

## **Características agronômicas de tremoço branco e teores de fósforo após a aplicação de pó de rocha de basalto associado com plantas de cobertura e microrganismos**

**Agronomic characteristics of white lupine and phosphorus contents after application of basalt rock dust associated with cover crops and microorganisms**

**Características agronômicas del lupino blanco y contenido de fósforo después de la aplicación de polvo de roca basáltica asociado a cultivos de cobertura y microorganismos**

Recebido: 31/01/2022 | Revisado: 09/02/2022 | Aceito: 19/02/2022 | Publicado: 28/02/2022

**Edleusa Pereira Seidel**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8821-473X>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [edleusa.seidel@unioeste.br](mailto:edleusa.seidel@unioeste.br)

**Polyana Cequinatto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3126-1268>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [pollyanna\\_ceq@hotmail.com](mailto:pollyanna_ceq@hotmail.com)

**Luane Laíse Oliveira Ribeiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2913-7620>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [luanelaiseifpa@hotmail.com](mailto:luanelaiseifpa@hotmail.com)

### **Resumo**

O pó de rocha pode ser uma alternativa para melhoria das propriedades químicas do solo. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar os componentes de produção, os teores de fósforo (P) na planta de tremoço branco e no solo após a aplicação de pó de rocha de basalto associado com plantas de cobertura e microrganismos. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente ao acaso com 7 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram: T1-Pó de rocha+adubação verde com braquiária; T2-Pó de rocha+adubação verde com guandu; T3-Pó de rocha+braquiária+*Azospirillum*+*Trichoderma*+*Pycnopus*; T4-Pó de rocha+*Azospirillum*; T5-Pó de rocha+*Trichoderma*; T6- Pó de rocha+fungo *Pycnopus*; T7- Pó de rocha. Avaliou-se as características agronômicas do tremoço branco cultivado em sucessão aos tratamentos e os teores de fósforo na planta e no solo. A aplicação de pó de rocha de basalto junto com braquiária e guandu favoreceram o desenvolvimento do tremoço branco cultivado em sucessão e aumentou a disponibilidade de fósforo no solo. Dentre os microrganismos estudados o fungo do gênero *Trichoderma* aplicado junto com o pó de rocha de basalto favoreceu a produção de massa seca da parte aérea do tremoço branco e foi capaz de aumentar a disponibilidade de fósforo disponível no solo. O pó de rocha aplicado com *Azospirillum* também aumentou a disponibilidade de P no solo. Enquanto, o pó de rocha aplicado com *Pycnopus* não promoveu diferença estatística para nenhuma das características avaliadas.

**Palavras-chave:** Rochagem; Braquiária; Guandu; Biodisponibilidade de fósforo.

### **Abstract**

Rock dust can be an alternative for improving soil chemical properties. Thus, the objective of the present study was to evaluate the yield components, phosphorus (P) contents in the white lupine plant and in the soil after application of basalt rock dust associated with cover crops and microorganisms. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. The experimental design used was completely randomized blocks with 7 treatments and 4 replications. The treatments were: T1-Powder rock+green manure with Brachiaria; T2 - Rockdust + green manure with pigeon pea; T3 - Rock dust + Brachiaria + Azospirillum + Trichoderma + Pycnopus; T4-Rock dust + Azospirillum; T5-Rock dust + Trichoderma; T6- Rock dust + Pycnopus fungus; T7-Rock dust. The agronomic characteristics of white lupine cultivated in succession to the treatments and the phosphorus contents in the plant and in the soil were evaluated. The application of basalt rock powder together with brachiaria and pigeon pea it was beneficial the development of white lupine cultivated in succession and increased the availability of phosphorus in the soil. Among the microorganisms studied, the fungus of the genus *Trichoderma* applied together with the basalt rock powder was beneficial the production of dry mass of the aerial part of white lupine and was able to increase the availability of available phosphorus in the soil. Rock dust applied with *Azospirillum* also increased P

availability in the soil. Meanwhile, the rock powder applied with *Pycnoporus* did not promote statistical difference for any of the evaluated characteristics.

