

CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO APLICADOS EM SUPERFÍCIE NO SISTEMA
SOJA–MILHO

por

MARCELO KERKHOFF

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia em Grãos.

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2024

CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO APLICADOS EM SUPERFÍCIE NO SISTEMA
SOJA–MILHO

por

MARCELO KERKHOFF

Orientação:

Professor Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano Campus Rio Verde

Professora Dr.^a Priscila Gonçalves – IF Goiano Campus Ceres

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

KK39c Kerkhoff, Marcelo
CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO APLICADOS EM
SUPERFICIE NO SISTEMA SOJA-MILHO / Marcelo
Kerkhoff; orientador Gustavo Castoldi; co-
orientadora Priscila Gonçalves. -- Rio Verde, 2024.
43 p.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. Calagem Superficial. 2. Calcário
Nanoparticulado. 3. Biomassa Microbiana. 4. Plantio
Direto na Palha. I. Castoldi, Gustavo, orient. II.
Gonçalves, Priscila, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Marcelo Kerkhoff

Matrícula:

2022102331540001

Título do trabalho:

CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO APLICADOS EM SUPERFÍCIE NO SISTEMA SOJA – MILHO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 06 / 05 / 2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde

29 / 04 / 2024

Documento assinado digitalmente
gov.br
MARCELO KERKHOFF
Data: 29/04/2024 10:40:30-0300
Verifique em <https://sistemas.ifgoiano.edu.br>

Local Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a) **gov.br**
Documentos assinado digitalmente
GUSTAVO CASTOLDI
Data: 30/04/2024 13:34:47-0300
Verifique em <https://sistemas.ifgoiano.edu.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 16/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA Nº 76 (SETENTA E SEIS)
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e nove dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 08h00min (oito horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada de forma remota, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **MARCELO KERKHOFF**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Gustavo Castoldi, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos resultados em revista científica de circulação nacional, após a implementação das modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Gustavo Castoldi	IF Goiano – Campus Rio Verde	Presidente
Aurélio Rubio Neto	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro interno
Jéssica de Cassia Tomasi	Poli Fertilizantes	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Aurelio Rubio Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/04/2024 12:18:29.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/02/2024 10:23:14.
- Jessica de Cassia Tomasi, Jessica de Cassia Tomasi - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1), em 10/03/2024 20:12:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 567486
Código de Autenticação: 5182c5801d



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Acidificação do solo pelo uso de fertilizantes.....	5
2.2 Correção da acidez do solo.....	6
2.3 Eficiência dos corretivos de acidez do solo.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Caracterização da área experimental	12
3.2 Instalação e condução do experimento.....	12
3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos	12
3.2.2 Implantação e condução	14
3.3 Avaliações realizadas	18
3.3.1 Análises Biológicas	19
3.3.1.1 Respiração basal do solo	19
3.3.1.2 Carbono da Biomassa Microbiana do Solo	20
3.3.1.3 Quociente metabólico.....	21
3.4 Análise estatística	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Produtividade das culturas da soja e do milho	22
4.2 Teores de cálcio, magnésio e pH do solo	23

4.3 Análises biológicas do solo	29
5. CONCLUSÃO	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO APLICADOS EM SUPERFÍCIE NO SISTEMA
SOJA–MILHO

por

MARCELO KERKHOFF

(Sob Orientação do Professor Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano Campus Rio Verde)

RESUMO

A fertilização e a melhoria contínua da fertilidade do solo são práticas integradas, consideradas importantes aliadas para os produtores aumentarem a sustentabilidade de produção. Todavia, a correção do solo em diversas regiões torna-se essencial para garantir produtividade. Diante disso, objetivou-se com esta pesquisa verificar se as novas formas de calagem, no sistema de plantio direto, têm sido eficientes no ajuste do pH, na disponibilização de nutrientes, no equilíbrio da biomassa microbiana (BMS) e na produtividade do sistema soja–milho. Foram avaliadas as formas de correção com hidróxido de cálcio, calcário dolomítico tipo *filler*, calcário dolomítico nanoparticulado, calcário dolomítico nanoparticulado adicionado de silicato de magnésio e um tratamento controle, sem a correção. Foram avaliados pH, teores de cálcio e magnésio, respiração basal, carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico do solo, além da produtividade das culturas. Os níveis de pH do solo foram semelhantes com todos os produtos avaliados, mesmo com a adição de fertilizantes acidificantes e com o efeito de processos biológicos que ocorrem durante o período de cultivo das plantas e que promovem a acidificação do meio. Os corretivos utilizados suprem a necessidade de nutrientes e promovem o aumento de produtividade, considerando as condições do experimento, mantendo os níveis de pH e disponibilizando Ca e Mg durante o ciclo das culturas, podendo ser um substituto ao calcário *filler*, nas condições de aplicação em superfície no sistema de plantio direto e no ciclo soja-milho, impactando positivamente a respiração basal do solo e aumento de biomassa em relação ao início do ciclo.

PALAVRAS-CHAVE: Calagem Superficial. Calcário Nano Particulado. Biomassa Microbiana. Plantio Direto na Palha.

CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO APLICADOS EM SUPERFÍCIE NO SISTEMA

SOJA–MILHO

por

MARCELO KERKHOFF

(Sob Orientação do Professor Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano Campus Rio Verde)

ABSTRACT

Fertilization and improving soil fertility are integrated practices, considered important for producers to increase their production sustainability. However, soil correction in several regions becomes essential to guarantee productivity. Therefore, this research becomes relevant to verify whether new forms of liming, in the direct planting system, have been efficient in adjusting pH, making nutrients available, contributing to the balance of Microbial Biomass (BMS) and productivity of the soybean–corn system. The forms of correction with calcium hydroxide, filler-type dolomitic limestone, nanoparticulate dolomitic limestone, nanoparticulate dolomitic limestone added with magnesium silicate and the control, without correction, were evaluated. The following were evaluated: pH, Calcium, Magnesium, Basal Soil Respiration, Soil Microbial Biomass Carbon and soil Metabolite Quotient. Also, it was evaluated if the products used are efficient alternatives for use on surfaces without incorporation into the soil, compared to conventional limestone. Mainly due to greater solubility and faster reactivity than conventional. It is possible to maintain soil pH levels with all products evaluated, even with the addition of acidifying fertilizers and with the effect of biological processes that occur during the plant cultivation period and that promote acidification of the environment, in addition, the calcium and magnesium availability, during the crop cycle, can result in increased productivity. The correctives used meet the need for nutrients for the productivity obtained, maintaining pH levels and making Ca and Mg available during the crop cycle, and can be a substitute for filler lime at surface application conditions in the direct planting system and in the soybean- corn cycle, positively impacting soil basal respiration and increasing biomass in relation to the beginning of the cycle.

KEY WORDS: Surface Liming. Nano Particulate Limestone. Microbial Biomass. Direct Planting in Straw.

1. INTRODUÇÃO

O milho e a soja são os principais cereais que fornecem alimentos e rações para seres humanos e animais no mundo, bem como diversas matérias-primas para a indústria agrícola (Zaidun *et al.* 2019). Todavia, os rendimentos das culturas em solos ácidos são relativamente baixos e podem ser aumentados se forem implementadas técnicas adequadas de correção de solo (Mosharrof *et al.* 2021).

A acidez do solo, geralmente, afeta negativamente o rendimento das culturas. Considera-se que aproximadamente 50% das terras aráveis do mundo são de solos ácidos, e a toxicidade do alumínio (Al^{3+}) é importante fator limitante para a maioria das culturas comerciais. No bioma Cerrado, por exemplo, em que predomina o solo intemperizado, a acidez atinge o subsolo, prejudicando o crescimento das raízes e a absorção profunda de água e nutrientes pelas plantas (Prado 2004, Bambolim *et al.* 2015, Li *et al.* 2019 Fiorini *et al.* 2022).

O calcário é proveniente de rocha moída constituído por carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), e é adicionado ao solo com o objetivo de neutralizar o solo ácido, reduzir o Al^{3+} tóxico, aumentar o pH e a saturação de bases, além de ser considerado fonte de cálcio e magnésio (Raij 2011). Porém, a eficiência agronômica do calcário está relacionada à capacidade e velocidade de liberação de grupos hidroxila (OH^-), e a reatividade do calcário depende do tamanho da partícula (Rheinheimer *et al.* 2018).

Conforme Ernani *et al.* (2004), calcários com tamanhos de grãos mais finos possuem maior reatividade do que calcários mais grossos. Porém, a velocidade de reação e o efeito residual do corretivo são duas grandezas inversas, ou seja, materiais finamente moídos reagem mais rápido no solo, mas os efeitos duram menos (Zandoná *et al.* 2015). É essencial disponibilizar para a planta todos os nutrientes por ela extraídos, que devem ser repostos no solo por meio da correção de fertilizantes (Freitas *et al.* 2017).

A tecnologia Nano Atom[®] traz inovação ao mercado no conhecimento da calagem. Este produto é carbonato de cálcio e magnésio, que após um processo de moagem física e filtração, as partículas são separadas em tamanho nanométrico, outra patente da empresa, utiliza um processo químico para produzir o material ao nível de nanopartículas de carbonato de cálcio e magnésio. Segundo a empresa Polli Fertilizantes, aproximadamente 25% das partículas dos produtos que contém a tecnologia Nano Atom[®] estão entre 1 e 100 nanômetros (nm), e os 75% restantes são menores de 0,08 milímetros (mm) (BR102021010051-6 e BR 102021010053-02).

Mosharrof *et al.* (2021) observaram que à medida que partículas menores são introduzidas no corretivo, a resposta ao pH do solo, à neutralização do alumínio e ao fornecimento de nutrientes tende a aumentar, resultando em aumento da produtividade. Diante disso, esta pesquisa torna-se relevante para verificar as novas formas de calagem, adequadas ao sistema de plantio direto, em que os produtos são aplicados superficialmente, têm sido eficientes no ajuste do pH, na disponibilização de nutrientes e na contribuição do equilíbrio da BMS e na produtividade do sistema soja–milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Acidificação do solo pelo uso de fertilizantes

A aplicação superficial de nutrientes associada a fertilizantes não incorporados em Sistema de Plantio Direto na palha (SPD) resulta na estratificação de dióxido de carbono, nutrientes e pH do solo (Lupwayi *et al.* 2006). Porém, as profundidades típicas do solo que caracterizam a fertilidade variam de 0 a 10 cm ou 0 a 20 cm, correspondendo à camada superficial (Baker *et al.* 2007, Barth *et al.* 2018). Estas profundidades de amostragem de solo vêm sendo empregadas para auxiliar os agricultores a determinarem recomendações de fertilizantes e calcário, com base nas necessidades da cultura, na disponibilidade de nutrientes e no pH do solo (mesmo em SPD).

