

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC CENTRO  
DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS– CAV PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO- PPGCS**

**RODOLFO DANIEL VIEIRA DA ASSUNÇÃO**

**DESEMPENHO DE REMINERALIZADORES INOCULADOS COM  
MICRORGANISMOS COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA MORANGUEIRO**

**Lages, SC  
2022**

**RODOLFO DANIEL VIEIRA DA ASSUNÇÃO****DESEMPENHO DE REMINERALIZADORES INOCULADOS COM  
MICRORGANISMOS COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA MORANGUEIRO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Paulo Cezar Cassol

**Lages, SC  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Assunção, Rodolfo Daniel Vieira da  
Desempenho de remineralizadores inoculados com  
microrganismos como fonte de nutrientes para morangueiro /  
Rodolfo Daniel Vieira da Assunção. -- 2022.  
66 p.

Orientador: Paulo Cezar Cassol  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

1. Remineralizadores. 2. Adubação potássica. 3. Morangueiro.  
4. Rizobactérias. I. Cassol, Paulo Cezar. II. Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa  
de Pós-Graduação em Ciência do Solo. III. Título.

**RODOLFO DANIEL VIEIRA DA ASSUNÇÃO****DESEMPENHO DE REMINERALIZADORES INOCULADOS COM  
MICRORGANISMOS COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA MORANGUEIRO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

**Banca Examinadora:****Orientador:** \_\_\_\_\_

Dr. Paulo Cezar Cassol

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

**Membro interno:** \_\_\_\_\_

Dr. Álvaro Luiz Mafra

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

**Membro externo:** \_\_\_\_\_

Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

**Lages, SC****28 de Novembro de 2022**

Ao meu amado pai José Maria Seabra da Assunção Júnior (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Selma Vieira e José Júnior (*in memoriam*) por todo o esforço, sacrifício e ensinamentos.

À minha esposa Silvia Maiara por todo o apoio, dedicação, paciência e amor. Por sempre estar disposta a me ajudar, por aceitar vir comigo para longe da nossa cidade para continuarmos escrevendo a nossa história.

Ao meu orientador Paulo Cassol por toda atenção, motivação e conhecimento.

À minha família, aos meus irmãos Renato, Rafaela e Roxane pelos momentos de felicidade. Aos meus tios José e Edi que sempre acreditaram em mim, aos meus tios Antônio Lima e Edith e aos meus primos Paulo e Antônio Jr que me receberam em SC.

Ao Prof. Álvaro Luiz Mafra, que respondeu minhas dúvidas e de certa forma me auxiliou para ingressar no Mestrado.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) que proporcionou o ambiente de estudos com grandes profissionais.

Aos meus amigos do CAV pela parceria e amizade Sabrina, Rosalha, Abelino, André.

Aos meus amigos da UFRA, Ricardo Falesi, Alciney, Wenderson pelas trocas de ideias, parceria e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução do Mestrado.

## RESUMO

A produção de morangos tem aumentado devido aos hábitos alimentares saudáveis, no entanto, a maioria da produção é feita com cultivos convencionais, que usam insumos químicos e fertilizantes caros. Isso não apenas causa dependência de outros países fornecedores, mas também resulta em impactos ambientais negativos. Diante disso, é importante avaliar insumos alternativos, como fertilizantes naturais e agentes de crescimento para a produção de morangos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é verificar o desempenho de remineralizadores, como fonte de nutrientes e, da inoculação com as rizobactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* no aumento da solubilização desses materiais e na produção e qualidade pós-colheita de morango. Foram avaliados os remineralizadores (Fonolito e Olivina Melilitito) e um inoculante comercial (BiomaPhos®). O experimento foi conduzido em condição de casa de vegetação, com um delineamento em esquema fatorial (3x3x2), que incluiu três fontes (KCl, Fonolito e Olivina Melilitito), três doses (150, 300 e 600 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e a presença ou ausência do inoculante. O experimento foi realizado com 4 repetições, totalizando 72 unidades experimentais, cada uma composta por um vaso contendo 3 kg de um Nitossolo e cultivada com uma planta de morangueiro por oito meses. No solo, foram determinados os teores de potássio - K<sup>+</sup> (em acetato de amônio a pH 7 e Mehlich-1), os teores de cálcio (Ca<sup>+2</sup>) e magnésio (Mg<sup>+2</sup>) trocáveis, fósforo - P e o pH (em água e em CaCl<sub>2</sub> 0,01M). Como parâmetros produtivos, foram medidas as massas secas das plantas e frutos produzidos, e os teores foliares e valores acumulados de K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> nas plantas. Nos frutos, foram determinados os teores de K<sup>+</sup> e de parâmetros de pós-colheita, como sólidos solúveis (SS) - °Brix, acidez titulável (AT) e a relação (SS/AT). Os dados foram submetidos à análise de variância, análise de regressão e teste de comparação entre médias. Os tratamentos com remineralizadores e inoculação com as rizobactérias aumentaram o teores de nutrientes no solo e na planta de morangueiro, destacando a olivina melilito nas doses 300 e 600 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> que foi superior aos tratamentos comparados com fonolito, mesmo quando inoculado com as rizobactérias. Além disso, não houve diferenças quanto à produtividade e qualidade de fruto em todos os tratamentos, portanto, o remineralizador olivina melilitito pode ser uma fonte viável de potássio para a cultura e quando associado com *B. subtilis* e *B. megaterium* aumenta a disponibilidade deste nutriente no solo e na planta e podem reduzir a dependência de fertilizantes importados e, consequentemente, aumentar a produção agrícola.

**Palavras-Chave:** Remineralizadores, Adubação potássica, Morangueiro, Rizobactérias.

## ABSTRACT

Strawberry production has increased due to healthy eating habits, however, most production is done with conventional crops, which use chemical inputs and expensive fertilizers. This not only causes dependence on other supplying countries, but also results in negative environmental impacts. In view of this, it is important to evaluate alternative inputs, such as natural fertilizers and growth agents for strawberry production. In this context, the objective of this work is to verify the performance of remineralizers, as a source of nutrients, and of inoculation with the rhizobacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium* in increasing the solubilization of these materials and in the production and post-harvest quality of strawberries. The remineralizers (Fonolito and Olivina Mellitito) and a commercial inoculant (BiomaPhos®) were evaluated. The experiment was conducted under greenhouse conditions, with a factorial design (3x3x2), which included three sources (KCl, Phonolite and Olivine Mellilitite), three doses (150, 300 and 600 kg of K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) and the presence or absence of the inoculant. The experiment was carried out with 4 replications, totaling 72 experimental units, each consisting of a vase containing 3 kg of Nitrosol and cultivated with a strawberry plant for eight months. In the soil, the contents of potassium - K<sup>+</sup> (in ammonium acetate at pH 7 and Mehlich-1), exchangeable calcium (Ca<sup>+2</sup>) and magnesium (Mg<sup>+2</sup>), phosphorus - P and pH (in water and in 0.01M CaCl<sub>2</sub>). As productive parameters, the dry mass of the plants and fruits produced, and the leaf contents and accumulated values of K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>+2</sup> and Mg<sup>+2</sup> in the plants were measured. In the fruits, K<sup>+</sup> levels and postharvest parameters, such as soluble solids (SS - °Brix), titratable acidity (TA) and the ratio (SS/TA) were determined. Data were submitted to analysis of variance, regression analysis and mean comparison test. Treatments with remineralizers and inoculation with rhizobacteria increased the nutrient content in the soil and in the strawberry plant, highlighting olivine melilitite at doses 300 and 600 kg of K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, which was superior to treatments compared with phonolite, even when inoculated with rhizobacteria. In addition, there were no differences in productivity and fruit quality in all treatments, therefore, the olivine melilitite remineralizer can be a viable source of potassium for the crop and, when associated with *B. subtilis* and *B. megaterium*, increases the availability of this nutrient in the soil and in the plant and can reduce dependence on imported fertilizers and, consequently, increase agricultural production.

**Keywords:** Remineralizers, Potassium fertilization, Strawberry, Rhizobacteria.

## LISTA DE GRÁFICOS

**Gráfico 1-** Teores de K<sup>+</sup> trocável extraído pelos extratores Mehlich 1 (A) e acetato de amônio pH 7 (B) em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. 38

**Gráfico 2-** Teores de P extraído pelo extrator Mehlich 1 em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. 42

**Gráfico 3-** Teores de Ca<sup>2+</sup> trocável em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. 44

**Gráfico 4-** Teores de Mg<sup>2+</sup> trocável em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. 44

**Gráfico 5-** Teores de Al<sup>3+</sup> trocável em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. 45

**Gráfico 6-** Valores de pH em H<sub>2</sub>O (A) e CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol l-1 (B) em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. 46

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1-** Preparo do experimento

- (A) Und. experimental (3 kg de solo seco)
- (B) Incorporação dos Remineralizadores
- (C) Preparo da cova para receber o inoculante e und. planta de morangueiro
- (D) Aplicação do Inoculante ( $1 \text{ mL vaso}^{-1}$ )
- (E) Pós-plantio.
- (F) Cultura estabelecida

**Figura 2-** Cultivo de morangueiro (cultivar Pircinque)

- (A) Início da produção
- (B) Fruto com 70% da coloração
- (C) Pesagem do fruto em gramas
- (D) Morango congelado
- (E) Determinação de qualidade do fruto (SS, AT e SS/AT)

## **LISTA DE QUADROS**

**Quadro 1** - Procedimentos analíticos utilizados nos remineralizadores FN e OM

**Quadro 2** - Composição química elementar das rochas-ALS (Peru)

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Caracterização da camada 0-20 cm do solo Nitossolo utilizado no experimento

**Tabela 2.** Ensaio experimental

**Tabela 3.** Percentagem da distribuição de partículas em faixas granulométricas dos remineralizadores Fonolito (FN) e olivina melilitito (OM) avaliados em laboratório.

**Tabela 4.** Valores dos elementos tóxicos real observado e limite permitido nos remineralizadores pela legislação brasileira – ALS.

**Tabela 5.** Análise de variância de regressão dos teores de  $K^+$ , P,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e pH do solo

**Tabela 6.** Análise de variância dos teores de  $K^+$  em Fruto e macro nutrientes na planta ( $K^+$ , P,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) de morangueiro

**Tabela 7.** Teores de  $K^+$  no fruto,  $K^+$ , P,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , na planta análise de massa seca total (MST) da planta sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito com e sem inoculante *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*

**Tabela 8.** Análise de variância dos teores de  $K^+$ , P,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  acumulados no morangueiro

**Tabela 9.** Teores de  $K^+$ , P,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  acumulados na planta sob o efeito dos remineralizadores Fonolito e Olivina Melilitito com e sem inoculante *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*

**Tabela 10.** Análise de variância dos parâmetros de qualidade e produção de morangueiro

**Tabela 11.** Parâmetros de qualidade e produção de morangueiro sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito com e sem inoculante *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2. HIPÓTESES</b>	<b>17</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
3.1 Objetivo Geral	17
3.2 Objetivos específicos	18
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
4.1 Contexto produtivo da cultura do morangueiro	18
4.2 Insumos alternativos para cultura do morango	19
4.3 Remineralizadores de solos como fonte de nutrientes	19
4.4 Microrganismos solubilizadores	21
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>23</b>
5.1 Instalação do Experimento	23
5.2 Obtenção dos Materiais estudados	24
5.2.1 Remineralizadores	24
5.2.2 Inoculante	24
5.2.3 Morangueiro (cultivar Pircinque)	24
5.3 Caracterização dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina Melilitito (OM)	24
5.3.1 Análises granulométricas dos remineralizadores de solo FN e OM	25
5.3.2 Análises químicas elementares dos remineralizadores FN e OM	25
5.4 Caracterização do inoculante Biomaphos®	26
5.4.1 Informações técnicas do inoculante	26
5.5 Processamento do solo e análises químicas de caracterização	26
5.6 Preparo do experimento	27
5.6.1 Delineamento experimental	27
5.6.2 Variedade utilizada para o cultivo de morangueiro (cultivar Pircinque)	29
5.6.3 Controle de pragas e doenças	30
5.6.4 Avaliação de produtividade utilizada	30
5.6.5 Análise de qualidade do fruto	30
5.6.6 Análise mineral do fruto (Potássio)	31
5.7 Coleta do experimento	31
5.7.1 Análise química do tecido vegetal (PA)	31
5.7.2 Análise dos atributos químicos do solo após o cultivo do morangueiro	32
5.8 Análise estatística	32
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>32</b>
6.1 Análises granulométricas dos remineralizadores de Solo FN e OM	32
6.1.1 Análises químicas elementares dos remineralizadores FN e OM	33
6.2 Atributos químicos do solo	35

6.2.1 Teores de K <sup>+</sup> , P, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> e pH do solo	35
6.2.2 Teores de potássio no solo	36
6.2.3 Teores de fósforo no solo	40
6.2.4 Teores de cálcio, magnésio e alumínio no solo	42
6.3 Atributos da planta do morangueiro	47
6.3.1 Análise dos teores de K no fruto, parte aérea (K <sup>+</sup> , P, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> ) e massa seca total (MST) da planta sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito com e sem inoculação de <i>Bacillus Subtilis</i> e <i>Bacillus Megaterium</i>	47
6.3.2 Teores de potássio no fruto	47
6.3.3 Teores de fósforo, cálcio, magnésio e MST	49
6.4 Teores de K <sup>+</sup> , P, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> acumulados na planta de morangueiro sob o efeito dos remineralizadores Fonolito e olivina melilitito com e sem inoculação de <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Bacillus megaterium</i>	50
6.5 Parâmetros de qualidade e produção de morango sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito com e sem inoculante <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Bacillus megaterium</i>	52
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>54</b>
Considerações finais	56
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, desenvolvendo agricultura de maneira intensiva. Visando a elevação da produção agrícola, são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes químicos, nos quais as fontes são sais solúveis, de rápida liberação no solo.

O cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte de potássica utilizada na agricultura brasileira, sendo um sal altamente solúvel em água (RESENDE et al., 2006; RAIJ, 2011). Devido aos altos teores na solução do solo e a rápida disponibilização de nutrientes, a eficiência pode ser comprometida, uma vez que apenas parte é absorvida pela planta e outra permanece no solo e acaba sendo perdida por lixiviação ou escoamento superficial (FIEDLER, 2020).

Além de levar em consideração as questões mencionadas anteriormente, é crucial avaliar como a fertilidade do solo está sendo gerenciada em áreas agrícolas, pois o uso excessivo de fertilizantes pode causar inibição na absorção de nutrientes catiônicos como cálcio e magnésio, resultando em problemas nutricionais nas plantas (CASTRO et al., 2020).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, e a produção de morango acompanha este desenvolvimento, principalmente em função da busca de hábitos alimentares mais saudáveis. A produção mundial de morangos de 2013 a 2017 aumentou em 17% (ANTUNES et al., 2020). E ainda para o cultivo de morango, há predominância do sistema convencional (FIEDLER et al. 2020).

Além disso, a maioria dos fertilizantes são importados, ocasionando o aumento do custo da produção e eleva e dificulta a ampliação de mercado do brasileiro, pois a demanda desses insumos são negociados por poucos países fornecedores, vale ressaltar que os gastos com insumos na agricultura, chegam a 40% dos custos de produção e os fertilizantes são responsáveis por uma parte disso (PNF, 2022).

Com isto, cresce a demanda por fertilizantes alternativos, buscando minimizar esses impactos trazidos pelo uso de fertilizantes convencionais que consigam fornecer os nutrientes necessários às plantas, de preferência fertilizantes nacionais, diminuindo a dependência externa e de forma sustentável (Embrapa, 2019).

Neste sentido, as rochas silicatadas usadas como remineralizadores são atrativas, pois possuem características desejáveis, como fertilizantes multiminerais e custos inferiores aos fertilizantes convencionais, além de terem um baixo impacto ambiental. Estas contêm minerais como a flogopita, biotita, feldspatóides e piroxênios (dependendo da rocha). No

entanto, esses minerais só podem liberar os nutrientes no solo quando são previamente moídos ou solubilizados por meio de ação ácida, atuação biológica ou tratamento térmico (KRUKER, 2019; DALMORA et al., 2020).

A utilização de rochas moídas ou rochagem para fertilizar solos já ocorre há muito tempo, através da calagem e fosfatagem. No entanto, devido ao aumento da demanda por insumos, outras formas foram desenvolvidas, como o pó de rocha e/ou remineralizadores de solos, desde que cumpram as regulamentações (RESENDE et al., 2006; PEREIRA et al., 2016).

