

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**Silicato de magnésio e bioativador na produtividade de
Urochloa e de trigo.**

ALVES ALEXANDRE ALOVISI

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2018**

Silicato de magnésio e bioativador na produtividade de *Urochloa* e de trigo.

ALVES ALEXANDRE ALOVISI
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. DR. MUNIR MAUAD

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2018

Silicato de magnésio e bioativador na produtividade de *Urochloa* e de trigo.

por

Alves Alexandre Alovise

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM AGRONOMIA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A455s Alovisi, Alves Alexandre
 Silicato de magnésio e bioativador na produtividade de *Urochloa* e
 de trigo / Alves Alexandre Alovisi. –2018.
 69 f.

 Orientador: Munir Mauad.
 Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Universidade Federal da
 Grande Dourados, 2018.

 1. Plantas – Nutrição. 2. Solos – Produtividade. 3. Serpentinó. I.
 Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com dados fornecidos pelo autor

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

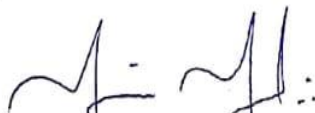
**SILICATO DE MAGNÉSIO E BIOATIVADOR NA PRODUTIVIDADE DE
Urochloa e de TRIGO**

por

Alves Alexandre Alovisei

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
MESTRE EM AGRONOMIA

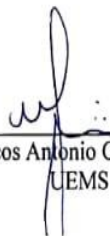
Aprovada em: 5/09/2018



Prof. Dr. Munir Maqad
Orientador – UFGD



Prof. Dr. Gessi Ceccon
UFGD/EMBRAPA



Prof. Dr. Marcos Antonio Camacho da Silva
UEMS

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus.

Dedico a minha mãe Adelina Alovise, ao meu pai Altamiro Alovise e aos meus irmãos, Valmor Alovise, Clarice Alovise, Dora Lucia Alovise e Serlei Alovise.

Dedico especialmente a minha esposa Alessandra Mayumi Tokura Alovise, pois não seria possível concretizar este trabalho sem o seu imenso apoio, paciência e confiança.

Dedico as minhas queridas filhas Heloisa Akemi T. Alovise e Yasmin Tiemi T. Alovise.

Dedico aos queridos anjinhos Juslei Tokura Alovise, Jaci Tokura Alovise e Ariel Tokura Alovise (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD e ao Programa da Pós graduação em Agronomia - “Produção Vegetal” pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Prof. Dr. Munir Mauad pela excelente oportunidade da orientação, ensinamentos e pela paciência dedicada durante a execução do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro e bolsa de estudos cedida.

Aos funcionários da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD que me proporcionaram condições para a realização desse trabalho.

A todos os amigos da turma de mestrado, aos amigos Waldenio Araújo, Robervaldo Soares e Cezes mundo Ferreira Gomes, pelo companheirismo e importantes colaborações.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho, meu franco agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Rochagem como alternativa no fornecimento de nutrientes	10
2.2 Uso do serpentinito na agricultura.....	11
2.3 Uso de bioativadores de solo e planta.....	13
2.4 Palhada e o Sistema Plantio Direto (SPD)	14
2.5 Cultura do trigo em sistema plantio direto.....	17
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1. Localização e caracterização da área experimental.....	20
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	21
2.3 Condução do Experimento	21
2.4 Variáveis analisadas.....	23
2.4.1 Taxa de cobertura da fitomassa da forrageira sobre solo	23
2.4.2 Massa remanescente da fitomassa	24
2.4.3 Tempo de meia vida e constante k	24
2.4.4 Concentrações foliares de nutrientes	24
2.4.5 Determinação do silício no tecido vegetal (método amarelo)	24
2.4.6 Determinação do silício no solo (método azul).....	25
2.4.7 Massa seca da parte aérea	25
2.4.8 Número de perfilhos por metro quadrado	25
2.4.9 Número de espigas por metro quadrado	25
2.5.0 Porcentagem de perfilhos férteis.....	26
2.5.1 Número de espiguetas por espiga	26
2.5.2 Número de grãos por espiguetas.....	26
2.5.3 Número de grãos por espiga	26
2.5.4 Massa de 1000 grãos.....	26
2.5.5 Produtividade.....	26
2.6 Análise estatística	26
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.1 Avaliação da fitomassa de <i>Urochloa brizantha</i>	27
3.2 Atributos químicos do solo	33

3.3	Análise química do tecido vegetal das folhas do trigo.....	47
3.4	Características avaliadas no trigo	52
4	CONCLUSÃO	56
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

RESUMO

Os silicatos de Magnésio, entre eles o serpentinito, podem disponibilizar vários elementos importantes para a nutrição de plantas, dentre eles o silício que pode aumentar a persistência dos resíduos culturais em superfície. Com esse intuito, procurou-se avaliar a ação do serpentinito na produção de matéria seca da parte aérea da forrageira *Urochloa brizantha* cv. Piatã, decomposição da fitomassa da forrageira e o desenvolvimento do trigo cultivado em sucessão. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas no tempo, sendo as doses de serpentinito nas parcelas (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹), o uso de bioativo nas subparcelas (com e sem o uso de bioativo) e as épocas de avaliação nas subsubparcelas (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o manejo). As variáveis analisadas foram: taxa de cobertura da fitomassa sobre o solo, massa remanescente da fitomassa da forrageira, tempo de meia vida e constante de decomposição da fitomassa da forrageira, concentrações foliares de nutrientes e silício na cultura do trigo, atributos químicos do solo e componentes de produtividade da cultura do trigo. A aplicação do serpentinito proporcionou maior produtividade de matéria seca de *Urochloa brizantha* cv. Piatã, aumentou a taxa de cobertura e massa remanescente da fitomassa da *Urochloa* sobre o solo, melhorou os atributos químicos do solo e favoreceu o aumento da massa seca, número de espigas e produtividade da cultura do trigo. O uso do bioativo ocasionou a acidificação do solo, com redução na saturação por bases, teores de matéria orgânica, fósforo e zinco. O bioativo também proporcionou maior produção de matéria seca da *Urochloa* com menores doses de serpentinito.

Palavras chave: serpentinito, decomposição, braquiária, atributos químicos do solo, *Triticum aestivum*.

ABSTRACT

Magnesium silicates, among them the serpentinite, can provide several elements important for plant nutrition, among them silicon that can increase the persistence of cultural residues on the surface. With this aim, we tried to evaluate the action of the serpentinite in the dry matter production of the aerial part of the forage *Urochloa brizantha* cv. Piatã, decomposition of forage phytomass and development of wheat grown in succession. The experimental design used was randomized blocks in subdivided plots in time, with serpentinite doses in the plots (0, 2, 4, 8 and 16 Mg ha⁻¹), the use of bioactive in the subplots (with and without the use of bioactive) and the epochs of evaluation in the subsubparcels (0, 30, 60, 90, 120 and 150 days after the management). The variables analyzed were: phytomass cover rate, soil remnants of phytomass of forrageria, half - life and forage phytomass decomposition constants, foliar concentrations of nutrients and silicon in wheat crop, soil chemical attributes and components of wheat crop yield. The application of the serpentinite provided higher productivity of dry matter of *Urochoa brizantha* cv. Piatã, increased the rate of cover and remaining mass of the *Urochloa* phytomass on the soil, improved the chemical attributes of the soil and favored the increase of the dry mass, number of ears and yield of the wheat crop. The use of the bioactive caused acidification of the soil, with reduction in base saturation, organic matter content, phosphorus and zinc. The bioactive also provided higher production of *Urochloa* dry matter with lower doses of serpentinite.

Key words: serpentinite, decomposition, brachiaria, soil chemical attributes, *Triticum aestivum*.

1. INTRODUÇÃO

Os solos de Cerrado, em sua maioria, apresentam avançado intemperismo, com elevada acidez, baixa disponibilidade de nutrientes e silício (Si) para as plantas, exigindo assim, constantes correções e adubações para que se elevem os potenciais produtivos. O serpentinito é uma rocha de origem metamórfica, ultrabásica formada principalmente por dolomita, calcita e sílica portanto uma fonte rica em magnésio e cálcio com teores de até 42% de MgO, podendo contribuir no balanceamento da relação Ca/Mg do solo, além de apresentar elevadas quantidades de silício (até 45% de SiO₂) entre outros minerais, contribuindo para a reposição desses minerais no solo (FRIEDMAN, 2013).

As características do serpentinito, quando avaliadas como corretivos de acidez, atendem os limites especificados pela Instrução normativa vigente do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A influência do serpentinito na correção da acidez do solo é verificada pelo aumento do pH na solução do solo, com a consequente redução do teor de Al³⁺ trocável e o aumento dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis. A existência de dolomita na composição da rocha sugere que a mesma seja considerada um insumo agrícola de ação lenta. Assim, o serpentinito possui potencial para aplicação na agricultura como corretivo de solos, fornecedor de nutrientes e silício o que torna o seu estudo uma contribuição para o crescimento da agricultura sustentável no país.

Segundo Tavares et al., (2010) o serpentinito pode ser definido com um silicato de cálcio e magnésio com teores médios de SiO₂ e MgO de 40,56 e 45,70%, respectivamente. Teixeira et al., (2010) consideram o serpentinito com um pó de rocha silicatada com características químicas necessárias para ser considerado um corretivo de solo.

O serpentinito é portanto, corretivo de solo, fonte de nutrientes e silício, elemento benéfico, principalmente para as culturas acumuladoras deste elemento, tais como as gramíneas tropicais, podendo trazer benefícios devido ao aumento da rigidez da parede celular, proporcionando melhor arquitetura da planta, aumentando eficiência fotossintética. A taxa fotossintética está a produção e a manutenção de palhada sobre a superfície do solo são as principais premissas para o sucesso do sistema plantio direto (SPD), principalmente em regiões tropicais onde as elevadas temperatura e umidade aceleram a decomposição dos resíduos. Desse modo, o estabelecimento de cobertura

do solo com plantas semeadas para essa finalidade, além de rotações de cultura, constituem um desafio para o SPD na região. Soma-se a isto o fato de que as condições climáticas da primavera-verão condicionam alta taxa de decomposição desse material, de tal forma que a cobertura do solo é reduzida rapidamente, devendo haver aporte constante desse material ao solo.

Assim, a quantidade e a persistência da fitomassa são características importantes de plantas destinadas a cobertura do solo. Existem indícios de que o Si, presente também nas rochas serpentínicas, possui papel importante na persistência da palhada no solo. Em outras palavras, quanto maior a concentração de Si no resíduo vegetal deixado sobre o solo (palhada), menor a velocidade de decomposição da mesma (SILVA e BAHNEN 2001).

Considerando que as gramíneas, entre elas o gênero *Urochloa* são classificadas como plantas acumuladoras de Si (MELO et al., 2003), há vários pontos merecem melhor estudo, e dentre eles, um é relativo ao tempo de permanência, sobre o solo, das palhadas de cobertura. Sabe-se que a maior parte do Si absorvido pelas plantas é depositado na parte externa da parede celular das folhas (principalmente da epiderme) como uma fina camada de sílica amorfa, podendo funcionar como uma espécie de barreira, reduzindo a perda e, ou o acesso ao material celular durante a decomposição da palha no solo, alterando a liberação dos nutrientes para a solução do solo. Essa proteção mecânica já não é a única hipótese para a explicação da função do Si na planta. O Si parece influenciar também, uma proteção ativa induzida dentro das células vegetais onde o Si inicia uma seqüência de reações que formam mecanismos de defesa bioquímica na planta infectada (ARAÚJO e KORNDORFER, 2014). Epstein (1999) sugere que o Si possa agir como um segundo mensageiro dentro da célula afirmando, também, que os mecanismos de defesa mobilizados pelo Si incluem acumulação de lignina, compostos fenólicos, quitinases e peroxidases.

Portanto, para que as plantas de cobertura possam contribuir, de maneira mais eficiente possível, no sistema plantio direto, tanto no aspecto físico como no químico, é necessário que se tenha maior conhecimento sobre o processo de decomposição e liberação de nutrientes de sua fitomassa, pois a ciclagem de nutrientes via plantas de cobertura de solo desempenha um papel importante em sistemas agrícolas e o conhecimento da dinâmica de decomposição dos resíduos culturais é fundamental para maximizar o aproveitamento dos nutrientes pela cultura em sucessão. Neste sentido, é importante a seleção de plantas de cobertura que apresentem elevada capacidade de

produção de massa seca, ciclagem de nutrientes e impacto nos atributos químicos do solo e na resposta das culturas subsequentes. Segundo Dantas et al. (2016) a *Urochloa brizantha* é uma forrageira considerada adaptada para as épocas de menor disponibilidade hídrica como a safrinha, por apresentar boa produtividade de forragem nessas condições.

O estudo com plantas de cobertura em interação com a neutralização da acidez do solo pelo serpentinito torna-se oportuno para o conhecimento da real contribuição da persistência dos resíduos culturais na superfície do solo. Todavia, poucos estudos vêm sendo realizados no Brasil, para verificar a viabilidade do serpentinito, como corretivo do solo e fonte de Si e nutrientes, que pode conferir à palhada, maior persistência.

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar a ação do serpentinito e bioativo na produção de matéria seca da parte aérea da forrageira *Urochloa brizantha* cv. Piatã, decomposição da fitomassa da forrageira, alterações nos atributos químicos do solo e o desenvolvimento do trigo cultivado em sucessão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Rochagem como alternativa no fornecimento de nutrientes

A rochagem é uma técnica que parte do pressuposto que determinados tipos de rochas podem fornecer nutrientes, com a capacidade de alterar positivamente a fertilidade do solo, sem afetar o equilíbrio do ambiente (PÁDUA, 2012).

O acréscimo de rochas moídas aos solos viabiliza a remineralização por meio da adição de nutrientes, que foram perdidos pelos solos ao longo dos processos intempéricos e de cultivo (THEODORO et al., 2012).

Vários tipos de rochas podem ser utilizados como remineralizadores de solos. Dentre estes materiais geológicos, destacam-se as rochas ígneas (basaltos, kamafugitos, carbonatitos, fonolitos e alguns tipos de granitos), metamórficas (serpentinitos, xistos, filitos) e sedimentares (margas, fosfatos e os sedimentos retidos em reservatórios e de várzeas) (THEODORO e LEONARDOS, 2011).

Minerais provenientes de rochas ígneas e metamórficas contêm a maior parte dos elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Em geral, os nutrientes fornecidos pelas rochas são: potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre, além de alguns micronutrientes e elementos benéficos às plantas, como o silício (THEODORO et al., 2010).

A rochagem resume-se na adição do pó de rocha ao solo que, pelo intemperismo químico, no qual a água possui ação solvente, decompõe o pó de rocha lentamente, desse modo, os nutrientes são liberados gradualmente (TEIXEIRA et al., 2010), o que pode permitir a aplicação de nutrientes apenas uma vez no ciclo da cultura. Desta forma, a redução de parcelamentos pode contribuir para a redução dos custos de produção, além de trazer benefícios ao ambiente, dado que na maioria das propriedades as operações mecanizadas envolvem a queima de combustíveis fósseis.

Entretanto, o principal desafio no uso de pó de rochas como fertilizantes é fornecer nutrientes nas quantidades e no tempo adequado a cada cultura. A necessidade de usar doses relativamente altas de pó de rochas e com granulometria bem fina é necessária para compensar o baixo teor e baixa solubilidade desses materiais. Por outro lado, Souza et al. (2010) relatam que as baixas solubilidades do pó de rochas podem ser consideradas como vantagens em condições tropicais, visto que, são intensificados a taxa de dissolução das rochas, pelos maiores valores de temperatura e umidade, em relação as regiões de clima temperado. Consequentemente, levam ao enriquecimento

dos solos tropicais que, geralmente, se apresentam com baixa fertilidade e CTC (MARTINS, 2010).

Segundo Osterroht (2003), a dissolução do pó de rochas no solo depende muito da composição química e mineralógica da rocha, granulometria do material, tempo de reação, assim como do pH e da presença de microrganismos no solo atuando em sua degradação. Em função de variações na composição das rochas, pode haver disponibilidade de vários nutrientes a curto, médio e longo prazo (DUARTE, 2010).

2.2 Uso do serpentinito na agricultura

Os serpentinitos são rochas metamórficas ultrabásicas, formadas principalmente pelos óxidos de cálcio, magnésio e silício e pertencem ao grupo mineralógico da serpentina, que normalmente é formado pela crisotilo, a lizardita e a antigorita, todos com a fórmula química semelhante a $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ e outros minerais comuns encontrados em serpentinitos são a cromita e a magnetita (Pinto et al., 2010). As reservas dessas rochas estão bem distribuídas no Brasil e podem ser encontradas nos estados da Bahia, Ceará, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraíba, Paraná, Rio Grande do Sul, Sergipe e São Paulo (DNPM, 2006; Pereira et al., 2007).

O serpentinito é fonte rica em magnésio, apresentando teores de até 42% de MgO, podendo contribuir no balanceamento da relação Ca/Mg do solo (Friedman, 2013). Deve-se considerar ainda a presença significativa do Si, cerca de 44% de SiO₂, entre outros minerais, favorecendo, portanto, a reposição desse mineral no solo, que por sua vez, favorece o desenvolvimento de microrganismos que podem produzir ácidos húmicos, o que vem a contribuir para uma disponibilidade dos nutrientes de forma mais equilibrada. Em função das proporções altas Mg e Si, os serpentinitos também são conhecidos como silicato de magnésio.

Segundo Teixeira et al. (2010), os serpentinitos são constituídos de dolomita, calcita e diopsídio e, após a avaliação do uso do pó de serpentinito na agricultura, os autores constataram que o material atende os critérios de corretivo de solos e de fonte de nutrientes.

Na cultura do café, Santinato et al. (2012) compararam o serpentinito e outras fontes de magnésio, tais como sulfato de magnésio e fertilizantes químicos e

concluíram que o serpentinito mostrou-se mais eficiente como fonte de magnésio, além do aumento da produtividade obtida como uso deste material.

Em experimento realizado na cultura da soja, Carmignano (2014) verificou que a adição do serpentinito, nas doses de 1 e 2 Mg ha⁻¹, contribuiu para que as concentrações foliares de N, Mg, Zn, K, S e Cu ficassem na faixa adequada, enquanto os elementos B, Mn e P apresentaram valores altos e os elementos Ca e Fe deficientes nas folhas de soja.

Pulz et al. (2008) compararam o uso do silicato de cálcio e magnésio com o calcário, na cultura da batata e, observaram que ambos os materiais estudados contribuíram tanto com o aumento do pH e disponibilidade de Ca, Mg, P e Si do solo, quanto o acúmulo desses elementos nos tecidos da planta. Entretanto, observaram maior altura de plantas, menor acamamento das hastes e maior produção de tubérculos comercializáveis, com o uso do silicato de Ca e Mg, mostrando que a utilização do silicato pode trazer efeitos benéficos ao solo e as plantas.

