

Manutenção e ciclagem de potássio em solo de alta fertilidade com pó de basalto, adubação orgânica e plantas de cobertura

Maintenance and cycling of potassium with the use of basalt powder associated with cover crops and chicken litter

Monica Carolina Sustakowski¹*, Edleusa Pereira Seidel², Maria do Carmo Lana³, Willian dos Reis⁴

¹Doutora em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, monica_sustakowski@hotmail.com; ²Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, seideledleusa8@gmail.com; ³Doutora em Fitotecnia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, maria.lana@unioeste.br; ⁴Doutor em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, willian_haje@hotmail.com. *Autor correspondente.

ARTIGO

Recebido: 21-11-2024
 Aprovado: 25-12-2025

Palavras-chave:

Adubação orgânica
 Adubos verdes
 Ciclagem de nutrientes

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de pó de rocha basáltica associado a consórcios de plantas de cobertura e à aplicação de cama de frango sobre os teores de potássio (K) no solo e em grãos de milho e soja. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de faixas subdivididas, com dois tratamentos adicionais, totalizando quatro repetições. Foram avaliados três consórcios de plantas de cobertura (aveia-preta + nabo; tremoço + ervilha; aveia + nabo + tremoço + ervilha), a presença e ausência de cama de frango (6 t ha⁻¹) e de pó de basalto (8 t ha⁻¹), além de testemunhas absoluta e com adubação NPK. O teor de K no solo foi determinado após o manejo dos consórcios e após a colheita do milho e da soja, nas camadas de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m. A dinâmica do potássio no solo foi influenciada pela interação entre fontes orgânicas, minerais e plantas de cobertura. Mesmo na subsuperfície, os teores permaneceram elevados, evidenciando que práticas integradas de manejo favorecem a ciclagem de K e a sustentabilidade do sistema. Em solos com altos teores de potássio, a aplicação de pó de rocha, cama de frango e consórcios vegetais não alteram os teores de K nos grãos de milho e soja.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the use of basalt rock powder associated with cover crop consortia and chicken litter on soil and corn and soybean grain potassium levels. The experimental design was a randomized complete block design in a split-row arrangement with two additional treatments, totaling four replications. Three cover crop consortia (black oat + turnip; lupin + pea; oat + turnip + lupin + pea), the presence and absence of chicken litter (6 t ha⁻¹), and the presence and absence of basalt powder (8 t ha⁻¹) were evaluated, in addition to absolute controls and controls with NPK fertilization. Soil potassium content was determined after consortium management and after corn and soybean harvest, in the 0.00–0.10 m and 0.10–0.20 m layers. Potassium dynamics in the soil are influenced by the interaction between organic and mineral sources and cover crops. Even in the subsurface, the levels remain high, demonstrating that integrated management practices favor K cycling and the sustainability of the system. The results indicate that, in soils with high potassium levels, the application of rock dust, chicken litter, and plant consortia does not alter the K levels in corn and soybean grains.

Key words:

Organic fertilization
 Green manures
 Nutrient cycling

INTRODUÇÃO

O potássio (K) é o segundo macronutriente requerido em maior quantidade pelas plantas, contudo, apenas uma pequena porção do K do solo está em solução ou em formas trocáveis que podem ser utilizadas pelas plantas. A maior parte do K está retido em minerais em formas não trocáveis ou estruturais que são menos disponíveis para as plantas (WANG et al., 2011). Entretanto, a maioria dos solos brasileiros apresenta baixos

teores de minerais primários (biotita, muscovita e ortoclásio) e secundários (vermiculita, ilita e esmectita) mais ricos em K, com predomínio de minerais pobres nesse elemento, como a caulinita e os óxidos de Fe e de Al (BATISTA et al., 2018; WIHARDJAKA et al., 2022). Isso faz com que a fração de K prontamente disponível às plantas esteja intimamente relacionada às adubações.

Entretanto, a demanda nacional de fertilizantes é suprida principalmente por insumos importados, uma vez que a

produção nacional de fertilizantes é insuficiente. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2024) no ano de 2023 a produção nacional de fertilizantes foi de 6,7 milhões de toneladas de produto, ao passo que a importação foi de 39,4 milhões de toneladas de produto.

Essa situação não apenas onera economicamente a produção agrícola, mas cria uma situação de aumentando a vulnerabilidade do sistema agrícola nacional, fragilizando o posicionamento do Brasil em relação à sustentabilidade de seu sistema de produção, gerando um desafio na busca de soluções alternativas neste setor, visto que a utilização de fertilizantes não é feita de forma racional, geralmente com uso excessivo de alguns e falta em outros nutrientes (RAHMAN; ZHANG, 2018; PENUELAS et al., 2023).

Uma alternativa sustentável para a reposição de nutrientes ao solo é o uso de pó de rocha moído, técnica denominada como rochagem, em que se utiliza o produto oriundo do beneficiamento de materiais minerais silicáticos com solubilidade mais lenta, disponibilizando os nutrientes para as plantas por um período maior do que os fertilizantes convencionais (MARTINS et al., 2015; TAVARES et al., 2018).

No Brasil a valorização dessa prática está ligada a três aspectos principais: I) busca por alternativas às fontes de nutrientes importadas; II) necessidade de aproveitamento de grandes quantidades de rejeitos de pedreiras e mineradoras e; III) expansão da agricultura de base agroecológica, com restrições ao uso de fertilizantes solúveis e estímulos à utilização de recursos localmente disponíveis (CAMARA et al., 2021).

A grande parte das rochas apresenta limitações quando utilizada de forma isolada no manejo da fertilidade do solo devido à diversidade mineralógica e granulométrica que acaba interferindo na velocidade de liberação dos nutrientes (CARVALHO, 2012), tem-se estudado a utilização de plantas de cobertura e estratégias para incrementar e potencializar a atividade microbiológica do solo por meio da adição de materiais orgânicos como meio para acelerar a solubilização das partículas de pó de rocha (CAMARGO et al., 2012).

Dessa forma, a reciclagem de resíduos, de origem agrícola ou industrial, cujo descarte inadequado pode gerar

impactos ambientais negativos, apresenta-se como uma alternativa estratégica para fomentar a agricultura por meio do uso de insumos sustentáveis e alternativos, contribuindo para reduzir a dependência de fertilizantes convencionais.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de pó de rocha basáltica associado com três consórcios de plantas de cobertura e com cama de frango, sobre os teores de K no solo ao longo de 24 meses e nos grãos das culturas do milho e da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Professor Alcibiades Luiz Orlando, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon – PR, localizada no município de Entre Rios do Oeste-PR, nas coordenadas geográficas de latitude 24°40'34"S, longitude 54°16'45"O e altitude de 242 m em relação ao nível do mar.

