



Aplicação de pó de rocha de basalto associado a plantas de cobertura no cultivo do trigo em sucessão

Application of basalt rock powder associated with cover crops in succession wheat cultivation

DOI: 10.55905/revconv.16n.11-060

Recebimento dos originais: 02/10/2023

Aceitação para publicação: 10/11/2023

Jandreí Matheus Stein

Graduado em Engenharia Agrônômica
Instituição: Amaggi Importação e Exportação
Endereço: Nova Ubiratã - MT, Brasil
E-mail: jandreistein@hotmail.com

Tiago Rafael Kunz

Graduado em Engenharia Agrônômica
Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Endereço: Marechal Cândido Rondon – PR, Brasil
E-mail: tiahorkunz19@gmail.com

Edleusa Pereira Seidel

Doutora em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Endereço: Marechal Cândido Rondon – PR, Brasil
E-mail: seideledleusa8@gmail.com

Monica Carolina Sustakowisk

Doutoranda em Agronomia
Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Endereço: Marechal Cândido Rondon – PR, Brasil
E-mail: monica_sustakowski@hotmail.com

Luane Laíse Oliveira Ribeiro

Doutora em Agronomia
Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Endereço: Marechal Cândido Rondon – PR, Brasil
E-mail: luanelaiseifpa@hotmail.com

Roberta Dahmer

Graduanda em Agronomia
Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Endereço: Marechal Cândido Rondon – PR, Brasil
E-mail: robertadahmer00@gmail.com



RESUMO

Visando utilizar fontes alternativas de adubação, surge a necessidade de realizar estudos com o uso de pó de rocha de basalto para a cultura do trigo. O objetivo foi avaliar o efeito da aplicação de pó de rocha de basalto associado a diferentes plantas de cobertura, sobre os atributos químicos do solo e teores de nutrientes na cultura do trigo. O delineamento foi o inteiramente ao acaso em esquema fatorial $(3 \times 2) + 2$ e quatro repetições. O primeiro fator consistiu em três adubos verdes: barquiária (*Urochloa riziensis*), Crotalaria (*Crotalaria juncea*) e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); o segundo fator foi a ausência ou presença de pó de rocha na dose de 8 ton ha^{-1} ; os tratamentos adicionais foram: adubação com formulado (NPK) na dose de 300 kg ha^{-1} e ausência de adubação (testemunha absoluta). Foi avaliada as principais características químicas do solo: Ca, Mg, P, K, pH (água), pH (SMP), Matéria Orgânica, Fe, Mn, Cu, Zn e teores de nutrientes na parte aérea: P, K, Ca, Mg. As plantas de cobertura afetaram o pH (água e SMP) e os teores de matéria orgânica, magnésio e cobre no solo. A aplicação do pó de rocha de basalto aumentou o pH (SMP) do solo e quando este foi associado ao nabo forrageiro aumentou a disponibilidade de potássio. Menores teores de fósforo e maior teor de potássio foram observados no trigo cultivado em sucessão ao nabo forrageiro. Menores teores de potássio foi observado no trigo quando aplicado pó de rocha de basalto.

Palavras-chave: adubos verdes, remineralizador, teores nutricionais.

ABSTRACT

In order to use alternative sources of fertilizer, there is a need to carry out studies on the use of basalt rock powder for wheat cultivation. The objective was to evaluate the effect of applying basalt rock powder associated with different cover crops on soil chemical attributes and nutrient content in wheat crops. The design was completely randomized in a factorial scheme $(3 \times 2) + 2$ and four replications. The first factor consisted of three green manures: Barchiaria (*Urochloa riziensis*), Crotalaria (*Crotalaria juncea*) and Forage turnip (*Raphanus sativus*); the second factor was the absence or presence of rock dust at a dose of 8 ton ha^{-1} ; the additional treatments were: fertilization with formula (NPK) at a dose of 300 kg ha^{-1} and absence of fertilization (absolute control). The main chemical characteristics of the soil were evaluated: Ca, Mg, P, K, pH (water), pH (SMP), Organic Matter, Fe, Mn, Cu, Zn and nutrient content in the aerial part: P, K, Ca, Mg. Cover crops affected pH (water and SMP) and organic matter, magnesium and copper contents in the soil. The application of basalt rock powder increased the pH (SMP) of the soil and when it was associated with forage radish it increased the availability of potassium. Lower phosphorus and higher potassium contents were observed in wheat grown in succession to forage turnip. Lower potassium levels were observed in wheat when basalt rock powder was applied.