Souza et al. (2015) avaliando doses de silicato de Ca e Mg, aplicadas na cultura do milho num Neossolo Quartzarênico, observaram que o índice de velocidade de emergência das plantas, bem como altura de plantas, diâmetro do colmo, área foliar e matéria seca da parte aérea e raiz aumentaram com o incremento das doses do silicato.

A aplicação do silicato no sulco de semeadura e em área total, também foram eficientes para o aumento da produtividade de grãos de sorgo, aumento da concentração de Si nos grãos, colmos e folhas e, além do aumento do pH e Si no solo (Barbosa et al., 2008; Silva, 2014).

Contudo, ainda há necessidade de mais pesquisas com o uso de serpentinito para a diversidade de culturas, solos e manejos da agricultura brasileira. De modo geral, os resultados negativos do uso de pó de rocha, geralmente, estão associados a baixa solubilidade das rochas, que inviabilizam respostas tão eficientes quanto às esperadas pelo uso dos adubos convencionais solúveis. Assim sendo, tem-se buscado processos de tratamento que venham a incrementar a solubilização e agregar valor aos produtos derivados de rochas.

Para incrementar a liberação dos nutrientes do pó de rochas, uma tendência atual é promover a bioativação do solo. A utilização de produtos bioativadores da microbiota do solo pode promover a solubilização das rochas, acelerando o processo de liberação dos nutrientes para o solo (Lopes-Assad et al., 2006; Lima et al., 2007).

Isso pode auxiliar na redução dos custos de produção, aumento da qualidade do solo e produtividade das culturas (Trentin et al. 2014), por proporcionar melhor crescimento das raízes, o que possibilita um melhor aproveitamento dos nutrientes.

2.3 Uso de bioativadores de solo e planta

Segundo Macedo e Castro (2015), os bioativadores são considerados substâncias orgânicas complexas promotoras de crescimento e capazes de induzir a síntese hormonais. Podem atuar em fatores de transcrição da planta e na expressão gênica, em proteínas de membrana, alterando o transporte iônico e em enzimas metabólicas capazes de afetar o metabolismo secundário, de modo a modificar a nutrição mineral, produzir precursores de hormônios vegetais, levando a síntese hormonal e a resposta da planta a nutrientes e hormônios. Em um contexto geral bioativos são considerados como sendo compostos que possuem efeito de interação com organismos vivos, tecidos ou células e fazem parte de uma nova tecnologia que tem como benefícios, o aumento da eficiência do uso da água, luz e nutrientes disponíveis para as plantas. Constituem um salto na busca de sistemas agrícolas que sejam sustentáveis e ao mesmo tempo financeiramente viáveis.

É crescente a utilização de tecnologias com o uso de bioativos nas mais diferentes culturas agrícolas, no entanto, ainda existem muitas dúvidas quanto à viabilidade da sua utilização.

Uma tecnologia de bioativação que vem sendo testada em diversas culturas agrícolas no Brasil é o uso do bioativador PENERGETIC. O modo de ação desse bioativo é apresentado em materiais de divulgação comercial e, segundo estes, a bioativação não está baseada na utilização de ativo biológico (gene inativo, vírus, bactérias, propágulos fúngicos, metabólitos secundários, etc.) e sim através do processo de energização, obtido através de ondas eletromagnéticas em espectro reduzido. Tal carga energética, inofensiva a qualquer organismo vivo, atua na indução da atividade biológica observada naturalmente nos sistemas solo/planta, planta/atmosfera e/ou solo/micro-organismos (PENERGETIC, 2017)

Assim, o termo bioativação não significa que os produtos da PENERGETIC possuam ativos biológicos, e sim que a utilização da tecnologia resulta na ativação ou estimulação da vida na natureza, seja ela no solo ou nas plantas. Apesar do processo de energização dos veículos utilizados pela tecnologia (a exemplo dos argilominerais

bentoníticos) ser de domínio do fabricante, os mecanismos de ação desta tecnologia são de difícil descrição em termos de modelos teóricos tradicionais.

A tecnologia Penergetic utiliza materiais com a bentonita que é um argilomineral que possui como características principais, alta área superficial específica (até $800 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), capacidade de troca de cátions na ordem de 60 a 170 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, partículas de tamanhos que podem variar de 2 μm a tamanhos significativamente reduzidos como 0,1 μm em diâmetro e formato de placas ou lâminas, com alto poder de expansão quando em contato com a água (FAHRENHOLTZ, 2008; TEIXEIRA NETO e TEIXEIRA NETO, 2009).

No Brasil, o uso de bioativadores ainda é pouco explorado, mas experimentos têm demonstrado aumento quantitativo e qualitativo na produtividade de culturas agrícolas (SERCILOTO, 2002). Em pesquisa avaliando a influência da utilização de produtos com potenciais bioativadores, Carvalho et al. (2014) encontraram acréscimos na germinação, desempenho e vigor de sementes de feijão. Brito et al. (2012), usando um bioativador, obtiveram maiores valores para número e massa seca de vagens comerciais de feijão-vagem com a aplicação do bioativador Penergetic, associados à adubação química. Porém nesse estudo, os autores não encontraram benefícios com a aplicação isolada do bioativo.

Cobucci et al. (2015), testando a aplicação de bioativo com adubação fosfatada na cultura do feijoeiro, em dois anos de cultivo, observaram incrementos significativo na produtividade de grãos e componentes de produção da cultura. Na cultura do milho, Steffen e Macedo (2017) observaram maior percentual de micorriização das raízes do milho nos tratamentos que receberam o bioativo.

Binsfeld et al. (2014), avaliando o efeito do tratamento de sementes com bioativadores e nutrientes no desenvolvimento da cultura da soja, constataram influência positiva na qualidade fisiológica de sementes, no entanto, com o bioativador thiametoxan isoladamente, observaram efeito negativo sobre a germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas.

2.4 Palhada e o Sistema Plantio Direto (SPD)

O sistema de Plantio Direto (SPD) é tido como a maior inovação tecnológica da agricultura nos últimos tempos, fundamentada na rotação de culturas, manutenção de cobertura permanente e ausência de revolvimento de solo e, já é uma prática consolidada, que tende a se difundir ainda mais com a expansão das áreas de cultivos

e, sem dúvidas contribui com o uso racional do solo, agregando produtividade às por meio do não revolvimento do solo, manutenção da palhada e a rotação de culturas. O aporte tecnológico disponível atualmente permite a adaptação do sistema de plantio direto nas mais variadas condições de clima, solo e espécies cultivadas. Ao longo de décadas de pesquisas, os ganhos ambientais com uso da técnica estão comprovados, permitindo afirmar que, o SPD constitui uma das mais eficientes práticas conservacionistas em áreas de cultivos (MELO JÚNIOR et al., 2011)

O SPD constitui uma importante técnica de manutenção e recuperação da capacidade produtiva de solos degradados, por evitar o revolvimento do solo e manter o resíduos das culturas sobre o solo, protegendo-o de variações de temperatura e ainda reduzindo a oxidação da matéria orgânica no período da entressafra (outono/ inverno) (TORRES et al., 2005). As plantas de cobertura, além de protegerem o solo dos agentes climáticos, sequestram carbono atmosférico e, desta forma, apresentam potencial para manter ou elevar o teor de matéria orgânica, mobilizar e reciclar nutrientes (SILVA et al., 2011).

A utilização de espécies com rápido estabelecimento e boa produção de massa seca como as braquiárias, adaptadas às condições regionais e cultivadas na época adequada, trazem grandes benefícios ao sistema, resultando em incremento da cobertura do solo e na ciclagem de nutrientes (ALVARENGA et al. 2001 e SOUSA et al. 2011). A quantidade e a qualidade da palhada acumulada sobre a superfície do solo e a uniformidade de sua distribuição servem de referência para avaliar a condição de desenvolvimento do Sistema Plantio Direto (SPD) (HECKLER e SALTON, 2002).

As gramíneas apresentam melhor desempenho em relação as leguminosas, devido ao desenvolvimento inicial mais rápido e a melhor adaptação às condições edafoclimáticas adversas. Algumas espécies, como o milho, produzem grande quantidade de resíduos, os quais permanecem maior tempo na superfície do solo, podendo ser considerado uma das principais culturas em sistema de rotação sob plantio direto (ALVARENGA et al., 2001). As espécies do gênero *Braquiária spp.* e *Panicum spp.*, também se destacam tanto na produção de forragem, quanto na deposição de palhada, podendo disponibilizar elevados concentrações de nutrientes (COSTA et al., 2014)

Kliemann et al. (2006) verificaram que, em comparação a outras espécies de gramíneas (mombaça, sorgo e milheto) e culturas leguminosas (guandu e estilosantes), que a braquiária tanto solteira como em consórcio proporcionaram

menores perdas de massa seca da palhada podendo ser considerada ideal para cobertura de solo devido a elevada persistência na lavoura.

A cobertura formada por espécies leguminosas além de escassa possui rápida mineralização, dificultando a permanência da palhada no sistema, mas pode ser uma alternativa para manter o equilíbrio no ciclo de imobilização e liberação de nutrientes no solo em SPD (Alvarenga et al., 2001) e também no suprimento de nitrogênio as culturas subsequentes mais exigentes, solos pobres em matéria orgânica ou no início do estabelecimento do SPD (Calonego et al., 2012).

Santos et al. (2014) verificaram no cerrado da Bahia, que a palhada remanescente do consórcio milho e braquiária (*B. ruziziensis*), após ser manejado com gado, apresentou 6,6 Mg ha⁻¹ de massa seca. Já Loss et al. (2012) também em condições de consórcio obteve produção de 11,30 Mg ha⁻¹ de palha de braquiária, enquanto Kliemann et al. (2012) obtiveram com braquiária solteira, produção de 12,43 Mg ha⁻¹.

Segundo Alvarenga et al. (2001), a produção de 6 Mg ha⁻¹ de resíduos é uma quantidade suficiente para obter adequada taxa de cobertura do solo, enquanto Amado (2000) sugere que o aporte de palhada entre 10 e 12 Mg ha⁻¹ seria mais apropriada para a região sul do Brasil. Porém, para as condições de clima do cerrado, que favorecem a rápida decomposição dos resíduos, o aporte de palha deve ser superior às quantidades mencionadas (Pariz et al., 2011).

O preparo mecânico do solo pode diminuir os estoques de C orgânico e N total do solo, que podem ser recuperados a partir do quarto ano de adoção do plantio direto. O plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura demonstra potencial para recuperar o teor de MO e, consequentemente, sequestrar carbono no solo e contribuir para mitigar o efeito estufa (Amado et al. 2001). Segundo Loss et al. (2011) em sistemas onde há deposição de resíduos culturais de maior relação C/N como as proporcionadas pela braquiária, gera-se degradações mais lentas favorecendo o acúmulo de carbono orgânico total.

As características qualitativas dos resíduos vegetais, associadas às condições edafoclimáticas, alteram a velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos, refletindo sobre a disponibilidade de nutrientes ao solo (Aita e Giacomini, 2003). Neste cenário, a braquiária tem se mostrado eficiente no acúmulo de C em relação ao cerrado nativo, devido ao seu abundante sistema radicular que apresenta contínua renovação e elevado efeito rizosférico (Moreira e Siqueira, 2002). Culturas

como o milheto, o sorgo forrageiro e capins do gênero *Urochloa* em regiões de Cerrado são consideradas excelentes opções para utilização em sistemas conservacionistas como o SPD e vêm sendo muito usadas do outono à primavera para fornecimento de forragem e/ou palhada nesses sistemas produtivos (Garcia et al., 2014)

Outro benefício aliado à adequada produção de massa é o alto potencial de supressão de plantas daninhas ao longo dos anos reduzindo a ocorrência de plantas daninhas na área, o que poderia possibilitar a redução ou ausência de aplicação de herbicida complementar na cultura em sucessão (Oliveira et al., 2001). Lima et al. (2014) trabalhando com a utilização de palhada de *Urochloa ruziziensis*, na quantidade de biomassa entre 6,5 Mg ha⁻¹ e 8,5 Mg ha⁻¹, verificou potencial de supressão de plantas daninhas, sem, no entanto, dispensar a aplicação de herbicida complementar em pós emergência na cultura de soja.

2.5 Cultura do trigo em sistema plantio direto

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal de ciclo anual e que possui grande relevância na dieta alimentar humana sendo cultivado nos mais diferentes ambientes e regiões do mundo, é tido como uma das mais importantes bases da alimentação das principais civilizações da Europa, Ásia e África (VESOHOSKI et al. 2011). O cereal ocupa mais de 17,0% da terra cultivável do mundo, aproximadamente 30% da produção mundial de grãos, e constitui cultura importante na composição de sistemas de produção agrícola sustentáveis, como alternativa para sucessão e rotação em sistemas de produção, contribuindo para o manejo integrado de pragas, doenças e invasoras (DE MORI, 2015)

A produção total de trigo está projetada em 737,8 milhões de tonelada, segundo boletim de oferta e demanda da USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) (GOTTEMS, 2017). Embora o Brasil seja aclamado como potência global na produção agrícola, o país ainda é fortemente dependente das importações de trigo, cujos montantes podem facilmente ultrapassar 50% do consumo nacional em determinados anos. Assim, o Brasil integra o grupo dos maiores importadores mundiais de trigo (CONAB, 2017).

A falta de incentivo à produção, a pequena área cultivada e as baixas produtividades obtidas são fatores que contribuem para o déficit anual na produção brasileira de trigo. O estabelecimento de práticas de manejo que otimizem os insumos

aplicados pode contribuir para aumentar a produtividade nas lavouras de trigo no Brasil

Após a colheita das culturas de verão e antes da semeadura do trigo, normalmente há um intervalo de tempo no qual é possível cultivar plantas de cobertura. A utilização de pastagem por exemplo, além de ser utilizada para pastejo, mantém o solo coberto e contribui para a rotação de culturas e tem sido eficiente na quebra do ciclo de pragas e doenças e na restauração da matéria orgânica do solo, o que mantém ou aumenta a produtividade das espécies produtoras de grãos além de efetiva contribuição para consolidar o plantio direto na palha. (MARIANI et al., 2012).

O cultivo sob plantio direto tem aumentado consideravelmente em razão dos benefícios proporcionados, uma vez que o não revolvimento do solo e a manutenção da palhada reduzem erosão, lixiviação, além de manter o solo úmido e proporcionar maior infiltração de água, assim como auxiliando operações agrícolas (DIAS et al., 2015). Estudos têm evidenciado que a adoção desse sistema de manejo, em substituição ao preparo convencional, contribui para a melhoria das características físicas, químicas e biológica do solo à medida que os cultivos forem se sucedendo, principalmente em razão da cobertura proporcionada, que contribuem para a redução da erosão, minimizando as perdas de água, solo e nutrientes além de promover o acúmulo de material orgânico na superfície do solo e redução das emissões de gases de efeito estufa (SANTANA et al. 2018).

Normalmente para o plantio direto do trigo, são atribuídas vantagens para as leguminosas utilizadas como adubo verde principalmente referente ao fornecimento de nitrogênio residual, entretanto, existe grande variação nessas produções conforme as condições nas quais essas leguminosas crescem. O estudo de leguminosas forrageiras no Brasil encontra-se em um plano secundário, quando comparado ao das gramíneas, impedindo a obtenção de leguminosas que possam competir favoravelmente, quando cultivadas em solos tropicais de baixa fertilidade (BRAZ et al. 2006). A melhor performance apresentada pelas gramíneas, em relação às leguminosas, está ligada, entre outros aspectos, ao desenvolvimento inicial mais rápido o que se associa a melhor adaptação as condições edafoclimáticas adversas, além de também serem fornecedoras de nutrientes às culturas sucessoras a médio e longo prazo, especialmente na camada superficial (BRAZ et al., 2006).

Braz et al. (2006), avaliando diferentes culturas antecessoras ao plantio do trigo (braquiária, milho + braquiária, guandu, milheto, mombaça, sorgo e estilosantes),

sobre Latosolo Vermelho distroférrico em Goiás, concluíram que quando o trigo foi semeado sobre palhada de braquiária e adubado com nitrogênio, foi possível obter produtividades maiores àquelas onde o trigo foi semeado sobre leguminosas mostrando que é possível incrementos elevados na produtividade quando o trigo é cultivado em sucessão às gramíneas. Segundo Floss (2000) e Balbinott et al., (2014), as palhadas de gramíneas são fornecedoras de nutrientes às culturas sucessoras a médio e longo prazo, especialmente na camada superficial o que pode ser interessante para a modalidade de plantio de trigo sobre gramíneas.

Silva et al. (2008) trabalharam testando a cultura do trigo em plantio direto sobre palhada de milho no cerrado no Mato Grosso do Sul e observam pouca influência de fontes e doses de N no trigo sobre a produtividade final da cultura, mostrando que o Nitrogênio pode não ser um limitador para o sistema de plantio direto do trigo sobre gramíneas, no caso o milho. Já Teixeira Filho et al. (2010) estudando o mesmo propósito e na mesma região (Selvíria – MS) observou ganhos em produtividade com aumento das doses de nitrogênio em trigo sobre milho, em condições de área irrigada.

Segundo Rebello et al. (2017), o trigo cultivado sob plantio direto pode apresentar rendimento de grãos mais elevado que sob preparo convencional do solo. Embora ainda haja contradições do uso do trigo sob gramíneas, as perspectivas para este uso sob sistema de plantio direto são promissoras, no entanto, poucos são os trabalhos realizados no sentido de avaliar a eficiência do plantio da cultura do trigo. Dessa forma, é necessário melhor avaliar o potencial produtivo do trigo no sistema de plantio direto sobre gramíneas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande dourados (UFGD), no município de Dourados, MS. O local situa-se na latitude de 22°14'08" S, longitude de 54°59'13" e altitude de 434 m. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférrico (SANTOS et al., 2013). A área onde o experimento foi conduzido já era cultivado com culturas anuais (principalmente soja, milho e trigo) há mais de 20 anos. Conforme a classificação de Köppen o clima é do tipo Am (ALVARES et al. 2013), com precipitação média anual de 1.400 mm, e as temperaturas médias variam de 18°C a 25°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente. As condições climáticas no decorrer do experimento estão ilustradas na Figura 1.