Os fertilizantes nitrogenados são em grande abundância utilizados na produção agrícola e os solos tornam-se mais ácidos pela intensificação da produção agrícola e à aplicação contínua de nitrogênio (Schroder *et al.* 2011). Um dos principais motivos da acidificação do solo é o processo de nitrificação (Kariuki *et al.* 2007), através da oxidação de NH_4^+ em NO_3^- , produzindo assim H^+ e diminuindo o pH do solo (Hao *et al.* 2020). Portanto, embora esses fertilizantes nitrogenados não sejam ácidos, a entrada no solo de modo contínuo acaba reduzindo o pH do solo (Chien *et al.* 2008).

O efeito dos processos biológicos no solo, a utilização de fertilizantes com pH baixo são fonte de acidificação do meio. Embora o efeito destes agentes da acidez do solo seja conhecido, pouco se sabe sobre o impacto na BMS, especialmente em sistemas de longo prazo com aplicação contínua de fertilizantes comerciais.

O cálcio e o magnésio são nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Hirschi 2004), mas o papel no solo, especialmente os efeitos relativos na estrutura do solo, não são claros (Culman *et al.* 2021). O cálcio (Ca) desempenha importante papel na melhoria da aglomeração do solo e na complexação com a matriz da matéria orgânica e superfícies carregadas negativamente das partículas de argila, além da estabilização do carbono orgânico (Rowley *et al.* 2018). Todavia, existem relatos conflitantes sobre o papel do magnésio (Mg) na promoção ou redução da agregação do solo e da infiltração de água (Chaganti & Culman 2017). Por exemplo, estudos salientaram que o excesso de magnésio no solo pode reduzir a agregação e infiltração do solo (Smith *et al.* 2014, Zhu *et al.* 2019), enquanto outros estudos não mostraram nenhum efeito (Chaganti *et al.* 2021, He *et al.* 2013).

Para alcançar níveis ideais de Ca e Mg, costuma-se usar gesso agrícola (sulfato de cálcio) e calcário com alto teor de cálcio (Brock *et al.* 2020). Os corretivos de calcário são usados, principalmente para corrigir a acidez do solo e aumentar o pH do solo (Fageria & Baligar 2008). A saturação de Ca do solo também aumenta após a aplicação de calcário. É geralmente aceite que a acidez do solo é fator limitante importante para o crescimento e rendimento das culturas. As principais culturas comerciais, em solos ácidos, apresentam frequentemente toxicidade de Al e manganês (Mn) e são deficientes em Mg, Ca, fósforo (P) e molibdênio (Mo) (George *et al.* 2012).

2.2 Correção da acidez do solo

Os solos brasileiros utilizados na agricultura são, de modo geral, ácidos. Nestas condições, o cultivo da maioria das plantas convencionais torna-se pouco viável, principalmente pela baixa adaptabilidade das plantas, o que demanda a necessidade de correção do pH do solo. O desenvolvimento radicular, a atividade dos microrganismos e a disponibilidade de nutrientes estão diretamente relacionados ao pH do solo (Taiz *et al.* 2017). A correção da acidez natural

em solos é prática mandatória para a produção agrícola, visando promover melhor crescimento e produção das plantas pela eliminação dos efeitos deletérios da toxidez por Al (Crusciol *et al.* 2016, Tiritan *et al.* 2016).

O sistema de produção do Cerrado, logo após a conversão da vegetação natural em terras agrícolas, caracterizou-se pelo revolvimento constante do solo, com lavrações e gradagens, e no uso intensivo de corretivos da acidez e fertilizantes, visando corrigir a acidez do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes, especialmente o P e K. Logo, a acidez natural do solo da camada superficial foi corrigida com aplicação de corretivo incorporado. Somente depois do início do presente século é que a maioria das lavouras foi convertida em sistema sem revolvimento. Na transição para o SPD, a maioria dos agricultores e empresas interromperam o sistema de revolvimento, sem a avaliação química do solo e, particularmente, sem as devidas correções do solo em profundidade por meio da calagem (Rheinheimer *et al.* 2018). Visto isso, prevalecem os atuais problemas relacionados à acidez, toxicidade por Al^{+3} e o baixo conteúdo de Ca em camadas mais profundas do solo (Zandoná *et al.* 2015).

As populações microbianas são diretamente afetadas pelas condições ambientais, portanto, a calagem frequentemente altera a qualidade ambiental e a BMS. Diferentes grupos de microrganismos adaptam-se a diferentes condições de pH, podendo interferir na composição da microbiota do solo. Para cada situação agrícola, o solo pode se tornar mais ácido por causa do papel dos microrganismos na decomposição dos resíduos vegetais, na absorção de nutrientes pelas plantas, na adição de fertilizantes ao solo e nos sistemas de manejo do solo empregados (Meurer *et al.* 2010).

O incremento nos teores dos macros secundários, Ca e Mg no solo também é consequência da aplicação de corretivos, porém, sua eficiência está relacionada ao uso de doses adequadas, das características dos produtos e uso da técnica de aplicação correta (Caires *et al.* 2000). Segundo Caires *et al.* (2004), existem informações conflitantes a respeito da eficiência da

aplicação superficial de calcário em sistema de plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo e de critérios de recomendação de calagem para tal sistema de cultivo.

A inclusão do calcário na dosagem recomendada para elevar o pH do solo para 6,0 e no maior volume de solo possível (geralmente na camada de 0 a 20 cm), principalmente na conversão de sistemas naturais ou no início da implementação do SPD, é considerado prática recomendada para manter alta produtividade no longo prazo (Kaminski *et al.* 2007). Isso ocorre porque as mudanças nas propriedades químicas promovidas pela calagem são lentas e o processo de reacidificação torna-se mais difícil de progredir em direção às condições originais (Rheinheimer *et al.* 2018).

O calcário reage de forma relativamente lenta com o solo e depende essencialmente da presença de prótons na solução do solo. Ademais, o fato de todas as reações terem sido limitadas ao solo em contato com as partículas de correção, uma vez que a solubilidade depende da presença de H^+ na solução do solo (Kaminski *et al.* 2007), apenas prevê que o local da correção de acidez fica próximo ao local que o calcário foi aplicado.

A redução na atividade do Al^{3+} leva à dissorção do Al^{3+} fracamente adsorvido (potencialmente ácido), enquanto os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} o substituem no grupo funcional agora desbloqueado. A neutralização do Al é primordial para um sistema de produção bem-sucedido. Isto ocorre porque os solos contendo altas concentrações de Al^{3+} limitam o crescimento das plantas e o desenvolvimento das raízes (Tang *et al.* 2003). Os sintomas de concentrações elevadas de Al^{3+} incluem espessamento das raízes e redução da ramificação, reduzindo a absorção de água e nutrientes, resultando em plantas mais frágeis, especialmente sob condições de limitação de água (Li *et al.* 2019, Tang *et al.* 2003).

Pode-se concluir que a correta correção da acidez eleva o pH de cada solo a um valor predefinido, neutraliza o Al^{3+} tóxico (Zandoná *et al.* 2015), fornece Ca^{2+} e Mg^{2+} (Sumner & Yamada 2002), promovem a desprotonação de grupos funcionais (aumentam a capacidade de

troca catiônica – CTC efetiva) e reduzem a capacidade de adsorção de fosfato, entre outros. Todos esses efeitos provenientes dos calcários favorecem o crescimento das raízes e criam condições que melhoram a disponibilidade e absorção de água e nutrientes essenciais à cultura (Sumner e Yamada 2002, Yamada 2010).

2.3 Eficiência dos corretivos de acidez do solo

A eficiência dos corretivos está diretamente relacionada com a qualidade do produto e granulometria. O efeito da aplicação de calcário com diferentes granulometrias mostra que em função do tempo de reatividade, quanto menores as partículas, mais rápida a reação química (Ratke *et al.* 2021). O calcário convencional em pó ainda é a opção mais utilizada como corretivo de solo, apesar das dificuldades de aplicação por ser pó e da distribuição desuniforme causada principalmente pelo vento. Outras opções de corretivos vêm se tornando populares, principalmente os corretivos granulados, à base de óxidos ou hidróxidos de cálcio e magnésio, e mesmo carbonatos de cálcio e magnésio, como o calcário tipo *filler* granulado ou o calcário nano particulado (Barth *et al.* 2018).

O SPD depois de estabelecido requer a correção da acidez do solo realizada por meio da aplicação de calcário na superfície, sem incorporação. Em razão da baixa solubilidade do calcário e dos produtos de sua reação no solo, a calagem superficial normalmente não apresenta efeito rápido na redução da acidez em camadas do subsolo, particularmente em solos com cargas variáveis (Ernani *et al.* 2004). Porém, a calagem superficial pode ter ação na correção da acidez em camadas subsuperficiais, dependendo de condições favoráveis para a solubilização e a migração de Ca e Mg para as camadas mais profundas (Caires *et al.* 2005), principalmente partículas menores e mais permeáveis ao solo.

O aumento da mineralização da matéria orgânica e beneficiamento da fixação simbiótica de N também são influenciados pela aplicação de corretivos, já que são processos mediados por

bactérias que são consideradas basófilas (Michereff 2005). Além das características químicas e físicas citadas, a alteração do pH pode modificar de forma intensa a BMS, a atividade e a relação bactéria/fungo (Kamble 2018). A BMS é a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo (MO), em geral concentrada nas camadas superficiais do solo que inclui diversos microrganismos que atuam desde a formação do solo pela intemperização das rochas, até a decomposição de resíduos orgânicos e a ciclagem de nutrientes.

A quantidade de microrganismos e a composição da BMS podem ser afetadas de acordo com a quantidade de material orgânico, aeração, umidade, temperatura, pH, sistema de cultivo, adubação, rotação de culturas, textura do solo, entre outros (Moreira *et al.* 2006). Dessa forma, a BMS apresenta-se como indicador biológico importante pela capacidade em responder rapidamente às alterações no solo (Knupp *et al.* 2011).

