



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
AGRONOMIA – Campus Uberlândia**



PAOLA APARECIDA ASSIS BORGES

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS TRATADOS COM FOSFATO NATURAL

Uberlândia - MG

2023



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
AGRONOMIA – Campus Uberlândia**



PAOLA APARECIDA ASSIS BORGES

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS TRATADOS COM FOSFATO NATURAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Agrônoma. Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientadora: Profa. Araújo Hulmann Batista

Uberlândia - MG

2023

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, se não fosse por Ele eu não teria chegado até o fim dessa etapa. Obrigada Pai por me permitir compreender mais um pouco da natureza que o Senhor criou.

Agradeço aos meus pais, José Jovelino e Carmenci de Assis por terem me incentivado a persistir nos meus sonhos mesmo quando era o caminho mais longo e difícil. Ao meu irmão Pablo Borges e minha cunhada Renata Borges, obrigada por cuidarem de mim como se eu fosse uma filha. Para o meu sobrinho Pedro, peço desculpas por quando a titia não podia brincar por estar focada no TCC.

Agradeço a empresa júnior, Conteagro Soluções Agronômicas que deu início a esse trabalho. Meus agradecimentos ao Professor Antônio por ter confiado o projeto inicial à Conteagro e posteriormente ter me apoiado com a ideia do presente trabalho.

Aos meus amigos que me ouviram falar durante horas sobre esse trabalho, muito obrigada. Mas em especial a Bruna Viana, Gabriel Policarpo, Lucas Souto, Mauro Júnior e Thiago Trevisan, obrigada por estarem ao meu lado durante os piores momentos e por continuarem me apoiando e incentivando.

Para minha orientadora, Professora Araújo, obrigada por ter sido uma professora no verdadeiro sentido da palavra e ter me guiado ao longo do último ano na execução deste trabalho. O mundo seria melhor com professores como a senhora. Obrigada por ter sido uma verdadeira mãe para mim dentro da faculdade.

Por fim, te dedico esse trabalho P, assim como as plantas necessitam de P para conseguirem crescer, você foi essencial no meu crescimento.

RESUMO

O Brasil é um país altamente dependente da importação de fertilizantes químicos. Em 2020 a dependência de importação de fertilizantes nitrogenados e potássicos era de 96% e fosfatos de 73%, sendo um mercado que têm demonstrado instabilidade ao longo dos últimos anos. Desse modo, torna-se essencial a busca por fontes alternativas de adubação, que apresentam maior estabilidade no mercado financeiro e maior sustentabilidade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar qual a influência de altas dosagens de fosfato natural não reativo nas características físicas do solo como: densidade, porosidade e as frações granulométricas. O experimento foi realizado em dois tipos de solos (Neossolo Quartzarênico – RQ - e Latossolo Vermelho – LV), com 5 tratamentos e 5 repetições: testemunha (sem adição de nutrientes), fósforo a partir de superfosfato simples e três diferentes tipos de fosfato natural não reativo (FN) com teores de 2%, 6% e 9% de P_2O_5 . As análises foram realizadas cerca de um ano após a implementação do experimento. Os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas na densidade aparente, porém no LV a porosidade apresentou menores valores com o FN 6%. A fração silte do RQ apresentou as maiores médias nos tratamentos com FN, enquanto a fração areia fina no LV teve as maiores médias nos tratamentos com FN. O uso de altas doses de produtos pouco solúveis como fonte de nutrientes, pode alterar as características físicas dos solos, tornando-os mais susceptíveis a processos de degradação física.

Palavras - chave: fertilizantes fosfatados, física do solo, Latossolos, solos arenosos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Primeira etapa – Crescimento de <i>Brachiaria brizantha</i> em resposta à aplicação de fosfato natural em duas classes texturais de solo	8
2.2. Análises de porosidade, densidade e granulometria dos solos	11
2.3. Análise estatística	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
3.1. Matéria seca	13
3.2. Porosidade total	16
3.3. Densidade aparente do solo	19
3.4. Análise da fração granulométrica	20
4. CONCLUSÕES	24
5. LITERATURA CITADA	24

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a população mundial tem crescido em uma exponencial sem precedentes. Estima-se que em 2021, entre o primeiro e o último dia do ano, houve um crescimento de 0,9 % da população mundial, que atingiu então a marca de 7,8 bilhões de pessoas. A previsão é de que até o ano de 2050 a população mundial irá possuir no mínimo 9 bilhões de pessoas, atingindo seu pico em 2060 com 9,7 bilhões de pessoas e depois reduzindo lentamente até atingir 8,8 bilhões de pessoas em 2100 (SALAS, 2020). Isto reflete diretamente sobre a corrida mundial por terras produtivas em todo o mundo, não somente no Brasil (SAUER, 2010).

Após a crise cambial ocorrida em 2008, intensificou-se em todo o globo a transição de terras agricultáveis que buscam atender às commodities soja, milho e cana, principalmente. Além disso, de acordo com o Banco Mundial, os governos que procuram por terras agricultáveis também estão preocupados com a demanda alimentar interna e dificuldade em produzir alimentos suficientes para toda a sua população, principalmente após a crise cambial. (SAUER, 2011).

Em relação a abertura de novas áreas agricultáveis, cerca de 90% das terras que ainda estão disponíveis para a expansão agrícola se localizam em países da América Latina e África-Subsariana. Os Estados Unidos, que se consolidou como uma potência na produção de alimentos, não possui a capacidade de expandir sua fronteira agrícola. No atual cenário o Brasil é um dos poucos países que ainda possui a capacidade de expandir sua fronteira agrícola legalmente, embora essa área seja pequena, sendo um dos principais fornecedores de alimentos para o mundo já na atualidade (SAATH, 2016; MACEDO; JUNIOR, 2017). Portanto, para atender às novas demandas mundiais por alimento, será necessário que se tenha um aumento de produtividade nas áreas já existentes.

Para alcançar altos índices de produtividade o uso de fertilizantes industriais, com foco principalmente em adubos nitrogenados, potássicos e fosfatados, têm sido crescente ano após ano. No Brasil, devido às condições de baixa fertilidade dos solos aliada às elevadas produtividades, a necessidade de micronutrientes como nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) é muito superior à de outros países produtores. Devido a isso, desde a década de 70, o país possui uma forte dependência da importação de fertilizantes químicos. Em 2020 a dependência de importação de fertilizantes nitrogenados e potássicos era de 96% e fosfatos de 73% (RAJÃO *et al.*, 2022).

Vale ressaltar que a fragilidade deste mercado, pode ser bem ilustrada com fatos recentes como a pandemia de Covid-19 seguida dos conflitos entre Rússia e Ucrânia (que teve

início em fevereiro de 2022). As consequências para o Brasil no setor de importação de fertilizantes foram bastante graves, primeiramente em relação aos fertilizantes nitrogenados oriundos da China (maior exportador mundial do nutriente), crise agravada com a grande parcela de potássio importado da Rússia e Bielorrússia que juntas são responsáveis por aproximadamente 30% das importações de fertilizantes realizadas pelo país em 2020 (RAJÃO *et al.*, 2022; ELIAS, 2022). De acordo com o diretor técnico da CNA, Bruno Lucchi, a safra de 2022/2023 não deve ser afetada especificamente por conta do conflito, porém a alta incerteza para as safras futuras (ROCHA, 2022).