Keywords: green manures, remineralizer, nutritional contents.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do trigo é uma das culturas mais importantes e cultivadas no mundo, sendo superado em produção apenas pelo milho. No ano de 2021 o Brasil produziu 6,43 milhões de toneladas, sendo que a região sul produziu 5,6 milhões de toneladas; ou seja, 87,5% da produção



total. O consumo nacional previsto foi de 11,6 milhões de toneladas por ano. Portanto, temos um déficit anual de 5,17 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Os solos brasileiros com sua baixa fertilidade natural causada pelo intenso intemperismo é um fator determinante para demanda elevada de fertilizantes, sendo a maioria importados (LOPES; GUILHERME, 2007).

Devido a situações globais como a guerra entre a Ucrânia e Rússia, este insumo teve considerável elevação de preço; e isso estimulou muitos produtores a buscarem fontes alternativas para reduzir os custos de produção com adubação.

A utilização de pó de rocha é uma técnica antiga para a manutenção da fertilidade do solo e seu uso tornou-se uma alternativa na restauração da fertilidade natural dos solos. A liberação dos nutrientes presentes no pó de rocha é lenta conforme vai havendo o intemperismo deste material (THEODORO *et al.*, 2012). O pó de rocha pode ser obtido a partir de resíduos da extração das rochas e há necessidade de processamento para sua redução em finas partículas. Este produto é definido como sendo um remineralizador. Apresenta em sua constituição elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, com elementos de maior e menor solubilidade no decorrer do tempo (FERREIRA *et al.*, 2009).

No âmbito da sustentabilidade, utilizar de forma alternativa os recursos naturais conciliados a plantas de cobertura favorecem seu intemperismo e contribui para a dissolução dos nutrientes e liberação para o sistema solo. Seu uso promove melhorias da fertilidade e fornece nutrientes para o bom desenvolvimento da cultura de interesse (CARVALHO, 2013).

Diante disso, devido a disponibilidade local de pó de rocha no Oeste Paranaense e o potencial produtivo do trigo buscou-se avaliar o uso de pó de rocha na agricultura associado a plantas de cobertura. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação do pó de rocha de basalto associado a três espécies de plantas de cobertura, sobre as características químicas do solo e sobre o teor de nutrientes da parte aérea do trigo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Estação Experimental de Cultivo Protegido e Controle Biológico “Prof. Dr. Mário César Lopes” da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus Marechal Cândido Rondon/PR a partir de fevereiro de 2022. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é o mesotérmico subtropical úmido (Cfa), com verões quentes, temperaturas médias acima de 22°C e invernos



com temperaturas médias e inferiores a 18°C e uma precipitação média anual de 1600 a 1800 milímetros (CAVIGLIONE *et al.*, 2000). O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa. Apresentou 643 g kg⁻¹ de argila, 124,70 g kg⁻¹ de areia e 232,30 g kg⁻¹ de silte. Na Tabela 1 são apresentadas as características químicas da área de estudo.

Tabela 1: Características químicas do solo utilizado no experimento.

