espacial com elaboração de mapas de isolinhas para observação do número de localidades vizinhas empregadas para interpolação de pontos (VIEIRA, 2000).

A interpretação do índice de dependência espacial para escolha do modelo segue a classificação segundo Bottega et al (2013) citando (Zimback 2001):

- baixa dependência espacial $IDE \leq 25\%$
- moderada dependência espacial $25\% \leq IDE \leq 75\%$
- forte dependência espacial $IDE > 75\%$

- $IDE = [c / (c_0 + c)] \times 100$

onde:

IDE = Índice de dependência espacial;

C_0 = efeito pepita;

C = variância estrutural;

$C_0 + C$ = patamar.

COLETA E ANÁLISE DO SOLO

ANÁLISE QUÍMICA

Para avaliação química do solo na área destinada ao estudo da geoestatística, foram elaborados dois procedimentos de coleta. O primeiro levantamento seguiu a 5ª aproximação (1999), dividindo-se a área em duas partes composta de quatro linhas (1 – 4 e 5 – 8), denominadas de gleba. Foi feito caminhamento na forma de zig zag em cada gleba e com auxílio de trado foi efetuada a coleta de dez amostras, sendo que a cada cinco amostras foi feita homogeneização do material, formando a amostra 1 e posteriormente amostra 2. Esse procedimento foi repetido para as profundidades 0 – 20 cm para o ano 2015 no início dos trabalhos e antes das intervenções de adubação e repetidos no ano de 2016 quando encerraram-se as coletas de dados, com o objetivo de caracterizar a área em estudo.

O segundo levantamento, foi realizado utilizando um trado de copo, sendo coletada a amostra a profundidade de 0 - 20cm em cada ponto no grid regular.

Em relação a estatística, utilizou-se método estatístico multivariado, onde objetivou-se a classificação dos acessos (pontos georreferenciados) em grupos, isto, via análise de componentes principais (ACP). Há princípio, realizou-se ACP com todas as variáveis de química do solo de forma independente para o sistema avaliado. Dessa forma, selecionou-se os componentes através da combinação da correlação entre as variáveis, sendo sua classificação em ordem decrescente de importância, para a variação total dos dados (SILVA et al., 2010). Para isto utilizou-se o programa estatístico *statistica*.

As características químicas do solo foram avaliadas seguindo os seguintes parâmetros: P melich (mg dm^{-3}), acidez ativa (pH em CaCl_2), K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al, acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) expressos em ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), P remanescente, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), (CTCe), saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (V%), MO, segundo (EMBRAPA, 2009), além das características físicas (EMBRAPA, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise descritiva dos dados (Tabela 1), observou-se que as variáveis MO, potássio (K^+), Alumínio (Al) e saturação por alumínio (m%) apresentaram distribuição não normal dos dados com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, no entanto, constatou-se, para as demais variáveis, distribuição normal, o que não compromete a avaliação, visto que a normalidade na distribuição dos dados não é uma exigência da análise geoestatística, sendo atribuída importância, apenas, ao grau de alongamento da calda nestas situações, o que pode comprometer os resultados (CORÁ et al., 2006).

Com base no coeficiente de curtose, observou-se grau de assimetria elevado para as variáveis Al e saturação por alumínio com $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 4,98 5%, respectivamente, (Tabela 2) com maior alongamento a direita e distribuição leptocúrtica para ambas as variáveis. Esta concentração de dados acima da média, possibilitou altos valores de curtose, podendo ter sido influenciado pela baixa concentração de alumínio na área avaliada, dessa forma, a correção do solo e as adubações periódicas com super fosfato triplo com 16% de Ca na sua composição, podem ter influenciado na redução do Al na solução do solo.

Tabela 2. Resumo da estatística descritiva dos atributos químicos do solo Argissolo,

Variáveis	Mim	Max	M	Mediana	S	CV(%)	C	KS
MO	5,92	16,37	11,54	11,94	4,32	18,01	1,05	*
P	1,94	2,95	2,22	2,17	0,05	10,37	0,51	ns
K	0,04	0,12	0,06	0,06	0,002	24,49	0,73	*
Al	0	0,9	0,098	0,02	0,053	235,78	5,07	*
Ca + Mg	10,7	15,2	12,85	12,74	1,43	9,32	-0,67	ns
Ca	5,62	11,16	7,86	7,8	1,27	14,38	0,24	ns
Mg	1,3	7,94	4,98	4,97	1,29	22,83	1,45	ns
pH	4,29	5,01	4,71	4,71	0,043	4,43	-1,04	ns
H + Al	0,84	2,62	1,4	1,29	0,170	29,32	0,18	ns
SB	10,75	15,29	13,01	12,83	1,32	8,82	-0,70	ns
CTC	12,59	16,5	14,42	14,25	1,05	7,10	-0,64	ns
CTCe	10,75	15,29	13,11	12,99	1,29	8,68	-0,65	ns
m%	0	6,45	0,74	0,01	2,98	232,64	4,98	*
V%	81,17	94,05	90,16	90,82	9,37	3,39	0,11	ns

Mím= Valor mínimo, Max= Valor máximo, M= Média, Md= Mediana, CV= Coeficiente de variação, C= Curtose, K-S= Teste de Kolmogorov-Smirnov, NS= Não significativo a 5% de probabilidade, * = Significativo, Var= variáveis, S= Desvio padrão.

O grau de distanciamento dos valores de média e mediana favorece a elevação da proporção de indivíduos nos extremos da curva. Essa diferenciação dos dados, aponta para áreas sendo influenciadas com amplas intensidades tornando possíveis flutuações dos dados no espaço, fato este evidenciado para as variáveis Al e m%. Para as demais variáveis a distribuição apresentou-se de forma mais moderada.

Os valores do coeficiente de variação (CV) seguiram mesmo padrão de distribuição do coeficiente de kurtose, ou seja, variações de 235% e 232% para as variáveis Al e m%, respectivamente. Com base nesses valores, observa-se que o padrão de anormalidade na distribuição normal influenciou o CV dessas variáveis, assim como o CV muito alto, indica série de dados muito heterogênea. Esta alta variação é determinada pelo histórico de manejo, correção, adubação do solo, fatores, estes, que alteram a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo (SANA et al., 2014). A literatura aponta para alta variabilidade de P quando avaliado espacialmente, onde o efeito residual de adubações anteriores influencia no aumento da amplitude e do CV, visto que este elemento apresenta baixa mobilidade (SILVA et al., 2010). No entanto, nesses trabalhos as adubações foram realizadas em linhas o que influencia a amplitude devido a baixa mobilidade do P, entretanto,

para o presente trabalho, as aplicações foram homogêneas na área, sendo que o fracionamento da adubação durante o ano também pode ter influenciado na baixa amplitude. Fator observado (Figura 7), onde, apesar da baixa concentração de P, observou-se padrão de distribuição com variações mínimas (SILVA, 2012).

Observou-se para análise de componentes principais, através de todos os atributos químicos avaliados, a formação de dois componentes. Para isto, a seleção dos CP é determinada via observação dos autovalores acima de 0,70, assim considera-se que o CP proporcionou informação relevante das variáveis originais (KAISER, 1958).

Para o primeiro componente observou-se variação explicativa (VE) na ordem de 49%, já para o segundo componente a VE foi de 24%, dessa forma os CP observados obtiveram VE acumulada de 73%. Neste sentido as variáveis K, Al, V% e Ca foram as correlacionadas mais significativas para o primeiro componente na ordem de -0,73, -0,71, -0,67 e -0,66, respectivamente. Para o segundo componente as variáveis Al e m% foram as mais significativas para correlação com a variação total dos dados com valores de -0,83 em ambas as variáveis, portanto as variáveis listadas acima, com base na análise CP são as mais responsivas e significantes para as variações químicas avaliadas no solo. Vale salientar que o alumínio foi a principal variável avaliada, com correlação significativa para os dois componentes avaliados.

Quando observado o valor de pH para os dois anos avaliados a média é de 4,9 inferior ao preconizado para o correto desenvolvimento da planta. Dessa forma, a relevante participação do Al na correlação e variação explicada para ambos os componentes pode estar relacionada ao baixo valor do pH. Sousa et al. (2013) relataram que para o correto desenvolvimento do sistema a faixa desejável de pH está por volta de 6,0 a 6,5.

Na maioria das variáveis ocorreram ajustes ao modelo gaussiano, porém CTCe, Ca e K ajustaram-se ao modelo exponencial, tendo a variável Ca + Mg ajuste ao modelo esférico. Os coeficientes de determinação variaram entres os atributos com melhores índices para P, Al e pH com 0,99, 0,98 e 0,96, respectivamente. O índice de dependência espacial (IDE) conforme a classificação recomendada por Robertson (1998) apresentou-se, em todas variáveis, dependência de moderada a forte. O estudo do grau de dependência espacial torna-se fundamental para descrição da distribuição espacial, devido a relação dos dados no espaço, tornando

possível a visualização regionalizada de cada atributo. Portanto, a forte dependência espacial, encontrada na grande maioria das variáveis (Tabela 3), deixa evidente o efeito do manejo da fertilidade do solo na distribuição dos nutrientes.

A avaliação da distância dentro da qual os pontos amostrais apresentam-se correlacionados espacialmente é determinada através do alcance. Os valores de alcance mostraram-se maiores para Al (77,6 m), m% (59,2m), P (45,7 m), e H + Al (34,05 m), respectivamente. Maiores valores de alcance torna o estudo em grandes áreas menos oneroso para estas variáveis, pela utilização de malhas amostrais maiores que as utilizadas no presente trabalho, dessa forma, a variável Al que obteve o maior alcance, podendo ser coletadas com malha amostral de 77,6 m reduzindo assim, o número de amostras coletadas.

O menor valor de alcance determinado na variável CTCe pode estar relacionada às variações entre os pontos amostrais, pois mesmo que o coeficiente de variação, 8,68%, tenha sido considerado de baixa variabilidade, a distribuição espacial dos nutrientes que compõem esta variável podem ter influenciado o alcance, visto que as variáveis K⁺, Ca e Mg apresentaram valores baixos na ordem de 11,5, 9,96 e 7,92 m, respectivamente.

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais para as características químicas do solo Argissolo.