De acordo com o Congresso Brasileiro de Rochagem (2017) a agricultura atual passa por um momento de mudança, deixando de se preocupar somente com a produção de alimentos e se tornando uma agricultura baseada em processos, que se importa com as relações que ocorrem em todo o sistema. Ao mudar o pensamento se torna possível racionalizar o uso de insumos na agricultura e, portanto, reduzir a sua importação. Com isso surgem alternativas como os remineralizadores, organominerais e os fosfatos naturais.

Embora o termo fosfato natural seja utilizado com frequência como sinônimo de remineralizadores, eles possuem definições próprias. Os remineralizadores são definidos como um tipo de rocha com predomínio de minerais silicatados, que possuem a capacidade de rejuvenescer e/ou remineralizar o solo (JÚNIOR *et al.*, 2022). O princípio em que seu uso se baseia possui relação com as definições de formação do solo, desenvolvido a partir do intemperismo de rochas. Desse modo, os remineralizadores repetem a gênese do solo à medida que o pó das rochas (materiais finamente moídos) é intemperizado e os nutrientes contidos nele são liberados para a solução do solo e se tornam disponíveis para as plantas (MACHADO, 2021). Em contrapartida, o fosfato natural, que também pode ser denominado de fosfato natural reativo, é uma rocha fosfática que é utilizada de longa data como fonte de fósforo nas áreas cultivadas (VELOSO, 2021).

O fosfato natural é um concentrado apatítico obtido através de rochas fosfáticas que pode ou não ter passado por processos físicos que influenciaram na sua concentração de modo a separar o material fosfatado de outros minerais, tais como a lavagem e o processo de flotação. Em geral, os fosfatos naturais possuem baixa solubilidade, embora essa característica possa variar de acordo com o processo de formação das rochas, apresentando maior solubilidade aos minerais provenientes de rochas sedimentares e de natureza não cristalina. De forma antagônica, rochas mais resistentes ao intemperismo, como as ígneas, apresentam maior efeito residual por possuírem alto grau de cristalinidade (KAMINSK *et al.*, 1997).

Para que um material possa ser considerado fosfato natural ele deve atender a exigências previstas na Instrução Normativa nº39, de 8 de agosto de 2018. Para o fosfato natural reativo ele deve conter um teor total de 27% de P_2O_5 e 28% de Ca. Em relação a granulometria, 100% do material deve passar na peneira de malha 4,8 mm e no mínimo 80% deve passar em peneira de malha 2,8 mm. Já o fosfato natural não reativo deve conter no mínimo 5% P_2O_5 e em relação a granulometria no mínimo 85% das partículas devem passar na peneira de 0,075 mm.

Diversos estudos atuais buscam comparar os efeitos de dosagens de fosfatos naturais com fontes tradicionais de fósforo. Em cultivos sucessivos de soja e milho realizado por Ono *et al.* (2009) comparou-se a eficiência agrônômica (IEA) de fosfatos naturais e superfosfato triplo (SPF), sendo que para o cultivo do milho como sucessor da soja, o fosfato natural e o SPF apresentaram resultados similares em relação ao efeito residual, concluindo que o fosfato natural é mais viável economicamente. Em outro estudo, o cultivo de *Brachiara brizantha* foi comparado por Guedes *et al.* (2009) em Latossolo Amarelo com o uso de 50 mg/dm³, ou seja, 100 kg/ha de P_2O_5 na forma de SPF, e quatro doses de fosfato natural de 0; 50; 100 e 150 mg/dm³, ou seja, de 0; 100, 200 e 300 kg/ha de P_2O_5 na forma de fosfato natural. O fosfato natural utilizado possui um teor de 33% de P_2O_5 , logo a dosagem utilizada nos quatro tratamentos são respectivamente 303, 606 e 990 kg/ha. Neste trabalho a aplicação de fosfato natural aumentou a produção de massa seca da parte aérea e de raízes e o perfilhamento da cultura, ademais, o fosfato natural foi mais eficiente que o SPF a partir do segundo corte realizado no experimento.

Para os fosfatos naturais a exigência em pequenas granulometrias parte do princípio de que haverá aumento da superfície de contato com o solo e, portanto, aumento da liberação de fósforo (VAN RAIJ, 1983). De acordo com estudos realizados por Horowitz e Meurer (2003) buscando relacionar o tamanho das partículas naturais do fosfato com sua IEA para cultura do milho, houve melhor resultado com os materiais que foram moídos até que as partículas atingissem partículas menores que 0,074 mm. Ademais, o estudo concluiu que à medida que se aumentava o tamanho das partículas de fosfato natural, o IEA ficava menor.

Embora a resposta vegetativa ao uso de fosfatos venha sendo amplamente estudada, o efeito do fosfato nos atributos físicos dos solos não é muito conhecido. Não é bem conhecido se os fosfatos naturais promovem mudanças físicas no solo como alterações na granulometria (aumento dos teores de argila ou silte), aumento da densidade pela redução da porosidade, entre outros fatores. De acordo com Melamed *et al.* (2007), o uso de pós de rocha promoveu o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) devido a formação de novos minerais de

argilas durante o processo de intemperismo da rocha. Além disso, os autores observaram que houve aumento da atividade de microrganismos e aumento da qualidade e quantidade de húmus.

Conforme relatado por Silva (2016) em relação aos remineralizadores que possuem minerais silicatados, a dissolução de seus componentes ocorre em uma determinada sequência do óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), hidróxido de alumínio (Al (OH)₃), goethita (FeOOH) e por último o dióxido de silício (SiO₂). Em decorrência disso, pode ocorrer de forma temporária a formação de alteração da fase insolúvel na superfície do material que interfere diretamente na sua taxa de dissolução, além da não formação de minerais secundários, conforme a concentração dos íons resultante dos processos.

Em estudo conduzido por Oliveira (2021) buscou-se fornecer 200 kg/ha de P₂O₅, com dosagem de 714 kg/ha fosfato natural (28% de P₂O₅) e 416 kg/ha de MAP (48% de P₂O₅). O experimento contou com plantio de milho safrinha e posteriormente com a soja na safra seguinte, seguida novamente, por milho safrinha. As análises físicas de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

De modo geral os trabalhos que abordam o uso de pós de rocha, e mais especificamente de fosfatos naturais, abordam as respostas vegetativas das plantas a esses materiais. No entanto, ao se considerar que o fosfato natural se trata de um material com baixa solubilidade no solo, é possível se questionar se ele promove alterações nas propriedades físicas do solo como porosidade total, densidade e até mesmo alteração nas frações granulométricas como argila, silte, areia fina e areia grossa.