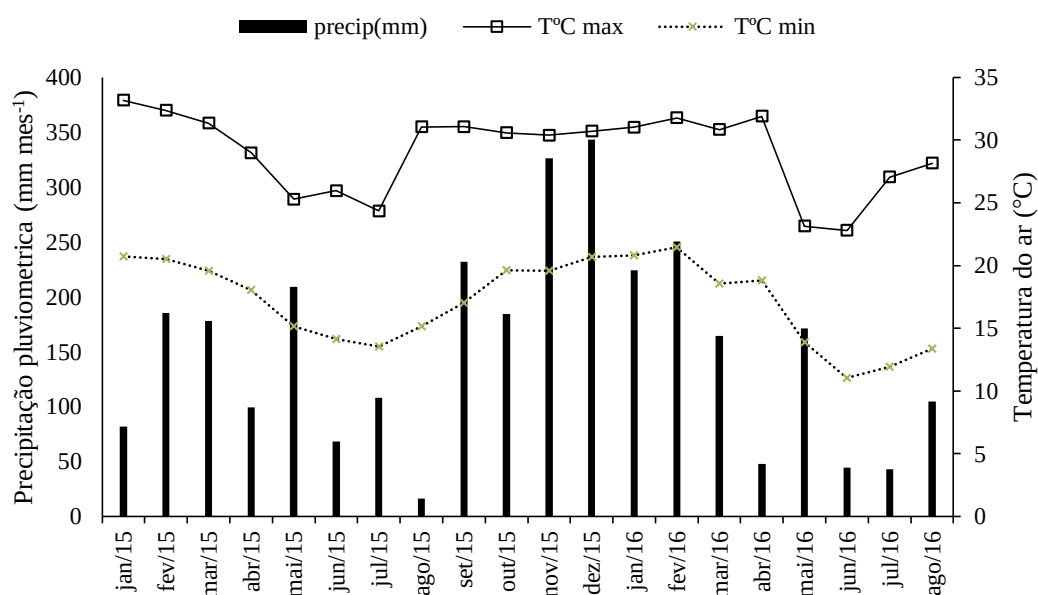


Figura 1- Precipitação pluviométrica e temperaturas máxima e mínima registradas durante o experimento, no período de janeiro de 2015 a agosto de 2016 em Dourados- MS.

A área onde o experimento foi conduzido já era cultivada com culturas anuais (principalmente, soja, milho e trigo) há mais de 20 anos.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições. Para as avaliações da palhada da *Urochloa*, os tratamentos foram casualizados no esquema de parcelas sub-subdivididas, sendo que nas parcelas foram usadas cinco doses de serpentinito (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹), nas sub-parcelas o uso de bioativo (com e sem) e nas sub-subparcelas foram alocadas as épocas de avaliação (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias) após o manejo (corte) da *Urochloa*.

Para os atributos químicos do solo, os tratamentos foram casualizados no esquema de parcelas sub-subdivididas, sendo que nas parcelas foram as cinco doses de serpentinito (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹), nas sub-parcelas, o uso de bioativo (com e sem) e nas sub-subparcelas foram as duas profundidades de coleta de solo (0-0,10 e 0,10-0,20 m).

Para a cultura do trigo, os tratamentos foram casualizados no esquema de parcelas subdivididas, sendo que nas parcelas foram usadas cinco doses de serpentinito (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹), nas sub-parcelas o uso de bioativo (com e sem).

2.3 Condução do Experimento

A caracterização dos atributos químicos do solo, antes da aplicação do serpentinito foi efetuado nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m. As determinações químicas do solo seguiram a metodologia descrita por Silva (2009), com os seguintes resultados: pH em água: 5,7 e 5,4; pH CaCl₂: 5,0 e 4,6; Ca (cmol_c dm⁻³): 3,6 e 1,5; Mg (cmol_c dm⁻³): 1,9 e 0,9; K (cmol_c dm⁻³): 0,27 e 0,11; Al (cmol_c dm⁻³): 0 e 0,6; H + Al (cmol_c dm⁻³): 6,1 e 5,7; SB (cmol_c dm⁻³): 119 e 82; P Mehlich-1 (mg dm⁻³): 16,4 e 4; MO (g dm⁻³): 27 e 17 e V%: 48 e 31, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente.

A aplicação do pó de serpentinito foi realizada manualmente no mês de setembro do ano de 2013 sendo efetuada a incorporação manual até aproximadamente 10 cm de profundidade. O pó de serpentinito, foi fornecido pela Pedras Congonhas (Nova Lima – MG). O serpentinito apresentava a seguinte composição: SiO₂ (38,40%), Al₂O₃ (1,31%), FeO₂ (12,66%), CaO (0,66%), MgO (35,07%), K₂O (0,01%), N₂O (<0,01%), TiO₂ (0,03%), MnO (0,09%) e P₂O₅ (0,02%).

Após a aplicação do serpentinito a área foi cultivada com soja (safra 13/14), trigo (2014) e soja (14/15). Todos esses três cultivos tiveram uma aplicação (dose de 300 g ha⁻¹ produto do comercial) para cada cultura com o bioativo

Penergetic k (Bentonita em pó), fornecido pela Central Agrícola Ltda., localizado em Conquista – MG. Constituído de: SiO₂ (56%), Al₂O₃ (16%), Fe₂O₃ (4,0%), CaO (4,0%), MgO (4,0%), K₂O (2,0%), Na₂O (0,4%) e micronutrientes (3,5%).

Em fevereiro de 2015 (após a soja safra 14/15) e aproximadamente 17 meses após a aplicação do serpentinito, foi semeada a forrageira *Urochloa brizanta* cv. Piatã (BRS Piatã) utilizando-se 3,5 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis. A semeadura foi mecanizada e realizada com o auxílio de um vicon e as sementes levemente incorporadas a profundidade de 2-3 cm, com uso de grade niveladora. Durante o ciclo da forrageira não foi utilizado o bioativo, explorando somente benefício residual de 3 aplicações nas culturas antecessoras à semeadura da forrageira (soja, trigo e soja).

Aos sete meses após a semeadura da *Urochloa*, em agosto de 2015, e aproximadamente 23 meses após a aplicação do serpentinito, a parte aérea da forrageira foi cortada próximo ao nível do solo. Utilizou-se, para tal, um triturador de palhada Triton® e os resíduos vegetais foram deixados na superfície do solo.

As coletas de fitomassa da *Urochloa brizanta* existente sobre a superfície do solo foram realizadas utilizando-se quadro metálico, com 0,25 m² de área interna, retirando-se, manualmente, todo o volume de resíduos superficiais contidos na área interna deste quadro, evitando-se coletar solo aderido. Foram realizadas três amostragens ao acaso, dentro das unidades experimentais.

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos de papel, separadamente, e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, até peso constante. Após este período, procedeu-se à pesagem e quantificação da fitomassa seca de cada amostra. Das amostras coletadas em campo, foram retiradas sub-amostras, para realização da análise química e para avaliação da decomposição.

Para a avaliação da decomposição da palhada da forrageira, as amostras do material vegetal foram acondicionadas em saquinhos de náilon (*litter bags*) com dimensão de 18 cm x 28 cm. As quantidades de palhadas (base seca a 65°C), colocadas dentro de cada *litter bag*, foram proporcionais à massa seca produzida por tratamento. Colocaram-se cinco *litter bags* (deixados sobre o solo) sobre cada parcela de todos os tratamentos. As coletas dos *litter bags* foram feitas aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o corte da forrageira.

Após a última coleta de *Urochloa* dos *litter bags* (150 dias) depositadas no campo, realizou-se a amostragem do solo, nas profundidades de 00-0,10 e 0,10-0,20 m. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com

malha de 2 mm de abertura, e realizado a análise química onde foram determinados o pH em água, pH CaCl_2 , cálcio, magnésio, alumínio trocáveis, fósforo extraído por Melich-1 e potássio, segundo metodologia descrita por Silva (2009). Os valores de CTC pH 7,0, soma de bases (S) e saturação por bases (V%) foram obtidos por meio de cálculo.

Antes da semeadura do trigo, realizou-se a dessecação da área com o herbicida glifosato na dose de $4,0 \text{ L ha}^{-1}$ (1.520 g ha^{-1} de i.a.) 15 dias antes da semeadura.

A semeadura do trigo foi realizada sobre o resíduo da palhada de *Urochloa* com o uso de semeadora mecânica em 25/05/2016 (3 meses após a última coleta dos *litter bags*). Foi utilizada a variedade de trigo BRS 18-Terena e semeadas 160 kg ha^{-1} de sementes, com espaçamento entre linhas de 0,18 m, visando população de 500 mil plantas ha^{-1} . Na semeadura o trigo não foi utilizada adubação de manutenção devido aos níveis de fertilidade estarem adequados para a cultura do trigo. Durante o ciclo da cultura somente foram realizados os tratos culturais para controle de plantas daninhas e para lagartas sendo aplicado 500 mL ha^{-1} (p.c.) do herbicida 2,4D e 100 mL ha^{-1} (p.c.) inseticida Intrepid® aos 30 dias do trigo emergido. Quando o trigo estava com 15 dias de emergido, nas parcelas com histórico de uso de bioativo, foi feito novamente a aplicação (dose de 300 g ha^{-1} p.c) com o bioativo Penergetic-k (Bentonita em pó). A área recebeu irrigação com o uso de aspersores após o 25º dia de emergido.

2.4 Variáveis analisadas

2.4.1 Taxa de cobertura da fitomassa da forrageira sobre solo

Para a quantificação da porcentagem de cobertura do solo, foram realizadas avaliações a cada 30 dias, considerando-se tempo zero a partir da instalação dos *litter bags* sobre o solo, até 150 dias após o manejo. A cobertura vegetal foi estimada adaptando-se a metodologia de Pires et al. (2005), utilizando-se um quadriculo de ferro, medindo $0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$, dividido em quadrinhos de $0,05 \text{ m} \times 0,05 \text{ m}$ no total de 60 quadrinhos de avaliação (semelhante a uma tela quadriculada). Sempre que o espaço dentro de cada quadrinho coincidia com a presença de palha sob ele, era computada presença de cobertura. A cobertura de cada parcela foi calculada contabilizando-se a média de três repetições e convertendo-a em porcentagem. Ao longo do tempo, para todas as avaliações, o equipamento foi colocado sempre nos mesmos pontos, anteriormente demarcados com estacas de bambu.

2.4.2 Massa remanescente da fitomassa

Para avaliar a massa seca remanescente da palhada, foi empregado o método das bolsas de decomposição *litter bags* (THOMAS e ASAKAWA, 1993), as quais foram confeccionadas com náilon com malha de 2 mm de abertura e dimensões de 18 x 28 cm. Cinco bolsas contendo os resíduos da forrageira em quantidade proporcional à da fitomassa seca produzida por hectare foram dispostas na superfície do solo de cada parcela 15 dias após o corte da braquiária. A massa remanescente da palhada foi determinada aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após instalação dos *litter bags*.

2.4.3 Tempo de meia vida e constante k

O cálculo do tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) da fitomassa da forrageira foi feito utilizando a fórmula matemática, de acordo com Paul e Clark (1989). $T_{1/2} = 0,693/k$, onde: $T_{1/2}$ = tempo de meia-vida para decomposição da fitomassa e da cobertura do solo (dias) e k = constante de decomposição da fitomassa. A constante K foi calculada com referência na equação $X = X_0 e^{-kt}$ proposta por Rezende et al. (1999).

2.4.4 Concentrações foliares de nutrientes

Para a análise foliar do trigo coletou-se 30 folhas bandeira no início do florescimento. As folhas foram secas em estufa de circulação de ar a 60°C até atingir peso constante e posteriormente moídas em moinho tipo Willey para determinação da concentração de macronutrientes e micronutrientes (MALAVOLTA et al. 1997).

2.4.5 Determinação do silício no tecido vegetal (método amarelo)

Para a determinação do silício utilizou-se a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004). Amostras de 0,1000 g das folhas de trigo foram colocados em tubos falcon e em seguida foi adicionado 2 mL de H_2O_2 p.a (500 g L^{-1}) e 3 mL de NaOH (500 g L^{-1}) para digestão, sempre sob agitação (agitador magnético). Após, os tubos foram mantidos em banho-maria por 1 hora a 47°C e depois de resfriarem foram autoclavados a pressão de 1,5 atm por 1 hora. Foi adicionado 45 mL de água destilada e colocados em novos recipientes de plástico onde permaneceram em repouso por algumas horas até decantar as impurezas. Foi retirado uma alíquota de 1 mL da solução sobrenadante e colocado em copos plásticos de 50 mL e acrescentados 19 mL de água destilada. Em seguida foi pipetado 1 mL de HCl (500 g L^{-1}) + 2 mL de molibdato

de amônio seguido de leve agitação. O silício quando presente transforma-se em H_4SiO_4 desenvolvendo a cor amarela característica quando presente o agente complexante (molibdato de amônio). Decorridos 5 a 10 minutos, foi adicionado 2 mL de ácido oxálico, agitando levemente a solução. Depois de 2 minutos foi feita a leitura em Espectrofotômetro no comprimento de onda de 410 nm.

2.4.6 Determinação do silício no solo (método azul)

Para essa determinação, utilizou-se a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004). Amostras de 10 g de solo foram colocadas em frasco plástico, seguido do acréscimo de 100 mL de solução de cloreto de cálcio ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e levados para mesa agitadora a 100 rpm por 1 hora e após permaneceu em repouso por pelo menos 12h de um dia para o outro. Uma alíquota de 10 mL do extrato (filtrado/decantado) de cada amostra foi colocada em copos de plásticos de 50 mL. Após foi acrescentado aos copos plásticos das amostras 1 mL da solução sulfo-molíbica (H_4SiO_4 - ácido ortossilícico, forma mais simples e solúvel de Si, reage com o molibdato desenvolvendo a cor amarela). Decorridos 10 minutos, foi acrescentado 2 mL da solução de ácido tartárico (200 mg L^{-1}) - (utilizado para complexar o P da solução). Após 5 minutos adicionou-se 10 mL da solução de ácido ascórbico (3 g L^{-1}) (a redução do Si transforma o complexo amarelo para a cor azul). Depois de 1 hora foi realizada a leitura em Espectrofotômetro no comprimento de onda de 660nm.

2.4.7 Massa seca da parte aérea

Determinada pela coleta e pesagem de toda a parte aérea colhida em 6 linhas de 1,0 metro de comprimento, aleatoriamente no momento da colheita em cada unidade experimental.

2.4.8 Número de perfilhos por metro quadrado

Contagem do número de perfilhos em 6 linhas de 1,0 metro de comprimento, aleatoriamente no momento da colheita em cada unidade experimental.

2.4.9 Número de espigas por metro quadrado

Através da contagem do número de espigas contidas em 6 linhas de 1,0 metro de comprimento aleatoriamente no momento da colheita em cada unidade experimental.

2.5.0 Porcentagem de perfilhos férteis

Determinada pela relação: número de panículas por metro quadrado dividido pelo número de perfilhos x 100.

2.5.1 Número de espiguetas por espiga

Determinado através da coleta de 10 espigas aleatoriamente dentro de cada unidade experimental. Avaliadas manualmente.

2.5.2 Número de grãos por espiguetas

Determinado através da coleta de 10 espigas aleatoriamente dentro de cada unidade experimental. Avaliadas manualmente.

2.5.3 Número de grãos por espiga

Determinado através da coleta de 10 espigas aleatoriamente dentro de cada unidade experimental. Avaliadas manualmente.

2.5.4 Massa de 1000 grãos

A massa de 1000 grãos foi determinada segundo metodologia das regras de análises de sementes proposta pelo Brasil - Ministério da Agricultura (Brasil, 2009).

2.5.5 Produtividade

Determinada por meio da coleta das espigas das plantas contidas em 6 linhas de 1,0 metro de comprimento no momento da colheita em cada unidade experimental. Após a trilha manual, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha⁻¹ a 13% (base úmida).

2.6 Análise estatística

Os dados obtidos de cada variável foram submetidos as análises de variância. Para as doses de pó de serpentinito, empregou-se a análise de regressão, quando constatada significância das doses. Os efeitos obtidos com os fatores qualitativos foram comparados através do teste de t, a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da fitomassa de *Urochloa brizantha*

Houve efeito significativo da interação doses de serpentinito x bioativo apenas para a massa seca da parte aérea. Ocorreu efeito significativo de doses, exceto para o tempo de meia vida e, de bioativo apenas para a constante k e massa seca da parte aérea. Para todas as variáveis houve significância para o fator época (TABELA 1).

Tabela 1 – Valores de constante de decomposição (k), tempo de meia vida ($T^{1/2}$), massa remanescente (MR), taxa de cobertura (TC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de *Urochloa Brizantha* cv. Piatã em função das doses de serpentinito, épocas de coleta e uso do bioativo. Dourados – MS, 2018.

Doses (D) Mg ha⁻¹	(k) (g g⁻¹ dia⁻¹)	T^{1/2} (dias)	MR (%)	TC (%)	MSPA kg ha⁻¹
0	0,0065	117,09	59,51	66,26	5.798
2	0,0067	110,28	58,51	65,43	5.843
4	0,0068	105,95	57,88	64,91	5.934
8	0,0069	104,72	57,73	64,78	6.255
16	0,0060	132,01	61,83	68,19	7.452
Épocas (E)					
Dias					
0	-	-	-	97,70	9.480
30	0,0081	87,33	78,42	81,12	7.694
60	0,0073	97,24	64,57	67,44	6.402
90	0,0060	118,34	58,49	56,66	5.382
120	0,0055	148,65	53,04	48,77	4.636
150	0,0061	118,34	40,97	43,79	4.164
Bioativo (B)					
com	0,0064 b	113,37	59,85	66,55	5.836 b
sem	0,0068 a	114,65	58,34	65,28	6.677 a
Teste t ⁽¹⁾					
Dose (D)	*	NS	*	*	**
Bioativo (B)	*	NS	NS	NS	**
Época (E)	*	**	**	**	**
D x B	NS	NS	NS	NS	**
D x E	NS	NS	NS	NS	NS
E x B	NS	NS	NS	NS	NS
D x B x E	NS	NS	NS	NS	NS
Média	0,0066	114,01	59,10	65,91	6.257,00
CV1 %	22,78	52,38	13,75	11,25	12,25
CV2 %	18,24	41,38	9,35	7,65	7,35
CV3 %	15,83	39,99	9,29	7,70	7,64

(1) **, * e NS: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

A produtividade de massa seca da parte aérea para o tratamento com bioativo, resultou em um comportamento linear crescente com produtividade estimada de 7,58 Mg ha⁻¹ na dose de 16,0 Mg ha⁻¹ de serpentinito (Figura 2A). Já nos tratamentos que não receberam bioativo foi observado produtividade mínima de 5,31 Mg ha⁻¹ de MSPA, estimada na dose de 4,11 Mg ha⁻¹ de serpentinito e a medida que aumentaram as doses de serpentinito, houve incremento de MSPA. Assim, o uso de bioativo mostrou-se interessante por proporcionar maior produção MSPA com menores doses de serpentinito, o que possivelmente ocorreu devido a maior ação microbiana possivelmente ativada pelo uso de bioativo, decompondo frações lábeis da matéria orgânica (KUNDE et al. 2016), aumentando a disponibilidade de nutrientes à *Urochloa*.