Dessa forma, o uso de remineralizadores como fonte de nutrientes e para recuperação de solos degradados tem ganhado destaque. Esses materiais podem oferecer reservas de nutrientes a curto, médio e longo prazo, sendo isso determinado pela sua composição mineralógica e granulometria, além de outros fatores que afetam sua disponibilidade, como o tipo de rocha, quantidade e reatividade do mineral, além da ação do clima e dos microrganismos (DUARTE, 2013; KRUKER, 2019).

No entanto, o uso de remineralizadores tem solubilidade muito lenta, especialmente em condições de baixa intemperização (baixa precipitação e acidez), o que é um dos principais desafios em seu uso (MARTINS et al., 2010). Dessa forma, a utilização de remineralizadores associados com rizobactérias, postula como uma estratégia economicamente viável e aplicável para aumentar a solubilidade (ABOU-EL-SEOUD & ABDEL-MEGEED, 2012; ANJANADEVI et al., 2016; LODI, 2021).

Diversos microrganismos são conhecidos por solubilizar rochas potássicas devido à sua capacidade de produzir ácidos orgânicos, como o cítrico, oxálico e glucônico. Esses ácidos reduzem o pH local e liberam o íon  $K^+$ . Além disso, os ácidos orgânicos também podem formar quelatos com metais presentes na rocha, liberando assim o potássio (Sattar et al., 2019; LODI, 2021).

A busca por uma agricultura mais sustentável e visando maior economia neste setor, tem destacado o uso de microrganismos combinados com uso de remineralizadores como alternativa promissora. Esses auxiliam o desenvolvimento das plantas, podem proporcionar diversos benefícios aos plantios, como redução de uso de fertilizantes, estimular o crescimento vegetal, aumento da produtividade, dentre outras (OLIVEIRA et al., 2020). Todavia, é necessária a seleção desses microrganismos, principalmente os que conseguem solubilizar nutrientes contidos nas rochas e/ou nos remineralizadores.

Apesar da literatura descrever a solubilização de rochas potássicas por meio da produção de ácidos orgânicos, ainda há pouco conhecimento sobre o efeito individual de

cada ácido nesse processo. Os ácidos orgânicos possuem características químicas diferentes, como o número de grupos hidroxila e carboxila, tamanho da cadeia e constante de acidez, o que pode afetar seus efeitos na solubilização das rochas potássicas. Entender como esses ácidos afetam a cinética de solubilização do potássio e de outros componentes das rochas potássicas é fundamental para desenvolver novas estratégias para melhorar os processos de solubilização biológica dessas rocha

Embora haja estudos sobre o uso de remineralizadores de rochas silicatadas em sistemas de cultivo, ainda são poucas as pesquisas que comprovam a eficiência desses materiais no Brasil. Em particular, ainda há pouco conhecimento sobre como essas fontes interagem com rizobactérias solubilizadoras, a eficiência da liberação de nutrientes e o efeito da dosagem desses materiais nas plantas.

## 2. HIPÓTESES

O uso das bactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* aumenta a solubilização dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito.

O efeito solubilizador do *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* nos remineralizadores depende do tipo de pó de rocha, com isso a eficiência remineralizadora desse material contribui para a produtividade e qualidade da cultura do morangueiro.

## 3. OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo Geral

Objetivo deste trabalho foi verificar o desempenho de remineralizadores, como fonte de nutrientes e da inoculação com as rizobactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* no aumento da solubilização desses fertilizantes naturais e na produção e qualidade pós-colheita de morango.

### 3.2 Objetivos específicos

Avaliar a eficiência agronômica dos remineralizadores de solo fonolito e olivina melilitito na cultura do morangueiro.

Verificar se a adubação potássica com os remineralizadores associado com o inoculante aumenta a produção e melhora a qualidade pós-colheita de morango.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### 4.1 Contexto produtivo da cultura do morangueiro

O morango é um pseudofruto pequeno que se destaca pelas suas características atraentes e sabor agradável. É consumido *in natura*, mas também pode ser industrializado e processado. Com isto a produção mundial desta fruta está crescendo em números absolutos, em 2013 passaram de 7.879.108 t (toneladas) para 9.223.815 t em 2017, (crescimento de 17%). Em 2013 a área plantada foi de 369.569 ha (hectares) e em 2017 chegou a 395.44 ha, um aumento da área plantada de 7,1% (ANTUNES et al., 2020).

A América do Sul produziu 167.334 toneladas de morango em 7.725 hectares, vale ressaltar o ganho de produtividade em função da maior eficiência das plantas e dos sistemas inovadores de produção e adoção de novas tecnologias, assim elevando o rendimento e a qualidade da fruta produzida (ANTUNES et al., 2020; OLIVEIRA, et al. 2020).

De acordo com Antunes et al., (2020), há divergência acerca dos dados de produção e área plantada de morango no Brasil, pois segundo números FAO, o país não está entre os maiores produtores de morango, sua área plantada é de 400 ha, com produção anual de 3.390 toneladas, entretanto, segundo este autor tendo como base os dados coletados pela Embrapa, Incaper-ES, Emater (DF, MG, PR, RS), APTA e Epagri-SC, o Brasil cultiva 4.500 ha e produz cerca de 165.000 toneladas.

No estado de Santa Catarina com 225 ha plantados e produz média de 9.900 ton (20 ton/ha). A maioria desta produção é realizada por pequenos produtores como nos outros estados do Brasil, além disso, estima-se um crescimento na área cultivada como foi citado anteriormente, isto é resultado de desenvolvimento e adoção de novos sistemas de produção (ANTUNES et al., 2020; MOLINA et al., 2020).

### 4.2 Insumos alternativos para cultura do morango

Visando elevar a produção, considerando um cultivo mais sustentável, buscam-se alternativas economicamente viáveis, sobretudo quanto à fertilização do solo. Contudo, no sistema de produção de morango convencional, o qual é predominante, utilizam insumos químicos para fertilizar o solo e para os tratamentos preventivos e curativos da cultura contra doenças e pragas, que podem contaminar o solo e os recursos hídricos.

Por isso, a busca por insumos que reabasteça o solo é um desafio, com isto, os pós de rochas ou remineralizadores de solos, que consistem em (rochas silicatadas moídas), podem

ser uma opção à medida que contém macro e micronutrientes essenciais para as plantas. Além disso, a taxa de intemperismo é lenta e inconsistente, fazendo com que dificulte a sua utilização na agricultura, mas alternativas são estudadas como um potencial remineralizador em solos intemperizados, aumentando o rendimento das culturas e a saúde do solo (SWOBODA, 2022).

Em função disso, fertilizantes alternativos se tornam atrativos, como é o caso dos remineralizadores de solo que apresentam poucos estudos quanto ao seu uso e eficiência, a quantidade de insumos liberados para o uso ainda é reduzida, fazendo com que haja a necessidade de outros mecanismos sejam adotados para maximizar a liberação dos nutrientes contidos neles (MADAIL et al., 2007; SANTI, 2012).

#### 4.3 Remineralizadores de solos como fonte de nutrientes

O Plano Nacional de Fertilizantes 2022 (PNF, 2022) define remineralizadores (RM) como derivados de rochas silicáticas cominuídas, abundantes, ricas em bases e minerais primários frescos, com potencial para serem intemperizados no solo agrícola na escala de tempo agronômica, melhorando a qualidade do solo e fornecendo nutrientes para a microbiota e às plantas cultivadas.

Por isso, a Lei nº 12.890/2013 foi criada para estabelecer critérios para o registro, garantias mínimas, comercialização e fiscalização desses insumos. Ela foi regulamentada pelo Decreto nº 8.384/2014 e pelas Instruções Normativas (IN) 5 e 6 de 2016, publicadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Essas normas estabelecem parâmetros de enquadramento para os insumos, como a soma de bases ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) deve ser igual ou superior a 9% em peso/peso e o teor de óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) deve ser igual ou superior a 1% em peso/peso e teores máximos permitidos de elementos potencialmente tóxicos (BRASIL, 2016).

Segundo a Associação Brasileira dos Produtores de Remineralizadores de Solo e Fertilizantes Naturais (ABREFEN, 2022) existem 29 empresas registradas no MAPA, sendo 11 de fertilizantes naturais. Possuem capacidade potencial instalada de cerca de 2,5 milhões de toneladas por ano. A ABREFEN, consolidou dados de 2019 do Anuário mineral brasileiro 2020-21 e constatou que cerca de 3 milhões de hectares consumiram 1,5 milhões de toneladas de agrominerais silicáticos, remineralizadores e fertilizantes naturais.

Sendo assim, algumas dessas rochas têm potencial agronômico, como as magmáticas alcalinas, rochas metassedimentares cálcio-silicáticas e produtos de metassomatismo

potássico e, rochas com feldspato potássico que estão distribuídas em todo o território brasileiro, contudo depende de caracterização geoquímica, definição de métodos de processamento e avaliação agronômica resultando em identificação como fontes alternativas eficientes de nutrientes (Martins et al., 2020). Além disso, a disponibilidade de potássio e o grau de liberação de nutrientes das rochas vão depender da sua constituição mineral (Franca et al., 2019) esses mesmos autores confirmaram isso com o experimento utilizando a nefelina sienito com extração de 5% do K em 15 dias.

O remineralizador fonolito (FN) é uma rocha intermediária, formada a partir do extravasamento de magma alcalino, de granulação fina, afanítica e de coloração leucocrática de cores acinzentadas ou esverdeadas. Possui matriz composta por feldspatos potássicos (ortoclásio), feldspatóides (nefelina, leucita e analcita), piroxênios sódicos (augita), hornblenda, entre outros, como minerais principais constituintes. Ocorre também presença de minerais de Ti e Zr como acessórios, proporcionando o caráter agpaítico, ou seja, a predominância de elementos alcalinos sobre o alumínio, além disso, está presente no distrito alcalino de Lages, SC. (AUMOND, 1996; OLIVEIRA, 1985; UNESP 2020; LONGO 2020). Possui como composição química elementar os seguintes teores: SiO<sub>2</sub>: 58,14%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 23,62%; CaO: 1,37%; MgO: 0,09%; K<sub>2</sub>O: 6,58% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0,37%; CuO: 0,001% ZnO: 0,19% (RIBEIRO, 2018).

O remineralizador olivina melilitito (OM) tem origem ígnea, de cor cinza escura, com granulação muito fina a média, possuindo granulometria menor que 1,0 mm a 5,0 mm, estrutura maciça e textura fanerítica inequigranular muito fina a média, com estrutura maciça e alteração moderadamente alterada. A petrografia indicou para essa rocha o predomínio de melilitas (40%), seguida de flogopitas (30%), clinopiroxênios (15%), 10% olivinas e 5% de minerais opacos. Possui como composição química elementar os seguintes teores: SiO<sub>2</sub>: 37,75%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 10,37%; CaO: 15,27%; MgO: 14,91%; K<sub>2</sub>O: 3,58%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1,541%; CuO: 0,014% e ZnO: 0,12% (RIBEIRO, 2018).

Os remineralizadores são insumos regionais e devem ser consideradas as limitações logísticas, de centenas de quilômetros, a depender da composição das rochas, características dos sistemas de cultivos e tipo de transporte. Ao mesmo tempo, considerando o ciclo de intemperismo dos remineralizadores, existe elevado potencial de sequestro e armazenamento de carbono no solo agrícola manejado com esses insumos (PNF, 2022).

#### 4.4 Microrganismos solubilizadores

Alternativas para aumentar a liberação de nutrientes desses materiais, como o uso de microrganismos capazes de promover a solubilização das rochas, assim acelerando o processo de liberação dos nutrientes para o solo e disponibilização para as plantas. Os agentes de controle biológico (ACB's) como a rizobactéria promotora de crescimento do gênero *Bacillus* se destacam por conta dos seus efeitos benéficos (HANG et al., 2005) compreendendo um grupo de bactérias gram-positivas amplamente distribuídas no ambiente (Oliveira et al., 2020).

A rizosfera é a região do solo localizada ao redor do sistema radicular das plantas, onde se desenvolvem as rizobactérias. Algumas destas bactérias, conhecidas como rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP), possuem mecanismos benéficos para as plantas. Isso ocorre porque as RPCP são capazes de mobilizar, transformar e solubilizar nutrientes de forma mais eficiente do que as bactérias presentes livremente no solo. Portanto, elas são fundamentais para a ciclagem de nutrientes no solo e, apesar de não estabelecerem relações simbióticas com as plantas, ainda assim interferem positivamente no seu crescimento e nutrição. (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Nesse contexto, a bactéria solubilizadora de potássio (BSK) é um subgrupo importante de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) que desempenham um papel crucial na solubilização de minerais potássicos. Embora ainda existam poucos estudos sobre essas bactérias, sua presença na rizosfera permite aumentar a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas. Inoculantes produzidos com BSKs são de baixo custo, ambientalmente seguros e podem ser utilizados como complemento a fertilizantes químicos sintéticos. A utilização de inoculantes com BSKs é uma alternativa viável para a agricultura sustentável, pois contribui para o crescimento da planta e aumenta a eficiência na utilização dos nutrientes, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (Sattar et al., 2019; Kalayu, 2019; Oliveira et al., 2020).

As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) solubilizam minerais como P e K e promovem o crescimento das plantas por meio da produção de fito-hormônios, enzimas e sideróforos. Elas também oferecem bioproteção contra patógenos, aumentando a absorção de outros nutrientes e água. A utilização de inoculantes com essas bactérias é uma estratégia eficiente para melhorar a nutrição e o crescimento das plantas, além de aumentar a resistência às doenças e a tolerância à estresse (Gupta et al., 2015; SATTAR et al., 2019; Velloso et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

Diferentes espécies e gênero de RPCP (*B. megaterium*, *B. subtilis*, *Azospirillum brasiliense*) têm sido relatadas como potenciais promotoras de crescimento de plantas em razão das características multifuncionais como a solubilização de fosfato e de potássio (Wahyudi et al., 2011; Bahadir et al., 2018), a produção de ácido indol-acético (AIA) e outros fitormônios (Wahyudi et al., 2011; Mohite, 2013), a produção de sideróforos-quelantes específicos de íons ferro (Bjelić et al., 2018) e a capacidade de biocontrole de patógenos de plantas (Shafi et al., 2017; Oliveira et al., 2020), portanto microrganismos solubilizadores de potássio podem aumentar a disponibilidade de K + em solos agrícolas (SATTAR et al., 2019).

Além disso, inoculantes contendo cepas de *Bacillus* são considerados mais estáveis no ambiente devido à capacidade de formação de endósporos, permitindo adaptação a condições abióticas extremas, como temperaturas, pH ou exposição a pesticidas (Bahadir et al., 2018).

Entretanto, nem todas as cepas de *Bacillus* possuem as mesmas características. Com base em resultados de laboratório e de casa de vegetação foram selecionadas as cepas B119 (*Bacillus megaterium*) e B2084 (*Bacillus subtilis*), eficientes na solubilização e mineralização de fósforo e promoção de crescimento de plantas (Oliveira et al., 2009, 2013; Ribeiro et al., 2018b).

O principal mecanismo de solubilização por microrganismos solubilizadores de K se dá pela produção de metabólitos de baixa massa molecular, como ácidos orgânicos, no meio. As moléculas de ácido orgânico influenciam a solubilização de K em um conjunto de três ações distintas, mas ligadas entre si: (i) os ácidos aderem à superfície mineral e extraem nutrientes das partículas minerais por reação de transferência de elétrons; (ii) quebram as ligações de oxigênio e (iii) formam íons quelatados na solução através de seus grupos carboxila e hidroxila. O terceiro mecanismo acelera indiretamente a taxa de dissolução criando um gradiente entre as concentrações de cátion e ânion na solução (Sattar et al., 2019).

Os microrganismos promotores de crescimento de plantas são capazes de estimular o crescimento vegetal em diferentes estágios de desenvolvimento por meio de mecanismos diretos como aquisição de P e K. Esses nutrientes ganharam destaque nas últimas décadas, com vários produtos comerciais no mercado mundial, porém, atualmente não existe no Brasil inoculante comercial registrado para solubilização de K (Oliveira et al., 2022).