Considerando o exposto, o objetivo da realização do presente trabalho foi avaliar as mudanças na porosidade total, densidade aparente e granulometria do solo, ocorridas em um Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho Distrófico típico em que houve o cultivo de *Brachiaria brizantha* com diferentes fontes de fosfato natural.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Primeira etapa – Crescimento de *Brachiaria brizantha* em resposta à aplicação de fosfato natural em duas classes texturais de solo

O ensaio foi realizado na casa de vegetação da Empresa Júnior do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Conteagro Soluções Agronômicas, localizada no

município de Uberlândia – Minas Gerais, bairro Umuarama, nas coordenadas 18.88°S, 48.26°W.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, visto que as condições ambientais eram homogêneas, com cinco tratamentos: (T1) testemunha em que não houve a adição de nenhuma fonte de fósforo, (T2) adubação convencional com susperfosfato simples (SSP) (16% de P_2O_5), e fosfato natural não reativo (FN) com distintas concentrações de P_2O_5 nos produtos de (T3) 2 %, (T4) 6% e (T5) 9% de teor total de P_2O_5 respectivamente. As informações a respeito dos fosfatos naturais utilizados constam na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas dos fosfatos naturais

Determinações (%)	Fosfato Natural	Fosfato natural	Fosfato natural
	2%	6%	9%
Peneira 10 T. Mesh (2.000 mm)	69,77	66,11	66,33
Peneira 20 T. Mesh (0,840 mm)	59,3	51,79	57,15
Peneira 50 T.Mesh (0,297)	43,25	35,67	39,3
Fundo	43,25	35,67	39,9
Reatividade	54,97	48,21	51,85
Fósforo (P_2O_5) Total	2,49	6,16	9,55
Fósforo (P_2O_5) Ácido Cítrico	1,46	2,19	2,31
Fósforo (P_2O_5) CNA + Água	0,91	1,14	1,05
Fósforo (P_2O_5) Água	0,23	0,20	0,17

Foram utilizadas cinco repetições para cada tratamento, sendo que o experimento foi repetido em duas classes texturais de solo, arenoso e argiloso, que foram classificadas como Neossolo Quartzarênico (RQ) e Latossolo Vermelho (LV), respectivamente, totalizando 50 parcelas.

O solo utilizado foi coletado no município de Uberlândia, Fazenda do Glória e encaminhado para análise química e física no laboratório Safrar, na profundidade de 0-20 cm para simular as condições de campo. Os resultados das análises texturais estão apresentados na tabela 2. Após a coleta do solo, eles foram peneirados (peneira de malha 8 mm) e colocados em vasos plásticos de 5 litros, ou seja, de 5 dm³ considerando a densidade aparente de 1,0.

Tabela 2 – Determinações granulométricas e químicas para o Neossolo Quartzarênico e o Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Determinações	Neossolo Quartzarênico	Latossolo Vermelho
Fração Argila (g/kg)	150	470
Fração Silte (g/kg)	100	130
Fração Areia Total (g/kg)	750	400
Saturação de bases (%)	11	21
Saturação por alumínio (%)	56	35
pH em água	4,5	4,9
CTC Potencial (cmol _c /dm ³)	2,16	3,64

Os cálculos de recomendação de calagem foram feitos pelo método de saturação por bases (V%), considerando obter 40%, conforme equação abaixo.

$$NC = \frac{(V2 - V1)}{PRNT} \times T$$

NC= Necessidade de calagem

V2 = Saturação de bases desejada

V1 = Saturação de bases atual do solo

PRNT= Poder relativo de neutralização total do calcário que será utilizado

T= Capacidade de troca catiônica (CTC) potencial do solo

A calagem foi realizada no dia 17 de julho de 2021 com calcário com PRNT de 90%. Portanto, as doses de calcário foram 0,70 t/ha para o RQ e 0,77 t/ha para o LV.

A cultura escolhida foi o capim Marandu (*Brachiaria brizantha*) por apresentar rápido crescimento vegetativo. Os cálculos para a adubação foram feitos de acordo com o proposto por Ribeiro, Guimarães e V. (1999), onde primeiro classificou-se a disponibilidade de fósforo dos solos conforme o informado nas análises, sendo que o RQ apresentou teor de P Mehlich-1 de 0,2 mg/ dm³ e o LV de 5,6 mg/dm³, com disponibilidade muito baixa e baixa de fósforo, respectivamente. Utilizou-se a recomendação de adubação para pastagens também proposta pelos mesmos autores. Para a recomendação em pastagens são utilizados os níveis tecnológicos como parâmetros, assim como a cultivar utilizada. Para a *Brachiaria brizantha* o nível tecnológico é o médio, cuja principal característica é a pastagem ser o principal alimento na dieta dos animais, com taxas de lotação que variam entre 4 e 5 UA/ha (RIBEIRO; GUIMARÃES; V., 1999).

Definido qual o nível tecnológico de pastagem utilizado para o experimento e classificado o teor disponível de P do solo, verificou-se qual a recomendação de P₂O₅ para ambos os solos (RIBEIRO; GUIMARÃES; V., 1999). Para o LV a necessidade foi de 90 kg/ha

de P_2O_5 e para o RQ de 70 kg/ha de P_2O_5 . Buscou-se suprir essa necessidade por meio de dosagens do SSP e dos FN de 2%, 6% e 9%. Para o RQ as dosagens fornecidas foram de 562,5 kg/ha de SSP e para os FN de 2%, 6% e 9% foram de respectivamente de 3641 kg/ha, 1416 kg/ha e 942 kg/ha. Para o LV as dosagens fornecidas para as mesmas fontes, respectivamente, foram de 437,5 kg/ha, 2811 kg/ha, 1136 kg/ha e 732 kg/ha.

Decorrido o período de 3 meses, necessário para a reação do calcário, o experimento foi instalado no dia 27 de agosto de 2022. Foram semeadas 15 sementes por vaso e 25 dias após o plantio (DAP) foi realizado o desbaste restando somente cinco plantas por vaso. Aos 15 e 30 DAP foi realizada a adubação de cobertura com sulfato de nitrogênio na dose de 50 mg/dm³, o (3 g/vaso).

Para atender a demanda hídrica das plantas de 500 mm/ano (Vilela, 2005) a cultura era irrigada três vezes por semana com uma lâmina de água de 3 mm. Foram realizados cortes nas plantas em 50, 100 e 150 DAP para a obtenção da média de matéria seca das plantas. Para isso, a matéria verde foi levada para a estufa de circulação fechada a 65°C por um período de 72 horas até atingirem peso constante. A cada corte as plantas eram retiradas das parcelas, de modo que parte do fósforo do sistema se perdeu visto que ele não retornava para o solo após a decomposição da matéria verde.

O experimento foi mantido nos vasos por um total de 150 dias. Após a retirada da cultura dos vasos, eles permaneceram em repouso para a realização das análises físicas. Para cada parcela, coletou-se duas amostras com anéis volumétricos de Kopek (com volume médio de 61,22 cm³) nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm. Cada anel teve seu peso medido previamente e tabelado, assim como o diâmetro interno e externo e sua altura, para posteriormente ser calculado o volume do anel.

2.2 Análise de porosidade total, densidade aparente e granulometria

Para a mensuração da porosidade todos os anéis volumétricos foram saturados com água destilada. Para esse procedimento os anéis foram colocados em bandejas com uma lâmina de água destilada até metade de sua altura e permaneceram por 24 horas. Esse período é o necessário para que o solo possa ser saturado com a água presente no fundo da bandeja, de modo que ela preencha todos os seus espaços vazios. Para isso, a base dos anéis foi revestida com tecido fixado com auxílio de um elástico, permitindo a subida da água por capilaridade sem a perda de solo durante o ensaio de saturação por água. Foi obtida a massa dos anéis saturados e estes posteriormente foram levados à estufa a 105°C até a obtenção de peso

constante. Decorrido esse período, a massa dos anéis foi novamente obtida, para cálculo da porosidade total.

