



## CAPÍTULO 7

# Uso de pó de rocha no Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: impactos nos atributos químicos do solo e na produtividade de brócolis e couve-flor

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.526172513117>

Luis Fernando Knoth

Bruna da Rosa Dutra

Mirella Montibeller

Flora Wenderosck Senna de Oliveira

Josué Klein Schmitt

Christiane Fernandes de Oliveira

Eduardo Ribeiro Nazarian

Maria Rafaela Junger Wollmann

Juliano Galina

Cledimar Rogério Lourenzi

**RESUMO:** O uso de pós de rocha tem sido investigado como estratégia alternativa para a remineralização de solos agrícolas, especialmente em sistemas conservacionistas, como o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do pó de rocha olivina melilitito na disponibilização de nutrientes, nos atributos químicos do solo e na produtividade das culturas de brócolis e couve-flor conduzidas sob SPDH. O experimento foi realizado em uma propriedade rural localizada no município de Angelina, Santa Catarina, em área com histórico de nove anos de cultivo de hortaliças em SPDH, ao longo de três ciclos de cultivo, em rotação com plantas de cobertura. Os tratamentos consistiram

na aplicação de diferentes doses de pó de rocha olivina melilitito, correspondentes a 0, 5, 10 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, além de um tratamento com adubação mineral convencional com NPK. O pó de rocha foi aplicado no início de cada ciclo de cultivo, no momento do transplante das mudas. Para a avaliação dos efeitos do manejo sobre o solo, foram coletadas amostras nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, nas quais foram determinados o pH em H<sub>2</sub>O, os teores de Al<sup>3+</sup>, H+Al, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e P, bem como calculadas a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e a saturação por bases. A produtividade das culturas foi determinada a partir da colheita de plantas com inflorescência formada. A aplicação do pó de rocha promoveu alterações graduais nos atributos químicos do solo ao longo dos ciclos de cultivo, com maior expressão na camada superficial. Observou-se incremento significativo do pH do solo na camada de 0–10 cm nos três ciclos avaliados, especialmente nos tratamentos com doses intermediárias e elevadas, com os maiores valores registrados no terceiro ciclo. O teor de cálcio apresentou diferenças entre os tratamentos, principalmente na camada de 10–20 cm, indicando movimentação gradual do nutriente no perfil do solo. Para o fósforo, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos na camada de 0–10 cm no segundo e terceiro ciclos de cultivo, enquanto alterações nos teores de potássio ocorreram apenas no terceiro ciclo, também na camada superficial. De modo geral, os resultados indicam que a liberação de nutrientes a partir do pó de rocha ocorre de forma lenta e progressiva, sendo mais evidente com o uso contínuo ao longo do tempo. Apesar das melhorias observadas em alguns atributos químicos do solo, não foram constatadas diferenças significativas na produtividade de brócolis e couve-flor entre os tratamentos avaliados, incluindo aqueles com aplicação de pó de rocha e adubação mineral. Esses resultados sugerem que, nas condições de manejo avaliadas, os efeitos do pó de rocha sobre a produtividade das culturas não se manifestam no curto e médio prazo. Conclui-se que o pó de rocha olivina melilitito apresenta potencial para contribuir com a melhoria da fertilidade química do solo em SPDH, sendo recomendadas avaliações de longo prazo, com maior número de ciclos e cultivo contínuo de uma mesma cultura, para melhor compreensão de seus efeitos em sistemas agrícolas conservacionistas brasileiros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remineralizador de solo, olivina melilitito, rochagem, *Brassica oleracea*

## Use of rock dust in the no-till vegetable production system: impacts on soil chemical attributes and broccoli and cauliflower productivity.

**ABSTRACT:** The use of rock dust has been investigated as an alternative strategy for the remineralization of agricultural soils, especially in conservation systems such

as the No-Tillage System for Vegetables (SPDH). In this context, the present study aimed to evaluate the efficiency of melilitite olivine rock dust in nutrient availability, soil chemical attributes, and the productivity of broccoli and cauliflower crops under SPDH. The experiment was conducted on a rural property in the municipality of Angelina, Santa Catarina, in an area with a nine-year history of vegetable cultivation under SPDH, over three cropping cycles, in rotation with cover crops. The treatments consisted of different doses of melilitite olivine rock dust (0, 5, 10, and 20 Mg ha<sup>-1</sup>), in addition to a conventional mineral fertilization treatment with NPK. The rock dust was applied at the beginning of each cropping cycle, at the time of transplanting the seedlings. To evaluate the effects of the management on the soil, samples were collected from the 0–10 and 10–20 cm layers, where pH in H<sub>2</sub>O, Al<sup>3+</sup>, H+Al, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, and P contents were determined, as well as the cation exchange capacity at pH 7.0 and base saturation. Crop productivity was determined from the harvest of plants with formed inflorescences. Application of the rock dust promoted gradual changes in soil chemical attributes throughout the cropping cycles, with greater expression in the superficial layer. A significant increase in soil pH in the 0–10 cm layer was observed in all three cycles, especially in the treatments with intermediate and high doses, with the highest values recorded in the third cycle. Calcium content differed among treatments, mainly in the 10–20 cm layer, indicating gradual nutrient movement within the soil profile. Phosphorus showed significant differences among treatments in the 0–10 cm layer during the second and third cycles, while potassium content varied only in the third cycle, also in the surface layer. Overall, the results indicate that nutrient release from the rock dust occurs slowly and progressively, being more evident with continuous use over time. Despite the improvements observed in some soil chemical attributes, no significant differences were found in broccoli and cauliflower productivity among the evaluated treatments, including those with rock dust and mineral fertilization. These findings suggest that, under the evaluated management conditions, the effects of rock dust on crop productivity do not manifest in the short to medium term. It is concluded that melilitite olivine rock dust has the potential to contribute to the improvement of soil chemical fertility in SPDH, and long-term assessments with multiple cycles and continuous cultivation of the same crop are recommended to better understand its effects in Brazilian conservation agricultural systems.