	Modelo	Co	Co+c	Ao	[(c/co+c)]	IDE	Classificação	R ²
Variáveis	Modelos/parâmetros avaliados							
MO	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
P	Gaussiano	0,024	0,088	45,7	28,2	72,7	Moderado	0,99
K	Exponencial	0,003	0,003	11,5	12,4	87,6	Forte	0,65
Al	Gaussiano	0,030	0,127	77,6	26,0	76,4	Forte	0,98
Ca + Mg	Esférico	0,024	1,46	9,06	1,4	98,4	Forte	0,48
Ca	Exponencial	0,093	1,31	9,96	7,1	92,9	Forte	0,79
Mg	Exponencial	0,049	1,28	7,92	3,8	96,2	Forte	0,29
pH	Gaussiano	0,025	0,05	27,02	57,0	50	Moderado	0,95
H + Al	Gaussiano	0,082	0,24	34,05	44,0	65,8	Moderado	0,96
CTC	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
CTCe	Exponencial	0,136	1,36	7,8	10,0	90	Forte	0,35
m%	Gaussiano	1,62	5,25	59,2	31,9	69,1	Moderado	0,95
V%	Gaussiano	4,91	12,35	29,87	39,8	60,2	Moderado	0,94

Co= Efeito pepita, Co+C= Patamar, Ao= alcance, [(c/co+c)] X 100= Contribuição do efeito pepita (%), IDE= Índice de dependência espacial, r²= coeficiente de determinação.

A contribuição do efeito pepita (%) variou entre os componentes observados, com menor contribuição de 0,014 % para Ca + Mg, o que pode ser explicado pelo alto IDE. Em contra partida, grande parte das variáveis foram classificadas como de moderada dependência espacial, ou seja, possuem valores de contribuição acima de 28,7% evidenciando a descontinuidade destas variáveis, tornando a explicação da dependência espacial através do IDE menos eficiente.

Tabela 4. Correlação entre as variáveis principais e os componentes principais dos atributos químicos do solo.

Variáveis	Componente 1	Componente 2
MO	-0.50	- 0.02
P	-0.05	0.56
K	-0.62	- 0.25
Al	0.33	- 0.83
Mg	-0.25	0.51
pH	-0.71	- 0.39
m	0.35	- 0.83
V	-0.67	- 0.30
Ca	-0.66	- 0.31
CTC	-0.73	0.17

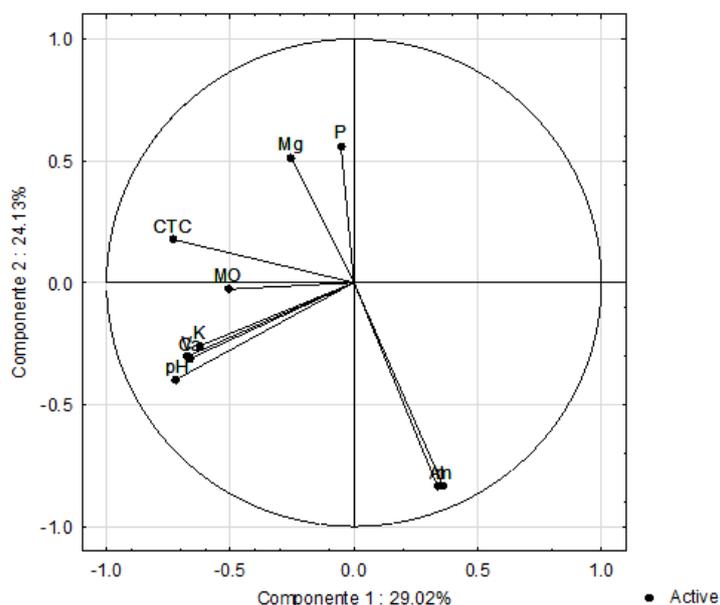


Figura 2. Circulo das correlações do plano formado pelos componentes principais 1 e 2.

Observou-se para Ca + Mg (Figura 3) distribuição heterogênea ao longo do espaço amostral. As concentrações dos atributos avaliados não seguiram padrões de distribuição gradativos ao longo do espaço, formando, apenas, pequenas zonas com valores mais elevados.

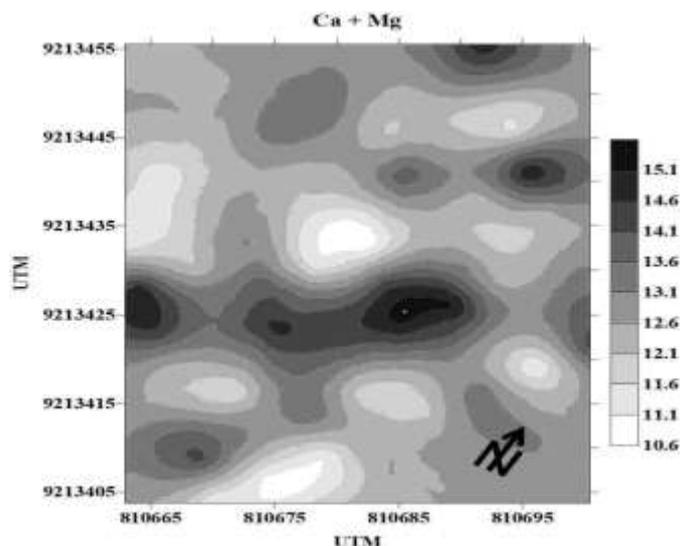


Figura 3. Avaliação espacial do atributo químico Cálcio e Magnésio (Ca + Mg) do solo Argissolo, da área experimental.

Neste sentido, como era esperado, visto o padrão de desenvolvimento da variável Ca + Mg e CTCe apresentou-se de forma semelhante, com zonas aleatórias de distribuição com valores baixos e altos (Figura 3 e 5). A similaridade deve-se a baixa concentração de potássio no solo, dessa forma, os cátions Ca e Mg são responsáveis por mais de 90% da CTCe, colaborando para alterações nas relações de nutrientes no solo.

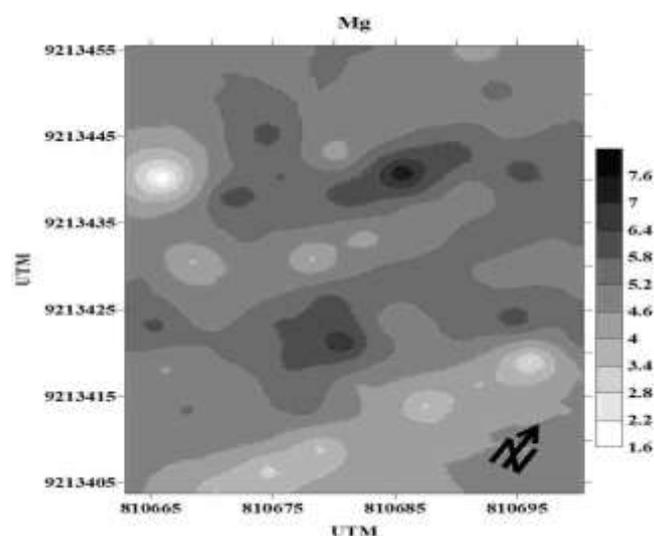


Figura 4. Avaliação espacial do atributo químico Magnésio (Mg) do solo Argissolo, da área experimental.

Com base na tabela 1, observa-se relação Ca:Mg de 1,57:1, e Ca:k de 131:1, respectivamente, isto com base na média amostral. Salvador et al. (2011) ao estudarem as relações Ca:Mg e suas influencias na absorção de outros nutrientes na cultura da soja, observaram que a relação Ca:Mg de 3:1 foi a mais adequada para o balanço nutricional do potássio, pois as concentrações foliares correlacionam-se de forma positiva a aplicação desse macronutriente no solo. Conforme os autores Salvador et al. (2011) a relação Ca:Mg 3:1 e 1:1 apresentaram equilíbrio no balanço nutricional quanto aos teores foliares, o que fortalece a manutenção desses nutrientes na planta. Para o presente trabalho, a correção realizada no início do ano de 2014 e os 19,2 kg de Ca presentes na fonte fosfatada utilizada não foram suficientes, observando, principalmente, a relação Ca:Mg deficiente, o que reflete a necessidade de reposição desses macronutrientes no solo, visto a alta exportação via pasto.

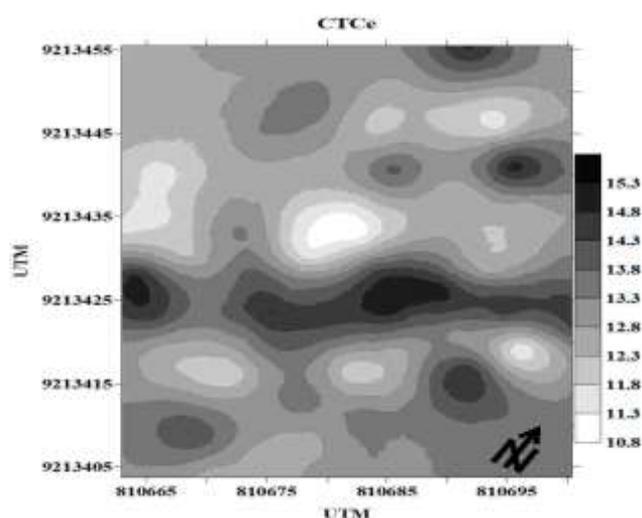


Figura 5. Avaliação espacial do atributo químico Capacidade de troca de Cátions efetiva (CTCe) do solo Argissolo, da área experimental.

A zona noroeste do mapa, áreas mais escuras do mapa, apresentou maiores valores para acidez potencial ($H + Al$) com predominância de íons H^+ , visto os valores extremamente baixos de alumínio (Figura 6). Com base na similaridade dos mapas de acidez potencial e umidade do solo (Figura 6 e 9), é possível afirmar que as melhores condições de umidade podem ter favorecido maior decomposição da matéria orgânica do solo e aumento nas concentrações de íons H^+ na solução do solo.

Canellas et al. (2003) observou maior acidez potencial em áreas com menor teor de carbono, indicando oxidação da matéria orgânica, gerando, assim, maior acidez, entretanto, os valores encontrados foram baixos não ultrapassando $2 \text{ Cmol}_c.\text{dcm}^{-3}$.

Artur et al, (2014) ao avaliarem a variabilidade dos atributos químicos do solo, associado ao microrrelevo, observou-se padrão semelhante de acidez potencial, com predominância para o H^+ , sendo que os baixos valores encontrados corroboram com as variações de pH observadas.

Os teores de fósforo ocorreram de forma homogênea na área avaliada. Segundo (Silva Júnior et al., 2012; Camargo et al., 2013), os fatores de manejo (adubação, calagem) e fatores físicos do solo (% de argila) são determinantes nas variações espaciais dos nutrientes, principalmente de nutrientes de baixa mobilidade na solução do solo (Figura 7).