A porosidade total (%) foi obtida através da seguinte equação:

$$Porosidade\ Total\ (\%) = \frac{\left(\frac{Massa\ da\ água}{volume\ do\ anel}\right) \times 1000}{10}$$

Sendo que a massa da água em gramas é obtida através da seguinte equação;

$$Massa\ da\ água = Massa\ solo\ saturado - massa\ solo\ seco$$

Em que:

$$Massa\ do\ solo\ saturado = Peso\ anel\ saturado - (peso\ anel + peso\ tecido\ e\ elástico)$$

$$Massa\ do\ solo\ seco = Peso\ anel\ seco - (peso\ anel + peso\ tecido\ e\ elástico)$$

A densidade aparente do solo foi calculada através da seguinte fórmula:

$$Ds = \frac{Ma}{V}$$

Em que:

Ds: densidade do solo em g/ cm³;

Ma: massa da amostra de solo seco a 105°C por 24 horas;

V: Volume do cilindro em cm³.

A análise granulométrica foi feita por meio de dispersão mecânica com uma solução dispersante de NaOH (0,1 mol.L⁻¹), seguida de separação das frações por meio de peneiramento e sedimentação – areia grossa retida em peneira de malha 0,210 mm e areia fina retida em peneira de 0,053 mm; silte e argila transferidos para proveta de 1000 mL, determinados pelo método da pipeta (Embrapa, 2011). O principal objetivo dessa análise foi averiguar se ocorreram mudanças na fração granulométrica do solo em relação à amostragem feita antes da aplicação do FN, em especial da fração silte.

2.2 Análise estatística

Para a análise estatística foi realizada análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias Tukey a 5% de significância. O Teste de Tukey consiste em comparar todos os possíveis pares de médias e se baseia na diferença mínima significativa (D.M.S.), considerando os percentis do grupo. No cálculo da D.M.S. utiliza-se também a distribuição da amplitude estudentizada, o quadrado médio dos resíduos da ANOVA e o tamanho amostral dos grupos (OLIVEIRA, 2023). Para realização das análises estatísticas foi utilizado o programa

SISVAR, um dos programas brasileiros de análise estatística mais utilizados no país, tendo sido lançado em 1996 e passando por atualizações subsequentes. O programa está registrado em nome da Universidade Federal de Lavras. O SISVAR se popularizou principalmente devido a sua interface simples que é dividida em quatro partes, arquivo de dados, análise, relatório e auxílio (FERREIRA, 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Matéria Seca

Os valores médios obtidos de matéria seca (MS) da cultura *Brachiaria brizantha*, para o RQ e para LV são apresentados na figura 1. Em ambos os solos os valores de MS dos tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Tanto para o solo arenoso quanto para o argiloso os valores obtidos de médias são considerados baixos em relação às plantas na mesma fase de crescimento. Em trabalho conduzido por Costa *et al.* (2008), em vasos de 3 dm³, foram aplicadas as doses de 700 kg/ha de P₂O₅ para LV e 400 kg/ha de P₂O₅ para o RQ. Os autores compararam o FN (33,1 % de P₂O₅) em dosagem de kg/ha e o superfosfato triplo (46% de P₂O₅). A cultura utilizada foi *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sendo realizados quatro cortes intercalados em 48 dias em média entre si. No trabalho as médias de MS obtida dos cortes no LV para fonte de FN e SSP foram de, respectivamente, 13,00 g e 12,31g e para o RQ as médias foram de, respectivamente, 15,26 g e 23,07 g.

Sabe-se que experimentos em casa de vegetação de clima não controlado estão sujeitos a elevadas temperaturas e ambientes mais secos, devido à baixa umidade do ar, típica da região do cerrado. Considerando que solos de textura arenosa possuem menor capacidade de retenção de água, há a hipótese de que o menor desenvolvimento das plantas (10 vezes menor em relação ao LV) seja devido a isto, uma vez que a quantidade de água fornecida foi a mesma nas duas classes de solo.

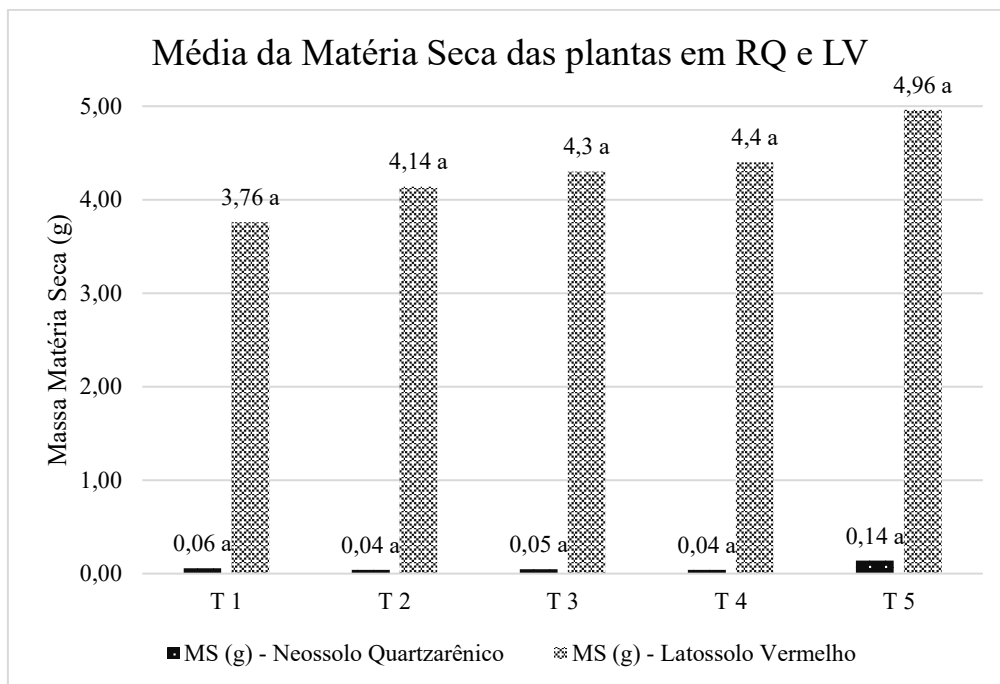


Figura 1. Valores médios de matéria seca (g) do Neossolo Quartzarênico e do Latossolo Vermelho. Para o Neossolo Quartzarênico: T1 - sem tratamento; T2 - 562 kg/ha de SSP; T3 - 3641 kg/ha de FN 2%; T4 - 1416 kg/ha de FN 6%; T5 - 942 kg/ha de FN 9%. Para o Latossolo Vermelho: T1 - sem tratamento; T2 - 437,5 kg/ha de SSP; T3 - 2811 kg/ha de FN 2%; T4 - 1136 kg/ha de FN 6%; T5 - 732 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O coeficiente de variação (CV%) obtido com as análises estatísticas da MS foi bastante elevado - 143,78% para o RQ e 35% para o LV - seriam adequados valores menores do que 20%. Isto pode justificar as comparações entre as médias terem sido não significativas. De qualquer forma, observa-se uma forte tendência de aumento linear nas médias obtidas, do T1 em relação ao T5, comportamento observado nas duas classes de solo. A observação de que a fonte de fósforo não influenciou negativamente o desenvolvimento das plantas é bastante interessante. Em suma, o uso do FN pode ser muito positivo para o produtor rural, o que se estende à economia do país. Os produtos são encontrados próximos às áreas agrícolas de diversas localidades, sendo mais baratos e trazendo vantagens com relação a ter liberação mais lenta. No caso de pastagens, que são cultivos perenes, torna-se muito promissor por ser mais barato e não levar a prejuízos na produção. Ressalta-se, entretanto, que as doses, requeridas em relação às fontes solúveis, são muito superiores, o que pode incidir no custo de transporte e maior número de operações com maquinários, também colaborando com a elevação dos custos.