O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido mesotérmico, de acordo com a classificação climática de Köppen, com verões quentes com tendência de concentração das chuvas (temperatura média superior a 22°C), invernos com geadas pouco frequentes (temperatura média inferior a 18°C) e precipitação média anual em torno de 1.600 a 1.800 mm (NITSCHKE et al., 2019). Os dados pluviométricos e de temperatura juntamente com a indicação das etapas realizadas no experimento são apresentados na Figura 1.

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). Antes da implantação do experimento foi realizada a caracterização granulométrica do solo de acordo com metodologia proposta por Donagemma et al. (2017). O solo apresentou 734,5 g kg⁻¹ de argila, 176,74 g kg⁻¹ de silte e 88,76 g kg⁻¹ de areia, portanto, uma textura muito argilosa.

A caracterização química inicial do solo da área experimental foi realizada por meio da coleta aleatória, com uso de uma pá de corte, de quinze amostras simples, resultando em uma amostra composta. A amostragem foi realizada nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 1).

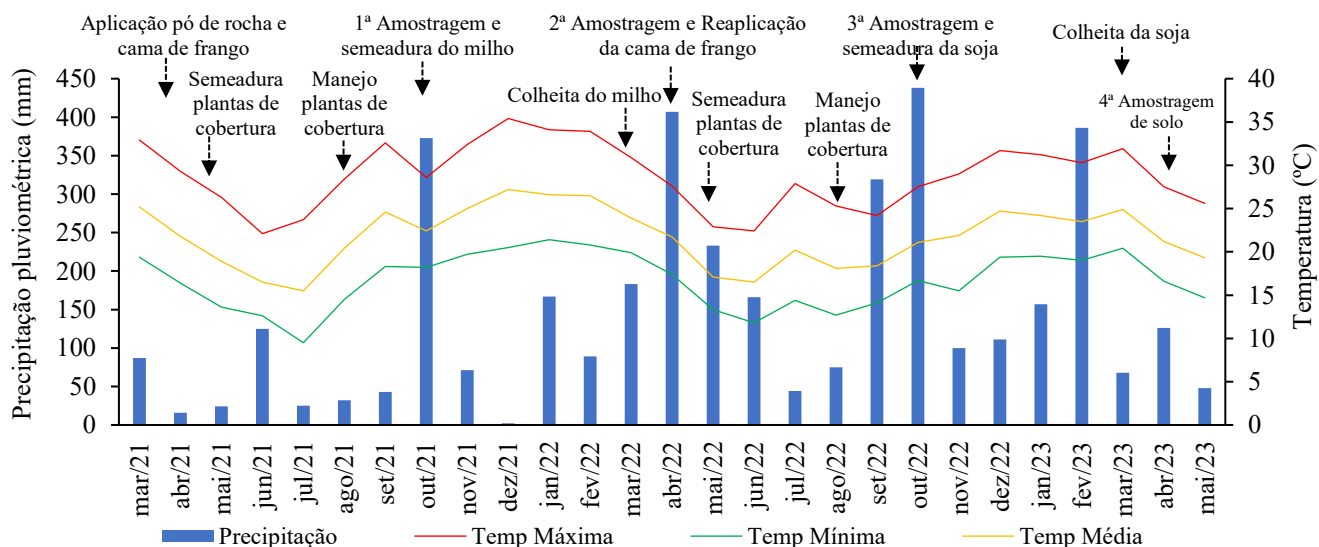


Figura 1. Precipitação pluviométrica, temperaturas máximas, mínimas e médias mensais referentes ao período de março de 2021 a maio de 2023 no município de Entre Rios do Oeste, Paraná.

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo da área experimental no município de Entre Rios do Oeste-Paraná, nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Camada	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg cmol _c dm ⁻³	H + Al	Al	V%
0,00 – 0,10 m	25,53	4,88	15,59	0,51	4,23	1,67	5,11	0,05	59,75
0,10 – 0,20 m	22,51	4,85	20,85	0,40	4,31	1,40	5,24	0,08	53,61

M.O.: matéria orgânica; V%: saturação por bases.

O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema de faixas subdivididas com dois tratamentos adicionais, totalizando quatro repetições. Avaliaram-se três consórcios de plantas de cobertura (aveia-preta+nabo; tremoço+ervilha; aveia+nabo+tremoço+ervilha), presença e ausência de cama de frango (6 t ha⁻¹) e presença e ausência de pó de basalto (8 t ha⁻¹), além de testemunhas absoluta e com adubação NPK.

O pó de rocha utilizado era de origem basáltica e proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR. A composição química do pó de basalto foi realizada no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (UFPR, Curitiba-PR) utilizando metodologia de espectrometria de fluorescência de raios X (Tabela 2).

A granulometria do pó de basalto foi determinada por peneiramento, a partir da massa de grânulos obtida em cada peneira. Para tanto, foi utilizado um conjunto de peneiras com abertura de 2,00 (ABNT 10), 0,84 (ABNT 20) e 0,30 mm (ABNT 50) de malha. O material apresentou 100% das partículas menores que 2,00 mm; 81,13% menores que 0,84 mm e 51% menores que 0,30%.

A cama de frango foi adquirida através da compra direta com o produtor, sendo a mesma proveniente após o uso de 8 a 10 lotes de frango. O resíduo foi utilizado na forma sólida, na dose de 6 t ha⁻¹, corrigida para o teor de umidade do material. Os resultados da análise química estão apresentados na Tabela 3.

Para a implantação do experimento inicialmente foi realizada a dessecação química da área com 1.800 g ha⁻¹ do equivalente ácido glifosato e posteriormente foi realizada a aplicação da cama de frango e do pó de rocha de forma manual em área total de cada unidade experimental, aplicando os resíduos em superfície e sem incorporação ao solo.

Posteriormente foi realizada a implantação das plantas de cobertura em semeadura direta. Para a semeadura do mix 1 foi utilizada densidade de 70 kg ha⁻¹ de sementes de aveia-preta e

4 kg ha⁻¹ de sementes de nabo-forrageiro; o mix 2 foi implantado com densidade de 80 kg ha⁻¹ de sementes de tremoço branco e 60 kg ha⁻¹ de sementes de ervilha-forrageira; e o mix 3 com as densidades de sementes de 35 kg ha⁻¹ de aveia-preta, 1 kg ha⁻¹ de nabo-forrageiro, 20 kg ha⁻¹ de tremoço branco e 15 kg ha⁻¹ de ervilha-forrageira.

As testemunhas não foram cultivadas com culturas de inverno e para a manutenção dessas áreas, quando necessário, foi realizado o controle mecânico das plantas voluntárias. No tratamento que recebeu adubação química com NPK esta foi realizada na semeadura da cultura de verão. A dose foi definida de acordo com a análise química do solo e com as exigências de cada cultura, seguindo a recomendação estabelecida pelo Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2019).