Análise Química do Solo (Macronutrientes)												
P	MO	pH	pH	Ca	Mg	K	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V	
Mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	SMP				cmol _c dm ⁻³					%
19,51	18,4	5,55	6,39	4,02	1,77	0,83	0,04	3,72	6,62	10,34		64,02
Análise Química do Solo (Micronutrientes)												
	Cu		Zn		Fe		Mn					
			mg dm ⁻³									
	15,50		10,76		40,46		169,00					

*Análise química realizada no laboratório PRIMORLAB Análises Agroambientais. Assis Chateaubriand – PR.
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Segundo o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2019), os valores da Tabela 1 são classificados como muito altos para o P (>12 mg dm⁻³) e para o K (>0,45 cmol_c dm⁻³), altos para o Ca (2,1-6,0 cmol_c dm⁻³) e para o Mg (1,1-2,0 cmol_c dm⁻³) e muito baixo para o Al (<0,3 cmol_c dm⁻³), segundo análise química de solo coletada anterior a instalação do experimento. De acordo com Santos *et al.* (2018), o solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (3x2) +2 com quatro repetições. O primeiro fator consistiu em três espécies de plantas de cobertura braquiária (*Urochloa riziensis*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), enquanto o segundo fator foi constituído pela ausência ou presença de pó de rocha de basalto na dose de 8 t ha⁻¹. Já os tratamentos adicionais consistiram na utilização de adubação química de formulado 15-15-15 (N-P₂O₅-K₂O) na dose de 300 kg ha⁻¹ e a testemunha sem adubação.

O pó de rocha utilizado é proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR. De acordo com a análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, realizada no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (UFPR, Curitiba-PR), a composição química do pó de basalto utilizado está apresentada na Tabela 2.



Tabela 2: Composição química do pó de basalto proveniente de mineradora, localizada no município de Palotina-PR.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Soma
51,17	12,65	14,24	9,73	5,21	1,01	2,61	2,52	0,21	0,35	0,30	100,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os vasos devidamente identificados foram sorteados conforme o delineamento e alocados sobre uma bancada de ripado suspensa a um metro do solo sob sistema de irrigação por aspersão, tendo sua ativação duas vezes ao dia com tempo de rega de 15 minutos.

As plantas de cobertura foram semeadas no dia 18 de fevereiro de 2022 de forma manual em uma profundidade média de 0,5 cm. Após uma semana da emergência das plantas foi realizado o desbaste manualmente, permitindo um estande de 10 plantas por vaso. Após 60 dias foi realizado o corte da parte aérea das plantas de cobertura e depositadas sobre o solo até a semeadura da cultura do trigo.

No dia 6 de maio de 2022 realizou-se a semeadura do trigo utilizando a cultivar Tbio Toruk de forma manual em uma profundidade de um centímetro. Para o tratamento com adubação NPK, utilizou-se o formulado 15-15-15 na dose de 300 kg ha⁻¹ levando em consideração o teor de fósforo do solo, conforme o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2019). Após uma semana da emergência do trigo realizou-se o desbaste mantendo um estande de 10 plantas por vaso.

Aos 18 dias da emergência quando as plantas de trigo apresentavam no início do perfilhamento realizou-se uma adubação nitrogenada de cobertura utilizando como fonte a ureia na dose de 120 kg ha⁻¹.

Quando as plantas atingiram o estágio de florescimento no mês de julho, estas foram cortadas rentes ao solo e acondicionadas em sacos de papel Kraft e levadas para estufa de circulação de ar a temperatura de 65 °C. Depois de secas foram moídas em moinho de aço inox do tipo Willey, utilizando peneira com abertura de 1 mm de malha e determinou-se os teores de nutrientes em tecido vegetal utilizou-se a metodologia proposta por Lana, *et al.* (2016).

Para a análise química retirou-se pequenas amostras até a profundidade de 5 cm, de modo a representar de forma homogênea cada tratamento. O solo coletado foi levado ao laboratório e seco em estufa de circulação forçada de ar a 65° C durante 24 horas. Em seguida foi destorroado e peneirado em peneira de malha de 2 mm. Determinou-se o pH em água, pH SMP, e os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe),



manganês (Mn) e matéria orgânica (MO), conforme metodologias descritas por Lana, *et al.* (2016).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância considerando um nível de significância de 5% para o teste F. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Constatou-se que houve efeito significativo para a interação entre plantas de cobertura e pó de rocha apenas para o teor de K no solo e houve efeito significativo dos fatores isolados para as plantas de cobertura nos valores de pH(água) e pH (SMP); nos teores de MO, Mg e Cu. Observou-se efeito do pó de rocha para P, Cu e Zn. Os tratamentos adicionais diferiram entre si em relação aos teores de P, K e Cu; enquanto a comparação entre tratamentos fatoriais e adicionais apresentou diferenças para as variáveis pH (água), pH (SMP), P, K, Ca, Cu, Zn e Fe (Tabela 3).