Trabalhos pontuais desenvolvidos com fontes alternativas de nutrientes precisam considerar todos os parâmetros apontados acima, além de estudos realizados em áreas pastejadas e que representem mais fidedignamente o ambiente de cultivo e/ou pastejo.

3.2 Porosidade total

Os resultados de porosidade das amostras do RQ nas duas profundidades de solo são apresentados na tabela 3. Não houve diferença significativa neste atributo, demonstrando que mesmo em doses bastante elevadas de FN, a distribuição dos poros foi preservada, o que é bastante positivo se reproduzido em áreas cultivadas.

Devido às doses muito altas para atingir o fornecimento de P_2O_5 requerido pelas culturas via FN, aliado a menor solubilidade, há a preocupação com o entupimento dos poros, especialmente os de maior diâmetro - os macroporos e microporos. A porosidade responde pelos fluxos de gases e água, tão fundamentais para as plantas quanto o fornecimento de nutrientes e luminosidade. Assim, a eficiência de qualquer produto utilizado nas áreas cultivadas precisa ser avaliada nos seus diversos aspectos, não somente nas características químicas.

Tabela 3 – Valores médios de porosidade total (%) do Neossolo Quartzarênico nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm.

Tratamentos	Porosidade total	Porosidade total
	0 – 5 cm (%)	5 – 10 cm (%)
T 1	44,90 a	45,03 a
T 2	45,27 a	47,91 a
T 3	43,60 a	43,70 a
T 4	47,32 a	46,50 a
T 5	45,29 a	45,96 a

T1 - sem tratamento; T2 - 562 kg/ha de SSP; T3 - 3641 kg/ha de FN 2%; T4 - 1416 kg/ha de FN 6%; T5 - 942 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os valores encontrados no solo arenoso não foram diferentes daqueles obtidos em trabalhos realizados anteriormente por Souza *et al.* (2005) em áreas cultivadas com milho, sorgo, pastagem e até mesmo áreas de cerrado nativo. A falta de diferença significativa entre os tratamentos identifica que o FN não possui efeito em relação à porosidade dos solos arenosos. Em estudo conduzido por Carvalho *et al.* (2015), visando conhecer a influência do manejo em

relação a porosidade total, os autores encontraram valores semelhantes aos de Souza *et al.* (2005), sendo que em ambos os estudos, os autores possuem consenso de que a porosidade total do solo é alterada principalmente devido ao manejo físico adotado. Já existe o entendimento de que alterações nos atributos físicos dos solos se relacionam com o manejo, o que, especialmente em áreas pastejadas, é uma preocupação devido ao pisoteio dos animais, que leva à compactação, caso a cobertura vegetal não seja adequada com a lotação animal.

Os resultados de porosidade do LV são apresentados na tabela 4. Para as amostras coletadas na profundidade de 0 – 5 cm não houve diferença estatística significativa. Os valores encontrados foram semelhantes aos obtidos Souza *et al.* (2005) em Latossolo em condições de cerrado. Os resultados mostram que a adição de FN, ocorrida nos tratamentos 3, 4 e 5 não influenciou na porosidade desse solo.

Tabela 4 – Valores médios de porosidade total (%) do solo Latossolo Vermelho nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm.

Tratamentos	Porosidade total 0 – 5 cm (%)	Porosidade total 5 – 10 cm (%)
T 1	56,57 a	56,74 ab
T 2	58,67 a	60,23 b
T 3	59,99 a	56,61 ab
T 4	55,13 a	50,81 a
T 5	60,40 a	59,65 ab

T1 - sem tratamento; T2 - 437,5 kg/ha de SSP; T3 - 2811 kg/ha de FN 2%; T4 - 1136 kg/ha de FN 6%; T5 - 732 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Houve diferença significativa na porosidade do Latossolo entre os tratamentos na profundidade de 5 – 10 cm. O tratamento 4 foi a que apresentou menor média, podendo ser um indicativo em relação à influência do FN na porosidade do solo, especialmente quando comparada ao tratamento com SSP. Em relação à granulometria do FN utilizado neste tratamento, conforme consta na tabela 1, 43% do material é menor do que 0,297 mm (partículas que se assemelham à fração areia fina). Logo, um material com baixa solubilidade e com granulometria pequena pode interferir na porosidade, preenchendo os espaços vazios e interferindo na dinâmica de água e gases.

Ao se comparar as duas classes de solo estudadas (Figura 2), nota-se uma menor proporção de poros no solo arenoso. Isto pode ser explicado por se tratar de uma matriz sólida

majoritariamente formada por minerais de quartzo, que possuem tamanho próximo a um agregado granular muito pequeno (0,05 a 2 mm), comumente encontrado nos Latossolos do bioma cerrado (GOMES *et al.*, 2004). Desta forma, como o arranjo das partículas primárias nos solos arenosos é muito distinto dos solos argilosos (não há a mesma proporção de microporos) há uma diminuição da porosidade total. A retenção de água é, portanto, inferior em solos de textura arenosa, deixando as plantas mais susceptíveis aos estresses causados pela falta de água. Isto explicaria o menor desempenho no desenvolvimento das plantas, observado na figura 1.