**KEYWORDS:** Remineralizer of only, olivine melilitito, rockrolling, *Brassica oleracea*

## INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina destaca-se na produção de hortaliças, principalmente por meio da agricultura familiar, responsável por grande parte da produção estadual. Essa atividade depende intensamente do uso de fertilizantes industrializados para

garantir altas produtividades. Em nível nacional, Santa Catarina responde por aproximadamente 8% da produção de couve-flor e 6% de brócolis, totalizando, segundo levantamento da Epagri em 2018, cerca de 14 milhões de cabeças de couve-flor e 15 milhões de unidades de brócolis (EPAGRI, 2019). Como a maior parte dos fertilizantes utilizados no país (cerca de 75%) é importada, o custo de produção torna-se elevado, tornando necessária a busca por práticas de manejo que, além de econômicas, promovam melhorias na qualidade do solo, na sanidade das plantas e na saúde dos agricultores (DALL'AGNOL, 2020).

Tradicionalmente, o cultivo de hortaliças é realizado por meio do sistema de preparo convencional do solo (SPC), caracterizado pelo intenso revolvimento. Operações como aração, gradagem e uso de enxadas rotativas podem causar efeitos negativos sobre o solo, incluindo pulverização da estrutura, redução da infiltração de água, aceleração da mineralização da matéria orgânica e compactação em profundidade (MAROUELLI et al., 2010). Em solos brasileiros, sujeitos a altas chuvas e temperaturas elevadas, essas práticas intensificam a erosão hídrica e reduzem o teor de matéria orgânica, contribuindo para a degradação física, química e biológica das áreas cultivadas (PERIN et al., 1998).

Como alternativa ao SPC, sistemas conservacionistas vêm ganhando destaque por reduzir a dependência de insumos externos e promover a sustentabilidade dos agroecossistemas. Nesse contexto, o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) surge como uma prática capaz de minimizar impactos ambientais das operações convencionais de preparo do solo (FAYAD et al., 2019). No SPDH, recomenda-se o uso de plantas de cobertura, cultivadas isoladamente ou em consórcio, que aumentam a produção de biomassa por área e promovem o incremento de carbono no solo. Aliado ao revolvimento restrito à linha de plantio, o uso de plantas de cobertura contribui significativamente para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tornando-o mais estruturado e com maior potencial produtivo ao longo do tempo (MÜLLER JÚNIOR, 2017). Além disso, os exsudados radiculares das plantas de cobertura aceleram a solubilização de nutrientes, tornando-os mais disponíveis para a cultura subsequente (KEUSKAMP et al., 2015).

Nas últimas décadas, o uso de pós de rocha tem se consolidado como alternativa para suplementar nutrientes e recuperar solos degradados, que perderam parte de suas reservas nutricionais e capacidade produtiva (RIBEIRO et al., 2010). A remineralização do solo por meio do pó de rocha é economicamente viável e ecologicamente interessante, uma vez que o material, obtido pela moagem das rochas, libera nutrientes de forma gradual, reduzindo perdas por lixiviação e mantendo sua disponibilidade a longo prazo (MELAMED et al., 2007). Inicialmente utilizado em cultivos orgânicos, o pó de rocha, também chamado de “remineralizador de solo”, apresenta eficácia que depende de fatores como granulometria, composição

química e mineralógica, pH do solo e atividade biológica (DETTMER et al., 2019; ESCOSTEGUY; Klamt, 1998).