Quando as plantas de cobertura atingiram o estágio de florescimento foram manejadas com uso de rolo faca e posteriormente foi realizada a amostragem de solo para determinação das características químicas.

Posteriormente, foi implantada a cultura do milho (safra de verão 2021/2022) utilizando o Híbrido Pioneer P4285VYHR Leptra sob semeadura direta, com espaçamento entre linhas de 0,70 m, utilizando densidade de 60.000 sementes ha⁻¹. Não foi realizada adubação química na semeadura (exceto na testemunha de adubação), porém, foi realizada aplicação de N em cobertura em todos os tratamentos na dose de 300 kg ha⁻¹ de ureia (46% de N), visto que o pó de rocha não fornece este nutriente. Salienta-se que aplicou-se N na forma de ureia, pois este sistema avaliado simula uma fase inicial de "transição de sistemas", onde o K foi manejado com fontes alternativas, mas o N ainda demandou suplementação mineral. Nas parcelas referentes às testemunhas com adubação foi utilizado 250 kg ha⁻¹ do formulado 12-24-12 (N-P₂O₅-K₂O). Os tratos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura.

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

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	P.F.	Soma
%											
51,39	13,30	14,91	8,77	4,40	1,18	2,73	2,01	0,22	0,27	0,90	100,09

P.F.: Perda ao fogo.

Tabela 3. Composição química da cama de frango proveniente de 8 a 10 lotes aplicada antes dos cultivos de inverno dos anos de 2021 e 2022.

Cultivo 2021									
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	pH	umidade	C.O.	
g kg ⁻¹									
30,45	22,80	14,92	46,49	9,40	12,72	8,11	15,51	18,51	
Cultivo 2022									
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	pH	Umidade	C.O.	
g kg ⁻¹									
24,78	42,45	26,80	110,00	57,00	14,46	7,6	26	20,52	

C.O.: Carbono orgânico

Para o inverno de 2022 foi realizado o cultivo com os mesmos consórcios de plantas de cobertura cultivados no período anterior e novamente houve a aplicação de cama de frango, contudo, não foi realizada a reaplicação do pó de rocha a fim de avaliar o seu efeito residual. Após o manejo das plantas de cobertura foi realizada nova amostragem de solo.

Para a safra de verão 2022/2023 foi realizado o cultivo com a cultura da soja cultivar M5947IPRO sob semeadura direta, com espaçamento entre linhas de 0,50 m, utilizando densidade de semeadura de 15 sementes por metro linear, totalizando 300.000 sementes ha⁻¹. Assim como na cultura do milho, foi realizada adubação química na semeadura apenas para a testemunha de adubação, utilizando 250 kg ha⁻¹ do formulado químico 02-20-18 (N-P₂O₅-K₂O). Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura.

O teor de K presente no solo foi determinado após o manejo das plantas de cobertura (inverno de 2021 e 2022) e após a colheita das culturas do milho (safra 2021/2022) e da soja (safra 2022/2023). A amostragem foi realizada com uso de uma pá de corte, coletando-se três subamostras por subfaixa, as quais constituíram uma amostra composta por subfaixa. A coleta foi realizada nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Por ocasião da colheita das culturas do milho e da soja foram coletadas amostras de grãos para análise do teor de K. Os grãos foram secos em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante e depois foram moídos para análise química. A determinação de K, tanto no solo como nos grãos, foi realizada seguindo metodologia proposta por Lana et al. (2016).

Os resultados foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância para o teste F. As análises estatísticas foram realizadas nos programas estatísticos GENES (CRUZ, 2013) e SISVAR (FERREIRA, 2014). Para os teores de K no solo, quando constatados efeitos significativos para os tempos de avaliação, foi realizada análise de regressão, sendo escolhido o modelo que melhor se ajustasse ao fenômeno investigado. Quando detectado efeitos significativos dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Para os teores de K nos grãos, quando constatados efeitos significativos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a determinação de igualdade ou diferença entre as médias das testemunhas e as médias dos demais tratamentos foi empregado o teste de Dunnett a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de K no solo

Houve interação significativa entre os tratamentos e os tempos de avaliação ($p < 0,05$) para os teores de K nas duas camadas de solo avaliadas. Os resultados foram explicados por equações polinomiais de 2º grau e por equações lineares. Na camada até 0,10 m os tratamentos apresentaram comportamento semelhante, com o teor de K aumentando conforme o tempo de avaliação, até atingir teor máximo em torno de 20 meses após o início do experimento (Figura 2).