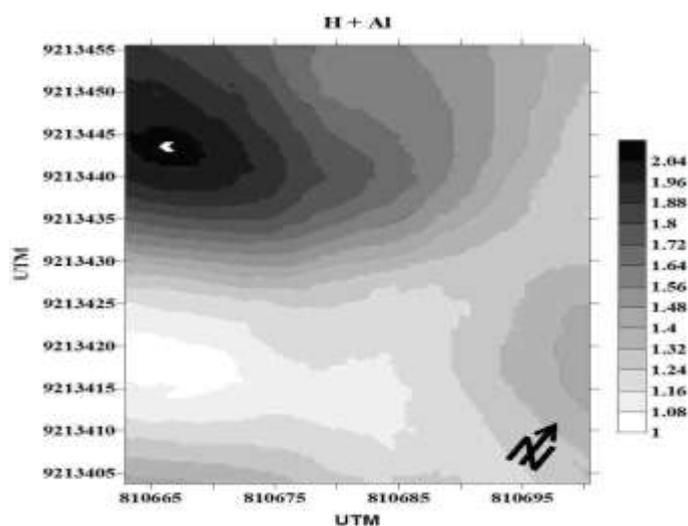


Figura 6. Avaliação espacial do atributo químico Hidrogênio e Alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}$) do solo Argissolo, da área experimental.

Apesar da variabilidade em toda a área amostrada os valores para P foram considerados muito baixos. Segundo Corrêa et al. (2011) as maiores concentrações de adsorção de fósforo são observados em solos mais ácidos, com maiores valores de acidez potencial e concentração de argila. Segundo os mesmos autores, ocorrem grandes variações para fósforo na ordem de 12,8 a 57,8 mg dcm^{-3} o que indica que os solos podem apresentar diferentes taxas de fixação de fósforo.

Para o presente trabalho as variações entre valores máximos e mínimos de 1,94 e 2,95 mg dcm³ (Tabela 1) corroboram com a afirmação de que mesmo com a variabilidade existente na área avaliada os valores encontrados estão abaixo dos encontrados na literatura. Portanto, apesar do fracionamento da adubação fosfatada, a mesma não foi suficiente para manter níveis mais elevados do nutriente no solo, dessa forma, uma alternativa poderia ser a adição de doses maiores as administradas para o presente trabalho.

Com base no mapa de isolinhas o pH (Figura 8) tem distribuição heterogênea, variando 0,5 unidades, no entanto, apesar do caráter ácido em toda a área avaliada, não observou-se similaridade da variabilidade desta variável com as de cátions básicos do solo e que o pH, não foi o fator responsável pela variabilidade e baixos índices de Ca, Mg e CTCe.

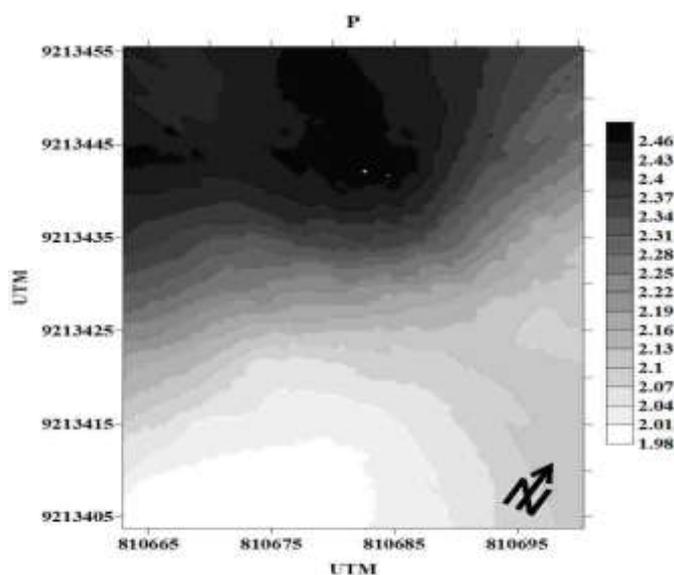


Figura 7. Avaliação espacial do atributo químico Fósforo (P) do solo Argissolo, da área experimental.

Outro fator importante observado através da variação de pH, é a necessidade de correções regionalizadas, onde, atende-se as necessidades de cada quadrante visto que a variável torna-se maleável em função do espaço e relevo. Segundo Carneiro et al. (2016) os mapas de isolinhas auxiliam no manejo adequado e indicam zonas prioritárias de manejo, áreas com deficiências nutricionais que podem impossibilitar o aumento da produção vegetal.

Dessa forma, na análise visual dos mapas é possível determinar áreas com níveis adequados ou não de nutrientes, possibilitando o manejo regionalizado da correção e adubação, possibilitando a redução de custo e aumento da produção.

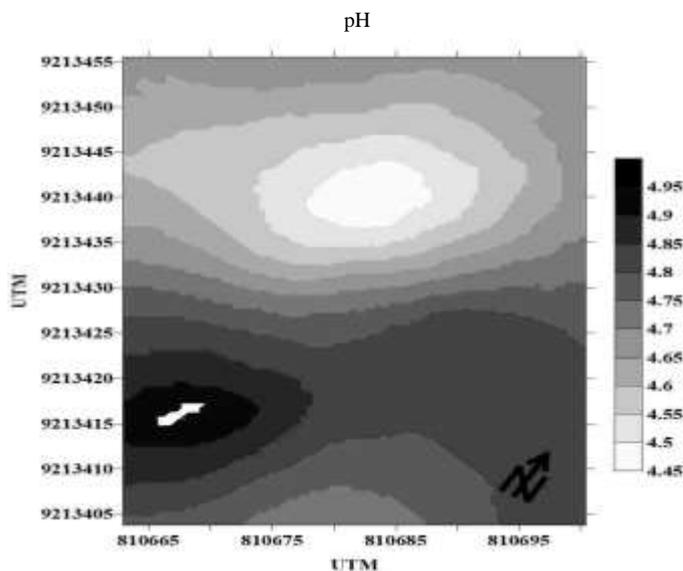


Figura 8. Avaliação espacial do atributo químico pH do solo Argissolo, da área experimental.

A área noroeste corresponde ao relevo côncavo do mapa, ou seja, região de acúmulo de partículas de solo e material orgânico, via enxurrada, neste sentido, observa-se através dos mapas, que as variáveis acidez potencial, P, Ph e umidade (Figuras 6,7,8 e 9) foram influenciadas pelo relevo. Portanto, no microrelevo ocorre o transporte de parte da água para superfícies retilínea e, desta, para a côncava. A inclinação e curvatura da área influenciam o fluxo da água, provocando variações nos atributos do solo (ARTUR, et al., 2014). Tais variações relacionam-se ao processo de drenagem no solo que está ligado aos ambientes deposicionais e erosionais controlando, dessa forma, o fluxo direcionado de água na área (NIZEYIMANA; BICKI, 1992).

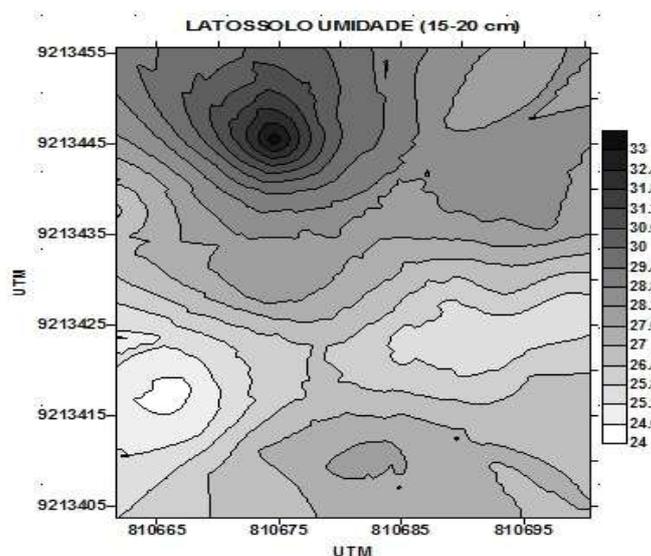


Figura 9. Avaliação espacial do atributo físico Umidade do solo de 0-20 cm do solo Argissolo, da área experimental.

CONCLUSÃO

O manejo de correção e adubação foram determinantes na distribuição dos atributos químicos no espaço amostral. Neste sentido, a adubação fosfatada tornou as variações de fósforo mínimas em toda a área avaliada, corroborando com a hipótese de que a aplicação regionalizada, levando em consideração as variações de fósforo no espaço, são fundamentais para redução na amplitude de valores do nutriente no espaço, tornando a área mais homogênea possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARTUR, A.G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C.G.; ROMERO, R.E.; SILVA, M.V.C.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira Agrícola Ambiental*, v.18, n.2, p.141-149, 2014.

BOTTEGA, E,L.;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 Agronomica*, v.44,n.1,p.1-9, 2013.

CAMARGO, L.A.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G.T. & ALLEONI, L.R.F. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. *Catena*, 100:100-106, 2013a.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; J. F. G. P. RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK. V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Chemical soil properties of an inceptisol under long-term sugarcane crops with vinasse application and without slash burning. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.935-944, 2003.

CARNEIRO, J.S.S.; FARIA, A.J.G.; FIDELIS, R.R.; SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; SILVA, R.R. Diagnóstico da variabilidade e manejo da fertilidade do solo no cerrado. *Scientia agraria*, v.17, n.3, p.38-49. 2016.

CORÁ, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade especial e atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; ROCHA, A.T. Adsorção de fósforo em dez solos do estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. *Acta Scientiarum Agronomy*, vol.33, n.1, p.153-159, 2011.

DALCHIAVON.F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v 33, n. 22, p. 541-552, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009.627 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3º edição versão ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

JUNIOR, J.F; MARQUES Jr., J.; CAMARGO, LA.; TEIXEIRA, D.D.B; PANOSSO, A.R. & PEREIRA,G.T.; Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedoformas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1960-1703, 2012.

KAISER HF. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *sychometrika*. 1958, n.23, p.187-200.

MOME FILHO E.A, SILVA AP, FIGUEIREDO GC, GIMENES FHS,VITTI AC. Compared performance of penetrometers and effect of soil water content on penetration resistance measurements. *Rev. Brasileira Ciência Solo*. 2014;38:744-54.

NIZEYIMANA, E.; BICKI, T. J. Soil and soil landscape relationships in the North Central region of Rwanda, East-Central Africa. *Soil Science*, v.153, p.225-236, 1992.