A estirpe de *B. megaterium* (CNPMS B119) foi isolada da rizosfera de milho, com capacidade de solubilizar fosfatos de cálcio e de rocha e produzir fosfatase, enquanto a

estirpe de *B. subtilis* (CNPMS B2084) é endofítica, solubiliza fosfato de cálcio e ferro, apresenta alta produção de ácido glucônico e enzima fitase (OLIVEIRA et al., 2020; Velloso et al., 2020).

Em um estudo com a utilização desses microrganismos em fonolito apresentou resultados significativos na solubilização de K, a elevada eficiência material como fonte para a cultura do milho, proporcionando o aumento de produtividade de grão da ordem de 35,5% ou 2.321 kg ha<sup>-1</sup> (38,7 sacas), comparada ao efeito do KCl e demonstrando o seu potencial em disponibilizar K para a cultura. Ainda neste estudo, ao final de 10 dias de tratamento com bactérias e a rocha fonolito, o potássio foi superior que a rocha pura, (37,46 mg L<sup>-1</sup>) e (5,68 mg L<sup>-1</sup>), respectivamente. Isso evidencia uma alternativa viável de suprimento de potássio por biossolubilização (SILVA et al., 2015).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Instalação do Experimento

O estudo foi realizado sob condições de casa de vegetação (CV) e em laboratório no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) localizado em Lages, SC, nas seguintes coordenadas geográficas: 50° 18' 10,80" O 27° 47' 31,82" S, com altitude geométrica de 920 metros (SIRGAS 2000), durante o período de maio a dezembro de 2021.

### 5.2 Obtenção dos Materiais estudados

#### 5.2.1 Remineralizadores

Foram avaliados os remineralizadores de solo fonolito (FN) e olivina melilitito (OM) de ocorrência no Planalto Sul de Santa Catarina, processados pela Empresa DINAMISA MINERAÇÃO S.A. Essas rochas foram coletadas em Lages nas coordenadas geográficas 27°38'37"S 50°9'18"O, e no município de Palmeira (27°38'57,33"S 50° 07'51,02"O), respectivamente. Os materiais foram extraídos em forma de blocos irregulares das rochas e passaram por britagem e moagem em moinho de grelhas da empresa. Após os processamentos conforme a Instrução Normativa nº 5 (IN 5) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os materiais foram disponibilizadas na forma de pó em

**granulometria** inferior a 0,250 mm, as quais são denominados de remineralizadores de solos (RMS), também conhecidos pelo termo pó de rocha.

### 5.2.2 Inoculante

O BiomaPhos® é um produto com tecnologia desenvolvida pela Embrapa a partir da seleção de microrganismos com capacidade de promover crescimento e aproveitamento de nutrientes do solo pelas plantas. O produto contém as duas cepas de bactérias *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119), o produto foi adquirido no mercado.

### 5.2.3 Morangueiro (cultivar Pircinque)

O cultivar Pircinque faz parte da parceria mantida pela Udesc com o Conselho de Pesquisa Agrícola e Análise Econômica Agrária (Crea-FRF), da Itália, para avaliar a adaptabilidade no Brasil de novas seleções de morangos obtidos por processos de melhoramento genético no país europeu.

## 5.3 Caracterização dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina Melilitito (OM)

A caracterização dos remineralizadores utilizada neste trabalho foi realizada por Ribeiro, 2018 para o fonolito e olivina melilitito e Cunha, 2021 para olivina melilitito.

### 5.3.1 Análises granulométricas dos remineralizadores de solo FN e OM

Inicialmente, procedeu-se ao quarteamento para obtenção de amostras representativas. As amostras foram secas em estufa a 65°C e após foram submetidas ao peneiramento mecânico com peneiras de diferentes malhas, e as frações maiores do que 2 mm foram descartadas. Foi determinada a granulometria da fração inferior a 2 mm de cada rocha a partir de 200g de amostras de material seco, com quatro repetições.

Foi utilizado um jogo de peneiras de 1,0; 0,5; 0,250; 0,125; 0,053 e <0,053mm com auxílio de um agitador eletromecânico modelo Solotest por 15 minutos, em potência nominal de 8 em uma escala de 1 a 15. A configuração escolhida por meio de testes empíricos de laboratório, conforme recomenda o fabricante. Ao término de cada bateria quantificou-se em balança analítica a porcentagem de material retido em cada peneira (Ribeiro 2018 e Cunha 2021).

### 5.3.2 Análises químicas elementares dos remineralizadores FN e OM

As análises químicas dos elementos principais e secundários das rochas foram realizadas no laboratório da ALS Global, com certificação internacional, localizado em Vespasiano, Minas Gerais. As análises foram realizadas no Peru, utilizando métodos de ICP (Inductively Coupled Plasma) para quantificar 13 elementos principais (óxidos de Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cr, Ti, P, Sr, Ba) e 52 elementos secundários (Ribeiro, 2018).

**Quadro 1** - Procedimentos analíticos utilizados nos remineralizadores FN e OM

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS		
ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
ME-ICP06	Whole Rock Packpage – ICP-AES	ICP-AES
C-IR07	Total Carbon (Leco)	LECO
S-IR08	Total Sulfur (Leco)	LECO
ME-MS81	Lithium Borate Fusion ICP-MS	ICP-MS
ME-MS81	Up to 34 elements by ICP-MS	ICP-MS
AO-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ
TOT-ICP06	Total Calculation for ICP06	ICP-AES
ME-4ACD81	Base Metals by 4-acid dig.	ICP-AES

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado.

### 5.4 Caracterização do inoculante Biomaphos®

O BiomaPhos® é um inoculante comercial desenvolvido pela Embrapa constituído de duas espécies de bactérias, as cepas *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119). É recomendado para o tratamento de sementes ou aplicação via jato dirigido no sulco de semeadura (OLIVEIRA et al., 2020).

As rizobactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) são utilizadas para solubilizar fosfato do solo, aumentando a eficiência do uso desse nutriente e, consequentemente, aumentando a produtividade das culturas. Inicialmente, essas bactérias foram indicadas para a cultura do milho, mas a recomendação foi expandida para a cultura da soja como resultado de diversos experimentos que avaliaram sua eficiência. Em 2021, o produto foi registrado pelo MAPA para uso na cultura da soja (OLIVEIRA et al., 2020).

#### 5.4.1 Informações técnicas do inoculante

Segundo a ficha técnica disponibilizada pelo fabricante bioma/simbionse, o produto é considerado um inoculante de natureza física do tipo fluido, com densidade 1,01g/mL, é usado para a solubilização de fósforo, contendo as estirpes *B. subtilis* e *B. Megaterium* na concentração de bactérias (UFC/mL) de  $4 \times 10^9$  células viáveis/mL, sendo a dose recomendada de 100 mL ha<sup>-1</sup>.

#### 5.5 Processamento do solo e análises químicas de caracterização

O solo foi coletado em área de barranco localizado próximo a BR 116, sentido sul, no município de Lages-SC. Em uma camada de 0-20 cm. O solo foi classificado como Nitossolo Bruno Distrófico típico (Embrapa, 2018). Todas as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC.

As amostras de solo foram secas ao ar em CV, destorreadas, moídas e passadas em peneiras com malha de 4 mm. Para as análises químicas (tabela 1), utilizaram-se amostras da fração terra fina seca ao ar (TFSA) passadas em peneira com malha de 2 mm. Depois do processamento das amostras foi determinado o pH em água, o pH SMP, ambos por potenciometria na relação solo: solução de 1:1, para o cálculo da necessidade de calcário dos solos, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis do solo e acidez potencial (H+Al) nos tratamentos correspondentes segundo Tedesco et al. (1995). Fósforo (P) e potássio (K) foram extraídos com a solução de Mehlich-1 e quantificados, respectivamente, por colorimetria (Murphy e Riley, 1962) e por fotometria de chama. O teor de argila do solo foi determinado pelo método da pipeta, descrito por Gee & Bauder (1986) (Tabela 1). A capacidade de campo (CC) foi determinada após a obtenção da massa úmida dos solos com a adição de água destilada e da massa seca após a secagem dos mesmos ao ar, segundo Casaroli e Lier (2008).

**Tabela 1-** Caracterização da camada 0-20 cm do solo Nitossolo utilizado no experimento

Profund. (cm)	ANÁLISE QUÍMICA (CARACTERIZAÇÃO DO SOLO)											
	MO g/kg	Argila %	P mg/dm <sup>3</sup>	K 85	Ca 1,25	Mg 0,42	Al 1,75	H+Al 11,97	pH		CTC Total cmole/dm <sup>3</sup>	Saturação V% m%
									ÁGUA 4,95	SMP 5,12		
0-20	27,76	4,77	60,85	3,27							13,86	3,63
												13,61
												48,00

Fonte: Autor, 2021.

## 5.6 Preparo do experimento

Foi realizada aplicação do calcário na dose recomendada pelo método SMP, em 550 kg de solo (base seca), esta dose buscou corrigir o pH para 6,0 com calcário dolomítico (CQS-RS/SC, 2016). As amostras de cada tratamento foram homogeneizadas e houve elevação da umidade a 80% CC. Os tratamentos com remineralizadores de solo FN e OM foram misturados nessa etapa. As adubações de N, P e tratamentos com K sem RMS foram utilizados reagentes solúveis nas doses recomendadas pelo manual de adubação dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2016 para a cultura do morangueiro, para aplicação dos fertilizantes foi feito uma solução com 50 mL de água destilada, aplicado como fértil irrigação por vaso e apenas o N foi parcelado em duas vezes.

Os tratamentos com remineralizadores consistiram da aplicação ao solo dos produtos com OM e FN, em granulometria de menor que 0,250 mm e posterior homogeneização dos tratamentos com a massa de solo. Isso também foi realizado para os tratamentos com fertilizantes solúveis em forma de fertirrigação e nos tratamentos com a presença e sem a inoculação do Biomaphos® (Figura 1 B).

### 5.6.1 Delineamento experimental

Os tratamentos compreenderam em esquema fatorial (3x3x2), sendo três fertilizantes (KCl, FN e OM), três doses (150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup>) de K<sub>2</sub>O e com ou sem a adição de 1 mL vaso-1 do inoculante. O delineamento experimental foi blocos completos casualizados, com quatro repetições, totalizando 72 unidades experimentais (Tabela 2).

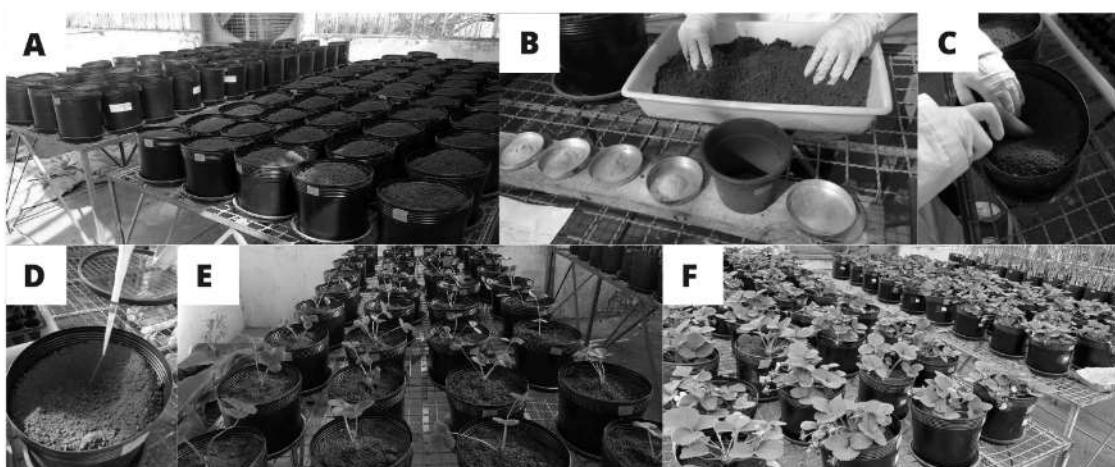
**Tabela 2 - Ensaio experimental**

Testemunha	Tratamento 1 - Sem RMS + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>	Tratamento 2 - 150 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (KCL)
Tratamento 3 - 300 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (KCL)	Tratamento 4 - 600 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (KCL)	Tratamento 5 - 150 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (KCL) + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>
Tratamento 6 - 150 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (FN) + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>	Tratamento 7 - 300 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (FN) + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>	Tratamento 8 - 600 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (FN) + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>
Tratamento 9 150 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (FN)	Tratamento 10 - 300 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (FN)	Tratamento 11 - 600 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (FN)
Tratamento 12 - 150 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (OM) + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>	Tratamento 13 - 300 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (OM) + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>	Tratamento 14 - 600 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (OM) + 1ml de Inoculante vaso <sup>-1</sup>
Tratamento 15 - 150 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (OM)	Tratamento 16 - 300 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (OM)	Tratamento 17 - 600 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> (OM)

**4 Repetições por tratamento  
Total: 72 unidades experimentais**

Cloreto de potássio - KCL. Remineralizador de solo - RMS. fonolito - FN. olivina melilitito- OM.  
Fonte: Autor, 2021.

As unidades experimentais foram constituídas de um vaso de polietileno contendo 3 kg (peso seco) de um Nitossolo que foi cultivado com uma planta de morangueiro (cultivar Pircinque) durante os meses de maio a dezembro de 2021. Durante o período de inflorescências precoces foram desbastadas nos 15 primeiros dias. Os vasos foram aleatorizados para que cada tratamento pudesse ser exposto às mesmas condições de temperatura, sombreamento e incidência solar (Figura 1 E,F).

**Figura 1- Preparo do experimento**

(A) Und. experimental (3 kg de solo seco). (B) Incorporação dos Remineralizadores. (C) Preparo da cova para receber o inoculante e uma planta de morangueiro. (D) Aplicação do Inoculante (1 mL vaso<sup>-1</sup>) (E) pós-plantio. (F) Cultura estabelecida. Fonte: Autor, 2021.

Durante a condução do ensaio, os vasos eram pesados e mantidos com umidade próxima a 80% da CC, por meio de pesagens a cada 2 dias e irrigados manualmente com água deionizada. As massas correspondentes ao crescimento das plantas em cada vaso e tratamento foram descontadas para a reposição e controle de umidade.

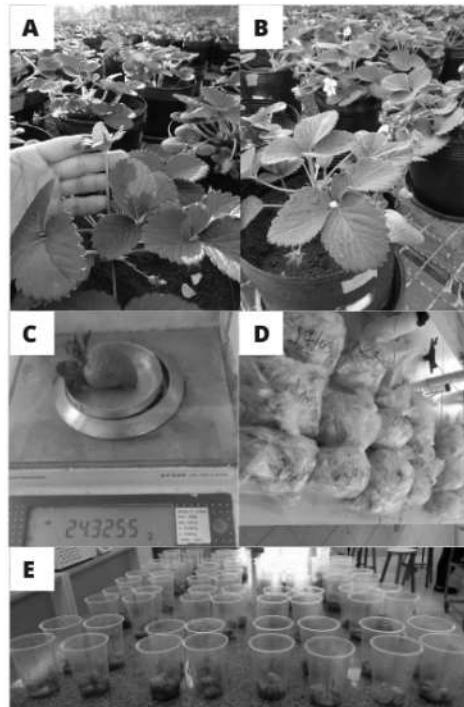
#### 5.6.2 Variedade utilizada para o cultivo de morangueiro (cultivar Pircinque)

O cultivar Pircinque, originado na Itália, utilizado neste estudo foi introduzido no Brasil em 2013 pelo CAV/UDESC e é conhecido por sua rusticidade e resistência a patógenos do solo. Isso permite que seja cultivado em terrenos sem esterilização. Em regiões produtoras de morango no Brasil, tem se mostrado promissor. (FAGHERAZZI, 2017).

Esse cultivar tem como suas principais características: ‘dia curto’; planta vigorosa, alta produtividade, rusticidade da planta, sabor, firmeza de polpa, crocância, docura e coloração das frutas. Quando cultivada com excesso de adubação nitrogenada, tem-se verificado a sensibilidade das frutas ao ataque do fungo *Botrytis cinerea*, e a um elevado crescimento vegetativo da planta (FAGHERAZZI, 2017).

Os frutos eram colhidos a cada dois dias quando possuíssem a partir de 70% da coloração avermelhada (Figura 2 B), foram pesados e congelados para as análises de qualidade e determinar os teores de potássio (Figura 2C, 2D, 3E).