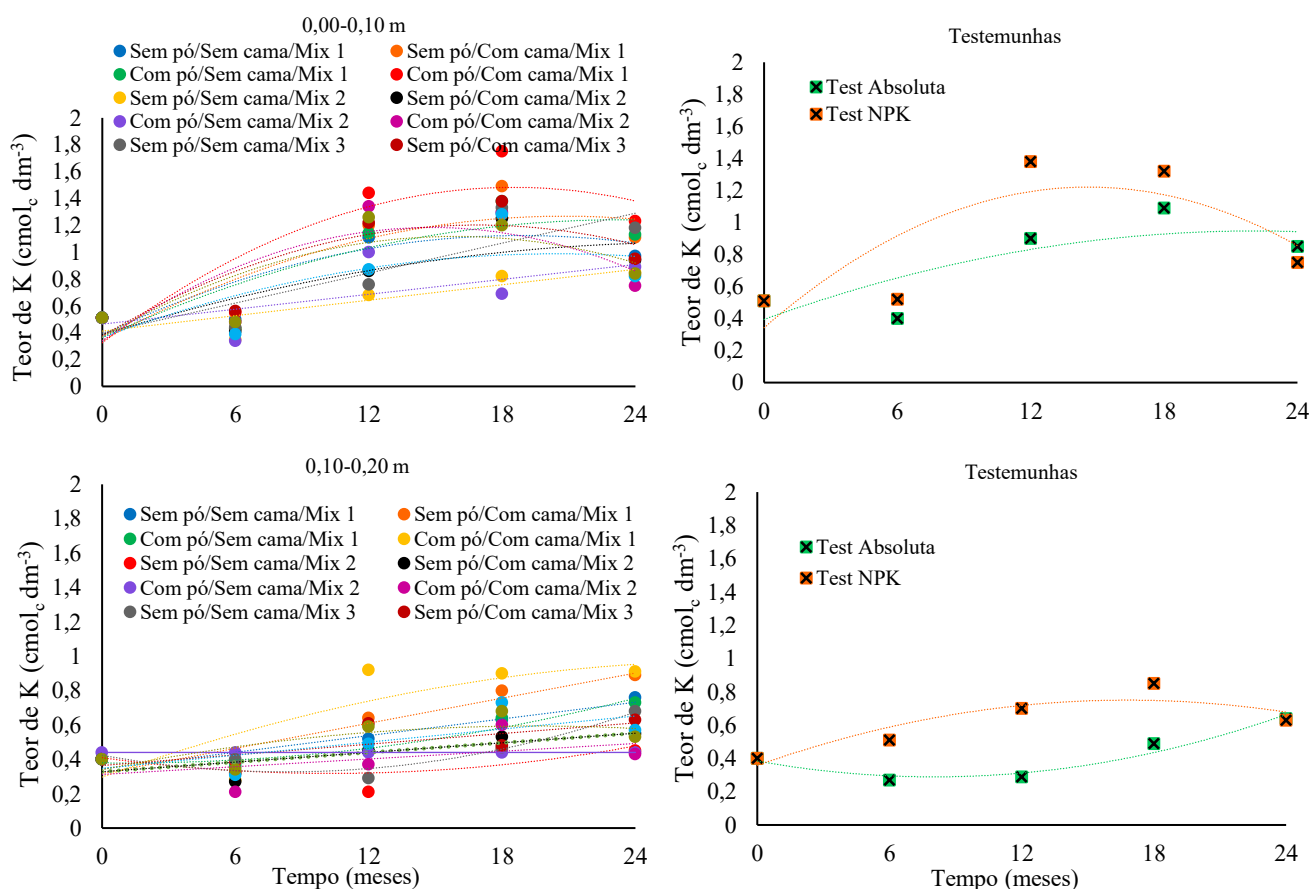


Figura 2. Teor de potássio (cmol_c dm⁻³) nas camadas de 0,00-0,10 m (A) e 0,10-0,20 m (B) em função da associação entre pó de rocha basáltica, cama de frango e consórcios de plantas de cobertura, bem como para as testemunhas, ao longo de 24 meses de avaliação.

Observa-se na camada até 0,10 m os menores tempos para que se atingisse os maiores teores de K foram obtidos quando se utilizou a combinação do pó de rocha com a cama de frango e com os consórcios de plantas. Em média, foram necessários 16,4 meses para a obtenção de $1,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K quando o pó de rocha foi associado a cama de frango e aos consórcios, enquanto, quando houve apenas associação com a cama de frango ou apenas com algum dos consórcios o tempo necessário foi de 22 meses para atingir um teor de $1,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K. Isso representa redução de 5,6 meses (25%) no tempo de solubilização para se ter um teor de K 13,5% superior (Tabela 4).

Para a associação entre mix 1 + cama de frango + pó de rocha o maior teor médio de K ($1,47 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi obtido aos 18,4 meses. Para a associação entre mix 2 + cama de frango + pó de rocha o maior teor médio ($1,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi obtido aos 15 meses e para a associação entre mix 3 + cama de frango + pó de rocha o maior teor médio ($1,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi obtido

aos 15,7 meses. Ao realizar a análise estatística com os tratamentos, sem considerar o tempo, não houve diferença significativa entre os tratamentos nesta profundidade (Tabela 4). A disponibilização tende a ser intensificada pela menor concentração de elementos na solução do solo, enquanto em solos com teores elevados de determinado elemento em solução a velocidade de solubilização e/ou liberação desse elemento será reduzida (BATISTA et al., 2018).

Para a camada de 0,10-0,20 m o comportamento do K ao longo do tempo alterou conforme cada tratamento utilizado (Figura 2), provavelmente em função da própria dinâmica e alta mobilidade do nutriente no perfil do solo, com valores menores em relação aos observados na camada superficial. Tendo em vista que há uma tendência de acúmulo de K nas camadas superficiais devido à ausência de mobilização de solo em semeadura direta que leva ao acúmulo de resíduos vegetais em superfície, além de que os resíduos foram aplicados em superfície e sem incorporação (ARTUSO et al., 2024).

Tabela 4. Descrição das equações obtidas pela análise de regressão, valores do coeficiente de determinação (R^2) e valores de X (tempo) e Y (teor de K) para os tratamentos em relação ao teor de K no solo ao longo de 24 meses de avaliação e teste de média para o teor de K no solo.

Tratamento	Teor de K $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,00-0,10 m	Teor de K $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,10-0,20 m
Sem pó/Sem cama/ Mix 1	0,94 ^{ns}	*Y = $0,384 + 0,0785x - 0,0021x^2$ $R^2 = 0,7277$ X = 18,7 meses; Y = $1,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,60 a	*Y = $0,344 + 0,0162x$ $R^2 = 0,9217$ X = 24 meses; Y = $0,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Sem pó/Com cama/ Mix 1	1,09	*Y = $0,3417 + 0,0891x - 0,0021x^2$ $R^2 = 0,7041$ X = 21,2 meses; Y = $1,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,67 a	*Y = $0,318 + 0,0243x$ $R^2 = 0,8750$ X = 24 meses; Y = $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Com pó/Sem cama/ Mix 1	0,87	*Y = $0,3643 + 0,0751x - 0,0016x^2$ $R^2 = 0,7391$ X = 23,5 meses; Y = $1,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,53 b	*Y = $0,3794 - 0,0015x + 0,0007x^2$ $R^2 = 0,9453$ X = 1,1 meses; Y = $0,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Com pó/Com cama/ Mix 1	0,91	*Y = $0,3251 + 0,125x - 0,0034x^2$ $R^2 = 0,7517$ X = 18,4 meses; Y = $1,47 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,51 b	*Y = $0,2969 + 0,0464x - 0,0008x^2$ $R^2 = 0,7058$ X = 29 meses; Y = $0,97 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Sem pó/Sem cama/ Mix 2	0,79	*Y = $0,412 + 0,0192x$ $R^2 = 0,7404$ X = 24 meses; Y = $0,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,44 c	*Y = $0,4094 - 0,0176x + 0,0009x^2$ $R^2 = 0,4148$ X = 9,8 meses; Y = $0,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Sem pó/Com cama/ /Mix 2	0,87	*Y = $0,3854 + 0,0512x - 0,001x^2$ $R^2 = 0,6616$ X = 25,6 meses; Y = $1,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,40 c	*Y = $0,328 + 0,0093x$ $R^2 = 0,6216$ X = 24 meses; Y = $0,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Com pó/Sem cama/ Mix 2	0,64	*Y = $0,464 + 0,0185x$ $R^2 = 0,4264$ X = 24 meses; Y = $0,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,38 c	^{ns} Y = $0,44 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Com pó/Com cama/ Mix 2	0,68	*Y = $0,3389 + 0,114x - 0,0038x^2$ $R^2 = 0,6239$ X = 15 meses; Y = $1,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,43 c	*Y = $0,312 + 0,0075x$ $R^2 = 0,2634$ X = 24 meses; Y = $0,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Sem pó/Sem cama/ Mix 3	0,87	*Y = $0,398 + 0,0372x$ $R^2 = 0,7882$ X = 24 meses; Y = $1,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,48 b	*Y = $0,4234 + 0,0233x + 0,0014x^2$ $R^2 = 0,9041$ X = 8,3 meses; Y = $0,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Sem pó/Com cama/ Mix 3	0,85	*Y = $0,3754 + 0,0979x - 0,0029x^2$ $R^2 = 0,7492$ X = 16,9 meses; Y = $1,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,50 b	*Y = $0,364 + 0,0103x$ $R^2 = 0,5408$ X = 24 meses; Y = $0,61 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Com pó/Sem cama/ Mix 3	0,84	*Y = $0,3649 + 0,0609x - 0,0015x^2$ $R^2 = 0,5541$ X = 20,3 meses; Y = $0,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,44 c	*Y = $0,348 + 0,0127x$ $R^2 = 0,5554$ X = 24 meses; Y = $0,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Com pó/Com cama/ Mix 3	0,77	*Y = $0,3677 + 0,0944x - 0,003x^2$ $R^2 = 0,6475$ X = 15,7 meses; Y = $1,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,49 b	*Y = $0,3394 + 0,0262x - 0,0007x^2$ $R^2 = 0,5871$ X = 18,7 meses; Y = $0,58 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Testemunha Absoluta	0,75	*Y = $0,3946 + 0,05x - 0,0011x^2$ $R^2 = 0,6458$ X = 25 meses; Y = $0,96 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,41 c	*Y = $0,3837 - 0,0236x + 0,0015x^2$ $R^2 = 0,9467$ X = 7,9 meses; Y = $0,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Testemunha NPK	0,89	*Y = $0,3429 + 0,1204x - 0,0041x^2$ $R^2 = 0,6518$ X = 14,7 meses; Y = $1,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	0,61 a	*Y = $0,358 + 0,0467x - 0,0014x^2$ $R^2 = 0,8258$ X = 16,7 meses; Y = $0,75 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