OLIVEIRA, M. C. N. de.; Métodos de estimação de parâmetros em modelos geoestatísticos com diferentes estruturas de covariâncias: uma aplicação ao teor de cálcio no solo. Tese - ESALQ - Piracicaba, 2003.140 p. :

ROBERTSON, G.P. *GS+: geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SALVADOR, J.T.; CARVALHO, T.C.; LUCCHESI, L.A.C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambiental, Curitiba, v.9, n.1, p.27-32, 2011.

SANA, R.S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z.N.; HOLZSCHUH, M.J.; Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. Revista Brasileira engenharia Agrícola Ambiental, v.18, n.10, p.994-1002, 2014.

SILVA F.M.; SOUZA Z.M.; FIGUEIREDO C.A.P.; VIEIRA L.H.S.; OLIVEIRA E. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. Ciência e Agrotecnologia, 32:231-241, 2012.

SILVA S.A.; 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 Ciência do Solo. V.34, p.15-22, 2010.

SILVA, S.A.; SOUZA LIMA, J.S.; SOUZA, G.S. Estudo da fertilidade de um latossolo vermelho-amarelo húmico sob cultivo de café arábica por meio de geoestatística. Revista Ceres, Viçosa, v.57, n. 4, p.560-567, 2010.

SILVEIRA JUNIOR, J.F.; MARQUES Jr., J.; CAMARGO, L.A.; TEIXEIRA, D.D.B.; PANOSSO, A.R. & PEREIRA, G.T. Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedoformas. R. Bras. Ci. Solo, 36:1690-1703, 2012.

SOUSA, L.F.A.; MARINHO, R.V.S.; NASCIMENTO, I.O.; .Determinação do pH de um argissolo vermelho amarelo distrófico incubado com aplicação de doses crescentes de caco3 por diferentes métodos. Revista Agroecossistemas, v. 5, n. 2, p. 58-63, 2013

VIEIRA SR. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. Tópicos Ci Solo. 2000;1:1-54.

CAPITULO 4: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUIMICOS E FISICOS EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO

RESUMO

O conhecimento da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos possibilita a manutenção ou a recuperação da fertilidade do solo. O trabalho foi conduzido na escola de Medicina Veterinária e Zootecnia em Araguaina, teve como objetivo analisar a variabilidade espacial de Neossolo Quartzarênico em uma malha regular com 64 pontos amostrais em uma área de 1.225,00 m². Os atributos apresentaram distribuição normal pelo teste estatístico Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, exceto as variáveis: Matéria orgânica (MO), K, Alumínio (Al), saturação por alumínio (m%) RP10 e RP15. Os atributos Al, pH, H + Al, CTC e V%, apresentaram dependência espacial sendo os ajustes com IDE forte. As variáveis MO, P, K, Ca, Mg, Ca + Mg e CTCe apresentaram efeito pepita puro. A variabilidade espacial mostrou a dinâmica na área avaliada, onde características do solo (fração areia e relevo) influenciam na umidade no solo e CTC, indicando correlação entre estas variáveis. A resistência a penetração mostrou heterogeneidade com distribuição influenciada, principalmente pela umidade do solo, ocorrendo maior resistência a partir de 10 cm. A saturação por base sugere que os baixos valores de cátions básicos observados podem ter influenciado o aumento da acidez e redução do pH.

Termos para indexação: Adubação química; Geoestatística; manejo do solo.

CHAPTER 4: SPACE VARIABILITY OF CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES IN NEOSOLO TYPICAL OTIC QUARTZARENIC

ABSTRACT

Knowledge of spatial variability of chemical and physical attributes makes it possible to maintain or recover soil fertility. The work was conducted at the School of Veterinary Medicine and Animal Science in Araguaina, with the objective to analyze the spatial variability of Quartzarenic Neosol in a regular mesh with 64 sample points in an area of 1.225.00 m². The attributes presented normal distribution by the Kolmogorov-Smirnov statistical test at 5% probability, except for the variables: Organic matter (OM), K, Aluminum (Al), aluminum saturation (m%) RP10 and RP15. The attributes Al, pH, H + Al, CTC and V%, presented spatial dependence being the adjustments with strong IDE. The variables MO, P, K, Ca, Mg, Ca + Mg and CTCe showed pure nugget effect. The spatial variability showed the dynamics in the evaluated area, where soil characteristics (sand fraction and relief) influenced soil moisture and CTC, indicating a correlation between these variables. The resistance to penetration showed heterogeneity with a distribution influenced, mainly by the soil moisture, occurring greater resistance from 10 cm. The saturation by base suggests that the low values of basic cations observed may have influenced the increase of acidity and reduction of pH.

Index terms: Chemical fertilization; Geostatistic; management.

INTRODUÇÃO

Reconhecido como um solo frágil para uso na agricultura o neossolo quartzarênico órtico típico é caracterizado por sua textura arenosa com perfil profundo e alta permeabilidade (EMBRAPA 2006). O cerrado brasileiro compreende aproximadamente 207 milhões de ha⁻¹ com aproximadamente 127 milhões de ha⁻¹ aptos para uso agrícola e cultivo de pastagens tropicais, caracterizam-se de uma forma geral como solos de baixa fertilidade, ácidos, com baixa retenção de água e nutrientes que no geral apresentam naturalmente baixos índices produtivos e suscetíveis a degradação (CAETANO 2013). A manutenção ou a recuperação da fertilidade de Neossolo Quartzarênico órtico, permite a continuidade ou aumento da produtividade, entretanto, devem-se buscar estratégias que melhor se adapte a região permitindo melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo.

Dentre todos os elementos essenciais para a planta, o nitrogênio e o fósforo são considerados fundamentais. Encontrado em todos os ambientes da biosfera terrestre, o nitrogênio é imprescindível para as plantas, uma vez que está presente em diversos compostos e estruturas (ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas, enzimas) da planta (BREDEMEIER e MUNDSTOCK, 2000; MIFLIN e LEA, 1976). O fósforo é considerado nutriente primordial, principalmente pela essencialidade dele nas plantas como: fotossíntese, respiração, armazenamento e transporte de energia, divisão e crescimento de células no estabelecimento e manutenção das pastagens. Apesar de sua essencialidade na fisiologia da planta, os teores de fósforo disponível apresentam em geral baixo nível no solo, baixa mobilidade e alto poder de imobilização, tornando-se importante seu acompanhamento no solo e na planta, permitindo melhorar estratégias de adubação, recuperação ou de reposição para restaurar as condições no solo (SOUZA et al., 2014; COSTA et al., 2009; EPSTEIN et al., 2006; PRADO et al., 2005).

Cultivos intensivos dos solos com monoculturas e o uso de máquinas e equipamentos pesados, bem como pastagens degradadas com pastejo excessivo levam à degradação das condições físicas e principalmente ao incremento da compactação do solo (MOME FILHO et al., 2014). Segundo Pedrotti et al. (2001), a resistência à penetração serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Ela está diretamente correlacionada com vários atributos e condição do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e principalmente umidade.

Segundo Araújo et al., (2007) além do parâmetro de resistência a penetração (RP), atributos químicos como: P melich (mg dm^{-3}), acidez ativa (pH em CaCl_2), K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al, acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) expressos em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, P remanescente, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%) e matéria orgânica(M.O), podem ajudar a identificar o grau de alterações no solo, mediante práticas adotadas na condução da cultura. Desta forma, entender e visualizar variabilidades no solo em função do uso de tratos culturais de forma homogênea em locais com características diversas permite um controle das intervenções em áreas cultivadas acima do necessário.

A geoestatística como ferramenta de trabalho, permite entender a ocorrência de variabilidade no solo em função do seu uso, permitindo adequar o manejo otimizando recursos, através da análise de características e de seus aspectos aleatórios e espaciais. O estudo da dependência espacial dos dados, permite o desenvolvimento de imagens representativas da distribuição desses atributos no campo, possibilitando uma avaliação do comportamento de uma determinada variável. Através do semivariograma, pode-se modelar e verificar a dependência espacial de uma variável, possibilitando estimar dados de áreas com maiores dimensões, sendo o interpolador que utiliza o semi variograma para modelagem denominado de Krigagem.

O objetivo do trabalho foi identificar alterações físicas e químicas que ocorrem no solo diante de manejo nutricional, possibilitando alterações pontuais que melhorem a condição de uso e conservação do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins, campus de Araguaína, na escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, no período de janeiro de 2015 a abril de 2016, no setor de Ovinocultura, localizado nas coordenadas em UTM 0808806E e 9214896N quadrante 22 M, com altitude de 257 m. O clima da região caracteriza-se como AW – Tropical com estação seca (junho a setembro) e chuvosa (outubro a maio) bem definido, com precipitação média anual de 1800 mm. O comportamento pluviométrico da região de estudo encontra-se na (Figura 1), foram registrados pela estação meteorológica de Araguaína, localizada na Universidade Federal do Tocantins nas coordenadas em UTM 0809205E e 9213837N quadrante 22 M, com altitude de 234 m.

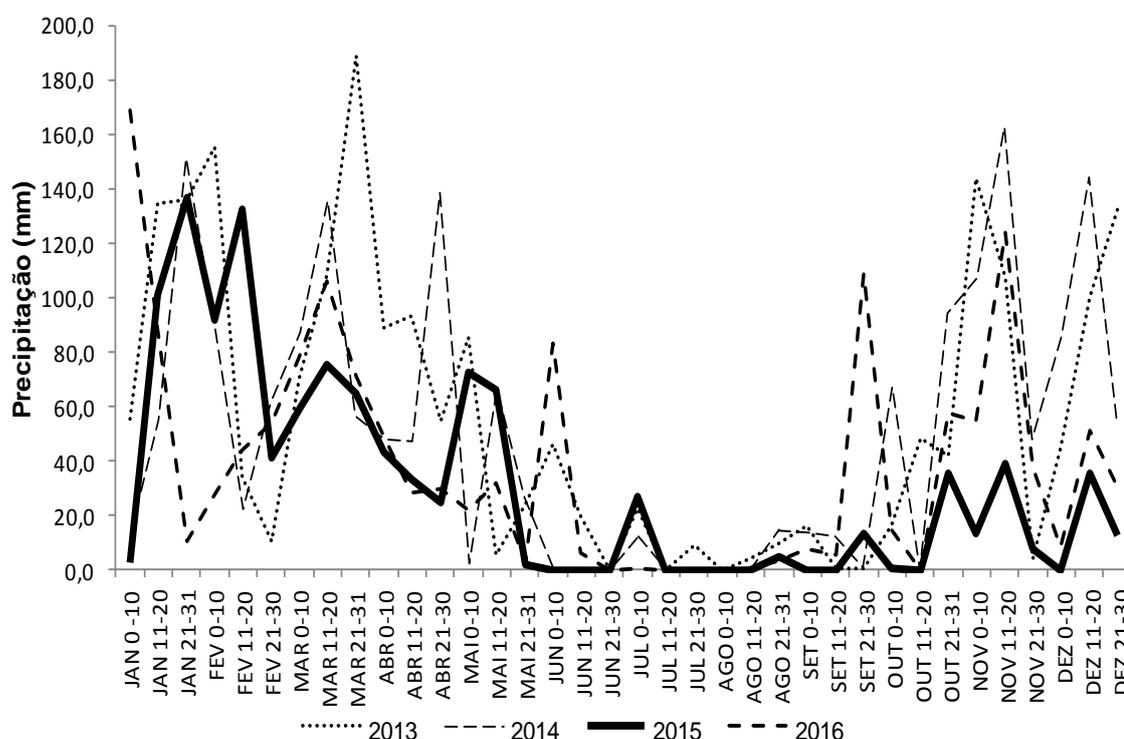


Figura 1. Índices pluviométricos do período de 2013 a 2016.