Além disso, a associação do pó de rocha com materiais de alta atividade biológica, como estercos animais, pode potencializar a liberação de nutrientes (STRAATEN, 2002). Ao contrário dos fertilizantes solúveis, que requerem aplicação a cada cultivo, o uso de remineralizadores busca efeitos a médio e longo prazo, promovendo maior sustentabilidade econômica e ambiental (ESCOSTEGUY; Klamt, 1998; BENEDUZZI, 2011; MELAMED et al., 2013). Estudos demonstram que a aplicação de pó de basalto e outros remineralizadores melhora a fertilidade química do solo, aumentando fósforo, potássio, cálcio e magnésio, reduzindo alumínio trocável e corrigindo a acidez (LOPES et al., 2014; ALOVISI et al., 2020).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do pó de rocha olivina melilitito na disponibilização de nutrientes em solos manejados sob SPDH, bem como seus efeitos na produtividade de brócolis e couve-flor.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma propriedade de agricultura familiar produtora de hortaliças, localizada no município de Angelina, região da Grande Florianópolis, Santa Catarina ( $27^{\circ}36'05,8''S$ ;  $49^{\circ}04'15,7''W$ ; 450 m de altitude). O clima da região é classificado como Cfa (quente e temperado), segundo Köppen (ALVARES et al., 2013), apresentando temperatura média anual de  $17,9\ ^{\circ}C$  e pluviosidade média de  $1.642\ mm\ ano^{-1}$ .

O solo da área foi classificado como Cambissolo Húmico (SANTOS et al., 2013) e apresentava, antes da implantação do experimento, as seguintes características físico-químicas na camada de 0–10 cm:  $35\ g\ kg^{-1}$  de argila; pH em água 5,8; índice SMP 6,2; teores de fósforo e potássio de 50,3 e  $276\ mg\ kg^{-1}$ , respectivamente (extraídos pelo método Mehlich 1);  $51\ g\ kg^{-1}$  de matéria orgânica; teores trocáveis de  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  de 0,7,48 e  $3,09\ cmolc\ dm^{-3}$ , respectivamente (extraídos com KCl 1,0 mol L $^{-1}$ ); capacidade de troca de cátions potencial (CTCpH7,0) de  $11,28\ cmolc\ dm^{-3}$ ; e saturação por bases (V%) de 76% (TEDESCO et al., 1995).

Antes da implantação do experimento, a área apresentava um histórico de nove anos de produção de hortaliças sob o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), com aplicação de adubação química (NPK). O experimento foi iniciado em outubro de 2019 e conduzido inteiramente sob SPDH. No primeiro ciclo, realizou-se o plantio de brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*), em sucessão com plantas de cobertura consorciadas de mucuna (*Stizolobium aterrimum*) e milheto (*Pennisetum americanum*). Após a colheita do brócolis, as plantas de cobertura foram incorporadas ao solo por meio de um rolo-faca acoplado a micro-trator.

O segundo ciclo de brócolis foi implantado em maio de 2020. As mudas foram produzidas em bandejas de isopor com 128 células, 30 dias antes do plantio, nos meses de setembro de 2019 e abril de 2020, respectivamente. Após a colheita deste ciclo, a mucuna foi semeada para atuar como planta de cobertura. No terceiro ciclo, a couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) foi transplantada em outubro de 2020, a partir de mudas semeadas em setembro do mesmo ano. Todas as mudas foram adquiridas em agropecuária local e transplantadas manualmente no local do experimento.

O plantio de brócolis foi realizado com espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, resultando em densidade de 27.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Para a couve-flor, utilizou-se espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,6 m entre plantas, com densidade de 25.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em parcelas de 4,0 × 4,0 m (16 m<sup>2</sup>). Os tratamentos avaliados foram: testemunha sem adubação (T1); 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T2); 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T3); 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T4); e adubação mineral com NPK (T5).

O pó de rocha utilizado foi olivina melilitito, rico em cálcio, magnésio e micronutrientes, além de apresentar teores significativos de fósforo e potássio (Tabela 1). A rocha contém minerais facilmente intemperizáveis, como melilitas, clinopiroxênios, olivinas e flogopitas, capazes de disponibilizar quantidades relevantes de nutrientes ao solo. As doses aplicadas nos tratamentos T2, T3 e T4 foram definidas com base em Heberle (2018), que utilizou a mesma faixa de aplicação em experimentos com soja e sorgo.

Para todos os tratamentos com pó de rocha, foi aplicada ureia (45% N) na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>, visando suprir a demanda nitrogenada das plantas, uma vez que o pó de rocha não contém N em sua composição. No tratamento com NPK, foram aplicadas doses de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de Superfosfato Triplo e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de Cloreto de Potássio, seguindo as recomendações da CQFS-RS/SC (2016).

Rocha	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	BaO
%											
OLM	14,8	17,4	35,7	8,22	10,5	3,29	1,83	0,19	1,18	2,26	0,25

Tabela 1 – Elementos presentes na composição da rocha olivina melilitito (OLM)

As aplicações dos tratamentos foram realizadas na superfície do solo, no momento do plantio de cada espécie de hortaliça, sem incorporação. As adubações em cobertura com ureia, em todos os tratamentos exceto na testemunha, bem como a aplicação de cloreto de potássio e superfosfato triplo no tratamento NPK, foram realizadas conforme as recomendações do *Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina* (CQFS-RS/SC, 2016).

