

MATHEUS FRÓES DE MORAES

**APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO ASSOCIADO À *Urochloa ruziziensis*:
BALANÇO DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E SOJA**

Botucatu

2023

MATHEUS FRÓES DE MORAES

**APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO ASSOCIADO À *Urochloa ruziziensis*:
BALANÇO DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E SOJA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego

**Botucatu
2023**

M827a

Moraes, Matheus Fróes de

Aplicação de pó de basalto associado a urochloa ruziziensis:
balanço de carbono e produtividade de grãos de milho e soja /
Matheus Fróes de Moraes. -- Botucatu, 2023

70 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Juliano Carlos Calonego

1. Matéria orgânica. 2. Gases de efeito estufa. 3.
Remineralizadores. 4. Fluxo de CO2. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO ASSOCIADO A *Urochloa ruziziensis*:
BALANÇO DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO E
SOJA

AUTOR: MATHEUS FRÓES DE MORAES

ORIENTADOR: JULIANO CARLOS CALONEGO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Agricultura),
pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Prof. Dr. JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO PORTUGAL (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 01 de setembro de 2023

Em memória
Paulo Henrique Fróes & Oraldo Frascareli

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de estar presente neste plano, com saúde, e sempre cercado de pessoas de valor imaterial.

À minha mãe, expresso minha profunda gratidão por ter sido, ao longo deste período, o esteio fundamental que sustentou nossa estrutura familiar com sua força e incondicional amor. Ao meu pai, cuja dedicação foi como o braço direito que sempre se fez presente, cuidando com do legado deixado pelo meu saudoso avô. À minha irmã, que se ergueu como a encarnação da solidariedade, amparando nossa família nos momentos em que não estive presente. E a minha namorada, uma presença que se transformou e cresceu junto a mim, compartilhando aprendizados e provendo-me com seu apoio e esperança.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Botucatu/SP pela possibilidade de realização deste curso.

Ao Professor Doutor Juliano Carlos Calonego pela orientação, amizade, paciência, dedicação e disponibilidade durante todo o período de execução do projeto.

Aos colegas Gustavo Ferreira, Aline Oliveira e Yasmine Ohanna e João Paulo Rigon pela parceria e ajuda nas análises escrita deste projeto, bem como a todos os estagiários que ajudaram na condução.

Aos integrantes do grupo de estudos SPA. Aos colegas João Henrique Ferreira dos santos pela parceria durante a condução e avaliação do experimento. Ao Gabriel Oliveira, Sirlene Lopes, Tatiani Galeriani e Israel Alves pelo suporte e condução da área experimental. Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela disponibilidade da área de estudo.

A todos os colegas e colaboradores do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal em especial Eliane Gonçalves, Maria Marcia Pereira e ao Cirinho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O uso de alternativas eficazes e de baixo custo vem sendo estudadas com o intuito de aumentar a produção agrícola, com mínimo impacto ambiental. Os efeitos dos compostos alternativos como o Pó de basalto, denominado de remineralizadores (RM), vem sendo estudados ao longo dos anos com o objetivo de proporcionarem suporte nutricional alternativo e de liberação progressiva de nutrientes no solo. Devido à baixa solubilidade desse RM, o uso de plantas de cobertura como a *Urochloa ruziziensis* (UR) pode contribuir para acelerar a liberação de nutrientes em função da já conhecida ação radicular da cultura. Ainda não há estudos sobre como o Pó de Basalto poderia afetar o sequestro e balanço de carbono no solo. O propósito deste estudo foi avaliar quanto carbono está sendo adicionado e perdido ao sistema e como isso se relaciona com a produtividade de milho e soja, em função do efeito residual do RM, aplicado em três épocas de 5 t ha⁻¹ antecedendo as safras de inverno 2019 verão 2019/2020 e inverno 2020 totalizando 15 t ha⁻¹, na presença ou ausência de *Urochloa ruziziensis* em cultivo consorciado com milho em sistema de semeadura direta (SSD). O estudo foi realizado nas safras 2021/22 e 2022/2023 em 2019 na área experimental da Fazenda Lageado (FCA/UNESP-Botucatu), em sistema de sucessão soja-milho em Sistema de semeadura direta (SSD). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições, em esquema fatorial 4x2, sendo esses (4): i) Testemunha (T) - sem adubação de MAP e KCL como fontes de K₂O e P₂O₅; ii) Efeito residual do Pó de Basalto (PB); iii) KCl + MAP (M + K); iv) MAP + KCL + Pó de basalto (M+K+P). Avaliou-se a produtividade de soja e milho, carbono orgânico do solo, matéria seca (MS) e carbono aportado pelas culturas avaliadas, emissão de C-CO₂ do solo para atmosfera, balanço de C e emissão relativa. O uso isolado de Pó de basalto não influenciou nos parâmetros avaliados, porém o tratamento MAP + KCL + Pó de basalto associado ao cultivo de UR proporcionou um balanço de C positivo. O sistema consorciado UR por sua vez teve um papel importante em mitigar o balanço negativo de C no sistema.

Palavras-chave: matéria orgânica; gases de efeito estufa; remineralizadores; fluxo de CO₂.

ABSTRACT

The use of effective and low-cost alternatives has been under investigation in order to enhance agricultural production while minimizing environmental impact. The effects of alternative compounds, such as Basalt Powder, known as remineralizers (RM), have been subject to study over the years with the goal of providing alternative nutritional support and gradual nutrient release in the soil. Due to the low solubility of this RM, the utilization of cover crops like *Urochloa ruziziensis* (UR) may contribute to accelerating nutrient release due to the well-established root action of these grass species. There is still no conclusive understanding of how the use of Basalt Powder affects carbon sequestration. Consequently, the purpose of this study was to assess the amount of carbon being introduced into the system and how it correlates with the yields of corn and soybeans due to the residual effects of RM, applied in three fractions of 5 t ha⁻¹ prior to the winter 2019, summer 2019/2020, and winter 2020 crops, totaling 15 t ha⁻¹. This was carried out in the presence or absence of *Urochloa ruziziensis* in intercropped cultivation with corn using a no-till system. The study was carried out during the harvests 2021/22 and 2022/2023 growing seasons and was executed in an experiment established in 2019 at the experimental area of Fazenda Lageado (FCA/UNESP-Botucatu). This experiment followed a soybean-corn succession under the No-Till system. The experimental design employed randomized blocks with 4 repetitions in a 4x2 factorial scheme, encompassing the following treatments: I) Control (C) - without MAP and KCL fertilization as sources of K₂O and P₂O₅; II) Residual effect of Basalt Powder (BP); III) KCL + MAP (M + K); IV) MAP + KCL + Basalt Powder (M + K + BP). Variables examined included grain productivity, organic soil carbon, dry matter, carbon contributed by the evaluated crops, soil CO₂-C emissions to the atmosphere, carbon balance, and relative emission. While Basalt Powder itself did not impact the evaluated parameters, the treatment involving MAP + KCL + Basalt Powder combined with UR cultivation resulted in a positive carbon balance. In turn, the intercropped UR system played a significant role in mitigating the negative carbon balance within the system.

Keywords: organic matter; greenhouse gases; remineralizers; CO₂ fluxe.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA (SSD) COMO MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO.....	18
2.2	O GÊNERO UROCHLOA NA AGRICULTURA.....	19
2.3	MATÉRIA ORGÂNICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM SISTEMAS PRODUTIVOS COM CLIMA TROPICAL	20
2.4	USO DE PÓ DE BASALTO NA COMPLEMENTAÇÃO DA FERTILIZAÇÃO DO SOLO.....	21
2.5	PÓ DE BASALTO NA AGRICULTURA.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	24
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	26
3.3	APORTE DE CARBONO RESIDUAL	28
3.4	DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CO₂ NO SOLO.....	29
3.5	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	31
3.6	BALANÇO DE CO₂	32
3.7	EMISSÃO RELATIVA	32
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	33
4	RESULTADOS.....	34
4.1	APORTE DE MATÉRIA SECA (MS)	34
4.2	APORTE DE C PELA PARTE AÉREA	37
4.3	APORTE DE N PELA PARTE AÉREA	40
4.4	FLUXO DE CO₂ E BALANÇO DE C	42
4.5	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E EMISSÃO RELATIVA DE CO₂	53
5	DISCUSSÃO	59
5.1	APORTE DE MS, C E N	59
5.2	REFLEXOS DO CONSÓRCIO DE UR NAS CULTURAS DE SOJA E MILHO	60
5.3	ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CONSÓRCIO COM PÓ DE BASALTO	61
6	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Brasil é um dos principais países do mundo na produção de grãos, sendo esse setor do agronegócio importante para o desenvolvimento econômico do país. A produção de soja e milho possuem grande importância econômica no país que, através de pesquisas, buscam melhores materiais e manejos para atender principalmente a demanda mundial por alimento. Em contramão do aumento da necessidade alimentar humana, há os empecilhos ambientais que impedem a abertura de novas áreas de produção agrícola através de desmatamento, e por este motivo, alternativas que proporcionem incremento produtivo em áreas pré-estabelecidas passam a ser um dos principais objetivos das pesquisas. Visando este aumento na produtividade, parâmetros como adubação e correção do solo são pilares fundamentais para se atingir altos níveis produtivos evitando a necessidade de expansão dos campos agrícolas.

A utilização de fertilizantes minerais de fontes solúveis beneficia o sistema produtivo alterando os aspectos e propriedades nutricionais do solo. A perspectiva do aumento do uso a médio ou longo prazo de fertilizantes minerais solúveis para viabilizar a necessidade de aumento de produtividade, ou mesmo para corrigir a fertilidade de solos poucos férteis (solos marginais que estão sendo incorporados ao sistema produtivo), é visto por estudos recentes como um item que irá encarecer o custo de produção inviabilizando um sistema agrícola sustentável, uma vez que a maior parte desses insumos são originários de fontes estrangeiras cujo a instabilidade do câmbio e da oferta altera constantemente o valor destes insumos oriundos da importação.

Sendo assim, é necessário buscar por alternativas capazes de suprir totalmente ou parcialmente as necessidades de determinada cultura, que diminuindo as demandas por fertilizantes convencionais, que por serem onerosos aumentam consideravelmente o custo produtivo. Além disso, fertilizantes são recursos minerais finitos levando à necessidade de estudos de fontes alternativas de menor custo e alta eficácia nutricional. Nesse sentido, há compostos derivados de processos industriais onde determinados tipos de minerais são processados com diversas finalidades, desde matéria prima para siderurgia até excedentes da geração industrial de rochas ornamentais, como os remineralizadores (RMs), termo utilizado para determinar

insumos alternativos oriundos de materiais minerais primários de origem ígnea ou metamórfica, submetida a um processo mecânico de redução de tamanho de suas partículas.

Os RMs são conhecidos por apresentarem concentrações consideráveis de macroelementos minerais e que podem ser disponibilizados às plantas (P, K, S, Ca e MG) bem como microelementos (B, Cl, Cu, Fe). Oferecem vantagens como o baixo custo quando comparados aos fertilizantes solúveis convencionais, sendo até 70% menos onerosos (Theodoro et al. 2013). Espera-se que os RMs no solo proporcionem resultados em médio e longo prazo, o que pode ser benéfico em virtude do efeito de liberação lenta dos nutrientes que os tornam materiais com potencial de uso na agricultura de solos intemperizados e de baixa fertilidade, que quando aliado a adubação convencional, pode permitir efeito residual nas culturas ao longo das safras e dos cultivos em sucessão. Essa técnica recebe o nome de rochagem que consiste no uso de RMs onde ocorre a adição mineral ao solo após a incorporação de pó de rocha (Leonardos et al. 1976).

O Pó de Basalto é um tipo de RMs que proporciona uma fonte alternativa de macro e micronutrientes e é relativamente abundante no país, porém seus efeitos na agricultura, especificamente nas culturas de soja e milho são desconhecidos e pouco estudados. Porém, a característica de ser um insumo de baixa solubilidade, possivelmente o torna vantajoso no uso a longo prazo pois sua lenta disponibilidade faz com que seu efeito perdure por um período relativamente longo. Espera-se que o consórcio de UR possa acelerar o processo de solubilização tornando-o disponível em menor tempo de modo que aumente a eficiência do remineralizador.

Em paralelo ao uso de alternativas naturais e que proporcione melhores condições químicas no solo, questões de balanço de carbono nos sistemas produtivos vem ganhando interesse, principalmente por acordos governamentais de compromisso na redução de emissão de C-CO₂. Em razão disso, é de interesse avaliar o uso complementar de técnicas como a rochagem quanto aos benefícios agrônômicos na complementação nutricional bem como resultados no balanço de carbono no sistema solo-planta-atmosfera, podendo proporcionar vantagens ao consórcio de UR por ser uma cultura de aporte de C radicular e foliar já conhecido.

Métodos que elevem a produtividade das culturas são diversamente estudadas, sendo que existem algumas manejo que podem ser adotadas de maneira acessível nas lavouras de modo que a lucratividade seja elevada. Outro fator, é a pressão social

pela conservação ambiental e pela adoção de materiais alternativos nos sistemas produtivos, dando finalidade a resíduos minerais que seriam descartados, e que, ao serem utilizados corretamente apresentam funções relevantes no sistema solo. Por este motivo, o uso de pó de rocha, em específico o pó de basalto, se torna um dos meios que são considerados para agregar qualidade nos sistemas produtivo, porém para viabilizar seu uso se faz necessário estudos buscando benefícios ambientais e econômicas (Lapido-Loureiro et al., 2008). O pó de basalto é uma alternativa que os estudos indicam que seus efeitos são entregues a longo prazo, uma vez que são originários de minerais naturais, contudo há métodos de manejo que podem otimizar a disponibilidade do material, acelerando indiretamente sua disponibilidade ao sistema através de reações nos sistemas radiculares (Grayson et al., 1997a). É possível minimizar custos produtivos agregando alternativas empregadas com condições adequadas, melhorando aspectos estruturais e fitossanitárias no sistema produtivo mesmo reduzindo o uso de fertilizantes convencionais. (Dettmer et al., 2020).

Neste contexto estudos que visem avaliar as possíveis vantagens do uso de um remineralizador (pó de basalto) como insumo alternativo são de suma importância e aliado a culturas de coberturas como o consorcio ou não a UR com intuito de otimizar a solubilização do remineralizador nas culturas de soja como cultura de verão e milho safrinha em sistema de plantio direto através de aspecto produtivo em paralelo a parâmetro de balanço de C.

Sendo assim, o estudo tem como objetivo avaliar o uso do pó de rocha nas culturas do milho e da soja com base no incremento produtivo, consorciadas ou não com UR aliado a questões de sequestro e emissão de carbono, visando um sistema solo-planta-atmosfera que seja produtivo e ao mesmo tempo que proporcione vantagens ambientais como o sequestro de carbono atmosférico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de Semeadura Direta (SSD) como manejo conservacionista do solo

O SSD (sistema de semeadura direta) consiste na preservação da matéria orgânica residual no solo ao mesmo tempo que se busca o aumento na concentração de matéria seca (MS) por parte das culturas produzidas, sendo que o estoque de carbono orgânico acumulado depende diretamente das quantidades resultantes da capacidade de culturas anteriores produzirem a MS (Gonçalves & Ceretta, 1999) e o acúmulo diminui consequentemente a emissão de gases, como o CO₂. Porém, a realidade é de que as culturas com intuito produtivo frequentemente utilizadas nos sistemas produtivos não possuem capacidade de manter uma camada de material orgânico capaz de encobrir o solo durante longos períodos, por este motivo, o consórcio de determinadas culturas com UR é um caminho efetivo a ser seguido com o objetivo da manutenção dessa MS, aumentando a massa vegetal distribuída no sistema. (Freitas et al., 2013a). O SPD adere à diversas vantagens ecológicas que indiretamente afeta positivamente a questões econômicas. A escolha e manejo de plantas de cobertura conferem a benefícios para o sistema produtivo, supressão de plantas daninha, retenção da umidade e o acúmulo de nutrientes são benefícios que conferem ao SPD (Alvarenga et al., 2001) e são aspectos essenciais para um sistema agrícola que não dependa exclusivamente de insumos externos.

A supressão de plantas daninhas é um aspecto importante para manter a qualidade nos sistemas não só em meio a safra, bem como na entressafra e algumas das plantas de cobertura possuem ainda mais eficiência nesse aspecto de controle evidenciando ainda a influência da cultura de verão na incidência de espécies de plantas daninhas (Correia, 2017) e por esse motivo, preservar a matéria seca remanescente preservada no solo auxilia ou evita gastos com insumos fitossanitários no controle de espécies invasoras. Em questões de disponibilidade de água quando comparado ao sistema de plantio convencional, o SPD se mostra mais propício ao desenvolvimento vegetal por possui a capacidade de estruturar camadas superficiais do solo diminuindo os efeitos prejudiciais de veranicos ou temperaturas muito elevadas. Não só na retenção de água, mas também na disponibilidade de água o SPD se mostra mais propício exercendo menor energia de retenção hídrica (Dalmago et al., 2009) facilitando o acesso radicular a água poupando energia pela planta. Outro

aspecto importante no manejo em questão é o acúmulo de nutrientes na matéria seca remanescente. A extração de minerais ocorre durante o desenvolvimento da planta, os quais se acumulam nos tecidos vegetais e após o fim do ciclo das culturas, seja da cultura produtora ou de cobertura, retornam ao solo, porém ainda não disponível as culturas sucessoras.

Gramíneas tem destaque no emprego de culturas de cobertura pela resistência a períodos secos e alta produção de biomassa favorecendo os aspectos positivos do SPD. Além dos teores significativos de N na fitomassa de UR, a cultura é associada a bactérias fixadoras contribuindo diretamente no nitrogênio acumulado da fitomassa (Pacheco et al., 2011^a). Entre os principais fatores antrópicos que prejudicam a matéria orgânica como indicativo de qualidade do solo está no revolvimento do solo, remoção e aumento da mineralização orgânica (Mann, 1986; Medeiros et al., 2011). Esses fatores conferem ao SPD uma expressiva vantagem não só ecológicas como econômicas quando comparado a métodos de cultivo antigos sendo uma tendência que há tempos vem sendo adotando nas áreas de produção contribuindo no aumento do rendimento produtivo e no suporte na demanda mundial por alimento.