**Keywords:** Rock dust; Brachiaria; Pigeon pea; Phosphorus bioavailability.

### Resumen

El polvo de roca puede ser una alternativa para mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los componentes del rendimiento, los contenidos de fósforo (P) en la planta de lupino blanco y en el suelo después de la aplicación de polvo de roca basáltica asociado con cultivos de cobertura y microorganismos. El experimento se realizó en la Estación Experimental de la Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con 7 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos fueron: T1-Polvo de roca + abono verde con Brachiaria; T2-Polvo de roca + abono verde con guandú; T3-Polvo de roca+Brachiaria + *Azospirillum* + *Trichoderma* + *Pycnoporus*; T4-Polvo de roca + *Azospirillum*; T5-Polvo de roca + *Trichoderma*; T6- Polvo de roca + Hongo *Pycnoporus*; T7- Polvo de roca – Testigo. Se evaluaron las características agronómicas del chocho blanco cultivado en sucesión de los tratamientos y los contenidos de fósforo en la planta y en el suelo. La aplicación de polvo de roca basáltica junto con brachiaria y guandú favoreció el desarrollo del lupino blanco cultivado en sucesión y aumentó la disponibilidad de fósforo en el suelo. Entre los microorganismos estudiados, el hongo del género *Trichoderma* aplicado junto con el polvo de roca basáltica favoreció la producción de masa seca de la parte aérea del chocho blanco y logró aumentar la disponibilidad de fósforo disponible en el suelo. El polvo de roca aplicado con *Azospirillum* también aumentó la disponibilidad de P en el suelo. Por su parte, el polvo de roca aplicado con *Pycnoporus* no promovió diferencia estadística para ninguna de las características evaluadas.

**Palabras clave:** Rock; Braquiaria; Guandú; Biodisponibilidad de fósforo.

## 1. Introdução

Nos solos tropicais o volume de precipitação e a temperatura são elevados o que favorece seu intemperismo; especialmente nos Latossolos que apresentam grande perda de suas bases (cálcio, magnésio e potássio) e de silício. Essas perdas resultam no predomínio dos minerais caulinita e oxihidróxidos de ferro e alumínio. Os Latossolos possuem naturalmente baixa CTC e baixa fertilidade. Portanto, precisam ter seu pH corrigido regularmente e seus nutrientes repostos a cada safra (Santos et al., 2018). Esta reposição de nutrientes pode ser feita pela adição de fertilizantes químicos solúveis, adubação orgânica, uso de rochas moídas como: os fosfatos naturais, a calagem, dentre outros.

Entretanto, para repor os nutrientes perdidos a opção mais utilizada pelos agricultores são os adubos químicos solúveis que acabam deixando os custos das lavouras mais elevados. Além disso, estes adubos podem ser lixiviados e/ou perdidos por erosão; sendo então, levados para rios e córregos causando sua eutrofização.

Uma alternativa ao fornecimento de nutrientes é o uso de pó de rocha, também conhecida como rochagem. A rochagem é o termo utilizado para definir as práticas de aplicação no solo de rocha moída (Brito et al. 2019). A rochagem permite o aproveitamento dos resíduos da mineração e reduz os problemas ambientais causados pelos fertilizantes químicos solúveis. Sendo que o Brasil apresenta uma grande diversidade geológica com potencial de uso na agricultura (Cola; Simão, 2012); e por isso, seu uso ganha espaço nas lavouras brasileiras, seja no cultivo convencional ou orgânico.

Com a promulgação de lei que regulamentou a rochagem como um condicionador ou remineralizador de solo sua comercialização foi possível. Para ser comercializado como remineralizador o pó de rocha precisa atender algumas exigências mínimas da legislação brasileira. O produto deve conter pelo menos uma soma dos óxidos totais de cálcio, magnésio e potássio (soma de bases) superior a 9%, teor de  $K_2O$  de 1% e os teores máximos de arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo dentro de limites estabelecidos.

Segundo a Lei 12.890 de 10/12/13, Art. 3º (letra e) para ser classificado como remineralizador o material de origem mineral tem que ter sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas; bem como, promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo.

Trabalhos foram realizados demonstrando o potencial do uso do pó de rocha como o de Batista et al. (2017) e de Hanisch et al. (2013). Os autores verificaram aumento nos teores Ca, P e Si; e Zn, Cu, Fe, Mg e P no solo, respectivamente com o uso de pó de rocha. Prates et al. (2012) também demonstraram a potencialidade do uso de pó de rocha como fonte alternativa de reposição de nutrientes no solo; e Junior et al. (2021) observaram aumento de produtividade de milho com doses de basalto gabro no sudoeste goiano.

A eficiência agronômica do pó de rocha está diretamente correlacionada com sua composição química e mineralógica, presença de microrganismos solubilizadores, espécies de plantas cultivadas, atividade da rizosfera e o tipo de solo (Guelfi Silva et al., 2014). Como envolve muitos fatores para a solubilização dos nutrientes a rochagem não deve ser a única estratégia de manejo da fertilidade do solo a curto prazo (Carvalho, 2012; Paduá, 2012); pois, a disponibilidade de nutrientes ocorre de forma mais gradual.

O pó de rocha fornece todos os nutrientes que as plantas precisam para seu desenvolvimento tais como: fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e os micronutrientes, além dos elementos benéficos às plantas como silício. Plantas cultivadas com uso de pó de rocha são plantas mais saudáveis (Melo et al., 2009; Van Straaten, 2006).