Em todos os ciclos, foram coletadas, em cada parcela, plantas com botão floral visível, avaliando-se o peso da matéria fresca e da matéria seca para determinação da produtividade. As cabeças foram separadas e as folhas removidas para análise de macronutrientes. As partes vegetativas foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa a 65 °C no Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais do NEPEA (Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia), Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Após a secagem, cabeças e folhas foram pesadas separadamente em balança semianalítica de quatro casas decimais. A biomassa seca das folhas foi triturada em moinho de tecidos.

Os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) foram determinados por digestão sulfúrica, conforme Tedesco et al. (1995). O nitrogênio foi quantificado após destilação em microdestilador Kjeldahl e titulação do destilado com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 mol L<sup>-1</sup>; o fósforo, por colorimetria segundo Murphy & Riley (1962); o potássio, por fotometria de chama; e o cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica (incluir marca e modelo do aparelho).

Amostras de solo foram coletadas de todas as parcelas nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm, utilizando trado holandês. Após a coleta, foram armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas ao mesmo laboratório do NEPEA, onde foram secas, moídas e peneiradas em malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Na TFSA, foram determinados pH em água (1:1), índice SMP, teores trocáveis de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> (extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) e teores disponíveis de P e K (extraídos por Mehlich 1), conforme Tedesco et al. (1995). Com esses resultados, foram calculados H+Al, capacidade de troca de cátions potencial (CTCpH7,0), saturação por bases e saturação por Al, seguindo as equações da CQFS-RS/SC (2016).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os valores de pH em H<sub>2</sub>O, observaram-se diferenças significativas entre os tratamentos no primeiro e no terceiro ciclo de cultivo. No primeiro ciclo, o pH variou de 5,59 a 6,01, sendo o tratamento testemunha (T1) o que apresentou o maior

valor na camada de 0–10 cm (Tabela 2). No segundo ciclo, os valores situaram-se entre 5,69 e 5,89, com os tratamentos T1 e T3 apresentando os maiores valores, 5,89 e 5,84, respectivamente (Tabela 3), porém sem diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos na camada de 0–10 cm. Já no terceiro ciclo, houve aumento geral dos valores de pH, variando de 5,90 a 6,32, com os tratamentos T3 e T4 apresentando os maiores valores (Tabela 4), evidenciando um efeito residual do pó de rocha sobre a elevação do pH do solo.

O aumento do pH pode estar relacionado à ação dos exsudatos radiculares, que estimulam a atividade biológica do solo e potencializam a solubilização dos minerais presentes no pó de rocha. Segundo Lopes-Assad et al. (2006), a elevação do pH ocorre em associação à liberação de bases contidas nos minerais, neutralizando o efeito acidificante de processos fúngicos e microbianos. Gillman et al. (2001) demonstraram que pós de rocha com estruturas básicas ou alcalinas promovem aumento do pH do solo, especialmente quando aplicados em altas doses em solos de baixa fertilidade.

Embora a rocha utilizada apresente teores consideráveis de CaO e MgO, a contribuição significativa para a elevação do pH foi observada apenas no terceiro ciclo, nos tratamentos com doses intermediária e elevada (T3 e T4), evidenciando que os efeitos do pó de rocha sobre a acidez do solo são graduais e se tornam mais perceptíveis a médio prazo.

Para os teores trocáveis de Ca no solo, foram observados efeitos significativos na camada de 10–20 cm durante o primeiro ciclo (Tabela 2) e em ambas as camadas (0–10 e 10–20 cm) no terceiro ciclo (Tabela 4). Nos ciclos inicial e intermediário, não houve diferenças significativas na camada de 0–10 cm. De maneira geral, o aumento do teor de Ca em relação à concentração inicial do solo foi modesto, possivelmente relacionado ao tamanho, composição e taxa de solubilização das partículas minerais do pó de rocha.

No primeiro ciclo, os teores de Ca variaram de 3,66 a 5,18 cmolc dm<sup>-3</sup>, com os tratamentos T2 e T3 apresentando os maiores valores (4,60 e 8,10 cmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente), diferindo dos demais tratamentos (Tabela 2). No terceiro ciclo, na camada de 0–10 cm, os valores variaram entre 7,14 e 8,88 cmolc dm<sup>-3</sup>, sendo os tratamentos T3, T4 e T5 os que apresentaram os maiores teores. Na camada de 10–20 cm, o tratamento T1 se diferenciou dos demais. Esses resultados indicam que o pó de rocha olivina melilitito contribui para a liberação residual de Ca no solo, favorecendo a disponibilização gradual de bases em um período relativamente curto de condução do experimento, condizente com os teores de Ca presentes na rocha. Segundo Levi (1971), o Ca é um dos elementos mais facilmente liberados da estrutura cristalina do pó de rocha, e Hipólito (1972) observou, em pesquisa com

basalto, que o Ca contido em vesículas de carbonatos e feldspatos calcosódicos apresenta maior solubilidade devido à sua facilidade de intemperização.