2.2 O gênero *Urochloa* na agricultura

O gênero *Urochloa* é composto por plantas resistentes principalmente a estresse abióticos, seja deficiência hídrica ou nutricional, tais características são atribuídas ao gênero devido principalmente ao seu suporte radicular fasciculado, profundo e robusto. Isso torna as plantas do gênero frequentemente utilizadas em consorcio à determinadas culturas de interesse econômico aos campos produtivos, principalmente em manejos que utilizam o SPD (Correia et al., 2013). Sendo assim, A UR pode ser utilizada nos campos produtivos no período de entressafra com o intuito de gerar diversos benefícios como o acúmulo de biomassa e nutrientes para o sistema produtivo, proporcionando melhores condições de modo que favoreça o desenvolvimento das culturas produtivas (Pacheco et al., 2011). Estudos recentes envolvendo o consorcio de UR e a cultura do milho apontam o incremento produtivo, além do aumento no teor de matéria seca de ambas as espécies. (Queiroz et al., 2016). Além disso UR possui a capacidade de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo, como é o caso do K, tornando-o disponível em forma trocável para a cultura sucessora após a mineralização da MS (Rosolem et al. 2012). Em relação

ao P, a UR aumenta a disponibilidade do nutriente em sistema de rotação de cultura, porém essa disponibilidade só será refletida a longo prazo devido ao aumento da razão C:P da MS remanescente. (Merlim, He & Rosolem, 2014). Estudos já foram realizados utilizando a gramínea com o intuito de avaliar os reflexos de RMs, em específico o pó de basalto, demonstrando ser eficiente na redução da acidez e incremento de micronutrientes (Klein, 2020).

2.3 Matéria orgânica e sequestro de carbono em sistemas produtivos com clima tropical.

Muitos atributos orgânicos são considerados como indicadores da qualidade do solo, servindo de ferramenta para monitoramento do sistema. Estes atributos são diretamente influenciados pelo manejo no sistema, principalmente na escolha da cultura de cobertura e manejo do solo, aspectos que são proporcionados pelo SPD que preserva a biomassa (Silva et al., 2007^a). A Biomassa microbiana (BMS) presente no solo, é um destes atributos, pois atua nos processos bioquímicos dos restos culturais e compostos orgânicos possuindo ainda a capacidade de acúmulo de nutrientes (Moreira & Siqueira, 2002; Carneiro et al., 2009). A BMS atua como catalisador nestes processos disponibilizando os nutrientes antes armazenados, pois sua ação é constante, porém transitória na matéria orgânica constituindo o chamado componente lábil da matéria orgânica presente no solo. Sendo assim, outro parâmetro de avaliação que pode ser considerado, na busca de maior qualidade do solo, é a respiração basal da BMS, e já se sabe que atributos biológicos juntamente com a biomassa sob influência de fatores bióticos e abióticos aumentam esse processo de ciclagem dos nutrientes (Cunha et al., 2011). Além disso A BMS é um indicador direto e hábil nas alterações dos sistemas do solo, bem como a produção de seus metabólitos. Os reflexos microbianos a essas mudanças são mais influenciáveis em relação aos teores de C no sistema, uma vez que o tempo de recuperação mineral da matéria orgânica é relativamente lenta (Gama-Rodrigues et al., 2005; Silva et al., 2010) sendo empecilho para observar suas reações em curto prazo. O consórcio de culturas com alta capacidade de produção de fitomassa com alta concentração de N, promovem o incremento de MO e ainda reduzem os níveis de emissão de CO₂ proveniente do solo (Bayer, Mieleniczuk & Martin-Neto, 2000), tornando o sistema além de produtivo, viável ecologicamente uma vez que os maiores níveis de emissão são

oriundos do solo. Segundo a IPCC (2007) 11% das emissões de CO₂ no mundo foram provenientes da agricultura, sendo assim ao promover alternativas que favorecem o sequestro de CO₂, é possível estimular os chamados sumidouros, os quais oferecem vantagens em comparação com opções relacionadas à diminuição das emissões de carbono. Sistemas de manejo como cultivo mínimo e SSD proporcionam a preservação física e orgânica das camadas do solo, promovendo a preservação da MO, reduz a amplitude térmica e umidade, através da manutenção da palha, além de reduzir as emissões de C-CO₂, porém, há um limite de carbono que pode ser agregado ao solo e proporcionar um novo equilíbrio, de modo que através da mudança do manejo de forma que haja revolvimento ou desagregação do solo como ocorre no cultivo convencional, essa estabilidade será desestabilizada (Cerri et al., 2009). Fatores ambientais e componentes do solo são atribuições que influenciam diretamente as reações metabólicas, e estas por sua vez compõem a respiração basal do solo (Silva et al., 2007), ou seja, trata-se de um processo bioquímico que recorrente onde ocorre a emissão do C-CO₂.

2.4 Uso de pó de basalto na complementação da fertilização do solo.

Os remineralizadores (RMs) são definidos pela Lei 12.890/2013, como materiais de origem mineral que sofreram redução na sua granulometria através de processos mecânicos e classificados com base na sua origem e teor de nutrientes. Atualmente são utilizados com o objetivo de gerar um aporte nutricional alternativo, melhores características físico-químicas e biológicas, consequentemente gerar melhores condições para o desenvolvimento da cultura atuando como condicionadores de modo que otimize o uso de insumos agrícolas de maneira sustentável (Almeida Junior et al., 2021).

Os RMs possuem fontes distintas de minerais, outro exemplo de origem comumente usadas na rochagem são as rochas silicáticas, que possuem maior diversidade de elementos quando comparados aos fertilizantes solúveis. Além disso, outra vantagem é a disponibilidade em longo prazo de potássio, o que pode ser vantajoso do ponto de vista das reduções de perdas por lixiviação e por constituir uma reserva de nutrientes para disponibilização gradativa. Indiretamente plantas de cobertura auxiliam nessa alteração mineral pois através da liberação de exsudados nas raízes atraindo e induzindo a dinâmica de micro-organismos que irão solubilizar

esses minerais, além de induzir a variação de pH corroborando pra disponibilidade do RM (Grayson et al., 1997b). Sendo assim, a lenta disponibilidade do elemento 09 pode ser otimizada por microrganismos que solubilizam a rocha mineralizando o composto proporcionando o aumento dessa disponibilidade para a planta (Bolland & Baker, 2000; Lopes-Assad et al., 2006) ou por culturas específicas que apresentem relação direta com microrganismos através do sistema radicular.

2.5 Pó de basalto na agricultura

Estima-se que a demanda mundial de fertilizantes solúveis convencionais como fontes primárias de macronutrientes no mercado influenciou a alta no crescimento anual em 1,8% em relação ao cenário atual. A aplicação correta começa através da definição das quantidades a serem incorporadas no sistema, além disso, época da fertilização, estágio de desenvolvimento da planta, aplicação uniforme e escolha dos tipos dos insumos são pilares para a efetividade na fertilização de uma lavoura (Rodella et al., 2000). Sendo assim, como uma alternativa a longo prazo com liberação constante, a rochagem é alvo de pesquisas de modo que mantenha o solo condicionado nutricionalmente por longos períodos para lavouras complementando a aplicação de fertilizantes convencionais.

O pó de basalto é uma das alternativas utilizada na rochagem por apresentar diversas vantagens para o solo a médio e longo prazo, além do aumento do pH observado em aplicações podendo ser empregado com o intuito corretivo (Knapik & Angelo, 2006; Suguino et al., 2011). Além disso, rochas basálticas são conhecidas por serem fonte de fósforo bem como alteram positivamente o balanço de argilominerais no solo (Toscani & Campos, 2017). Sua composição inclui silicatos, que desempenham um papel fundamental na estabilidade do solo e na disponibilidade de nutrientes (Aguilera et al., 2022). Pesquisas destacam que os silicatos presentes no pó de basalto, ao se decomporem, liberam íons como silício e magnésio, essenciais para o crescimento das plantas (Aguilera et al., 2022; Hanisch et al., 2014).

Em contrapartida, há evidências de que o pó de basalto não reflete no aumento da produtividade a curto prazo, (Ferreira et al., 2009; Silva et al. 2012) uma vez que a disponibilidade e seus possíveis efeitos produtivos sejam estabelecidos a médio à longo prazo, aliado a isso, existem alternativas capazes de proporcionar maior disponibilidade do pó de basalto. Além de micro-organismos que mineralizam tais

minerais, Segundo Souza, Fontanetti & Lopes-Assad (2017), três plantas de cobertura, incluindo UR, aliadas à aplicação de vinhaça potencializaram a solubilização de minerais presentes no pó de basalto. O fato é, o pó de basalto precisa ser mais estudado principalmente num panorama mais abrangente no sentido químico e principalmente nos seus efeitos residuais a longo prazo, de modo que mantenha o solo em boas condições para a agricultura em maior tempo, evitando prejuízos econômicos e ambientais através de aplicações excessivas de fertilizantes.

Na cultura da soja, o uso de pó de rocha pode ser considerado com intuito de proporcionar um melhor cenário nutricional para o sistema produtivo na cultura da soja. Apesar de alguns estudos a curto prazo não evidenciarem efeitos benéficos dos RMs na cultura a soja (Schmidt et al., 2019), outros em contrapartida, recentemente demonstraram sua eficácia a médio e longo prazo, influenciando positivamente em parâmetros quantitativos de produtividade na cultura da soja. (Petrikoski et al., 2016; Alovisei et al., 2020; Amaral et al., 2020; Almeida Junior et al., 2021). A cultura do milho possui finalidades econômicas distintas, o consumo humano representa uma dessas finalidades da produção do cereal com menos de 16% da produção total, para finalidades de consumo humano em relação a cultura o uso do pó de basalto já é conhecido proporcionar incremento na produtividade de grãos da cultura do milho pipoca em solos classificados como Latossolo de média a alta produtividade (Writz et al., 2019; Alves, 2021). A maior fração produtiva é destinada à alimentação animal, totalizando 46,18% da produção nacional de milho (ABIMILHO, 2021), estudos evidenciam que a produção de milho com a finalidade de silagem é beneficiada com solos remineralizados pois atua indiretamente na produtividade através da recomposição de aspecto físico-químicas do solo (Taveira et al., 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em 2019 na Fazenda Experimental Lageado pertencente à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas(UNESP), no município de Botucatu, localizado a sudeste do estado de SP (Figura 1) ($48^{\circ} 25' 37''$ de longitude e $22^{\circ} 49' 39''$ de latitude Sul, 765 m acima do nível do mar). O clima da área apresenta invernos secos e verões chuvosos com base na classificação de Köppen. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.400 mm, e temperatura média anual de $20,3^{\circ}\text{C}$. O solo da área experimental encontra-se em um relevo plano, é de textura argilosa avermelhada, sendo classificado como Latossolo Vermelho distroferico (EMBRAPA, 2018). Também foi realizada previamente a implantação do experimento uma análise química de solo em três profundidades (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm) para caracterização da quadra 17 da área experimental. (Tabela 1).

Figura 1 - Mapa da área experimental Localizado na Fazenda Lageado – Botucatu – SP- $22^{\circ}49'35''\text{S}$ $48^{\circ}25'38''\text{W}$. (Fonte:Google Earth)



Quadro 1 - Análise química do solo nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade para caracterização geral da área experimental. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Quadra 17, Botucatu – SP. Prof: Profundidade.

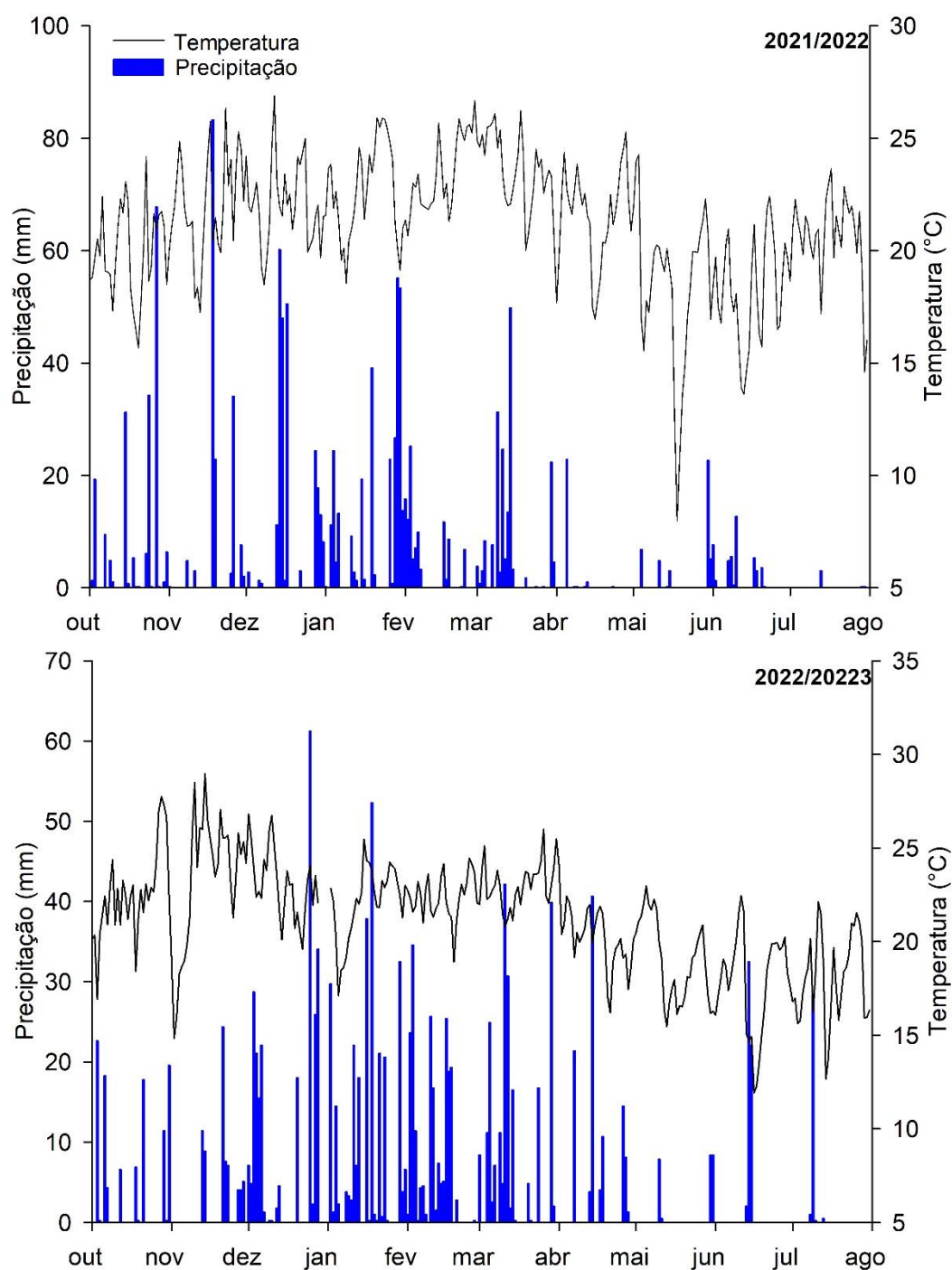
Prof.	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P _(Res)	S	M.O.	CTC	V	m
m	CaCl ₂			cmol _c /dm ³			mg dm ⁻³		g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%	
0,00-0,20	4,60	3,00	1,50	0,50	5,00	16,00	17,00	20,00	44,00	9,70	48,00	10,00
0,20-0,40	4,50	2,20	0,90	0,30	4,40	0,06	5,00	18,00	26,00	7,60	41,00	9,00
0,40-0,60	4,30	1,80	0,80	0,70	4,90	0,04	4,00	35,00	32,00	7,60	35,00	21,00

Prof.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
m				mg dm ³		
0,00-0,20	0,40	7,60	24,00	41,60	1,50	20,00
0,20-0,40	0,30	7,20	20,00	17,00	0,50	16,00
0,40-0,60	0,30	9,10	22,00	27,20	0,70	18,00

Prof.	Argila	Areia	Silte
m		%	
0,00-0,20	58,00	24,00	18,00
0,20-0,40	63,00	22,00	15,00
0,40-0,60	65,00	20,00	15,00

Através da Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Lageado (Departamento de Recursos Naturais – Setor de Climatologia), foram aferidos dados diários de temperatura mínimas e máximas, e precipitações pluviométricas referentes ao período de condução do experimento declarada na Figura 2.

Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas e precipitação durante o período experimental de 2021/2023



3.2 Delineamento experimental e tratamentos

A área foi dividida com base no delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com 4 repetições, em esquema de parcelas subdivididas 4x2. Os

tratamentos compreenderam dois tipos de cultivo de milho na safra de outono-inverno, sendo esses o sistema consorciado com *U. ruziziensis* (ML/SJ/UR) e o sistema de cultivo de milho solteiro (2), antecedendo o cultivo de soja na safra verão. As subparcelas foram aplicados os seguintes tratamentos: (A1) Testemunha absoluta: 0,0 Kg ha⁻¹ P₂O₅; 0,0 Kg ha⁻¹ K₂O; (A2) Pó de basalto: 5.000 Kg ha⁻¹; (A3) Fósforo solúvel + Potássio solúvel: 200 Kg ha⁻¹ P₂O₅ (MAP – 11-52-00); 100 Kg ha⁻¹ K₂O (KCl 00-00-60) e (A4) Fósforo solúvel + Potássio solúvel + Pó de basalto: 200 Kg ha⁻¹ P₂O₅ (MAP); 100 Kg ha⁻¹ K₂O (KCl) + 5.000 Kg ha⁻¹ (Figura 3). Cada unidade experimental teve 27 m², com 12 linhas de semeadura de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,45 m, resultando em uma área total de 2.000 m².