O fósforo é essencial para o metabolismo vegetal, sendo necessário para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Estimula a germinação, ajuda também no desenvolvimento das raízes e melhora a produção das culturas (Knapik, 2007; Li et al., 2017). No pó de rocha os minerais fosfatados são liberados à medida que ocorre a intemperização da rocha. A dinâmica desse elemento no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato (Santos et al, 2008).

Segundo Lopes et al. (2014), um dos problemas encontrados no uso do pó de rocha como fertilizantes é fornecer os nutrientes nas quantidades e no tempo adequado para cada cultura. A solução encontrada por alguns produtores é usar doses relativamente altas do pó de rocha e com granulometria bem fina para compensar a baixa concentração e baixa solubilidade desses minerais (Harley & Gilkes, 2000). Em contrapartida há relatos que a baixa solubilidade das rochas faz delas um importante componente, evitando que os nutrientes sejam rapidamente lixiviados. O que pode ser considerado uma vantagem em condições tropicais (Theodoro, 2005; Martins, et al. 2010; Carvalho, 2013).

A liberação dos minerais contidos nas rochas envolve alguns mecanismos como a produção de ácidos orgânicos e inorgânicos, reações de quelação e trocas iônicas (Hameeda et al., 2008; Baliah et al., 2016). Lopes-Assad et al. (2006) relatam que a ação de ácidos orgânicos tem a capacidade de acidificar o meio e liberar os minerais presentes nas rochas mais rapidamente para plantas. Esses ácidos são produzidos pela microbiota do solo e por fungos do gênero *Aspergillus*.

O cultivo de plantas de cobertura são estratégias para aumentar a solubilidade de fósforo (P) do pó de rocha (Schoninger et al., 2013). A maioria das espécies de plantas podem ser usadas para esse fim, desde que tenham uma boa produção de biomassa. Mas, determinadas espécies são mais eficientes na liberação de exsudatos de compostos orgânicos de P-mobilizados e P-mineralizados, como as espécies capazes de formar associações micorrízicas (Hallama et al., 2019). Entretanto, Lambers e Teste (2013) demonstraram que espécies não micorrízicas podem ser altamente eficientes na mobilização de P. Trabalho realizado por Paredes Filho et al. (2020), demonstraram o efeito das plantas de cobertura na solubilização de P em fosfato natural de Araxá.

Outra estratégia para aumentar a disponibilidade de P é o uso de resíduos orgânicos provenientes de animais (Osterroht, 2003) ou de vegetais. Estes resíduos aumentam a atividade biológica ou então, liberam substâncias que ajudam na liberação dos minerais contidos no pó de rocha (Lopes et al, 2014).

Aumentar a atividade de determinados microrganismos também é uma boa estratégia. Eles são capazes de realizar a mineralização de nutrientes, decomposição da matéria orgânica, solubilização de fosfato e potássio (Miransari, 2013). Além de fazer a fixação de nitrogênio, nitrificação e produção de vários hormônios que estimulam o crescimento vegetal (Parmar; Sindhu, 2013).

Diversos grupos de microrganismos, como as bactérias, fungos e actinomicetos, têm a capacidade de solubilizar P. Eles apresentam dois mecanismos de liberação de P que é a solubilização de fosforo inorgânico e de mineralização do P orgânico (Richardson et al. 2011; Vassilev et al., 2014). O uso desses microrganismos depende do conhecimento de sua eficiência em solubilizar P e varia de microrganismo para microrganismo.

Lopes-Assad et al. (2006) destacaram a importância dos fungos na liberação de ácidos orgânico; principalmente, fungos do gênero *Aspergillus*, os quais tem a capacidade de acidificar o meio, desestabilizando os minerais presentes em rochas pouco solúveis, liberando os nutrientes que podem ser mais rapidamente aproveitados pelas plantas.

Han, et al. (2005) demonstram que as bactérias *Bacillus megaterium* e *Bacillus mucilaginosus* adicionadas a rochas fosfáticas e potássica, respectivamente, aumentaram a disponibilidades de P e K. Hamdali et al. (2008) em experimento confirmaram que actinobactéria foram eficientes na liberação de fosfato solúvel do pó de rocha.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os componentes de produção, os teores de fósforo (P) na planta de tremoço branco e no solo após a aplicação de pó de rocha de basalto associado com plantas de cobertura e microrganismos.

## 2. Metodologia

### 2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na estação experimental Professor Mário César Lopes, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, no município de Marechal Cândido Rondon – Paraná. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é Cfa, subtropical, com verões quentes, geadas pouco frequentes, sem estação seca definida com tendência à concentração de chuvas nos meses de verão. Apresenta temperatura média anual de 22 °C, no trimestre mais frio a temperatura média é de 18 °C e no trimestre mais quente a média é de 28 °C, com precipitação média anual variam entre 1600 a 1800 mm (Alvares et al., 2014).