Tabela 3: Resumo da análise de variância para as características químicas do solo pH (água), pH SMP, MO, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn em função dos tratamentos utilizados.

F. V.	G.L	pH (água)	pH SMP	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K cmol _c dm ⁻³	Ca cmol _c dm ⁻³
Tratamentos Fatorial	7 (5)	0,152214*	0,05746**	27,204595 ^{ns}	1,381435**	0,066465*	6,379703**
Plantas de cobertura	2	0,221379**	0,099800**	66,610423**	0,260429 ^{ns}	0,068244 ^{ns}	0,571979 ^{ns}
Pó de rocha	1	0,00667 ^{ns}	0,00135 ^{ns}	7,29514 ^{ns}	0,184067**	0,005954 ^{ns}	0,897067 ^{ns}
Plantas * Pó Adicional	2	0,004779 ^{ns}	0,00215 ^{ns}	20,597036 ^{ns}	0,131154 ^{ns}	0,079930**	0,956579 ^{ns}
Fat * Adicional	1	0,05445 ^{ns}	0,021013 ^{ns}	6,82351 ^{ns}	4,190512**	0,008712**	3,341112 ^{ns}
Erro	31	0,011388	0,00802	12,887363	0,172807	0,006942	0,894739
CV(%)		1,58	1,3	18,27	8,57	23,75	11,53

F.V.	G.L	Mg cmol _c dm ³	Cu mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³	Fe mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³
Tratamentos Fatorial	7 (5)	0,250046**	3,695861*	2,86756**	135,323625**	861,97713 ^{ns}
Plantas de cobertura	2	0,511429**	0,518154**	0,416704 ^{ns}	25,614504 ^{ns}	1553,3988 ^{ns}
Pó de rocha	1	0,00015 ^{ns}	1,071038**	2,124150**	9,639338 ^{ns}	1295,8051 ^{ns}
Plantas * Pó Adicional	2	0,152113 ^{ns}	0,198013 ^{ns}	0,046213 ^{ns}	24,308338 ^{ns}	342,71792 ^{ns}
Fat * Adicional	1	0,09245 ^{ns}	1,201250**	0,046513 ^{ns}	130,08845 ^{ns}	656,12531 ^{ns}
Erro	31	0,069847	0,151511	1,061405	20,740078	974,77438



CV (%) 12,81 6,08 31,38 8,66 13,56

^{ns}; **, *: não significativo; significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. CV: Coeficiente de variação para os tratamentos.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

As plantas de cobertura promoveram efeito significativo para as características químicas do solo (pH em água, pH SMP, Mg, Cu e MO (Tabela 4). Provavelmente a rizosfera destas plantas foi capaz de alterar as propriedades químicas do solo. Os incrementos de pH podem estar relacionados com a mineralização da MO, a partir da liberação de ácidos orgânicos e de nutrientes que promoveram o aumento das cargas negativas do solo e a elevação do pH (FAVARATO *et al.*, 2015).

Tabela 4: Características químicas do solo pH (água), pH SMP, MO, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn após o cultivo de plantas de cobertura com pó de rocha, Cu, Zn, Fe e Mn.

	pH (água)	pH SMP	MO g dm ⁻³	P mgdm ⁻³	Ca cmol _c dm ⁻³
<i>U. ruziziensis</i>	7,00a	7,06a	16,67b	4,80 ^{ns}	8,58 ^{ns}
Crotalaria	6,74b	6,80b	22,44a	5,11	8,80
Nabo	6,70b	6,90b	19,39ab	5,11	8,59
Com pó	6,80 ^{ns}	6,95 ^{ns}	20,05 ^{ns}	4,71b	9,02 ^{ns}
Sem pó	6,80	6,94	18,95	5,31a	8,63
	Mg cmol _c dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³	Fe mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³
<i>U. ruziziensis</i>	1,96b	5,96ab	3,52 ^{ns}	50,42 ^{ns}	216,03 ^{ns}
Crotalaria	2,41a	5,95b	3,96	47,87	241,43
Nabo	1,98b	6,15a	3,62	51,32	238,66
Com pó	2,11 ^{ns}	6,13a	3,40 ^{ns}	50,50 ^{ns}	224,69 ^{ns}
Sem pó	2,12	5,71b	4,00	49,23	239,39