A prática de calagem superficial com os diferentes corretivos utilizados pode causar a alteração da BMS e do pH, afetando a disponibilização de nutrientes para a planta, além da distribuição de Ca e Mg no perfil do solo e conseqüentemente afetando a produtividade (Rheinheimer *et al.* 2018).

Os microrganismos são reconhecidos pela habilidade em promover transformações bioquímicas dos nutrientes e por disponibilizar estes nutrientes para as plantas. A biomassa microbiana ainda contribui no aspecto físico do perfil, pois, os microrganismos contribuem para a estabilidade de agregados dos solos (Lourente *et al.* 2011). A diversidade de microrganismos no solo é muito maior do que se imaginava e pelas alterações realizadas por práticas agrícolas, essa diversidade pode ser perdida antes mesmo de tornar-se conhecida (Curtis *et al.* 2002). A preservação do pH ótimo, entre 6 e 7, faz-se necessária, tanto para o desenvolvimento da BMS que é a parte viva da matéria orgânica do solo, quanto para o desenvolvimento da maioria das culturas de interesse do agronegócio brasileiro como a soja (Freitas *et al.* 2017). Em muitos tipos de solos brasileiros, de baixa fertilidade natural, o baixo pH e presença pequena de Ca e Mg são

limitantes naturais para a introdução de cultivos comerciais como a soja e o milho (Li *et al.* 2019).

Além destes fatores, as alterações no pH do solo interferem sobre diversos processos fisiológicos da planta, além da disponibilização de nutrientes, da absorção de água pelo aumento da massa radicular e do melhor desenvolvimento da cultura, podendo impactar na produtividade (Zandoná *et al.* 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em campo, no ano agrícola de 2022/23, considerando a safra de soja e safrinha de milho. A área experimental fica no município de Rio Verde – GO, precisamente na Fazenda Pindaíbas (coordenadas: 17°29'51" S 50°54'34" W). A área vem sendo cultivada com o sistema soja-milho, em SPD, há mais de 10 anos, e representa bem a maior parte das áreas da região, também em termos de fertilidade de solo. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura argilosa.

3.2 Instalação e condução do experimento

3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, composto de 4 corretivos de pH do solo com 5 repetições, totalizando 20 unidades experimentais, de 30 m² cada (6 linhas de 0,5 m x 10 m de comprimento). A amostragem de solo foi feita individualmente em todas as parcelas (2 subamostras por parcela), previamente à aplicação dos corretivos, visando obter os dados para a recomendação de calagem.

Tabela 1. Resultados da análise de solo utilizados como referência para a recomendação de calagem. Rio Verde – GO, 2022.

Profund.	pH		$cmolc \cdot dm^{-3}$						$mg \cdot dm^{-3}$ (ppm)				
	$CaCl_2$	H_2O	Ca+Mg	Ca	Mg	Al	Al	K	K	el)	s)	m)	
0-20	5,7	4,5	ns	1,53	1,19	0,34	0,52	6,9	0,0	33	12,1	ns	ns
20-40	5,	4,5	ns	0,96	0,74	0,22	0,49	6,6	0,0	33	4,2	ns	ns

$mg \cdot dm^{-3}$ (ppm)		micronutrientes $mg \cdot dm^{-3}$					Textura ($g \cdot dm^{-3}$)		
S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Argila	Silte	Areia
29,9	0,20	1,3	48	10,3	1,3	1,6	530	50	420
61,4	0,18	1,2	71	6,6	1,4	1,8	530	50	420

$g \cdot dm^{-3}$		$cmolc \cdot dm^{-3}$		%			Relação entre bases:					
M.O.	C.O.	T	t	V	Sat.	TC	CTC	TC	H ⁺ CTC	Mg	Ca/K	Mg/K
23,1	13,4	8,5	2,1	18,9	24,4	14,0	4,0	0,9	81,2	3,5	14,9	4,2
20,7	12,0	7,6	1,5	13,7	32,0	9,7	2,9	1,1	86,8	3,4	9,2	2,8

Fonte: Laboratório EXATA – Jataí - GO

Os tratamentos foram representados por diferentes corretivos: hidróxido de cálcio (HC), calcário dolomítico tipo *filler* (CF), calcário dolomítico nano particulado (CDN) e calcário dolomítico nano particulado mais silicato de magnésio (CDNS), além de um tratamento controle, sem aplicação de corretivo. O CDN utilizado foi o Mag da Polli Fertilizantes e o CDNS, foi o mesmo Mag, adicionado do Mg⁺, também da Polli Fertilizantes.

As análises de solo feitas previamente apresentaram na profundidade de 0-20 um V% de 18,9 e seguindo o método de elevação da porcentagem de saturação por bases (V2-V1).(T/PRNT) mostrando a necessidade de um volume de 4,34 toneladas de calcário PRNT 100% por hectare para elevar o V% a 70. Além disso, a concentração de Ca no solo era de 1,19 $cmol/dm^3$ considerado baixo para solos do Cerrado e a concentração de Mg foi de 0,5 $cmol/dm^3$

também considerado baixo. As concentrações de cálcio e magnésio encontradas foram comparadas com a classificação definida conforme Souza e Lobato (2004), que consideram para solos do Cerrado brasileiro, as faixas de concentração de cálcio e magnésio classificadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Faixas de concentração de nutrientes e classificação de níveis.

FAIXAS	CÁLCIO	MAGNÉSIO
0-20cm	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³
BAIXO	<1,5	<0,5
ADEQUADO	1,5 – 7,0	0,5 – 2,0
ALTO	>7,0	>2,0

Fonte: Souza e Lobato (2004).

Para o tratamento com calcário dolomítico nano particulado adicionado de silicato de magnésio (CDNS) foi considerado como parâmetro de recomendação a extração de magnésio pelo ciclo soja-milho nas faixas de produtividade de 3,65 t/ha para a soja, com extração de 10kg/ha de Ca e 10 Kg/ha de Mg e 5,8 t/ha para a cultura do milho, com extração de 17 kg/ha de Ca e a mesma quantidade para o Mg, conforme Coelho *et al* (2020), dados não publicados. Além destes tratamentos, foi adicionado um tratamento controle sem corretivo.

3.2.2 Implantação e condução

A área escolhida foi medida e estaqueada, e após definição dos tratamentos, os produtos foram aplicados conforme previsto. O experimento foi implantado na cultura da soja, e o plantio ocorreu durante a semeadura da Fazenda, utilizando o mesmo equipamento e insumos. Os tratos culturais seguiram o calendário da Fazenda.

As análises químicas e biológicas seguiram o mesmo calendário, porém com amostragens específicas, de 0 a 10 cm para as análises biológicas e coletadas de 0 a 20cm e de 20 a 40cm de profundidade para as análises químicas, sendo a primeira coleta aos 30 dias após a aplicação e

depois a aproximadamente cada 45 dias. As análises de solo foram feitas previamente à aplicação dos corretivos para embasamento da recomendação no caso da análise química e de referência para as análises biológicas. Já as coletas para a avaliação microbiológica foram realizadas no mesmo momento das análises físico-químicas, utilizando amostras específicas de cada parcela, as amostras coletadas foram compostas de 2 subamostras, sendo obtidas nas áreas definidas para cada tratamento nas respectivas repetições

As especificações dos produtos utilizados no projeto, são descritas abaixo:

- Calcário dolomítico granulado nano particulado (CDN), (SE Mag, marca Polli) que possui 33,5% de CaO, (24% Ca) e 13,27% de MgO, (8% Mg);
- Calcário dolomítico *filler* em pó (CD) que apresenta 30% de CaO, (21% Ca) e 18% de MgO, (11% Mg) e PRNT de 100%, conforme especificações da indústria;
- Hidróxido de Cálcio em pó (HC), que apresenta na composição 31% de CaO, (22% Ca), 7% de MgO, (4% Mg), além de 4,4% de S na forma elementar e 2% de Silício, este com PRNT 135%, conforme especificação do fabricante;
- Calcário dolomítico granulado nano particulado (SE Mag, marca Polli) que possui, 33,5% em CaO, (24% Ca) e 13,27% em MgO, (8% Mg) adicionado do silicato de magnésio nano particulado (SE Mg+ marca Polli) (CDNS) que possui 24% de MgO (14% Mg) e 10% de Silício.

Além dos produtos acima, utilizados como corretivos, houve controle sem a adição de corretivos.

Os tratamentos avaliados seguiram a seguinte ordem:

- T1 - 0 Kg/ha - Testemunha;
- T2 - 4,34 T/ha CD, 13,2 Kg/parcela. Aplicação a lanço, em superfície, sem incorporação;

- T3 - 1,32 T/ha de CDN (SE Mag, marca Polli), 3,9 Kg/parcela, equivalente a 30% da dose recomendada do calcário convencional, conforme indicação do fabricante. Aplicação a lanço, em superfície, sem incorporação;
- T4 - 2,2 T/ha de HC 6,6 Kg/parcela, equivalente a 50% da dose recomendada de calcário convencional, conforme indicação do fabricante;
- T5 - 1,32 T/ha de CDNS (SE Mag, marca Polli e SE Mg+ marca Polli), 3,9 Kg/parcela, equivalente a 30% da dose recomendada do calcário convencional, mais 90 Kg/ha de Silicato de Mg 0,27Kg/parcela. Aplicação a lanço, em superfície, sem incorporação.

O volume de corretivo pedido, supre as quantidades de Cálcio e Magnésio requeridas pelas plantas do ciclo soja-milho, nas produtividades esperadas, sendo suficiente também, para elevar o porcentual de cálcio e magnésio na CTC para níveis adequados. Considerando o volume de cálcio e magnésio aplicado na dose proposta, é possível estimar acréscimo aproximado de 2 cmol/dm³ de cada nutriente ao solo. Deste modo a dosagem de calcário supre todas as necessidades destes elementos no ciclo observado.

Outro produto testado foi o hidróxido de cálcio e magnésio, por possuir um PRNT acima de 135%, considerou-se sob orientação do fabricante, a dose de 50% da dose recomendada de calcário *filler*. Os carbonatos nano particulados são inovação e segundo o fabricante as características físico-químicas permitem uma dose de 30% da dose recomendada de calcário PRNT 100%.

O plantio da soja ocorreu em 01 de outubro de 2022 e a colheita da soja no dia 26 de janeiro de 2023, na sequência, foi realizado o plantio do milho no dia 05 de fevereiro e a colheita do milho ocorreu em 15 de julho de 2023.