### 2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente ao acaso com 7 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram: (T1) Pó de rocha mais adubação verde de braquiária; (T2) Pó de rocha mais adubação verde de feijão guandu; (T3) Pó de rocha com braquiária e aplicação de três microrganismos: *Azospirillum*, *Trichoderma* e *Pycnoporus*; (T4) Pó de rocha mais *Azospirillum*; (T5) Pó de rocha mais *Trichoderma*; (T6) Pó de rocha mais fungo *Pycnoporus*; (T7) Pó de rocha (testemunha).

### 2.3 Obtenção dos microrganismos *Azospirillum brasiliense*, *Pycnoporus* e *Trichoderma harzianum*

A cepa de *Azospirillum* foi obtida do produto comercial Fertibio *Azospirillum* (cepas AbV-5 e AbV-6 na Concentração de  $2 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>) da empresa Fertibio do Brasil e os isolados de *Pycnoporus sanguineus* e *Trichoderma harzianum* foram obtidos da coleção de microrganismos do Laboratório de Fitopatologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

O isolado de *P. sanguineus* preservado através de basidiocarpos secos foi repicado para placas de petri contendo meio de cultura BDA, as quais foram levadas para a incubação na BOD a temperatura de 36 °C. O isolado de *T. harzianum* foi reativado a partir de preservação pelo método de Castellani transferindo-se discos contendo micélio e conídios para placas de petri contendo meio de cultura BDA estéril, as quais foram levadas para a incubação na BOD a temperatura de 25 °C. (Gonçalves et al., 2016). Durante a condução do experimento, os isolados fúngicos foram mantidos por repicagens periódicas em meio BDA.

Para inoculação preparou-se suspensão de células de *A. brasiliensis* na concentração de  $1 \times 10^8$  ufc mL<sup>-1</sup>, considerando a concentração descrita na embalagem do produto. O inóculo de *T. harzianum* foi preparado na concentração de  $1 \times 10^8$  conídios mL<sup>-1</sup>, a partir da lavagem de cultura esporulante de sete dias em BDA e calibração com o auxílio de câmara de Neubauer (Alfenas et

al. 2016). O inóculo de *P. sanguineus* foi preparado a partir de micélio cultivado em meio BDA, o qual foi lavado, triturado e calibrado para  $1 \times 10^8$  fragmentos miceliais por mL, com auxílio de câmara de Neubauer (Alfenas et al. 2016).

## 2.4 Instalação, condução e análises realizadas

Para a condução dos experimentos foi utilizado o pó de rocha oriundo de basalto obtido na mineradora Minerpal, localizada no município de Palotina – PR. Os resultados obtidos com a análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química do pó de basalto utilizado no experimento.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P. F	Soma
----- % -----											
51,17	12,65	14,24	9,73	5,21	1,01	2,61	2,52	0,21	0,35	0,30	100

P.F: perda ao fogo. Fonte: Autores (2022).

O solo utilizado constituiu-se de um Latossolo Vermelho retirado da profundidade de 0 a 20 cm. Coletou-se uma amostra composta para caracterização química. O resultado da análise química é apresentado na tabela 2.

**Tabela 2.** Características químicas do Latossolo Vermelho Eutroférico utilizado no experimento.

P	MO	pH CaCl <sub>2</sub>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V %	Cu	Zn	Mn	Fe
mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							-----					
22,37	25,40	5,29	5,54	0	0,33	3,59	2,22	6,14	11,68	52,57	7,7	13,7	33	14,1

Fonte: Autores (2022).

Após peneiramento do solo e pesagem adicionou-se o equivalente 8 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha de basalto. Preencheu-se os vasos com 8 kg de solo e foram semeadas as plantas de cobertura e a aplicação dos microrganismos conforme os tratamentos. Todos os vasos foram irrigados diariamente. Aos 30 dias nos tratamentos que havia braquiária e feijão guandu cortou-se a parte aérea das plantas, deixando-as sobre o solo para se decompor. Aos 190 dias foi semeado o tremoço branco utilizando 8 sementes por vaso a uma profundidade de cinco centímetros e sete dias após a emergência foi realizado o desbaste deixando quatro plantas por vaso.

Aos 90 dias após a semeadura, quando as plantas de tremoço estavam florescendo fez-se a determinação da altura de plantas e diâmetro do caule. Essa avaliação foi realizada com uma fita métrica e um paquímetro. Em seguida as plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel e então, foram levadas a estufa de circulação de ar a temperatura de 65 °C até peso constante.

Coletou-se também uma amostra de solo de cada vaso para determinar os teores de fósforo (P). Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório de Fertilidade de Solo da Unioeste. O teor de P foi determinado pelo método de Olsen; cujo extrator não é ácido. Utilizou-se 2,5 cm<sup>3</sup> de solo e adicionou 50 mL da solução alcalina tamponada NaHCO<sub>3</sub> mais 0,4 g de carvão ativado. Agitou essa solução por 30 minutos e ficou em repouso por 2 minutos; em seguida foi filtrada. Com o obtido da filtragem foi realizada a leitura da curva padrão com auxílio de fotocolorímetro e ajustou-se um modelo de regressão.