O solo da área um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (EMBRAPA, 2013). O pasto foi estabelecido em fevereiro de 2014 com capim *Megathyrus maximus* cv Mombaça. Antes do plantio, a área foi preparada com gradagem, correção com 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 90% com adubação de plantio com 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). O plantio da forrageira foi a lanço com 10kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis. Uma nova correção do solo foi

realizada em dezembro de 2014, com aplicação de 1000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 90%, de acordo com os resultados da análise química do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo Neossolo Quartzarênico, da área experimental, novembro de 2013 e dezembro de 2014, após a correção inicial.

Ano	M.O.	P	pH	K	Ca	Mg	Al	S.B	H + Al	CTC	V	m
	Dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³				%	
2013	--	1,89	4,8	0,003	0,50	0,35	0,09	0,943	0,28	2,033	77,10	8,712
2014	1,46	2,59	5,2	0,004	0,88	0,60	0,11	1,48	0,45	1,93	76,73	6,90

M.O. - Matéria orgânica; **P**- Fósforo Melich; **pH** - Solução CaCl₂; **K** – Potássio; **Ca** – Cálcio; **Mg** – Magnésio; **Al** – Alumínio; **S.B.**- Soma de bases; **H + Al** – Acidez potencial; **CTC** – Capacidade de troca de cátions; **V** – Saturação por bases; **m** – Saturação por alumínio.

Após a implantação da cultura, foram feitas três adubações distribuídas no decorrer dos 12 meses de coleta de dados: 1^a adubação 16/03/2015, 2^a adubação 14/11/2015 e 3^a adubação 26/02/2016, utilizando a dose de 40 P:80 N e mantendo uma relação de 60 kg K por ha mediante análise química da área. Durante o período de 12 meses foram efetuados cortes regulares da pastagem, simulando o pastejo de animais considerando a altura de entrada entre 0,70 e 0,80 m (valores médios nas áreas)

A área de Neossolo Quartzarênico Órtico típico foi demarcada com estacas numeradas em sequencia de 0 a 64 em linha reta e paralela com oito pontos cada, no espaçamento de 5 x 5 m formando um gride com 64 pontos, com área de 2.025,00 m². Todos os 64 pontos foram georeferenciados em UTM com GPS (Global Position System), formando um GRID regular destinado as avaliações. O espaçamento adotado para a malha é determinado em função da dependência espacial, menor resíduo e maior coeficiente de determinação, sendo o mínimo de 64 pontos de amostragem em cada um dos sistemas o suficiente para obtenção de dependência espacial. A sistematização da amostragem adotada permite a realização de estudos da variabilidade e dependência espacial das variáveis a serem analisadas utilizando análise geoestatística.

A análise do grau de dependência espacial foi realizado pelo método geoestatístico de Krigagem, de modo a definir o padrão espacial das variáveis estudadas por meio de gráficos de contorno, com auxílio do programa GS + v. 5.1.1 (ROBERTSON, 1998), que permite a seleção dos modelos com base na menor SQR (soma de quadrados dos resíduos) e melhor R² (coeficiente de determinação

espacial e grau de dependência espacial e elaboração de mapas de isolinhas para observação do número de localidades vizinhas empregadas para interpolação de pontos (VIEIRA, 2000).

A interpretação do índice de dependência espacial para escolha do modelo segue a classificação segundo Bottega et al (2013) citando (Zimback 2001):

- baixa dependência espacial $IDE \leq 25\%$
- moderada dependência espacial $25\% \leq IDE \leq 75\%$
- forte dependência espacial $IDE > 75\%$

- $IDE = [c / (c_0 + c)] \times 100$

onde:

IDE = Índice de dependência espacial;

C_0 = efeito pepita;

C = variância estrutural;

$C_0 + C$ = patamar.

COLETA E ANÁLISE DO SOLO

ANÁLISE QUÍMICA

Para avaliação química do solo na área destinada ao estudo da geo estatística, foram elaborados dois procedimentos de coleta. O primeiro levantamento seguiu a 5ª aproximação (1999), dividindo-se a área em duas partes composta de quatro linhas (1 – 4 e 5 – 8), denominadas de gleba. Foi feito caminhamento na forma de zig zag em cada gleba e com auxílio de trado foi efetuada a coleta de dez amostras, sendo que a cada cinco amostras foi feita homogeneização do material, formando a amostra 1 e posteriormente amostra 2. Esse procedimento foi repetido para as profundidades 0 – 20 cm e 20 – 40 cm para o ano 2015 no início dos trabalhos e antes das intervenções de adubação e repetidos no ano de 2016 quando encerraram se as coletas de dados, com o objetivo de caracterizar a área em estudo.

O segundo levantamento, foi realizado utilizando um trado de copo, sendo coletada a amostra a profundidade de 0 -20cm em cada ponto no grid regular.

Em relação a estatística utilizou-se método estatístico multivariado, onde objetivou-se a classificação os acessos (pontos georreferenciados) em grupos, isto, via análise de componentes principais (ACP). Há princípio, realizou-se ACP com todas as variáveis de química do solo de forma independente para o sistema avaliado. Dessa forma, selecionou-se os componentes através da combinação da correlação entre as variáveis, sendo sua classificação em ordem decrescente de importância, para a variação total dos dados (SILVA et al., 2010). Para isto utilizou-se o programa estatístico *statistica*. As características químicas do solo foram avaliadas seguindo os seguintes parâmetros: P melich (mg dm^{-3}), acidez ativa (pH em CaCl_2), K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al, acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) expressos em ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), P remanescente, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC),(CTCe), saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (V%), MO, segundo (EMBRAPA 2013), além das características físicas (EMBRAPA, 1997).

ANÁLISE FÍSICA

Os dados referentes a resistência a penetração foram mensuradas com a utilização de Penetrometro digital, para registro dos valores na base de cada ponto que forma o Grid. Os valores de pressão (KPa) nas profundidades: 0 – 5 cm; 5 – 10 cm; 10 – 15 cm; e 15 – 20 cm, foram armazenados no software do aparelho e transferido para planilha Excel.

Para determinação de umidade, porosidade, densidade de partícula e caracterização das áreas em estudo (EMBRAPA 2006), foram coletadas amostras de solo com anéis metálicos e trado, com as seguintes medidas 4,9 cm de \varnothing e 5,38 cm de altura com volume conhecido de $101,39 \text{ cm}^3$, ao lado de cada ponto foram coletadas amostras nas seguintes profundidades: 0 – 5 cm; 5 – 10 cm; 10 – 15 cm; 15 – 20 cm. Cada amostra foi pesada para determinação de peso úmido sendo acondicionada em embalagem de alumínio com tampa. Posteriormente as amostras foram colocadas em estufa a 105°C por 24/48/72 horas. Após o resfriamento da amostra as mesmas foram pesadas sendo determinado o peso seco. A partir dos dados, segundo o método da Embrapa (2006) foram determinados valores de % de umidade no solo, porosidade e densidade de partícula e densidade aparente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação dos componentes principais (ACP) observou-se a formação de três componentes para as variáveis químicas do solo, sendo que juntos foi possível explicar mais que 70% da variabilidade total dos dados. Vale salientar que para o primeiro componente as variáveis Al, m%, pH e V% foram as mais significativas, sendo que as duas primeiras correlacionaram-se de forma positiva com a variabilidade total dos dados, com valores estimados em 0,83, 0,83, -0,70, -0,68, respectivamente; para o segundo componente a significância foi caracterizada por apenas a variável Ca com valor de correlação estimado em 0,78, portanto caracterizando este atributo químico como modificador da variação total para o segundo componente; o mesmo foi observado no terceiro componente, onde o Mg foi responsável pela totalidade da variabilidade total para este componente, com correlação na ordem de 0,79.

Diante da representatividade dos atributos químicos via multivariada, observou-se que os principais atributos a serem modificados de forma a influenciar as alterações desejadas na química do solo são: Al, Ca, Mg pH, m% e V%; haja visto que via análise de componentes principais as variáveis citadas acima foram responsáveis por mais de 70% da variabilidade total ocorrida do sistema. Portanto intervenções antrópicas via correção do solo e adubação pode ser determinante para a adequada modificação dos atributos que mais influenciam o sistema avaliado.

Os resultados da análise estatística descritiva encontram-se na Tabela 2, na qual observa-se que, para todos os atributos químicos, ocorreu pouca variabilidade dos valores das medidas de tendência central (média e mediana), o que indica distribuição simétrica, no entanto, para as variáveis potássio (K) e hidrogênio + alumínio (H + Al) os valores de curtose foram acima de 3, indicando para distribuição assimétrica com alongamento a direita, sendo que o maior valor de curtose foi observado para a variável resistência a penetração de 10 cm (RP10) de profundidade.

Tabela 2. Resumo da estatística descritiva dos atributos químicos Matéria orgânica (MO) (%), Fosforo (P) ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), potássio (K) ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Alumínio (Al) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Cálcio + Magnésio (Ca + Mg), Cálcio (Ca) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Magnésio (Mg) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), pH (CaCl_2), Hidrogênio + Alumínio (H + Al) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Soma de bases (SB) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Capacidade de troca de cátions (CTC) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), saturação por alumínio (m) (%), saturação por bases (V) (%), e físicos: resistência a penetração 0-5 cm (RP5), 10 cm (RP10), 15 cm (RP15) e umidade do solo 0-5 cm (Umid), 5-10 cm (Umid5-10) e 10-15 cm (umid10-15) de um Neossolo no norte do Tocantins.