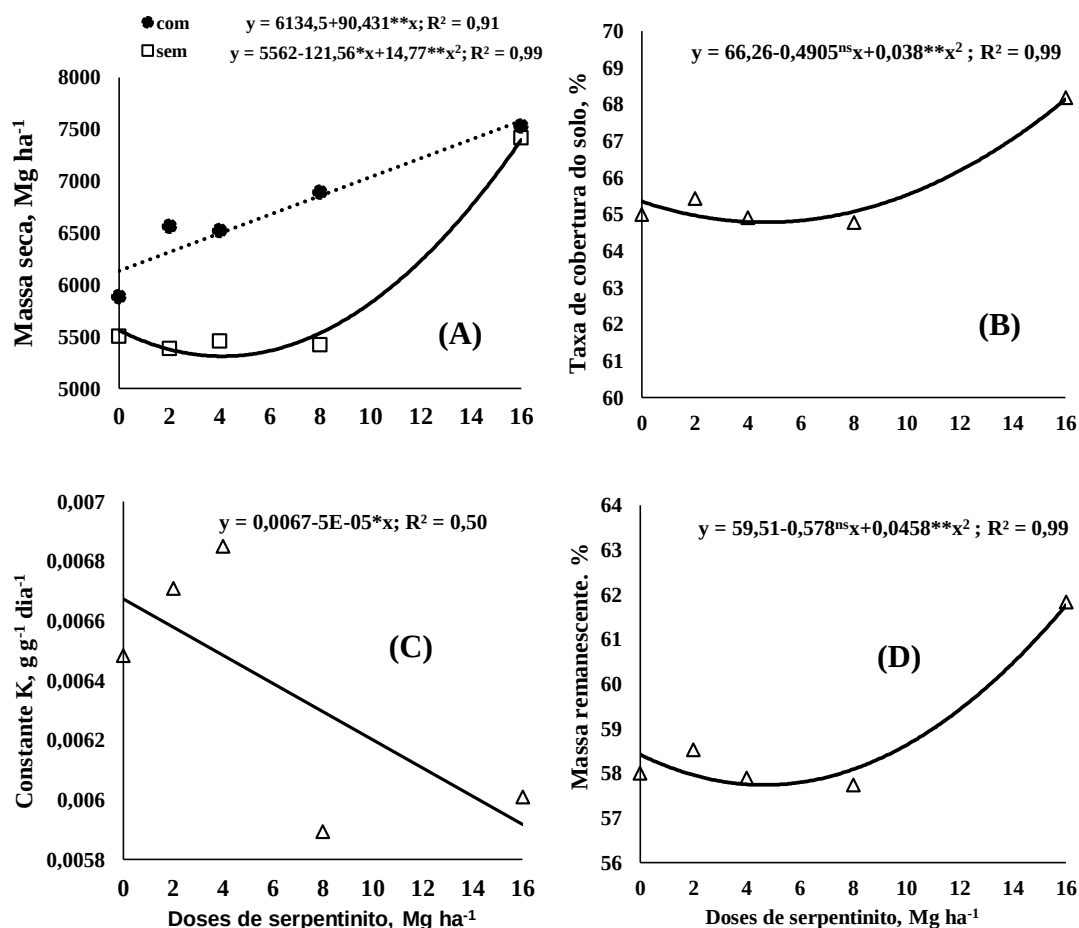


Figura 2 - Valores médios de massa seca da parte aérea (A), taxa de cobertura (B), constante K (C) e massa remanescente (D) na palhada da *Urochloa Brizantha* cv. Piatã, em função das doses de serpentinito. Dourados – MS, 2018. ns, * e ** não significativo, significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

● com bioativo □ sem bioativo

Heckler et al. (1998) abordam que 5,0 Mg ha⁻¹ de massa seca distribuída uniformemente sobre a superfície do solo em sistema de plantio direto é recomendável e Alvarenga et al. (2001) e Nunes et al. (2006) preconizam que a produção acima de 6,0 Mg ha⁻¹ de matéria seca é desejável para que a semeadura direta e cobertura do solo sejam satisfatórias. Portanto, as quantidades de matéria seca obtidas nesse trabalho com *Urochloa Brizantha* cv. Piatã são suficientes para implementação de sistema de semeadura direta, conforme Heckler et al. (1998).

Outro fator que pode ter contribuído com o aumento da MSPA foi a correção do solo proporcionada pelo uso do serpentinito. O serpentinito proporcionou melhorias nos atributos químicos do solo, como como pH, SB e H+Al (Tabela 2), com consequente aumento na produção de massa da *Urochloa*, o que proporcionou permanência de maior quantidade de palhada sobre o solo ao longo do tempo, com possíveis interferências na persistência da palhada e na velocidade de liberação de nutrientes, podendo trazer benefícios às culturas subsequentes.

Quanto a decomposição da fitomassa da *Urochloa* verificou-se que a massa seca remanescente (MR) e taxa de cobertura (TC) foram influenciadas pelas doses de serpentinito e épocas de avaliação (Tabela 1). Observando as Figuras 2B, 2D, 3A e 3D, constatou-se similaridade no comportamento das variáveis MR e TC, para doses e épocas de avaliação, mostrando que a manutenção da massa seca sobre o solo reflete diretamente em seu potencial de cobertura ao longo do tempo.

As menores taxas de cobertura do solo (64,68%) e massa remanescente (57,68%) foram estimadas nas doses de 6,45 e 6,31 Mg ha⁻¹ de serpentinito, respectivamente (Figuras 2B e 2D).

Para as diferentes épocas avaliadas, a taxa de cobertura (Figura 3A) e massa remanescente (Figura 3D) tiveram efeito linear decrescente, com taxa de cobertura estimada de 39% (redução de 56 % em relação a cobertura inicial) e de massa remanescente estimada de 42% aos 150 dias (redução de 51%). Valor semelhante para massa remanescente foi encontrado por Maluf et al., (2015) com palhada de *Urochloa ruziziensis* na região de Viçosa-MG, que obtiveram valor próximo de 40 % aos 150 dias após o manejo. Rossi et al, avaliando massa remanescente de palhada de milho com braquiária obteve na região do cerrado de Goiás, durante primavera x verão, massa remanescente próximo a 45% até os 150 dias de avaliação.

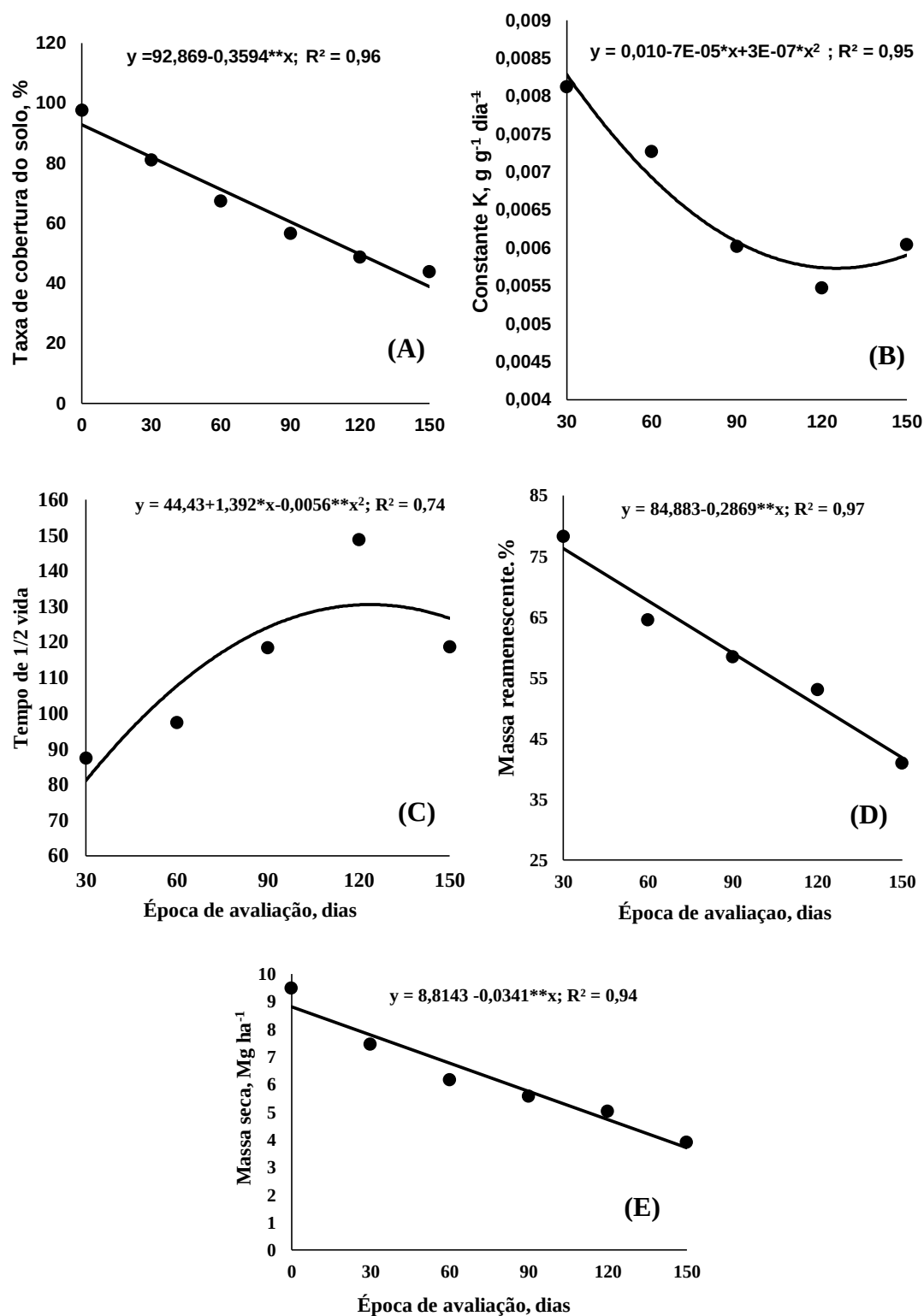


Figura 3 - Valores médios da taxa de cobertura (A), constante K (B), tempo de ½ vida (C), massa remanescente (D) e massa seca (E) na palhada da *Urochloa Brizantha* cv. Piatã, em função das épocas de avaliação. Dourados – MS, 2018. * e ** significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

Perin et al. (2004), preconiza que a cobertura do solo tem intensa importância térmica e hidrológica no solo, proporcionando sombreamento que evita a perda de energia pela transpiração e a incidência da radiação. A temperatura se mantém amena devido a redução da incidência de energia no solo, variando em relação a quantidade do substrato sobre a superfície e sua distribuição, que atua diminuindo a condutividade térmica e retardando o aquecimento do solo. Em especial, as plantas de cobertura favorecem a retenção de água na fração orgânica do solo, que pode se elevar de 4 a 6 vezes mais que seu peso e, as raízes exsudam uma grande variedade de compostos que favorece o desenvolvimento de uma vasta comunidade de microrganismos tornando ativa a ciclagem de nutrientes.

A massa seca da parte aérea produzida sob doses de serpentinito ao longo das épocas de avaliação foi linear decrescente, com produtividade estimada de 3,7 Mg ha⁻¹ aos 150 dias de avaliação (Figura 3 E), com redução de massa correspondente a 56 % até os 150 dias após o manejo. Resultados semelhantes foram encontrados por Kliemman (2006) que trabalhando com *Urochloa brizanta* sobre latossolo vermelho distroférico no cerrado Goiano, que encontrou redução de 48% até os 150 dias, em estação chuvosa. No que se refere a manutenção de palha no sistema, é interessante destacar que mesmo aos 90 dias após o manejo (Figura 3E), ainda havia uma quantidade de massa seca próxima a 6 Mg ha⁻¹, quantidade essa considerada por alguns autores como requisito importante para uma adequada condição no SPD (Alvarenga et al., 2001), contribuindo dessa forma para manutenção de umidade do solo, redução à exposição solar e também supressão de plantas daninhas.

Apesar da perda de massa correspondente a 56% até os 150 dias (Figura 3E), o solo ainda apresentava uma taxa de cobertura de aproximadamente 40%. Nos primeiros 30 dias de avaliação, a redução da massa remanescente foi de 14%, valor esse menor dos que encontrados por Vivian et al. (2017) que obtiveram redução acima de 20% nos primeiros 30 dias com *U. ruziziensis* no estado de Santa Catarina. Ao avaliar a quantidade de massa seca remanescente mantida no solo, constatou-se que em 30 dias após o manejo manteve-se no solo 78,24% da massa seca, ou seja, 21,76% se decompuseram. A partir dos 30 dias do manejo a redução foi mais lenta até os 150 dias com decomposição próximo a 10% a cada 30 dias.

Observa-se na Figura 2C, que a constante de decomposição (k) teve comportamento linear decrescente, com os menores valores estimados de k (0,0059 g g⁻¹ dia⁻¹) obtidos na maior dose de serpentinito (16 Mg ha⁻¹), mostrando

comportamento contrário a produção de MSPA (Figura 2A). Esse comportamento demonstra que pode haver relação entre volume de palha produzido e comportamento da constante (k), ou seja, quanto maior os volumes de matéria seca sobre o solo menores serão os contatos de agentes decompositores, consequentemente menores a velocidade de decomposição, resultando em menores valores de (k) o que é desejável. Em trabalho conduzido com palhada de cana, no entanto, Dietrich (2014) não encontrou relação entre a constante de velocidade de decomposição (k) e a quantidade de palha na superfície do solo.

A constante de decomposição (k) também foi significativamente influenciada pelo uso do bioativo. Os resultados obtidos na Tabela 1 mostram menor valor de (k) de (0,0064 g g⁻¹ dia⁻¹) para o uso de bioativo. O resultado obtido é diferente do comentado na literatura pois o uso de bioativadores são indicados como aceleradores nos processos de decomposição de resíduos no solo, o que parece não ter acontecido nesse estudo. Moraes et al. (2015), testando tecnologia de bioativação do solo, identificaram, através da atividade microbiana, que o uso de bioativador juntamente com corretivos de solos resultou em incremento da atividade biológica do solo, contribuindo para a maior decomposição. Resultado semelhante também foi encontrado por Steffen et al. (2015) que observaram maior atividade biológica no solo e aumento da decomposição em palhada de trigo. No entanto, vale ressaltar que a cultura da *Urochloa* nesse trabalho não recebeu aplicação de bioativo, ficando somente submetido ao residual das aplicações das culturas que a antecederam.

O tempo máximo de meia-vida $T^{1/2}$ (tempo necessário para decompor 50% da massa seca da fitomassa) foi de 131 dias, obtido aos 124 dias após manejo da *Urochloa* (Figura 3C). Os resultados obtidos reforçam a grande importância do uso de gramíneas para a formação de palhada no Cerrado brasileiro, pois mesmo em condições de elevada umidade de temperatura (Figura 1), o material apresentou elevado $T^{1/2}$, contribuindo desta forma para que parte da palhada permaneça no solo, fornecendo proteção física, mantendo a umidade e contribuindo para o aumento dos teores de carbono orgânico no solo. Santos et al., (2014) obtiveram para a *Urochloa brizanta* após manejo com dessecação, $T^{1/2}$ de 115 dias e Rossi et al., (2013) encontraram para a *Urochloa ruziziensis* $T^{1/2}$ de 99 dias no cerrado goiano no período chuvoso.

Vale salientar, que os valores nas reduções de cobertura de solo e massa remanescente nesse trabalho tenham sido influenciados pela elevada precipitação e

temperatura (Figura 1) ocorrida no período que a *Urochloa* ficou no campo. Rossi et al. (2013) obtiveram, por exemplo, redução de cerca de 50% na massa remanescente até os 120 dias após o manejo quando expuseram a palhada a campo no período chuvoso (primavera/verão) no cerrado goiano, contra redução de apenas cerca de 10% quando submetidas a campo no outono/inverno, pelo mesmo período.

3.2 Atributos químicos do solo

Não houve significância da interação tripla entre os tratamentos (Tabela 2), porém, ocorreu interação significativa entre profundidade de amostragem x bioativo em relação ao pH em água, cálcio, acidez potencial, soma de bases e saturação por bases. A interação profundidade de amostragem x doses de serpentinito foi significativa para silício, cálcio, magnésio, soma de bases e capacidade de troca de cátions. Para os demais atributos de fertilidade do solo não houve interação, somente efeito isolado dos fatores (Tabela 2).

Tabela 2 – Atributos químicos do solo e resumo da análise de variância da coleta realizada após a última coleta de *Urochloa* dos *litter bags* (150 dias) em função das doses de serpentinito, nas diferentes profundidades de coleta (0-0,10 e 0,10-0,20 m) e uso do bioativo. Dourados – MS, 2018.

Tratamentos	pH	pH	MO	Si	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
Doses	CaCl ₂	H ₂ O	g kg ⁻¹	---- mg dm ⁻³ ----					mmol _c dm ⁻³				%
0	4,80	5,54	28,00	15,80	10,83	3,46	26,77	10,63	3,26	59,88	40,86	100,73	40,52
2	4,86	5,60	27,70	16,30	10,02	3,33	28,05	11,76	3,19	57,65	43,15	100,45	42,60
4	4,92	5,64	27,50	16,67	9,45	3,25	29,15	12,83	3,10	55,58	45,24	103,30	44,51
8	5,02	5,73	27,25	17,27	8,97	3,27	30,80	14,76	2,80	51,93	48,83	99,05	47,90
16	5,20	5,87	27,63	17,87	10,70	4,02	31,82	17,80	1,79	46,56	53,63	100,47	52,82
Bioativo													
com	4,94	5,66	26,41 b	16,67	9,28 b	3,30	25,48 b	12,73 b	3,60 a	56,58 a	41,52 b	98,08 b	41,90 b
sem	4,98	5,69	28,85 a	16,94	10,70 a	3,63	33,16 a	14,38 a	2,06 b	52,48 b	51,17 a	103,23 a	49,44 a
Profundidade													
0,0-0,10	5,07 a	5,78 a	30,44 a	17,19 a	13,60 a	4,60 a	30,98 a	15,77 a	1,91 b	51,50 b	51,35 a	102,85 a	49,34 a
0,10-0,20	4,86 b	5,57 b	24,82 b	16,41 b	6,39 b	2,33 b	27,65 b	11,34 b	3,75 a	57,14 a	41,35 b	98,47 b	42,00 b
Teste t ⁽¹⁾													
Doses (D)	**	**	NS	*	NS	*	*	**	*	**	**	NS	**
Bioativo (B)	NS	NS	**	NS	*	NS	**	**	**	**	**	**	**
Prof. (P)	**	**	**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**	**
D x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
D x P	NS	NS	NS	**	NS	NS	*	**	NS	NS	*	**	NS
B x P	NS	*	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	**	**	NS	**
D x B x P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Média	4,96	5,68	27,63	16,83	9,99	3,47	29,32	13,56	2,83	54,32	46,35	100,66	45,67
CV1 %	3,37	2,65	6,19	9,54	27,12	20,06	15,85	15,64	69,85	6,36	13,73	6,95	11,98
CV2 %	2,54	2,46	9,01	9,06	24,47	30,42	13,79	10,94	50,26	9,37	13,36	4,68	10,76
CV3 %	3,38	1,79	6,69	11,27	20,19	16,88	12,29	11,59	80,51	9,24	14,47	4,13	10,38

⁽¹⁾ **, * e NS: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t de Student p<0,05). Extratores: P, K, Fe, Mn, Zn e Cu (Mehlich 1) / M.O (Walkley - Black) / Ca, Mg e Al (KCl); H+Al (SMP) / Si: CaCl₂

Os valores de pH em água (Figura 4A) e pH em CaCl_2 (Figura 4B) aumentaram de forma linear com o aumento das doses de serpentinito, com a consequente redução do teor de alumínio (Figura 4D) e acidez potencial (Figura 4E), o que confirma a ação neutralizante do serpentinito. Segundo Korndorfer e Nolla (2003), com a hidrólise do ânion silicato presente no serpentinito, ocorre a liberação de hidroxilas (OH^-), que reage e neutraliza os H^+ em solução, elevando o pH e precipitando o Al^{3+} na forma de hidróxido de Al [$\text{Al}(\text{OH})_3$], de baixa solubilidade e inativo na solução do solo e, portanto, não tóxico para as plantas. A redução da acidez do solo com o uso de silicatos também foi observado por outros autores como Mello (2005), Korndorfer et al. (2010), Silva et al. (2014) e Moraes (2018).