Para retirar as raízes do tremoço os vasos foram submersos em água por um tempo, em seguida foram submetidos a um jato de água para retirar todo o solo. Quando as raízes estavam limpas foram levadas ao laboratório para determinação do volume e massa seca. A determinação do volume de raízes foi realizada com o auxílio de uma proveta. Adicionou-se uma

quantidade conhecida de água na proveta em seguida as raízes foram adicionadas e observou-se o quanto de água foi deslocada. Após a determinação do volume de raízes, estas foram acondicionadas em sacos de papel tipo Kraft e levadas para estufa de circulação forçada a temperatura de 65 °C até obtenção de massa constante. Em seguida o material foi pesado, determinando a produção de matéria seca de raiz.

As amostras do tecido vegetal após secas foram moídas em moinhos tipo Willey e armazenadas em frascos plásticos. Para determinação do P as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e analisadas por espectrofotometria UV-VIS.

## 2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos ao teste de teste de Scott-Knott ao nível de significância de ( $p < 0,05$ ), utilizando o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2011).

## 3. Resultados e Discussão

A altura média do tremoço foi de 56,86 cm e não houve diferença estatisticamente entre os tratamentos, o que também foi observado para a produção de massa seca de raízes. Para a variável diâmetro médio de caule, massa seca da parte aérea e volume de raiz houve diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultados médios para altura de plantas, diâmetro do caule, massa seca de parte aérea, de raízes e volume de raízes de tremoço branco após aplicação de pó de rocha associado com plantas de cobertura e microrganismos.

Tratamentos	Altura de Plantas (cm)	Diâmetro de Caule (cm)	Massa Seca/Aérea (g)	Massa Seca/raiz (g)	Volume de Raiz (cm <sup>-3</sup> )
Pó de rocha + Braquiária	59,83 <sup>ns</sup>	6,00 a	29,33 a	4,24 <sup>ns</sup>	17,00 a
Pó de rocha + Guandu	58,43	6,00 a	29,00 a	3,60	12,75 b
Pó de rocha + Braquiária + <i>Azospirillum</i> , <i>Trichoderma</i> e <i>Pycnopus</i>	57,15	5,75 a	27,25 a	3,26	10,75 b
Pó de rocha + <i>Azospirillum</i>	56,18	5,00 b	25,00 b	2,75	9,00 b
Pó de rocha + <i>Trichoderma</i>	55,81	6,25 a	26,75 a	3,78	12,25 b
Pó de rocha + <i>Pycnopus</i>	54,31	5,25 b	25,00 b	3,72	10,25 b
Pó de rocha	56,33	5,25 b	21,50 c	3,24	10,25 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Fonte: Autores (2022).

Os maiores diâmetros de caule e a produção de matéria seca da parte aérea do tremoço foram constatados nos tratamentos que antes de sua semeadura foi cultivado as plantas de cobertura braquiária e guandu, sendo que estes não diferiram estatisticamente do tratamento onde havia braquiária com aplicação de três microrganismos: *Azospirillum*, *Trichoderma* e *Pycnopus* e com apenas *Trichoderma*. Esses tratamentos obtiveram um aumento na produção de massa seca em relação aos tratamentos que tiveram apenas *Azospirillum* e fungo *Pycnopus* de 12,56% e produziu 30,88% a mais em comparação a testemunha que recebeu apenas pó de rocha (Tabela 3).

O tremoço cultivado onde havia braquiária teve um volume de raiz 56% maior do que os demais tratamentos. Uma das justificativas do melhor desenvolvimento do tremoço onde foi cultivado a braquiária e guandu provavelmente se deu em função

do sistema radicular vigoroso destas espécies. As raízes destas plantas absorveram íons da solução do solo de forma diferenciada e liberaram  $H^+$ ,  $HCO_3^-$  e  $CO_2$ , o que causa mudanças no pH do solo e influência na liberação de nutrientes e intemperismo do pó de rocha. O consumo ou liberação de  $O_2$  também levam a alterações no potencial redox, tendo como consequência alterações na disponibilidade de nutrientes e na atividade microbiana (Cardoso e Nogueira, 2007).

Houve diferença estatísticas entre os tratamentos para os teores de P na parte aérea do tremoço e no solo. Os maiores teores de P na parte aérea do tremoço foi observado onde o pó de rocha foi aplicado junto com a braquiária e com os três de microrganismos (*Azospirillum* + *Trichoderma* + *Pycnoporus*) com  $2,91 \text{ g kg}^{-1}$  e no tratamento que antes da semeadura do tremoço havia braquiária ( $2,85 \text{ g kg}^{-1}$ ). Nestes tratamentos o teor de P na parte aérea foi 26% a mais em relação aos demais tratamento (Tabela 4).