Figura 3 - Delineamento experimental e disposição de parcelas utilizadas durante a condução do experimento

A2	A3	A2	A3
A8	A1	A8	A1
A3	A2	A3	A2
A1	A8	A1	A8
<i>Bloco 3</i>	<i>Bloco 4</i>	<i>Bloco 3</i>	<i>Bloco 4</i>
<i>Com UR</i>		<i>Sem UR</i>	
A4	A1	A4	A1
A3	A2	A3	A2
A2	A4	A2	A4
A1	A3	A1	A3
<i>Bloco 1</i>	<i>Bloco 2</i>	<i>Bloco 1</i>	<i>Bloco 2</i>
<i>Com UR</i>		<i>Sem UR</i>	

Antes da semeadura, em setembro de 2019, foi feita a correção da acidez do solo, que consistiu em elevar a saturação por bases para 80% através de aplicações de calcário com PRNT 70% (18% CaO, 12% MgO), totalizando 4,3 t ha⁻¹ nas camadas de solo a 0-20cm e 20-40cm de profundidade. Simultaneamente à utilização do calcário, realizaram-se três aplicações individuais de 5 t ha⁻¹ de pó de basalto, totalizando uma quantidade de 15 t ha⁻¹. A primeira aplicação ocorreu no ano de 2019,

previamente ao cultivo de milho da safra outono-inverno. As duas aplicações subsequentes foram realizadas previamente às safras soja de 2019/2020 e de milho outono-inverno em 2020. Por meio de resultados de caracterização química de amostras Pó de basalto em laboratório de análises de corretivos e fertilizantes, foi possível determinar as quantidades de macro e micronutrientes totais do insumo.

Tabela 1 – Análise química de amostras de Pó de basalto para determinação de teores nutricionais

N	P ₂ O ₅ Total	P ₂ O ₅ Ac	P ₂ O ₅ CNA	P ₂ O ₅ Ag	K ₂ O	S	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- % -----													
0,7	ND	---	---	---	0,15	0,64	1,28	0,58	0,03	0,04	6,64	0,12	0,01

Um sistema de rotação de culturas em semeadura direta, com as culturas de milho e soja intermitente (ML/SJ), sendo o milho a cultura de outono-inverno e a soja como cultura de verão, tem sido utilizado desde a safra 2018/2019. Para o presente estudo, utilizou-se duas safras de soja (2021/2022 e 2022/2023) e uma safra de milho (2022), sendo a semeadura do milho, cultivar FS710PWU da empresa ForSeed, realizada no início do mês de março de 2022 e a colheita no mês de agosto de 2022. Já as semeaduras da soja ocorreram no mês de outubro de 2021 e 2022, com as cultivares NEO580 IPRO e NEO610 IPRO, respectivamente, sendo as colheitas realizadas nos meses de março de 2022 e fevereiro de 2023. A semeadura da UR foi realizada simultaneamente com a semeadura do milho.

3.3 Aporte de carbono residual

Foi realizada a amostragem dos resíduos culturais das três culturas avaliadas no experimento: soja, milho e braquiária nas duas safras. Os resíduos vegetais para determinação de matéria seca (MS) foram quantificados logo após a colheita da cultura. As coletas foram realizadas com o auxílio de um quadro de metálico medindo 0,5 m de comprimento por 0,5 m de largura, delimitando a área amostrada, em quatro repetições por unidade experimental. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, e secos em estufa de ventilação forçada a 60° C até massa constante. Em seguida, as amostras foram trituradas e submetidas ao analisador elementar automático Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO® (Figura 4) para determinação dos

teores de C e N, permitindo dessa maneira estimar o aporte de C via resíduos culturais bem como determinar o teor de N da palhada.

Figura 4 - Analisador TruSpec CHNS - LECO ® utilizado para aferição dos teores de C e N nas amostras de MS. Fonte: Autor, 2023.



3.4 Determinação do fluxo de CO₂ no solo

Para aferição dos valores do fluxo de CO₂ foi utilizado o do analisador portátil (IRGA – Infrared Gas Analyzer) da marca LI-COR, modelo LI-8100A que detecta as concentrações de CO₂ por absorção óptica através de infravermelho. Os resultados são obtidos em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, resultando pela regressão o fluxo de CO₂, posteriormente transformados em $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$. A câmara do aparelho de leitura é acoplada a um cilindro de PVC com 20 cm de diâmetro ($3,14 \text{ m}^2$) e 12 cm de altura, aprofundado a 3 cm no

solo na linha de semeadura de cada subparcela. As análises através do LI-8100A foram realizadas em etapas, onde a leitura e configuração realizadas em tempo real através de um aparelho celular conectado ao equipamento via Wi-Fi. Após a câmara ser manualmente alocada no anel, é dado o início da análise que consistirá primeiramente no fechamento hermético da câmara ao anel, dando início a análise do gás interno. Em conjunto das análises de Fluxo de CO₂, foram aferidos, próximo à área do cilindro de PVC, a umidade e a temperatura do solo através do sensor ML3 ThetaProbe Soil Moisture Sensor Delta-T®. A análise em si é dividida em duas etapas, a primeira é chamada de “*Dead band*” no qual o aparelho desconsidera a primeira análise seguido pela análise e conversão e registro dos dados (Figura 5).

Figura 5 - Esquema de análise de concentração de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹) – “*Measurement – CO₂ concentration*”.

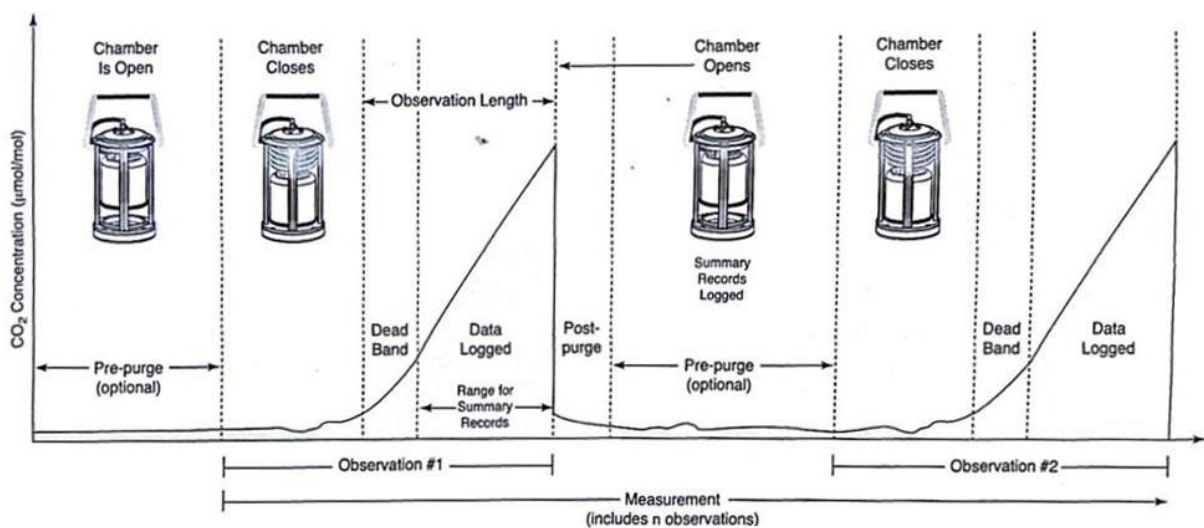


Foto: Matheus Frões de Moraes (Adaptado de: LI-8100A | Operating Instructions) - 2021

Os cilindros de PVC não foram mobilizados durante todo o período de avaliação, e retirados da área apenas no instante da colheita ou manejo das culturas. As avaliações no campo foram realizadas aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) das safras de soja 2021/2022, 2022/2023 e milho e 2022 (Figura 6).

Figura 6 - Anéis de PVC utilizados como sítio de análise de fluxo de CO² (A, B); aferição de fluxo com IRGA a campo (C) e determinação de temperatura e umidade com sensor ML3 (D).



Foto: Matheus Frões de Moraes - 2021

3.5 Produtividade de grãos

Em ambas as colheitas de soja, as quantidades de grãos produzidas foram avaliadas por meio da colheita das plantas presentes em 3 linhas úteis de 2 m em cada parcela. Após a colheita mecânica, os grãos foram pesados e o resultado convertido em Mg ha⁻¹, após correção dos teores de água nos grãos para 130 g kg⁻¹.

Durante duas safras consecutivas de milho, a avaliação da produtividade dos grãos foi realizada por meio da coleta das espigas das plantas cultivadas nas 3 linhas úteis de 3 metros de cada parcela. Após o processo de trilha mecânica, os grãos foram quantificados e a umidade foi aferida, considerando um grau de umidade de 130 gramas por quilo de água (g kg⁻¹).

3.6 Balanço de CO₂

Com base nos resultados de C-CO₂ emitidos anualmente e nos resultados de C aportado via resíduos vegetais remanescentes em cada subparcela, foi aferido o balanço de carbono, mediante ao cálculo 3:

$$\text{Balanço} = C_{\text{entrada}} - C_{\text{saída}} \quad (3)$$

Onde: Balanço é o saldo de C em kg ha⁻¹; C_{entrada} são os aportes de C (kg ha⁻¹) via resíduos vegetais de soja, milho e braquiária, sendo quantificado os aportes via parte aérea e estimado os aportes via raízes de acordo Redin et al. (2018) (Tabela 3); e C_{saída} são as perdas de C-CO₂ (kg ha⁻¹) do solo para a atmosfera através dos valores de fluxo de CO₂.

Tabela 3 – Relações de teores carbono (C) e nitrogênio (N) da matéria seca (MS) parte aérea e raízes para as culturas de soja, milho e UR

Espécies	Relação massa	Relação C parte	Relação N parte
	seca (MS) parte aérea/MS raízes	aérea/ C raízes	aérea/ N raízes
<i>Glycine max</i>	9,8	10	8,3
<i>Zea mays</i>	4,9	4,7	1,6
<i>Urochloa ruziziensis</i>	4	4,3	2,7

Fonte: Adaptado de Redin et al., (2018)

3.7 Emissão relativa

A partir dos valores de emissões acumuladas de CO₂ e a das produtividades das culturas da soja e milho (em kg ha⁻¹), foi calculada a quantidade de C-CO₂ emitida em razão da produtividade de grãos, sendo os resultados expressos em g C-CO₂ kg⁻¹ de grãos.

3.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste t (LSD – Student), ao nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando o software estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado, 2015).

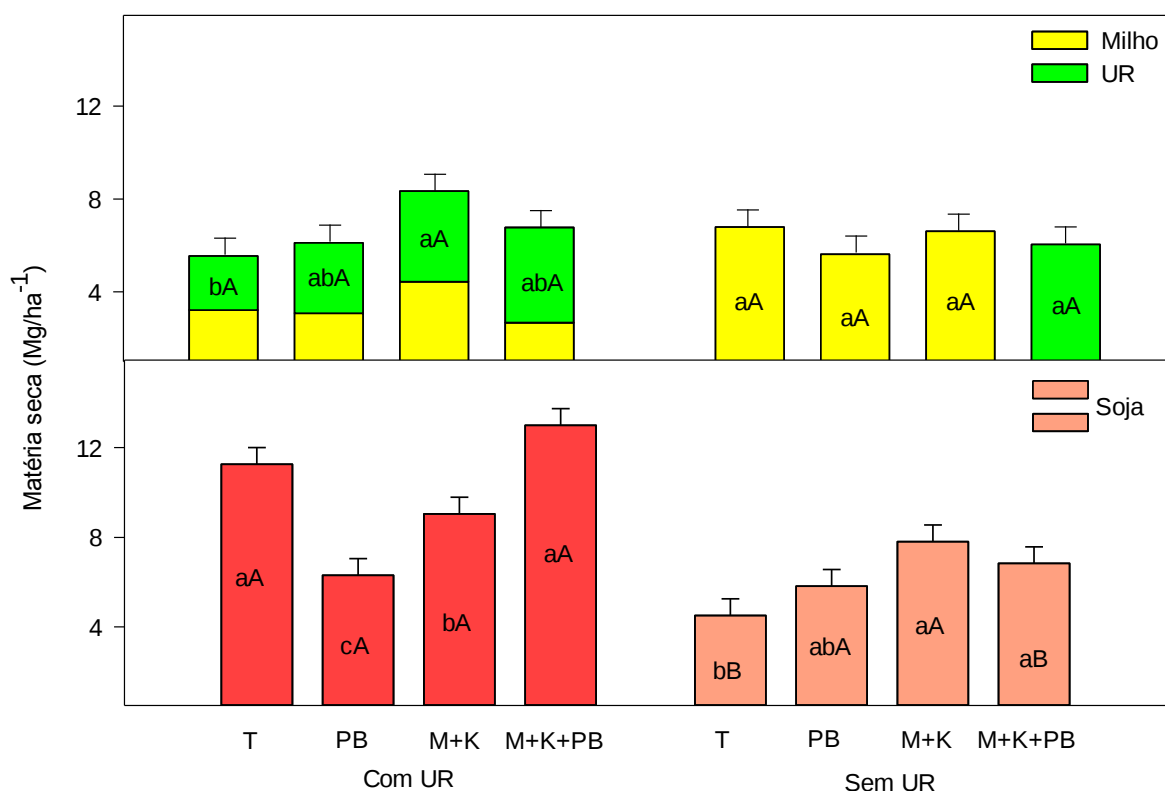
4 RESULTADOS

4.1 Aporte de Matéria Seca (MS)

Os resultados de quantidades de matéria seca aportadas pelas culturas revelaram interação significativa ($p < 0,05$) entre sistemas de consórcio e tratamentos para MS do milho 2021 e soja 2021/2022.

Foi possível observar que as plantas de milho que não contaram com a presença de UR demonstraram um maior acúmulo de matéria seca em comparação às plantas de milho com a prática de consórcio, possivelmente devido a competição por recursos (Figura 7).

Figura 7 - Aporte de matéria seca (MS - Mg ha⁻¹) pela safra de 2021/2022 das culturas de soja e milho nos tratamentos T: Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR a ao teste LSD ($p < 0,05$) com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.

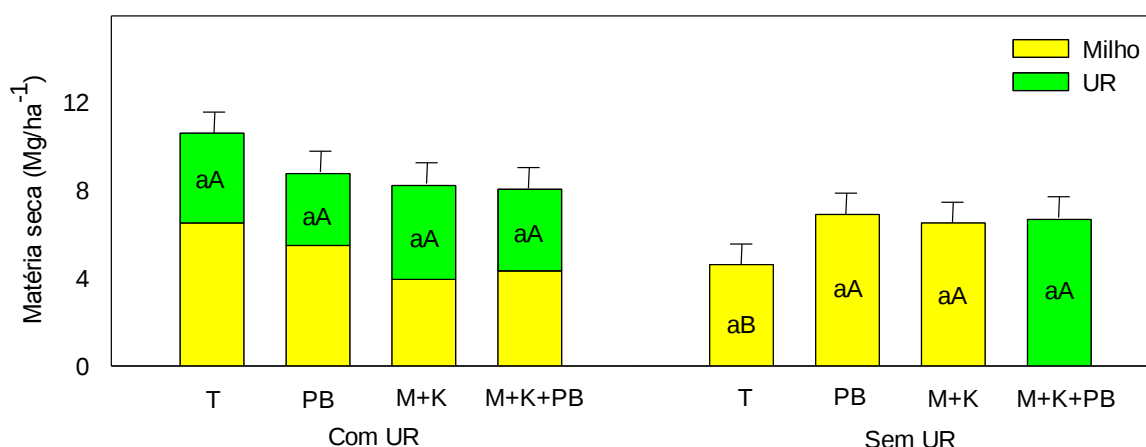


Esse maior acúmulo de MS pelo milho solteiro foi em média cerca de 83% superior ao aportado pelo milho consorciado. No entanto, é importante ressaltar que, mesmo que as plantas de milho consorciadas tenham aportado uma quantidade menor de MS no sistema, a presença de UR se mostrou essencial para a contribuição a esse aporte de MS, com uma média em torno de 3,2 Mg ha⁻¹ de MS.

Por outro lado, no caso da cultura da soja, o aporte de MS se destacou nas plantas que estiveram em um sistema de consórcio com UR. Especificamente, o sistema “MAP + KCL + Pó de basalto” com consórcio se sobressaiu ao aportar cerca de 13 Mg ha⁻¹ de MS, o que representa um aumento de 91% em relação ao mesmo tratamento sem a prática de consórcio.

Na safra 2022/2023, pôde-se observar efeito significativo ($p < 0,05\%$) da interação entre os sistemas de consórcio e os diferentes tratamentos na produção de matéria seca da parte aérea (MS) das plantas de milho e braquiária (Figura 8).

Figura 8 – Aporte de matéria seca (MS em Mg ha^{-1}) pela safra 2022 da cultura do milho nos tratamentos T: Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Letras minúsculas comparam as médias entre os tratamentos e maiúsculas comparam os sistemas com e sem UR, pelo teste LSD ($p < 0,05$). Asas barras de erro em cada coluna refere-se ao erro padrão da média.



A ausência de diferenciação ($p < 0,05$) entre os tratamentos submetidos ao sistema consorciado com UR pode ser explicado ao constante nível de estabilidade térmica e hídrica do sistema promovido pela presença da matéria seca de UR de safras anteriores, demonstrando ser capaz de mitigar a deficiência nutricional presente no tratamento testemunha.

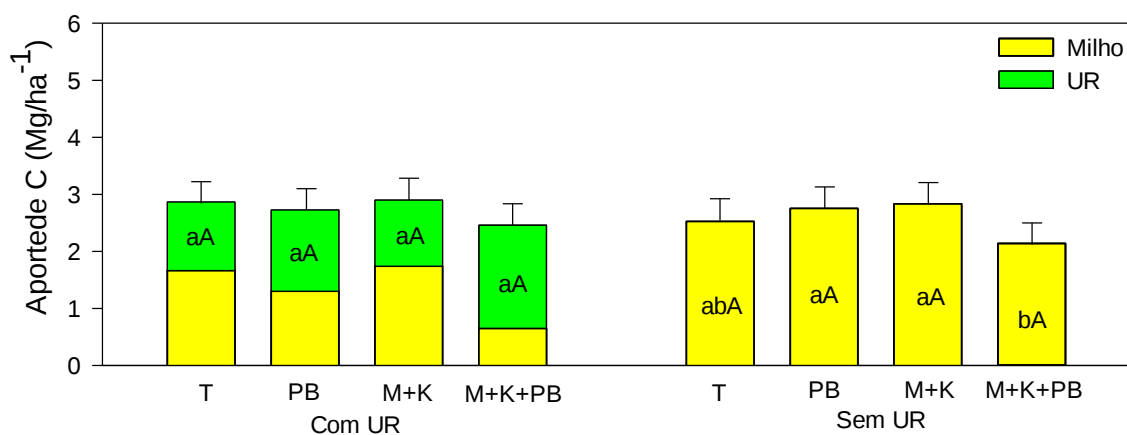
Quando comparados os tratamentos submetidos entre os sistemas, a diferença ocorreu entre o tratamento “Testemunha” no sistema de consórcio com UR, demonstrando um aporte de MS de 130,3% maior no sistema de consórcio com UR.