Quanto aos teores de Mg na camada de 0–10 cm, observou-se diferença significativa apenas no segundo ciclo, variando de 0,11 a 0,18 cmolc dm<sup>-3</sup>, com os tratamentos T1, T2 e T3 apresentando os maiores valores (Tabela 3). Na camada de 10–20 cm, as diferenças foram observadas apenas no primeiro ciclo, com valores entre 0,06 e 0,20 cmolc dm<sup>-3</sup>, sendo T5 o de menor teor e significativamente diferente dos demais (Tabela 2).

Estudos anteriores corroboram esses achados. Nichele (2006) avaliou o efeito da aplicação de pó de basalto em doses crescentes, até 10 Mg ha<sup>-1</sup>, e não observou diferenças significativas nos teores de Mg entre tratamentos, embora tenha registrado aumento do teor com a elevação da dose. Motta et al. (1992) observaram que a liberação de Mg pelo pó de basalto é relativamente baixa, mesmo com doses de 0 a 50 t ha<sup>-1</sup>. Melo et al. (2009) destacam que, durante o intemperismo de certos minerais, a disponibilidade de cátions como K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> pode diminuir devido à neoformação de minerais, à fixação em óxidos de Fe e Al ou à incorporação em minerais do tipo 2:1.

Tratamentos	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	H+Al	Al	Ca	Mg	T <sup>(1)</sup>	V <sup>(2)</sup>	K	P
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				T <sup>(1)</sup>	--%--	-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
<b>0-10 cm</b>									
T1	6,01 a <sup>3</sup>	3,68 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	7,95 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	11,98 <sup>ns</sup>	69,39 <sup>ns</sup>	147,5 <sup>ns</sup>	25,23 <sup>ns</sup>
T2	5,66 b	3,97	0,18	8,31	0,3	12,65	68,51	170,0	13,78
T3	5,69 b	4,19	0,08	8,08	0,25	12,55	66,73	160,0	21,31
T4	5,67 b	4,66	0,13	8,44	0,21	13,35	65,90	142,5	5,99
T5	5,59 b	4,08	0,13	8,13	0,26	12,52	67,17	207,5	25,83
CV(%)	2,64	26,20	94,59	11,34	8,90	8,33	9,84	36,19	59,49
<b>10-20 cm</b>									
T1	5,13 <sup>ns</sup>	6,18 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	4,00 b	0,16 a	10,36 <sup>ns</sup>	40,26 <sup>ns</sup>	80,0 <sup>ns</sup>	0,65 c
T2	4,89	6,27	0,70	4,60 a	0,14 a	11,02	43,24	92,5	4,58 c
T3	5,08	5,68	0,50	5,18 a	0,20 a	11,07	48,76	82,5	10,01 b
T4	4,83	6,70	0,93	4,05 b	0,15 a	10,91	38,39	70,0	2,98 c
T5	4,94	6,04	0,80	3,66 b	0,06 b	9,78	38,66	100,0	15,11 a
CV(%)	3,89	13,73	49,90	15,70	6,94	8,02	14,50	37,39	47,81

<sup>(1)</sup> CTC a pH 7; <sup>(2)</sup> Saturação por bases. CV = Coeficiente de variação; ns = tratamentos não apresentaram diferenças significativas pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Testemunha sem adubação (T1); 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T2); 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T3); 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T4); adubação mineral com NPK (T5)

Tabela 2 – Atributos químicos do solo após 1º cultivo de brócolis sob SPDH.

Os teores de fósforo (P) foram significativamente influenciados no terceiro ciclo, embora não tenham ultrapassado os valores observados antes da implantação do experimento. Diferenças entre os tratamentos foram verificadas na camada de 0–10 cm durante o segundo e terceiro ciclos, sendo os maiores valores registrados no segundo ciclo nos tratamentos T4 e T5, com 18,85 e 19,03 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No terceiro ciclo, os teores de P variaram entre 27,67 e 42,91 mg dm<sup>-3</sup>, com os tratamentos T1, T4 e T5 apresentando os maiores valores: 36,77, 42,91 e 41,68 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Na camada de 10–20 cm, diferenças entre os tratamentos foram observadas apenas no primeiro ciclo, com o tratamento T5 apresentando o maior teor de P (15,11 mg kg<sup>-1</sup>). A maior disponibilidade de fósforo no tratamento T4 pode estar relacionada à presença de silício (Si) na olivina melilitito, pois esse elemento desloca o P dos sítios de adsorção na argila e nos sesquióxidos, reduzindo sua retenção e aumentando a disponibilidade no solo (Grassi Filho, 2003).

Resultados semelhantes foram reportados por Silva (2007), que avaliou a aplicação de pó de basalto em Nitossolo Bruno de textura muito argilosa e também observou aumento nos teores de P, evidenciando o potencial dos pós de rocha em promover maior disponibilidade de fósforo em solos de alta capacidade de adsorção.