**Figura 2.** Cultivo de morangueiro (cultivar Pircinque). (A) Início da produção. (B) Fruto com 70% da coloração. (C) Pesagem do fruto em gramas. (D) Morango congelado (E) Determinação de qualidade do fruto (SS, AT e SS/AT). Fonte: Autor, 2021.



#### 5.6.3 Controle de pragas e doenças

Para o controle de fungos e ácaros foi utilizado o Frownicide - 500 SC, este possui o princípio ativo Fluazinam na concentração de 500 g L<sup>-1</sup> que é registrado no MAPA, sob o número 7695. O dióxido de cloro (Tecsa Clor®) foi aplicado para a salinização do ambiente na concentração de 5%. A aplicação foi realizada com auxílio de um borrifador com a capacidade de 0,5 L com intervalo de segurança de 14 dias para o Fluazinam e com 3 aplicações a cada 3 dias para o ClO<sub>2</sub>.

#### 5.6.4 Avaliação de produtividade utilizada

Todas as mensurações de pesagens foram realizadas com auxílio de uma balança digital de precisão (0,01 g).

- Nº de frutas totais: expresso em unidade de frutas totais colhidas por planta (und planta<sup>-1</sup>) obtido pela divisão entre o número total de frutas colhidas por repetição em razão do número de plantas de cada repetição;

- b) Produção total: expressa em gramas de frutas colhidas por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ), obtida pela divisão entre pessoa massa total das frutas colhidas por repetição, razão do número de plantas contidas na repetição.

#### 5.6.5 Análise de qualidade do fruto

Para as variáveis de qualidade, foram agrupadas amostras uniformes de 5 frutas por repetição durante o período do ciclo produtivo.

- a) Sólidos solúveis (SS): expressa pela porcentagem de teor de açúcares e ácidos orgânicos que estão presentes na polpa das frutas ( $^{\circ}\text{Brix}$ ). Foi determinado com auxílio de um refratômetro digital de bancada com correlação de temperatura, utilizando-se para a realização da leitura suco e uma amostra de morangos de uma mesma repetição;
- b) Acidez titulável (AT): expressa pelo teor de ácido cítrico presente nas frutas (% de ácido cítrico). Foi determinada com auxílio de um titulador digital de bancada através da titulação com solução de NaOH a 0,1N;
- c) Relação SS/AT: foi calculada por meio da razão entre os teores de SS e AT.

#### 5.6.6 Análise mineral do fruto (Potássio)

Os frutos foram coletados, pesados, embalados em sacos plásticos, identificados e armazenados em freezer (-20°C a -10°) até as análises. Para o preparo das análises eles foram secos em estufa de circulação forçada a 65°C. As amostras foram moídas e pesadas para serem analisadas em extratos obtidos mediante a digestão e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme o método descrito por Tedesco et al. (1995) e determinar os teores de potássio por meio de fotometria de chama.

### 5.7 Coleta do experimento

O experimento foi conduzido de maio até dezembro de 2021, onde as plantas de morango foram coletadas em baixo pico produtivo. A parte aérea (PA) das plantas foi cortada próximo ao solo e rente a raiz, após isso, foram armazenada em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada a 65°C, até massa constante para pesagem e assim obtida a massa seca da parte aérea (MSPA). As raízes foram separadas manualmente, lavadas em água corrente e seca da mesma forma da PA. Após o período de secagem na estufa, as raízes foram pesadas para a obtenção da massa seca da raiz (MSR). Foi realizada a

soma da MSPA e MSR para obtenção da massa seca total (MST) produzida pela planta. Os frutos colhidos foram pesados com balança de precisão (0,01g), congelados e posteriormente secos da mesma forma da MSPA e MST.

#### 5.7.1 Análise química do tecido vegetal (PA)

O tecido vegetal gerado da PA foi moído para a realização da digestão das amostras conforme o método descrito por Tedesco et al. (1995). As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no tecido das plantas foram quantificadas em espectrofotômetro de absorção atômica. O P e o  $\text{K}^+$  foram mensurados por colorimetria (Murphy e Riley, 1962) e por fotometria de chama, respectivamente. A partir da MST e dos teores de P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram calculados os teores acumulados (LAVIOLA e DIAS, 2008) dos mesmos no tecido vegetal das plantas avaliadas conforme a equação 1.

$$\text{NAmacro (mg)} = \text{MST (mg)} \times \text{concentração do nutriente (\%)} / 100$$

Equação 1 Em que, NAmacro: corresponde a quantidade do macronutriente acumulado no tecido vegetal das plantas e a matéria seca total (MST) produzida pelas plantas testadas.

#### 5.7.2 Análise dos atributos químicos do solo após o cultivo do morangueiro

Depois da separação das raízes de cada tratamento, o solo foi homogeneizado e coletadas amostras que foram secas ao ar, moídas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Nas amostras de solo, foram determinados pH em água e em pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> (relação solo: solução 1:1) e, conforme Tedesco et al. (1995), os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis do solo. O fósforo e o potássio foram extraídos pela solução de Mehlich-1, para o  $\text{K}^+$  também foi extraído pela solução de acetato de amônio em pH 7,0 método de análise de solo da Embrapa, 1997. O P foi quantificado por colorimetria (Murphy e Riley, 1962), o  $\text{K}^+$  por fotometria de chama.

### 5.8 Análise estatística

Os resultados obtidos referentes a teores de nutrientes no solo, K no fruto, tecido foliar e teores acumulados no tecido foliar, massa seca total (MST), parâmetros de qualidade do fruto e produtividade do morangueiro foram submetidos à análise de normalidade ShapiroWilk, e quando atendidos os requisitos, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott e além disto, para teores de

nutrientes no solo foram submetidos ao teste de regressão. Todas essas análises estatísticas foram feitas com auxílio do programa SISVAR 5.6 (Ferreira, 2014) e as médias foram comparadas pelo teste F e para contrastes ortogonais, a 5% de probabilidade.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análises granulométricas dos remineralizadores de Solo FN e OM

A tabela 3 mostra que ambos os materiais usados para testar o remineralizador de solo cumprem as normas estabelecidas pela Instrução Normativa 5 do MAPA (2016). Além disso, o FN tem uma maior porcentagem de partículas grossas em comparação com a OM, com cerca de 88,5% de partículas com diâmetro acima de 0,125 mm. Isso torna o produto mais resistente à solubilização de minerais. Outra observação importante é a somatória das frações com diâmetro abaixo de 0,5 mm, onde a OM apresentou mais, com 13,1%, enquanto o FN teve 7,3% nas frações entre 0,25 e 0,125 mm, 19,9% a 3,2% nas frações entre 0,125 e 0,053 mm e 5,4% a 1,0% nas frações menores que 0,053 mm.

**Tabela 3.** Percentagem da distribuição de partículas em faixas granulométricas dos remineralizadores Fonolito (FN) e olivina melilitito (OM) avaliados em laboratório.

Diâmetro da malha das peneiras (mm)						
	1	0,5	0,25	0,125	0,053	<0,053
% de partículas retidas na peneira						
<b>FN</b>	47,3	25,8	15,4	7,3	3,2	1
<b>OM</b>	33,2	16,5	11,9	13,1	19,9	5,4
Especificação de natureza física	Peneira (mm)		Particulas passantes (%)	In 5 <sup>1</sup> (Peso/peso)		
Filler	0,3 2		100 100		100%	
Pó	0,84		80		70 % (mínimo)	
	0,3		60		50 % (mínimo)	

Fonte: Ribeiro, 2018 Adaptado pelo autor, 2022. (<sup>1</sup>) Instrução Normativa Número 5, Mapa (2016).

De acordo com Kruker (2019), a granulometria pode prever como a rocha reage à solubilização/intemperização de seus minerais. É esperado que ocorra mais rapidamente em materiais finamente moídos, como a OM testada. Isso concorda com o que é descrito por

Raij (2011) que mostra que o aumento na liberação do K é mais rápido em partículas menores, desde que haja condições adequadas.

#### 6.1.1 Análises químicas elementares dos remineralizadores FN e OM

O quadro 2 apresenta os resultados das análises elementares dos remineralizadores de solo, indicando a presença de macro e micro elementos. De acordo com os resultados, a OM possui uma quantidade significativa de fósforo na forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, bem como elevados níveis de óxidos de cálcio e magnésio. Além disso, ambos os remineralizadores testados, FN e OM, apresentam micronutrientes cruciais para o crescimento saudável das plantas, como cobre e zinco. Esta presença de nutrientes importantes sugere que os remineralizadores podem ser utilizados como uma fonte de potássio, cálcio e magnésio, como já foi verificado por estudos de Ribeiro (2018) e Cunha (2021).

**Quadro 2.** Composição química elementar das rochas-ALS (Peru).

Rocha	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cu	Zn
----- % -----											
<b>Fonolito</b>	53,6	22	3,96	0,88	0,11	9,63	5,71	0,17	0,02	15	146
<b>Olivina</b>	38,2	8,84	11,25	13,55	15,05	2,98	2,84	0,19	1,18	101	107
<b>Melilitio</b>											

Fonte: Ribeiro (2018), adaptado por Kruker (2019).

Conforme os teores de sílica (SiO<sub>2</sub>), considerada para a classificação de acidez dos RM OM possui 38,2% de sílica, caracterizando-se como rocha ultrabásica e o FN possui 53,65% de sílica, caracterizando-se como rocha intermediária. Quanto à presença de óxidos, a rocha OM destaca-se quanto os teores de CaO 13,55%, MgO 15,05%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11,25%. Além disso, possui teores expressivos de K<sub>2</sub>O 2,84% e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1,18%, importante fonte de nutrientes essenciais (quadro 2).

Os resultados obtidos são similares aos apresentados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (1987). Dentre os óxidos, o Fonolito possui destaque em relação ao teor de K<sub>2</sub>O 5,71%. Esses resultados assemelham-se com os obtidos por Loureiro et al. (2010) e CORTES et al. (2010). Ambos apresentam potencial para serem utilizadas para fornecimento de nutrientes, sendo a primeira com maior potencial de fornecimento de vários nutrientes e a última principalmente como fonte alternativa de potássio.

Quando comparados com o basalto, tanto o OM quanto o FN apresentam um maior potencial de liberação de K<sup>+</sup> (Ribeiro et al., 2017). Em experimentos realizados por Duarte et

al. (2013) e Kruker (2019), foi mostrado que tratamentos com doses elevadas de olivina melilitito produzem resultados similares aos da aplicação do KCl recomendado pela análise de solo em relação à disponibilidade de potássio no solo.

**Tabela 4.** Valores dos elementos tóxicos observados e limite permitido nos remineralizadores pela legislação brasileira – ALS.

<b>Rocha</b>	<b>Arsênio (As)</b>		<b>Câdmio (Cd)</b>		<b>Mercúrio (Hg)</b>		<b>Chumbo (Pb)</b>	
	Real	Limite	Real	Limite	Real	Limite	Real	Limite
----- ppm -----								
<b>Fonolito</b>	4,7	15	<0,5	10	0,034	0,1	37	200
<b>Olivina melilitito</b>	2,8	15	<0,5	10	0,038	0,1	16	200

Fonte: Elaborado por Ribeiro(2018), adaptado por Kruker (2019).

De acordo com o artigo 4º da IN 05-06 de 2016 (MAPA) sobre garantias mínimas dos remineralizadores, a soma de bases do material deve ser maior ou igual a 9% em peso/peso e o teor de óxido de potássio deve ser igual ou superior a 1%. A rocha fonolito, devido aos seus elevados conteúdos de K, pode ser uma importante fonte alternativa desse nutriente e, portanto, pode ser adicionada a outros pós de rocha para aumentar a concentração do nutriente no produto final. Além disso, os teores dos elementos potencialmente tóxicos presentes nas rochas estão abaixo dos limites máximos permitidos pela IN 05-06 de 2016 (tabela 4).

## 6.2 Atributos químicos do solo

Nesta seção, serão apresentados os resultados da análise química do solo após a aplicação dos tratamentos com e sem o uso do inoculante. Dessa forma, nos gráficos a seguir os pontos zero dos tratamentos se diferem, pois foram aplicados dois tratamentos controle: com ou sem inoculante, sendo esses os tratamentos que receberam os microrganismos.

### 6.2.1 Teores de $K^+$ , P, $Ca^{+2}$ , $Mg^{2+}$ , $Al^{3+}$ e pH do solo

Conforme apresentado na Tabela 1, o solo utilizado neste estudo foi caracterizado como ácido, com pH em água menor que 5,0 e baixas soma e saturação por bases, baixos teores de P e elevados teores de  $H+Al^{3+}$  e  $Al^{3+}$  trocável (Tabela 1).

Os teores K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e pH se ajustaram a modelos quadráticos em função das doses das diferentes fontes testadas e os efeitos da inoculação (I) e da interação entre F e I estão apresentados na Tabela 5. Os gráficos demonstram que os tratamentos que responderam em função da dose e inoculação, houve diferença significativa nos tratamentos.

Com a utilização do calcário e dos remineralizadores, verificou-se que os valores do pH em água, do pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, os teores de P e K<sup>+</sup> aumentaram, com redução concomitante nos teores de Al<sup>3+</sup> trocável em todos os tratamentos. Embora os teores de K<sup>+</sup> neste solo foram caracterizados como médio, devido às características do Nitossolo utilizado no experimento, a adição de remineralizadores refletiu positivamente nos tratamentos, uma vez que receberam doses de FN e OM com e sem inoculação como fonte de nutrientes.

Portanto, para a variação F, todos os tratamentos foram significativos, para dose apenas Mg<sup>2+</sup> e pH em água não foi significativo. Em inoculação os teores de K<sup>+</sup> e pH em água tiveram diferenças entre os tratamentos, mas para K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> não ocorreu diferença. A interação entre F e I foi significativa em todos os tratamentos.

**Tabela 5.** Análise de variância de regressão dos teores de K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e pH do solo

Fontes de Variação	GL	K <sup>+</sup>	K <sup>+</sup> (Acetato de amônio)	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	pH	H <sub>2</sub> O**	CaCl <sub>2</sub> **
		(Mehlich-1)	mg dm <sup>-3</sup>							
Reg. linear R <sup>2</sup>	1	1,24 ns	0,31 ns	72,41 *	55,25 *	5,93 ns	54,47 *	2,6 ns	54,74 *	
Reg. Quadrática										
R <sup>2</sup>	1	4,39 *	2,27 *	77,57 *	64,62 *	8,22 ns	65,29 *	7,4 *	68,02 *	
Fonte (F)	17	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Dose	3	*	*	*	*	ns	*	ns	ns	*
Inoculação (I)	1	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	
F x I	12	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Médias		75,26	65,39	184,22	5,86	2,23	0,24	5,21	5,18	
CV (%)		29,68	35,51	54,35	6,47	12,96	35,12	6,53	1,5	

\* significativo a 5%; ns: não significativo. \*\* Valores de pH H<sub>2</sub>O (relação 1:10) e pH CaCl<sub>2</sub> (0,01M). K<sup>+</sup> - Potássio disponível (extrator Mehlich 1 e Acetato de Amônio) após cultivo do morango.

### 6.2.2 Teores de potássio no solo

Os gráficos 1A e 1B mostram os resultados do teor de  $K^+$  trocável, após ensaio experimental. Observou-se incremento de K trocável do solo em função do aumento na dose aplicada. Os tratamentos com doses mais elevadas de KCL e OM foram mais eficazes para o aumento dos teores de potássio.

No entanto, alguns autores, como RESENDE et al., (2006) Machado et al., (2005) e THEODORO (2015) fazem ressalvas quanto ao método de quantificação do  $K^+$  em solos que utilizam remineralizadores, que pode superestimar os teores desse elemento, devido à natureza ácida do extrator utilizado. Por essa razão, além do extrator duplo ácido  $H_2SO_4 + HCl$  (Mehlich-1) para quantificar o K trocável, também foi utilizado um extrator alternativo, com uma solução básica de acetato de amônio a pH 7,0. Pode-se dizer que a literatura ainda carece de informações sobre os teores de K extraídos por este método em solos tratados com remineralizadores.

Os teores de  $K^+$  do solo aumentaram ajustando-se ao modelo de regressão polinomial (Tabela 5) para todas as variáveis estudadas. Neste sentido, observa-se que houve aumento do teor de K extraído pelos dois extratores (ácido e básico) em função da dose utilizada. Nos gráficos deixam em evidência que em parâmetros quantitativos, o tratamento que recebeu 600 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O de OM com inoculação só ficou aquém do tratamento com a mesma dose do fertilizante solúvel. Vale ressaltar que no gráfico 1B, esse resultado é semelhante, em comparação com o tratamento que recebeu apenas o remineralizador OM.