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ^{ns}: Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Observando as características químicas do solo verifica-se que a utilização de *U. ruziziensis* contribuiu para elevação do pH em água e pH SMP, mostrando-se superior a utilização de crotalaria e nabo forrageiro. O teor de MO presente no solo foi maior no tratamento com crotalaria e o menor teor no tratamento com braquiária. O que pode ter contribuído para este resultado é que tanto a crotalaria, quanto o nabo apresentam baixa relação C/N e se decompõe mais rápido (LEAL *et al.*, 2013).

De acordo com Menezes (2018), a utilização de braquiária quando comparado ao nabo e a crotalaria promoveu um menor acúmulo de MO ao solo, tendo em vista que o nabo e a crotalaria



apresentam maior aporte de massa vegetal, além de possuírem menor relação C/N, decompondo e disponibilizando os nutrientes em um menor período.

Os teores de P nos tratamentos com as plantas de cobertura variou de 4,80 a 5,11 mg dm⁻³ e não houve diferença entre os tratamentos. Entretanto, houve diferença significativa no tratamento com pó de rocha e sem. Os maiores teores foram no tratamento que não recebeu pó de rocha. Esse fato pode ser explicado devido a solubilidade lenta e o curto período entre a aplicação e a avaliação. Isso fez com que a cultura absorvesse os teores disponíveis no solo para se desenvolver, explicando também o fato das concentrações presentes no solo serem menores do que antes da implantação do experimento (BENEDUZZI, 2011).

Os teores de Ca observados foram considerados como muito alto (>6 cmolc dm⁻³); bem como os teores de Zn (1,3-10 mg dm⁻³). Não houve efeito das plantas de cobertura e do pó de rocha de basalto para Ca, Zn, Fe e Mn.

Os teores de magnésio tiveram efeito das plantas de cobertura. A utilização de crotalária promoveu maior disponibilidade desse nutriente, sendo superior à concentração da análise inicial de 1,77 cmolc dm⁻³ para 2,41 cmolc dm⁻³. Além disso, o magnésio é de rápida liberação quando comparado ao Ca. O Mg participa em compostos iônicos e moléculas solúveis (OLIVEIRA et al., 2002).

O cobre teve maior teor no tratamento com nabo. Quando relacionado ao uso do pó de rocha, obteve incrementos ao solo com seu uso, o que é esperado uma vez que este elemento está presente no pó de basalto, sendo um mineral muito reativo, podendo ser liberado em curto e médio prazo (SILLANPÄÄ, 1972).

Houve interação significativa entre as plantas de cobertura e o uso de pó de rocha para os teores de potássio (Tabela 5). Quando foi utilizado pó de basalto com as plantas de cobertura no tratamento que foi cultivado nabo forrageiro apresentou teores superiores. Esse fato pode estar relacionado com a capacidade do nabo em apresentar rápido desenvolvimento o que contribui com a ciclagem de nutrientes. O K é o nutriente mais rapidamente mineralizado pelas plantas, pois ele não faz parte da estrutura dos vegetais. Estudos demonstram que 95,5% do K presente no nabo-forrageiro é liberado até 45 dias após seu manejo (HEINZ et al., 2011).

No cultivo com *braquiária ruziziensis* o menor teor no solo foi onde havia pó de rocha. Como as gramíneas são exigentes em K e apresentam um bom volume de raízes no tratamento com pó de rocha pode ter se desenvolvido mais. Portanto, um maior consumo deste elemento e



como sua relação C/N é maior do que da crotalaria e nabo sua liberação é mais lenta. Não houve diferenças significativas com o cultivo de crotalaria com uso de pó de rocha e sem pó de rocha.