Tratamentos	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	H+Al	Al	Ca	Mg	T <sup>(1)</sup>	V <sup>(2)</sup>	K	P
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				%	-----mg kg <sup>-1</sup> -----		
0-10 cm									
T1	5,89 a <sup>3</sup>	3,79 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	6,90 <sup>ns</sup>	0,15 a	10,88 <sup>ns</sup>	65,38 <sup>ns</sup>	152,5 <sup>ns</sup>	2,80 b
T2	5,69 b	3,74	0,05	7,40	0,18 a	11,35	67,02	115,0	2,93 b
T3	5,84 a	2,94	0,03	7,95	0,17 a	10,09	73,56	150,0	8,54 b
T4	5,66 b	3,56	0,08	7,09	0,11 b	10,81	67,08	192,5	18,85 a
T5	5,67 b	3,63	0,00	7,33	0,11 b	11,13a	67,55	277,5	19,03 a
CV(%)	2,30	17,85	151,38	7,37	8,84	5,59	7,18	33,65	71,64
10-20 cm									
T1	4,75 <sup>ns</sup>	6,71 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	5,70 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	12,61 <sup>ns</sup>	46,82 <sup>ns</sup>	90,0 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>
T2	4,60	8,64	1,45	5,39	0,24	14,28	40,48	77,5	2,29
T3	4,71	7,09	1,10	6,03	0,26	13,39	46,99	65,0	1,04
T4	4,64	7,40	1,33	4,75	0,15	12,33	40,54	92,5	1,73
T5	4,53	8,45	1,58	5,16	0,22	13,86	39,35	102,5	4,33
CV(%)	4,04	22,40	46,33	1,81	8,14	12,46	14,17	36,14	153,50

<sup>(1)</sup> CTC a pH 7; <sup>(2)</sup> Saturação por bases. CV = Coeficiente de variação; ns = tratamentos não apresentaram diferenças significativas pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Testemunha sem adubação (T1); 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T2); 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T3); 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T4); adubação mineral com NPK (T5)

Tabela 3– Atributos químicos do solo após 2º cultivo de brócolis sob SPDH.

Os teores disponíveis de K no solo apresentaram redução após o início do experimento em comparação com a concentração inicial. Essa diminuição no Cambissolo pode ser atribuída à maior capacidade de tamponamento desse solo, que gera aumento nas cargas negativas (Caires et al., 2008; Castro e Crusciol, 2013), promovendo a migração do K<sup>+</sup> da solução para essas cargas (Ernani et al., 2007) e resultando em uma liberação mais lenta do nutriente.

Não foram observadas alterações significativas nos teores de K<sup>+</sup> extraível nos tratamentos com doses crescentes de pó de rocha, provavelmente devido ao baixo teor de K<sub>2</sub>O presente na olivina melilitito (Tabela 1). Nos dois primeiros ciclos, não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de K nas camadas de 0–10 e 10–20 cm (Tabelas 2 e 3). No terceiro ciclo (Tabela 4), diferenças significativas foram observadas apenas na camada de 0–10 cm, com valores variando de 150,0 a 262,5 mg kg<sup>-1</sup>, sendo o tratamento T4 aquele que apresentou o maior teor.

Estudos anteriores corroboram esses achados. Barbosa Filho et al. (2006) relataram que a olivina melilitito libera maiores teores de K em comparação a outras fontes naturais. Por outro lado, Resende et al. (2006), ao aplicarem doses crescentes de pó de rocha, não observaram efeito significativo sobre a liberação inicial e a disponibilidade de K<sup>+</sup>.

Tratamentos	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	H+Al	Al	Ca	Mg	T <sup>(1)</sup>	V <sup>(2)</sup>	K	P
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	mg kg <sup>-1</sup>		
0-10 cm									
T1	6,10 b	2,58 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	7,14 b	0,53 <sup>ns</sup>	10,28 <sup>ns</sup>	74,95 <sup>ns</sup>	170,0 b	36,77 a
T2	5,90 b	3,07	0,03	8,14 b	0,50	11,76	73,85	150,0 b	27,67 b
T3	6,18 a	2,45	0,00	8,36 a	0,44	11,28	78,37	157,5 b	30,18 b
T4	6,32 a	2,30	0,00	8,88 a	0,31	11,55	80,14	262,5 a	42,91 a
T5	6,00 b	2,97	0,08	8,10 a	0,44	11,55	74,74	180,0 b	41,68 a
CV(%)	2,26	22,56	154,92	8,02	1,81	8,71	5,22	17,61	20,51
10-20 cm									
T1	5,27 <sup>ns</sup>	5,30 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	5,76 a	0,24 <sup>ns</sup>	11,33 <sup>ns</sup>	54,04 <sup>ns</sup>	120,0 <sup>ns</sup>	12,45 <sup>ns</sup>
T2	5,22	5,28	0,18	5,17 b	0,24	10,72	50,81	145,0	5,81
T3	5,31	5,50	0,20	5,03 b	0,15	10,71	46,67	127,5	6,55
T4	5,19	6,55	0,35	4,76 b	0,25	11,59	44,71	135,0	11,29
T5	5,20	5,53	0,38	4,73 b	0,17	10,45	47,82	152,5	10,03
CV(%)	3,89	27,29	109,64	8,90	5,98	12,17	15,66	21,44	88,30

<sup>(1)</sup> CTC a pH 7; <sup>(2)</sup> Saturação por bases. CV = Coeficiente de variação; ns = tratamentos não apresentaram diferenças significativas pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Testemunha sem adubação (T1); 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T2); 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T3); 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T4); adubação mineral com NPK (T5)

Tabela 4 – Atributos químicos do solo após 3º o cultivo de couve-flor sob SPDH.