Nessa camada ao analisar as equações de regressão é possível observar que os maiores teores de K foram obtidos com a associação entre o consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro (mix 1), a aplicação de cama de frango e de pó de rocha, com teor de $0,97 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, proporcionando um incremento médio no teor de K de 192,16% em relação ao teor inicial. Quando a associação envolveu o consórcio de tremoço branco + ervilha-forrageira (mix 2) o incremento médio foi de 131,37% e quando houve associação com o consórcio de aveia + nabo + tremoço + ervilha (mix 3) este incremento foi em média de 121,57%.

Ao realizar a análise estatística com os tratamentos, sem considerar o tempo como fator os tratamentos: Sem pó de rocha, com e sem cama de frango com o mix 1 e a testemunha com NPK obtiveram os maiores teores de K (Tabela 4). A utilização de espécies como a aveia e o nabo forrageiro em sistemas de cobertura do solo desempenha papel fundamental na ciclagem de potássio (K), especialmente em sistemas agrícolas de base orgânica. Essas espécies apresentam elevada capacidade de absorção de K das camadas mais profundas do solo, devido ao seu sistema radicular eficiente e, no caso do nabo forrageiro, pivotante. Após o manejo e a decomposição da biomassa, o potássio é rapidamente liberado na solução do solo, uma vez que esse nutriente não se encontra estruturalmente ligado a compostos orgânicos complexos (CERETTA, et al. 2005; MICHELON et al., 2019).

Esse processo contribui para a redistribuição do K no perfil do solo e para o aumento de sua disponibilidade às culturas subsequentes, reduzindo perdas por lixiviação e a dependência de fontes externas de fertilizantes, o que é particularmente relevante em sistemas orgânicos sustentáveis.

Embora tenha havido tendência de redução nos teores de K conforme aumentou a profundidade do solo, esses teores continuaram sendo classificados como teores altos ($>0,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2019). Isso indica que mesmo em profundidades maiores que 0,10 m ainda houve um incremento e manutenção do K inicialmente presente no solo nessas camadas, que era de $0,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Quanto às testemunhas, ambas apresentaram comportamento explicado por uma equação polinomial de 2º grau nas camadas do solo. Na camada de 0,00-0,10 m a testemunha com adubação NPK apresentou o maior teor de K aos 14,7 meses ($1,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto na testemunha absoluta o maior teor de K ($0,96 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi obtido aos 25 meses. Na camada de 0,10-0,20 m a testemunha com adubação NPK obteve os maiores teores de K aos 16,7 meses ($0,75 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto na testemunha absoluta aos 7,9 meses foi obtido o menor valor de K ($0,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 4).

Embora as testemunhas não tenham sido cultivadas com plantas de cobertura, houve alta incidência de plantas espontâneas nessas áreas devido à baixa cobertura do solo, que após o controle sofreram o processo de decomposição dos resíduos, e pode ter contribuído na liberação de nutrientes constituintes, como o K. Dessa forma, o comportamento de aumento dos teores de K na testemunha absoluta ao longo do tempo podem decorrer da ciclagem que essas plantas também realizam (FAVERO et al., 2000).

O maior teor de K na testemunha com adubação NPK observado aos 14,7 meses na camada de 0,00-0,10 m, possivelmente está relacionado à liberação de K dos resíduos da cultura do milho após a colheita, uma vez que esse é o

segundo nutriente absorvido em maior quantidade pelas plantas de milho que chegam a acumular cerca de 314 kg ha^{-1} de K em sua parte aérea (VON PINHO et al., 2009) e cerca de 70 a 80% desse valor retorna ao solo através da palhada remanescente (TAVEIRA et al., 2021).

Esperava-se que os teores de K no tratamento com pó de rocha associado aos diferentes mix obtivesse maiores valores. Entretanto, isso não ocorreu, contrapondo aos resultados obtidos por Carvalho (2012). O autor observou que as plantas e materiais orgânicos são capazes de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas, ao passo que o solo de forma isolada demonstrou uma capacidade inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas. O autor verificou que com o pó de rocha de gnaiss na presença de plantas (espontâneas e mucuna-preta) a disponibilização de K apresentou incremento de 67%, onde o teor que era de $0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aumentou para $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e ao utilizar composto orgânico a base de esterco bovino, o teor de K foi o dobro ($0,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do obtido apenas com a utilização de pó de rocha.