Os resultados nas alterações químicas do solo, promovidas pela aplicação do serpentinito, corroboram com relatos de Savant et al. (1997), Korndorfer et al. (2010) e Teixeira et al. (2010), os quais salientam o uso do material como corretivo do solo, com a vantagem de possuir silício em sua composição, o que poderia tornar as plantas menos susceptíveis a estresses ambientais.

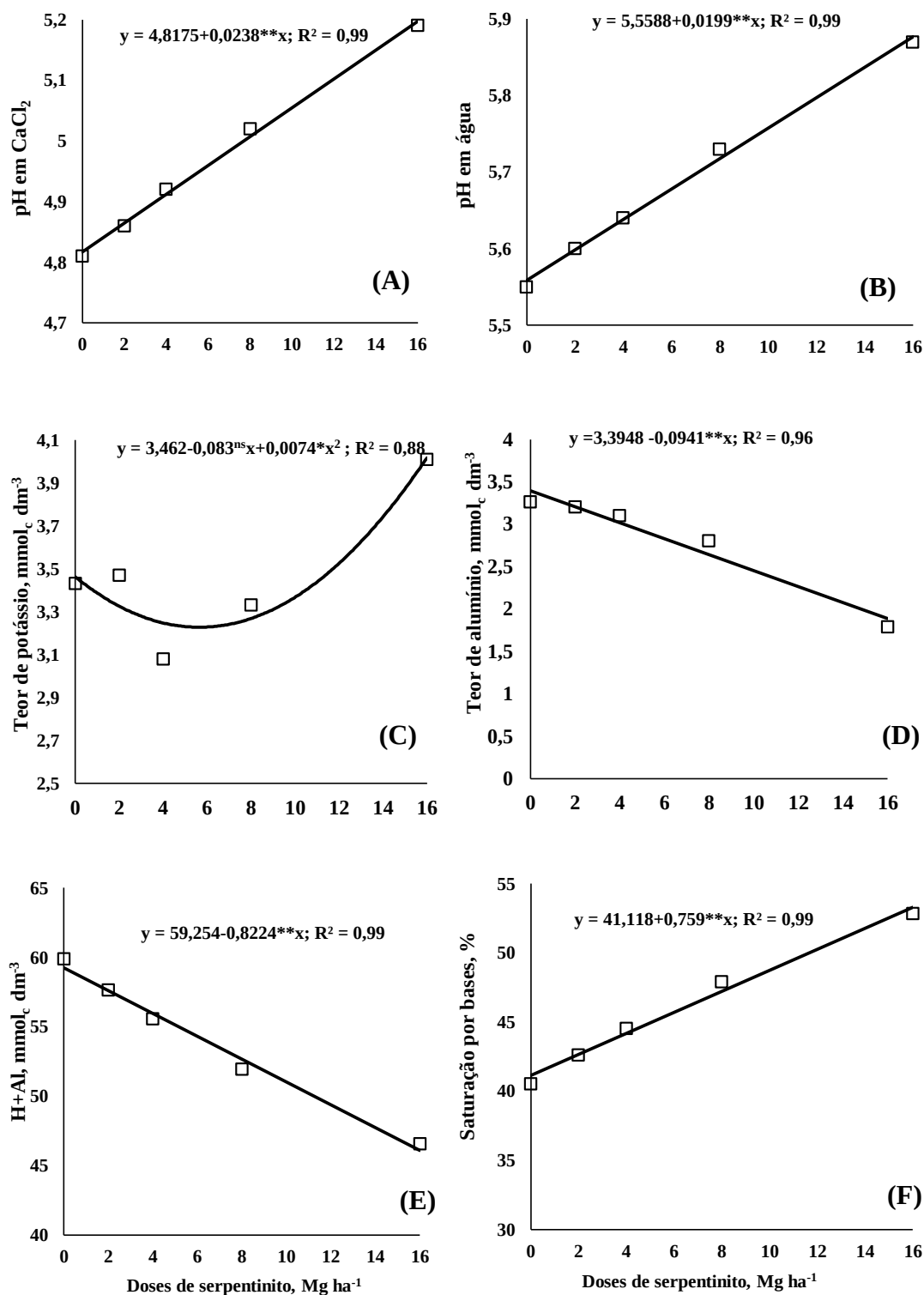


Figura 4. Atributos químicos do solo: pH em CaCl₂ (A), pH em água (B), teor de potássio (C), teor de alumínio (D), acidez potencial (E) e saturação por bases (F), em função de doses de serpentinó. Dourados – MS, 2018. * e ** significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

Com o desdobramento da interação entre profundidade do solo e uso de bioativo, observou-se, maiores valores de pH em H₂O na camada de 0,0 - 0,10 m, além de apresentar valor maior do pH na ausência de bioativo (Tabela 2). Esses resultados demonstram que o serpentinito não foi eficiente em aumentar o pH em água em profundidade maior que 0,10 m o que mostra uma mobilidade limitada do serpentinito, nas condições em que foi estudado.

Esses resultados são coerentes com dados obtidos por Araújo e Korndorfer (2014) quando compararam efeito de silicatos e calcário e sua interferência no pH do solo em profundidade. No entanto, Korndorfer et al. (2001) obtiveram valores significativos de pH para diferentes profundidades com o uso de silicatos. A ausência de aumentos no pH em profundidade nesse trabalho podem ser devido a características de baixo PRNT do serpentinito usado (55%), e também, devido a leve incorporação utilizada (0,0 – 0,10 m) que pode não ter contribuído para a eficiência do serpentinito como corretivo em profundidade.

O processo de acidificação do solo, com o uso do bioativo, possivelmente ocorreu pela hidrólise do bioativo e pela decomposição da matéria orgânica, conforme observado na Tabela 2. Com o uso do bioativo, ocorreu diminuição do teor de matéria orgânica, aumento da acidez potencial e alumínio. Para acidez potencial observa-se diferença significativa somente na camada de 0-0,10 m, com o menor valor, na ausência do bioativo (Tabela 2). De acordo com Carmo (2001), a diminuição dos valores de pH na solução do solo deve-se a liberação de amônio (N-NH₄) durante o processo de mineralização no solo, podendo indicar maior liberação de H⁺ para o meio promovendo acidificação. Já quando considera a profundidade avaliada, observa-se valores mais altos de MO na camada superficial (0,0 – 0,10 m) (Tabela 2), o que é explicado pela maior deposição de resíduos orgânicos, principalmente de origem vegetal que ocorrem nessa camada de solo ao longo dos anos.

A redução de MO que se observa com a aplicação de bioativo pode estar relacionado com a maior mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos devido a uma possível condição mais favorável fornecida pelo bioativo à atividade microbiana. Pillon et al. (2002), esclarecem que a MO pode ser dividida em uma fração lábil (ativa) e uma fração estável (passiva, humificada). Essa fração lábil é composta por substâncias de baixo peso molecular, (fração leve, grosseira) e seus produtos

primários de decomposição e pela biomassa microbiana. A fração lábil representa 1/4 a 1/3 da MO total do solo em regiões temperadas e decompõem em semanas a meses servindo de fonte de nutrientes às plantas e de energia e C aos microorganismos e respondem rapidamente às mudanças no uso e manejo do solo (PILLON et al. 2002).

Para o teor de potássio observa-se um ajuste dos dados à função quadrática, com teor mínimo de K ($3,23 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), alcançado com a estimativa de aplicação de $5,61 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serpentinito e depois mostrou aumento nos teores com o aumento das doses de serpentinito, atingindo teor de $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na dose máxima de serpentinito (Figura 4C). Apesar do menor valor de K nessa dose, o teor no solo ainda está na faixa alta de disponibilidade para as plantas, de acordo com Sousa e Lobato (2004).

O uso de serpentinito influenciou de forma positiva e linear os teores de Ca no solo, elevando os níveis de $27,61$ para $35,57 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de $0,0\text{-}0,10$ m de profundidade, porém não alterou os teores na profundidade de $0,10 - 0,20$ m, com média de $27,65 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 5A). Esse aumento foi relativamente elevado se considerarmos os teores de CaO presentes no serpentinito (0,66%). É possível que o aumento nessa intensidade possa estar associado a absorção desse elemento pela *Urochloa* e, após a decomposição da forrageira, o cálcio tenha sido liberado na superfície do solo, uma vez que a produção de fitomassa de *Urochloa* foi maior nas maiores doses de serpentinito. Segundo Pacheco et al. (2013) o cálcio pode ser o terceiro elemento mais acumulado na fitomassa de *Urochloa* perdendo apenas para N e K.

Na Tabela 3 constam os dados da interação bioativo x profundidade. Observam-se os menores teores de cálcio nos tratamentos que receberam bioativo. Esse comportamento pode ser atribuído à complexação por ânions orgânicos, com maior afinidade por Ca (FRANCHINI et al., 2001). Entretanto, o cálcio pode ter sido imobilizado pela biomassa microbiana do solo, seguindo a relação estequiométrica entre o C e os nutrientes do composto orgânico e as exigências nutricionais dos microorganismos decompositores do solo (SINSABAUGH et al., 2008).

Os teores de Mg também foram influenciados significativamente e de maneira crescente nas duas camadas de solo avaliadas (Tabela 2 e Figura 5B) com aumentos relativos de 56% e 50% nas camadas $0,0\text{-}0,1\text{m}$ e $0,1\text{-}0,2\text{m}$, respectivamente. Esse aumento era esperado devido ao serpentinito possuir na sua composição química, 35,07% de MgO pela presença de dolomita, comprovando ser uma alternativa eficiente para solos carentes neste elemento. Ramos et al. (2006) também relatam que a

principal justificativa para incrementos de magnésio em profundidade foi devido ao alto teor desse elemento em silicatos de magnésio. Entretanto, Korndörfer et al. (2001), Melo et al. (2003) e Sanches (2003) não observaram incrementos significativo nos teores de Mg no solo com a aplicação do silicato de Mg. O argumento dos autores para a não significância dos teores de Mg nos solos foi atribuída aos elevados teores desse elemento no solo antes da implantação do experimento. Já Moraes (2018), trabalhando com doses crescentes de silicatos de cálcio e magnésio, verificou incrementos significativos nos teores de Ca e Mg em seu experimento, resultados esse que concordam com os obtidos nesse trabalho para o elemento magnésio.

Tabela 3 – Desdobramentos das interações positivas de pH H₂O, H+Al, SB e V% nas diferentes profundidades de coleta de solo (0-0,10 e 0,10-0,20 m) e uso ou não do bioativo. Dourados – MS, 2018.

	pH H ₂ O		Ca (mmol _c dm ⁻³)		H+Al (mmol _c dm ⁻³)		SB (mmol _c dm ⁻³)		V (%)	
----- Bioativo -----										
Prof (m)	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	sem
0-0,10	5,73 Aa	5,82 Ab	24,31 Bb	37,65 Aa	56,09 Aa	46,91 Bb	43,39 Ab	59,30 Aa	43,19 Ab	55,49 Aa
0,10-0,20	5,59 Ba	5,56 Ba	26,65 Aa	28,66 Ba	57,06 Aa	57,22 Aa	39,65 Ba	43,03 Ba	40,61 Aa	43,38 Ba

Medias seguidas por diferentes letras Maiúsculas na coluna e minúscula na linha diferem entre si pelo Teste t de Student.

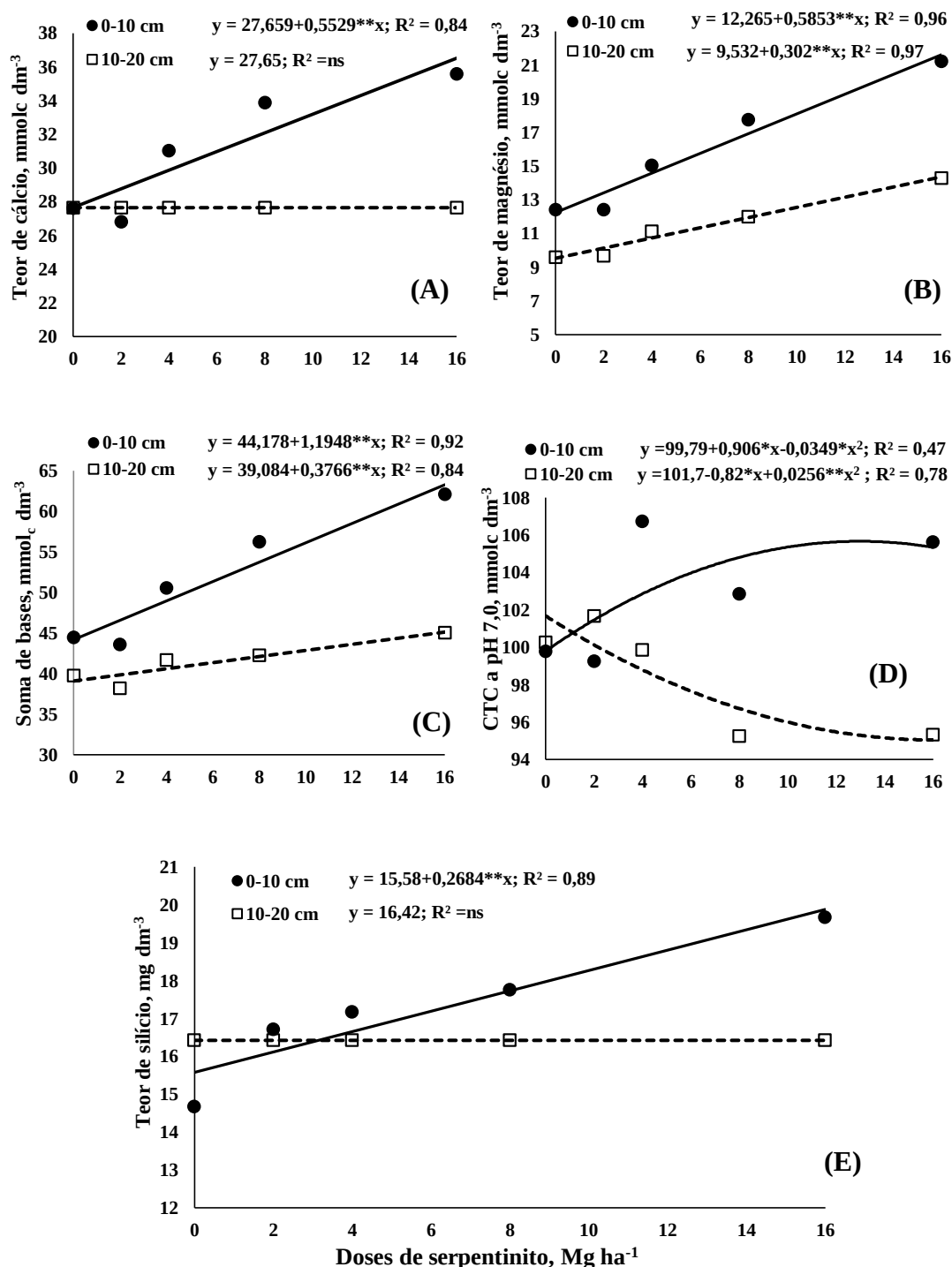


Figura 5. Atributos químicos do solo: teor de cálcio (A), teor de magnésio (B), soma de bases (C), CTC a pH 7,0 (D) e teor de silício (E), em função de doses de serpentinó, nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Dourados – MS, 2018. * e ** significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

Os teores de Ca e Mg foram superiores na camada de 0,0-0,10 m (Figuras 5A e 5B). Os maiores teores devem-se a solubilização do corretivo e liberação de Ca e Mg, bem como da mineralização dos nutrientes dos resíduos vegetais da *Urochloa*

depositados sobre o solo. Considerando que os teores de CaO do serpentinito utilizado era baixo (0,66%), o aumento nos teores de Ca no solo foram relativamente grandes (30%), o que possivelmente teve grande contribuição devido a reciclagem deste elemento pela cultura da *Urochloa*.

A soma de bases foi influenciada positivamente pelas doses de pó de serpentinito, ajustando-se à função linear, nas duas profundidades avaliadas (Figura 5C). Na profundidade de 0,0-0,10m observa-se os maiores valores de SB obtendo um aumento na SB estimados de 45% e 63% para a menor e maior dose de serpentinito, aumento de 40%. Para a camada de 0,1 – 0,20m o aumento foi de 15% com SB aumentando de 39% para 45%. Esses resultados estão relacionados aos valores mais altos de Ca, Mg e K encontrados nessa camada.

A porcentagem de saturação por bases (V%) no solo foi significativo para doses de serpentinito (Tabela 2), com aumento linear (Figura 4F). Na Tabela 3 constam os valores dos desdobramentos para SB e V% e é possível verificar valores mais elevados na camada superficial embora para V% os valores não tenham sido significativamente diferentes entre as camadas de solo com o uso de bioativo. A SB e V% foram maiores sem o uso de bioativo na camada superficial devido aos maiores valores de Ca e Mg obtidos nesses tratamentos.

Silva et al. (2017) recomendam a saturação por bases de 60% para cultivo do trigo e Vilela et al. (2002) sugere V% igual a 40-45% para *Urochloa* no perfil de 0,0 – 0,20 m. Nesse trabalho a saturação por bases foi superior a 40% em ambas as camadas (Tabela 2) indicando condições para bom potencial produtivo do gênero *Urochloa*. Já para a cultura do trigo, a saturação recomendada não foi atingida mesmo com a maior dose aplicada (16 Mg ha^{-1}), nem mesmo na camada de solo superficial. Uma das causas que explicam este fato pode ser devido ao reduzido efeito residual do serpentinito como corretivo visto que a aplicação foi efetuada em 2013.

