

## BIOSSOLUBILIZAÇÃO DE ROCHAS E RESÍDUOS DE ROCHAS COMO FONTES ALTERNATIVAS DE FERTILIZANTES PARA A AGRICULTURA

*BIOSOLUBILIZATION OF ROCKS AND ROCK RESIDUES AS ALTERNATIVE SOURCES  
OF FERTILIZERS FOR AGRICULTURE*

NASCIMENTO, Mariana Ruiz Frazão<sup>1,4</sup>; ROCHA, Daniele Leonel<sup>2,4</sup>; VIDEIRA, Sandy Sampaio<sup>3</sup>; DE SOUZA, Ivana Miguel<sup>4</sup>; CUNHA, Cláudia Duarte<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Pesquisadora PCI - CNPq - Centro de Tecnologia Mineral

<sup>2</sup>Pesquisadora - FINEP - Centro de Tecnologia Mineral

<sup>3</sup>Pesquisadora - FAPERJ - Centro de Tecnologia Mineral

<sup>4</sup>Graduanda – BIC - CNPq - Centro de Tecnologia Mineral

<sup>4</sup>Pesquisadora do Centro de Tecnologia Mineral

[msantiago@cetem.gov.br](mailto:msantiago@cetem.gov.br)

**RESUMO.** O potássio (K) é um nutriente essencial para todos os organismos vivos, sendo um macronutriente fundamental para o desenvolvimento das plantas. As rochas que possuem elevados teores de potássio podem ser aproveitadas como fontes alternativas de fertilizantes para aplicação direta no solo, com o objetivo de atender a alta demanda agrícola brasileira, reduzindo assim, a dependência da importação de fertilizantes. Além disso, é sabido que muitos microrganismos presentes no solo têm a capacidade de solubilizar o potássio contido nos minerais. Nesse contexto, o presente estudo buscou avaliar o potencial de bactérias isoladas de um solo tropical, na solubilização do potássio presente em rochas e resíduos de rocha. Foram isoladas 72 estirpes bacterianas, das quais 5 apresentaram potencial para biossolubilização de potássio, a partir do teste de halo. Os ensaios de biossolubilização de potássio *in vitro* utilizando as estirpes selecionadas foram realizados em meio Aleksandrov, com a adição do pó de rocha como única fonte de potássio no meio. Os resultados mostraram que todas as estirpes bacterianas selecionadas foram capazes de solubilizar o potássio presente nos pós de rocha. Dentre as estirpes testadas, a IA13 se destacou por ter apresentado o maior percentual de extração de potássio em relação ao controle abiótico (259,82% para a Amostra 8, 300% para a Amazonita e 216,13% para o Kamafugito). Dessa forma, as estirpes bacterianas avaliadas neste estudo demonstraram potencial para serem testadas em processos biohidrometalúrgicos. Esses resultados são considerados promissores, frente aos desafios e a complexidade da remoção de potássio por rota biológica.

**Palavras-chave:** Biossolubilização; pó de rocha; potássio; microrganismos.

**ABSTRACT.** Potassium (K) is an essential nutrient for all living organisms and serves as a fundamental macronutrient for plant development. Rocks abundant in potassium can serve as alternative sources for direct soil application as fertilizers, aiming to reduce Brazil's agricultural demand, and reduce reliance on imported fertilizers. Additionally, it is well established that numerous soil microorganisms have the capacity to solubilize potassium found in minerals. In this context, this study sought to evaluate the potential of bacteria isolated from a tropical soil, in solubilizing potassium present in rocks and waste rock. A total of 72 bacterial strains were isolated, of which 5 showed potential for potassium biosolubilization, as determined through the halo test conducted on plates. In vitro potassium biosolubilization assays employing the selected strains were conducted in Aleksandrov's medium, with rock powder as the sole source of potassium in the culture medium. The results demonstrated that all tested bacterial strains

were capable of solubilizing the potassium present in the rock powder. Among the strains tested, IA13 exhibited the highest percentage of potassium extraction in comparison to the abiotic control (259.82% increase for Sample 8, 300% for Amazonite and 216.13% for Kamafugito). Consequently, the bacterial strains tested in this study exhibit potential for further application in biohydrometallurgical processes. These findings hold promise, considering the challenges and complexity associated with biological potassium extraction.