A adubação de base e cobertura complementar utilizada pela propriedade, foi a mesma em toda área plantada e com as mesmas quantidades de nutrientes adicionados e demonstrados na Tabela 3.

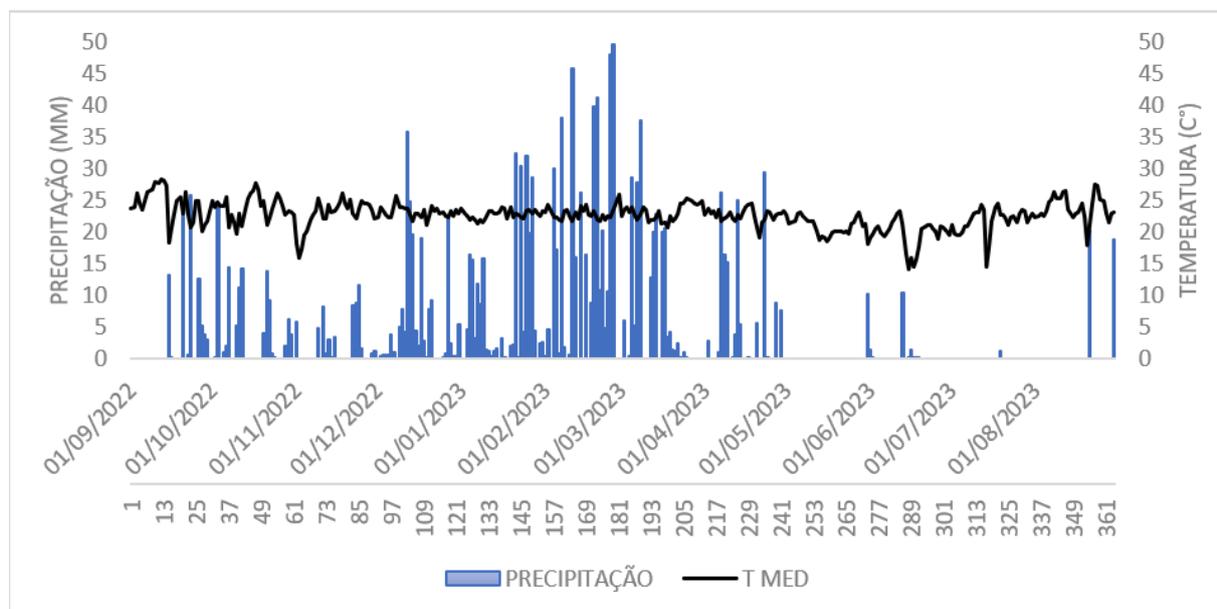
Tabela 3. Quantidades de nutrientes adicionados pelos fertilizantes e corretivos no ciclo soja-milho em cada tratamento.

Período	Fertilizantes / Tratamentos	Nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
		-----kg/ha-----				
Pré-plantio	T2 Calcário				868	580
	T3 Mag				316	105
	T4 Hidróxido				484	110
	T5 MagMg+				316	124
Plantio da Soja	02-20-20	8	80	80		
Plantio do Milho	16-16-16	32	32	32		
	Uréia 46%	92				
	KCL			60		

Foram usados 400 kg/ha da fórmula NPK 02-20-20, totalizando 8 kg de nitrogênio, 80 kg de fósforo e 80 kg de potássio por hectare na soja e semeada a cultivar BRASMAX FOCO IPRO. Uma dose de 200kg/ha da fórmula NPK 16-16-16, totalizando 32 kg de cada nutriente NPK por hectare aplicada na semeadura do milho com complementação de cobertura nitrogenada feita com ureia 46% de N na dose de 200 kg/ha, ou seja, 92 kg de nitrogênio por hectare, mais 100kg de cloreto de potássio 60% de K, 60 kg de potássio por ha e utilizado o híbrido BREVANT 2800 VYHR. Os controles fitossanitários ocorreram conforme a necessidade e de acordo com o manejo padrão da fazenda.

O regime de chuvas no período mostra que a disponibilidade de água no ciclo safra e safrinha foi dentro do esperado, conforme observado na figura 1 abaixo.

Figura 1. Regime de chuvas e datas de coleta das amostras de solo do experimento.



Fonte: INMET

3.3 Avaliações realizadas

Anteriormente à aplicação dos produtos, foi realizada amostragem de solo para definir os parâmetros para a recomendação dos corretivos também para obter referência da BMS, antes da aplicação dos corretivos (Tabela 1). Os tratamentos foram aplicados concomitantemente com o plantio da soja, os produtos foram aplicados manualmente. As amostras foram coletadas com o auxílio de trado holandês.

As análises de solo previstas durante o ciclo safra-safrinha, seguiram o cronograma, dentro do possível, considerando a autorização do agricultor, o clima e a disponibilidade de equipamentos. As coletas foram feitas com 2 subamostras, compondo uma amostra que foi acondicionada em saco plástico, próprio para amostragem, quando todas foram identificadas e lacradas.

As amostras para análise biológica foram coletadas no período pré-tratamento e como citado, serviram de referência para comparativo com as demais amostras durante o ciclo soja-milho. As coletas das amostras biológicas subsequentes ocorreram no início do ciclo da soja aos

30 dias após a aplicação dos corretivos, no final do ciclo da soja, após início do ciclo do milho e final do ciclo soja-milho. Somente ao final das coletas foram encaminhadas, em conjunto, para análise de respiração microbiana, biomassa microbiana e quociente metabólico da biomassa.

As coletas para análises químicas também foram feitas previamente para obter os parâmetros de recomendação dos corretivos e repetiram aos 30, 76, 113 e 161 e 276 dias após a aplicação e foram encaminhadas imediatamente após a amostragem para a análise de pH, cálcio, magnésio nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

A avaliação de produtividade das culturas foi feita colhendo de maneira manual as 2 linhas centrais e 5 metros de comprimento, totalizando 5 m² de área útil.

Essas amostras foram trilhadas mecanicamente, em seguida foi determinada a umidade dos grãos e pesadas em balança de precisão, para então ser estimada a produtividade (kg ha⁻¹), com a umidade corrigida para 13%. Na cultura do milho, para a avaliação da produtividade, as espigas foram colhidas manualmente numa área de 5 m², sendo essas trilhadas, os grãos pesados e posteriormente foi feita a aferição da umidade. A produtividade de grãos (kg ha⁻¹) foi estimada com a umidade ajustada para 13%.

3.3.1 Análises Biológicas

3.3.1.1 Respiração basal do solo

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada conforme o método descrito por Alef (1995), através da captura e quantificação do CO₂ produzido pela respiração microbiana por um período de incubação de 72 horas. Para isso, subamostras de 20 g de solo, previamente peneiradas em malha de 2 mm, tiveram a umidade ajustada a 60% da capacidade de campo. Posteriormente, as amostras foram incubadas, em temperatura ambiente no escuro, em um recipiente de 1,8 L hermeticamente fechado. Foram incubados juntamente com cada amostra de solo, um recipiente contendo 10 mL de solução de NaOH (0,5 M), para a captura do CO₂

produzido pela respiração microbiana, e outro recipiente com 10 mL de água destilada, para manter a umidade das amostras durante o período de incubação. Foram incubados recipientes sem amostras de solo, contendo apenas 10 mL da solução de NaOH (0,5 M) e outro recipiente com 10 mL de água destilada (amostras em branco), para verificar a eficiência do procedimento analítico. Após a incubação das amostras, o CO₂ produzido pela respiração microbiana, capturado pela solução de NaOH, foi quantificado. A solução de NaOH foi transferida para Erlenmeyer de 125 mL, e foram adicionados 1 mL de solução de BaCl₂·2H₂O (50%) e duas gotas de fenolftaleína (0,1%). O excesso de NaOH foi titulado com HCl (0,5 M), sendo observada a mudança de cor das amostras de rosa para incolor, registrando o volume de HCl gasto para cada amostra. A respiração foi expressa em “mg C-CO₂ kg⁻¹ solo seco h⁻¹”.

3.3.1.2 Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

O Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C_{mic}) foi determinado pelo método da fumigação-extração conforme Vance *et al.* (1987), com modificações conforme Scott-Denton *et al.* (2006) e McDaniel *et al.* (2014), que consiste na oxidação do carbono orgânico pelo K₂Cr₂O₇ de amostras de solo fumigado e não fumigado com clorofórmio. Após a adição de 1 mL de clorofórmio às amostras de solo fumigado, procedeu-se a incubadas por 24 h a temperatura ambiente. Após isto, as amostras foram deixadas em capela de exaustão por 1 hora, para permitir a evaporação do clorofórmio. A extração do C orgânico das amostras de solo fumigado e não fumigado foi realizada adicionando-se 12,5 mL de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹, após isto as amostras foram submetidas à agitação orbital (220 rpm) por 30 minutos a temperatura ambiente. Após a agitação, as amostras foram deixadas sobre a bancada a temperatura ambiente para a decantação do solo. Em seguida, o sobrenadante foi filtrado, evitando-se a ressuspensão do solo. Para a determinação do carbono microbiano, transferiu-se 8 mL do extrato previamente filtrado para Erlenmeyer de 125 mL; adicionou-se 2 mL de solução de K₂Cr₂O₇ 0,066 M, 10 mL

de H₂SO₄ P.A. e 5 mL de H₃PO₄ P.A., em ordem cronológica. Após o resfriamento da amostra, adicionou-se 70 mL de água destilada; após resfriamento, foram adicionadas 4 gotas de difenilamina 1%. O K₂Cr₂O₇ residual foi quantificado por meio de titulação com [(NH₄)₂Fe(SO₄)₂·6H₂O] 0,033 M. A determinação do carbono foi utilizada para a estimativa da biomassa microbiana do solo, segundo a fórmula: [(mg C de solo fumigado – mg C de solo não fumigado)/Kec]. O Kec representa o fator de correção.

3.3.1.3 Quociente metabólico

A partir dos valores de RBS e C_{mic}, calculou-se o quociente metabólico do solo (qCO_2), que representa a quantidade de C-CO₂ evoluído por unidade de C microbiano (Anderson & Domsch 1993). Os resultados foram expressos em mg CO₂-C g⁻¹ C_{mic} h⁻¹.