Não foram observadas diferenças significativas nos teores de Al entre os tratamentos nos três ciclos. Com o aumento do pH do solo, a atividade do Al em solução diminui, formando precipitados de  $\text{Al(OH)}_3$ , o que reduz seu efeito sobre as plantas (Cristancho et al., 2014; Rutkowska et al., 2015). Os valores de Al encontrados foram baixos e não apresentam efeito fitotóxico.

Quanto à acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ), não houve diferenças estatísticas ao longo do experimento, embora tenha sido registrada uma diminuição gradual nos cultivos, indicando efeito da dissolução ácida e ação residual do pó de rocha na redução da acidez do solo. A capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC pH 7) também não apresentou variação significativa, provavelmente porque o aumento do Ca foi estequiométricamente compensado pela redução do  $\text{H}+\text{Al}$ .

A saturação por bases (V%) média permaneceu acima de 50% nos três ciclos e superior ao valor inicial do solo (76%), com o tratamento T4 atingindo 80,14% no terceiro ciclo. Isso sugere uma contribuição residual do pó de rocha na liberação gradual de nutrientes ao longo do tempo.

Em relação à produtividade, não houve diferenças significativas entre os tratamentos nos três ciclos (Figura 1). A área do experimento possui histórico de nove anos sob SPDH, um sistema consolidado e com boas condições para cultivo. No entanto, devido à natureza gradual da liberação de nutrientes pelo pó de rocha, sua aplicação única no plantio não forneceu os elementos na disponibilidade necessária para maximizar o crescimento e a produtividade das plantas.

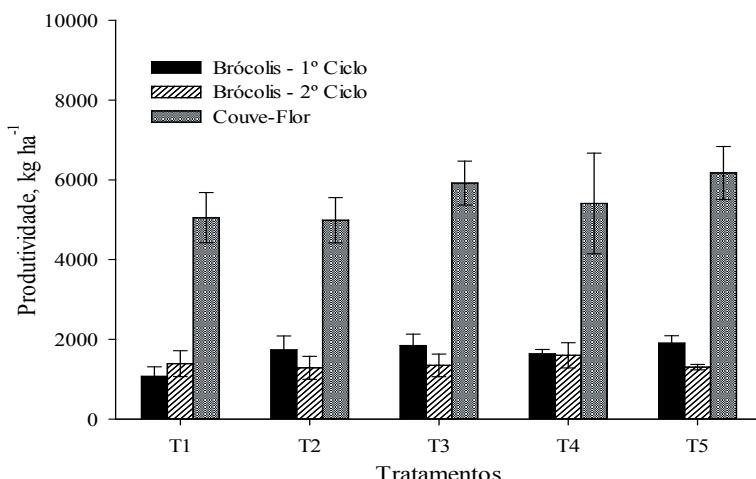


Figura 1- Valores de produtividade de brócolis e couve-flor com diferentes fontes de adubação sob SPDH. Testemunha sem adubação (T1); 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T2); 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T3); 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha (T4); adubação mineral com NPK (T5)

## CONCLUSÃO

A aplicação do pó de rocha não apresentou efeito significativo sobre a produtividade de brócolis e couve-flor nas doses avaliadas. No entanto, observou-se que o pó de rocha contribuiu para melhorias nos atributos químicos do solo, como pH, Ca e P, especialmente a partir do terceiro ciclo, indicando que seus efeitos são mais evidentes a longo prazo.

A estratégia de aplicar o pó de rocha no momento da semeadura das plantas de cobertura surge como uma alternativa promissora para potencializar tanto os efeitos sobre os atributos químicos do solo quanto sobre a produtividade das culturas, permitindo uma liberação mais gradual e sincronizada dos nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura. Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. *Rg&Sa: Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 9, n. 1, p. 918–932, maio 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BENEDUZZI, Ellen Bassan. Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação dos solos. 2011. 90 f. TCC (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BREMER, J. M. Total Nitrogen. In: BLACK, C. A. et al. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy Series nº 9*. Madison: ASA, 1965. p. 1149–1178.
- CAIRES, E. F.; PEREIRA FILHO, P. R. S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I. C. Soil acidity and aluminum toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. *Soil Use and Management*, v. 24, n. 3, p. 302–309, 2008.
- CARVALHO, A. M. X. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. 2012. 116 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. *Geoderma*, v. 195–196, p. 234–242, 2013.
- CRISTANCHO, J. A.; HANAFI, M. M.; SYED OMAR, S. R.; RAFII, M. Y. Alleviation of soil acidity improves the performance of oil palm progenies planted on an acid Ultisol. *Acta Agriculturæ Scandinavica Section B- Soil and Plant Science*, v. 61, n. 6, p. 487–498, 2011.