Tabela 5: Teor de potássio com cultivo de plantas de cobertura e aplicação de pó de rocha.

	Teor de K $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	
	Com pó	Sem pó
<i>U. ruziziensis</i>	0,26Ba	0,43Aa
Crotalaria	0,43Aa	0,55Aa
Nabo	0,42Aa	0,22Bb

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna e maiúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Foi verificada diferença significativa entre os tratamentos fatoriais (plantas de cobertura x pó de rocha) versus adicionais (adubação NPK x testemunha) para a maioria das características químicas do solo, exceto para os teores de MO e Mn. As plantas de cobertura com uso de pó de rocha e sem pó de rocha obtiveram maior pH, teor de P, K, Ca, Mg, Cu e Zn.

No tratamento adicional houve diferença significativa para os teores de P, K e Cu (Tabela 6). O teor de P foi maior quando foi aplicado a adubação NPK. Enquanto, o teor de K e Cu foi observado maior teor no tratamento sem adubação (testemunha). Esperava-se maior teor de K no solo que recebeu a adubação NPK, pois no adubo estava presente este elemento na forma de K_2O ; entretanto, isso não ocorreu. De acordo com Santana (2012) quando essas formas são reduzidas na solução do solo os minerais iniciam sua liberação para repor na solução. A utilização do adubo solúvel promove a liberação imediata dos nutrientes para a solução do solo e pode ser facilmente lixiviado; principalmente levando em consideração que o experimento era irrigado duas vezes ao dia pode contribuído para sua perda.

Tabela 6: Valores médios entre tratamento fatorial e adicional, assim como das variáveis NPK e Testemunha compondo o elemento adicional, para as características químicas do solo pH (água), pH SMP, MO, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn.

Fatorial*adicional	MO	pH	pH	P	K	Ca	Mg
	g dm^{-3}	(água)	(SMP)	mg dm^{-3}	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$
Fatorial	19,50 ^{ns}	6,81a	6,93a	5,01a	0,39a	8,82a	2,12a
adicional	20,06	6,51b	6,76b	4,36b	0,23b	6,33b	1,88b
Trat Adicional							
NPK	20,98 ^{ns}	6,43 ^{ns}	6,71 ^{ns}	5,09a	0,19b	5,68 ^{ns}	1,78 ^{ns}
Testemunha	19,14	6,59	6,81	3,64b	0,26a	6,97	1,99
Fatorial*adicional							
		Cu	Zn	Fe	Mn		
		mg dm^{-3}	mg dm^{-3}	mg dm^{-3}	mg dm^{-3}		



Fatorial adicional	5,92a	3,70a	49,87b	232,04 ^{ns}
	7,84b	2,02b	60,73a	225,09
Trat Adicional				
NPK	7,45b	1,94 ^{ns}	56,70 ^{ns}	234,15 ^{ns}
Testemunha	8,23a	2,09	64,76	216,03

Médias seguidas de letras minúscula diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

3.2 TEORES DE NUTRIENTES NA PARTE AÉREA DA CULTURA DO TRIGO

Na análise de variância, constatou-se que houve efeito isolado para plantas de cobertura e uso de pó de rocha e não houve diferença significativa para a interação. Onde havia as plantas de cobertura houve maior teor no tecido vegetal do trigo de P e K. Onde foi aplicado o pó de rocha observou-se maior teor K no tecido foliar do trigo. Ao comparar os tratamentos adicionais não houve efeito entre a adubação NPK e a testemunha; enquanto para o contraste fatorial versus adicional houve efeito para P e K (Tabela 7).

Tabela 7: Resumo a análise de variância para as características químicas do tecido vegetal da cultura do trigo P, K, Ca, Mg em função do tratamento fatorial de plantas de cobertura e pó de rocha com o tratamento adicional.