3.4 Análise estatística

Os dados de produtividade e dos parâmetros químicos do solo foram tabulados e submetidos à análise de variância. Quando detectado efeito significativo dos corretivos pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Também foi feita uma Análise dos Componentes Principais (ACP) com os dados coletados das análises biológicas (respiração microbiana, biomassa microbiana e o quociente metabólico da biomassa) e os dados de pH, Ca e Mg do solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade das culturas da soja e do milho

Na cultura da soja, as maiores produtividades foram observadas nos tratamentos com calcário dolomítico nano particulado (CDN), hidróxido de cálcio (HC) e calcário dolomítico nano particulado + silicato de Mg (CDNS). Os tratamentos com produtos de maior solubilidade, possivelmente permitiram maior aporte de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) durante o ciclo da cultura, refletindo no aumento significativo na produtividade (Tabela 4). Considerando a redução de dose de até 70% destes produtos, o aumento de produtividade observado corrobora com esta recomendação de redução de dose, por possuírem maior solubilidade e reatividade, disponibilizando os nutrientes durante o primeiro ciclo soja-milho, diferente do calcário que demanda tempo maior.

Tabela 4. Produtividade de grãos de soja e de milho (cultivado em sucessão) em resposta a aplicação superficial de corretivos de acidez do solo. Rio Verde, GO. 2023.

Tratamentos	Produtividade Soja	Produtividade Milho
	----- kg ha ⁻¹ -----	
Controle	4605 ab	7268 c
Calcário	4560 b	7834 c
MAG	4816 a	9003 ab
Hidroxido	4698 a	7524 bc
MagMg+	4795 a	9742 a
CV %	4,47	10,15

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A cultura do milho respondeu de forma semelhante, de modo que os produtos de maior solubilidade apresentaram melhor resposta em produtividade, enquanto o calcário convencional aplicado em superfície, não foi efetivo em incrementar as produtividades.

Besen *et al.* (2021), ao analisarem o manejo da aplicação de calcário convencional (superficial e incorporado) e seu impacto na produtividade da cultura do milho, observaram que a incorporação de calcário aumentou a produtividade em até 445 kg ha⁻¹ em comparação com o aplicado em superfície. Pela baixa solubilidade do calcário convencional, o tempo necessário reagir, quando incorporado, para um calcário *filler*, PRNT 100% é de 3 meses e nas condições do Cerrado Goiano, onde o plantio ocorre no momento das primeiras chuvas, o calcário, mesmo incorporado, reagirá completamente apenas no final do ciclo da cultura, limitando os benefícios da calagem nesta primeira safra. Quando aplicado em superfície, a limitação poderá ser maior, conforme citado.

4.2 Teores de cálcio, magnésio e pH do solo

Os resultados das análises químicas obtidos considerando o pH, cálcio e magnésio, todos de 0-20 cm e de 20-40 cm estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de pH e teores de cálcio e magnésio do solo (camadas 0-20 cm e de 20-40 cm) durante um ciclo de soja-milho, avaliado em número de dias após o plantio (DAP), em resposta a aplicação superficial de corretivos de acidez.

Tratamentos	DAP 00-20 cm									
	30		76		113		161		278	
	----- pH (CaCl ₂) -----									
Controle	4.42	AB	4.42	A	4.37	B	4.47	A	4.47	A
Calcário	4.50	AB	4.50	A	4.41	AB	4.60	A	4.62	A
Mag	4.59	A	4.41	A	4.45	AB	4.60	A	4.60	A
Hidrox	4.48	AB	4.35	A	4.47	AB	4.67	A	4.65	A
MagMg+	4.40	B	4.50	A	4.57	A	4.60	A	4.49	A
CV (%)	1.80		2.39		1.88		2.15		2.33	

pH	DAP 20-40 cm									
	Tratamentos	30		76		113		161		278
Controle	4.37	AB	4.22	A	4.12	A	4.35	A	4.35	A
Calcário	4.10	C	4.30	A	4.2	A	4.45	A	4.40	A
Mag	4.40	A	4.30	A	4.22	A	4.47	A	4.50	A
Hidrox	4.30	AB	4.30	A	4.22	A	4.55	A	4.37	A
MagMg+	4.25	B	4.20	A	4.23	A	4.43	A	4.42	A
CV (%)	1,55		2.33		1.55		2.41		4.03	

Ca cmol/dm ³	DAP 0-20 cm									
	Tratamentos	30		76		113		161		278
Controle	1.840	A	2.152	A	1.250	A	1.060	A	1.060	B
Calcário	2.020	A	1.947	AB	1.480	A	1.312	A	1.645	A
Mag	1.970	A	1.902	AB	1.452	A	1.440	A	1.692	A
Hidrox	1.340	B	1.547	B	1.242	A	1.202	A	1.817	A
MagMg+	1.260	B	1.797	A	1.540	A	1.265	A	1.100	B
CV (%)	12.75		11,29		12.810		15.42		10.770	

Ca cmol/dm ³	DAP 20-40 cm									
	Tratamentos	30		76		113		161		278
Controle	1.10	A	0.90	A	0.58	A	0.70	B	0.70	B
Calcário	1.10	A	0.93	A	0.63	A	0.67	B	0.82	AB
Mag	1.19	A	0.92	A	0.73	A	1.13	A	1.12	A
Hidrox	0.86	B	0.96	A	0.69	A	0.75	B	0.82	AB
MagMg+	0.88	B	0.73	A	0.62	A	0.73	B	0.77	AB
CV (%)	7.70		11.74		12.26		20.56		19.82	

Mgcmol/dm ³	DAP 0-20 cm									
	Tratamentos	30		76		113		161		278
Controle	0.4125	C	0.450	B	0.387	B	0.335	C	0.302	B
Calcário	0.6075	B	0.620	A	0.535	A	0.540	A	0.532	A
Mag	0.6875	A	0.562	AB	0.540	A	0.547	A	0.507	A
Hidrox	0.4150	C	0.525	AB	0.467	AB	0.532	AB	0.580	A
MagMg+	0.3875	C	0.522	AB	0.520	A	0.467	B	0.285	B
CV (%)	6.01		11,24		11.53		6.63		12.23	

Mgcmol/dm ³	DAP 20-40 cm									
	Tratamentos	30		76		113		161		278
Controle	0.29	AB	0.24	BC	0.18	B	0.22	CD	0.21	A
Calcário	0.31	AB	0.30	AB	0.20	AB	0.17	D	0.21	A
Mag	0.37	A	0.25	BC	0.19	A	0.35	A	0.30	A
Hidrox	0.27	AB	0.34	A	0.26	AB	0.30	AB	0.28	A
MagMg+	0.20	B	0.21	C	0.24	AB	0.27	BC	0.28	A
CV (%)	19.69		12.48		15.38		11.50		17.66	

Os resultados obtidos quanto ao pH sugerem que nos primeiros 30 dias, por causa da maior solubilidade do calcário dolomítico nano particulado, houve ação de aumento do pH tanto de 00-20 cm quanto de 20-40 cm de profundidade. Porém, observando que o mesmo calcário dolomítico nano particulado está presente em mesma dose, junto ao silicato de Mg no último tratamento e o tratamento mostrou-se inferior quanto à correção de pH nos primeiros 30 dias, em ambas as profundidades, apesar de uma dose baixa de silicato de magnésio, esta pode sugerir que a menor solubilidade do silicato de Mg poderia interferir na solubilidade do calcário dolomítico nano particulado, o volume de chuvas do período foi de apenas 93 mm. Esta interação entre silicato e carbonato não é clara e a hipótese de interferência de um na solubilidade do outro não foi encontrada em literatura.

As análises a partir dos 30 dias até o final do ciclo soja-milho não mostraram alteração entre os tratamentos na profundidade 20-40 cm e não diferiram do tratamento controle, ao passo que, na profundidade 00-20 cm houve alteração na análise feita aos 113 dias, pós-colheita da soja, quando todos os tratamentos mostraram-se superiores ao tratamento controle quanto ao pH, resultado que pode ter sido influenciado pela remessa das amostras em tempos diferentes o que pode ter aumentado a possibilidade de leituras diferentes entre as bateladas enviadas (Tabela 5).

As análises de Ca na profundidade 00-20 cm demonstraram não haver diferenças estatísticas durante o ciclo da soja e do milho, sendo significativa para calcário dolomítico *filler*, calcário dolomítico nano particulado e hidróxido de cálcio, apenas ao final do ciclo soja-milho. O tratamento com MagMg+ não teve mais cálcio do que o controle. Este fato pode estar relacionado as produtividades do milho no tratamento com MagMg+, que foram significativamente maiores que os demais corretivos, e por consequência exportaram mais Ca e Mg, e influenciaram o Ca presente na última avaliação (Tabela 5).

Esta mesma constatação ocorre com o Mg de 00-20 cm, indicando essa possível correlação. Quanto as análises de 20-40 cm, o calcário dolomítico nano particulado, mostrou-se superior ao controle, em todas as datas amostradas, porém sendo inferior ao calcário *filler* aos 76 dias após a aplicação, sendo verificado na profundidade de 20-40 cm. Este tempo de reação está de acordo com a expectativa de um calcário PRNT 100% reagir próximo aos 90 dias após aplicação se houver umidade. Este período de 90 dias pós-aplicação dos corretivos acumulou volume de aproximadamente 300 mm de chuva bem distribuídos, propiciando aumento da umidade do solo (Figura 4). O volume de água necessário para a solubilização do calcário dolomítico nano particulado (SE Mag), segundo avaliações nos laboratórios da Polli Fertilizantes, é baixo, em comparação com o calcário convencional. Segundo a ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos, uma dose de 1000 kg de calcário dolomítico, analisado em laboratório, necessitou de aproximadamente 2500 mm de água para solubilizar, usando o mesmo teste, não publicado, o CDN demandou menos de 100 mm para solubilizar a dose equivalente, que seria de 30% do volume de calcário convencional, ou 300 kg de produto.

É possível observar que os corretivos de maior solubilidade permitem a disponibilização dos nutrientes em menor tempo.

A Tabela 6 mostra a diferença da quantidade de Ca e Mg na análise prévia de 00-20 cm e na análise final pós-ciclo soja-milho, considerando a extração pelas culturas.