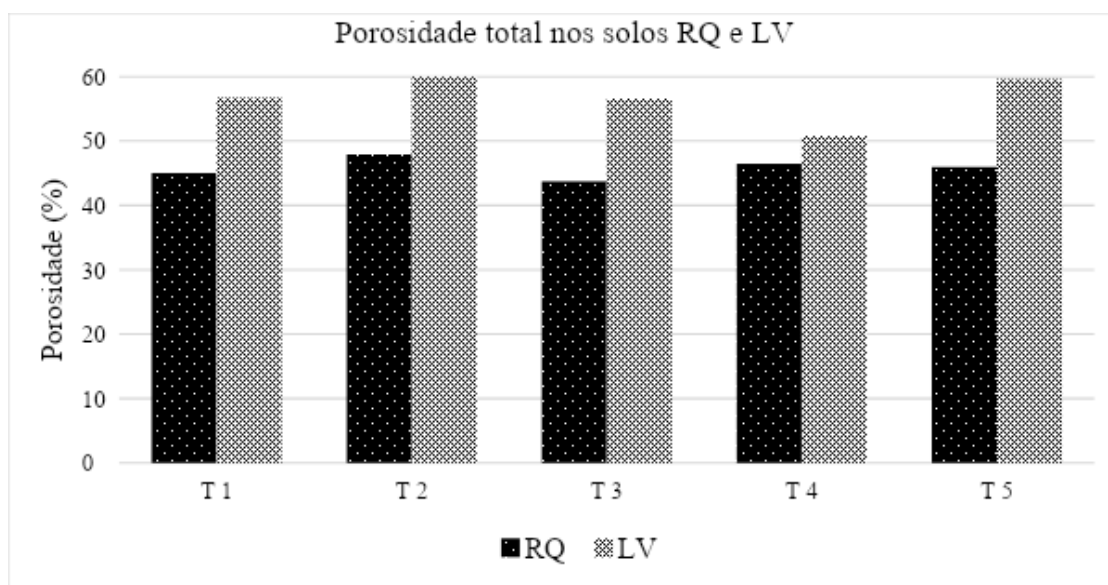


Figura 2. Valores médios de porosidade total (%) do Neossolo Quartzarênico e do Latossolo Vermelho. Para o NQ: T1 - sem tratamento; T2 - 562 kg/ha de SSP; T3 - 3641 kg/ha de FN 2%; T4 - 1416 kg/ha de FN 6%; T5 - 942 kg/ha de FN 9%. Para o LV: T1 - sem tratamento; T2 - 437,5 kg/ha de SSP; T3 - 2811 kg/ha de FN 2%; T4 - 1136 kg/ha de FN 6%; T5 - 732 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Outro ponto a ser considerado é que a diferença textural torna a dinâmica do FN distinta nos solos avaliados. Pequenas partículas do FN interagem mais com os pequenos agregados e partículas primárias do LV, possibilitando que o produto percole pelos capilares e forme capeamentos nos poros de tamanho intermediário, existentes entre estes pequenos agregados, que fisicamente comportam partículas menores que 0,2 mm. Caso as doses de FN requeridas não fossem tão altas, esta preocupação não existiria. Os fertilizantes solúveis apresentam a vantagem de fornecerem o nutriente demandado pelas culturas com a aplicação de pequenas doses (menor que 0,5 ton), além destes serem rapidamente solubilizados, não interferindo nos aspectos físicos do solo. A fração argila corresponde às partículas com diâmetro inferior a

0,002 mm que também são as que possuem maior área superficial específica dentre as partículas minerais da fase sólida. Estas estão diretamente ligadas com a disponibilidade de água, adsorção de nutrientes e capacidade de troca de cátions. Entre as argilas existem poros pequenos e irregulares, permitindo que o solo retenha água mesmo após a ação da gravidade, sendo chamados de microporos.

Neste sentido, é importante destacar que o tratamento 2 foi o que apresentou maior média entre os tratamentos no LV, ou seja, o solo tratado com SSP foi o que apresentou maior porosidade total entre os tratamentos. Este resultado aponta para duas distintas compreensões: i) melhor desenvolvimento do sistema radicular da *Brachiaria brizantha*, promovendo aumento do teor de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, o aumento da porosidade, relacionada à menor densidade (RAZUK, 2002); ii) a não interferência direta do SSP no entupimento dos poros, que pode ser causada pelas pequenas partículas do FN.

3.3 Densidade aparente

Os resultados de densidade aparente das amostras do RQ nas duas profundidades de solo são apresentados na tabela 5. Para ambas as profundidades os tratamentos não apresentam diferença significativa, demonstrando que as altas dosagens de FN não afetaram a densidade do solo. Os valores encontrados foram similares aos obtidos em estudo por Carvalho *et al.* (2015) em RQ em profundidades de até 20 cm. Nesse estudo, os autores constataram que o fator que mais influenciou na densidade do solo foi o sistema de manejo utilizado. No presente trabalho, em todos os tratamentos, as plantas receberam o mesmo manejo (diferindo somente nas fontes utilizadas e dosagem dos produtos).

Tabela 5 – Valores médios de densidade aparente do Neossolo Quartzarênico nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm.

Tratamentos	Densidade aparente 0 – 5 cm	Densidade aparente 5 – 10 cm
T 1	1,48 a	1,48 a
T 2	1,43 a	1,45 a
T 3	1,53 a	1,48 a
T 4	1,44 a	1,49 a
T 5	1,46 a	1,46 a

T1 - sem tratamento; T2 - 562 kg/ha de SSP; T3 - 3641 kg/ha de FN 2%; T4 - 1416 kg/ha de FN 6%; T5 - 942 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para a densidade aparente no LV, os resultados são apresentados na tabela 6 e mostram que em ambas as profundidades os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si. Assim como ocorreu no RQ, as altas dosagens de FN, não influenciaram este atributo.

Visto que o FN é um material de menor solubilidade em relação ao SSP, como mencionado anteriormente, e relacionando isto aos resultados de densidade e porosidade, há uma forte evidência de que as diferenças encontradas e discutidas dos resultados da tabela 4 e figura 2, sejam mesmo pela deposição de partículas nestes capilares. A densidade do solo pode ser afetada por diversos fatores como a cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e o manejo realizado, que pode promover a desagregação das partículas primárias e levar à sua compactação. Considera-se que solos arenosos têm maior densidade real (densidade de partículas) e menor volume de microporos, como discutido anteriormente, sendo considerados próprios ao desenvolvimento radicular, com valores acima de 1,6 g/cm³. Já em solos argilosos, a densidade aparente considerada adequada deve estar abaixo de 1,4 g/cm³ (SANTOS *et al.*, 2023). Em ambos os solos do estudo, as densidades permaneceram abaixo destes valores.

Tabela 6 – Valores médios de densidade aparente (%) do solo Latossolo Vermelho nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm.

Tratamentos	Densidade aparente 0 – 5 cm	Densidade aparente 5 – 10 cm
T 1	1,26 a	1,25 a
T 2	1,18 a	1,13 a
T 3	1,18 a	1,14 a
T 4	1,44 a	1,32 a
T 5	1,20 a	1,11 a

T1 - sem tratamento; T2 - 437,5 kg/ha de SSP; T3 - 2811 kg/ha de FN 2%; T4 - 1136 kg/ha de FN 6%; T5 - 732 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.4 Análise de fração granulométrica

Os resultados da fração silte e argila das amostras do RQ nas duas profundidades de solo são apresentados na Tabela 7. Os tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si para a fração argila do RQ, resultado que está de acordo com as características físicas do material, ou seja, a solubilidade e composição química não permitem a formação de partículas menores que 0,002 mm.

A fração silte corresponde às partículas entre 0,002 mm e 0,05 mm de diâmetro, sendo a fração intermediária entre a fração areia e a fração argila. Ela é composta por minerais que são

intemperizados com certa facilidade devido à sua superfície específica (embora esta seja menor quando comparada à argila), promovendo assim uma liberação de quantidades significativas de nutrientes para as plantas (MELO *et al.*, 2009). Houve diferença significativa para a fração silte na profundidade de 0 -5 cm, com as maiores médias observadas no tratamento 3, e nos tratamentos 3, 4 e 5 na profundidade de 5 – 10 cm, ou seja, os tratamentos que receberam o FN. Os FN utilizados apresentam granulometrias finas, sendo que todos eles possuem mais do que 35% de sua composição menor do que 0,297 mm, conforme mostrado na tabela 1. Na análise granulométrica as partículas do solo são separadas por tamanho, de modo que, embora o FN tenha solubilizado, ainda contém partículas que podem ser consideradas como parte da fração silte, promovendo alteração textural do solo.