Variáveis	Mim	Max	M	Mediana	S	CV(%)	C	KS
MO	1,18	6,55	3,1	2,7	1,24	35,64	0,64	*
P	3,19	6,41	4,7	4,56	0,61	16,68	-0,47	ns
K	0	0,01	0,006	0,01	0,001	35,32	4,71	*
Al	0	0,08	0,017	0,0	0,0006	146,77	0,51	*
Ca + Mg	1	2,19	1,405	1,36	0,087	21,02	-0,50	ns
Ca	0,33	1,27	0,631	0,605	0,038	30,8	0,40	ns
Mg	0,17	1,26	0,77	0,69	0,067	33,6	-0,92	ns
pH	4,44	5,1	4,77	4,78	0,016	2,6	0,30	ns
H + Al	0,03	2,57	0,85	0,80	0,2	52,5	3,44	ns
SB	1,01	2,2	1,42	1,39	0,09	20,5	-0,56	ns
CTC	1,14	3,81	2,28	2,22	0,27	22,6	1,33	ns
CTCe	1,01	2,2	1,44	1,43	0,088	20,5	-0,62	ns
m%	0	6,36	1,17	0	2,99	146,89	0,78	*
V%	28,08	98,2	64,15	64,35	166,07	20,0	1,07	ns
RP5	0	696	208	216	24929	69,9	0,14	ns
RP10	0	3581	821	831	235068	56,0	17,65	*
RP15	487	3047	1298,3	1341,5	188724	30,7	4,03	*
Umid0-5	1,5	9,3	4,7	5,1	3,0	33,1	-0,29	ns
Umid5-10	2,2	9,2		5,9	1,9	23,14	0,19	ns
Umid10-15	3,4	11,8		6,2	2,5	24,9	1,43	ns

Mím= Valor mínimo, Max= Valor máximo, M= Média, Md= Mediana, CV= Coeficiente de variação, C= Curtose, K-S= Teste de Kolmogorov-Smirnov, NS= Não significativo a 5% de probabilidade, S= Desvio padrão.

Todos os atributos apresentaram distribuição normal pelo teste estatístico Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, exceto as variáveis Matéria orgânica (MO), K, Alumínio (Al), saturação por alumínio (m%) RP10 e RP15. Neste sentido a anormalidade dos dados não impossibilita a utilização dos dados pela geoestatística, embora quando satisfeita a normalidade, a krigagem em locais não medidos via interpolação, tem sua eficiência aumentada, sendo assim um método mais eficiente em relação a outros (PAZ-GONZALEZ et al., 2001).

O coeficiente de variação (VC) possibilitou a avaliação da variabilidade dos atributos, onde foi observada, baixa variação para Ph, alta para Al, m% e RP5, sendo que as demais variáveis apresentaram variação média de acordo com a classificação proposta por Warrick; Nielsen (1980) onde $CV < 12\%$ é tido como baixo; $12\% < CV < 60\%$ é de média variação e $CV > 60\%$ é alto. O CV de 12,68 para a variável P a classifica como de média variação, no entanto a literatura relata que é comum CV altos para este atributo, devido, provavelmente, aos efeitos residuais de adubações anteriores, sendo que a baixa mobilidade e, geralmente, a adubação realizada em linha, na superfície do solo contribuem para as altas variações. No entanto, no presente trabalho foram efetuadas adubações de P_2O_5 para uniformidade do nutriente no solo, indicando, assim, que o manejo regionalizado foi responsável pela baixa variabilidade do atributo no espaço amostral.

Os valores dos modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas encontram-se na Tabela 3. Observa-se que os atributos químicos que apresentaram dependência espacial foram Al, pH, H + Al, CTC e V%, sendo todos os ajustes a ao grau de dependência forte, as demais variáveis apresentaram efeito pepita puro, indicando a variabilidade não explicada via interpolação pelo método de krigagem, o que pode estar relacionado, também, com a distância de amostragem utilizada.

Para as variáveis umidade do solo nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-15 cm e resistência a penetração (RP) nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-15 cm observou-se dependência espacial, indicando que a malha amostral utilizada para neossolo nas condições do presente trabalho são suficientes para determinar, via interpolação, a heterogeneidade da área, tornando o manejo mais eficiente, corroborando com Soares et al. (2015) que observaram que a distância de amostragem não foi capaz de obter toda a variação dos dados e, possivelmente, possa existir tendência dos valores em seguir certa direção. Vale ressaltar, que o regime de chuvas durante as coletas não influenciou os resultados obtidos, discordando de resultados encontrados na literatura, onde a precipitação próxima ao dia de coletas pode ter elevado o teor de água encontrado no solo (MARASCA et al., 2011; SILVA et al., 2017).

Em relação ao alcance os atributos são influenciados pelas práticas agronômicas, principalmente pela utilização de corretivos e fertilizantes, visto que o objetivo é a homogeneização da área de cultivo. Neste sentido ocorre correlação positiva entre homogeneidade da área e o aumento do raio de dependência espacial

dos atributos avaliados, ou seja, maior será o alcance. Portanto a utilização da agricultura de precisão, corrigindo e adubando de forma regionalizada cada atributo, tende a uniformizar a fertilidade do solo, tornando menor a variabilidade espacial e aumentando o alcance (CARNEIRO et al., 2016).

Foram observados valores de alcance variando de 12 a 47,01 m para pH e Al, respectivamente, corroborando com Carneiro et al. (2016) que obtiveram maior alcance para o atributo Al no valor de 1955 m. Dessa forma, o alcance para o presente trabalho para Al mostrou-se mais descontínuo quando comparado aos valores encontrados na literatura, ou seja, observou-se dependência espacial em raios menores, fato este que pode estar relacionado as características do solo estudado, haja vista a pequena parcela da fração argila na formação de solos arenosos, indicando pouca contribuição do Al elemento constituinte da partícula de argila.

O modelo exponencial foi o que mais se adequou aos semivariogramas experimentais dos atributos, exceto para a variável pH e m%, o oposto do observado por Carneiro et al. (2016). Sendo que a diferença maior entre os modelos exponencial e esférico é que, o primeiro atinge o patamar de forma assintótica, no entanto, o segundo o atinge no valor do alcance (DRUCK et al., 2004).

Para as variáveis físicas do solo observou-se adequação aos modelos exponencial para RP5 e Umid5-10, ao modelo gaussiano os atributos físicos Umid 0-5 e Umid 10-15, já as variáveis RP10 e RP15 adequaram-se ao modelo esférico. Os demais atributos apresentaram efeito pepita puro, indicando a variabilidade existente em pequenas distâncias, incorporando, ainda, a erros, o que torna necessário o uso de grades amostrais mais densas para sua representação (SANA et al., 2014).

Os mapas de isolinhas para RP05, RP10 e RP15 foram obtidos via krigagem ordinária (Figuras 3 e 4), observou-se grandes variações de valores para resistência a penetração, onde as áreas com maior intensidade de resistência foram alteradas espacialmente, na medida que mudaram as profundidades. A heterogeneidade espacial ressalta a importância de planejar o manejo de maneira diferenciada, pois o mapeamento de áreas que apresentam maiores necessidades de manejo naquele momento, torna viável uma gestão mais eficiente de insumos e recursos, tornando o sistema mais produtivo e econômico (SILVA et al., 2017).

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais para as características químicas Matéria orgânica (MO) (%), Fosforo (P) ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), potássio (K) ($\text{mmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Alumínio (Al) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Cálcio + Magnésio (Ca + Mg), Cálcio (Ca) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Magnésio (Mg) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), pH (CaCl_2), Hidrogênio + Alumínio (H + Al) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Soma de bases (SB) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Capacidade de troca de cátions (CTC) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) ($\text{cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$), saturação por alumínio (m) (%), saturação por bases (V) (%), e físicos: resistência a penetração 0-5 cm (RP5), 10 cm (RP10), 15 cm (RP15) e umidade do solo 0-5 cm (Umid), 5-10 cm (Umid5-10) e 10-15 cm (umid10-15) de um Neossolo no norte do Tocantins.

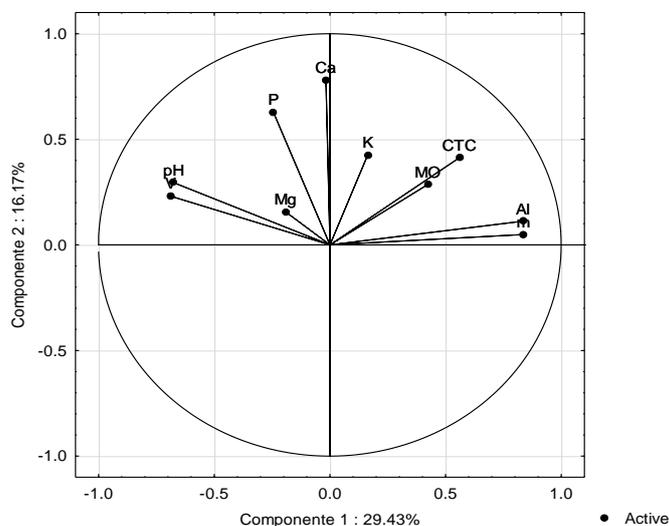
	Modelo	Co	Co+c	Ao	[(co/co+c)]	IDE	Classificação	R ²
Variáveis	Modelos/parâmetros avaliados							
MO	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
P	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
K	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
Al	Exponencial	0,00001	0,0088	47,01	0,01	99,9	Forte	0,84
Ca + Mg	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
Ca	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
Mg	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
pH	Gaussiano	0,00001	0,0135	12	0,01	99,9	Forte	0,67
H + Al	Exponencial	0,019	0,21	16,2	0,084	91,0	Forte	0,9
CTC	Exponencial	0,028	0,284	18,63	0,009	90,1	Forte	0,82
CTCe	Ef. Pepita	-	-	-	-	-	-	-
m%	Gaussiano	0,001	2,91	14,63	0	100	Forte	0,80
V%	Exponencial	15,5	184	14,28	0,084	91,6	Forte	0,98
Umid0-5	Gaussiano	1,55	3,69	43,57	0,42	58,0	Moderado	0,98
Umid5-10	Exponencial	0,84	2,01	72,6	0,42	58,2	Moderado	0,78
Umid10-15	Gaussiano	1,18	2,38	26,18	0,497	50,4	Moderado	0,71
RP5	Exponencial	1250	24890	7,5	0,050	95,0	Forte	0,80
RP10	Esférico	4200	224500	9,1	0,019	98,1	Forte	0,26
RP15	Esférico	100	176600	6,8	0,001	99,9	Forte	0,018

Co= Efeito pepita, Co+C= Patamar, Ao= alcance, [(co/co+c)] X 100= Contribuição do efeito pepita (%), GDE= Grau de dependência espacial, r²= coeficiente de determinação.