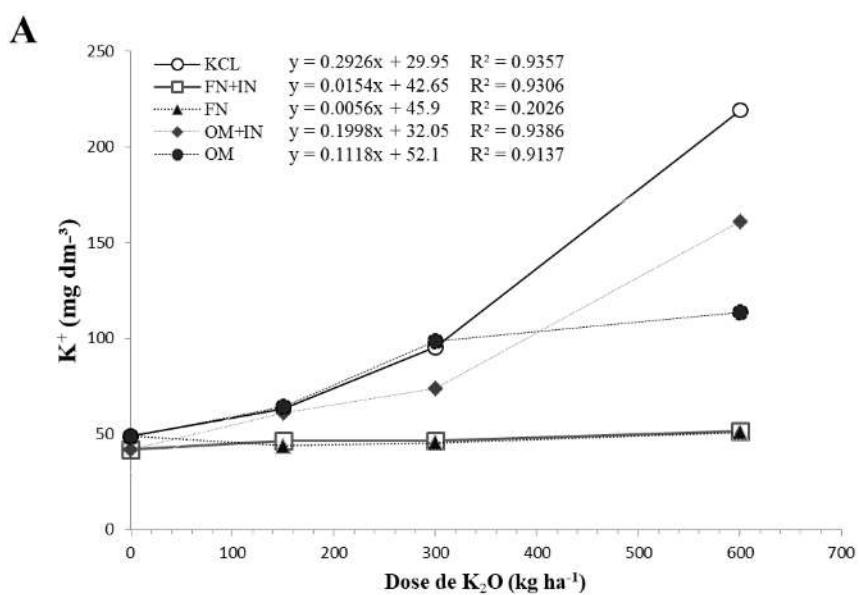
A análise dos tratamentos mostrou que os menores valores de potássio foram encontrados nos tratamentos com FN e FN + inoculante, independentemente do extrator utilizado. Já nos tratamentos com KCL, as maiores doses (300 e 600 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) apresentaram os maiores valores de  $K^+$ . Nos tratamentos com OM e OM + inoculante, houve aumento significativo de  $K^+$ , embora menor que o encontrado com KCL, mas ainda suficiente para fornecer potássio semelhante aos fertilizantes solúveis em doses intermediárias como de 300 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>.

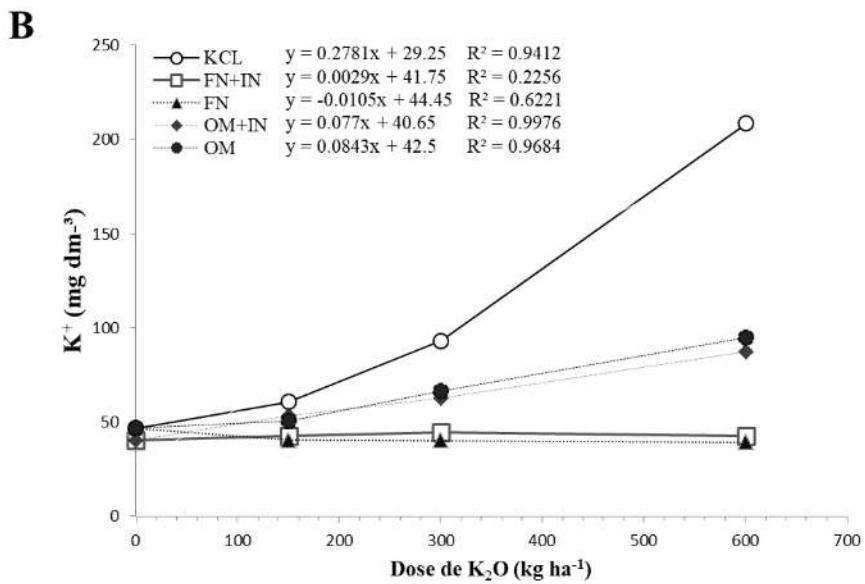
No gráfico 1 é possível observar a menor liberação de potássio nos tratamentos com o FN, mesmo quando inoculado o desempenho permanece praticamente igual, ou seja, menor quantidade de potássio no solo comparado com os tratamentos OM, OM+inoculante e KCL. Inclusive, denota-se que a linha de tendência do teor de K mostrou-se levemente decrescente em função das doses de FN.

Essa menor liberação de K no solo nos tratamentos de FN pode ser devido à estrutura mais cristalina e resistente à degradação, o material composto pelo fonolito, cuja granulometria é mais grossa e menos solúvel, até mesmo quando inoculado com bactérias solubilizadoras.

Os gráficos 1A e 1B também permitem fazer uma comparação de eficiência entre os materiais estudados, ambos os remineralizadores quando adicionados ao solo e com rizobactérias e sem efeito do inoculante faz com que seja expressado as características de composição mineral, pois apesar da maior quantidade de K<sub>2</sub>O o fonolito libera menos K comparado com OM. Além disso, a ação das rizobactérias, através da produção de ácidos orgânicos fortes, é importante para a solubilização de minerais potássicos (Kour et al., 2020). O FN possui feldspatos alcalinos do tipo sanidina, 45% dos minerais presentes, 40% de nefelina, e 15% de clinopiroxênios do tipo aegirina. Enquanto no OM há o predomínio de melilitas (40%), seguida de flogopitas (30%), clinopiroxênios (15%), 10% olivinas e 5% de minerais opacos (Ribeiro, 2018). Os minerais componentes da OM apresentam baixa resistência ao intemperismo (Essington, 2015).

**Gráfico 1-** Teores de K<sup>+</sup> trocável extraído pelos extractores Mehlich 1 (A) e acetato de amônio pH 7 (B) em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.





Fonte: Autor, 2022.

Em estudos envolvendo rochas fonolíticas, uma variedade extrusiva de granulação fina de sienito nefelínico foi testada em várias regiões. Um pó de rocha fonolítica comercial (Ekosil®), contendo K-feldspato, andesina e nefelina foi testado para café (*Coffea arabica*) em um latossolo brasileiro (Mancuso et al., 2014). Rendimentos semelhantes foram obtidos para ambas as fontes de K em duas safras, enquanto equivalentes de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ha de ambos os tratamentos produziram mais rendimento do que equivalentes de 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, que os autores atribuem ao alto de suprimento de K<sup>+</sup> e desequilíbrios resultantes de outros nutrientes.

Em outro protocolo desenvolvido com fonolito contendo feldspato e feldspatóides sem muitas especificações precisas sobre a mineralogia, o material foi aplicado isolado ou em combinação com Latossolo em capim braquiária (*Urochloa decumbens*). Como resultado, no FN isolado o rendimento foi insignificante e sua combinação também não diferiu significativamente do rendimento do FN isoladamente. Contudo, o tratamento que recebeu Fonolito resultou nos níveis mais altos de efeito residual de potássio e Si na cultura e no solo (Tavares et al., 2018).

Para o remineralizador OM, a liberação de K<sup>+</sup> foi atribuída a sua constituição mineral e ao aumento na atividade microbiana devido ao inoculante, resultou na maior disponibilidade desse nutriente no solo. Em ensaios com rochas com constituição parecidas, como o dunito, uma rocha ultramáfica composta principalmente por olivina, foi observado um melhoramento no crescimento das plantas e na produção de milho (Crusciol et al., 2019). Todavia, há pouca informação disponível sobre a solubilização de potássio com

rizobactérias. Há indícios que os mecanismos atuantes na decomposição de rocha com K podem incluir reações redox pela produção de moléculas quelantes e ácidos orgânicos que favorecem o intemperismo de K e sua biodisponibilidade (Uroz et al., 2009).

Duarte et al., (2013), mostraram que o uso de rochas fontes de potássio, como a olivina melilitito, sienito e fonolito, podem proporcionar benefícios para a cultura de plantas, aumentando a disponibilidade de potássio nos solos e melhorando a produtividade. Em um ensaio (Silva et al., 2015) estudou especificamente com o fonolito, foi observado um aumento na produtividade de grãos da ordem de 35,3% na cultura do milho, comparado ao efeito do KCl. Isso indica o potencial desta rocha em disponibilizar potássio para as plantas, portanto corrobora com os resultados da aplicação dos remineralizadores FN e OM deste trabalho.

Além disto, alguns trabalhos sobre solubilização biológica ajudam a confirmar os resultados obtidos, a partir da rocha fonolito in vitro, no qual foi verificado que a biodisponibilidade de potássio nos meios de cultura variou significativamente com diferentes isolados de bactéria. Um isolado específico foi capaz de solubilizar 70% mais potássio em relação ao controle sem inoculação (Silva, 2015).

Braga (2022), mostrou que a utilização de pós de rochas fonolito e olivina melilitito, previamente incubadas com água, ácido cítrico e bactérias, favoreceu a disponibilização de potássio no solo cultivado por feijão em dois cultivos. Nesse estudo, o tratamento com olivina melilitito foi mais eficiente do que com fonolito. Já a aplicação de rochas que contém micas como illita, muscovita e/ou biotita em associação com a inoculação com estirpes de bactérias eficientes (*Bacillus pasteurii*, *B. cereus* e *B. mucilaginosus*) aumentaram significativamente a absorção de K e a produção das culturas do trigo, pimenta, amendoim em experimentos a campo (SUPANJANI et al., 2006; YOUSSEF et al., 2010). Os microrganismos proporcionam a liberação do potássio para o solo através do mecanismo indireto de solubilização, onde eles solubilizam minerais potássicos através de quelação dos cátions ligados a silicatos, reações de troca e fixação direta dos MSK em superfícies minerais (Sattar et al., 2019).

#### 6.2.3 Teores de fósforo no solo

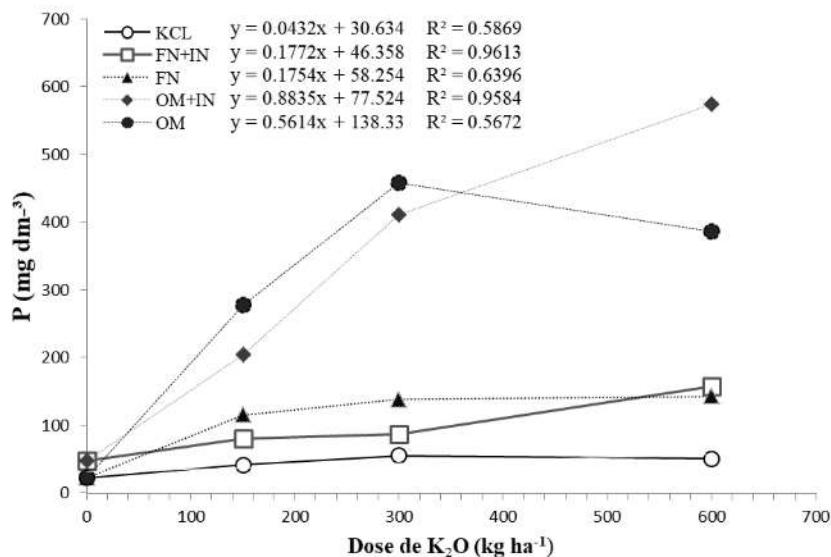
Todos os tratamentos receberam adubação de fósforo seguindo a recomendação com base na análise de solo. No entanto, é importante destacar a influência do fósforo neste experimento devido a duas razões. Primeiramente, o inoculante utilizado (BiomaPhos®) tem

como principal função solubilizar o fosfato no solo. Além disso, os remineralizadores FN e OM apresentam, respectivamente, teores de 0,02% e 1,18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em sua estrutura mineral.

Os resultados dos tratamentos mostraram um aumento geral nos teores de fósforo (P) do solo. Entretanto, quando as doses de remineralizadores (RM) foram aplicadas, houve um aumento significativo nos teores de P no solo, ultrapassando os valores observados no tratamento controle. O gráfico 2 ilustra que tanto o remineralizador Olivina melilito quanto o Fonolito aumentaram os teores de P no solo de forma crescente com a dosagem. Além disso, a inoculação com bactérias teve um impacto positivo sobre os teores de P no solo, especialmente quando aplicada em conjunto com a dose intermediária (300 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) de remineralizador. No entanto, o gráfico também destaca a importância da inoculação, pois mesmo quando as doses são muito altas, a presença de bactérias ajuda a manter os níveis de P no solo.

A eficiência do inoculante fica clara ao compararmos os diferentes tratamentos em relação à dose. Observa-se que a adição dos remineralizadores Olivina melilito e Fonolito ao solo resultou em um aumento significativo na disponibilidade de fósforo, especialmente nos tratamentos que também receberam a inoculação de bactérias. Entre os tratamentos com remineralizadores, o OM+IN obteve a maior resposta em termos de aumento na disponibilidade de fósforo, seguido pelo tratamento que utilizou apenas OM como fonte adicional de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Além disso, os tratamentos com FN e FN+inoculante também apresentaram resultados superiores ao tratamento com KCL, que não incluiu nenhum adicional de RM ou inoculante. Isso pode ser explicado pelos diferentes mecanismos promovidos pela aplicação das bactérias, como a produção de ácidos orgânicos.

**Gráfico 2-** Teores de P extraído pelo extrator Mehlich 1 em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.



Fonte: Autor, 2022

Desse modo, os resultados do experimento confirmam a eficácia do mecanismo solubilizador do produto BiomaPhos®. O produto contém bactérias que se multiplicam e colonizam a rizosfera da planta, gerando a produção de ácidos orgânicos que solubilizam o fósforo fixado em componentes do solo como o Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e Fe. Dessa forma, o P torna-se acessível e disponível para a absorção e utilização da planta, aumentando a disponibilidade desse nutriente importante para o desenvolvimento vegetal (Duarte, 2022).

Segundo Braga (2022), a utilização de remineralizadores como olivina melilitito e fonolito mostrou-se mais eficiente do que outros tratamentos, como a utilização apenas de água ou ácido cítrico, na disponibilização de fósforo no solo cultivado com feijão. A utilização de remineralizadores apresenta-se como uma alternativa viável para reduzir a dependência em fertilizantes importados, bem como para minimizar os impactos ambientais e os custos na produção de culturas frutíferas. A adição de microrganismos solubilizadores de fosfato, como é o caso da inoculação, tem sido comprovada como benéfica para o crescimento de plantas em diferentes espécies, incluindo soja (Duarte, 2022) e milho (Oliveira et al., 2020).

A utilização de inoculantes é uma solução atrativa para melhorar a efetividade dos fertilizantes e diminuir sua quantidade necessária. Essa técnica tem como objetivo aumentar a efetividade dos fertilizantes fosfáticos, pois as fosfatases liberadas pelas raízes das plantas e os microrganismos catalisam a conversão da forma orgânica de fosfato para P solúvel

(OLIVEIRA et al., 2020). A utilização do produto BiomaPhos® é uma estratégia viável, uma vez que ele é capaz de solubilizar o fosfato, tornando-o mais disponível e, consequentemente, reduzindo custos e perdas durante sua aplicação na agricultura. Portanto, os resultados deste estudo apoiam a relação entre o aumento da adição de remineralizadores combinados com o BiomaPhos® na cultura e a solubilização do fósforo no solo.

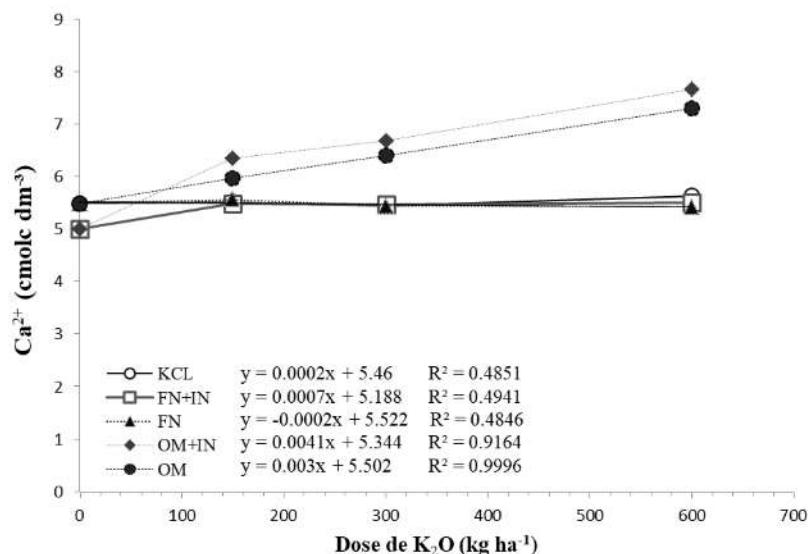
#### 6.2.4 Teores de cálcio, magnésio e alumínio no solo

Apesar de todos os tratamentos terem sido corrigidos com calagem, os níveis de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  reagiram de forma diferenciada (como apresentado nos gráficos 3, 4 e 5, respectivamente). Entre os tratamentos que receberam doses de remineralizadores e também foram inoculados, o tratamento com OM se destacou, mostrando sua capacidade em aumentar esses cátions e reduzir o Al no solo.