Com a conversão dos índices de Ca e Mg em cmol dm^{-3} , para kg ha^{-1} e considerando o aporte de Ca e Mg em função das doses e concentrações do nutriente em cada produto utilizado no experimento e a extração verificada pela produtividade obtida, pode-se observar que as quantidades de Ca e Mg esperadas na análise final, que usou o calcário convencional, mesmo sendo *filler* ficou muito abaixo do esperado, ou seja, em um ciclo safra/safrinha com regime hídrico acima de 1200 mm no período, aproximadamente 80% do Ca aplicado neste tratamento não aparece na análise final, considerando a extração. Já nos tratamentos com produtos mais

solúveis, como o CDN, atingiu-se por volta de 80% do esperado, indicando que o aporte de Ca e Mg no ciclo soja/milho através de calcário convencional aplicado em superfície tem baixa disponibilidade no primeiro ano.

A continuação do trabalho, mais um ou 2 ciclos safra/safrinha, poderiam deixar mais claro em quanto tempo e quantidade de chuva, nesta condição do experimento, 100% do aporte de Ca e Mg estarão disponibilizados em todos os tratamentos.

Tabela 6. Quantidades de Ca e Mg no solo, valor encontrado ao final do ciclo soja-milho e valor esperado, considerando o aporte menos a extração.

Trat.	Valor encontrado 0 -20 Aportado - Extraído	
	Ca Kg / ha	
Controle	-52	-65
Calcário	180	864
MAG	200	245
Hidróxido	248	420
MagMg+	-36	243

Trat	Valor encontrado 0 -20 Aportado – Extraído	
	Mg Kg / ha	
Controle	-12	-54
Calcário	44	416
MAG	58	45
Hidróxido	73	26
MagMg+	0	57

Em vários estudos realizados em SPD foram destacados a eficiência da aplicação superficial de calcário na correção da acidez superficial do solo (Kaminski *et al.* 2005, Caires *et al.* 2006, Pauletti *et al.* 2014). Dada a baixa solubilidade do calcário, a extensão do impacto da calagem superficial nas propriedades químicas do solo pode variar dependendo da acidez da camada superficial, da dosagem utilizada, do tempo de reação e da disponibilidade de água. Ademais, os resultados mostram que a extensão deste efeito também depende da fonte e do tamanho das partículas do calcário utilizado.

O Mg no solo, apesar de estar ligado ao mesmo número de cargas, diferentemente deste, possui concentração mais baixa e a fim de evitar deficiência desse nutriente deve-se atentar para a solubilidade e concentração dos fertilizantes de magnésio, sendo que fontes de liberação lenta como o calcário dolomítico podem não fornecer a quantidade necessária para a planta, as baixas concentrações no produto e baixa solubilidade podem interferir negativamente na disponibilidade do nutriente. Ao mesmo tempo, os fertilizantes mais solúveis fornecem boa quantidade do nutriente às plantas, mas, sofrem com maior lixiviação, principalmente em solos arenosos e em épocas chuvosas, podendo necessitar várias entradas na área durante o ciclo da cultura, para ter eficiência no fornecimento do nutriente. Portanto, é essencial fazer a análise correta de qual fonte utilizar, considerando o solo e local que irá trabalhar (Senbayram *et al.* 2015).

Durante o experimento, o volume de precipitação pluvial total foi distribuído de maneira satisfatória nas culturas, foi benéfico para manter a umidade do solo e conseqüente absorção de nutrientes. Essa ocorrência aliada ao manejo de fertilizantes e à rotação de culturas (Miyazawa *et al.* 2002) favorece a correção da acidez em subsuperfície.

É considerável enfatizar que as partículas de calcário aplicadas na superfície estão associadas a cátions ligados e atingirão mais profundamente por causa do deslocamento mecânico através dos canais radiculares, microcanais biológicos (poros biológicos) (Petrere e Anghinoni 2001, Amaral *et al.* 2004). A água de percolação é conhecida por ser rica em produtos de dissolução de calcário, explicando a maior neutralização da acidez e deslocamento de cátions reativos alcalinos, permitindo que a ação ocorra em profundidade (Rheinheimer *et al.* 2000). Porém, nem todas estas condições necessárias que permitem a correção em profundidade com o calcário aplicado em superfície são atendidas, quando se observa a granulometria do calcário usado e o modelo agrícola do Cerrado em que a sucessão de culturas é muito limitada, podendo ser um impeditivo. Produtos com partículas menores, plantas de cobertura (adubação verde),

rotação de culturas e a descompactação do solo, seja com uso de equipamentos mecânicos ou agentes biológicos, são necessários para favorecer a correção em profundidade.

4.3 Análises biológicas do solo

Aos 30 dias após aplicação dos tratamentos, houve forte correlação positiva entre pH e Mg e uma correlação negativa entre o quociente metabólico e a biomassa microbiana. Não houve outras correlações significativas, considerando os diferentes produtos aplicados. O com hidróxido de cálcio e magnésio teve influência positiva sobre a respiração microbiana (Figura 2).

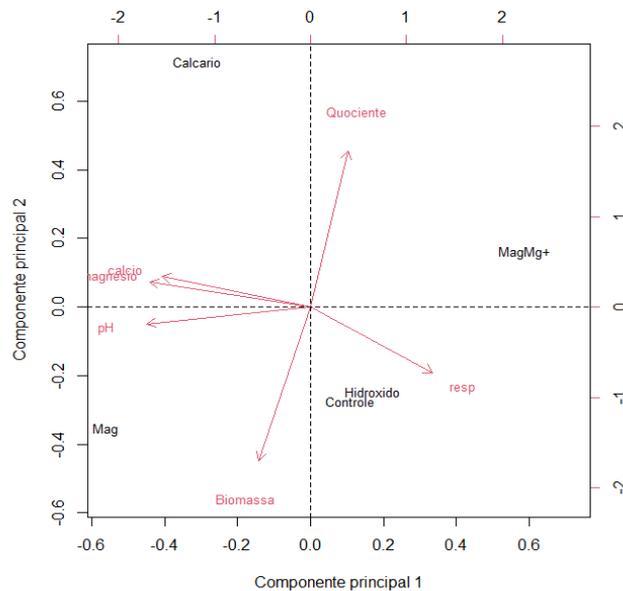


Figura 2. Correlações entre os tratamentos e variáveis avaliadas aos 30 dias, após a aplicação dos tratamentos.

Aos 30 dias, os solos tratados com Mag e Calcário, nesta ordem, demonstraram os maiores valores de pH, enquanto o solo com o tratamento MagMg+ teve o menor pH. Este comportamento do pH é causado pelos maiores teores de Ca encontrados nos solos corrigidos com Calcário e Mag, nesta ordem, e maiores teores de Mg observados nos solos tratados com Mag e Calcário, sendo os menores teores de ambos os elementos registrados no solo tratado com MagMg+. É interessante observar no solo tratado com Mag o maior teor de C-Biomassa

microbiana e menor valor de quociente metabólico (qCO_2). Demonstrando que o aumento no pH do solo deve garantir o balanço de Ca e Mg para que a biomassa microbiana, que é a parte viva da matéria orgânica do solo responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais, possa ser eficiente em imobilizar C (CBM-C) na biomassa com baixo valor de quociente metabólico (qCO_2). Indicando maior qualidade da matéria orgânica sob este tratamento que proporciona um ambiente de baixo nível de estresse. Isto possibilita alta taxa de ciclagem de nutrientes. Enquanto no solo tratado com calcário, embora tenha sido observado aumento no pH, encontrou-se o desbalanço de Ca e Mg. É interessante notar que neste solo foi encontrado o menor teor de C-Biomassa microbiana e maior valor de quociente metabólico (qCO_2), demonstrando que este tratamento proporciona um ambiente com maior nível de estresse, que reduz a taxa de ciclagem de nutrientes, reduzindo a qualidade da matéria orgânica do solo. Com relação ao comportamento da Biomassa microbiana e qCO_2 , observa-se que o solo tratado com MagMg+ demonstrou similaridade ao tratamento com calcário.

Aos 113 dias após tratamento, no final do ciclo da cultura da soja, manteve-se a correlação negativa entre quociente metabólico e Biomassa microbiana. Os tratamentos, Calcário convencional e MagMg+ tiveram influência positiva sobre o cálcio, o magnésio e o pH (Figura 3).

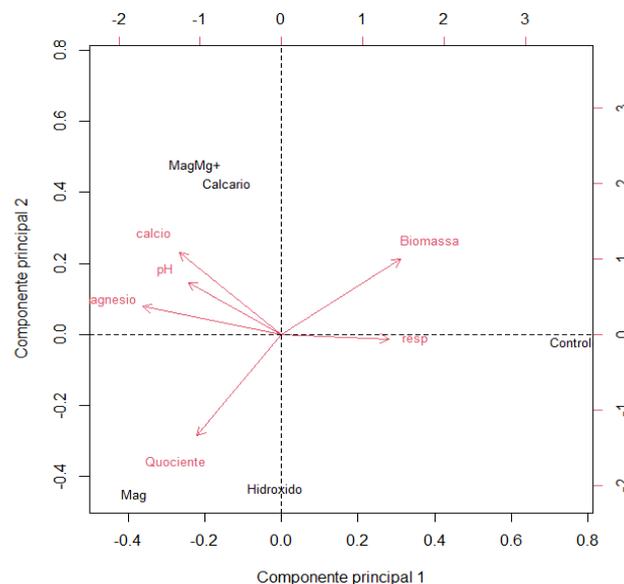


Figura 3. Correlações entre os tratamentos e variáveis avaliadas ao final do ciclo da soja.

Aos 113 dias, os solos tratados com Mag, Calcário e MagMg+, nesta ordem, os maiores teores de Mg^{2+} no solo. No entanto, diferente do comportamento observado aos 30 dias, o tratamento do solo com Mag diminuiu a biomassa microbiana e aumentou o qCO_2 . Comportamento semelhante ao observado no solo tratado com hidróxido. No solo tratado com MagMg+, embora tenha sido observado aumento da biomassa microbiana, observou-se aumentos na respiração basal e no qCO_2 , indicando ambiente com maior nível de estresse. Já no solo tratado com calcário, observou-se aumento na biomassa microbiana, com o menor valor de respiração basal e qCO_2 , proporcionando um ambiente de baixo nível de estresse, favorecendo a taxa de ciclagem de nutrientes, com maior qualidade da matéria orgânica.