Tabela 4. Correlação entre as variáveis principais e os componentes principais dos atributos químicos do solo.

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
MO	0.42	0.28	-0.12
P	-0.24	0.62	-0.04
K	0.16	0.42	0.15
Al	0.83*	0.11	-0.22
Mg	-0.19	0.15	0.79*
pH	-0.70*	0.29	-0.08
m	0.83*	0.04	-0.27
V	-0.68*	0.23	-0.24
Ca	-0.01	0.78*	-0.34
CTC	0.55	0.41	0.65

Figura 2. Circulo das correlações do plano formado pelos componentes principais 1e 2.



Os mapas de isolinhas para RP05, RP10 e RP15 foram obtidos via krigagem ordinária (Figuras 3 e 4), observou-se grandes variações de valores para resistência a penetração, onde as áreas com maior intensidade de resistência foram alteradas espacialmente, na medida que mudaram as profundidades. A heterogeneidade espacial ressalta a importância de planejar o manejo de maneira diferenciada, pois o mapeamento de áreas que apresentam maiores necessidades de manejo naquele momento, tornam viável uma gestão mais eficiente de insumos e recursos, tornando o sistema mais produtivo e econômico (SILVA et al., 2017).

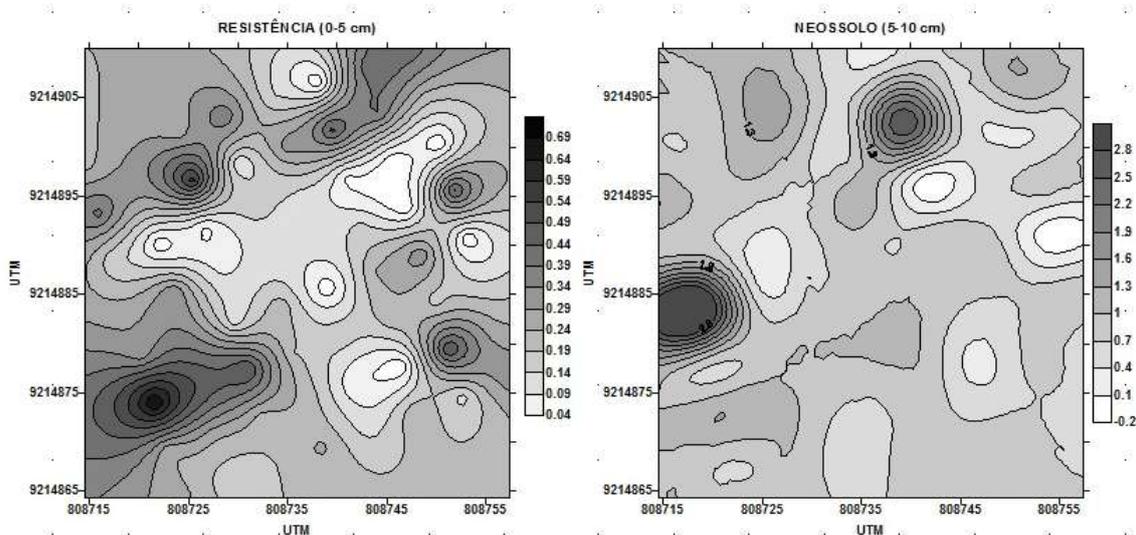


Figura 3. Avaliação espacial do atributo físico Resistência a penetração 0-5 cm (RP5) e 10 cm (RP10) em neossolo no norte do Tocantins.

A RP seguiu tendência crescente com o aumento da profundidade. Na profundidade de 0-5 cm observou-se menor RP com pontos de máxima (áreas mais escuras do mapa) inferiores as camadas de 5-10 (Figura 3) e 10-15 cm (Figura 4), sendo que a última obteve os maiores valores para resistência a penetração, corroborando com a literatura, onde justificou-se a menor RP na camada superficial em detrimento da maior participação do sistema radicular das plantas nessa camada (SANTOS et al., 2015; SILVA et al., 2017). Ainda segundo os autores, a profundidade entre 10-30 cm a resistência à penetração é maior, devido a presença de máquinas agrícolas e o pisoteio dos animais, formando, dessa forma, uma camada subsuperficial compactada.

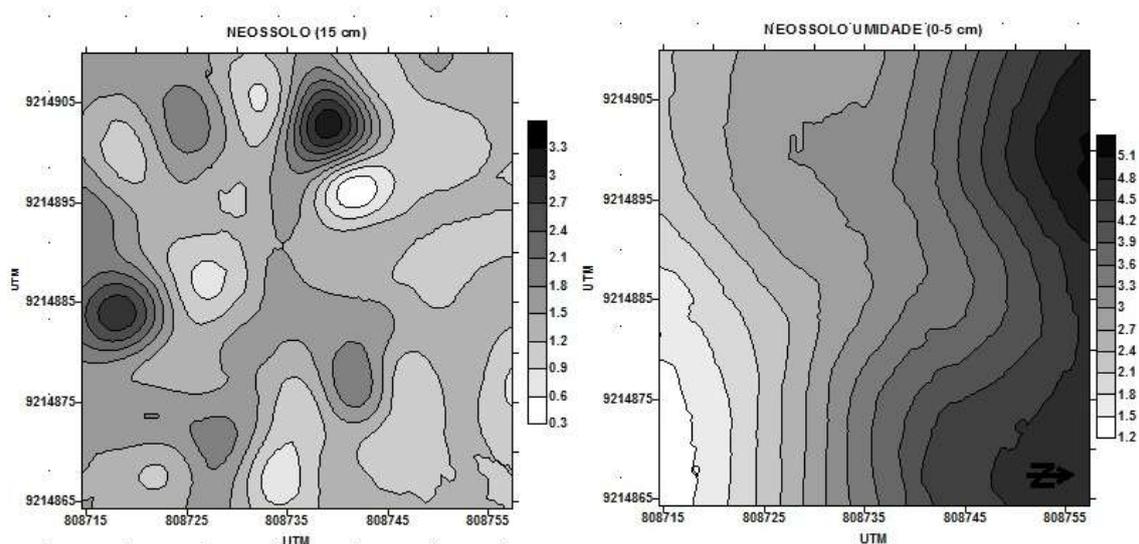


Figura 4. Avaliação espacial do atributo físico Resistência a penetração 15 cm (RP15) e umidade do solo 0-5 cm (Umid0-5) em neossolo no norte do Tocantins.

A umidade do solo (Figuras 4 e 5) apresentou valores heterogêneos na área amostrada com gradativo crescimento na umidade da região oeste para a norte (N), fato que pode estar relacionado com o relevo da área, visto que a região N compreende o relevo côncavo, onde foi construído um terraço em nível, indicando a importância do manejo do solo na conservação da umidade, sendo os fatores antrópicos e naturais (relevo) fundamentais para manutenção das condições de umidade no solo.

Os mapas de umidade 0-5 cm (Figura 4) e RP na profundidade de 0-5 cm (Figura 3) possuem áreas similares, ou seja, na região oeste dos mapas observou-se os maiores valores para RP e os menores para umidade. Nessas condições,

onde a fração areia é predominante na formação de solos como o Neossolo, a textura influencia na rápida permeabilidade e posterior variação no conteúdo de água no solo, transferindo essa característica para a RP (SILVEIRA et al., 2010). Portanto áreas com valores altos da fração areia tem facilidade na perda de umidade, sendo o revelo nessas condições fator condicionante na manutenção da água no solo.

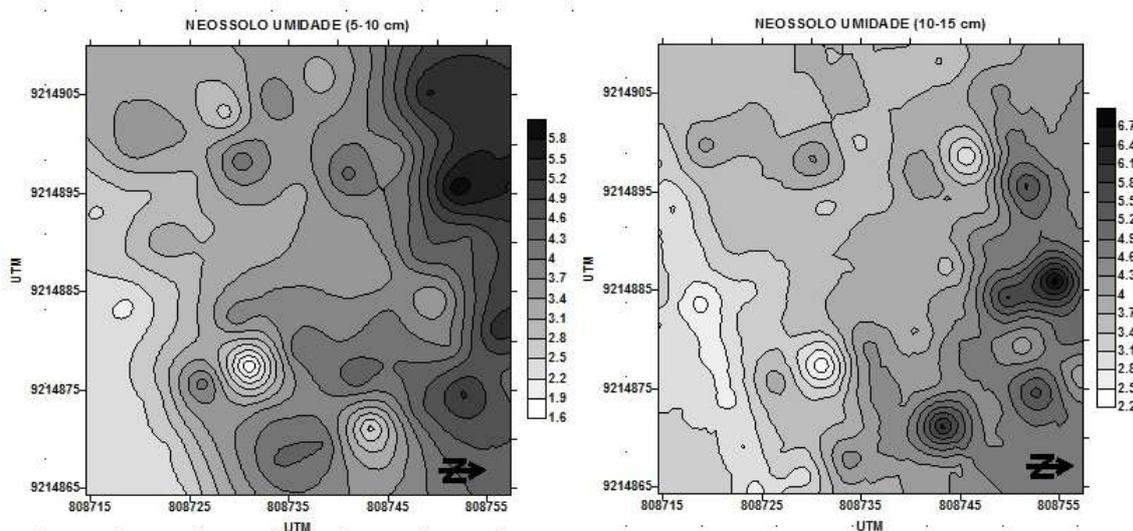


Figura 5. Avaliação espacial do atributo físico umidade do solo 5-10 cm (Umid0-5) e 10-15 cm (Umid10-15) em neossolo no norte do Tocantins.