A correção do pH do solo com calcário dolomítico é fundamental para equilibrar as concentrações de cátions no solo. Dessa forma, a aplicação do calcário fornece grandes quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que, por sua vez, substituem os sítios de troca catiônica previamente ocupados pelo  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  (Ernani, 2016). Assim, o uso de olivina melilitito, como remineralizador, foi efetivo na adição de Ca ao solo, resultando em melhores resultados do que os outros tratamentos avaliados. O uso de OM como remineralizador resultou em uma maior quantidade de óxidos de CaO e MgO comparado ao uso de FN (Quadro 2). Os gráficos 3 e 4 ilustram o aumento significativo dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo devido à aplicação de OM, enquanto o gráfico 5 indica uma tendência na redução dos teores de  $\text{Al}^{3+}$ . Observe-se que apenas o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  foi significativamente impactado pelo uso de OM como remineralizador.

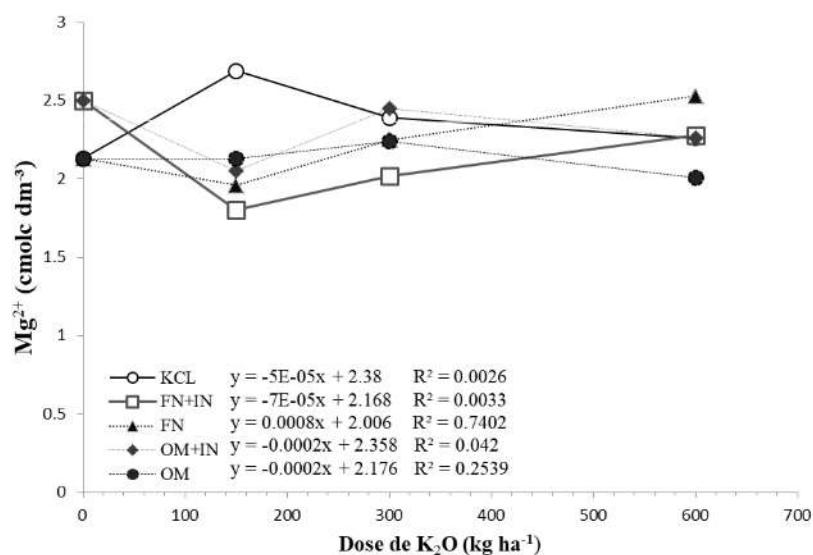
Ademais, a disponibilidade limitada de nutrientes nos tratamentos com FN pode estar associada às características do remineralizador, como tamanho e composição das partículas minerais e velocidade de solubilização. É importante destacar que o alto pH do solo afeta negativamente a velocidade de intemperismo, comprometendo a eficiência e a liberação rápida dos nutrientes para o solo. Além disso, os níveis de  $\text{Al}^{3+}$  apresentaram uma tendência geral de diminuição, o que era esperado entre os tratamentos e foi evidenciado através de todas as fontes de variação utilizadas, como pode ser observado no Gráfico 5. Destaca-se o tratamento (OM+IN) 600 kg de K<sub>2</sub>O, que resultou em uma diminuição significativa do  $\text{Al}^{3+}$ , demonstrando o efeito positivo da inoculação e o efeito residual do RM.

**Gráfico 3-** Teores de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.

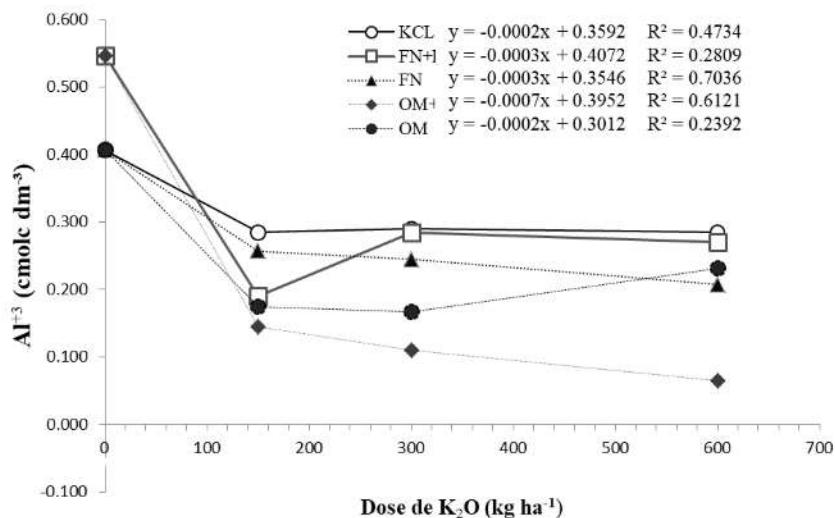


Autor: 2022.

**Gráfico 4-** Teores de  $\text{Mg}^{2+}$  trocável em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.



**Gráfico 5-** Teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.



Fonte: Autor, 2022.

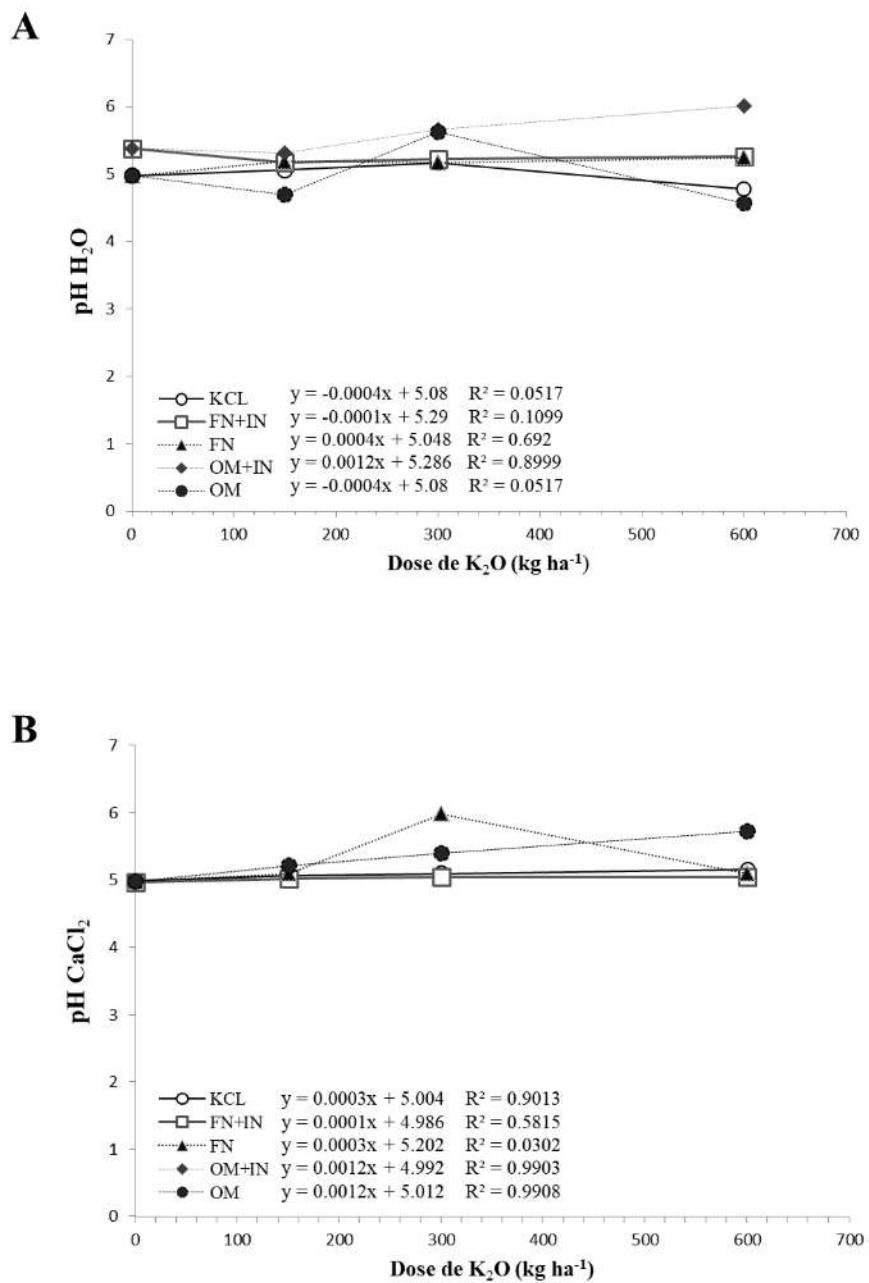
Esta tendência nas concentrações de cátions, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , foi anteriormente identificada em pesquisas, como a de Kruker (2019) que examinou a adubação com remineralizadores de olivina melilitito e fonolito. Outras pesquisas também obtiveram resultados similares ao utilizar pó de rocha diabásio, que aumentou as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  em Argissolo nas doses mais elevadas em soja (SPIDO, 2019). O mesmo estudo relata que o uso de pó de rocha nefelina-sienito teve um impacto positivo nas propriedades químicas do Argissolo, especialmente a dose de 10 kg ha<sup>-1</sup>, que aumentou o pH em água, o pH em  $\text{CaCl}_2$  e as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , ao mesmo tempo em que reduziu o  $\text{Al}^{3+}$  trocável (SPIDO, 2019).

#### 6.2.5 pH do solo

Foi identificado uma variação significativa nos valores de pH H<sub>2</sub>O e pH em  $\text{CaCl}_2$  entre os diferentes tratamentos nos dois tempos. Todos os tratamentos receberam calagem, resultando em aumento do pH do solo. Todavia, os remineralizadores de solo OM e FN com inoculação tiveram um impacto significativo no pH, elevando-o acima do nível considerado satisfatório de 5,5 em pH H<sub>2</sub>O, exceto em dois tratamentos (OM e KCL) nas doses mais elevadas. Em contraste, o uso de fertilizantes solúveis não teve o mesmo efeito elevador. É possível ver que houve uma redução do pH H<sub>2</sub>O devido ao aumento da concentração salina

do solo causada por adubos solúveis de reação ácida (Ernani, 2016). Embora haja diferenças estatísticas entre os tratamentos, os valores obtidos foram similares."

**Gráfico 6-** Valores de pH em H<sub>2</sub>O (A) e CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol l<sup>-1</sup> (B) em Nitossolo em função de doses de KCl e dos remineralizadores fonolito (FN) e olivina melilitito (OM), sem e com inoculação (IN) com bactérias *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*.



Fonte: Autor, 2022.

Segundo os autores Lopes-Assad et al. (2006) mostraram que a solubilização de pó de rocha por meio do fungo *Aspergillus niger* afetou a variação do pH no solo. Os autores avaliaram dois tipos de pó de rocha, ultramáfica alcalina e flogopítito, e observaram que o pH inicialmente diminuiu nos primeiros sete dias de incubação em ambos os tratamentos, mas depois retornou a aumentar apenas no tratamento com ultramáfica. Por outro lado, no tratamento com flogopítito, não houve uma variação significativa no pH.

A diferença no comportamento do pH nos tratamentos é explicada pelas diferenças nas propriedades químicas e mineralógicas dos dois tipos de rocha. A ultramáfica é uma rocha ígnea alcalina, enquanto o flogopítito é uma rocha metamórfica. Essas diferenças afetam a capacidade do fungo de solubilizar os minerais, e consequentemente, ocorre uma variação no pH do solo.

Os resultados encontrados por Lopes-Assad et al. (2006) concordam com os estudos de Gillman (1980) e Gillman et al. (2001) na Austrália, que também encontraram que a aplicação de doses elevadas de rochas basálticas em solos de baixa fertilidade de floresta resultou em um aumento do pH. Além disso, Theodoro e Leonardos (2006) encontraram resultados similares, o que indica que o comportamento do pH do Nitossolo quando adicionado com diferentes tipos de materiais está de acordo com os resultados encontrados na literatura científica.

Diante disso, pode-se afirmar que o remineralizador OM (rocha ultramáfica), quando adicionado ao solo, tem o potencial de aumentar o pH e, quando combinado com um inoculante solubilizador de nutrientes, esse efeito pode ser ainda mais intensificado, tornando essa abordagem uma ferramenta eficaz para a correção do pH em solos ácidos.

### 6.3 Atributos da planta do morangueiro

#### 6.3.1 Análise dos teores de K no fruto, parte aérea ( $K^+$ , P, $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ ) e massa seca total (MST) da planta sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito com e sem inoculação de *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise de variância dos teores de potássio no fruto, potássio, fósforo cálcio e magnésio e massa seca total da planta em g planta<sup>-1</sup>. Os resultados mostraram que houve uma influência significativa na concentração dos macronutrientes avaliados no presente estudo. Além disso, os teores de  $K^+$  no fruto foram influenciados tanto pela fonte utilizada, enquanto que a massa seca total da planta foi influenciada apenas pela dose aplicada.

**Tabela 6.** Análise de variância dos teores de K<sup>+</sup> em Fruto e macro nutrientes na planta (K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) de morangueiro

Fontes de Variação	GL	K <sup>+</sup> Fruto	K <sup>+</sup>	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	MST
			----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- g planta <sup>-1</sup> -----
Fonte (F)	10	*	*	ns	*	*	ns
Dose	3	ns	*	ns	*	*	*
Inoculação (I)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F x I	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Médias		12,64	7,39	0,7	1,9	1,8	18,27
CV (%)		18,69	14,51	14,2	39,69	20,55	24,99

\* significativo a 5%; ns: não significativo. Teores na parte aérea (K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>). MST - massa seca total.

Fonte: Autor, 2022.

### 6.3.2 Teores de potássio no fruto

Conforme anteriormente mencionado, a análise dos teores de potássio nos frutos apresentou resultados significativos apenas para a fonte (F), conforme mostrado na Tabela 6. Desta forma, os tratamentos com o remineralizador OM e o fertilizante KCL foram identificados como as melhores fontes, comparados aos outros tratamentos (conforme mostrado na Tabela 7). Assim, a adição de 300 e 600 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> nos tratamentos aumentou significativamente os teores de potássio tanto no fruto quanto na planta.

Os resultados apontam que o tratamento com o remineralizador olivina melilitito foi o que obteve o maior teor de potássio na planta, com diferenças significativas em relação aos tratamentos controle e FN. Esses resultados estão alinhados aos encontrados por Kruker (2019), que verificou maior absorção de K<sup>+</sup> em plantas de soja e trigo quando adubadas com olivina melilitito, em comparação aos tratamentos com apenas fonolito. Isso pode ser explicado pela menor solubilidade dos minerais presentes nesse fertilizante, o que resulta em uma menor liberação de nutrientes (Leonardos et al. 2000; LOPES; COSTA; LOPES-ASSAD, 2013; Braga, 2022). No entanto, esses resultados divergem dos encontrados por Teixeira et al. (2015), que descreveu o fonolito como uma fonte potencial de remineralização e potássio, mas observou teores foliares menores desse nutriente em comparação às testemunhas, o que sugere uma baixa eficiência do fonolito mesmo quando inoculado.