**Keywords:** Biosolubilization; rock powder; potassium; microorganisms.

## INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um dos 16 elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento de animais, seres humanos e plantas. No processo de nutrição vegetal é um macronutriente importante para o desenvolvimento, pois desempenha papéis significativos na ativação de vários processos metabólicos, incluindo fotossíntese, síntese de proteínas e enzimas, bem como na resistência a doenças, pragas, entre outros (MEENA et al., 2016; SATTAR et al., 2018; NAIN et al., 2023). É considerado para as plantas o terceiro nutriente mais importante depois do nitrogênio (N) e fósforo (P) (SOUMARE; SARR; DIÉDHIOU, 2023).

Em geral, os solos contêm quantidades substanciais de potássio, porém, apenas de 1% a 2% do potássio total presente no solo encontra-se prontamente disponível (SOUMARE; SARR; DIÉDHIOU, 2023; NAIN et al., 2023). Como a maior parte do potássio contido nos minerais presentes no solo é insolúvel, este nutriente se encontra indisponível para a planta. A liberação ocorre naturalmente por meio da decomposição desses minerais, sendo um processo que demanda um tempo considerável para atender às necessidades agrícolas. Consequentemente, a baixa solubilidade limita a capacidade de fornecimento direto de nutrientes às plantas, tornando a aplicação de fertilizantes no solo uma prática necessária (ALVES et al., 2010; SCHUELER et al., 2021).

O Brasil é responsável por cerca de 6% do consumo global de fertilizantes, sendo o segundo maior consumidor do mundo. O crescimento da demanda por fertilizantes no Brasil tem superado a média de crescimento mundial, resultando em um aumento significativo das importações. A situação se torna ainda mais preocupante quando analisamos fertilizante potássico, pois, de acordo com os dados do Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA) do ano de 2020, o país importou cerca de 94% do potássio utilizado na agricultura nacional. Portanto, o Brasil como grande consumidor de fertilizantes, precisa direcionar suas pesquisas para a exploração de fontes alternativas de potássio, com o objetivo de reduzir a dependência das importações de fertilizantes químicos, visando atender à crescente demanda agrícola (BRASIL, 2023).

Nesse contexto, o desenvolvimento de novos processos que visem obter nutrientes, especificamente potássio a partir de rochas existentes no território nacional seria benéfico tanto para o setor agrícola quanto para o setor mineral (SWOBODA; DORING; HAMER, 2022). No entanto, devido a dificuldade de liberação desse elemento a partir das rochas, faz-se necessário a escolha de uma rota adequada, face às diferentes estruturas mineralógicas existentes, para estabelecer um processo eficiente de disponibilização dos nutrientes nelas encontrados (BAGHEL et al., 2020).

Assim, o desenvolvimento de novas tecnologias para a solubilização de potássio a partir de agrominerais utilizando rotas biológicas surge como uma alternativa interessante na busca por soluções para o suprimento de fertilizantes no mercado nacional (ALI et al., 2019). Além do aproveitamento direto das rochas, como fontes de nutrientes para as plantas, o desenvolvimento de um processo biohidrometalúrgico para a solubilização de potássio pode

configurar uma alternativa capaz de auxiliar na obtenção de fertilizantes a serem utilizados na agricultura (EL-SHABRAWY et al., 2019)

No grupo dos microrganismos solubilizadores de potássio podem ser encontrados tanto bactérias, dos gêneros *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Acidithiobacillus*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Pantoea*, *Microbacterium*, *Agrobacterium*, *Rhizobium* quanto fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, já descritos na literatura (MEENA et al., 2015, PADHAN et al., 2019, BASAK et al., 2020). Os microrganismos envolvidos na biossolubilização operam através de diversos mecanismos para disponibilizar o potássio, entre eles a liberação de ácidos orgânicos, ácidos inorgânicos, produção de exopolissacarídeos (EPS) e formação de biofilme (PADHAN et al., 2019; NAIN et al., 2023).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes estirpes bacterianas isoladas de solo agrícola na solubilização *in vitro* de potássio presente em diferentes rochas e resíduos de rochas brasileiras, e identificar as condições de processo mais adequadas para promover uma maior liberação desse elemento específico.