A CTC variou em toda a área do mapa (Figura 6) com distribuições similares ao mapa de umidade, com maior intensidade na região côncava do mapa, indicando que o relevo da área favoreceu a deposição de nutrientes em determinadas áreas, no entanto os reduzidos valores de CTC, que não passaram de $3,4 \text{ Cmolc.dm}^3$, podem estar relacionados aos baixos valores de MO (Tabela 1) e de argila, pois esses atributos são responsáveis pelo aumento de cargas negativas favorecendo, dessa forma, a retenção de nutrientes, no entanto, em solos com altos valores da fração areia não observa-se esse aumento de cargas, sendo a inclinação na área da superfície convexa até a côncava outro fator que aumenta o acúmulo de argila e CTC na superfície (ARTUR et al., 2014). Corroborando com Lemos Filho et al. (2017) que estudaram os atributos do solo como indicadores de degradação ambiental, onde os autores observaram maiores concentrações de MO nas menores altitudes, ou seja, ocorre o transporte de partículas partindo da cabeceira do terreno para o seu exutório (região mais baixa).

A adubação nitrogenada com uréia, que apresenta forte efeito acidificante residual, pode causar diferenças nos efeitos sobre o pH, decorrentes da nitrificação posterior à hidrólise da uréia. Neste sentido, a CTC inicial do solo, que representa seu poder tampão, é um dos principais fatores que afetam o DpH. Portanto solos com baixa CTC podem apresentar maior acidificação pela uréia (ABREU JUNIOR et al., 2000). Neste contexto, para o presente trabalho os baixos valores de CTC, em toda a área experimental, podem ter contribuído para os valores de pH ácido inferiores a 5,2 (Figura 6), haja visto que durante o período experimental foram realizadas adubações nitrogenadas com uréia, indicando que o manejo de adubação teria menor poder de acidificação para valores iniciais de CTC maiores que os observados.

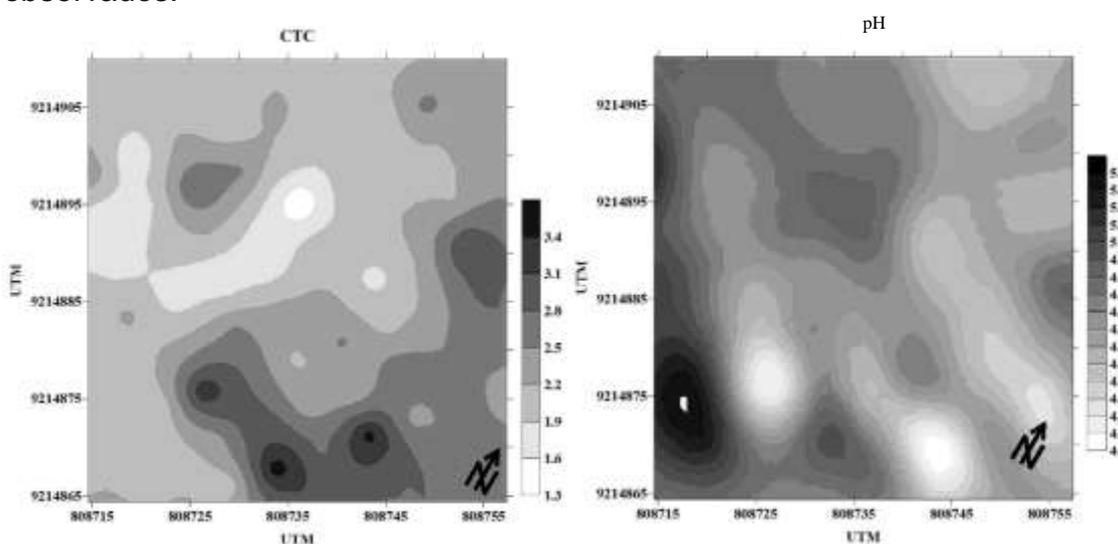


Figura 6. Avaliação espacial dos atributos químicos Capacidade de troca de cátions (CTC) e pH (CaCl_2) em neossolo no norte do Tocantins.

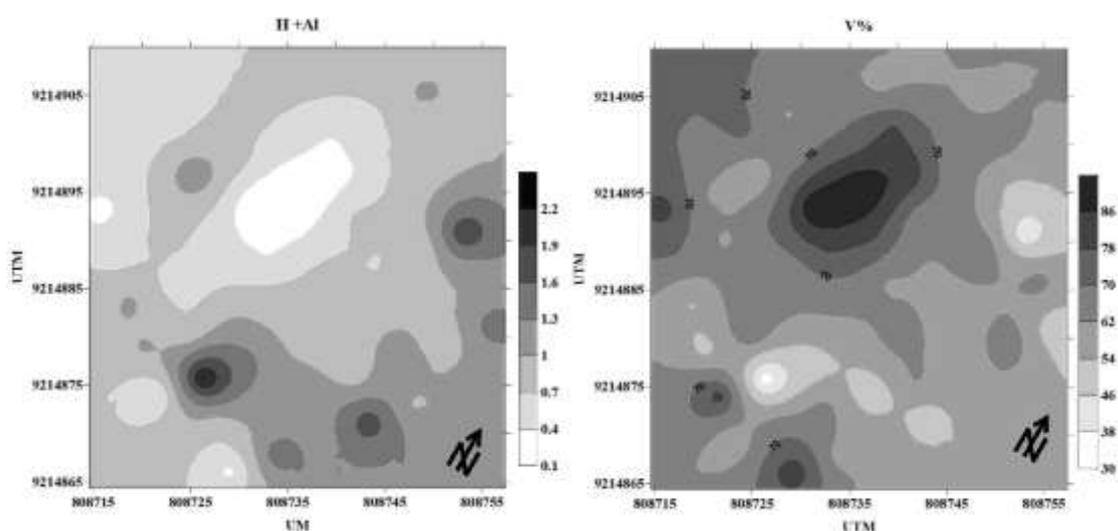


Figura 7. Avaliação espacial dos atributos químicos Hidrogênio + Alumínio (H + Al) e Saturação por bases (V%) em neossolo no norte do Tocantins.

Os elevados valores de saturação por bases (V%) (Figura 7) foram mascarados pelos baixos valores de Al no solo, sendo que a elevada saturação observada não significa altas concentrações dos cátions desejáveis no solo, ou seja observa-se valores na ordem de 0,6, 0,01 e 0,69 para Ca, K e Mg, respectivamente (Tabela 1), resultados inferiores aos encontrados na literatura. Frazão et al. (2008) ao avaliarem diferentes tipos de manejo em neossolo no cerrado, observaram em áreas de pastagem média de 0,3, 2,0 e 1,6 para os atributos químicos K, Ca e Mg, respectivamente, sendo os baixos teores de bases trocáveis fator preponderante no aumento da acidez potencial (Figura 7).

CONCLUSÃO

A variabilidade espacial dos atributos químicos mostrou-se dinâmica na área avaliada, onde características do solo (fração areia e relevo) influenciam diretamente na distribuição e intensidade da umidade no solo, sendo que CTC do solo seguiu o mesmo padrão para umidade, indicando certa correlação entre estas variáveis.

A resistência a penetração mostrou-se heterogênea no espaço amostral com distribuição influenciada, principalmente pela umidade do solo, sendo que ocorre maior resistência a partir de 10 cm, ou seja, regiões de subsuperfície.

O manejo inicial, principalmente relacionado a saturação por bases é importante para manutenção de níveis adequados de acidez no solo, visto que os baixos valores de Cátions básicos observados podem ter influenciado o aumento da acidez e redução do pH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F.; ALVAREZ, F.C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com compostos de lixo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n.24, p.635-647, 2000.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARTUR, A.G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C.G.; ROMERO, R.E.; SILVA, M.V.C.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira Agrícola Ambiental*, v.18, n.2, p.141-149, 2014.

BOTTEGA, E,L.;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 Agronomica*, v.44,n.1,p.1-9, 2013.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

CAETANO, Jeander Oliveira et al. Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 2013, vol.37, n.5,

CARNEIRO, J.S.S.; FARIA, A.J.G.; FIDELIS, R.R.; NETO, S.P.S.; SANTOS, A.C.; SILVA, R.R. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no cerrado. *Scientia Agraria*, v.17, n.3, p.38-49, 2016.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. *Revista Caatinga, Mossoró*, v. 22, n. 3, p. 229- 235, 2009.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. Análise espacial de dados geográficos. Embrapa- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília. P.209, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.212p. :EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA BRASILEIRA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3º edição versão ampliada. Brasília,DF:Embrapa,2013.353 p.
EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 402 p.

LEMOS FILHO, L. C.; FERREIRA, L. L. N.; LYRA, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. Revista Agro@mbiente On-line, v. 11, n. 1, p. 11-20, janeiro-março, 2017

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. Bioscience Journal, Uberlândia-MG, v. 27, n. 2. p. 239-246. 2011.

MIFLIN, B.J.; LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. Phytochemistry, v.15, p.873-885, 1976.

MOME FILHO EA, SILVA AP, FIGUEIREDO GC, GIMENES FHS,VITTI AC. Compared performance of penetrometers and effect of soil water content on penetration resistance measurements. Revista Brasileira de Ciência Solo. 2014;38:744-54.

GONZALEZ,P, 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. Journal of Soil Science, Canadian, v.81, p.469-479, 2001.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A. & CRESTANA, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:521-529, 2001.

PRADO, R. M.; VALE, D. W.; ROMUALDO, L. M. Fósforo na nutrição e produção de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 03, p. 493-498, 2005.

ROBERTSON, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SANA, R.S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z.N.; HOLZSCHUH, M.J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, n.10, p.994-1002, 2014.

SANTOS, M. H. F. RIBON, A. A.; FRENANDES, K. L.; SILVA, O. C. C.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, A. Estimativa da compactação através da resistência do solo à penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça-SP, v. 14, n. 27, p. 49-62, 2015.

SILVA, F.J.; OLIVEIRA, C.A.A.; ALMEIDA, L.S.; LIMA, L.P.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.4, n.3, p.77-84, 2017.

SILVA S.A.; 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 Ciência do Solo**. V.34, p.15-22, 2010.

SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência a penetração para um argissolo amarelo distrocoeso recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.34, p.659-667, 2010

SOARES, M.D.R.; CAMPOS, M.C.C.; SOUZA, Z.M.; BRITO, W.B.M.; FRANCISCON, U.; CASTIONI, G.A.F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do

solo em área de terra preta arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. **Revista Ciências Agrárias**, v58, n.4, p.434-441, 2015.

SOUZA, M.S.S.; MEDEIROS, J.F.; SILVA, M.V.T.; SILVA, O.M.P.; CHAVES, S.W.P. Estado nutricional da melancia fertirrigada com doses de nitrogênio e fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p.2301-2316, 2014.

VIEIRA SR. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. *Tópicos Ci Solo*. 2000;1:1-54.