**Tabela 7.** Teores de K<sup>+</sup> no fruto, K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, na planta análise de massa seca total (MST) da planta sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilito com e sem inoculante *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*

Fonte (F)	K <sup>+</sup> Fruto	K <sup>+</sup>	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	MST
	g kg <sup>-1</sup>			g planta <sup>-1</sup>		
Controle	11,9 b	6,0 d	0,6	2,0 a	2,3 a	14,8
Sem rocha+inocul.	10,8 b	5,0 d	0,7	2,5 a	2,2 a	14,2
150 kg K <sub>2</sub> O (Kcl)	11,9 b	7,8 c	0,7	3,1 a	2,2 a	17,7
300 kg de K <sub>2</sub> O (Kcl)	11,9 b	9,6 b	0,8	2,1 a	1,7 b	14,9
600 kg de K <sub>2</sub> O (Kcl)	17,0 a	9,0 b	0,7	2,4 a	1,7 b	16,2
150 kg K <sub>2</sub> O (FN)	12,1 b	4,6 d	0,7	2,4 a	1,5 b	17,0
300 kg K <sub>2</sub> O (FN)	10,2 b	5,0 d	0,6	1,5 b	1,5 b	19,4
600 kg K <sub>2</sub> O (FN)	10,9 b	5,3 d	0,7	1,6 b	1,7 b	18,9
150 kg K <sub>2</sub> O (OM)	13,3 b	7,8 c	0,7	1,5 b	1,8 b	17,9
300 kg K <sub>2</sub> O (OM)	15,8 a	9,0 b	0,7	1,3 b	1,9 b	21,1
600 kg K <sub>2</sub> O (OM)	13,3 a	11,8 a	0,7	1,0 b	1,7 b	21,9
Médias	12,64	7,39	0,7	1,9	1,8	18,2
Faixa de teores *	-	2,0 - 4,0	0,2 - 0,4	1,0 - 2,5	0,6 - 1,0	-
Doses						
0	11,4	5,5 d	0,7	2,3a	2,2 a	14,5 b
150	12,4	6,7 c	0,7	2,3a	1,8 b	17,5a
300	12,8	7,5 b	0,7	1,5b	1,7 b	19,4 a
600	13,1	8,7 a	0,7	1,5b	1,7 b	19,3 a
Inoculação						
Com Inocul.	12,6	7,30	0,7	1,9	1,9	18,9
Sem Incul.	12,7	7,40	0,7	1,9	1,7	17,7

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. MST- massa seca total. sem rocha: recebeu inoculação de bactérias (*B. subtilis* e *B megaterium*)

\*Manual CQS-RS/SC, 2016. Descrição dos tratamentos: Cloreto de potássio (Kcl); olivina melilito (OM); fonolito (FN). Teores na parte aérea (K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) Fonte: Autor, 2022.

Os resultados da análise dos teores de potássio no fruto apontam que o uso do fertilizante KCL e do remineralizador olivina melilito resultaram em teores mais elevados do nutriente, comparado aos tratamentos controle e os que utilizaram fonolito (conforme a Tabela 7). Entre os tratamentos com doses de 150 e 300 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, o RM olivina melilito foi mais eficiente do que o KCL. Quanto à parte aérea da planta, os teores de potássio foram geralmente maiores nos tratamentos com olivina melilito, mas não houve diferenças significativas quando se considerou o fruto. Esses resultados sugerem que o

olivina melilito é uma opção promissora, pois estão de acordo com a faixa de teores, fornecendo benefícios nutricionais ao suprir a necessidade de potássio. Estes resultados estão de acordo com estudos anteriores realizados por Machado et al. (2005) e Resende et al. (2005), que observaram resultados similares ao aplicar rocha ultramáfica como pó de rocha em Latossolos Vermelhos Argilosos no cerrado.

### 6.3.3 Teores de fósforo, cálcio, magnésio e MST

Não foram observadas influências dos tratamentos com remineralizadores no teor de fósforo (P) nas folhas da planta. Porém, a fonte e a dose de remineralizadores influenciaram os teores de cálcio e magnésio (Tabela 6). Os menores valores foram observados nas doses mais altas de olivina melilito e nas doses intermediárias de fonolito. Já para a massa seca total da planta, somente a dose dos tratamentos influenciou os resultados. Isso sugere que o uso de remineralizadores pode afetar a absorção de nutrientes na planta. Além disso, foi identificada uma interferência negativa da adubação de potássio na absorção de cálcio, ou seja, a presença de fertilizantes solúveis ou remineralizadores com alta disponibilidade resultou em menores teores de cálcio na planta. Esses efeitos antagônicos já foram descritos por outros autores (Kruker, 2019; Mendes et al., 2006; Silva et al., 2006). Desse modo, é importante realizar futuras pesquisas para entender melhor esses efeitos, a fim de determinar claramente os benefícios ou desvantagens de utilizar rochas em remineralização de solos.

### 6.4 Teores de K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> acumulados na planta de morangueiro sob o efeito dos remineralizadores Fonolito e olivina melilito com e sem inoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*

O acúmulo de nutrientes, como K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, nas plantas de morangueiros foram significativos, conforme evidenciado na Tabela 8, exceto para Mg<sup>2+</sup>. Neste cenário, as fontes e doses aplicadas foram determinantes para esse resultado. Os maiores teores de K<sup>+</sup> foram encontrados nos tratamentos com olivina melilito nas doses de 300 e 600 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (Tabela 9). Esses resultados superaram a concentração de nutrientes nos tratamentos com fertilizante solúvel. No entanto, a aplicação do inoculante não influenciou os teores de K<sup>+</sup>. Quanto ao FN, apenas os tratamentos com inoculante foram superiores à testemunha. O cálcio apresentou efeito significativo tanto para a fonte quanto para a dose em todos os tratamentos, porém, quando comparados entre si, não houve diferenças. Isso pode ter sido resultado da calagem aplicada, conforme mencionado anteriormente.

**Tabela 8.** Análise de variância dos teores de K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> acumulados no morangueiro

Fontes de Variação	GL	K <sup>+</sup>	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Fonte (F)	10	*	*	*	ns
Dose	3	*	*	ns	ns
Inoculação (I)	1	ns	ns	ns	ns
F x I	3	ns	ns	ns	ns
Médias		136,2	13	33,6	33,2
CV (%)		18,03	26,21	45,86	29,82

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. ns:não significativo pelo teste F. Fonte: Autor, 2022.

Essa presença de potássio nas plantas de morangueiro foi fortemente influenciada pelas fontes de K, com destaque para a olivina melilito (OM), que resultou em aumento linear de acúmulo de potássio em relação à dose de OM aplicada (Tabela 9). O aumento dos teores de K<sup>+</sup> na planta sugere que o potássio é essencial para a nutrição da planta, e que quantidades elevadas desse nutriente podem resultar em um consumo de luxo. Além disso, essa variação pode ser influenciada pela disponibilidade desse nutriente no solo, levando a maiores exportações de K<sup>+</sup> pela cultura. Comparado com a fonte de KCL, a acumulação de K nos tratamentos com FN foi menor.

**Tabela 9.** Teores de K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> acumulados na planta sob o efeito dos remineralizadores Fonolito e Olivina Melilitito com e sem inoculante *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*

Fonte (F)	K <sup>+</sup>	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	g kg <sup>-1</sup>			
Controle	85,4 e	9 a	29,2 a	33,9
Sem rocha+inocul.	71,3 e	10 a	36,2 a	30,9
150 kg K <sub>2</sub> O (Kcl)	136,8 c	12 a	53,1 a	37,1
300 kg de K <sub>2</sub> O (Kcl)	151,9 c	13 a	34,0 a	28,5
600 kg de K <sub>2</sub> O (Kcl)	134,2 c	11 a	38,2 a	27,3
150 kg K <sub>2</sub> O (FN)	77,9 e	12 a	41,0 a	26,9
300 kg K <sub>2</sub> O (FN)	98,6 d	13 a	30,5 b	29,8
600 kg K <sub>2</sub> O (FN)	103,1 d	14 a	31,8 b	31,6
150 kg K <sub>2</sub> O (OM)	139,7 c	13 a	27,8 b	34,0
300 kg K <sub>2</sub> O (OM)	189,7 b	15 a	29,2 b	40,0
600 kg K <sub>2</sub> O (OM)	258,5 a	17 a	20,4 b	39,1
Médias	136,2	13	36,6	0,03
Doses				
0	78,4 d	10 b	32,7	32,4
150	118,1 c	12 a	40,7	32,7
300	145,7 b	14 a	30,7	33,6
600	171,5 a	15 a	28,5	33,7
Inoculação				
Com Inocul.	143,2	12	33,9	35,6
Sem Incul.	130,6	14	33,5	31,3

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de scott-Knott. ns:não significativo pelo teste F. Descrição dos tratamentos: Cloreto de potássio (Kcl); olivina melilito (OM); fonolito (FN). Fonte: Autor, 2022.

A OM mostrou-se ser a fonte de potássio mais efetiva para o acúmulo de K<sup>+</sup> na planta do morangueiro, aumentando linearmente em função da dose (Tabela 9). Este desempenho pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade de K<sup>+</sup> proveniente da OM, como pode ser visto pelo teor de K<sup>+</sup> no solo (Gráfico 1). O aumento no teor de potássio na parte aérea do morangueiro promovido pela adubação com OM é resultado da disponibilidade de K<sup>+</sup> proveniente dos seus minerais. No entanto, a adubação com FN

resultou em menos incremento no K<sup>+</sup> acumulado em comparação com OM, o que é semelhante a trabalhos com outras culturas, como feijão, aveia, soja e trigo (Ribeiro, 2018; Kruker, 2019; Braga, 2022).

Os resultados das tabelas anteriores apontam claramente para o impacto positivo dos tratamentos com remineralizadores na nutrição das plantas. A análise dos acúmulos de nutrientes importantes, tais como K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> na matéria seca total das plantas, mostra que houve um equilíbrio nutricional mais eficiente. É conhecido que as plantas têm uma grande necessidade de nutrientes, como K<sup>+</sup>, P, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (Spehar et al. 2011) e a utilização de fontes multinutrientes e rizobactérias nos tratamentos promoveu um fornecimento diversificado dessas fontes, contribuindo para a melhora na nutrição. Portanto, é provável que esses resultados nutricionais refletem em produções mais elevadas ao longo do tempo.

O uso de Remineralizador OM é uma abordagem eficaz e colaborativa para fornecer nutrientes ao solo, como os macronutrientes e micronutrientes, bem como aumentar a produtividade. Embora a utilização tenha sido amplamente aplicado no Brasil devido aos altos custos dos fertilizantes solúveis (THEODORO, 2006; BURBANO, 2022), esses resultados confirmam que ele também pode ser uma solução eficaz em solos do sul do Brasil.

Além disso, o uso de REM é uma alternativa viável para reduzir a dependência de fertilizantes solúveis, que são controlados por poucos países e tornam-se ainda mais restritos devido à guerra no Leste Europeu (BURBANO, 2022). A assimilação dos nutrientes pelas plantas ocorre em um tempo aceitável, apoiando outros estudos que relatam essa capacidade. Esta abordagem pode atender às demandas de diferentes realidades produtivas e é especialmente importante hoje em dia, como uma forma de contribuir para a segurança alimentar global (BURBANO, 2022).

## 6.5 Parâmetros de qualidade e produção de morango sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito com e sem inoculante *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*

Os parâmetros de qualidade dos frutos foram mensurados com sólidos solúveis (SS), acidez total (AT) e SS/AT não houve efeito significativo nos tratamentos. Os tratamentos também não tiveram efeito significativo na produção total dos frutos (tabela 10).

**Tabela 10.** Análise de variância dos parâmetros de qualidade e produção de morangueiro

Fontes de Variação	GL	SS	AT ----- meq L <sup>-1</sup> -----	SS/AT	Produção	
					Unidade planta <sup>-1</sup>	Total g vaso <sup>-1</sup>
Fonte (F)	10	*	ns	ns	ns	ns
Dose	3	*	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	1	ns	ns	ns	ns	ns
F x I	3	ns	ns	ns	ns	ns
Médias		8,54	116,8	0,06	13,41	98,39
CV (%)		13,49	52,05	40,50	28,26	28,97

\* significativo a 5%; ns: não significativo. Fonte: Autor, 2022.

A produção reduzida de frutos está diretamente relacionada à interação entre genótipo e ambiente. Fatores como temperatura e fotoperíodo são cruciais para determinar as variáveis que influenciam a produtividade (Oliveira, 2012). De acordo com Heide et al. (2013), cultivares de curto período de dia, quando cultivadas em locais de altitude, apresentam potencial para produzir frutos eficientemente, desde que as temperaturas fiquem entre 12 a 18 °C, independentemente do fotoperíodo.

Relacionados aos fatores qualitativos das frutas (Tabela 11), as variáveis do teor de sólidos solúveis, acidez total, relação entre SS/AT determinam os principais aspectos que tanto consumidores como produtores almejam nas frutas. Ao adquirirem frutas de morango, os consumidores adotam principalmente os critérios de aparência, cor, tamanho, uniformidade, peso, frescor e pelo balanço entre a docura, aroma e textura, firmeza de polpa (LUNATI, 2006; JOUQUAND et al., 2008; FAGHERAZZI, 2017). A característica do teor dos sólidos solúveis também pode ser afetada pela produção acumulada na maioria das cultivares, ou seja, quanto maior é a produção, menor é a concentração de sólidos solúveis presente nas frutas (BARUZZI et al., 2014; FAGHERAZZI, 2017). No presente estudo não foi verificada correlação negativa entre produção e sólidos solúveis.

**Tabela 11.** Parâmetros de qualidade e produção de morangueiro sob o efeito dos remineralizadores fonolito e olivina melilitito com e sem inoculante *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

Fonte (F)	SS	AT	SS/AT	Produção	
		----- meq L <sup>-1</sup> -----		Unidade planta <sup>-1</sup>	Total g vaso <sup>-1</sup>
Controle	8,0	125,6	0,063	12,0	93,6
Sem rocha+inocul.	9,0	158,7	0,056	15,8	104,0
150 kg K <sub>2</sub> O (Kcl)	7,8	121,5	0,042	14,0	102,8
300 kg de K <sub>2</sub> O (Kcl)	9,0	103,3	0,060	13,0	101,1
600 kg de K <sub>2</sub> O (Kcl)	8,8	90,6	0,043	13,5	94,1
150 kg K <sub>2</sub> O (FN)	8,3	121,5	0,059	12,9	107,1
300 kg K <sub>2</sub> O (FN)	8,5	109,1	0,057	12,1	95,5
600 kg K <sub>2</sub> O (FN)	9,1	87,1	0,061	14,8	107,0
150 kg K <sub>2</sub> O (OM)	8,8	122,1	0,064	14,9	106,2
300 kg K <sub>2</sub> O (OM)	8,4	96,4	0,045	11,1	82,3
600 kg K <sub>2</sub> O (OM)	8,8	144,6	0,043	13,9	88,3
Médias	8,5	138,4	0,059	13,4	98,4
Doses					
0,0	8,5	142,2	0,061	13,9	98,8
150,0	8,3	110,3	0,057	13,9	105,4
300,0	8,6	102,9	0,054	11,9	91,1
600,0	8,9	128,5	0,050	14,2	97,0
Inoculação					
Com Inocul.	8,4	113,5	0,055	13,5	97,4
Sem Incul.	8,6	119,5	0,055	13,4	99,1

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. ns:não significativo pelo teste F. Descrição dos tratamentos: Cloreto de potássio (Kcl); olivina melilito (OM); fonolito (FN). Fonte: Autor, 2022.

Os resultados de produção não apresentaram uma diferença significativa, mas o aumento observado nos tratamentos com remineralizadores sugere que eles podem fornecer nutrientes a longo prazo e melhorar os resultados. Esta hipótese é confirmada pelos dados apresentados por Santos (2016), que observou resposta positiva à aplicação de rocha verde apenas em um período mais longo.

## 7. CONCLUSÃO

O remineralizador olivina melilitito aumenta os teores de K e Ca trocáveis no solo e sua disponibilização às plantas, principalmente quando inoculado com as rizobactérias *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*, entretanto, o fonolito não apresenta esse efeito.

Os remineralizadores olivina melilitito e fonolito liberam fósforo no solo, aumentando a sua disponibilidade às plantas, sendo essa liberação expressivamente maior no primeiro, refletindo o maior teor de P que, provavelmente, ocorre em fosfatos do tipo fosforita.

As rizobactérias presentes no inoculante BiomaPhos® possuem capacidade de solubilizar o fosfato, tanto dos minerais contidos nos mineralizadores, quanto do presente no solo, contribuindo para aumentar a disponibilidade desse nutriente para as plantas.

Os atributos químicos relacionados à acidez do solo (Al, pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>) e os teores de Ca e Mg podem sofrer leve alteração aplicação dos remineralizadores e do KCl e a mesma tendência se observa no índice elaborado com base nos teores de nutrientes nas plantas de morangueiro, especialmente no tratamento com remineralizadores.