F.V.	G.L	P g kg ⁻¹	K g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹
Tratamentos	7	1,686030*	45,146205**	0,098703 ^{ns}	0,131649 ^{ns}
Fatorial	(5)				
Plantas de cobertura	2	1,149065**	36,148438**	0,01237 ^{ns}	0,2075526 ^{ns}
Pó de rocha	1	0,01309 ^{ns}	39,398438**	0,052734 ^{ns}	0,018984 ^{ns}
Plantas * Pó	2	0,0243987 ^{ns}	11,273438 ^{ns}	0,24804 ^{ns}	0,054922 ^{ns}
Adicional	1	0,138402 ^{ns}	20,320313 ^{ns}	0,03125 ^{ns}	0,125 ^{ns}
Fat * Adicional	1	8,864614*	161,460938**	0,0861 ^{ns}	0,252663 ^{ns}
Erro	31	0,16444	9,954427	0,221517	0,061374
CV(%)		13,17	16,32	24,5	19,39

^{ns}, **, *: não significativo; significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. CV: Coeficiente de variação para os tratamentos.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

De acordo com Bona *et al.* (2016), a exigência nutricional da cultura do trigo para P: 3,0-5,0 g kg⁻¹; K: 15-30 g kg⁻¹; Ca: 2,0-5,0 g kg⁻¹) e Mg: 1,5-5,0 g kg⁻¹, estando os valores encontrados próximos ao da referência.

No tratamento onde o trigo foi semeado sobre a massa seca da crotalária houve maior teor de P (3,77 g kg⁻¹) no tecido foliar; e menor teor no tratamento onde havia nabo (3,01 g kg⁻¹). A crotalária tem sua decomposição mais rápida devido a menor relação C/N. Para o teor de K no tecido foliar o maior teor foi observado onde a cultura antecessora foi o nabo (20,12 g kg⁻¹) (tabela 8)



Tabela 8: Teores nutricionais de P, K, Ca e Mg em plantas de trigo cultivado em sucessão a plantas de cobertura e utilização de pó de rocha de basalto.

Tratamento	P g kg ⁻¹	K g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹
<i>U. brizantha</i>	3,35ab	18,09ab	1,96 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Crotalária	3,77a	15,87b	1,99	1,33
Nabo	3,01b	20,12a	1,90	1,31
Com pó	3,35 ^{ns}	16,75b	1,99 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Sem pó	3,40	19,31a	1,90	1,25

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. ^{ns}: Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

O teor de P no tecido vegetal foi superior no tratamento fatorial quando comparado com o adicional (Tabela 9), tendo em vista que a quantidade de P disponível no solo inicialmente estava na condição alta, essa diferença por ser resultado da contribuição das plantas de cobertura para ciclagem de nutrientes e disponibilidade após o manejo. Já entre os tratamentos adicionais, não houve diferença significativa, tendo em vista que a utilização do formulado NPK contribuiu para o fornecimento do P essencial, enquanto a testemunha a dinâmica do fosforo foi diferente.

Tabela 9: Teores nutricionais de P, K, Ca e Mg em plantas de trigo para as comparações entre tratamento fatorial e adicional, assim como para os fatores adicionais NPK e Testemunha.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg
	-----g kg ⁻¹ -----			
Fatorial	3,38A	18,03B	1,95A	1,22A
Adicional	2,16B	23,91A	1,83A	1,43A
NPK	2,03A	21,62A	1,89A	1,30A
Testemunha	2,29A	24,81A	1,77A	1,55A

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Para o K, houve teor mais elevado no tratamento adicional quando comparado com o fatorial. Isso pode ser explicado pelo fato de o K estar prontamente disponível após a aplicação do fertilizante solúvel, porém considerando que é facilmente lixiviado, equivaleu-se com a testemunha sem adubação.

Para o Ca e Mg, não houve diferença significativa entre o tratamento fatorial e adicional devido à alta disponibilidade na solução do solo, logo que a sua presença no pó de rocha não ocasionou influência, enquanto a adição de NPK não promove acréscimo desses nutrientes por não fazer parte da constituição do fertilizante.



4 CONCLUSÕES

As plantas de cobertura afetaram o pH (água e SMP) e os teores de matéria orgânica, magnésio e cobre no solo.