No terceiro período de amostragem, aos 161 dias, durante o ciclo do milho, foi observado que se manteve a correlação negativa entre o quociente metabólico e a Biomassa microbiana a 5%. Houve redução na média da taxa respiratória e na biomassa microbiana, influenciando o aumento médio do quociente metabólico. A aplicação de hidróxido de cálcio e magnésio teve influência positiva na respiração microbiana, em paralelo os produtos Calcário *filler* e Mag, que apresentaram influência positiva sobre a Biomassa Microbiana (Figura 4).

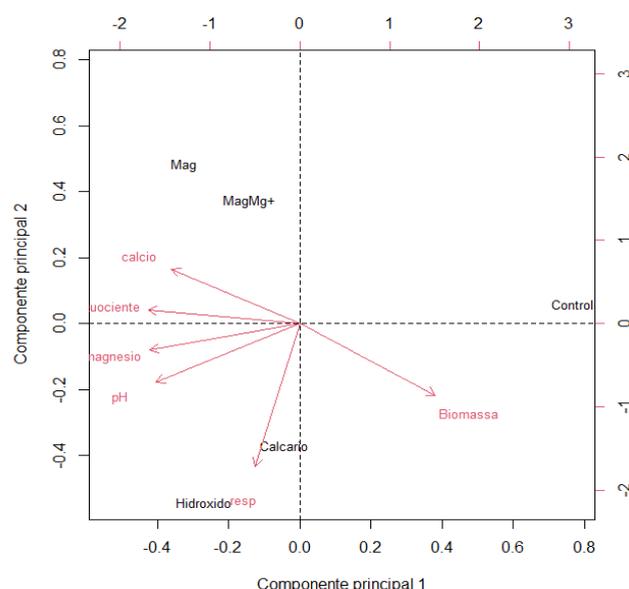


Figura 4. Correlações entre os tratamentos e variáveis avaliadas no início do ciclo do milho.

Aos 161 dias, os solos tratados com hidróxido, calcário, Mag e MagMg+ atingiram os maiores valores de pH, com os maiores teores de Ca e Mg. No entanto, observa-se que em todas as repetições, diminuiu a biomassa microbiana e aumentou o qCO_2 , indicando que possivelmente o ambiente está com maior nível de estresse, comprometendo a taxa de ciclagem de nutrientes, com menor qualidade da matéria orgânica. Diferentemente ao observado no solo controle, sem aplicação de produto, que demonstrou o maior valor de biomassa microbiana, com o menor valor de qCO_2 , indicando um ambiente de baixo nível de estresse, favorecendo a taxa de ciclagem de nutrientes, com maior qualidade da matéria orgânica.

Na última série amostral ao final do ciclo soja-milho, aos 278 dias, a correlação de pH e cálcio, além de pH e magnésio, e magnésio e cálcio foram positivamente significativas a 0,01%, o hidróxido de cálcio e magnésio teve influência positiva sobre a respiração microbiana. Além disso, a Biomassa microbiana sofreu influência positiva dos tratamentos 2, Calcário *filler* e 3 Mag (Figura 5).

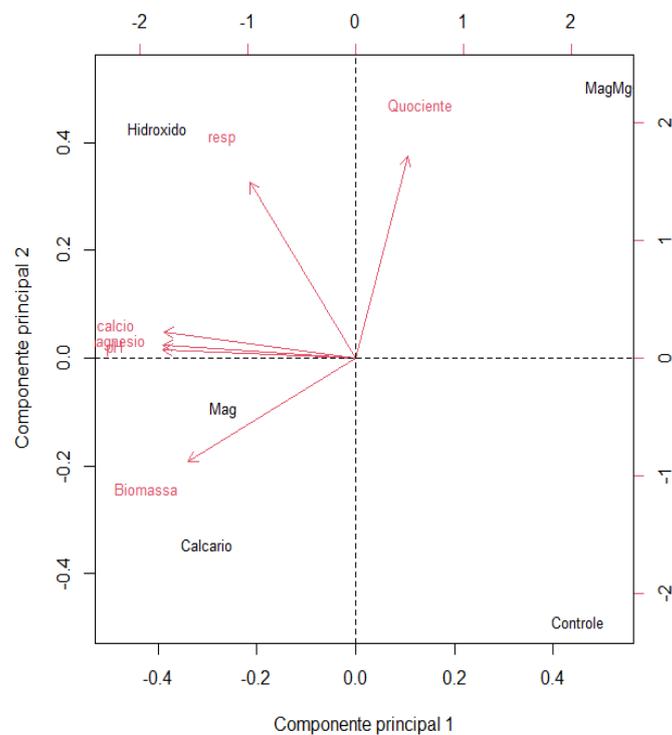


Figura 5. Interações ao final do ciclo soja-milho.

Aos 278 dias, os solos tratados com calcário, Mag e hidróxido apresentaram os maiores valores de pH, com os maiores teores de Ca e Mg. O solo tratado com calcário demonstrou o maior teor de C-Biomassa microbiana e baixo valor de quociente metabólico (qCO_2), indicando um ambiente de baixo nível de estresse, favorecendo a taxa de ciclagem de nutrientes, com maior qualidade da matéria orgânica. Comportamento oposto ao observado sob o tratamento do solo com $MgMg^+$, em que se observou o menor valor de biomassa microbiana, com o maior valor de qCO_2 , indicando um ambiente com maior nível de estresse, comprometendo a taxa de ciclagem de nutrientes, com menor qualidade da matéria orgânica.

Houve crescimento significativo na Biomassa Microbiana, muito em função da cultura instalada, o milho e que favorece o desenvolvimento microbiano nas camadas superficiais do solo, isto influenciou positivamente na respiração microbiana, tornando o quociente metabólico menor, justificando a relação positiva com a biomassa Microbiana. O quociente metabólico (qCO_2) é a razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, por unidade de tempo (Anderson & Domsch 1993). Ele expressa quanto de CO_2 é liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, representando a taxa de respiração específica da biomassa microbiana (Alves *et al.* 2011).

Houve um gradiente de aumento na relação entre Biomassa microbiana e quociente metabólico, iniciando significativamente negativa aos 30 dias após tratamento e tornando não significativa ao final das observações, aos 278 dias após aplicação dos tratamentos, devido ao aumento gradual da biomassa microbiana e da respiração microbiana, principalmente durante o ciclo da cultura do milho.

A respiração microbiana foi influenciada positivamente durante o ciclo pelo tratamento 4 Hidróxido de cálcio e magnésio.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que os produtos utilizados em comparação com o calcário convencional são boas alternativas de corretivos para uso em superfície sem incorporação ao solo. Principalmente, pelo menor tamanho de partículas e pela maior solubilidade e reatividade mais rápida que o convencional. A redução dos volumes aplicados de Ca e Mg, em função das doses até 70% menores dos produtos mais solúveis em comparação ao calcário *filler*, não comprometeu o fornecimento destes nutrientes para as plantas, disponibilizou mais nutrientes neste período, com o volume de precipitação mensurado, aumentou as produtividades em safra e safrinha e disponibilizou o volume de Ca e Mg esperado durante o ciclo, resultou em um saldo de nutrientes no solo ao final do período dentro de expectativa, considerando as doses aplicadas o que não foi verificado no tratamento com calcário *filler*. Nas doses aplicadas, foi possível manter os níveis de pH, mesmo com a adição de fertilizantes acidificantes e com o efeito de processos biológicos que ocorrem durante o período de cultivo das plantas que promovem a acidificação do meio.

Diante dos resultados é possível afirmar que os corretivos utilizados suprem a necessidade de nutrientes para as produtividades obtidas, mantendo os níveis de pH e disponibilizando Ca e Mg durante o ciclo das culturas, podendo ser uma alternativa ao calcário *filler*, nas condições de aplicação em superfície no sistema de plantio direto e no ciclo soja-milho, impactando positivamente, comparado ao tratamento controle, a produtividade dos cultivos, a respiração basal do solo e o aumento da BMS em relação ao início do ciclo soja-milho avaliado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alef, K. 1995.** Soil respiration. In: Alef, K.; Nannipieri, P. (Ed.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, p. 225-227.
- Alvarez, R. 2005.** A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manag.* 21 (1), 38–52.
- Alves, T.D.S., L.L. Campos, N. Elias Neto, M. Matsuoka. & M.F. Loureiro. 2011.** Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá*, v. 33, n. 2.
- Amaral, A.S., I. Anghioni, R. Hinrichis. & I. Bertol. 2004.** Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.359-367.
- Anderson, T.H. & K.H. Domsch. 1993.** The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395.
- Baker, J.M., T.E. Ochsner, R.T. Venterea. & T.J. Griffis. 2007.** Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know. *Agric., Ecosyst. Environ.* 118 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.014>.
- Bambolim, A. et al. 2015.** Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 2, n. 3, p. 34-38.
- Barth, V.P., C.L. Reardon, T. Coffey, A.M. Klein, C. McFarland, D.R. Huggins. & T.S. Sullivan. 2018.** Stratification of soil chemical and microbial properties under no-till after liming. *Appl. Soil Ecol.* 130, 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.06.001>.
- Besen, M.R., R.H. Ribeiro, M. Esper Neto, E.A. Minato, C.F. Coneglian, W.D. Kachinski, C.A. Tormena, T.T. Inoue. & M.A. Batista. 2021.** Lime and phosphogypsum application management: changes in soil acidity, sulfur availability and crop yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, p. 1-20.
- Brock, C., D. Jackson-Smith, S. Kumarappan, S. Culman, D. Doohan. & C. Herms. 2020.** The prevalence and practice of soil balancing among organic corn farmers. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(4), 1–10. <https://doi.org/10.1017/S1742170520000381>
- Caires, E.F., D.A. Banzatto. & A.F. Fonseca. 2000.** Calagem na superfície em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:161-169.