No entanto, vale ressaltar que a contribuição de MS proveniente da presença de UR nos sistemas de consórcio foi determinante para o aporte total de matéria seca nessas condições. Em média, aproximadamente $3,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS foram incorporados ao sistema por meio da participação da UR.

4.2 Aporte de C pela parte aérea

Nos resultados de aporte de C, não observou-se diferença ($p < 0,05$) entre os tratamentos dentro do sistema de consórcio com UR, porém, entre os tratamentos dentro do sistema sem consórcio com UR, o menor aporte se deu no tratamento “MAP + KCL + Pó de basalto”, com 26,2% a menos comparado com a média dos demais tratamentos, não diferindo do tratamento “Testemunha” com o aporte de 2,52 Mg ha⁻¹ de C. (Figura 9).

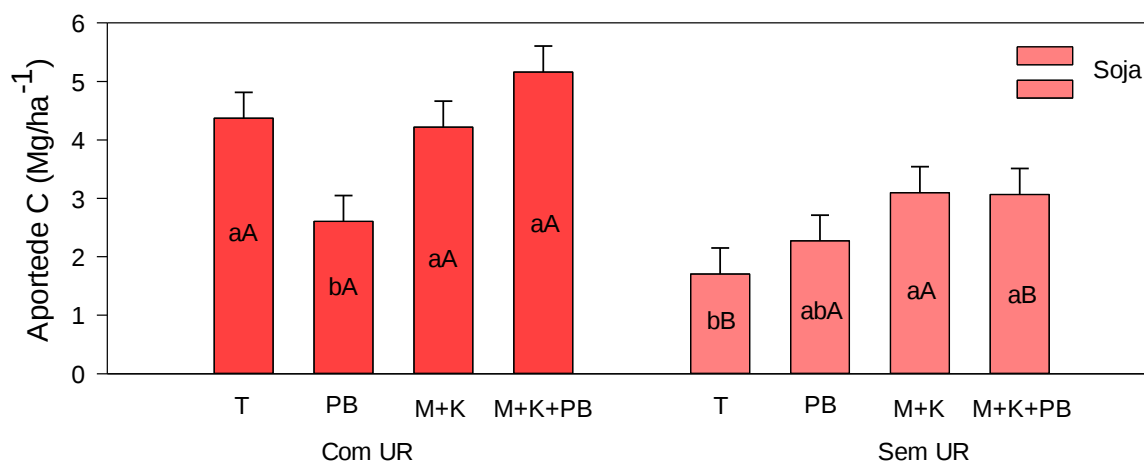
Figura 9 - Aporte de C (Mg ha⁻¹) pela massa de matéria seca da parte aérea pela safra 2021 das culturas do milho submetidas aos tratamentos T: Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR a ao teste LSD ($p < 0,05$) com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



No entanto, os tratamentos submetidos ao consórcio com UR apresentaram 6,6% a mais de aporte de C, quando comparada à média dos tratamentos sem consórcio de UR, não sendo constatada interação significativa entre os fatores de variação ($p < 0,05$).

Na cultura da soja, houve interação ($p < 0,05$) entre os regimes de consórcio e os diferentes tratamentos no que tange ao aporte de C pela parte aérea (Figura 10).

Figura 10 - Aporte de carbono (C) (Mg ha^{-1}) pela massa de matéria seca da parte aérea pela safra 2021/2022 da soja submetidas aos tratamentos T: Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR a ao teste LSD ($p < 0,05$) com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



As discrepâncias no comportamento entre os tratamentos consorciados e aqueles conduzidos de maneira isolada se mostraram marcantes no contexto do aporte de C, apresentando distinções significativas. De maneira geral, destacou-se que os tratamentos acompanhados da presença de UR demonstraram superioridade em relação aos tratamentos não consorciados a UR.

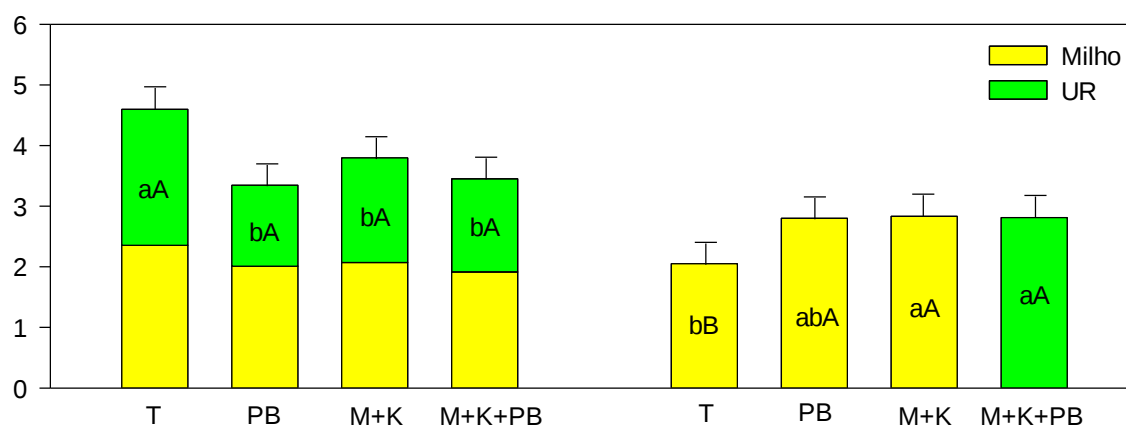
Com exceção da aplicação de Pó de basalto em associação com UR, que não apresentou uma vantagem em relação ao Pó de basalto sem consórcio da UR, outros cenários se delinearam. Os tratamentos “MAP + KCL”, “MAP + KCL + Pó de basalto” e até mesmo “Testemunha” exibiram vantagens sobre os mesmos tratamentos não consorciados em termos de aporte de C.

Os sistemas que mais se destacaram no quesito aporte de C foram “MAP + KCL” e “MAP + KCL + Pó de basalto” dentro dos consórcios. Esses sistemas apresentaram melhor capacidade de incorporar ao ambiente quantidades substanciais de C, alcançando quantificações da ordem de 4,2 e 5,2 Mg de C ha^{-1} , respectivamente. Vale ressaltar que tais valores refletem um incremento de

aproximadamente 65% e 35% em relação aos mesmos tratamentos conduzidos sem a presença do consórcio.

No cenário do cultivo de milho no ano de 2022, assim como a safra anterior de 2021, verificou-se uma interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores avaliados. (Figura 11).

Figura 11 - Aporte de carbono (C) (Mg ha^{-1}) pela massa de matéria seca da parte aérea pela safra 2022 das culturas do milho submetidos aos tratamentos T: Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR, ao teste LSD ($p < 0,05$) com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



É importante observar a correlação dos valores de aportes com as quantidades aportadas de MS na mesma safra de milho em 2022. Os tratamentos que envolveram o cultivo do milho sem o consórcio de UR, apresentaram um aporte de C da ordem de $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ e com relevância estatística.

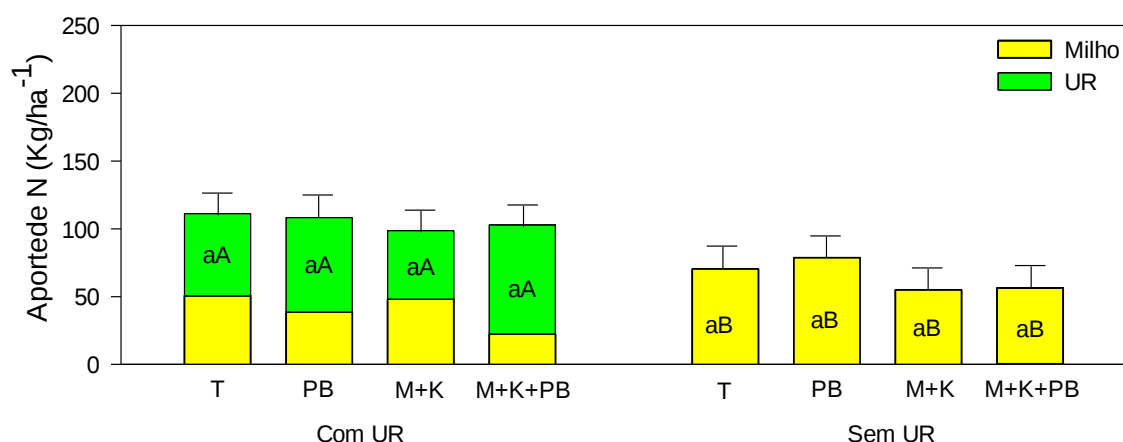
O sistema que se destacou em termos de aporte de C ao sistema como um todo foi o “Testemunha” em regime de consórcio com UR. Este sistema contribuiu com uma quantificação expressiva de $2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C através da cultura do milho e adicionalmente cerca de $2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C através do consórcio com UR, diferindo dos demais tratamentos em sistema de consórcio com UR com um aporte acumulado em 21,13% superior.

Para o consórcio sem *UR* houve diferença estatística ($p < 0,05\%$) onde o tratamento “Testemunha” apresentou um aporte 28% menor de C em relação à média dos tratamentos submetidos ao consórcio sem *UR*.

4.3 Aporte de N pela parte aérea

No decorrer do primeiro ano de estudo, de modo geral, os tratamentos não influenciaram o aporte de N. Uma correlação entre os fatores analisados se manifestou no contexto do aporte de N. Observou-se uma distinção entre os sistemas conduzidos em sistema de consórcio de *UR* e aqueles que não foram submetidos ao consórcio, onde o impacto se traduziu significativamente ($p < 0,05$) no aporte de N (Figura 12).

Figura 12 - Aporte de nitrogênio (N) (kg ha^{-1}) pela massa de matéria seca da parte aérea das culturas do milho e *Urochloa ruziziensis* na safra 2021 submetido aos tratamentos T: Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem *UR* ao teste LSD ($p < 0,05$) com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



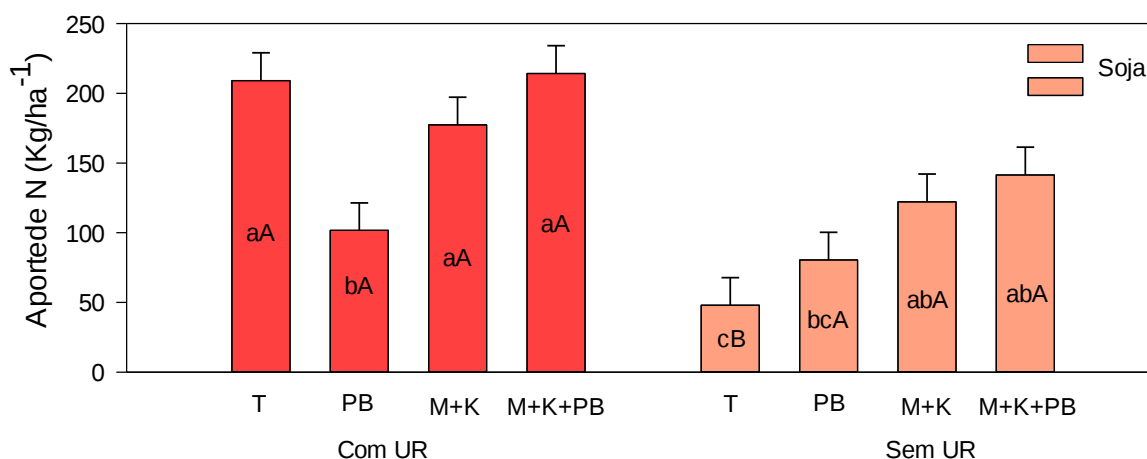
Tal influência se tornou evidente no caso dos tratamentos quando comparados entre os sistemas consorciado e não consorciado. Apesar do aporte específico promovido por plantas de milho sob consórcio de *UR* ter sido 62,9% inferior em relação

às quantidades aportadas pelo milho solteiro, o aporte de N total na presença de *UR* foi em média 61,62% superior em relação ao aporte de N em cultivo solteiro de milho.

Na cultura da soja, de forma semelhante ao que foi observado com relação aos resultados de MS e C, os tratamentos que adotaram o regime de consórcio demonstraram, de maneira geral, um aporte de N significativamente ($p < 0,05\%$) superior. Esse fenômeno foi observado para “MAP + KCL + Pó de basalto”, que se sobressaiu ao incorporar 214 kg de N ha^{-1} . Essa elevada contribuição não só atesta o papel do consórcio nesse contexto, como também reforça a eficácia da combinação entre os elementos “MAP + KCL + Pó de basalto” na promoção do aporte de N (Figura 13).

Figura 13 - Aporte de nitrogênio (N) (kg ha^{-1}) pela massa de matéria seca da parte aérea de soja na safra 2021/2022 submetido aos tratamentos T:

Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR ao teste LSD ($p < 0,05$) com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.

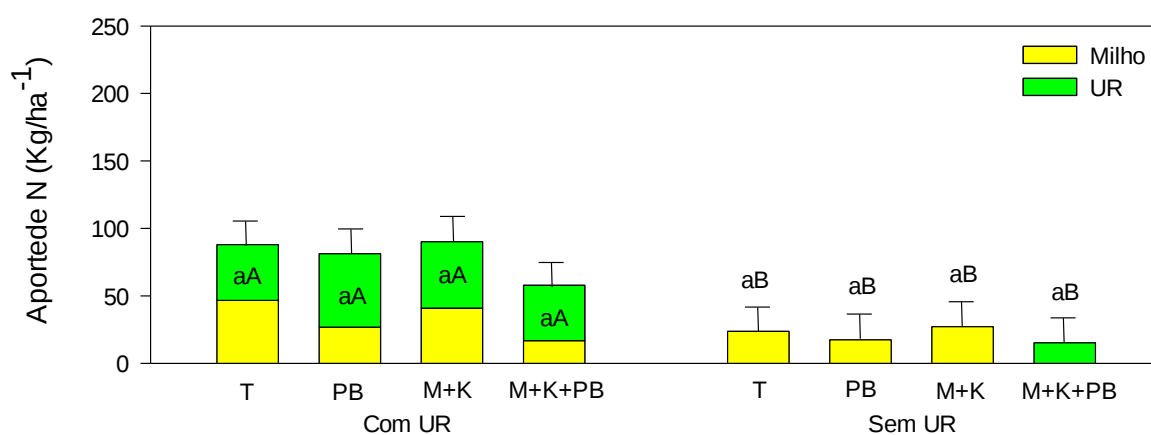


Em contrapartida, é relevante ressaltar que também foram observados aportes consideráveis de N no sistema “MAP + KCL + Pó de basalto” e “MAP + KCL”, sem o consórcio de UR. Valores da ordem de 141 e 122 kg de N ha^{-1} foram registrados, respectivamente, para esses sistemas quando aplicados de forma independente.

No que diz respeito ao aporte de N pelo cultivo de milho no ano de 2022, o sistema consorciado com *UR*, diferiu significativamente ($p < 0,05\%$) do sistema solteiro.

É importante destacar o papel desempenhado por *UR* no contexto do aporte de N (Figura 14), que foi, em média, 39,6 kg ha⁻¹, não havendo diferença estatística entre os tratamentos.

Figura 14 - Aporte de nitrogênio (N) (kg ha⁻¹) pela massa de matéria seca da parte aérea das culturas do milho e *Urochloa ruziziensis* na safra 2022 submetido aos tratamentos T: Testemunha; PB: Pó de basalto; M + K: MAP + KCL; M + K + P: MAP + KCL + Pó de basalto consorciados ou não com *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR a ao teste LSD ($p < 0,05$) com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



4.4 Fluxo de CO₂ e balanço de C

Nas avaliações de fluxo de CO₂ durante o cultivo de soja da safra 2021/2022 (Figura 15), não observou-se diferença significativa entre os tratamentos nas parcelas com consórcio de milho + UR no outono-inverno.

Figura 15 – Fluxo de CO₂ do solo (A), temperatura (B) e umidade (C) em parcelas com o consórcio de *Urochloa ruziziensis* aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2021/2022.