**Tabela 4.** Teores médios de fosforo (P) no tecido vegetal de tremoço branco e no solo após aplicação de pó de rocha associado com plantas de cobertura e microrganismos.

Tratamento	P tecido vegetal de tremoço ( $\text{g kg}^{-1}$ )	P no Solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ )
Pó de rocha + Braquiária	2,85 a	24,40 a
Pó de rocha + Guandu	2,38 b	24,44 a
Pó de rocha+Braquiária+( <i>Azospirillum</i> , <i>Trichoderma</i> e <i>Pycnoporus</i> )	2,91 a	23,59 b
Pó de rocha + <i>Azospirillum</i>	2,40 b	24,82 a
Pó de rocha + <i>Trichoderma</i>	2,13 b	24,74 a
Pó de rocha + <i>Pycnoporus</i>	2,39 b	23,08 b
Pó de rocha	2,08 b	23,04 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Fonte: Autores (2022).

Houve diferenças significativas para os teores de P no solo. O teor médio de P no solo foi de  $24 \text{ mg dm}^{-3}$ , enquanto que o teor de P na amostra inicial foi de  $22,37 \text{ mg dm}^{-3}$  (tabela 2). Portanto, o pó de rocha disponibilizou  $1,64 \text{ mg dm}^{-3}$  de P. Os maiores teores foram observados onde foram cultivados braquiária e guandu; bem como, no tratamento que houve a aplicação dos microrganismos: *Azospirillum* e *Trichoderma*. Nestes tratamentos houve um acréscimo de 5,8% nos teores de P no solo.

A rizosfera das plantas de coberturas é rica em exsudatos, secreções, mucilagens, mucigel e lisados celulares que contribuíram para aumentar o intemperismo do pó rocha, disponibilizando mais P. Outro fator é que após decomposição das plantas de cobertura estas liberam ácidos orgânicos que pode ter contribuído para a liberação dos nutrientes presentes no pó de rocha (Delarmelinda et al., 2010).

Outro fator que pode ter contribuído para maiores teores de P nestes tratamentos é que o fosfato e o silicato são adsorvidos no mesmo sítio coloidal do solo. Portanto, aumentando o teor de silicato aumenta-se a disponibilidade de P no solo (Menegale et al. 2015; Schaler et al., 2019). Além disso, as plantas de cobertura criam condições que podem ter favorecido o desenvolvimento de outros microrganismos do solo aumentando a disponibilidade de nutrientes no solo.

A eficiência das braquiárias na absorção de P também foi observado por Janegitz et al., (2016); segundo os autores as braquiárias possuem mecanismos como o desenvolvimento de um grande sistema radicular e a redução da fixação de P no solo. Elas exsudam ácidos orgânicos de baixo peso como citrato, malato e oxalato, aumentando a liberação e consequentemente a absorção de P. De acordo com Janegitz et al. (2013); Rosolem et al. (2014) a atividade da fosfatase ácida é aumentada na rizosfera

de braquiária. Resultados semelhantes foi observado por Merlin (2016) que encontrou evidências de que a braquiária pode solubilizar formas não lábeis de P; o que também foi corroborado por George et al. (2006) e Janegitz et al. (2016).

Os microrganismos *Azospirillum* e *Trichoderma* foram capazes de solubilizar fosfatos inorgânicos complexado a Ca, Fe e Al, pela produção de ácidos orgânicos ou liberam P-orgânico através da produção de enzimas do tipo fosfates (Baliah et al., 2016; Paiva et al., 2018). Outro mecanismo provável de solubilização de fosfatos é a produção de sideróforos, que são moléculas orgânicas de baixo peso molecular produzidas por algumas espécies de microrganismos que complexam metais de ferro em estado insolúvel (Batista et al., 2018).

#### 4. Conclusão

A aplicação de pó de rocha de basalto junto com braquiária e guandu favoreceram o desenvolvimento do tremoço branco cultivado em sucessão e aumentou a disponibilidade de fósforo na solução do solo.

Dentre os microrganismos estudados o fungo do gênero *Trichoderma* aplicado junto com o pó de rocha favoreceu a produção de massa seca da parte aérea do tremoço branco e foi capaz de aumentar a disponibilidade de fósforo disponível no solo e quando foi aplicado a bactéria *Azospirillum* aumentou apenas a disponibilidade de P no solo. O uso de *Pycnopus* não foi capaz de alterar significativamente nenhuma das características avaliadas.

#### Agradecimentos

A Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica e a equipe de trabalho do Grupo de Estudos em Solos e Agroecologia (GESA).