Tabela 7 – Valores médios da fração argila e silte (g.kg^{-1}) do Neossolo Quartzarênico nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm

Tratamentos	Fração Argila		Fração silte	
	g.kg-1			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
T 1	142,79 a	149,24 a	107,96 b	81,59 b
T 2	152,82 a	150,82 a	105,18 b	93,30 a b
T 3	150,27 a	148,99 a	143,22 a	117,07 a
T 4	153,93 a	149,28 a	112,12 b	117,92 a
T 5	150,76 a	141,11 a	115,52 b	120,20 a

T1 - sem tratamento; T2 - 562 kg/ha de SSP; T3 - 3641 kg/ha de FN 2%; T4 - 1416 kg/ha de FN 6%; T5 - 942 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os pós de rocha em geral são solubilizados ao longo do tempo para que ocorra a lenta liberação do nutriente para o meio, logo, o aumento do teor de silte nos tratamentos que receberam altas dosagens de FN confirmam a lenta solubilização do produto. Em estudo realizado por Theodoro *et al.* (2006) os pós de rocha que apresentavam menor granulometria possível (mais próximos da fração argila e silte) disponibilizam mais facilmente seus principais elementos, podendo, em função do intemperismo ou da abrasão, serem dissolvidos parcialmente ou totalmente. Vale destacar que o aumento da fração silte pode ser prejudicial para uma área agricultável devido à baixa estabilidade e alta susceptibilidade dessa fração aos processos de degradação como compactação e erosão.

Os resultados da fração argila e silte das amostras do LV nas duas profundidades de solo são apresentados na tabela 8. Em ambas as profundidades os tratamentos não apresentaram

diferenças significativas entre si, com comportamento similar ao RQ. Conforme citado anteriormente, de acordo com Melamed et al. (2007), o uso de pós de rocha pode promover o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) devido a formação de novos minerais de argilas durante o processo de intemperismo da rocha, fato que não foi verificado no presente trabalho. O FN uma vez que seja solubilizado, não possui em sua estrutura, silício e alumínio suficientes para a formação de minerais secundários. Pode ocorrer a precipitação de fósforo com alguns cátions, porém, para isso, os teores devem ser suficientemente altos para que o equilíbrio químico promova este processo.

Tabela 8 – Valores médios da fração argila e silte ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) do Latossolo Vermelho nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm.

Tratamentos	Fração Argila		Fração Silte	
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
T 1	466,42 a	465,29 a	129,16 a	123,78 a
T 2	469,70 a	468,23 a	128,60 a	122,73 a
T 3	467,58 a	469,31 a	132,02 a	125,28 a
T 4	461,62 a	475,04 a	131,31 a	120,13 a
T 5	472,79 a	475,77 a	130,05 a	123,10 a

T1 - sem tratamento; T2 - 437,5 kg/ha de SSP; T3 - 2811 kg/ha de FNNR 2%; T4 - 1136 kg/ha de FNNR 6%; T5 - 732 kg/ha de FNNR 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As análises das frações granulométricas argila e silte foram realizadas cerca de um ano após a mistura do FN ao solo. Durante esse período não houve aumento significativo nestas frações para o LV, mesmo nos tratamentos 3, 4 e 5, que receberam altas dosagens de FN quando comparados à testemunha. Com base nessa informação, é plausível deduzir que o material não formou partículas coloidais. Os produtos apresentam baixos teores de P_2O_5 solúvel em água, que estaria prontamente disponível para as plantas e baixos teores de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico (Tabela 1). O ácido cítrico 2% é utilizado com frequência no Brasil para avaliar os FN, sendo baseado na complexação do ácido cítrico e suas espécies iônicas e na acidez da solução.

Os resultados das frações areia fina e areia grossa, das amostras do RQ, nas duas profundidades de solo, são apresentados na tabela 9. Tanto para as amostras coletadas na profundidade de 0 – 5 cm quanto para as amostras coletadas na profundidade 5 – 10 cm, o tratamento que obteve a menor média de areia fina foi o tratamento 3, mesmo sendo o que recebeu as maiores doses do produto, devido o menor teor de P_2O_5 . A fração areia compreende

as partículas com diâmetro entre 0,05 mm e 2 mm, com menor área superficial específica. Os espaços porosos entre as partículas de areia são maiores, sendo capazes de reter a água por um momento antes que a força da gravidade aja, esses espaços são chamados de macroporos. A diferença entre as dimensões das areias, dividindo estas em areia grossa e areia fina, pode levar a algumas respostas interessantes quando os solos recebem tratamentos com produtos como o FN e pós de rocha (baixa solubilidade e granulometria).

As amostras de areia grossa do RQ, retiradas na profundidade de 5 - 10 cm, apresentaram menor valor de média para o tratamento 2, enquanto os tratamentos 1, 3 e 5 apresentaram as maiores médias, com o tratamento 4 aproximando-se dos valores mais altos. Há uma tendência de que as partículas maiores de FN tenham percolado para a camada subsuperficial, porém, considerando que o tratamento 1 não recebeu FN, fatores distintos ao produto podem ter influenciado os resultados.

Tabela 9 – Valores médios da fração areia fina e areia grossa ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) do Neossolo Quartzarênico nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm.

Tratamentos	Fração Areia Fina		Fração Areia Grossa	
	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
T 1	394,59 a	373,89 ab	399,66 a	395,28 a
T 2	368,85 a	402,10 a	373,15 a	353,77 b
T 3	309,84 b	340,74 b	396,67 a	393,20 a
T 4	336,88 ab	357,76 ab	397,06 a	375,03 ab
T 5	363,58 a	348,77 ab	370,14 a	389,93 a

T1 - sem tratamento; T2 - 562 kg/ha de SSP; T3 - 3641 kg/ha de FN 2%; T4 - 1416 kg/ha de FN 6%; T5 - 942 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados das frações areia grossa e areia fina das amostras do LV nas duas profundidades de solo, são apresentados na Tabela 10. Para a fração areia fina na profundidade de 0 - 5 cm as menores médias foram obtidas nos tratamentos 1, 2 e 3, coincidentes com as doses zero de FN e a maior dose do produto. De acordo com a granulometria dos FN para o material utilizado nos tratamentos 4 e 5, mais de 60% dele permanece retido na peneira 10 T. Mesh (2,0 mm) e mais de 50% permanece retido na peneira de 20 T. Mesh (0,840 mm). O fato do tratamento 3 possuir menor média de fração de areia fina, demonstra que a dose mais elevada dificultou a sua solubilização, o que está de acordo com o menor crescimento da parte aérea das plantas (Figura 1) e com os resultados de fração areia grossa, onde o tratamento apresentou

maiores médias em relação aos tratamentos 4 e 5 na profundidade de 5 – 10 cm. As menores doses de FN do tratamento 5, devido ao equilíbrio químico, contribuíram para sua solubilização, o que aliado aos resultados das diferenças encontradas na fração silte, para o mesmo tratamento, traz evidências de que houve redução no tamanho das partículas do produto. Já na profundidade de 5 - 10 cm não houve diferença significativa de areia grossa entre os tratamentos, confirmando a solubilização do FN, cuja granulometria é de mais de 60% nesta fração (tabela 1).

Tabela 10 – Valores médios da fração areia fina e areia grossa (g.kg^{-1}) do Latossolo Vermelho nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm.