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi influenciada pelas doses de serpentinito quando associado a profundidade do solo, ajustando-se a função quadrática com valor mínimo de CTC ($95,13 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) alcançado com a estimativa de aplicação de 16 Mg ha^{-1} , na camada de 0,10-0,20 m e valor de máximo de CTC ($105,67 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) alcançado com a estimativa de aplicação de $12,94 \text{ Mg ha}^{-1}$, na camada de 0,0-0,10 m (Figura 5D). Embora não se tenha obtido valores significativos de CTC para o fator doses isoladamente, a CTC no solo apresenta maiores valores na camada superficial, decrescendo com o aumento da profundidade, esse

comportamento se deve aos maiores teores de Ca, Mg, K e matéria orgânica na camada de 0,0-0,10 m (Tabela 2).

O uso de bioativo influenciou os valores de CTC (Tabela 2), provavelmente devido a maior mineralização da matéria orgânica influenciada pela maior atividade microbológica e pela imobilização dos nutrientes Ca, Mg e K pela biomassa microbiana do solo, proporcionada pelo uso do bioativo.

O teor de silício no solo apresentou comportamento linear, com teor de Si no solo de $19,66 \text{ mg dm}^{-3}$, na dose de $16,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, aumento de 25% na camada de 0,0-0,10 m (Figura 5E). O aumento da disponibilidade de Si no solo com a aplicação de silicatos, também é relatado por Mauad (2003), Sarto et al. (2014) e Castro e Crusciol (2013). Na camada de 0,10-0,20 m, para os teores de Si no solo não foi possível fazer ajuste de regressão em função das doses de serpentinito aplicados, apresentando a média de $16,42 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 5E). Pereira et al. (2007) ressaltam que o Si apresenta baixa mobilidade no solo, o que pode explicar os maiores teores na camada onde foi adicionada o serpentinito. Esta observação também foi verificada por Melo (2005) que não observou incremento de Si em profundidade.

Os teores de P foram influenciados significativamente pela aplicação de bioativo no solo, obtendo valores de $9,28 \text{ mg dm}^{-3}$ para a área sem a aplicação e $10,70 \text{ mg dm}^{-3}$ com a aplicação de bioativo. (Tabela 2). Essa redução nos valores de P contradizem o propósito esperado, uma vez que o uso dos bioativadores são indicados por disponibilizar maiores quantidades de nutrientes, principalmente para o elemento P. Mesmo os resultados sendo diferentes estatisticamente, os teores ainda se encontram dentro da faixa considerada como adequado ($> 8 \text{ mg dm}^{-3}$ Mehlich 1) para solos com teores de argila maior que 35% (SOBRAL et al., 2015). Ainda na Tabela 2 estão os valores para fósforo nas profundidades avaliadas e mostram valores significativamente mais altos na camada superficial do solo (0,0- 0,10 m), esse comportamento já era esperado devido a baixa mobilidade do fósforo tanto horizontal como verticalmente, principalmente em solos argilosos (MARSCHNER, 2002).

Apesar das alterações ocorridas nos valores de pH, MO, P, K, Ca, Mg Al, CTC, H+Al, SB e V%, as doses de serpentinito testadas, associadas ou não ao bioativo, não modificaram a interpretação desses atributos químicos do solo, mantendo-se nos teores adequados no solo para as culturas anuais (SOUSA e LOBATO, 2004). Entretanto, para condições em que o solo apresente pH em água menor do que 5,0 e

valores de saturação por bases inferior a 50%, existe uma grande possibilidade do uso de serpentinito para elevação do pH e consequentemente da saturação por bases.

Para os micronutrientes no solo não houve significância da interação tripla entre os tratamentos (Tabela 4), porém, ocorreu interação significativa entre doses x bioativo em relação ao teor de Fe e a interação profundidade x doses foram significativas para os teores de Cu e Zn. Para os demais micronutrientes não houve interação, somente efeito isolado dos fatores (Tabela 4).

Tabela 4 – Atributos químicos do solo (micronutrientes) e resumo na análise de variância em análise realizada após a última coleta de *Urochloa* dos *litter bags* (150 dias) em função das doses de serpentinito, nas diferentes profundidades de coleta (0-0,10 e 0,10-0,20 m) e uso do bioativo. Dourados – MS, 2018.

Doses de serpentinito Mg ha ⁻¹	Cu	Fe	Mn	Zn
0	8,36	37,77	111,48	2,56
2	8,43	37,78	111,34	2,51
4	8,47	37,74	111,18	2,47
8	8,46	37,47	110,84	2,42
16	8,09	36,26	110,00	2,38
Bioativo				
Com	8,36	38,35 a	110,51	2,20 b
Sem	8,37	36,45 b	111,45	2,74 a
Profundidade (m)				
0-0,10	8,16 b	34,61 b	125,36 a	3,13 a
0,10 - 0,20	8,57 a	40,20 a	96,60 b	1,80 b
Teste t ⁽¹⁾				
Doses (D)	*	*	NS	NS
Bioativo (B)	NS	**	NS	**
Profundidade (P)	**	*	**	**
D x B	NS	*	NS	NS
D x P	*	NS	NS	*
B x P	NS	NS	NS	NS
D x B x P	NS	NS	NS	NS
Média	8,36	37,40	110,98	2,47
CV1 %	4,98	3,98	6,98	16,96
CV2 %	3,18	3,48	10,25	24,66
CV3 %	3,53	5,54	5,94	15,40

(1) **, * e NS: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t de Student Extratores: Fe, Mn, Zn e Cu (Mehlich 1)

Os teores de cobre variaram em função das doses de serpentinito e da camada avaliada (Tabela 4 e Figura 6A). Na camada de 0-0,10 m os teores de Cu aumentaram de forma linear com o aumento das doses de serpentinito. Já na camada de 0,10-0,20 m, observa-se ajuste dos dados a função quadrática, com teor máximo de Cu ($8,23 \text{ mg dm}^{-3}$), alcançado com a estimativa de aplicação de $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serpentinito (Figura 6A). Observam-se também os maiores teores na camada de 0,10-0,20 m. De acordo com Raij (2011), o Cu é pouco móvel no solo e pode ser adsorvido nos componentes minerais e também complexado pela matéria orgânica, sendo essa complexação importante para determinar a dinâmica desse elemento no solo.

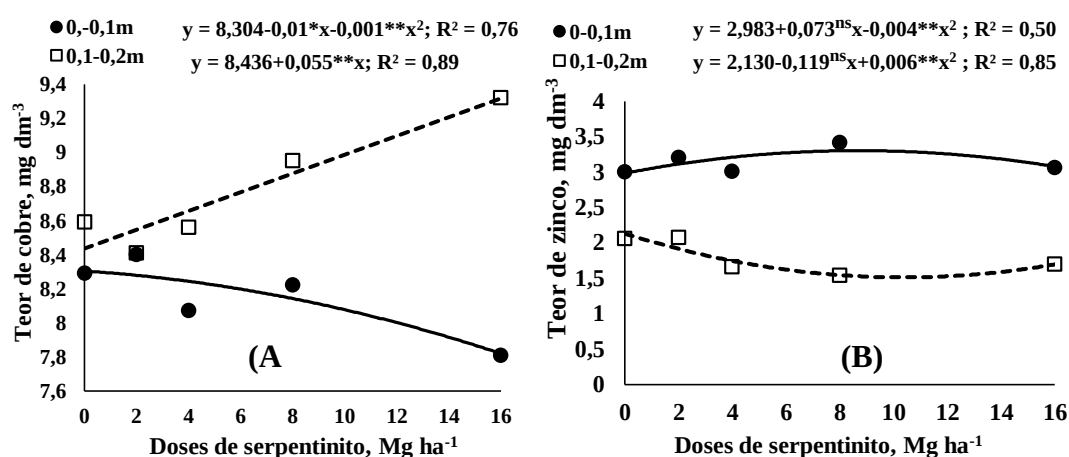


Figura 6. Teores de cobre (A) e zinco (B) no solo, em função de doses de serpentinito, nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Dourados – MS, 2018. * e ** significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

Segundo Vendrame et al. (2007), os fatores que afetam a disponibilidade de Cu no solo são: pH, matéria orgânica e textura do solo. Quanto ao pH, seu aumento provoca diminuição dos teores desse elemento devido a diminuição da solubilidade dos óxidos de Cu, aumento da adsorção sobre superfícies e maior estabilidade quando ligado a matéria orgânica. Assim, observa-se os maiores valores de pH e de matéria orgânica na camada de 0-0,10 m, o que pode explicar os menores teores de Cu, visto que, parte do Cu pode estar retido na forma de complexos mais estáveis com a matéria orgânica ou pode estar em compostos de baixa solubilidade.

Os teores de Zn foram afetados pelas doses de serpentinito e profundidades avaliadas (Figura 6B). Os dados se ajustaram ao modelo quadrático, com teor máximo de Zn de $3,32 \text{ mg dm}^{-3}$, alcançado com a estimativa de aplicação de $9,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serpentinito, na camada de 0-0,10 m. Já na camada de 0,10-0,20 m, obteve o teor

mínimo de Zn ($1,54 \text{ mg dm}^{-3}$), alcançado com a estimativa de aplicação de $9,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serpentinito, entretanto, os maiores teores foram verificados na camada de 0-0,10 m. Tal fato pode ser atribuído aos maiores teores de matéria orgânica, visto que a matéria orgânica é uma das principais fontes desse micronutriente.

Com relação aos teores de Fe observou-se resultado diferente ao ocorrido para o Zn, sendo os menores teores observados na camada de 0-0,10 m (Tabela 4), onde os teores de matéria orgânica foram mais altos (Tabela 2). De acordo com Shuman e Hargrove (1985), embora o Fe seja reciclado em maior quantidade que o Zn e Mn, seu aumento nas camadas superficiais não ocorre devido à rápida oxidação do Fe ao ser liberado da matéria orgânica. Já Bataglia (1991) afirma que as variações no pH estão ligadas com a solubilidade do Fe no solo, quando o solo apresenta pH baixo a quantidade de Fe aumenta. Assim, de acordo com os autores, os maiores valores de pH e de matéria orgânica na camada de 0-0,10 m justificam os menores teores de Fe nessa camada.

Quanto à interação doses de serpentinito x bioativo (Figura 7), observa-se que os teores de Fe diminuíram de forma linear com o aumento das doses de serpentinito associado a bioativo. Entretanto, quando não foi adicionado o bioativo, os teores de Fe se ajustaram ao modelo quadrático, com teor máximo de Fe ($37,25 \text{ mg dm}^{-3}$), alcançado com a estimativa de aplicação de $7,88 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serpentinito. Assim, de acordo Bataglia (1991), os menores valores de pH e de matéria orgânica encontrado nos solos dos tratamentos que receberam o bioativo (Tabela 2), justificam os maiores teores de Fe no solo (Tabela 4 e Figura 7).

Para o elemento Mn, somente houve diferença significativa entre as profundidades avaliadas, onde os menores teores foram encontrados na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 4). Segundo Borkert (1991), os teores de Mn presentes na solução do solo são o Mn^{2+} na forma iônica e Mn orgânico complexado. A disponibilidade deste elemento no solo está relacionada com o pH, potencial redox, atividade microbiana e teor de matéria orgânica. Assim, a complexação do Mn com a matéria orgânica pode ter originado complexos estáveis, diminuindo sua disponibilidade.

Apesar das alterações dos teores de micronutrientes ao longo do perfil do solo em função dos tratamentos utilizados, nota-se que os seus teores médios encontrados estão dentro dos limites considerados adequados para o bom desenvolvimento das culturas (Sousa e Lobato, 2004).

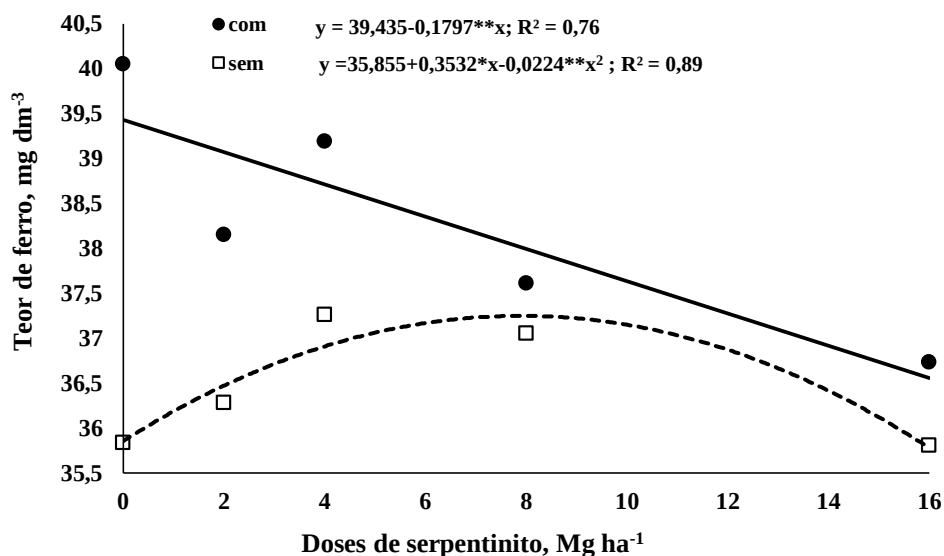


Figura 7. Teor de ferro no solo, em função de doses de serpentinito, com e sem o uso do bioativo. Dourados – MS, 2018. * e ** significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

3.3 Análise química do tecido vegetal das folhas do trigo

Os resultados obtidos na avaliação das concentrações foliares do trigo, em função dos tratamentos, encontram-se na Tabela 5. A análise de variância dos dados permitiu inferir que não houve interação significativa entre os fatores doses de serpentinito x bioativo. Também não houve diferença estatística para doses de serpentinito e bioativo para as concentrações de N, Fe e Zn (Tabela 5). As concentrações médias foram: 40,44 g kg⁻¹ de N; 243,19 mg kg⁻¹ de Fe e 25,96 mg kg⁻¹ de Zn, valores esses dentro dos limites considerados para o bom desenvolvimento do trigo (RAIJ et al., 1997).

Houve efeito linear decrescente na adição das doses de serpentinito nas concentrações de P, K e Cu (Figuras 8A, 8B e 8D, respectivamente). Concentrações maiores de P nas folhas com uso de silicatos são normalmente encontrados, devido a maiores disponibilidades de P no solo promovida pelo deslocamento do fósforo pelo silício nos sítios de ligação e pelo aumento de pH do solo, porém, isso não foi observado nesse trabalho. No entanto, o aumento significativo da massa seca obtidos na parte aérea do trigo indica um melhor estado nutricional da planta por P, retratando a importância de não considerar somente uma simples avaliação da sua concentração nos tecidos. O aumento da massa do trigo pode ter conferido a concentração de P o chamado efeito de diluição para esse nutriente, além disso, as concentrações

encontradas em todos os tratamentos estão dentro da faixa considerada adequada para P na cultura do trigo como descrito por Raij et al. (1997).

A redução na concentração de K no tecido do trigo devem-se possivelmente ao efeito de diluição devido a maior massa seca produzida pelo trigo nas maiores doses de serpentinito. Embora, as concentrações de silício não foram significativamente influenciadas pelo aumento das doses de serpentinito, vale salientar que alguns autores observaram redução nas concentrações foliares de K em gramíneas com o aumento da concentração de silício em solução nutritiva (GREGER et al., 2018). Reboredo et al. (2013) enfatizam correlação negativa entre K e Si dentro de algumas espécies. As concentrações de K foram significativamente maiores nos tratamentos que não receberam bioativo (Tabela 5), porém com concentrações dentro da faixa adequada para a cultura. Segundo Tedesco et al. (2004), concentrações de K na faixa de 15 e 30 g kg⁻¹ estão dentro da faixa considerada adequada para K na cultura do trigo.

Embora o serpentinito utilizado nesse trabalho contenha Cu em sua composição, agindo como fonte, a disponibilidade desse elemento foi fortemente influenciada pelo pH da solução do solo em função das doses aplicada (Figura 8D). Considerando que o pH do solo é a propriedade do solo que mais afeta a disponibilidade dos micronutrientes (RAMOS et al., 2006), o aumento das doses de serpentinito favoreceu o aumento do pH da solução (Tabela 2), o que condicionou a precipitação dos íons de Cu, na forma de hidróxidos, diminuindo sua disponibilidade para o trigo.

Quanto ao cálcio, as concentrações foram maiores nos tratamentos que receberam bioativo (Tabela 5), indicando eficiência da biotivação para aumento de concentrações deste elemento no trigo. A maior absorção de cálcio pode ser devido as maiores concentrações desse elemento encontrados no solo pelo uso do serpentinito e também devido a liberação desse nutriente pela biomassa da *Urochloa*.

Tabela 5 – Concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg, Si, Cu, Fe, Mn e Zn no trigo por ocasião do início do florescimento em função das doses de Serpentinito e uso ou não do bioativo. Dourados – MS, 2018.

	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Zn
Doses (D)	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
0	40,45	2,44	18,57	4,09	1,98	13,69	11,01	255,08	152,02	25,36
2	40,69	2,44	18,17	4,22	2,07	13,91	10,99	240,68	153,23	25,78
4	40,83	2,43	17,82	4,32	2,15	14,11	10,96	230,74	153,95	26,10
8	40,79	2,42	17,25	4,45	2,25	14,41	10,88	224,31	153,87	26,47
16	39,42	2,40	16,67	4,42	2,28	14,67	10,56	265,14	147,72	26,08
Bioativo (B)										
com	40,09	2,43	17,30 b	4,59 a	2,16	14,79 a	10,83	232,44	159,32 a	25,48
Sem	40,78	2,42	18,10 a	4,01 b	2,13	13,52 b	10,93	253,94	144,99 b	26,43
Teste t ⁽¹⁾										
Dose (D)	NS	**	**	NS	**	NS	*	NS	NS	NS
Bioativo (B)	NS	NS	**	**	NS	**	NS	NS	**	NS
D x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Média	40,44	2,43	17,70	4,30	2,14	14,16	10,88	243,19	152,16	25,96
CV1 %	3,86	2,01	3,70	6,01	5,05	8,59	2,99	11,44	5,07	5,44
CV2 %	4,73	2,29	4,85	10,34	7,89	6,39	4,74	14,25	7,46	6,05

(1) **, * e NS: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, com base na significância pelo teste t.

Extratores: N= digestão sulfúrica e método semi-micro-kjeldahl / P= digestão nítrico-perclorica e det. colométrica com metavanadato. K, Ca, Mg= digestão nítrico-perclorica e det. Espectrofotométrica / Cu, Fe, Mn e Zn= digestão nítrico-perclorica / Si= digestão com H₂O₂ (método amarelo).