Writzl et al. (2019) ao avaliarem a utilização de pó de rocha basáltica na dose de 4 t ha^{-1} associado a cama de frango, após 12 meses verificaram que quando o pó de rocha foi aplicado de forma isolada promoveu aumento de 5% no teor de K no solo ($0,42 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e quando foi associado à cama de frango o incremento foi de 25% ($0,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Pela camada superficial do solo conter uma maior concentração de matéria orgânica devido ao cultivo sem mobilização do solo, houve maior efeito do pó de rocha, uma vez que o produto depende de interações biológicas para promover sua solubilização (SILVA et al., 2014). Dessa forma, é possível que o processo de decomposição dos resíduos vegetais e da cama de frango tenha proporcionado a liberação de ácidos orgânicos que desencadeiam processos que facilitam a dissolução dos minerais (MANNING et al., 2017), bem como, promovido melhorias na população microbiana do solo que podem atuar fragmentando as partículas e/ou promovendo alterações químicas na superfície dos minerais (SETIAWATI; MUTMAINNAH, 2016). Esses ácidos orgânicos liberados reagem com a superfície dos minerais e podem complexar fortemente o Al^{3+} da sua estrutura ou formar quelatos com esse cátion em solução, forçando a instabilidade do mineral pelo aumento do gradiente de concentração (LANDEWEERT et al., 2001).

Teor de K nos grãos

Não foi constatado efeito significativo para a interação entre consórcios, cama de frango e pó de rocha, bem como para os fatores isolados para o teor de K presente em grãos de milho. Em média, os grãos de milho apresentaram teor de K de $6,55 \text{ g kg}^{-1}$, independente do tratamento utilizado. Os tratamentos não diferiram das testemunhas que, em média, apresentaram teor de $7,69 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 5).

Como o solo da área experimental já apresentava teores elevados de K e os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes até o cultivo do milho, é justificável que não tenha ocorrido diferenças em relação aos teores de K translocado para os grãos, visto que os teores no solo se encontravam elevados em ambos os tratamentos (Figura 2).

Embora a extração de K pelo milho seja alta, a maior parte (60-75%) é acumulada na palhada (colmos, folhas, sabugo e palha), de modo que as exportações de K pelos grãos são

relativamente baixas (30%) (BASSETTO JUNIOR et al., 2020; SANTOS, 2021), fazendo do milho um excelente cicladador de K.

De acordo com Duarte et al. (2018), considerando um rendimento médio de 10 t ha⁻¹ de grãos de milho, a exportação de K na forma de grãos é de 45 kg ha⁻¹. Valores semelhantes aos encontrados por Resende et al. (2018), que para uma mesma produtividade de grãos (10 t ha⁻¹) encontrou valor de exportação de 37 kg ha⁻¹ de K. Assim, é possível estabelecer que para estes autores a média do teor de K nos grãos de milho foi de 4,1 g kg⁻¹, sendo menor em relação aos teores obtidos no presente estudo.

Tabela 5. Teores médios de potássio (g kg⁻¹) em grãos de milho cultivado na safra verão 21/22, em sucessão a consórcios de plantas de cobertura, aplicação de cama de frango e de pó de rocha basáltica, bem como para as testemunhas.

Tratamento	K (g kg ⁻¹)
Consórcio	
Aveia + Nabo	6,75 ^{ns}
Tremoço + ervilha	6,23
Av + Na + Tre + Erv	6,66
CV (%)	12,73
DMS	0,90
Cama de frango	
Presença	6,57 ^{ns}
Ausência	6,52
CV (%)	9,43
DMS	0,40
Pó de rocha	
Presença	6,72 ^{ns}
Ausência	6,38
CV (%)	9,94
DMS	0,40
Testemunhas	
Absoluta	7,94
Adubação NPK	7,44
DMS	2,81

Trabalhos avaliando teores de K nos grãos de milho são escassos, não sendo encontradas referências com a utilização de pó de rocha. Contudo, Crusciol et al. (2022) avaliando o teor de K em folhas de milho não verificaram diferença entre a fonte de K padrão (KCl) e os pós de rocha fonolítica e rocha de silicato de K alcalina; porém, ao avaliar a produtividade verificaram que houve aumento médio de 5,05 kg ha⁻¹ a cada quilograma de K₂O adicionado na forma de pó de rocha, resultando em um índice de eficiência agrônômica médio de 3,6 vezes maior que o KCl. Portanto, essa ausência de diferenças quanto ao teor de K nos grãos não impede resultados positivos na produtividade da cultura.

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos pode ser atribuída ao elevado teor inicial de potássio disponível no solo, o qual pode ter suprido adequadamente a demanda da cultura, reduzindo a resposta à adubação. Em condições de adequada ou alta disponibilidade de K, a aplicação adicional desse nutriente tende a não promover incrementos significativos no desempenho das plantas ou na atividade microbiana, uma vez que o elemento não atua como fator limitante do sistema (Mori et al., 2019; Pesini et al., 2024).

Vale salientar que o período de cultivo da cultura do milho foi marcado pela severa estiagem que atingiu o estado durante a safra 2021/2022, ocasionando perdas de 36% na

produção da cultura no Paraná (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA, 2024). Em decorrência da pouca precipitação, as temperaturas foram muito elevadas, com valores acima das médias históricas em praticamente todo o Estado, intensificando os prejuízos (IDR-PR, 2022).

Para alguns nutrientes o transporte no solo por fluxo de massa tem grande expressividade, como para o K. Dessa forma, o movimento do nutriente na solução do solo em direção à superfície das raízes das plantas é promovido pelo fluxo de água absorvido pela planta, que por sua vez depende da presença de água no solo e do potencial interno de água da planta, que está relacionado às condições de umidade e temperatura (FURLANI, 2004).

Como observado anteriormente, os teores de K observados nos grãos são maiores do que os relatados na literatura. Em condições de elevada disponibilidade de K, pode ocorrer absorção acima da necessidade fisiológica das plantas (consumo de luxo), sem reflexos positivos na produtividade. Além disso, concentrações elevadas de K podem conduzir a desequilíbrios de outros nutrientes, como o magnésio (PALMA et al., 2020).

Para a cultura da soja foi verificada interação significativa (p<0,05) entre a aplicação de cama de frango e a aplicação de pó de rocha basáltica. A combinação entre a presença de cama de frango na dose de 6 t ha⁻¹ com a presença de pó de rocha na dose de 8 t ha⁻¹ promoveu o maior teor de K nos grãos de soja (24,60 g kg⁻¹) quando comparado com a ausência de cama de frango (23 g kg⁻¹) e quando não houve aplicação de cama de frango não foi observado aumento nos teores médios de K no grão com a aplicação de pó de rocha. A aplicação de cama de frango associado ao pó de rocha teve maiores teores de K (24,60 g kg⁻¹) em comparação ao tratamento sem pó de rocha (22,63 g kg⁻¹). O uso de plantas de cobertura, cama de frango e pó de rocha foram estatisticamente semelhantes as testemunhas (Tabela 6).