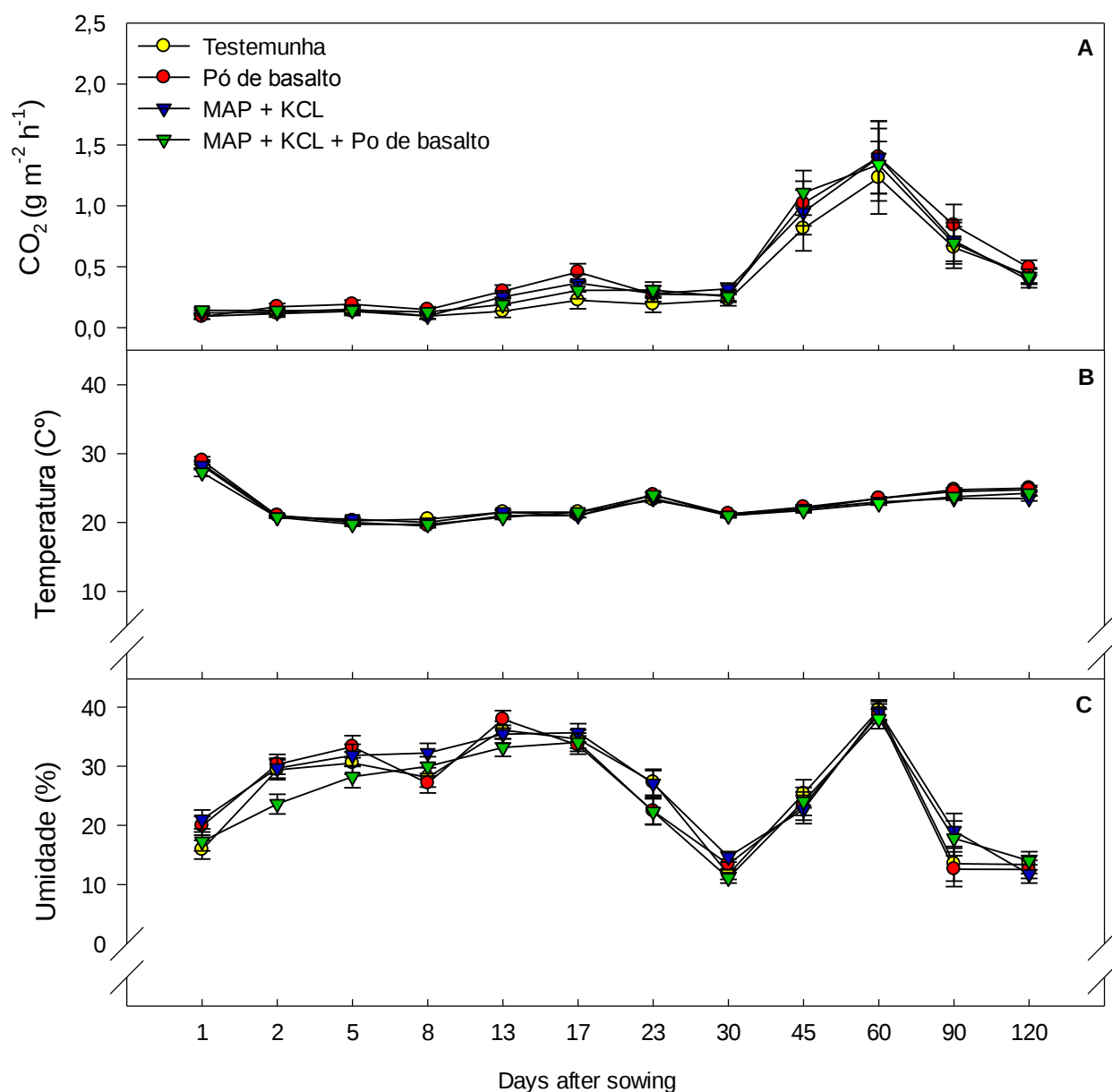
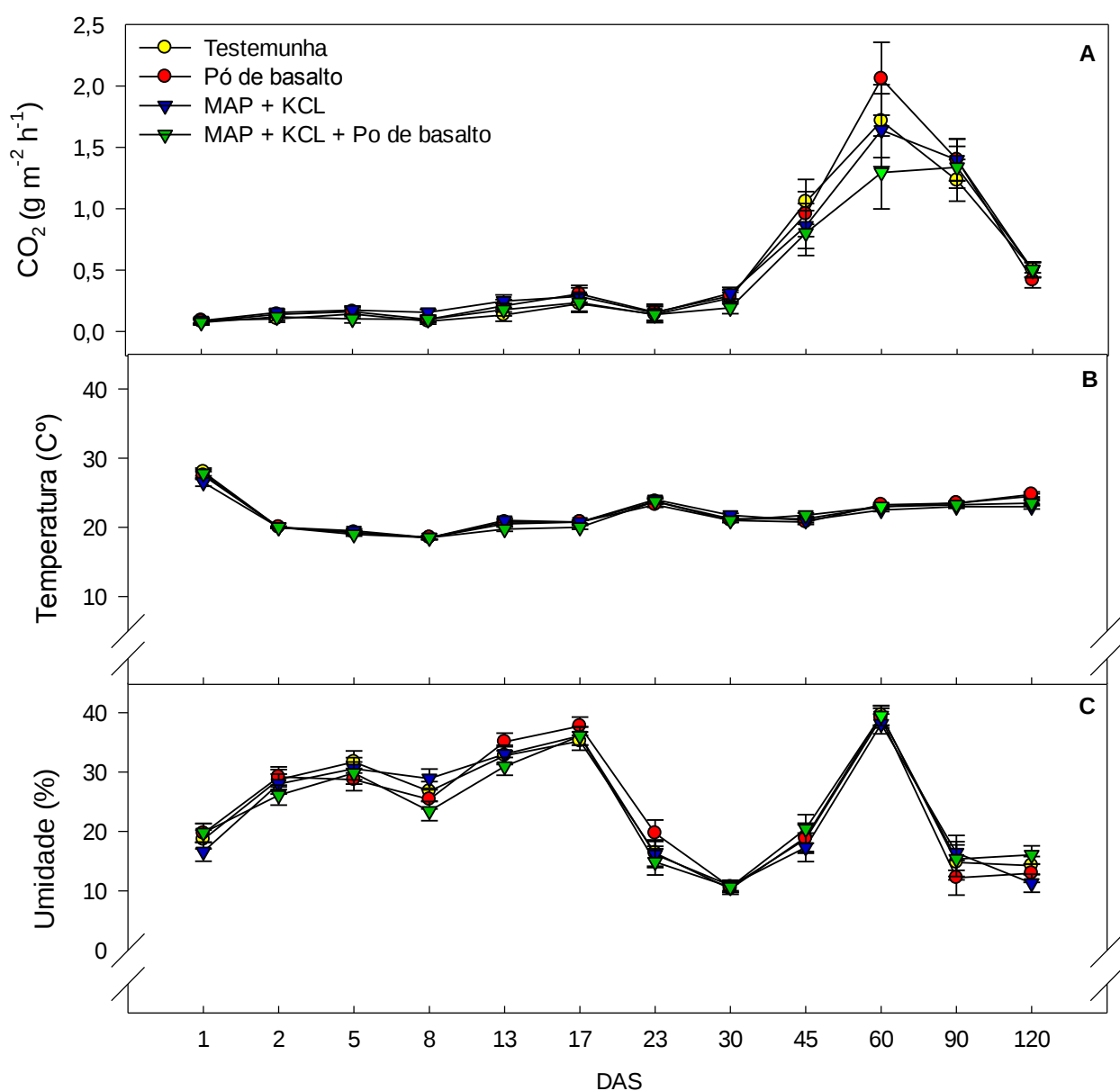


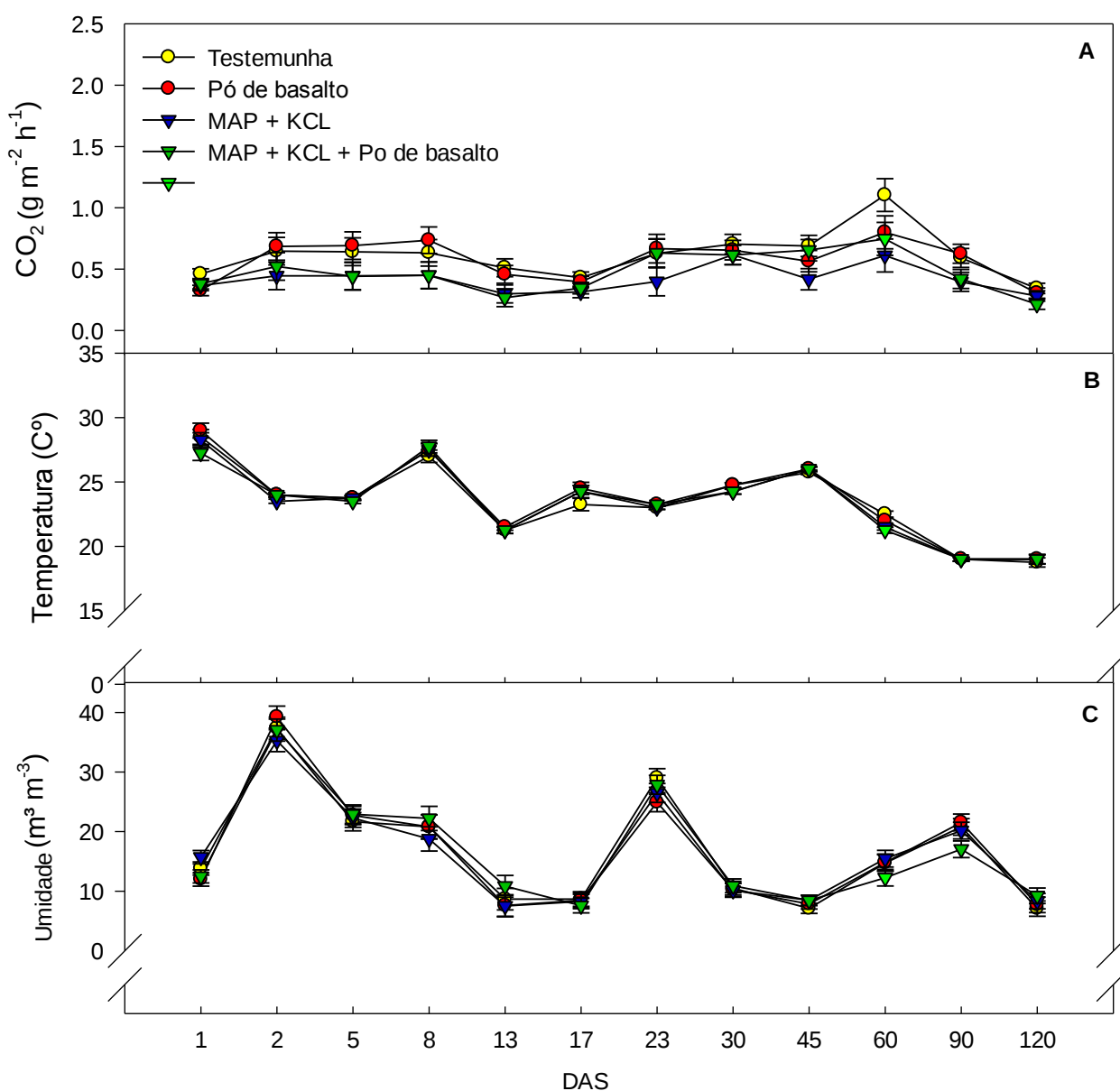
Figura 16 – Fluxo de CO₂ do solo (A), temperatura (B) e umidade (C) em parcelas sem o consórcio de *Urochloa ruziziensis* aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2021/2022.

Já nas parcelas que não envolveram o cultivo de UR, observou-se diferença significativa na medição realizada aos 60 DAS, com maior fluxo no tratamento envolvendo Pó de basalto, que obteve pico de emissão de 2,05 g m⁻² h⁻¹ (Figura 19).



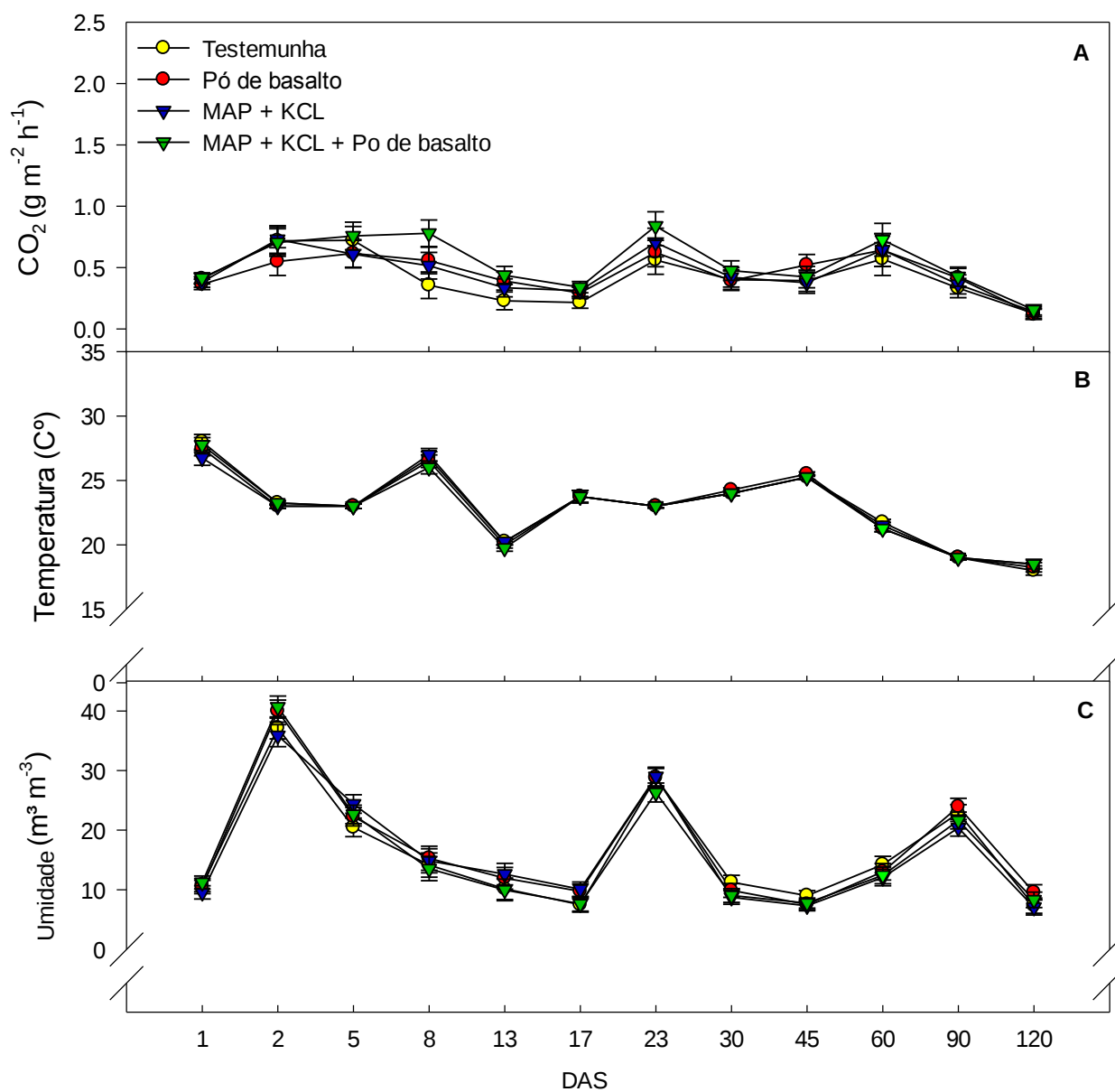
Na safra do milho o pico ocorreu aos 60 DAS com valores máximos de $1,10 \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ com o tratamento testemunha sem consórcio de UR, porém, só aos 120 DAS que houve diferença significativa ($p < 0,05\%$) entre os tratamentos onde o tratamento “Testemunha” sem consórcio de UR obteve o maior fluxo de emissão de CO_2 não diferindo dos tratamentos “Pó de basalto” e “MAP + KCL” sem consórcio de UR (Figura 20).

Figura 17 – Fluxo de CO_2 do solo (A), temperatura (B) e umidade (C) em parcelas com o consórcio de *Urochloa ruziziensis* aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do milho safra 2022.



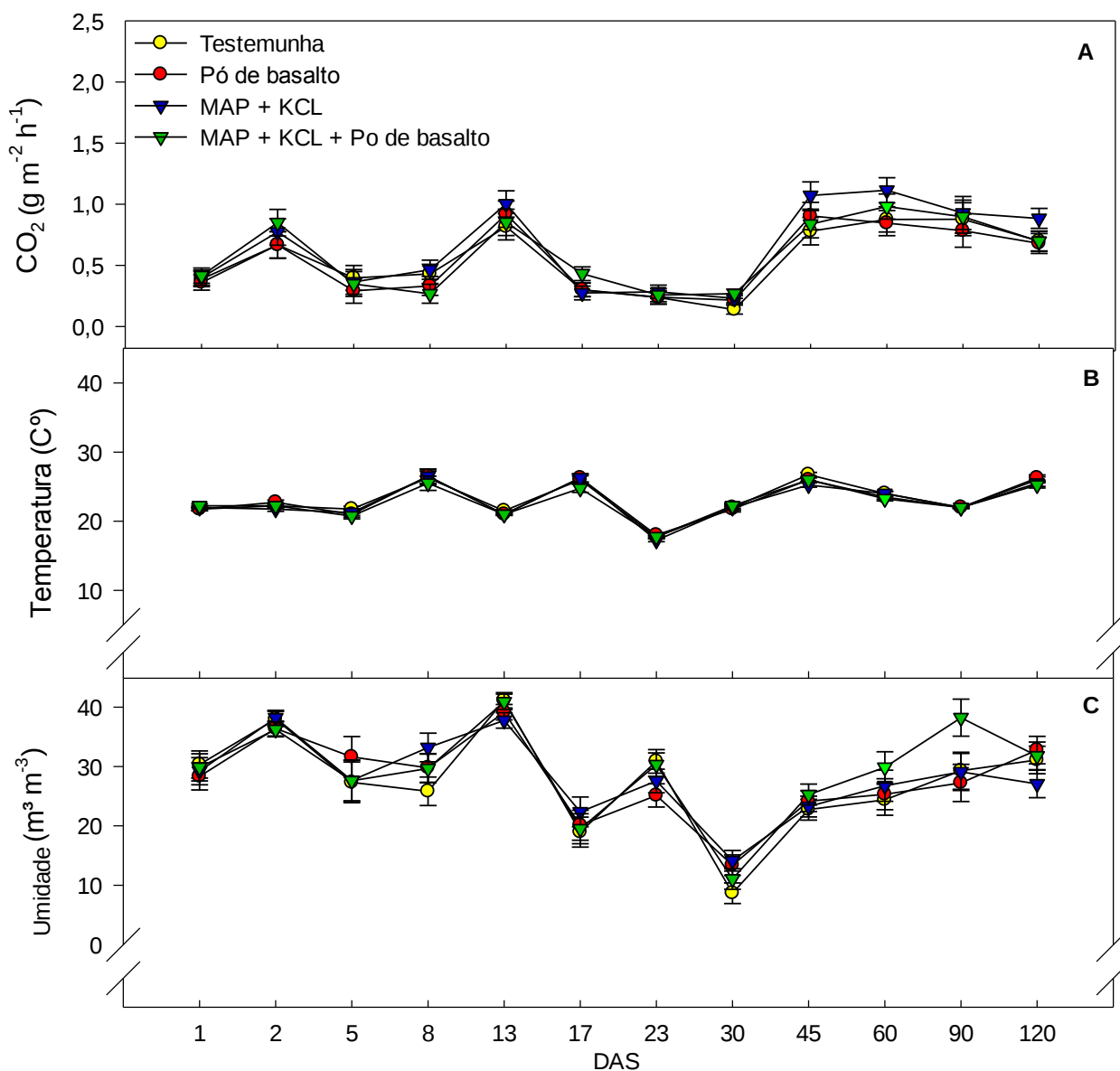
Com relação a temperatura, a máxima registrada foi ao 1 DAS, com a média de 27,85 C° já a diferença estatística ($p < 0,05\%$) ocorreu ao 3 DAS com maiores temperaturas aferidas nas parcelas submetidas aos tratamentos “Testemunha”; “Pó de basalto” e “Pó de basalto + MAP + KCL” sem UR. As menores temperaturas foram aferidas nos tratamentos “Pó de basalto” e “MAP + KCL” com consórcio de UR não diferindo dos tratamentos “Testemunha” e “Pó de basalto + MAP + KCL” também consorciados a UR. Aos 5 DAS a diferença se deu pelos tratamentos “Testemunha”; “Pó de basalto”; “MAP + KCL” sem consórcio de UR não diferindo do tratamento “Pó basaltos + MAP + KCL” também sem consórcio de UR. As menores temperaturas foram aferidas nos tratamentos sem consórcio de UR, diferindo apenas dos tratamentos submetidos a consórcios com UR (Figura 18).