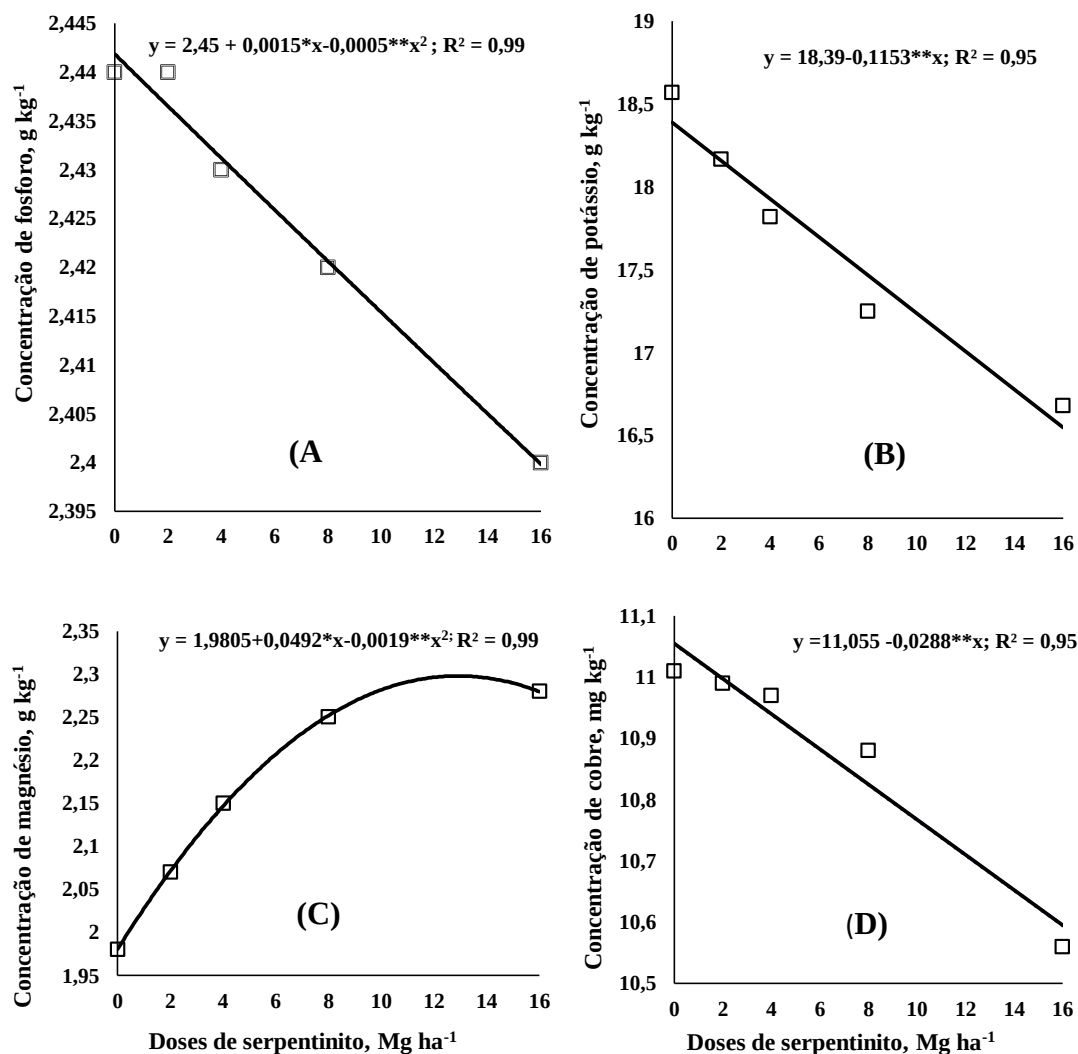


Figura 8. Concentrações foliares de fósforo (A), potássio (B), magnésio (C) e cobre (D), em função das doses de serpentinito. Dourados – MS, 2018. * e ** significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

O incremento da concentração de Mg no tecido foliar do trigo com o uso do serpentinito, alcançando concentração máxima de 2,30 g kg⁻¹, com a dose de 12,95 Mg ha⁻¹ (Figura 8C), pode estar relacionado aos aumentos das concentrações de magnésio no solo devido ao alta concentração de MgO (35,07%) presente no serpentinito que proporcionou maior disponibilidade e absorção do nutriente pela planta, como também a melhor capacidade da planta em absorver Mg devido a redução dos níveis de H⁺/Al (FAQUIN, 2005).

Segundo Salvador et al. (2000) doses crescente de Al reduzem a absorção e transporte de vários elementos para parte aérea, entre eles o Mg, sugerindo também que aumentos nas concentrações de Mg no tecido do trigo tem relação com o aumento

de Mg no solo e redução de acidez. As concentrações de Mg encontram-se dentro de uma faixa adequada de concentração para a cultura do trigo que é de 1,1 – 4,0 g kg⁻¹ (Tedesco et al. (2004).

As concentrações foliares de Si somente apresentaram diferença significativa com o uso do bioativo, obtendo concentrações de 14,79 g kg⁻¹ e 13,52 g kg⁻¹ para presença e ausência de bioativo, respectivamente. A redução nos teores de matéria orgânica do solo com o uso de bioativo (Tabela 2), provavelmente, beneficiou a cultura do trigo com maior disponibilidade de nutrientes, favorecendo o maior crescimento do sistema radicular e por consequência, aumento na absorção de silício.

Para o silício não há concentrações definidas como ideais na literatura para a cultura do trigo, por causa das diferentes capacidades que as raízes têm em absorver o elemento (EPSTEIN, 1994). Lima Filho e Tsai (2007) encontraram concentração de até 40 g kg⁻¹ de Si na matéria seca da cultivar BR 18. Oriolli Junior (2008) obteve diferença significativa para concentrações de silício em diferentes variedades de trigo com valores variando de 9 a 12 g kg⁻¹. Domiciano et al. (2010), estudando adubação com silício nas cultivares de trigo, BR-18 e BRS-208, detectaram que a concentração de silício nas folhas bandeira das plantas adubadas foi muito superior às plantas não supridas com esse elemento, mostrando que pode haver uma grande variabilidade na capacidade de absorção do elemento silício dentro de uma mesma espécie e também em espécies diferentes. Andrade et al. (2012) relatam que o acúmulo de silício em trigo pode ser favorecida por efeitos benéficos e que as cultivares de trigo podem acumulá-lo diferentemente. Segundo Wietholter (2011), as concentrações de nutrientes no trigo podem ter pouca relação com o estado nutricional da planta e com o potencial de rendimento.

As concentrações de Mn não foram influenciadas pelas doses de serpentinito, somente pelo uso do bioativo (Tabela 8). Observou-se que os tratamentos que receberam o bioativo apresentaram os maiores valores. Desta forma, pode-se inferir sobre o efeito do bioativo na disponibilização do Mn no solo e, conseqüentemente, a maior absorção do Mn pelas raízes do trigo. As concentrações de Mn extrapolaram os valores de suficiência, mostrando concentrações maiores do que as sugeridas na literatura (25-100 mg kg⁻¹) segundo Wietholter (2011).

3.4 Características avaliadas no trigo

As respostas obtidas para as características avaliadas no trigo (número de perfilhos, número de espigas, número de grãos, número de espiguetas, grãos por espiga, porcentagem de perfilhos férteis, massa de 100 grãos, massa seca da parte aérea e produtividade) são apresentados nas Tabelas 6 e 7. Verifica-se que não ocorreu interação significativa entre as doses de serpentinito x bioativo. Observa-se que as doses de serpentinito proporcionaram maior número de perfilhos, número de espigas, massa seca da parte aérea e produtividade (Figuras 9A, 9B, 9C e 9D).

Segundo Valério et al. (2009), o número de perfilhos é influenciado por vários fatores, como efeito hormonal, fatores do ambiente, fotoperíodo, densidade semeadura, condição hídrica e fator nutricional, sendo que o elemento nitrogênio parece ser um dos mais importantes na definição de capacidade de expressão do perfilhamento. Assim, a melhora na correção da acidez do solo pela aplicação de serpentinito pode ter permitido aumento no volume do sistema radicular e por consequência maior volume de solo explorado, favorecendo a absorção de água, nutrientes e por consequência o maior número de perfilhos.

O número de perfilhos é uma estratégia que pode contribuir efetivamente para a obtenção de elevadas produtividades, cuja importância é caracterizada pela participação destes como parte dos componentes do rendimento das plantas e como prováveis supridores de assimilados ao colmo principal (MEROTTO JUNIOR, 1995). Embora o número de perfilhos seja questionado por alguns autores na contribuição para aumentos na produtividade (Valério et al. 2009), é possível afirmar com base nos dados obtidos e nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, que estabelecer estratégias que contribuam para o aumento no número de perfilhos por planta, pode efetivamente contribuir para a obtenção de elevadas produtividades.

O número de espigas aumentaram de 405,31 para 483,36 espigas m^{-2} da menor para a maior dose de serpentinito, respectivamente, aumento de 19,7% (Figura 9B). Observando as Figuras 9A e 9B, percebe-se relação muito próxima entre número de perfilhos e número de espigas por m^{-2} , reafirmando a importância de estratégias nutricionais de manejo que possibilitem aumentar o perfilhamento na cultura do trigo. Resultado semelhante foi obtido por Sarto (2015) e Castellanos et al. (2016).

Tabela 6 – Número de perfilhos e espiga por metro quadrado; grãos por espigeta, espiguetas por espiga, grãos por espiga e perfilhos férteis, em função das doses de serpentinito e uso do bioativo. Dourados – MS, 2018.

Tratamentos	Perfilhos m ⁻²	Espigas m ⁻²	Grãos/ espiguetas	Espiguetas/ espiga	Grãos / espiga	Perfilhos férteis
Doses (D)	nº					%
0	405	399	2,04	12,42	25,52	97,27
2	431	415	2,08	12,60	26,29	96,07
4	457	425	2,11	12,75	26,93	95,24
8	489	444	2,15	12,98	27,90	94,74
16	484	480	2,16	13,10	28,56	98,32
Bioativo (B)						
Com	437	426	2,15	12,71	26,67	97,66
sem	465	443	2,06	12,83	26,40	95,00
Teste t ⁽¹⁾						
Doses (D)	**	*	NS	NS	NS	NS
Bioativo (B)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
D x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Média	451	434	2,01	12,77	27,04	96,33
CV1 %	6,29	10,08	7,15	5,43	9,81	6,88
CV2 %	13,92	16,38	11,03	10,47	16,30	7,28

(1) **, * e NS: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, com base na significância pelo teste t.

Os valores para massa seca tiveram comportamento linear crescente com valores de 720,55 g m⁻² para 865,38 g m⁻² para as doses zero e 16 Mg ha⁻¹ respectivamente (Figura 9C), ou seja, incremento de cerca de 20% em relação ao tratamento controle. Para a produtividade foi observado ajuste quadrático significativo, com produtividade mínima e máxima estimada de 3,5 Mg ha⁻¹ e 4,57 Mg ha⁻¹, para a dose zero e de 12, Mg ha⁻¹, respectivamente (Figura 9D).

Os incrementos da produção de matéria seca e da produtividade devem-se às funções desempenhadas pelo serpentinito na correção do solo, com consequente aumento da disponibilidade de nutrientes (Tabela 2), proporcionando melhores condições para o desenvolvimento da cultura.

É importante destacar que as produtividades obtidas nesse experimento sob sistema irrigado são bem superiores à média de produtividade obtida em sequeiro na região centro sul do estado do MS e PR (2,4 Mg ha⁻¹), principalmente com o uso do serpentinito que proporcionou incremento de produtividade de 31%.

Tabela 7. Massa de 1000 grãos (g), matéria seca da parte aérea (g m^{-2}) e produtividade (kg ha^{-1}) em função das doses de serpentinito e uso ou não do bioativo. Dourados – MS, 2018.

Tratamentos	Massa 1000 grãos	Massa seca	Produtividade
Doses	g m^{-2}	g m^{-2}	kg ha^{-1}
0	40,06	720,55	3.508
2	40,06	738,65	3.826
4	40,07	756,76	4.072
8	40,06	792,97	4.440
16	40,01	865,38	4.476
Bioativo			
Com	40,00	748,01	4.045
Sem	40,10	801,72	4.088
Teste t ⁽¹⁾			
Doses (D)	NS	*	**
Bioativo (B)	NS	NS	NS
D x B	NS	NS	NS
Média	40,05	774,86	4.067
CV1 %	2,06	10,51	11,83
CV2 %	3,17	19,87	22,70

(1) **, * e ^{NS}: significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente, com base na significância pelo teste t.

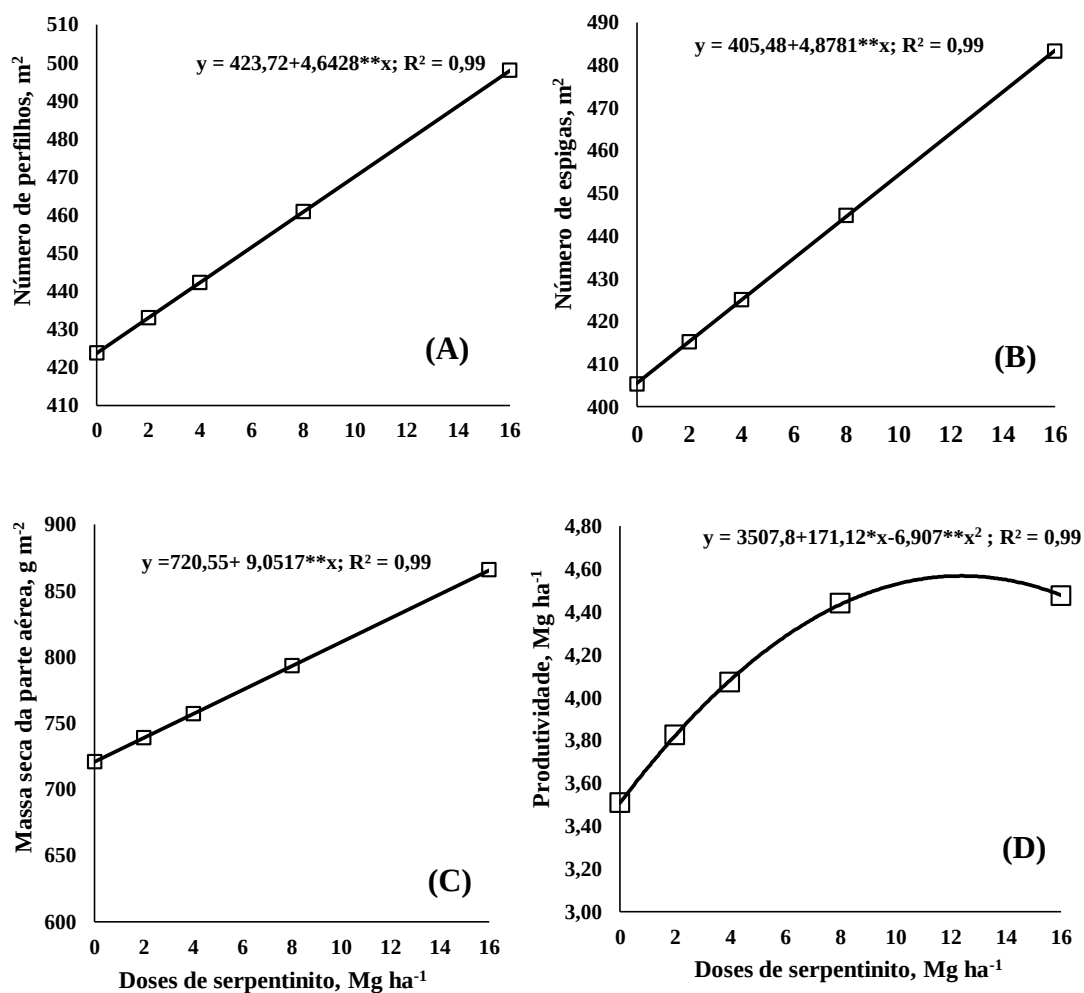


Figura 9. Número de perfilhos (A), número de espigas (B), massa seca da parte aérea (C) e produtividade (D), em função das doses de serpentinito. Dourados – MS, 2018. * e ** significativos a 5 e 1%, com base na significância pelo teste F.

4 CONCLUSÃO

A aplicação do serpentinito aumentou a produção de MSPA, taxa de cobertura e massa remanescente de *Urochoa brizantha* cv. Piatã.

O uso de serpentinito melhorou atributos químicos do solo e favoreceu o aumento da massa seca, número de espigas m^{-2} e produtividade da cultura do trigo;

O uso do bioativo ocasionou a acidificação do solo, redução na saturação por bases, teor de matéria orgânica, fósforo e zinco no solo.

O uso do bioativo proporcionou maior produtividade de matéria seca de *Urochloa* com menores doses de serpentinito;

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ALVARES, C. A.; STAPES, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVARENGA, R.C.; LARA CABEZAS, W.A.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p.25-36, 2001

AMADO, T. J. C. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA: harmonia do homem com a natureza, desafio do 3º milênio, 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, p.105-111, 2000.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F.; BRUM, A. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 89-197, 2001.

ANDRADE, A.; ANDRADE, C. G. T.; MIGLIORANZA, E. Detecção de sílica em folha bandeira de trigo **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2555-2562, 2012.

ARAÚJO, L. S.; KORNDÖRFER, G. H. **Papel do silício na produção, qualidade e controle de cigarrinha (*deois flavopicta*) da brachiaria decumbens, cultivada em solos degradados do triângulo mineiro.** (2014) Disponível em: [file:///C:/Users/havan/Desktop/pastas%202014%20a%202016/janeiro%202014/ Downloads /3939-14613-1-PB.pdf](file:///C:/Users/havan/Desktop/pastas%202014%20a%202016/janeiro%202014/Downloads/3939-14613-1-PB.pdf). Acesso em: 08/05/2018.

BALBINOT, M.; ZORZZI, I. C. **Relação entre manejo de plantas de cobertura e estado nutricional de pessegueiro.** In: **Congresso Brasileiro de Fruticultura**. n. 23. 2014. Cuiabá - MT. Anais... Cuiabá: Sociedade Brasileira de Fruticultura. 2014.

BARBOSA, N. C.; VENÂNCIO, R.; ASSIS, M. H. S.; PAIVA, J. B.; CARNEIRO, M. A. C.; PEREIRA, H. S. Formas de Aplicação de silicato de cálcio e magnésio na cultura do sorgo em Neosolo Quartzarênico de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 38, n. 4, p. 290-296, 2008. ISSN 1517-6398 / e-ISSN 1983-4063

BATAGLIA, O. C. Ferro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: **POTAFOS**, p. 159-172, 1991.

BINSFELD, J. A.; BARBIERI, A. P. P.; HUTH, C.; CABRERA, I. C.; HENNING, L. M. M.; Uso de bioativador, bioestimulante e complexo de nutrientes em sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1 p. 88-94. 2014.

BORKERT, C. M. Manganês. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: **POTAFOS**, p. 173-190. 1991.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399p.

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M. da; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.

BRITO, R. O.; DEQUECH, F. K.; BRITO, R. M. Use of penergetic products P and K in the snap bean prodution. **Annual Reporto f the Bean Improvement Cooperative**, v. 55, p. 277-278, 2012.