A aplicação do pó de rocha de basalto aumento o pH_(SMP) do solo e quando este foi associado ao nabo forrageiro aumentou a disponibilidade de potássio.

Menores teores de fósforo e maior teor de potássio foram observados no trigo cultivado em sucessão ao nabo forrageiro.

Menores teores de potássio foi observado no trigo quando aplicado pó de rocha de basalto

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Estudos em Solos e Agroecologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon-PR (GESA/UNIOESTE/MCR/PR) e a todos que contribuíram para realização deste trabalho.



REFERÊNCIAS

Alovisi, A. M. T., Taques, M. M., Alovisi, A. A., Tokura, L. K., Silva, J. A. M da., Cassol, C. J. (2020). Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(e), 918-932.

Bona, F. D de., Mori, C. De., & Wietholter, S. (2016). Manejo nutricional da cultura do trigo. *International Plant Nutrition*. Informações agronômicas.

Carvalho, A. M. X de. (2013). Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo. In: Silva, J. C da., Silva, A. A. S, Assis, R. T de, editores. Sustentabilidade e inovações no campo. Compose, Uberlândia-MG.

Caviglione, J. H., Kiihl, L. R. B., Caramori, P. H., Oliveira, D., Galdino, J., Borrozino, E., & Pugsley, L. (2000). Cartas climáticas do Estado do Paraná. *Londrina: Iapar*, 1.

Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). (2022). Análise mensal, Brasília-DF. 2022.

Faquin, V. (2005). Nutrição mineral de plantas. *UFLA/FAEPE, Lavras*.

Favarato, L. F., Souza, J. L, Galvão, J. C., Souza, C. M., & Guarçoni, R. C. (2015). Atributos Químicos Do Solo Sobre Diferentes Plantas de Cobertura no Sistema Plantio Direto Orgânico. *Revista Brasileira Agropecuária Sustentável*, 5(2).

Ferreira, E. R. N. C., Almeida, J. A., & Mafra, A. L. (2009). Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 8(2): 111-121.

Ferreira, E. R. N. C., Almeida, J. A., & Mafra, A. L. (2009). Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 8(2), 111-121.

Heinz, R., Garbiate, M. V, Viegas Neto, A. L., Mota, L. H, Correia, A. M., & Vitorino, A. C. (2011). Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. *Ciencia Rural*, 41(9), 1549-1555.

Lana, M. D. C., Frandoloso, J. F., Fey, R., Richardt, A., & Fontaniva, S. (2016). Análise química de solo e tecido vegetal: metodologias analíticas. *Edunioeste, Cascavel*.

Leal, A. J. F., Lazarini, E., Rodrigues, L. R., & Marcandalli, L. H. (2013). Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(2), 491-501.

Lopes, A. S., Guilherme, L. R. G. (2007). Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: Novais, R. F., Alvarez, V. V. H., Barros, N. F, Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B, Neves, J. C. L., editores. Fertilidade do solo. SBCS, Viçosa-MG.



Nascimento, M., Loureiro, F. E. L. (2004). Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. *CETEM/MCT*, Rio de Janeiro.

Oliveira, T. K., Carvalho, G. J., & Moraes, R. N. (2002). Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(8), 1079-87.

SANTANA, J. da S. 2012. Formas de potássio e poder tampão potássico em solos com diferentes teores de argila. *Revista Brasileota de Ciência do Solo*, 1(2), 25-35.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B & Cunha, T. J. F (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Embrapa, Brasília: Embrapa.

Sillanpää, M. (1972). Trace elements in soils and agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 67p.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, SBCS. (2019). Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. v. 2. Livro. Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Theodoro, S. H., Tchouankoue, J. P., Gonçalves, A. O., Leonardos, O., & Harper, J. (2012). A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(6), 1390-1407.

Wong, M. T., Webb, M. J.; & Wittwer, K. (2013). Development of buffer methods and evaluation of pedotransfer functions to estimate pH buffer capacity of highly weathered soils. *Soil Use and Management*, 29(1), 30-8.