Tratamentos	Fração Areia Fina		Fração areia grossa	
	g.kg^{-1}			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
T 1	103,39 b	145,38 a	301,01 a	265,55 a
T 2	103,26 b	154,16 a	298,44 a	254,87 a
T 3	101,12 b	159,85 a	299,27 a	245,56 a
T 4	156,96 a	154,47 a	250,09 ab	250,36 a
T 5	160,95 a	159,74 a	236,19 b	241,38 a

T1 - sem tratamento; T2 - 437,5 kg/ha de SSP; T3 - 2811 kg/ha de FN 2%; T4 - 1136 kg/ha de FN 6%; T5 - 732 kg/ha de FN 9%. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4. CONCLUSÕES

Embora as altas dosagens de FN não possuam efeito a em relação à porosidade (exceção para o LV) e densidade do solo, foram verificadas mudanças em relação à granulometria do solo, com foco maior na fração silte.

É necessária uma análise cuidadosa do benefício do uso de FN, devido ao seu baixo teor de P_2O_5 , que é liberado muito lentamente para as plantas além de promover mudanças nos atributos físicos dos solos devido às doses muito elevadas.

5. LITERATURA CITADA

ALMEIDA JÚNIOR, Joaquim Júlio *et al.* Utilização do fertilizante orgânico em consorcio com remineralizador de solo na cultura da cana-de-açúcar / Use of organic fertilizer in consortium with soil remineralizer in sugarcane culture. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 29433-29446, 22 abr. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n4-436>.

- CARVALHO, Rafael Peloso de *et al.* Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 1, n. 28, p. 148-159, jan. 2015.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2017, Pelotas. **Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios**. Pelotas: Triunfal Gráfica e Editora, 2017. 455 p.
- ELIAS, Juliana. **Como crise na Rússia e Belarus encarece os fertilizantes para o Brasil**. 2022. CNA Brasil Business. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/como-crise-na-russia-e-belarus-encareceu-os-fertilizantes-para-o-brasil/>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 2011. 230p.
- FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 2, n. 6, p. 36-41, dez. 2008.
- GOMES, J. B. V. *et al.* Mineralogia, morfologia e análise microscópica de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 679-694, ago. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832004000400010>.
- GUEDES, Elaine Maria Silva *et al.* Fosfato natural de Arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizantha* em latossolo amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 117-129, dez. 2009.
- HOROWITZ, Nelson; MEURER, Egon José. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 41-47, fev. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782003000100007>.
- KAMINSKI, João *et al.* Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. **Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, n.3, p. 3-31, 1997.
- MACEDO, Elaine de Fátima Soares; NISHIZAKI JÚNIOR, Nelson. A importância do planejamento logístico com foco no crescimento da demanda da cadeia produtiva de alimentos até 2050. **Revista Fatec Zona Sul**, [s. l], v. 3, n. 3, p. 1-15, abr. 2017.
- MACHADO, Anderson Wolf. **Pó de rocha e Remineralizadores - tudo o que você precisa saber**. 2021. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/otros-insumos/o-que-e-rochagem---propriedades--vantagens--aplicacao-e-legislacao_455174.html. Acesso em: 28 jun. 2022.

- MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. **Pó de Rocha como Fertilizante Alternativo para Sistemas de Produção Sustentáveis em Solos Tropicais. Série estudos e documentos.** Brasília: CETEM/MCT, 2007.
- MELO, Vander de Freitas *et al.* Reserva Mineral do Solo. In: MELO, Vander de Freitas *et al.* (ed.). **Química e Mineralogia do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira do Solo, 2009.
- OLIVEIRA, Bruno. **Teste de Tukey para Comparações Múltiplas.** Disponível em: <https://statplace.com.br/blog/comparacoes-multiplas-teste-de-tukey/>. Acesso em: 24 jan. 2023.
- OLIVEIRA, Celismar Ferreira de. **Uso de remineralizadores, inoculantes e Urochloa ruzizensis como condicionadores de solo na sucessão soja-milho.** 2021. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Paulista "Júlio de Mequista Filho", Botucatu, 2021. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/215853/oliveira_cf_me_botfca.pdf?sequence=9&isAllowed=y. Acesso em: 02 jul. 2022.
- ONO, Fábio Benedito *et al.* Eficiência agronômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 727-734, jun. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542009000300010>.
- RAZUK, Renata Barbosa. **Avaliação do sistema radicular de acessos de Brachiaria brizantha e suas relações com atributos químicos e físicos do solo.** 2002. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2002.
- RAJÃO, Raoni; MANZOLLI, Bruno; SOARES-FILHO, Britaldo; GALÉRY, Roberto. A crise dos fertilizantes no Brasil: da tragédia anunciada às falsas soluções. **Ufmg**, [s. l.], p. 1-24, 2022. Disponível em: http://portal.sbpcnet.org.br/wp-content/uploads/2022/04/crise_fertilizantes.pdf. Acesso em: 14 jun. 2022.
- RIBEIRO, Antonio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito G.; V., Victor Hugo Alvarez. **Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação.** 5. ed. Viçosa: Editora Viçosa, 1999. 323 p.
- ROCHA, Rayane. **Conflito entre Rússia e Ucrânia pode impactar safra de verão no Brasil.** 2022. CNN. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/conflito-entre-russia-e-ucrania-pode-impactar-safra-de-verao-no-brasil-diz-cna/>. Acesso em: 14 jun. 2022.

- SAATH, Kleverton Clóvis de Oliveira. **Crescimento da demanda mundial de alimentos e as limitações do fator terra no Brasil**. 2016. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: ‘. Acesso em: 13 jun. 2022.
- SALAS, Javier. **A humanidade não chegará aos 10 bilhões de pessoas**. 2020. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/ciencia/2020-07-16/a-humanidade-nao-chegara-aos-10-bilhoes.html>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- SANTOS, Sheila R. *et al.* **Propriedades Físicas dos Solos**. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/08/Propriedades-f%C3%ADsicas-do-solo.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023.
- SAUER, Sérgio. Corrida mundial por terras e direitos territoriais no Brasil. **Agriculturas: Experiências em agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 16-19, dez. 2011.
- SAUER, Sérgio. Demanda mundial por terras: “land grabbing” ou oportunidade de negócios no Brasil? **Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2010. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/repam/article/view/16100>. Acesso em: 13 jun. 2022. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.abong.org.br/bitstream/handle/11465/314/AS-PTA_acesso_terra_direitos_territoriais_v.8.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=15. Acesso em: 13 jun. 2022.
- SCHMITZ, José Antônio Kroeff; SOUZA, Paulo Vítor Dutra de; KÄMPF, Atelene Normann. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 937-944, dez. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782002000600005>.
- SILVA, Rafael Cipriano da. **Intemperismo de minerais de um remineralizador**. 2016. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2016. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-01082016-171821/publico/Rafael_Cipriano_da_Silva_versao_revisada.pdf. Acesso em: 02 jul. 2022.
- SOUZA, Edicarlos Damascena *et al.* Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 40, n. 11, p. 1135-1139, nov. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2005001100012>.

- THEODORO, Suzi Huff *et al.* Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006
- VAN RAIJ, Bernardo. Fósforo - formas no solo. In: VAN RAIJ, Bernardo. **Avaliação de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Editora Franciscana (Lafram), 1983. Cap. 7. p. 97-97. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/480310>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- VELOSO, Cristiano. **As vantagens e limitações do fosfato natural para a adubação agrícola**. 2021. Disponível em: <https://blog.verde.ag/nutricao-de-plantas/as-vantagens-e-limitacoes-do-fosfato-natural-para-a-adubacao-agricola/>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- VILELA, H. **Pastagem: seleção de plantas forrageiras, implantação e adubação**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.