- Caires, E.F., F.J. Garbuio, L.R.F. Alleoni. & M.A. Cambri. 2006.** Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. *R Bras Ci Solo.* 2006;30:87-98.
- Chaganti, V. N. & S. W. Culman. 2017.** Historical perspective of soil balancing theory and identifying knowledge gaps: A review. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.2134/cftm2016.10.0072>
- Chaganti, V. N., S. W. Culman, C. Herms, C. D. Sprunger, C. Brock, A. Leiva Soto. & D. Doohan. 2021.** Base cation saturation ratios, soil health, and yield in organic field crops. *Agronomy Journal*, 113(5), 4190–4200. <https://doi.org/10.1002/agj2.20785>
- Chien, S.H., M.M. Gearhart. & D.J. Collamer. 2008.** The effect of different ammonical nitrogen sources on soil acidification. *Soil Sci.* 173 (8), 544–551. <https://doi.org/10.1097/ss.0b013e31817d9d17>.
- Crusciol, C.A.C. et al. 2016.** Annual crop rotation of tropical pastures with no-till soil as affected by lime surface application. *European Journal of Agronomy*, v. 80, p. 88–104. D.O.I.:10.1016/J.EJA.2016.07.002
- Culman, S.W., C. Brock, D. Doohan, D. Jackson-Smith, C. Herms, V.N. Chaganti, C.D. Sprunge. & J. Spargo. 2021.** Base cation saturation ratios vs. sufficiency level of nutrients: A false dichotomy in practice. *Agronomy Journal*, 113(6), 5623–5634. <https://doi-org.proxy.lib.ohio-state.edu/10.1002/agj2.20787>
- Curtis, T.P. Sloan, W.T, J.W. Scannell. 2002.** Estimating prokaryotic diversity and its limits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* v. 99, n. 16, p. 10494-10499.
- De Souza, R.F., V. Faquin, P. Rogério, F. Torres. & D.P. Baliza. 2006.** Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. *Rev. Bras. Ciênc. do Solo*, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.
- Ernani, P.R., C. Bayer. & L. Maestri. 2002.** Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian Oxisol. *Agron. J.* 94 (2), 305. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.0305>.
- Fageria, N. K. & V. C. Baligar. 2008.** Chapter 7 ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 99, 345–399. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00407-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0)
- Fiorini, F.V.A. et al. 2022.** Doses crescentes de calcário associadas à adubação nitrogenada na cultura do milho. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29881>. Acesso em 04 fev. 2024.
- Freitas, L.de., I.A.de. Oliveira, L.S. Silva, J.C.V. Frare,V.A. Filla. & R.P. Gomes. 2017.** Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Unimar Ciências, Marília*, v. 26, n. 1-2, p. 08-25.

- Galindo, F.S., J.C. Silva, G.A.X. Gerlach, M.M.R. Ferreira, A.S. Colombo. & M.C.M.T. Filho. 2017.** Matéria seca do feijoeiro e correção da acidez do solo em função de doses e fontes de corretivos. *Revista Agrarian*, Dourados, v. 10, n. 36, p. 141-151.
- George, E., W.J. Horst. & E. Neumann. 2012.** Chapter 17—adaptation of plants to adverse chemical soil conditions. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 409-472). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00017-0>
- Hao, T., Q. Zhu, M. Zeng, J. Shen, X. Shi, X. Liu. & W. de Vries. 2020.** Impacts of nitrogen fertilizer type and application rate on soil acidification rate under a wheat-maize double cropping system. *J. Environ. Manag.* 270, 110888 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110888>.
- He, Y., T. M. Desutter. & D. E. Clay. 2013.** Dispersion of purê clay minerals as influenced by calcium/magnesium ratios, sodium adsorption ratio, and electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 77(6), 2014–2019. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.05.0206n>
- Hirschi, K.D. 2004.** The calcium conundrum. Both versatile nutriente and specific signal. *Plant Physiology*, 136(1), 2438–2442. <https://doi.org/10.1104/pp.104.046490>
- Kamble, P.N. & E. Baath. 2018.** Carbon and nitrogen amendments lead to differential growth of bacterial and fungal communities in a high-ph soil. *Pedosphere*, v.8, n.2, p.255- 260. DOI: [http://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60014-1](http://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60014-1)
- Kaminski, J., D.R. Santos, L.C. Gatiboni, G. Brunetto. & L.S. Silva. 2005.** Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *R Bras Ci Solo*. 29:573-80.
- Kaminski, J. et al. 2007.** Acidez e calagem em solos do Sul do Brasil: aspectos históricos e perspectivas futuras. *Tópicos em Ciência do Solo*. p. 307–332.
- Kariuki, S.K., H. Zhang, J.L. Schroder, J. Edwards, M. Payton, B.F. Carver, W.R. Raun. & E.G. Krenzer. 2007.** Hard red winter wheat cultivar responses to a pH and aluminum concentration gradient. *Agron. J.* 99 (1), 88–98. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0128>.
- Knupp, A.M. & E.P.B. Ferreira. 2011.** Eficiência da quantificação do carbono da biomassa microbiana por espectrofotometria comparada ao método titrimétrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.4, p.588-595. DOI: <http://doi.org/10.5039/agraria.v6i4a1071>
- Li, G.D. et al. 2019.** Long-term surface application of lime ameliorates subsurface soil acidity in the mixed farming zone of south-eastern Australia. *Geoderma*, v. 338, p. 236–246. D.O.I.:10.1016/J.GEODERMA.2018.12.003
- Lourente, E.R.P., F.M. Mercante, A.M.T. Alovisi, C.F. Gomes, A.S. Gasparini. & C.M. Nunes. 2011.** Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 1, p. 20-28.
- Lupwayi, N., G. Clayton, J. O'donovan, K. Harker, T. Turkington. & Y. Soon. 2006.** Soil nutrient stratification and uptake by wheat after seven years of conventional and zero tillage in the Northern Grain belt of Canada. *Can. J. Soil Sci.* 86 (5), 767–778.

- McDaniel, M.D., A.S. Grandy, L.K. Tiemann. & M.N. Weintraub. 2014.** Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. *Soil Biology & Biochemistry*, 78: 243-254.
- Michereff, S.J., D.E.G.T. Andrade. & M. Menezes. 2005.** Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Pernambuco: UFRPE.
- Miyazawa, M., M.A. Pavan. & J.C. Frachini. 2002.** Evolution of plant residues on the mobility of surface applied lime. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.45, p.251-256, 2002.
- Meurer, E.J., C.A. Bissani. & F.C. Carmona. 2010.** Solos ácidos e solos afetados por sais. Meurer, E.J., Editor. *Fundamentos de química do solo*. 4º ed. Porto Alegre RS: Evangraf LTDA, p. 206.
- Moreira, F. M. S. & J. O. Siqueira. 2006.** *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed. atual. ampl. Lavras: UFLA, p.729.
- Mosharrof, M. et al. 2021.** Combined Application of Biochar and Lime Increases Maize Yield and Accelerates Carbon Loss from an Acidic Soil. *Agronomy*, v. 11, n. 7, p. 1313, 2021. Ratke, Rafael Felipe et al. Propriedades químicas do solo e morfologia radicular da soja sob aplicação de diferentes granulometrias de calcário. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 2, p. e8234-e8234.
- Pauletti, V., T. Ranzan, G. Barth. & A.C.V. Motta. 2014.** Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 38:495-505.
- Petrere, C. & I. Anghinoni. 2001.** Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.885-895.
- Prado, R.M. & W. Natale. 2004.** Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 1007-1012.
- Raij, B.V. et al. 2011.** *Análise química para avaliação da fertilidade de solo tropicais*. Campinas: IAC.
- Rheinheimer, D.S., E.J.S. Santos, J. Kaminski, E.C. Bortoluzzi. & L.C. Gatiboni. 2000.** Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.797-805.
- Rheinheimer, D.S. et al. 2018.** Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. *Geoderma*, v. 313, p. 7–16. D.O.I.:10.1016/j.geoderma.2017.10.024
- Rowley, M. C., S. Grand. & E. P. Verrecchia. 2018.** Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. *Biogeochemistry*, 137(1), 27–49. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0410-1>

- Schroder, J.L., H. Zhang, K. Girma, W.R. Raun, C.J. Penn. & M.E. Payton. 2011.** Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75 (3), 957–964. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0187>.
- Scott-Denton, L.E., T.N. Rosenstiel. & R.K. Monson. 2006.** Differential controls by climate and substrate over the heterotrophic and rhizospheric components of soil respiration. *Global Change Biology*, 12: 205-216.
- Silva, H.M.F. 2023.** Calcário convencional e nanoparticulado para correção de solo e produtividade e qualidade de milho para silagem em diferentes cultivos com soja em sucessão. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, Goiás.
- Smith, C., J.D. Oster. & G. Sposito. 2014.** Potassium and magnesium in irrigation water quality assessment. *Agricultural Water Management*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.003>
- Sumner, M.E. & T. Yamada. 2002.** Farming with acidity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 33, n. 15–18, p. 2467–2496, D.O.I.:10.1081/CSS-120014461
- Vance, E.D., P.C. Brookes. & D.S. Jenkinson. 1987.** An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, 19: 703-707.
- Vasques, N.C., B.M. Lustri, T.O.I. Ramari, & F. Gasparotto. 2020.** Resposta da biomassa microbiana a diferentes corretivos de solo. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, Aracaju, v. 11, n. 7, p. 161-169.
- Taiz, L., E. Zeiger, I.M. Moller. & A. Murphy. 2017.** Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora.
- Tang, C. et al. 2003.** Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. *Field Crops Research*, v. 80, n. 3, p. 235–244. D.O.I.:10.1016/S0378-4290(02)00192-2
- Tiritan, C.S. et al. 2016.** Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. *Soil and Tillage Research*, v. 155, p. 437–447. D.O.I.:10.1016/j.still.2015.06.012
- Yamada, T. 2010.** The Cerrado of Brazil: A Success Story of Production on Acid Soils. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51:5, 617-620. D.O.I.:10.1111/j.1747-0765.2005.tb00076.x
- Zaidun, S.W. et al. 2019.** Biochar and clinoptilolite zeolite on selected chemical properties of soil cultivated with maize (*Zea mays* L.). *Eurasian Journal of Soil Science*. v. 8, p. 1–10.
- Zambiasi Júnior, M.J. 2016.** Doses de calcário filler e efeitos na fertilidade do solo, desenvolvimento e produção da soja. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)-Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, 2016.
- Zambrosi, F.C.B., H. Cantarella. & B.V. Raij. 2014.** Critérios para calagem e adubação. In:AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO,C. E. F.. *Boletim 200: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas*. Campinas: Instituto Agrônomo, p.421-426.

Zandoná, R.R. et al. 2015. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 2, p. 128–137. D.O.I.:10.1590/1983-40632015v4530301

Zhu, Y., J.M. Bennett. & A. Marchuk. 2019. Reduction of hydraulic conductivity and loss of organic carbon in non-dispersive soils of different clay mineralogy is related to magnesium induced disaggregation. *Geoderma*, 349, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.04.019>