#### Referências

- Alfenas, A.C., Zauza, E. Â. V., Mafía, R.G. & Alfenas, R.F. (2016). Produção, determinação e calibração da concentração de inóculo em suspensão. In: Alfenas, A.C. & Mafía, R.G. *Métodos em fitopatologia*. Viçosa: Editora UFV, 107-121.
- Alvares, C.A., Stape, J. L., Sentelhas, P.C., Golçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Baliah, N.T., Pandiarajan, G. & Kumar, B. (2016). Isolation, identification and characterization of phosphate solubilizing bacteria from different crop soils of Srivilliputtur Taluk, Virudhunagar District, Tamil Nadu. *Tropical Ecology*, 57(3), 465-474.
- Batista, N.T.F., Ragagnin, V.A., Hack, E., Görgen, A.L. & Martins, E.S. (2017). *Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído*. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 03, Pelotas, 2017. Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 241-247.
- Batista, F.C. et al. (2018). Potencial de microrganismos rizosféricos e endofíticos de milho em solubilizar o fosfato de ferro e produzir sideróforos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento), 166 p.
- Brito, R.S.D., Batista, J.F., Moreira, J.G. do V., Moraes, K.N.O., & Silva, S.O. (2019). Rochagem na agricultuta: importância e vantagens para adubação suplementar. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 6(1).
- Cardoso, E.J.B.N. & Nogueira, M.A. (2007). A Rizosfera e seus Efeitos na Comunidade microbiana e na Nutrição de Plantas In: *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*. Campinas: Instituto Agrônômico, 312 p.
- Carvalho, A.M.X. de. (2012) *Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas em manejo agroecológico*. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 116 p.
- Carvalho, A.M.X. (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. *Sustentabilidade e inovações no campo*. Uberlândia: *Composer*, 117-132.
- Cola, G.P.A. & Simão, J.B.P. (2012). Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. *Revista Verde*, 7(1), 01-08.
- Delarmelinda, E.A., Sampaio, F.A.R., Dias, J.R.M, Tavella, L.B. & Silva, J.S.da (2010). Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. *Acta Amazonica*, 40(3), 625-627. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300024>.
- Ferreira, D.F. (2011) *Sisvar*: um guia dos seus procedimentos de comparações múltiplas Bootstrap. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2).
- George, T.S., Turner, B.L., Gregory, P.J., Cade-Menun, B.J. & Richardson, A.E. (2006). Depletion of organic phosphorus from Oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere. *European Journal of Soil Science*, 57, 47-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00767.x>.