O remineralizador OM aumentou os teores e o acúmulo de potássio no fruto e na parte aérea do morangueiro, entretanto, não houve diferenças entre os tratamentos nos parâmetros de qualidade dos frutos testados neste trabalho (SS, AT e SS/AT) e este resultado se repetiu em parâmetros produtivos.

### **Considerações finais**

A incorporação de novas fontes de potássio proveniente de rochas nacionais pode contribuir para a redução da dependência externa em fertilizantes, além de minimizar perdas por lixiviação e custos. Entretanto, essas fontes apresentam baixa solubilidade e, portanto, é importante combinar a técnica de manejo, como a inoculação de microrganismos solubilizadores, para potencializar o efeito na liberação dos nutrientes.

Além disso, é importante destacar a necessidade de pesquisas adicionais sobre a aplicação de remineralizadores em diferentes solos, culturas e espécies florestais, bem como maneiras de acelerar a solubilização desses materiais com microrganismos para fornecer nutrientes para as plantas.

Assim, este trabalho buscou desenvolver um experimento para agregar conhecimento sobre a questão do uso de bactérias associadas aos remineralizadores como forma de

melhorar a qualidade e produtividade da cultura do morangueiro, proporcionando uma agricultura produtiva e mais sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU-EL-SEOUD, Islam I.; ABDEL-MEGEED, Ahmed. Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for maize (*Zea Maize*) under calcareous soil conditions. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 19, n. 1, p. 55-63, 2012.

ABREFEN (2022) **Associação Brasileira dos Produtores de Remineralizadores de Solo e Fertilizantes Naturais** (ABREFEN) Disponível em:  
<https://abrefen.org.br/remineralizadores-de-solo/> Acesso em: 7 de outubro de 2022.

ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura et al. ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A FERTILIZAÇÃO DE SOLOS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 918-932, 2020.

ANJANADEVI, Indira Parameswaran et al. Rock inhabiting potassium solubilizing bacteria from Kerala, India: characterization and possibility in chemical K fertilizer substitution. **Journal of basic microbiology**, v. 56, n. 1, p. 67-77, 2016.

ANTUNES, LEC; BONOW, S.; REISSER JUNIOR, C. Morango: crescimento constante em área e produção. **Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.

AUMOND, J. J.; SCHEIBE, L. F. O Fonolito de Lages – Santa Catarina, um Novo Fundente Cerâmico Brasileiro. **Cerâmica Industrial**, 01(02) Maio/Junho, 1996.

BARUZZI, G. et al. Miglioramento genetico e studi varietali per rinnovare le coltivazioni romagnole. **Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura**, Bologna, v.6, 10-14, 2014.

BAHADIR, P. S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R. Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey. **Turkish Journal of Botany**, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.

BJELIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; TINTOR, B.; MRKOVAČKI, N. Antifungal and plant growth promoting activities of indigenous rhizobacteria isolated from maize (*Zea mays L.*) rhizosphere. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 1, p. 88-98, 2018.

BIOMA-Simbiose. **BiomaPhos®**. Disponível em:  
<https://www.bioma.ind.br/produto/bioma-phos>. Acesso em: 14 de jul. 2021.

BRAGA, A. **INCUBAÇÃO DOS PÓS DE ROCHA OLIVINA MELILITITO E FONOLITO COM ÁCIDO CÍTRICO, *BACILLUS SUBTILIS* E *B. MEGATERIUM* E RESPOSTA NO CULTIVO DO FEIJOEIRO** Dissertação. Mestrado em Ciência do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina Lages, SC. 2022.

BRASIL 2016. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa** nº 05 de 10 de março de 2016. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 mar.2016. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 11 mar. 2022.

Brasil. (2021). **Anuário Estatístico** 2021, Setor de Transformação de Não Metálicos (1st ed.). Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Brasília-DF, Disponível:  
<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologiamineracao-e-transformacaomaterial/publicacoes-1/anuario-estatistico-dosetor-metalurgico-e-dosetor-de-transformacaode-nao-metalicos/anuario-estatitico-2021-setorde-transformacao-de-naometalicos-ano-base-2020.pdf> Acesso em 11 mar. 2022.

BURBANO, Diego Felipe Mosquera et al. Crushed volcanic rock as soil remineralizer: a strategy to overcome the global fertilizer crisis. **Natural Resources Research**, v. 31, n. 5, p. 2197-2210, 2022.

CASAROLI. D.; LIER, Q. J. van. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.59-66, 2008.

CASTRO, C. de et al. Magnésio: manejo para o equilíbrio nutricional da soja. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 2020.

CHOWDAPPA, P.; KUMAR, S. M.; LAKSHMI, M. J.; UPRETI, K. K. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. **Biological control**, v. 65, n. 1, p. 109-117, 2013.

CORTES, G. P. et al. Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária do Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM**. 2010. p. 75-86.

CQFS-RS/SC. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Can dunite promote physiological changes, magnesium nutrition and increased corn grain yield?. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 18, p. 2343-2353, 2019.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A..Productivity of soybean and barley plants cultivated in succession and subjected to different rock powders. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.9, p.59-81, 2021.

DALMORA, Adilson Celimar et al. Understanding the mobility of potential nutrients in rock mining by-products: An opportunity for more sustainable agriculture and mining. **Science of the Total Environment**, v. 710, p. 136240, 2020.

de Freitas Duarte, N.; Oliveira Paiva, C.A.; Pagano, M.C.; Correa, E.J.A. Phosphate Solubilization by Microorganisms. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 257–282.

DE RESENDE, Álvaro Vilela et al. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, v. 9, n. 1, 2006.

**Dinamisa Agrominerais - Pó de rocha multinutriente para remineralização do solo.** Disponível em: <<https://www.dinamisa.com.br/>> Acesso em: 06 de Dez. 2020.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro De Classificação De Solos**. Brasília, Embrapa, 2018.

**Embrapa 1997 - Solução de acetato de amônio em pH 7,0 pelo método de análise de solo da Embrapa**, 1997 Disponível em  
[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos\\_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf) Acesso 11 maio de 2021.

**Embrapa 2019 - Produto com tecnologia brasileira pode reverter dependência externa por adubos fosfatados** Disponivel em  
<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados> Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

ERNANI, P.R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2<sup>a</sup>ed., Lages: **O autor**, p. 256, 2016.

ERNANI, P. R. et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 393–401, abr. 2007.

ESSINGTON, M.E. Soil and water chemistry. An integrative approach. **CRC Press**. New York, 2nd ed. 656p., 2015.

FAGHERAZZI, Antonio Felippe. **Adaptabilidade de novas cultivares e seleções de moranguinho para o Planalto Sul Catarinense.** Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC. 144p, Lages, SC, 2017.  
 FAO. Faostat 2017. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agropecuária**, 35(6), 1039–1042.

FIEDLER, Lígia et al. PRODUÇÃO E MERCADOS DO MORANGO ORGÂNICO NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL (PR). **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 9, n. 1, p. 40-59, 2020.

FRANÇA, Silvia Cristina Alves et al. Avaliação de extração de potássio de nefelina sienito para uso como remineralizador de solos. 2019.

FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, p. 715-720, 2006.

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

GILLMAN, G.P., The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.465-468, 1980.  
 GUPTA, Govind et al. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. **J Microb Biochem Technol**, v. 7, n. 2, p. 096-102, 2015.

HANG, N. T. T.; OH, S. O.; KIM, G. H.; HUR, J. S.; KOH, Y. J. *Bacillus subtilis* S1-0210 as a biocontrol agent against *Botrytis cinerea* in strawberries. **The Plant Pathology Journal**, v. Grego21, n. 1, p. 59-63, 2005.

HEIDE, O.M.; STAVANG, J.A.; SØNSTEBY, A. Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries—a review. **The Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.88, n.1, 1-18, 2013.

JOUQUAND, J. et al. A sensory and chemical analysis of fresh strawberries over harvest dates and seasons reveals factor that affect eating quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.133, n.1, 859-867, 2008.

KALAYU, Girmay. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, 2019.

KOUR, Divjot et al. Potassium solubilizing and mobilizing microbes: biodiversity, mechanisms of solubilization, and biotechnological implication for alleviations of abiotic stress. In: **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**. Elsevier, 2020. p. 177-202.

KRUKER, G. **ADUBAÇÃO COM PÓ DE ROCHA E PLANTAS DE COBERTURA EM SUCESSÃO SOJA (*Glycine max*) E TRIGO (*Triticum aestivum*)** Dissertação. Mestrado em Ciência do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina Lages, SC. 2019.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1969-1975, 2008.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. & ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.56, p. 3-9, 2000.

LODI, L. A. Solubilização biológica de rocha potássica para aplicação como biofertilizante. **Embrapa Instrumentação-Tese/dissertação (ALICE)**, 2021.

LONGO, ÁGATA. **MINERALOGIA E GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS ALCALINAS E ULTRABÁSICAS DO COMPLEXO ALCALINO DE LAGES**. CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS-CAV PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO-PPGCS. 2020. p. 19. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina.

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECATO-ANTONINI, S. R. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço e Geografia**, v. 09, n. 01, p.1-17, 2006.

Loureiro, Francisco Eduardo Lapido, et al. "Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos." CETEM/MCT, 2010.

LUNATI, F. Le fragole italiane in cerca di un posto al solo. **Rivista di Frutticoltura e Ortofloricultura**, Bologna, n.6, 9-10, 2006.

MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L. & CORAZZA, E.J. (2005) Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 30. Recife, Anais. Recife: UFRPE/SBCS.

MADAIL, João Carlos Medeiros et al. **Avaliação econômica dos sistemas de produção de morango: convencional, integrado e orgânico**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.

Martins, É. D. S., Oliveira, C. G. D., Resende, Á. V. D., & Matos, M. S. F. D. (2008). **Agrominerais-Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura.** CETEM/MCTI.

MARTINS, E. DE S. et al. **Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos.** CETEM/MCT., 2010.

MENDES, A.M.S.; SILVA, D.J.; FARIA, C.M.B. & MORAIS, A.T. (2006) Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de nutrientes para milheto: 1. Macronutrientes. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 16. Aracajú, Anais. Aracajú: UFS/SBCS.

MOHITE, B. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 3, p. 638-649, 2013.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: Ed. **UFLA**, 2006.

MORETTI, Celso Luiz. Investir em pesquisa agropecuária traz retorno para a sociedade brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 3, 2020.

MURPHY, J.; RILEY, J. P.. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural Waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p.31-36, 1962.

OLIVEIRA, A.C.B.; BONOW, S. Novos desafios para o melhoramento genético da cultura do morangueiro no Brasil. **Informativo agropecuário**, Belo Horizonte, v.33, n.268, 21-26, 2012.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação. **Embrapa Milho e Sorgo-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2021.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. **Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja.** 2022. Brasília, DF: Embrapa, 2022. p.165-166.

OLIVEIRA, S. M. B. Gênese da Bauxita de Lages, SC. Bol. IG-USP, **Série Científica**, v. 16, p.46-81, 1985.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217542/1/Bol-210.pdf>. Acesso em: 7 de outubro de 2022.

PEREIRA, Micaela Benigna et al. Importância do Pó de Rocha para os Sistemas de Produção Agroecológica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

PNF. BRASIL. Decreto nº 10.991, de 11 de março de 2022. Institui o **Plano Nacional de Fertilizantes 2022–2050** e o Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas. Disponível em:

<https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: 7 de outubro de 2022.

RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes*. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 2011.

RIBEIRO, G. M. CARACTERIZAÇÃO DE PÓS DE ROCHAS SILICÁTICAS, AVALIAÇÃO DA SOLUBILIDADE EM ÁCIDOS ORGÂNICOS E POTENCIAL DE LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES COMO REMINERALIZADORES DE SOLOS AGRÍCOLAS. Tese (Doutorado em Ciência do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina - Lages, SC.2018.

RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; NASCIMENTO, M.T.; SOBRINHO, D.A.S.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L. & CORAZZA, E.J. (2005) Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I. Respostas da soja e do milheto. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 30. Recife, Anais. Recife: UFRPE/SBCS.

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A. Endophytic Bacillus strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49S, p. 40-46, 2018b.

RIBEIRO, G. M., ALMEIDA, J. A. DE, LEMOS, L. S., SCHMITT, C., PEREIRA, G. E. Solubilização de fonolito, basalto e olivina Melilitito em ácido cítrico e ácido acético. **Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. pp 39 – 44. 2017.

ROJAS-MOLINA, A. M.; PANDOLFO, C.; RICCE, W. da S.; DA SILVA, A. L. Diagnóstico da produção de morango em Santa Catarina em 2015. **Agropecuária Catarinense**, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 65-70, 2020.

SANTI, F. C.; COUTO, W. R. Morango em cultivo orgânico. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, v. 2, n. 1, 2012.

SANTOS, Wedisson Oliveira et al. Produção e avaliação de fertilizantes potássicos a partir de rocha silicática. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 179, n. 4, pág. 547-556, 2016.

SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. Bacillus species as versatile weapons for plant pathogens: a review. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 31, n. 3, p. 446-459, 2017.

SILVA, Aline Santiago de Oliveira da. Agricultura familiar no estado de Santa Catarina: avaliação dos impactos ambientais e de trabalho dos produtores de morangos. **Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**, 2019. Acesso: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/2488>

SILVA, A.O.; NETO, J.N.; MANCUSO, M.A.C.; COSTA, C.H.M.C.; MENEGALE, M.L.C.; CASTRO, G.S.A.; SORATTO, R.P. & CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade da cultura do milho em função de doses de fertilizante potássico Agrícola a partir de Rocha Fonolito. In: **XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2010, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo.

SILVA, U. C. et al. Biossolubilização de potássio in vitro a partir da rocha fonolito por microrganismos do solo. **Embrapa Milho e Sorgo-Dокументos (INFOTECA-E)**, 2015.

SIRGAS 2000 Disponível em: <<https://www.sirgas.org/pt/sirgas-realizations/sirgas2000/>>. Acesso em: 11 de fev. 2021.

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. da S.; SANTOS, R. L. de B. DESEMPENHO AGRONÔMICO E RECOMENDAÇÕES PARA CULTIVO DE QUINOA (BRS SYETETUBA) NO CERRADO. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 145–147, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/9395>. Acesso em: 10 jan. 2023.

Spido, Diou Roger Ramos, **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL AGRONÔMICO DOS PÓS DE ROCHA DIABÁSIO E NEFELINA-SIENITO COMO REMINERALIZADORES DE SOLO**. 2019. Dissertação (mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

SUPANJANI, HYO, S.H., JAE, S.J., KYUNG, D.L. Rock phosphate-potassium and rock solubilising bacteria as alternative, sustainable fertilizers. **Agron. Sustain. Dev.** 26, 233–240. 2006.

SWOBODA, Philipp; DÖRING, Thomas F.; HAMER, Martin. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150976, 2022.

TAVARES, Laene de Fátima et al. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, n. 2, p. 89-98, 2018.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J.. **Análise de solo plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

Theodoro, Suzi. A INFLUÊNCIA DOS EXTRATORES NOS RESULTADOS DE ANÁLISES DE FERTILIDADE DOS REMINERALIZADORES. In: **XV Congresso Brasileiro de Geoquímica International**. Symposium on Climate and Geodynamics of Amazon Basin, 2015, v.1 Brasília.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. **HOLOS**, 5: 52-64, 2015.

UNESP - Departamento de Petrologia e Metalogenia - Rio Claro/SP, **Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert**. 2018. Disponível em: <<https://museuhe.com.br/>>. Acesso em 21 ago. 2022.

UROZ, Stéphane et al. Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and mechanisms. **Trends in microbiology**, v. 17, n. 8, p. 378-387, 2009. LIN, Qi-Mei et al. Identification and practical application of silicate-dissolving bacteria. **Agricultural Sciences in China**, v. 1, n. 1, p. 81-85, 2002.

VELLOSO, C. C. V.; OLIVEIRA, C. A.; GOMES, E. A.; LANA, U. G. de P.; CARVALHO, C. G.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; SOUSA, S. M. Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, fiaa157, 2020.

WAHYUDI, A. T.; ASTUTI, R. P.; WIDYAWATI, A.; MERYANDINI, A.; NAWANGSIH, A. A. Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria. **Journal of Microbiology Indonesia**, v. 3, n. 2, p. 34-40, 2011.

YOUSSEF, G.H., SEDDIK, W.M., OSMAN, M.A. Efficiency of natural minerals in presence of different nitrogen forms and potassium dissolving bacteria on peanut and sesame yields. **J. Am. Sci.** 6, 647–660.2010.