Figura 18 - Fluxo de CO₂ do solo (A), temperatura (B) e umidade (C) em parcelas sem o consórcio de *Urochloa ruziziensis* aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do milho safra 2022.



Para os parâmetros de fluxo de CO₂ no segundo ano avaliados durante a safra de soja, as diferenças ($p < 0,05\%$) entre os tratamentos aconteceram apenas aos 12 e 60 DAS com o tratamento “Pó de basalto + MAP + KCL” possuindo a maior emissão diferindo das taxas dos tratamentos submetidos ao consórcio com UR com 1,0 e 1,11 g m⁻² s⁻¹ (Figura 19).

Figura 19 – Fluxo de CO₂ do solo (A), temperatura (B) e umidade (C) em parcelas com o consórcio de *Urochloa ruziziensis* aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2022/2023.



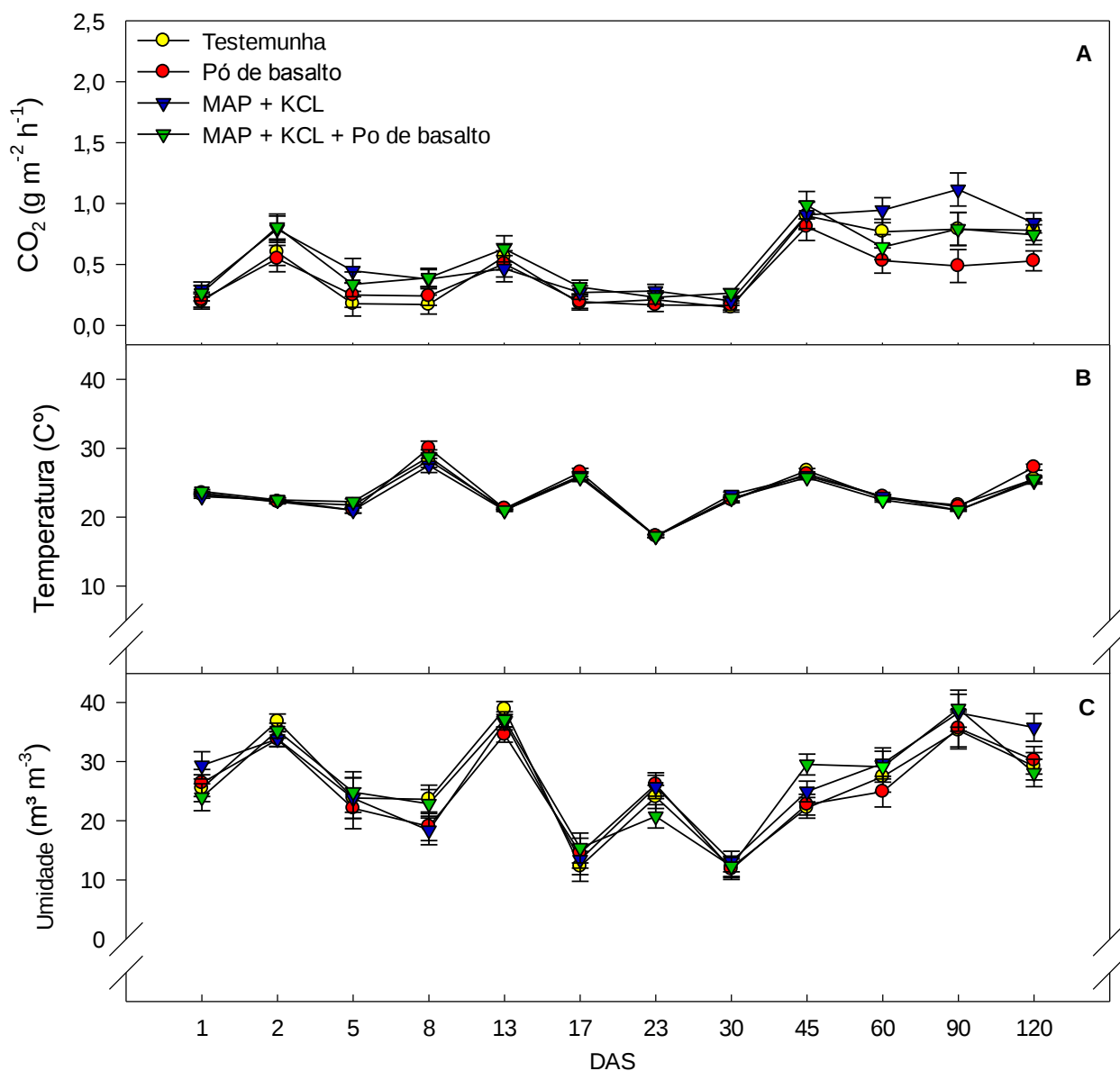
Com relação a temperatura, as diferenças significativas ($p < 0,05\%$) ocorreram aos 1; 45; 60 ;90 DAS. No 1 DAS, as maiores temperaturas foram aferidas nos tratamentos “Pó de basalto + MAP + KCL”; “Testemunha” e “Pó de basalto” ambos consorciados a UR. As menores taxas de emissão foram observadas aos quatro tratamentos sem UR. No 45 DAS os menores valores de emissão ocorreram nas

parcelas submetidas a “MAP + KCL” em consórcio de UR e “Pó de basalto + MAP + KCL”.

Aos 60 DAS o cenário das taxas de emissão se inverteu, com todos os tratamentos consorciados a UR tendo as menores taxas de emissão quando comparados aos tratamentos sem consórcio, não diferindo o tratamento “Pó de basalto + MAP + KCL” sem consórcio de UR dos demais consorciados a UR.

Já no aspecto de umidade, as diferenças entre os tratamentos puderam ser observadas aos 8; 12 e 23 DAS. Aos 8 DAS a maior umidade foi aferida no tratamento “MAP + KCL”, não diferindo dos tratamentos “Pó de basalto” e “Pó de basalto + MAP + KCL” sem consórcio de UR. Aos 12 DAS as maiores leituras de umidade se deram nas parcelas do tratamento “Testemunha”, não diferindo estatisticamente de “Pó de basalto”; “MAP + KCL”; “Pó de basalto + MAP + KCL” ambos sem consórcio com UR ou “Testemunha” consorciado a UR. Já aos 23 DAS, as maiores porcentagens de umidade no solo foram constatadas aos tratamentos “Testemunha” e “Pó de basalto + MAP + KCL” sem consórcio de UR (Figura 20).

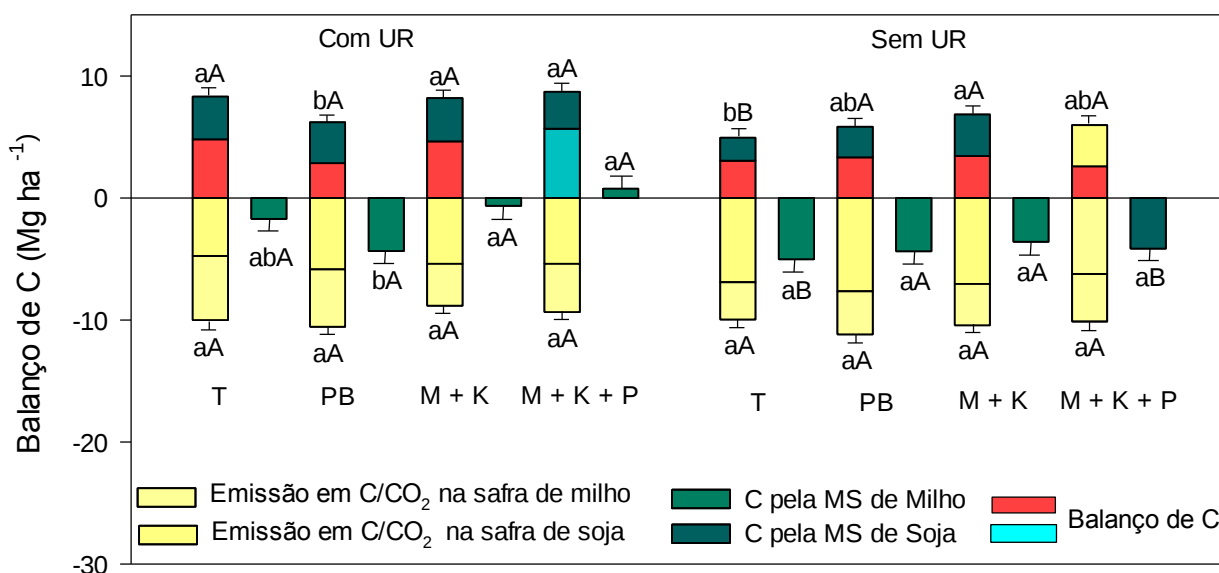
Figura 20 – Fluxo de CO₂ do solo (A), temperatura (B) e umidade (C) em parcelas sem o consórcio de *Urochloa ruziziensis* aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2022/2023.



Os valores de emissão acumulada das safras das culturas de soja e milho não se diferenciaram ($p < 0,05\%$) em relação aos tratamentos em nenhum dos dois sistemas de consórcio, com o mesmo efeito se repetindo quando comparado o mesmo tratamento dentro de diferentes sistemas de consórcio. Com relação as safras de soja e milho em parcelas consorciadas com UR na safra inverno o tratamento com a menor média de aporte de C foi aferida ao tratamento “Pó de basalto” não diferindo do mesmo

tratamento quando não consorciado a UR, sendo que nas parcelas submetidas ao consórcio em questão o maior aporte se deu nas parcelas utilizando “MAP + KCL”, porém, não diferindo dos tratamentos “Pó de basalto” e “MAP + KCL + Pó de basalto”. Quando comparadas as médias dos tratamentos entre os sistemas de consórcio, apenas o tratamento “Testemunha” divergiu do mesmo tratamento sem o consórcio de UR, com uma diferença de 3,37 Mg ha^{-1} (Figura 21).

Figura 21 – Balanço de carbono no sistema (Mg ha^{-1}) do primeiro ano agrícola dos tratamentos com e sem consórcio de *Urochloa ruziziensis*.



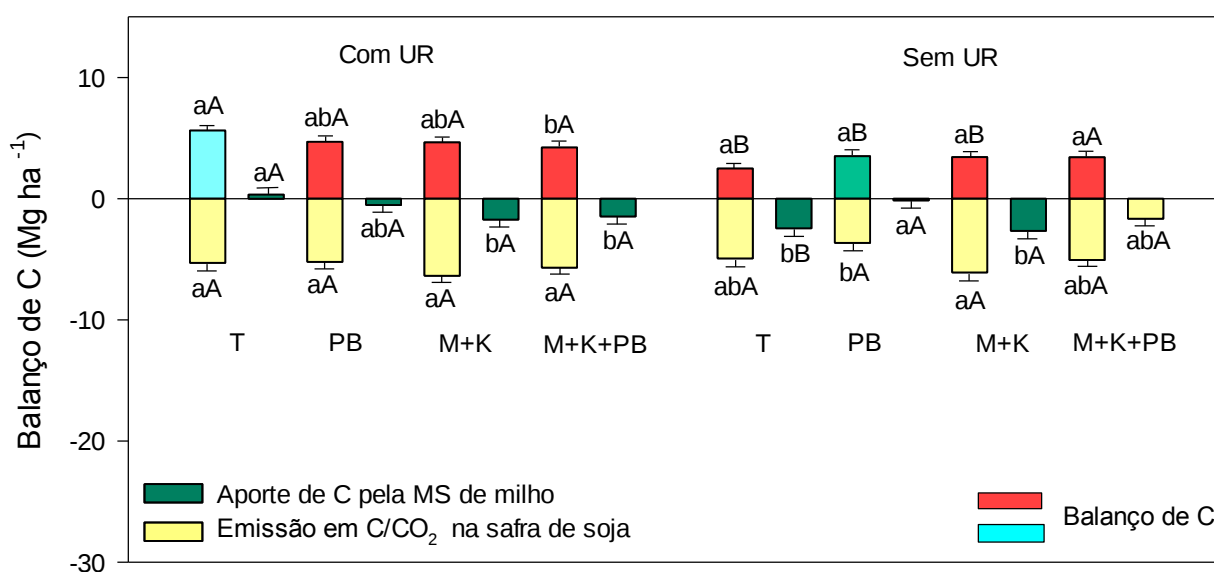
No âmbito de balanço de carbono, um balanço positivo é reflexo de taxas de emissões menores em detrimento ao aporte de carbono por tecidos vegetais, sendo assim, o tratamento que demonstrou maior capacidade de viabilizar um balanço de carbono positivo foi o tratamento “MAP + KCL + Pó de basalto” quando submetidos ao consórcio de UR, com um saldo de 0,761 Mg ha^{-1} , diferindo significativamente ($p < 0,05\%$) em -3,46 Mg ha^{-1} do mesmo tratamento sem o consórcio de UR, porém, estatisticamente não diferiu do tratamento “MAP + KCL + Pó de basalto” e “Testemunha” dentro dos tratamentos consorciados com UR.

Nas parcelas submetidas ao sistema sem consórcio de UR, não houve diferença de balanço de carbono, onde todos os valores refletiram um balanço negativo de carbono. Mesmo o tratamento “Testemunha” proporcionando taxas de emissões maiores aos valores de aporte no balanço, houve diferença estatística

quando comparado o mesmo tratamento dentro dos dois sistemas de consórcio, sendo que o tratamento “Testemunha” apresentou um balanço de $-3,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ em relação ao mesmo tratamento consorciado com UR.

Com relação às emissões da safra 2022 de inverno, os tratamentos não diferiram entre si ($p < 0,05\%$) nas parcelas consorciadas a UR, porém no sistema sem consórcio com UR o tratamento com menor emissão, associado ao tratamento “Pó de basalto”, não diferiu dos tratamentos “Testemunha” e “MAP + KCL + Pó de basalto” mesmo com uma diferença de 35% e 39% na emissão em C (Figura 22).

Figura 22 – Balanço de carbono no sistema (Mg ha^{-1}) no segundo ano agrícola dos tratamentos com e sem consórcio de *Urochloa ruziziensis*. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR a ao teste LSD a $p < 0,05\%$ com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média



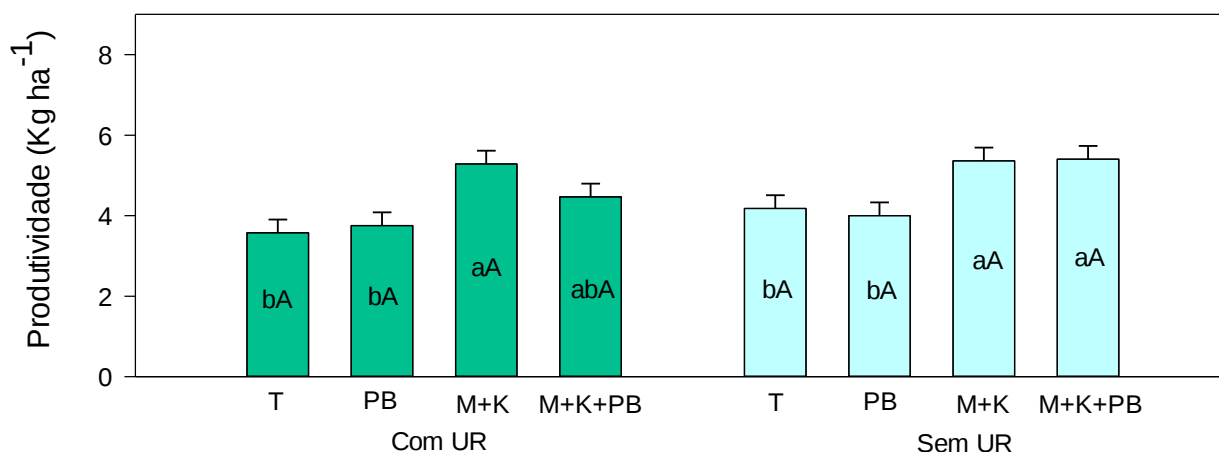
Uma vez que o desenvolvimento da UR em parcelas consorciadas concorre por recursos hídricos e nutricionais com a cultura do milho que por sua vez tem maior aporte de MS parcelas com maiores incrementos nutricionais pelos tratamentos refletem num menor aporte também de C consequentemente, sendo assim, o balanço positivo refletido no tratamento “Testemunha” pode ser explicado devido a essa interação entre as culturas. Mesmo o tratamento proporcionando um balanço positivo

para o sistema, estatisticamente ($p < 0,05\%$) não diferiu do tratamento “Pó de basalto” com $-0,521 \text{ Mg ha}^{-1}$. O tratamento “Pó de basalto” proporcionou o melhor saldo C de $-0,142 \text{ Mg ha}^{-1}$ dentro do sistema sem consórcio de UR, não diferindo do tratamento “MAP + KCL + Pó de basalto” com saldo $-2,79 \text{ Mg ha}^{-1}$.

4.5 Produtividade de grãos e emissão relativa de CO₂

A maior produtividade de soja na safra 2021/2022, no sistema com UR, ocorreu no tratamento “MAP + KCL” com a produtividade de $5,28 \text{ Mg ha}^{-1}$, 27,8% maior em relação à testemunha, não diferindo do tratamento “Pó de basalto + MAP + KCL” (Figura 23).