- Gonçalves, J.L.M., Santarelli, E.G., Moraes Netto, S.P., Manara, M. P. & Stape, J.L. (2000). *Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização*. Nutrição e fertilização florestal, 310-350.
- Gonçalves, R.C., Alfenas, A.C. & Mafía, R.G. (2016). Armazenamento de microrganismos em cultura com ênfase em fungos fitopatogênicos. In: Alfenas, A.C. & Mafía, R.G. *Métodos em fitopatologia*. Viçosa: Editora UFV, 93-105.
- Guelfi Silva, D.R., Spehar, C.R., Marchi, G., Soares, D.A.S., Cancellier, E.L. & Martins, E.S. (2014). Yield, nutriente uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. *Academic Journals*, 9, 455-464.
- Knapik, J.G. & Angelo, A.C. (2007). Pó de basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (ROSACEAE). *Floresta*, 7(3), 427-436.
- Hallama, M., Pedrun, C., Lambers, H. & Kandeler, E. (2019). Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil*, 434, 7-45. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7>.
- Hansch, A.L., Fonseca, J.A., Balbinot Junior, A.A. & Spagnollo, E. (2013). Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 3, 100-107.
- Han, H.S. & Lee, K.D. (2005). Phosphate and growth of eggplant. *Research journal of agriculture and biological Science*. 176-180.
- Hamdali, H., Hafidi, M., Virolle, M.J. et al. (2008). Rock phosphate-solubilizing Actinomycetes: screening for plant growth-promoting activities. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, 2565–2575 <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9817-0>.
- Harley, A. & Gilkes, R.J. (2000). Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56, 11-36.
- Janegitz M.C., Inoue B.S. & Rosolem CA (2013) Soil phosphorus pools as affected by brachiaria and white lupin. *Ciência Rural*, 43, 1381-1386. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000800007>.
- Janeitz, M.C., Souza, E.A. de. & Roselem, C.A. (2016). Brachiaria as a cover crop to improve phosphorus use efficiency in a no-till oxisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40 e0150128. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150128>.
- Júnior, J.J. Almeida et al. (2021). Análise das variáveis tecnológicas do milho em função das doses crescentes de condicionador pó de rocha. *Brazilian Journal of Development*, 7(10), 100992-100998.
- Lambers, H. & Teste, F. (2013). Interactions between arbuscular mycorrhizal and non-mycorrhizal plants: do non-mycorrhizal species at both extremes of nutrient availability play the same game? *Plant, Cell & Environment*, 36, 1911-1915.
- Lopes-Assad M.L., Rosa M.M., Erler G. & Ceccato-Antonini S.R. (2006). Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. *Espaço e Geografia*, 9, 1-16.
- Lopes-Assad, M.L., Avansini, S.H., Rosa, M.M., Carvalho, J.R.P. de & Ceccato-Antonini, S.R. (2010). The solubilization of potassium-bearing rock powder by *Aspergillus niger* in small-scale batch fermentations. *Canadian Journal of Microbiology*, 56, 598-605.
- Lopes, O.M.M., Carrilho, E.N.V.M. & Lopes-Assad, M.L.R.C. (2014). Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 38, 1547-1557.
- Li, C., Li, C., Zhang, H., Liao, H., & Wang, X. (2017). The purple acid phosphatase GmPAP21 enhances internal phosphorus utilization and possibly plays a role in symbiosis with rhizobia in soybean. *Physiologia Plantarum*, 19(2), 215-227.
- Martins, E.S., Resende, A.V., Oliveira, C.G. & Furtini Neto, A.E. (2010). *Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos*. In: Agrominerais para o Brasil. Francisco R. C. Fernandes, Adão B. da Luz, Zuleica C. Castilhos. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 380 p.
- Melo, V. F., Castilhos, R.M. & Pinto, L.F., (2009). Reserva mineral do solo. In: Melo, V.F., Alleoni, L.R.F. *Química e Mineralogia do Solo - Parte I - Conceitos Básicos*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1, 251-332.
- Merlin, A., Rosolem, C.A. & He, Z (2016). Non-labile phosphorus acquisition by Brachiaria, *Journal of Plant Nutrition*, 39(9), 1319-1327.
- Menegale, M.L. de C., Castro, G.S.A., & Mancuso, M.A.C. (2015). Silício: interação com o sistema solo-planta. *Journal of Agronomic Sciences*, 4 (especial), 435-454.
- Osterroht, M. (2003). Rochagem para quê? In: OLIVEIRA, J. P. *Rochagem-1: adubação com rochas silicatadas moídas*, 20. Botucatu: Agroecológica, cap. 3, 12-15.
- Pádua, E.J. (2012). *Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas*. 2012. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- Parmar, P. & Sindhu, S.S. (2013). Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. *Journal of Microbiology Research*, 3, 25-31.
- Paiva, C.A.O. et al. (2018). *Inoculantes de microrganismos promotores de crescimento em milho: transferindo a diversidade do laboratório para o campo*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 227. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 19 p.
- Prates, F.B.S. et al. (2012). Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. *Revista Ciência Agronômica*, 43(2), 207-213. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200001>.
- Theodoro, S. H. (2002). *Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais*. Rio de Janeiro: Garamond. 344 p.

- Paredes Filho, M.V., Silva, A.B. & Florentino, L.A. (2020). Solubilization of Araxá natural phosphate and decomposition of plant residues by bacterial isolates. *Ciência e Agroecologia*, 44. e008420. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044008420>.
- Richardson, A.E. & Simpson, R.J. (2011). Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant Physiology*, 156(3), 989-996.
- Rosolem C.A., Merlim A. & Bull J.C.L. (2014). Soil phosphorus dynamics as affected by Congo grass and P fertilizer. *Scientia Agricola*, 71(309), 15. doi:10.1590/0103-9016-2013-0345.
- Schoninger E.L., Gatiboni L.C. & Ernani P.R. (2013). Fertilization with rock phosphate and kinetics of phosphorus uptake by soybean and cover crops of Brazilian cerrado soils. *Semina: Ciências Agrárias*, 34, 95-106.
- Santos, H. G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberas, 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*. Embrapa, DF, 356 p.
- Santos, D.R., Gatiboni, L.C., Kaminski, J. (2008). Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Revista Ciência Rural*, 38(2), 576-586.
- Schaller, J., Faucherre, S., Joss, H., Obst, M., Goeckede, M., Planer-Friedrich, B., Peiffer, S., Gilfedder, B., & Elberling, B. (2019). Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.
- Van Straaten, P. (2006). Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4), 731-747.
- Vassilev, N., Someus, E., Fernández-Serrano, M., Rodríguez, V., Roman, M.G., Reyes, A. & Vassileva, Maria. (2009). Novel approaches in phosphate-fertilizer production based on wastes derived from rock phosphate mining and food processing industry. In: Samuelson JP (ed) *Industrial waste: environmental impact, disposal and treatment*. Nova SciPubl, New York, 387–391.
- Vassilev, N. et al. (2014). Biotechnological tools for enhancing microbial solubilization of insoluble inorganic phosphates. *Geomicrobiology Journal*, 31, 751-763.