DALL'AGNOL, Amélio. Fertilizantes: o risco da excessiva dependência. 2020. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/embrapa/2020/06/01/fertilizantes-o-risco-da-excessiva-dependencia/>. Acesso em: 20 set. 2021.

DALCIN, Gustavo. Efeitos da aplicação do pó de rocha em Argissolo sobre o crescimento de alface. In: XVIII Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão, 18., 2018, Caxias do Sul. Artigo. Caxias do Sul: UCS, 2018. p. 1–9.

DETTIMER, Carlos Alberto. Agricultura e inovação: estudo sobre a viabilidade de uso do “pó de rocha” em sistemas de produção agrícola. In: III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação, 3., 2019, Naviraí. Artigo. Naviraí: Embrapa, 2019. p. 1–9.

DUARTE, Willian Marques. Potencial de olivina melilitito, granito e sienito na disponibilização de potássio em solos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 12, n. 1, p. 68–77, abr. 2013.

EPAGRI. Infoagro: Produção Vegetal. 2019. Disponível em: <https://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-vegetal>. Acesso em: 26 ago. 2021.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. Potássio. In: *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 1.017.

ESCOSTESGUY, P.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutriente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 1–20, 1998.

FAYAD, Jamil Abdalla; ARL, Valdemar; COMIN, Jucinei José; MAFRA, Álvaro Luiz; MARCHESI, Darlan Rodrigo. *Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: método de transição para um novo modo de produção*. 2. ed. Florianópolis: Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (Demc) – Epagri, 2019. 428 p.

GILLMAN, G. P.; BUEKKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects on soil cation chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, v. 39, p. 799–811, 2001.

GRASSI FILHO, H. Elementos úteis ou benéficos. *Revista Agroecologia Hoje*, Botucatu, n. 20, p. 20–21, ago./set. 2003.

HEBERLE, Daniel Alexandre. Ensaio de eficiência agronômica da rocha olivina melilitito como remineralizador de solos para uso na agricultura. 2018. 63 f. Curso de Pós-Doutorado, Departamento de Solos e Recursos Naturais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.

HYPOLITO, R.; VALARELLI, J. V. Ordem de remoção de elementos lixiviados em experiências de alteração. *Boletim IG. Instituto de Geociências*, São Paulo, v. 4, p. 47–51, 1973.

JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. Analytical methods for use in plant analysis. *Bulletin*, 766. Calif. Agr. Expt. Sta., 1959. p. 25–78.

KEUSKAMP, D. H.; KIMBER, R.; BINDRABAN, P.; DIMKPA, C.; SCHENKEVELD, W. D. C. Plant exudates for nutrient uptake. *VFRC Report*, v. 4, 2015.

LOPES, O. M. M.; CARRILHO, E. N. V. M.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 5, p. 1547–1557, 2014.

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. *Esp. Geogr.*, v. 9, p. 1–17, 2006.

MARQUELLI, W. A.; ABDALLA, R. P.; MADEIRA, N. R.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA, R. F. Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, p. 369–375, 2010.

MARTINS, É. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, Á. V.; MATOS, M. S. F. Agrominerais – Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura, 2008. Disponível em:. Acesso em: 13 maio 2019.

MELFI, A. J.; LEVI, F. Geochemical and mineralogical study on the first stages of weathering of basic and related rocks. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 22–28, 1971.

MELO, V. F.; UCHOA, C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. *Acta Amazônica*, v. 42, p. 471–476, 2012.

MELLO, J. W. V.; PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.), *Química e mineralogia dos solos*, p. 151–249. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. *Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 385–395. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/series/serie-estudos-e-documentos/item/259-po-de-rocha-comofertilizante-alternativo-para-sistemas-de-producao-sustentaveis-em-solos-tropicais>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MÜLLER JÚNIOR, Vilmar. Sistema de plantio direto agroecológico de cebola e emissão de gases de efeito estufa. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

NICHELE, E. R. Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e mitigação de odores em criações animais confinadas. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC, 2006. 86 p.

PERIN, A.; TEIXEIRA, M. G.; GUERRA, J. G. M. Avaliação inicial de algumas leguminosas herbáceas perenes para utilização como cobertura viva permanente de solo. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 6 p. (Comunicado Técnico, 28).

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. M.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T.; KINPARA, D. I.; FILHO, E. C. O. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira. *Espaço e Geografia*, v. 9, n. 1, p. 19–42, 2006.

RIBEIRO, L. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 891–897, 2010.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 355–362, 2003.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SILVA, A. Efeito da aplicação de pó de basalto nas propriedades químicas do solo, na nutrição e produtividade do feijoeiro e na absorção de nutrientes por *Eucalyptus benthamii*. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC, Lages, 2007. 69 p.

VAN STRAATEN, P. *Rocks for crops: Agro minerals of sub-Saharan Africa*. Nairobi: ICRAF, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).