CARMO, J.B. Impacto da aplicação de biossólidos na atividade microbiana do solo. 2001. 105p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. dos.; persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CARMIGNANO, O. R. D. R. Avaliação do comportamento do serpentinito na cultura da soja. Dissertação de Mestrado (Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto: UFOP, 2014. 71 p.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. vol.36, n.4, pp.1211-1220. 2012 ISSN 1806-9657. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>.

CARVALHO, L. S. M. de J.; RODRIGUES, H. C, S.; MENEGHELLO, G. E.; ALMEIDA, A, da S., NAVROSKI, R.; Desempenho fisiológico de Sementes de Feijão tratadas com produto Bioativador. **Centro Cientifico Conhecer**- Goiânia, V.10, n.18. 2014.

CASTELLANOS, C. I. S.; ROSA, M. P.; DEUNER, C.; BOHN, A.; BARROS, A. C. S. A.; MENEGHELLO, G. E. Aplicação ao solo de cinza de casca de arroz como fonte de silício: efeito na qualidade de sementes de trigo produzidas sob stresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, p 95-104. 2016

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v.195-196, p. 234-242, 2013.

COBUCCI, T.; NASCENTE, A. S.; LIMA, D. P. Adubação fosfatada e aplicação de Penergetic na produtividade do feijoeiro comum. **Revista Agrarian**. v.8, n.30, p.358-368, Dourados, 2015.

CONAB. Trigo Brasil: série histórica de área plantada, produtividade e produção. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_10_13_44_53_trigo_seriehist.xls>. Acesso em: 10 mar. 2018.

COSTA N. R.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M; SANTOS, F, G.; PARIZ, C. M. Acumulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1223-1233, 2014.

DANTAS, G. F.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade da Brachiaria irrigada no outono/inverno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.3, p.469-481, maio./jun. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p469-481/2016>

DE MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. In: BOREM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UVF, p.11-34. 2015.

DIETRICH G. Decomposição e liberação de nitrogênio da palha de cana-de-açúcar em função do ambiente e quantidade de palha. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais - UFSM, Santa Maria, RS, 2014.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral Brasileiro. **Anuário Mineral Brasileiro**: Talco e Outras Cargas Minerais. 35. ed. Brasília: DNPM, 2006.

DOMICIANO, G. P.; RODRIGUES, F. A.; MOREIRA, W. R.; OLIVEIRA, H. V.; VALE, F. X. R.; FILHA, M. S. X. Silício no progresso da mancha marrom na folha bandeira do trigo. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 186-189, 2010.

DUARTE, W. M. Potencial das rochas flogopitito, granito e sienito na disponibilização de potássio em solos. Dissertação de mestrado. Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC. 43p. 2010.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p.11-17, Jan. 1994.

FAHRENHOLTZ, W. G. **Em ceramic and glass materials: structure, properties and processing**. New York: Springer, 2008. cap. 7.

FAQUIN, V. Nutrição Mineral de Plantas. Universidade Federal de Lavras. **Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão**. 2005.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F. J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**. 2001;63:231-55.

FRIEDMAN, H. The mineral and gemstone kingdom: **minerals A-Z: group serpentine**. 1997-2013. Disponível em: <<http://www.minerals.net>>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

GARCIA C. M. de P.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M. C. M. T.; LOPES, K. S.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p.143-152, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2014.016>.

GOTTEMS, L. Produção mundial de trigo deve ser segundo recorde. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/producao-mundial-de-trigo-deve-ser-2--recorde_392634.html>. Acessado em: 25 de junho de 2018.

GREGER, M.; LANDBERG, T.; VACULIK, M. Plants Article Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species. **Plants**, 2018, 7, 41; doi:10.3390/plants7020041

HECKLER, J. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. Palha. In: SALTON, J. C. et al. (Org.). Sistema Plantio Direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: **Embrapa SPI**; Dourados: Embrapa CPAO, 1998. p. 37-50. (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas).

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. Palha: Fundamento do sistema plantio direto. Dourados, **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2002. 26p. (Coleção Sistema Plantio Direto).

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.21- 28, 2006.

KORNDÖRFER, C.M.; KORNDÖRFER, G.H.; PEÇANHA, M.R.; CORREA, G.F.; JUNQUEIRA NETO, A.A. Correção da acidez do solo com silicato de cálcio e o papel do silício na recuperação de pastagem de *Brachiaria decumbens*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2001. p. 144.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. A. Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2, 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003, 1 CD-ROM.

KORNDÖRFER, G. H. PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante** - Uberlândia, 2004. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico 02) 50p.

KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G.; FREITAS, R. S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 40 n. 2 p. 119 – 125, 2010.

KUNDE, R. J.; LIMA, C. L. R de.; SILVA, S. D. dos A.; PILLON, C. N. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1520-1528, set. 2016 DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900051

LIMA FILHO, O. F.; TSAI, M. S. Crescimento e produção do trigo e da aveia branca suplementados com silício. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Agropecuária Oeste** 41. 34 pp. 2007.

LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, E. R. S.; DIAS, S. H. L. Rendimento da alface e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 224-229. 2007.

LIMA, F.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P. SILVA, U. R. de. Palhada de braquiária *rupestris* na supressão de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, v.7, n.26, p.541-551, 2014.

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, v. 9, p. 1-17. 2006.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob Plantio Direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1269-1276, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, v.55, p.260-268, 2012.

MALUF, H. J. G.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; SILVA, L. O. G.; Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1681-1689, 2015

MACEDO, W. R; CASTRO, P. R. de C. Biorreguladores, bioestimulantes e bioativadores na agricultura Tropical. In: VISÔTTO, L. E. **Avanços Tecnológicos aplicados a Pesquisa na Produção Vegetal**. UFV/CRP, 2015. p. 505-530.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3. ed. São Paulo: **Agrônoma Ceres**, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **Potafós**, 1997. 308 p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: **Academic Press**, 2002. 889p.

MARIANI, F.; FONTANELI, REN.S.; VARGAS, L.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, ROB.S. Trigo de duplo propósito após forrageiras perenes e culturas de verão em sistema integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.42, n.10. p.1.752-1.757, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012001000006>>.

MARTINS, E. S. Uso potencial de rochas regionais como fontes de nutrientes e condicionador de solo. Jataí: **Embrapa Cerrados**, 2010. Disponível em: <http://www.redeaplm mineral.org.br/biblioteca/eventos/1b0-seminario-apl-do-sudoeste-goiano/08%20-%20Palestra%20Eder%20Martins.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORREA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 867-873, 2003.

MELO JUNIOR, H. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.12, 2011.

MELO, S. P. Silício e fósforo para estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo. 2005. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

MELO, S. P.; KORNDÖRFER, G. H.; KORNDÖRFER, C. M.; LANA, R. M. Q.; SANTANA de, D. G. Acúmulo de silício e tolerância ao déficit hídrico em capins do gênero *Brachiaria*. **Science Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 755-759, 2003.

MEROTTO JUNIOR, A. Processo de afilamento e crescimento de raízes de trigo afetado pela resistência do solo. 1995. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MIYAKE, Y. Sílica no solo e plantas. *Sci. Rep. Fac. Agric.* **1993** , 81 , 61-79.

MORAES, E. R.; REIS, A. C.; SILVA, N. E. P.; FERREIRA, M.; MENEZES, F. G. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p. 60-65. 2018. ISSN 2358-6303.

MORAIS, R. M. de.; STEFFEN, G. P.; MALDANER, J.; SALDANHA, C.; Promoção da atividade biológica do solo por manejo. **Congresso Latinoamericano de agroecologia**. 2015. Disponível em <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/56256/>

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 626p. 2002.

NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; SILVA, E. de B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.943-978, 2006.

OLIVEIRA, M. R.; ALVERENGA, R. C.; OLIVEIRA, A. C.; CRUZ, J. C. Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 37-41, 2001.

ORIOILLI JUNIOR, V.; PRADO, R. M.; LEONEL, C. L.; CAZETTA, D. A.; BASTOS, J. C. H. A. G.; QUEIROZ, R. J. B.; SILVEIRA, C. M. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de massa seca de plantas de trigo. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v.8, n.1, p.28-36, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art03.pdf>>. Acesso: 20 de jun. 2018. doi: 10.4067/S0718-27912008000100003.

OSTERROHT, M. V. Rochagem para quê? **Agroecologia Hoje**, Botucatu, v.20, p.12-15, 2003.

PÁDUA, E. J. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. Dissertação de Mestrado (Ciência do solo). Lavras: UFLA, 2012, 91 p.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A. F.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. de L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2029-2037, 2011.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O.; ASSIS, R. L. de.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília**, v.48, n.9, p.1228-1236, set. 2013 DOI: 10.1590/S0100-204X2013000900006

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic Press, 1989. 275p.

PERIN, A. et al. Efeitos de coberturas vivas com leguminosas herbáceas perenes sobre a umidade e temperatura do solo. *Agronomia*, v. 38. n.1. p. 27 - 31, 2004.

PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; KORNDORFER, G. H. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.42, n.2, p.239-247, fev. 2007.

PEREIRA, D.; YENES, M.; BLANCO, J. A.; PEINADO, M. Characterization of Serpentinities to Define their Appropriate use as Dimension Stone. **Geological Society**, London, Special Publications, 271, p. 55-62, 2007. Disponível em:< <https://scihub.la/https://doi.org/10.1144 /GSL.SP.2007.271.01.06/>> Acessado em:15 de março de 2018.

PINTO, P. C. C.; YOSHIDA, M. I.; CARMIGNANO, O. R. Caracterização química da rocha serpentinito de Nova Lima, Minas Gerais. **Sociedade Brasileira de Química**, 33ª reunião anual, Aguas de Lindóia, São Paulo, 2010.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVA, G. P.; PAIVA, F. C.; MACEDO, R. S.; GOMES, G. V.; CARGNELUTTI FILHO, A. Cobertura do solo por resíduos de espécies utilizadas como plantas de cobertura, cultivadas em safrinha, no Cerrado do sudoeste goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. **Anais...** Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

PILLON, C. N.; MIELNICZUK, J.; NETO, L. M. Dinâmica da Matéria Orgânica no Ambiente. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2002.

PRATES, F. B. S.; GENUNCIO, G. C.; FERRARI, A. C.; NASCIMENTO, E. C.; ALVEZ, G. Z.; PALERMO, D. P.; ZONTA, E. Acúmulo de nutrientes e produtividade de crame em função da fertilização com torta de mamona e serpentinito. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000500008>> Acessado em 15/03/2018.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1651-1659, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400030>>. Acesso em 16 de março de 2018.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C.; Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico nº 100**. 2ª edição. 1997

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, p. 849-857. 2006.

REBELLO, C.; TURETTA, A. P. Ferramentas para avaliação do potencial à prestação de serviços ambientais pelo sistema plantio direto. **Comunicado Técnico 75. Embrapa**. Rio de Janeiro, 2017

REZENDE, C. P.; CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; GOMIDE, J. A.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K. E.; BODDEY, R. M. Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 54:99-112, 1999.

REBOREDO, F.; LIDON, F. C.; PESSOA, F.; DUARTE, M.; SILVA, DUARTE and M. The uptake of macronutrients by an active silicon accumulator plant growing in two different substrata. **Departamento Ciências da Terra**. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal, 2013

ROSSI, C. Q.; P, M. G.; GIACOMO, M. B.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, 2013 >DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n4p1523

SALVADOR, J. O.; CABRAL, C. P.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, n.4, p.787- 796, 2000.

SANCHES, A. B. Efeito do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim-Braquiarião [*Brachiaria brizanta* (Hoechst ex A. Rich.) Stapf. cv. Marandu] sob intensidades de pastejo. 2003. 122 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

SANTANA J. S.; LIMA, E. F.; KOMATSU, R. S.; SILVA, W. A.; RIBEIRO, A. I. D. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.27; 2018.

SANTINATO, R.; MOSCA, C.; SILVA, R. O. Doses de óxido de magnésio e doses de serpentinito na correção da deficiência de magnésio em solos com teores adequados de cálcio. **38º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, Caxambu, Minas Gerais, 2012.

SANTOS, F. C. S. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; VILELLA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.38, n.6, p. 1855-1861, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600020>

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SARTO, M.V.M.; LANA, M.C.; RAMPIM, L.; ROSSET, J. S.; WOBETO, J. R. Effects of silicate application on soil fertility and wheat yield. **Semina**, v.36, n.6 p. 4071- 4082, 2015.

SARTO, M. V. M.; LANA, M. C.; RAMPIM, L.; ROSSET, J. S.; WOBETO, J. R.; ECCO, M.; BASSEGIO, D.; COSTA, P. F. Effect of silicate on nutrition and yield of wheat. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 9, n. 11, p. 956-962, 2014.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 58, n. 1, p. 151-199, 1997.

SERCILOTO, C. M. Mais produção: Os bioativadores são capazes de aumentar a qualidade dos frutos. **Cultivar HF**, Pelotas, v.2, n.13, p20-21, 2002.

SHUMAN, L.M.; HARGROVE, L. Effect of tillage on the distribution of manganese, copper, iron and zinc in soil fractions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.5, p.1117-1121, 1985.

SILVA, T. O. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SILVA, F.C. da. (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627p

SILVA, S. R.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. Informações técnicas para o trigo e triticale. **10º Reunião da comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale**, Londrina. EMBRAPA, 2017

SILVA, L. S.; BAHNEM, H. Liberação de nutrientes durante a decomposição de palhada de aveia preta (*Avena Strigosa*) com diferentes teores de silício. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 25:515-520, 2001.

SILVA, W. B.; BARCELOS, F. P; SICHOCKI, D.; SILVA, G. M. C. Uso do silicato de cálcio na correção da acidez do solo no desenvolvimento da *Brachiaria ruziziensis* L. Perspectiva online. **Ciências Exatas e Engenharia**, Campos dos Goytacazes-RJ, v. 10, n. 4, p. 1-11, 2014.

SILVA, S. A. da; ARF, O.; BUZETTI, S.; SILVA, M. G. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema de plantio direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2717-2722, 2008.

SINSABAUGH, R. L.; LAUBER, C. L.; WEINTRAUB, M. N.; AHMED, B.; ALLISON, S. D.; CRENSHA, W. C.; CONTOSTA, A. R.; CUSACK, D.; FREY, S.; GALLO, M. E.; GARTNER, T. B.; HOBBIE, S. E.; HOLLAND, K.; KEELER, B. L.; POWERS, J. S.; STURSOVA, M.; TAKACS-VESBACH, C.; WALDROP, M. P.; WALLENSTEIN, M. D.; ZAK, D. R.; ZEGLIN, L. H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. **Ecology Letters**. 2008; 11:1252-1264.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. V.; SILVA, A. J. da.; ANJOS, J. L dos. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **EMBRAPA**, 2015. 13, ISSN 1678-1953

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. 416 p.

SOUSA, M. G. de; REIN, T. A.; NUNES, R. S. Manejo da adubação fosfatada em plantio direto no cerrado. **Anais do I simpósio de fertilidade do solo em sistema de plantio direto no cerrado**.p.19-35, 2011

SOUZA, F. N. S.; ALVES, J. M.; D'AGOSTINI, L. R.; PINHEIRO, N. P.; NAOE, L. K.; ALMEIDA, V. R. de. Potencial de rejeito mineral na produção de grãos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. P. 297-302.

SOUZA, J. P. F.; MARTINS, G. L. M.; PEREIRA, A. C.; BINOTTI, F. F. S.; MARUYAMA, W. I. Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 3, p. 13–17, 2015. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/280/397>> Acesso em: 16 de março de 2018.

STEFFEN, R. B.; MACEDO, L.; Penergetic. Disponível em: http://tocrop.com/penergetic/wp-content/uploads/sites/3/2017/11/Penergetic_P_Results-Brazil 2017.pdf. Acesso: 23 de março de 2018.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; TRENTIN, E.; ANTONIOLLI, Z. I, JACQUES, R. J. S.; **Atividade biológica e persistência de resíduos culturais depositados sob a superfície do solo, submetido à aplicação de Penergetic**. UFSM. /2015?/. Disponível em: [https://issuu.com/diogolapaiva/docs/reedi_o_revista artigos_final_we](https://issuu.com/diogolapaiva/docs/reedi_o_revista_artigos_final_we). Acessado em 12 de junho de 2018.

TAVARES, E.; CASTILHOS, Z.; LUZ, A. da; FRANÇA, S.; CESAR, R.; BERTOLINO, L.C. Potencial de aplicação dos serpentinito como insumo na agricultura sustentável. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Embrapa Cerrado. pg 157-165, 2010.

TEDESCO, M. J; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; WIETHOLTER, S. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S. MEDEIROS, M. E.; BERTOLINO, L. C.; PÉREZ, D. V. Estudo do uso de serpentinito como corretivo de solos agrícolas. II SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE, **Anais...** Campina Grande - Paraíba, 2010. DOI: 10.13140/2.1.4079.5200.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; AMDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.8, p.797-804, 2010.

TEIXEIRA NETO, E.; TEIXEIRA NETO, A. A. modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. **Química Nova**, v. 32, n. 3, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000300023>

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Rochagem: uma questão de soberania nacional. In: **XIII Congresso brasileiro de geoquímica**. Gramado/RS. 2011.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. de. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1, 2010, Brasília. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010, p. 173-181.

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em Países Tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1390-1407, 2012.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biol. Biochem.**, 23:1351-1361, 1993.

TORRES, R. J. L.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 609-618, 2005.

TRENTIN, E.; SILVEIRA, A. O.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; STEFFEN, R.; CLASEN, B. E.; STEFFEN, G. P. K.; BASSACO, A. C. 2014. Efeito bioestimulador do penergetic na atividade microbiana e qualidade do solo. In: FERBIO, 2014. Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologias para todos.. **Anais ... Araxá**, 2014.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F. de.; OLIVEIRA, A. C. DE.; BENIN, G.; MAIA, L. C.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. M., SILVEIRA, G. Fatores relacionados à produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 30, suplemento 1, p. 1207-1218, 2009.

VENDRAME, P. R. S.; BRITO, O. R.; QUANTIM, C.; BECQUER, T.; Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.42, n.6, p.859-864, jun. 2007

VESOHOSKI, F.; MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. A.; CANTELLE, A. Components of grain yield in wheat and its direct and indirect effects on productivity. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.1, p. 337-341, 2011.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, M. C. M. Calagem e Adubação para Pastagens na região do Cerrado: **Planaltina, Embrapa Cerrados**. p.367-382; 2002.

VIVIAN, J. P.; MENEGAT, N.; KAUFMANN, M. R.; SORDI, A.; CERICATO, A. Potencial de braquiárias e panicum como plantas de cobertura em sistema de plantio direto. **Unoesc & Ciência - ACET Joaçaba**, v. 8, n. 2, p. 129-136, jul./dez. 2017.

WIETHOLTER, S. Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. **Embrapa**; p.135-184, 2011.