Esse incremento possivelmente está ligado ao aporte de K pela cama de frango que apresentava a capacidade de fornecer 160,80 kg de K₂O antecedendo o cultivo da soja, considerando que a eficiência de uso do K presente na cama de frango é de 100% durante o ano de aplicação (PAULETTI; MOTTA, 2019); bem como pela liberação do K presente no pó de rocha, que apresentava 1,18% de K₂O em sua composição, sendo possível liberar até 94,40 kg com a aplicação de 8 t ha⁻¹ do material.

A associação de pó de rocha com a cama de frango proporcionou maiores teores de K nos grãos em relação aos teores descritos na literatura. Kurihara (2004) verificou teor de K de 15 g kg⁻¹ em grãos de soja coletados em diferentes lavouras produtoras. Oliveira Junior et al. (2013), estabeleceu que a demanda desse nutriente pela cultura da soja é de aproximadamente 32 kg de K para cada tonelada de grãos produzidos, sendo que, desse total, 17 kg são exportados das lavouras pelos grãos, ou seja, um teor de 17 g kg⁻¹. Kurihara et al. (2013) determinaram que para uma produtividade de 4.000 kg ha⁻¹ de grãos a extração de K pela cultura da soja é de 169 kg ha⁻¹, sendo que 55 kg ha⁻¹ são exportados pelos grãos, ou seja, o teor de K translocado para os grãos foi de 13,75 g kg⁻¹.

Não houve diferença entre os tratamentos e as testemunhas, as quais apresentaram média de 23 g kg⁻¹ de K. Assim como no milho, essa ausência de diferenças também é justificável pelo fato de que nas testemunhas os teores de K no solo já se encontravam elevados desde o início do experimento, o que foi facilmente mantido pela própria ciclagem realizada

pelas plantas espontâneas que emergiram nas testemunhas e pela aplicação de fertilizante formulado na testemunha com adubação. Essa manutenção foi capaz de proporcionar teores de K translocados para os grãos de soja semelhantes entre os tratamentos e as testemunhas.

Tabela 6. Teores médios de K (g kg⁻¹) em grãos de soja cultivada na safra de verão 22/23 em função da interação entre a aplicação de cama de frango e de pó de rocha, da sucessão a consórcios de plantas de cobertura e em relação às testemunhas.

Cama de frango	Pó de rocha	
	Presença (8 t ha ⁻¹)	Ausência
Presença (6 t ha ⁻¹)	24,60 aA	22,63 aB
Ausência	23,00 bA	23,27 aA
CV (%)	5,89	
Consórcio		
Aveia + nabo	23,64	
Tremoço + ervilha	23,45	
Ave + nab + tre + erv	23,03	
CV (%)	7,69	
Testemunhas		
Absoluta	21,44	
Adubação NPK	24,56	
DMS	3,56	

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

Trabalhos avaliando teores de K nos grãos de soja também são escassos, não sendo encontradas referências com a utilização de pó de rocha ou cama de frango. Contudo, Crusciol et al. (2022) avaliando os teores foliares de K na soja não verificaram diferença entre as fontes KCl e pó de rocha fonolito, sendo que o índice de eficiência agrônômica também foi semelhante entre as fontes. Esses resultados indicam que os pós de rocha podem fornecer K à cultura da soja de forma tão eficiente quanto a fonte padrão de KCl.

Vale destacar que teores elevados de nutrientes nem sempre são desejados, uma vez que com aumento na taxa de absorção, há um conseqüente incremento no seu teor na planta até atingir o nível crítico, a partir do qual existe pequena probabilidade de resposta em produção. Se o suprimento do nutriente continuar, o acúmulo pode se tornar excessivo gerando conseqüências negativas, como redução do desenvolvimento das plantas e potencialmente diminuição da absorção de outros nutrientes, ocasionando condições de antagonismo e/ou inibição; como é o caso da relação entre o K e o Mg (SILVA; LAZARINI, 2014).

Considerando que o solo da área experimental apresentava uma fertilidade média a alta, os resultados obtidos demonstram que o pó de rocha também pode ser utilizado como uma estratégia de manutenção da fertilidade do solo, uma vez que os teores de K no solo se mantiveram elevados durante os 24 meses de avaliação, suprimindo as necessidades das culturas do milho e da soja, visto que os teores de K translocados para os grãos dessas culturas foram semelhantes e até superiores aos relatados na literatura utilizando fontes solúveis de K.

CONCLUSÃO

A dinâmica do potássio no solo é influenciada pela interação entre fontes orgânicas, minerais e consórcios de plantas de cobertura. A combinação de pó de rocha, cama de frango e consórcios vegetais acelera a liberação de K e eleva seus teores, especialmente na camada superficial.

Na camada subsuperficial, os teores de K, permanecem elevados, evidenciando a importância da ciclagem promovida pelas plantas de cobertura e resíduos orgânicos.

Em solos com alta disponibilidade de K, essas práticas não alteram os teores nos grãos de milho e soja, e atuam na manutenção da fertilidade do solo e configuram-se como estratégia sustentável de manejo a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos durante a realização da pesquisa e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná e a Itaipu Binacional pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANDA, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS. Principais indicadores do setor de fertilizantes. São Paulo: ANDA, 2024.
- ARTUSO, D. R.; MOTERLE, D. F.; SANTOS, D. R. D.; TIECHER, T. Potassium distribution in soil profiles under no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 48, e0230125, 2024. [10.36783/18069657rbcs20230125](https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230125).
- BASSETTO JÚNIOR, N.; ALVES, G. H. T.; BELLETTINI, S.; BELLETTINI, N. M. T. Parcelamento de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. *Brazilian Journal of Development*, 6(11):89544-89663, 2020. [10.34117/bjdv6n11-397](https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-397)
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. Hortaliças-fruto. Maringá, PR: EDUEM, 2018. p.113-162.
- CAMARA, G. R.; FAITANIN, B. X.; SILVEIRA, L. L. L. da.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, E. S. dos. Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem: Parte I. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCTI, 2021, 74p.
- CAMARGO, C. K.; RESENDE, J. T. V. de.; CAMARGO, L. K. P.; FIGUEIREDO, A. S. T.; ZANIN, D. S. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(1):2985-2994, 2012. [10.5433/1679-0359.2012v33Sup1p2985](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Sup1p2985)
- CARVALHO, A. M. X. de. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas em manejo agroecológico. Tese, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012, 116p.

- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C.; BERWANGER, A. L. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Ciência Rural*, Santa Maria, 35(6), 1287–1295, 2005.
- CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Diagnóstico da seca no Paraná aponta prejuízos bilionários. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/diagnostico-da-seca-no-parana-aponta-prejuizos-bilionarios>. Acesso em: 11 de janeiro de 2024.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; GILABEL, A. P.; COSTA, C. H. M. da.; CAMPOS, M. de.; CASTRO, G. S. A.; FERRARI NETO, J. Broadcast application of ground silicate rocks as potassium sources for grain crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 57, 2022. [10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02443](https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02443)
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35(3):271-276, 2013. [10.4025/actasciagron.v35i3.21251](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251)
- DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. de.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa, 2017. cap.10, p.95-116.
- DUARTE, A. P.; ABREU, M. F. de.; FRANCISCO, E. A. B.; GITTI, D. C.; BARTH, G.; KAPES, C. Concentração e exportação de nutrientes nos grãos de milho. *Informações Agronômicas*, n.163, 2018.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:171-177, 2000. [10.1590/S0100-06832000000100019](https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100019)
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2):109-112, 2014. [10.1590/S1413-70542014000200001](https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001)
- FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara Koogan, 2004. cap.2, p.40-75.
- IDR-PR, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. Boletim Agrometeorológico. Curitiba, PR: IDR, 2022. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Boletim-Agrometeorologico>. Acesso em: 11 de janeiro de 2024.
- KURIHARA, C. H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Tese, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004, 101p.
- KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. de. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. *Revista Ceres*, 60(5):690-698, 2013. [10.1590/S0034-737X2013000500013](https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000500013)
- LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. Análise química de solo e de tecido vegetal: metodologias analíticas. 2ed. Cascavel: EDUNIOESTE, 2016.
- LANDEWEERT, R.; HOFFLAND, E.; FINLAY, R. D.; KUYPER, T. W.; BREEMEN, N. V. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(5):248-254, 2001. [10.1016/S0169-5347\(01\)02122-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02122-X)
- MANNING, D. A. C.; BAPTISTA, J.; LIMON, M. S.; BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. *Science of the Total Environment*, 574(1):476-481, 2017. [10.1016/j.scitotenv.2016.09.086](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.086)
- MARTINS, V.; GONÇALVES, A. S. F.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; MERTINS, E. S. Solubilização de potássio em misturas de verdete e calcário tratadas termoquimicamente. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(1):66-72, 2015. [10.1590/1983-40632015v4527917](https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4527917)
- MICHELON, C. J.; JUNGES, E.; CASALI, C. A.; PELLEGRINI, J. B. R.; ROSA NETO, L.; OLIVEIRA, Z. B.; OLIVEIRA, M. B. de. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(2):230-239, 2019. [10.5965/223811711812019230](https://doi.org/10.5965/223811711812019230)
- MORI, T.; WANG, S.; WANG, Z.; ZHANG, W.; CHENG, X. Nutrient availability and microbial activity in soils with contrasting fertility. *Biology and Fertility of Soils*, v. 55, p. 1–12, 2019.
- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. Atlas Climático do Estado do Paraná. 1. ed. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná, 2019. 210p.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de.; CASTRO, C. de.; OLIVEIRA, F. A. de.; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. *International Plant Nutrition Institute*, 143, 2013.
- PALMA, P.; MARTINS, I.; CATARINO, A.; MOURINHA, C.; ALVARENGA, P.; DORES, J.; PATANITA, M.; TOMAZ, A. Uma abordagem integrada na avaliação da qualidade de solos agrícolas em parcelas regadas. *Agrotec*, 64-67, 2020.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná. 2ed. Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2019, p.82-83.
- PENUELAS, J.; COELLO, F.; SARDANS, J. A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture & Food Security*, 12(5), 2023.

- PESINI, G.; SOUZA, R.; SILVA, L.; OLIVEIRA, M.; SANTOS, D. Effect of potassium rates and application methods in no-till on soil K availability and crop yield. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 48, e0240067, 2024
- RAHMAN, K. M. A.; ZHANG, D. Effects of fertilizer broadcasting on the excessive use of inorganic fertilizers and environmental sustainability. *Sustainability*, 10(759), 2018. [10.3390/su10030759](https://doi.org/10.3390/su10030759)
- RESENDE, Á, V. de.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; ABREU, S. C.; SANTOS, F. C. dos.; COELHO, A. M. Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do cerrado. *Plantio Direto*, 166, 2018.
- SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. Á. De.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; ARAÚJO FILHO, J. C. de.; OLIVEIRA, J. B. de.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, L. J. dos. Polihalita como fonte de potássio na adubação do sistema de sucessão soja–milho. Dissertação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Verde, GO, 2021, 24p.
- SETIAWATI, T. C.; MUTMAINNAH, L. Solubilization of potassium containing mineral by microorganisms from sugarcane rhizosphere. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9:108-117, 2016. [10.1016/j.aaspro.2016.02.134](https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.134)
- SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1):179-192, 2014. [10.5433/1679-0359.2014v35n1p179](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p179)
- SILVA, D. R. G.; SPEHAR, C. R.; MARCHI, G.; SOARES, D. A.; CANCELLIER, E. L.; MARTINS, É, S. Yield, nutrient uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. *African Journal of Agricultural Research*, 9(4):455-464, 2014. [10.5897/AJAR2013.6338](https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6338)
- TAVARES, L. F.; CARVALHO, A. M. X. de.; CAMARGO, L. G. B.; PEREIRA, S. G. F.; CARDOSO, I. M. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7:89-98, 2018. [10.1007/s40093-018-0194-x](https://doi.org/10.1007/s40093-018-0194-x)
- TAVEIRA, J. H. S.; ATAÍDE, M. V.; ROCHA, M. P.; FREITAS, N. F. de.; PRADO, S. M. A. Importância dos remineralizadores na produção de milho para silagem. *Brazilian Journal of Development*, 7(3):24907-24919, 2021. [10.34117/bjdv7n3-276](https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-276)
- VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 8(2):157-173, 2009.
- WANG, H. Y.; SHEN, Q. H.; ZHOU, J. M. Plants use alternative strategies to utilize nonexchangeable potassium in minerals. *Plant Soil*, 343:209-220, 2011. [10.1007/s11104-011-0726-x](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0726-x)
- WIHARDJAKA, A.; HARSANTI, E. S.; ARDIWINATA, A. N. Effect of fertilizer management on potassium dynamics and yield of rainfed lowland rice in Indonesia. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(1):33-43, 2022. [10.4067/S0718-58392022000100033](https://doi.org/10.4067/S0718-58392022000100033)
- WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; SILVA, D. W. da.; 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*, 9(2):101-109, 2019. [10.21206/rbas.v9i2.3077](https://doi.org/10.21206/rbas.v9i2.3077)