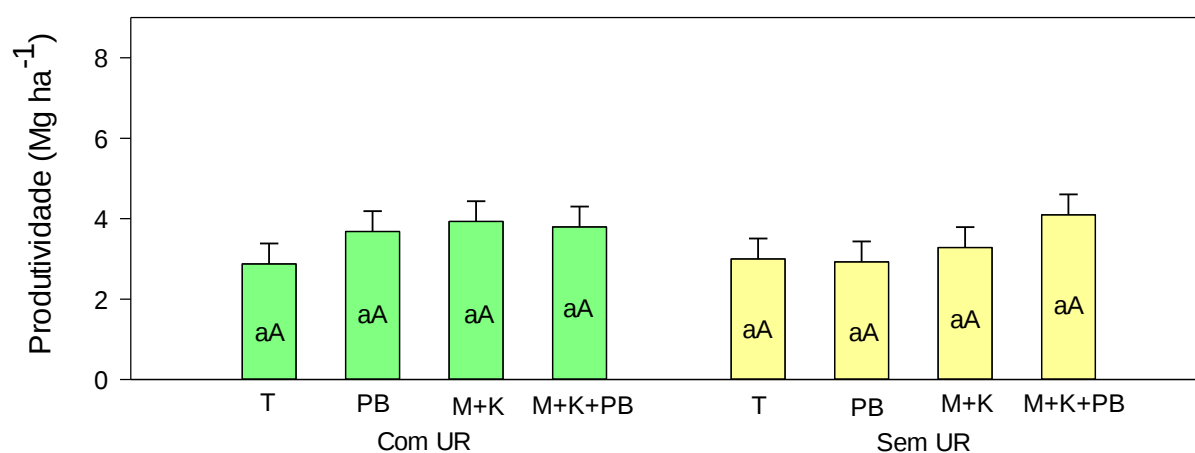
Figura 23 – Produtividade (kg há^{-1}) de soja da safra 2021/2022 nos tratamentos com e sem consórcio de milho e UR. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR ao teste LSD a $p < 0,05\%$ com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média



Já no sistema sem consórcio de milho com UR, as maiores produtividades foram observadas nos tratamentos “MAP + KCL” e “MAP + KCL + Pó de basalto”. Quando comparados os tratamentos entre os sistemas envolvendo cultivo de milho consorciado com UR ou solteiro, não foram constatadas diferenças estatísticas ($p < 0,05\%$).

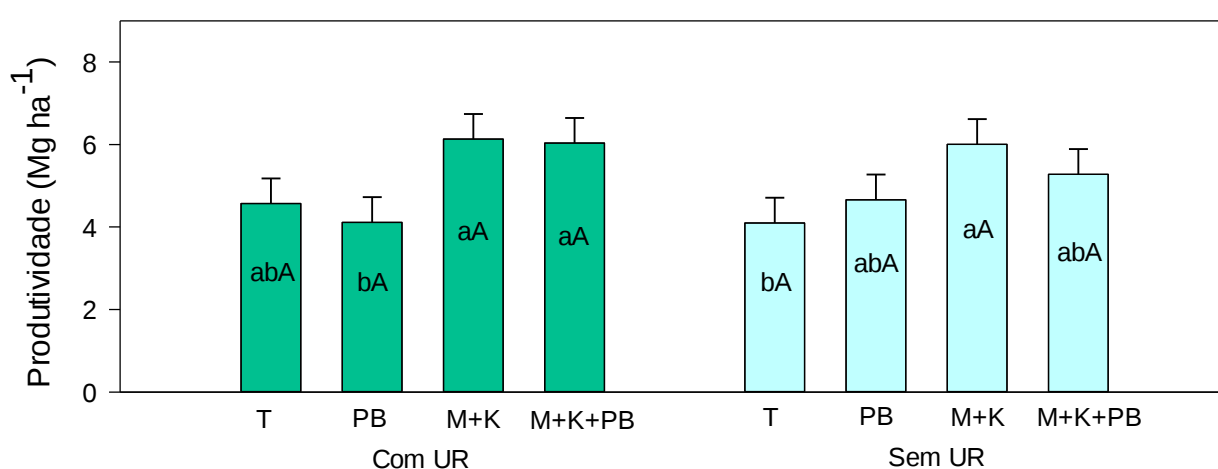
Na safra 2022, a produtividade de milho não diferiu entre os sistemas de cultivo consorciado e solteiro, bem como entre os tratamentos envolvendo adubação e pó de basalto, obtendo-se valor médio de produtividade de 3,45 Mg ha⁻¹ (Figura 24).

Figura 24 – Produtividade (kg há⁻¹) de milho da safra de 2022 nos tratamentos com e sem consórcio com UR. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem UR a ao teste LSD a $p < 0,05\%$ com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



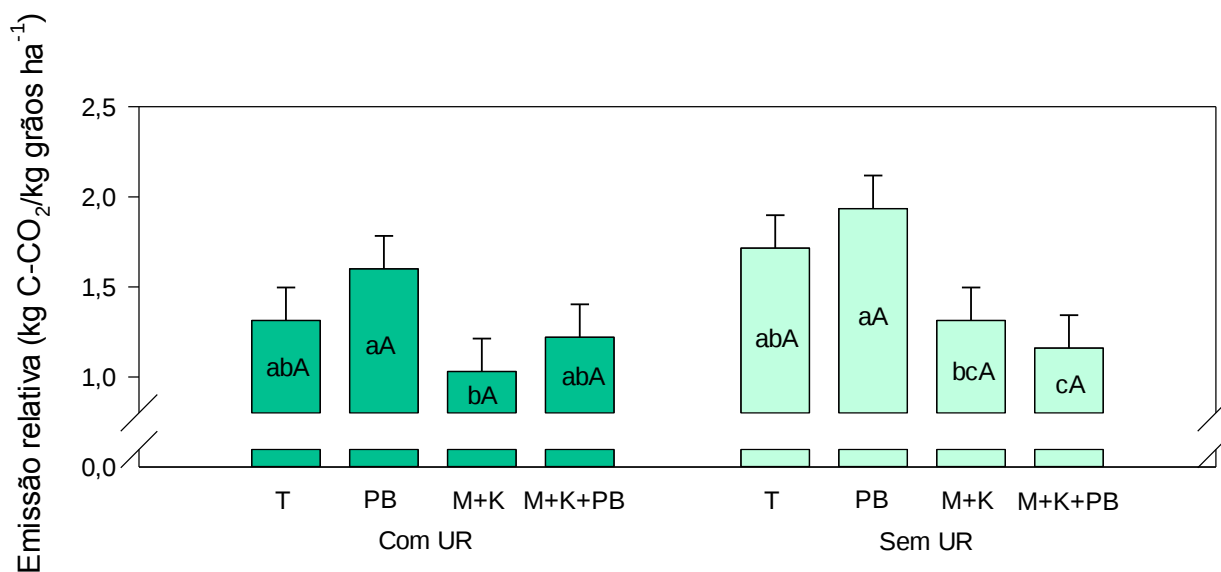
Na safra 2022/2023 da soja, na comparação entre os tratamentos dentro do sistema de consórcio entre milho e UR, constatou-se maiores produtividades de soja nos tratamentos com KCL + MAP e KCL + MAP + Pó de basalto, com 6,13 e 6,03 Mg ha⁻¹, respectivamente, que difeririam significativamente apenas do tratamento com PB. Já no sistema sem UR, constatou-se maior produtividade de soja no tratamento com MAP + KCL, com 6,0 Mg ha⁻¹, porém, com diferença estatística apenas em relação ao tratamento testemunha (Figura 25).

Figura 25 – Produtividade (kg ha^{-1}) de soja na safra 2022/2023 dos tratamentos com e sem consórcio de milho com UR. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem *Urochloa ruziziensis* ao teste LSD a $p < 0,05\%$ com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



. A menor emissão relativa na safra soja 2021/2022 foi aferida no tratamento “MAP + KCL” não diferindo ($p < 0,05\%$) dos tratamentos “MAP + KCL + Pó de basalto” e “Testemunha” com as maiores taxas de emissão relativas no tratamento “Pó de basalto” em parcelas no sistema de consórcio com UR (Figura 26).

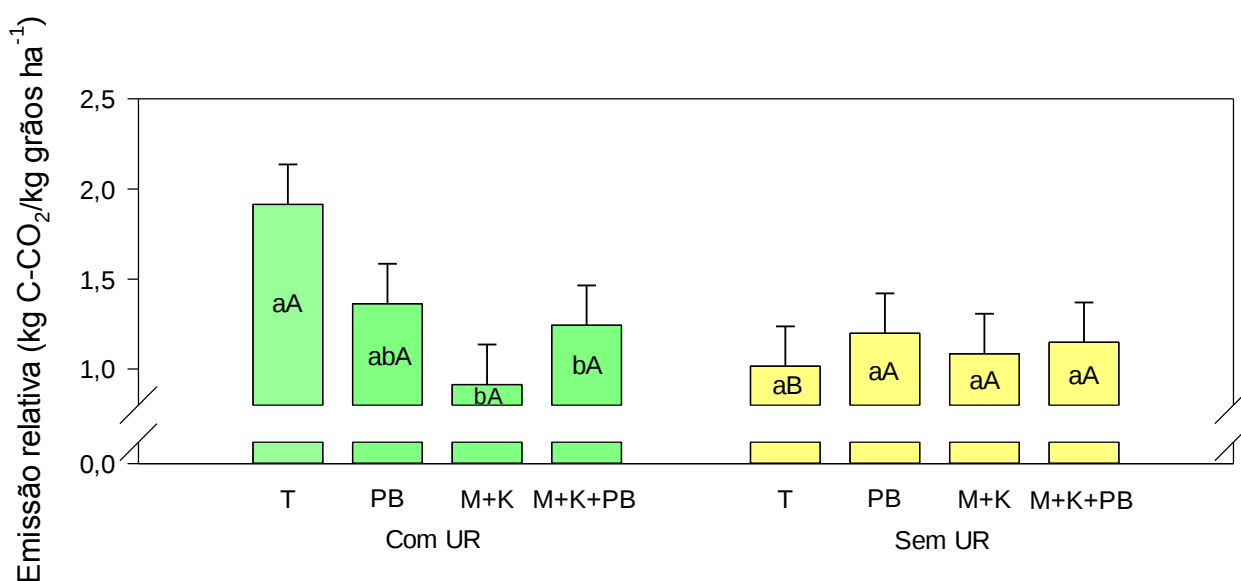
Figura 26 – Emissão relativa (kg C-CO₂/kg grão ha⁻¹) na cultura da soja na safra 2021/2022 nos tratamentos com e sem consórcio de UR. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem *Urochloa ruziziensis* ao teste LSD a p<0,05% com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média



Não foram observadas diferenças ($p < 0,05\%$) entre médias dos valores aferidos a cada tratamento quando comparados entre si dentro dos sistemas envolvendo ou não consórcio, porém nas parcelas sem o consórcio com UR a menor emissão relativa ocorreu no tratamento “MAP + KCL + Pó de basalto” não diferindo estatisticamente ao tratamento “MAP + KCL” dentro do mesmo consórcio. As maiores emissões relativas se deram nos tratamentos “Pó de basalto” e “Testemunha” consequentemente, não diferindo entre si.

Nas parcelas consorciadas com UR, a menor emissão relativa foi aferida aos tratamentos “MAP + KCL” e “MAP + KCL + Pó de basalto” não diferindo das parcelas avaliadas apenas com o “Pó de basalto”. A maior emissão relativa foi aferida ao tratamento “Testemunha” com valores médios 109% acima da menor emissão relativa encontrada dentro do sistema com consórcio de UR (Figura 27).

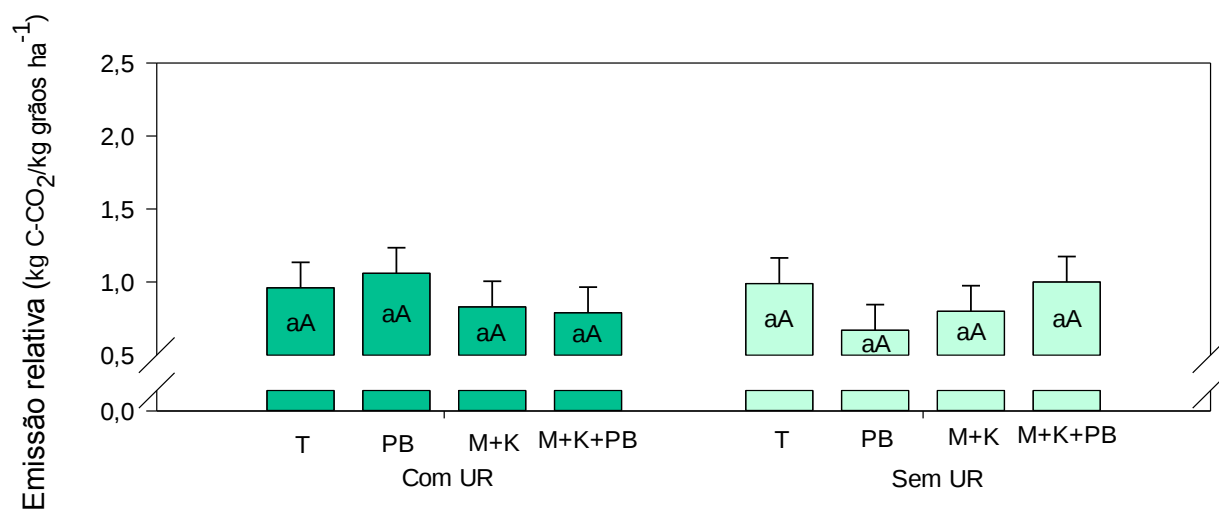
Figura 27 – Emissão relativa (kg C-CO₂ kg grão⁻¹ ha⁻¹) no milho da safra 2022 dos tratamentos com e sem consórcio de UR. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem *Urochloa ruziziensis* a ao teste LSD a $p < 0,05\%$ com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



No sistema sem o consórcio de UR não foram constatadas diferenças significativas ($p < 0,05\%$) entre os tratamentos avaliados, porém quando comparados os dois sistemas, especificamente entre os tratamentos “Testemunha”, o sistema sem UR apresentou menor emissão relativa comparado ao mesmo tratamento no sistema com UR. Este fato pode ser esclarecido através de um reflexo da alta emissão das parcelas “Testemunha” no sistema com UR, uma vez que para determinar a emissão relativa, é levado em consideração apenas a emissão relacionada a produtividade não considerando o aporte de carbono ocasionado pelo consórcio de UR na safra do milho.

Mesmo os maiores valores obtidos pelos tratamentos “Pó de basalto” consorciado com UR e “MAP + KCL + Pó de basalto” sem o consórcio com UR a emissão relativa na safra 2022/2023 da cultura da soja não diferiu ($p < 0,05\%$) entre os tratamentos dentro dos dois fatores, tanto entre os tratamentos como entre sistemas de consórcio com ou sem UR (Figura 28).

Figura 28 – Emissão relativa (kg C-CO₂ kg grão⁻¹ ha⁻¹) na cultura da soja da safra 2022/2023 dos tratamentos com e sem consórcio de UR. Diferentes letras minúsculas diferem entre os tratamentos e maiúsculas entre os sistemas com e sem *Urochloa ruziziensis* ao teste LSD a p<0,05% com as barras de erro superiores referindo-se ao erro padrão da média.



5 DISCUSSÃO

5.1 Aporte de MS, C e N

Culturas consorciadas possuem um papel determinante para o SSD principalmente em aportar MS para o sistema, porém alguns autores evidenciam interações entre culturas através da alelopatia ou competição, essas interações apontam efeitos que interferem negativamente em componentes de produção como a altura de plantas de milho (Brambilla et al., 2009), comprimento de espiga (Pariz et al., 2011) e redução na produção de grãos por espiga (Freitas et al., 2013b).

A observação de um maior aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio nas plantas de milho no sistema sem a presença da UR corrobora com a importância da competição por recursos (Flausino et al., 2022). A capacidade das plantas de milho em adquirir com maior eficiência os nutrientes, a luz solar e a água em um ambiente sem a competição da UR ressoam a influência direta das plantas vizinhas no crescimento e no desenvolvimento das culturas principais (Mingotte et al., 2021; Sarto et al., 2021).

No entanto, o contraponto a essa observação é o efeito da UR na parte aérea e raízes das plantas de soja, em que ocorreu um aumento no aporte de MS. Isso remete a capacidade das plantas de cobertura, como a UR, de promover melhorias físicas, químicas e biológicas no solo (Silva et al., 2022; Rigon et al., 2021). A interação simbiótica entre a UR e microrganismos benéficos, juntamente com o estímulo da produção de exsudatos radiculares, pode ter contribuído para uma maior exploração das raízes de plantas de soja, aumentando, assim, a captação de nutrientes (Crusciol et al., 2019).

A dinâmica observada na soja, com maiores aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio nos sistemas com UR, exemplifica a complexidade das interações planta-planta e planta-solo que embora compita pelo crescimento do milho, beneficia o avanço da soja. Esse achado corrobora com estudos que mostram a capacidade das plantas de cobertura em melhorar a eficiência do uso de nitrogênio pelas culturas consorciadas (Calonego; Rosolem, 2013; Momesso et al., 2021; 2022, Medonça et al., 2015) devido a capacidade da UR de ciclar nutrientes (Volf et al., 2023),

A interação entre os diferentes componentes em sistemas de produção agrícola aprofunda ainda mais quando consideramos o papel crucial do tratamento MAP + KCL

+ Pó de basalto. A inclusão do pó de basalto é particularmente interessante, pois este é um componente frequentemente menos explorado em estudos agrícolas convencionais.

Além disso, o pó de basalto tem sido associado à melhoria da capacidade de retenção de água do solo e à promoção da atividade microbiana benéfica, ambos fatores cruciais para a saúde e a fertilidade do solo (Alovisi et al., 2017). A combinação do pó de basalto com a aplicação de MAP e KCl proporcionou ter criado um ambiente altamente favorável para o desenvolvimento das culturas, resultando nos aportes de matéria seca, carbono e nitrogênio notáveis observados.

A exploração detalhada do aporte de matéria seca, carbono e nitrogênio, tanto para a parte aérea quanto para as raízes das plantas, revela a complexidade das interações em sistemas de produção agrícola. Assim, é essencial o entendimento de interações que podem se dar em sistemas agrícolas, desde a competição por recursos até a influência positiva de plantas de cobertura e a importância dos minerais de fertilizantes e RM. Com base nisso, os agricultores podem adotar práticas mais assertivas e estratégias integradas que maximizem a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, atuando como agentes de mudança positiva em um cenário agrícola global em constante evolução.

5.2 Reflexos do consórcio de UR nas culturas de soja e milho

Esse efeito foi notado no atual estudo com o aporte de MS nos diferentes tratamentos e consequentemente nos aportes de C influenciando diretamente nos saldos de C. Apesar da presença de UR no consórcio com a cultura do milho ter influenciado o aporte de C nos tratamentos “MAP + KCL” e “Pó de basalto + MAP + KCL” a produtividade final de grãos não foi influenciada pela presença da UR, além disso o consórcio com UR foi determinante em mitigar o saldo do balanço de C no sistema, independente do tratamento submetido pelas culturas. Alguns trabalhos evidenciam o papel positivo da UR no balanço final devido a relativa dificuldade em mineralização da MS promovida pela relação C/N maior (Ferreira & Lamas, 2010) fator que contribui diretamente no sequestro de carbono uma vez que o aporte de MS é maior quando comparado as emissões consequentes. Outro aspecto influenciado pela UR é o incremento na disponibilidade de N pela extração e mineralização subsequente da MS, como fator de interação entre as culturas de soja e UR já observados em

estudos recentes evidenciando a mineralização acelerada da soja e baixa relação C/N podendo ser uma hipótese de disponibilidade de N (Ferreira et al., 2019).

5.3 Análise de produtividade de Soja e Milho em diferentes sistemas de consórcio com Pó de basalto

Alguns atributos devem ser considerados no âmbito da influência do Pó de basalto como o incremento de nutrientes de modo que promova benefícios diretos e indiretos que irão refletir na produtividade de grãos das culturas sob o cultivo em solos remineralizados, bem como o maior aporte de MS. Apesar de diversos trabalhos evidenciarem as vantagens do Pó de basalto na agricultura (Almeida et al., 2007; Writzl et al., 2019; Silva et al., 2019) outras pesquisas evidenciam benefícios como o aumento de produtividade porém é comum que sejam associadas a altas taxas de aplicação do produto. Um estudo recente avaliando o uso de Pó de basalto como fonte de fertilizante alternativo constatou o aumento na produtividade apenas na dose de 40 Mg ha⁻¹ para refletir no acréscimo em que seja equivalente com taxas aferidas a cultura da soja apenas com fertilizantes solúveis (Redin et al., 2023), quantidade que inviabilizaria seu uso na agricultura. Entretanto vale destacar que o intuito do RM não é de substituir, mas sim de agregar qualidade nutricional nos sistemas. Porém, em alguns casos, mesmo sendo um agente secundário nesse aspecto, não causa efeitos significativos na produtividade como é o caso dos resultados encontrados nas duas safras de soja e uma de milho avaliadas neste trabalho, sendo que em nenhum dos casos avaliados houve interação entre os tratamentos utilizando o Pó de basalto em concomitantemente aos fertilizantes solúveis ou não, equiparando a pesquisas publicadas nos últimos anos que tiveram como foco o uso do Pó de basalto em específico na produtividade de soja e milho (Hanisch et al., 2013; Dettmer et al., 2020; Aguilera et al., 2020 & Alovisei et al., 2020).

6 CONCLUSÃO

A combinação do Pó de basalto, MAP e KCL proporcionou, de maneira geral, um aumento de aporte de carbono (C) e nitrogênio (N) tanto de MS da parte aérea quanto radicular principalmente na cultura da soja.

A adubação com MAP + KLC e Pó de basalto em consórcio UR promoveu um maior aporte de C, sendo os principais agentes responsáveis por resultarem num balanço positivo de carbono quando integrados. A abordagem de adubação empregada e a prática de consórcio demonstrou taxas de emissão relativa minimizadas, apontando aos benefícios não apenas de natureza ambiental, mas também sob uma perspectiva agronômica.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, J. G.; ALVES, Z.; ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; DA SILVA, L. N.; DA SILVA, C. E. S.; ... & GONZALES, H. H. S. Efeito Residual de Doses de Pó de Basalto no Milho Segunda Safra. *Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, v. 26, n. 2, p. 281-288, 2022.
- AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A.; RATKE, R.; TRENTA, A.; LIMA, R. E.; GRIS, G.; MORAIS, K.; SILVA, J.; MARTINS, W. Influencia de dosis de polvo de basalto sobre cultivares de soya. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e51973974, 2020. doi: 10.33448/rsd-v9i7.3974.
- ALMEIDA JUNIOR, J. J.; DE SOUSA, R. P.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; PEROZINI, A. C.; CAMPOS, S. F. B.; SILVA, V. J. A. Milho em consórcio com *urochloa* e *crotalaria*. *Bragantia*, v. 1, n. 38, p. 12, 2021.
- ALMEIDA, E.; SILVA, F. J. P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no Sul do Brasil. *Agriculturas*, v. 4, n. 1, p. 7-10, 2007.
- ALOVISI, A. A.; LUZ, R. A.; ALOVISI A. M. T.; TOKURA, L. K.; GOMES, C. F.; CASSOL, C. J. Silicatagem no solo e na produtividade da cultura do milho. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 933–950, 2020.
- ALOVISI, A. M. T.; FRANCO, D.; ALOVISI, A. A.; HARTMANN, C. F.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. Atributos de fertilidade do solo e produtividade de milho e soja influenciados pela rochagem. *Acta Iguazu*, v. 6, n. 5, p. 57-68, 2017.
- ALOVISI, A. M. T.; GOMES, W. L.; ALOVISI, A. A.; SILVA, J. A. M.; SILVA, R. S.; CASSOL, C. J.; MUGLIA, G. R. P.; VILLALBA, L. A.; SOARES, M. S. P.; TEBAR, M. M.; CERVI, R. F.; RODRIGUES, R. B.; GNING, A. A. Atributos químicos do solo e componentes agrônômicos na cultura da soja pelo uso do pó de basalto. In: *Impacto, excelência e produtividade das ciências agrárias no Brasil*. Vol. 3. Cap. 2, p. 13-26. Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso, 2020.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2001.
- ALVES, Z. Efeito residual de doses de pó de basalto no milho segunda safra. *Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Agronomia (Campus de Chapadão do Sul)*, 2021.
- AMARAL, G. C.; DA SILVA BERTI, M. P.; DA SILVA, A. A.; DA SILVA JÚNIOR, G. S.; CUSTÓDIO, J. P. C.; PEIXOTO, W. A. Características agrônômicas da soja em função da adubação com pó de rocha e biofertilizante. *Revista Cultura Agronômica*, v. 29, n. 4, p. 437-447, 2020.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO, J. W. *AgroEstat - Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, p. 396, 2015.

BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 56, p. 59–68, 2000.

BRAMBILLA, J. A.; LANGE, A.; BUCHELT, A. C.; MASSAROTO, J. A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de Sorriso, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 8, n. 03, 2009.
<https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n03p%p>.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus and potassium balance in a corn–soybean rotation under no-till and chiseling. *Nutrient cycling in agroecosystems*, v. 96, p. 123-131, 2013.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, p. 777-783, 1992.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online], v. 33, n. 1, pp. 147-157, 2009. Acesso em: 21 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Scientia Agricola*, v. 66, pp. 831-843, 2009.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Cultivo do milho. *Sistemas de produção*. Embrapa CNPMS, Brasília, DF: 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. “Série histórica – Custos – Milho 2ª safra – 2005 a 2021.” Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 12 jul. 2021.

CORREIA, N. M.; LEITE, M. B.; FUZITA, W. E. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 1, 2013.

CRUSCIOL, C. A.; RIGON, J. P.; CALONEGO, J. C.; SORATTO, R. P. Improved plant diversity as a strategy to increase available soil phosphorus. *Better crops with plant food*, v. 103, pp. 43-5, 2019.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II-atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, pp. 603-611, 2011.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRUGUER, C. A.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em

solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, pp. 855-864, 2009.

DE SOUZA, M. D. B.; FONTANETTI, A.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v. 5, n. 1, pp. 1-7, 2017.

DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO, 4., 2020, Naviraí. Anais, Naviraí: UFMS, 2020.

DETTMER, C. A.; ABREU, U. G. P.; GUILHERME, D. O.; NETO, J. F.; DETTMER, T, L. Uso de 'pó de rocha' em sistemas de produção agrícola: breve análise sobre viabilidade técnica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral. P 141. 2014.

FERREIRA, E. R. N. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 8, n. 2, p. 111-121, 2009.

FERREIRA, G. A.; ALVES, S. J.; OLIVEIRA, P. S. R. de; COSTA, A. C. T. da; NOLLA, A. Carbono orgânico e nitrogênio do solo sob alturas de pastejo da *Urochloa ruziziensis* em sistema agropastoril. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 18, n. 3, p. 352-362, 2019.

FLAUSINO, B. F.; MACHADO, C. F.; SILVA, J. H. C.; RONCHI, C. P.; PIMENTEL, M. A. G.; GONTIJO, L. M. Intercropping maize with brachiaria can be a double-edged sword strategy. *Pest Management Science*, v. 78, n. 12, p. 5243-5250, 2022.

FLETCHER, A. L.; MOOT, D. J.; STONE, P. J. Interceptação da radiação solar e expansão do arranjo de milho doce em resposta ao fósforo. *European Journal Agronomy*, v. 29, p. 80-87, 2008.

FREITAS, R. J. D.; NASCENTE, A. S.; SANTOS, F. L. D. S. População de plantas de milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, n. 1, p. 79-87, 2013.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 9, p. 893-901, 2005.

GHIZZONI, J. C.; GOTZ, L. F.; CASTAMANN, A.; ONESKO, J. C.; BAMPI, E.; REIS DE SÁ, K. Produtividade e nutrição do milho após diferentes formas de aplicação de pó de rocha e esterco. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, p. e31110817285, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17285.

GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M. Ferrugem-asiática da soja: base para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Embrapa Soja, Documentos 428, Londrina, 2020.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 23, p. 307-313, 1999.

GRAYSTON, S. J.; VAUGHAN, D.; JONES, D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology*, v. 5, n. 1, p. 29-56, 1997.

HANISCH, A. L.; da FONSECA, J. A.; JUNIOR, A. A. B.; SPAGNOLLO, E. DESEMPENHO DA CULTURA DO MILHO APÓS TRÊS ANOS DA APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO AO SOLO, COM E SEM FERTILIZAÇÃO. 2014.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SPAGNOLLO, E. Efeito de Pó de basalto no solo em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 3, n. 2, 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III. Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 863p. 2007.

KLEIN, Z. H. L. Alteração nos atributos químicos do solo após aplicação de pó de basalto como remineralizador. 2020. xi, 56 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2020.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Prunus sellowii* Koehne em resposta a adubações com NPK e Pó de basalto. *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 37, n. 2, 2007.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. Fertilizantes, agroindústria & sustentabilidade. CETEM, Rio de Janeiro, 2008.

LARA CABEZAS, W. R. L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. C.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, p. 1005-1013, 2004.

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

MANN, L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Journal of Soil Science*, v. 142, p. 279-288, 1986.

MASCARENHAS, H. A.; BULISANI, E. A.; MIRANDA, M. D.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BRAGA, N. R. Deficiência de potássio em soja no Estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. *O Agrônomo*, v. 40, n. 1, p. 34-43, 1988.

MEDEIROS, J. C.; DA SILVA, A. P.; CERRI, C. E. P. et al. Linking physical quality and CO₂ emissions under long-term no-till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. *Plant and Soil*, v. 338, p. 5–15, 2011.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C. Eficiência de pó de rocha na bio-disponibilidade de potássio em sistemas de produção agrícola sustentáveis. *Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, v. 21, p. 546-552, 2005.

MENDONÇA, V. Z. D.; MELLO, L. M. M. D.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 183-193, 2015.

MERLIM, A.; HE, Z. L.; ROSOLEM, C. A. Congo grass grown in rotation with soybean affects phosphorus bound to soil carbon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 888-895, 2014.

MINGOTTE, F. L. C.; JARDIM, C. A.; do AMARAL, C. B.; COELHO, A. P.; MORELLO, O. F.; LEAL, F. T.; ... & FORNASIERI FILHO, D. Maize yield under *Urochloa ruziziensis* intercropping and previous crop nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, v. 113, n. 2, p. 1681-1690, 2021.

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; CANTARELLA, H.; TANAKA, K. S.; KOWALCHUK, G. A.; KURAMAE, E. E. Optimizing cover crop and fertilizer timing for high maize yield and nitrogen cycle control. *Geoderma*, v. 405, p. 115423, 2022.

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A.; SORATTO, R. P.; NASCIMENTO, C. A.; ROSOLEM, C. A.; MORETTI, L. G.; ... & CANTARELLA, H. Early nitrogen supply as an alternative management for a cover crop-maize sequence under a no-till system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 121, p. 1-14, 2021.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 626 p, 2006.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. D. M.; LOUREIRO, F. E. L. Agrominerais: potássio. Rochas e minerais industriais. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, p. 175-205, 2008.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 17-25, 2011.

PARENTE, T. L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; SOUZA, L. G. M.; PIVETTA, R. S.; BOSSOLANI, J. W. Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. *Revista Agro@mbiente*, v. 10, n. 3, p. 193-200, 2016.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M. de.; LIMA, R. C. ... Produtividade de grãos de milho e massa seca

de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. *Ciência Rural*, v. 41, n. 5, p. 875-882, 2011.

PAVINATO, P. S. Adubação em sistemas de culturas com milho em condições de sequeiro ou irrigado por aspersão. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação, Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

PETRIKOSKI, S. M.; TREVIZAN, G. D.; DA SILVA, N. R. B.; DA SILVA, A. R. L.; ROCKER, C. Uso de fosfato natural na cultura da soja (*Glycine max*), no município de Vera Cruz do Oeste – PR. *Acta Iguazu*, v. 5, p. 235-241, 2016.

PROCHNOW, L. I. Fertilizantes fosfatados: Algumas crenças e alguns fatos científicos. ESALQ/USP, Piracicaba, 2001.

PROENÇA, S. M.; ANDRÉA, M. M. O.; MINGOTTE, F. L. C. Avaliação da Produção de *Brachiaria Ruziziensis* e Milheto Utilizados Como Plantas de Cobertura e Adubos Verdes no Sistema Plantio Direto. *Revista Agrarian*, v. 8, n. 27, 2015.

QUEIROZ, R. F.; CHIODEROLI, C. A.; FURLANI, C. E. A.; HOLANDA, H. V.; ZERBATO, C. Maize intercropped with *Urochloa ruziziensis* under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Tropical* [online], v. 46, n. 3, pp. 238-244, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v46a40464>. Acesso em: 12 jul. 2021.

RAMOS, C. G.; QUEROL, X.; OLIVEIRA, M. L. S.; PIRES, K.; KAUTZMANN, R. M.; OLIVEIRA, L. F. S. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of the Total Environment*, p. 371-380, 2015.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; CHAVES, B.; PFEIFER, I. C.; BASTOS, L. M.; PILECCO, G. E.; GIACOMINI, S. J. Root and Shoot Contribution to Carbon and Nitrogen Inputs in the Topsoil Layer in No-Tillage Crop Systems under Subtropical Conditions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170355>.

REDIN, M. Desempenho da cultura da soja com diferentes doses de pó de basalto em Latossolo no Sul do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Agroecologia: produção e sustentabilidade em pesquisa. V. 3, 2023.

RIGON, J. P. G.; CALONEGO, J. C.; CAPUANI, S.; FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic C affected by dry-season management of no-till soybean crop rotations in the tropics. *Plant and Soil*, v. 462, p. 577-590, 2021.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Requisitos de qualidade física e química de fertilizantes minerais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, p. 59-78, 2000.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo vermelho do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1507-1515, 2012.

SARTO, M. V. M.; BORGES, W. L. B.; BASSEGIO, D.; RICE, C.; ROSOLEM, C. A. Maize and sorghum root growth and yield when intercropped with forage grasses. *Agronomy Journal*, v. 113, n. 6, p. 4900-4915, 2021.

SCHMIDT, K. E.; CEZIMBRA, J. C. G.; FILHO, L. E. N. C.; BIANCHETTO, R.; FONTANIVE, D. E.; SOUZA, E. L. Utilização do pó de rocha em substituição à adubação mineral tradicional na cultura da soja no noroeste do estado do RS. UERGS, 2019.

SILVA, A.; ALMEIDA, J. A.; SCHMITT, C.; AMARANTE, C. V. Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão comum em resposta adubação com pó de basalto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, n. 4, p. 548-554, 2012.

SILVA, L. S.; dos SANTOS LAROCA, J. V.; COELHO, A. P.; GONÇALVES, E. C.; GOMES, R. P.; PACHECO, L. P.; ... & SYSTEMS, C. L. Does grass-legume intercropping change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems?. *Applied Soil Ecology*, v. 170, p. 104257, 2022.

SILVA, M. B. D.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. D.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURTI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica. Campos das Vertentes - MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 5, pp. 1584-1592, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500011>. Acesso em: 23 Julho 2021.

SILVA, V. J. A.; ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; MATOS, F. S. A.; SMILJANIC, K. B. A.; FERREIRA, M. C.; MIRANDA, B. C. Avaliação dos caracteres agrônômicos da soja tratada com doses crescentes de pó de rocha. In: 4. CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 2., Mineiros. Ciência e tecnologia em busca de inovações empreendedoras: anais. Mineiros: Unifimes, p. 6, 2019.

SMANIOTTO, D. A. Uso de pó de basalto na produtividade da cultura da soja. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

SUGUINO, E.; JACOMINI, A. E.; LAZARINI, A. P.; MARTINS, N. A.; FARIA, A. M.; PERDONÁ, M. J. Utilização do Pó de basalto na agricultura. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 8, n. 2, 2011.

SUSTAKOWSKI, M. C. Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

SWIFT, R. S. Organic Matter Characterization. In: SPARKS, D. L. et al. (Ed.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5*. Madison: Soil Science Society of America, p. 1011-1069, 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 3. Ed, 719 p, 2004.

TAVEIRA, J. H. S.; ATAÍDE, M. V.; ROCHA, M. P.; DE FREITAS, N. F.; PRADO, S. M. A. Importância dos remineralizadores na produção de milho para silagem. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 3, p. 24907-24919, 2021.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; MEDEIROS, F. P.; TALINI, N. L.; SANTOS, F.; OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. II Congresso Brasileiro de Rochagem. Patos de Minas - MG, 2013.

TOSCANI, R. G. S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. Geociências, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry, v. 19, p. 703-707, 1987.

VEIGA, A. D.; PINHO, É. V. D. R. V.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. D. A. R.; OLIVEIRA, K. C. D.; PINHO, R. G. V. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. Ciência e Agrotecnologia, v. 34, p. 953-960, 2010.

VOLF, M. R.; CRUSCIOL, C. A.; KOVAR, J. L.; ROSOLEM, C. A. Unraveling the role of ruzigrass in soil K cycling in tropical cropping systems. Nutrient Cycling in Agroecosystems, p. 1-14, 2023.

WRITZ, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; DA SILVA, D. W.; REDIN, M. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em Latossolo. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 9, n. 2, p. 101-109, 2019.