## METODOLOGIA

### *Rochas e resíduos de rochas potássicas utilizadas nos ensaios*

As amostras de rochas e resíduos minerais utilizados no experimento foram: Amazonita, que é uma variedade do feldspato microclínio, proveniente de Potiraguá, BA; Kamafugito, uma rocha de origem vulcânica, máfica e ultramáfica, e a Amostra 8 (pó de brita), um resíduo obtido de uma mineradora localizada na região Centro-Oeste do Brasil. As amostras continham 5.28%, 3% e 1.18% de teor de  $K_2O$  em suas composições, respectivamente.

### *Isolamento e seleção de estirpes bacterianas da rizosfera de sorgo forrageiro para ensaios de solubilização de potássio*

Inicialmente foi realizado um ensaio agrônômico, conduzido em casa-de-vegetação, utilizando vasos contendo 8 kg de terra proveniente do campo experimental da Embrapa Agrobiologia, que apresentava baixa fertilidade natural, principalmente baixos teores de fósforo e potássio (obtida no âmbito do Projeto Universal do CNPq intitulado “Respostas do microbioma de solo agrícola à aplicação de remineralizadores como fontes alternativas de nutrientes para as plantas”). Neste experimento foram realizados 4 tratamentos em quadruplicata nas seguintes condições: (i) não fertilizado (controle), (ii) fertilizado com resíduo mineral (Amostra 8 - Pó de brita), (iii) fertilizado com resíduos da moagem de Amazonita e (iv) fertilizado com Kamafugito, pelo período de aproximadamente 145 dias que incluiu a incorporação dos compostos com a terra por 15 dias, plantio de crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) e corte da parte aérea destas plantas para deposição das mesmas sob a terra por mais 45 dias, incorporação e manejo por mais 15 dias e por fim o plantio das sementes de sorgo forrageiro com a colheita final em 70 dias após o plantio.

A partir deste ensaio, foi realizado o isolamento de estirpes bacterianas utilizando amostras de solo rizosférico obtidas da última etapa do processo (ao final dos 145 dias). Amostras de 5 g de solo proveniente dos diferentes tratamentos foram adicionadas em frascos erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de solução salina. Os frascos foram agitados à 150 rpm e 30 °C por 2 horas. A partir destas soluções, foram realizadas diluições seriadas até  $10^{-6}$  e 0.1 ml da cada diluição foi adicionado em placas de Petri contendo meio TSA (Tryptic Soy Agar) utilizando a técnica *Spread Plate*. As placas foram incubadas em estufa à  $30 \pm 1$  °C por 24/48 horas e as colônias foram selecionadas de acordo com suas características morfológicas.

As estirpes bacterianas selecionadas foram testadas quanto a sua pureza após esgotamento e repicadas para tubo de ensaio contendo o mesmo meio, sendo armazenadas a 4 °C para uso posterior.

Para detecção do potencial de solubilização de potássio pelas estirpes isoladas foi realizado o teste do halo (RAJAWAT et al., 2016) em placas de Petri contendo meio Aleksandrov modificado (composição em g/L: 5.0 glicose; 0.5 MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 0.005 FeCl<sub>3</sub>; 0.1 CaCO<sub>3</sub>; 2.0 CaH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>), contendo 15 g/L de Agar nutriente e 2.0 g/L de cada pó de rocha como fonte de potássio (HU et al., 2006). O corante azul de bromotimol (concentração de 0.25%) foi adicionado ao meio antes da esterilização. Foi adicionada em cada placa uma microgota da suspensão bacteriana preparada a partir de um pré-inóculo de 24 horas das estirpes selecionadas. As placas foram incubadas em estufa a 30 ± 1 °C por 2–3 dias. A detecção do potencial de solubilização do potássio pelas estirpes isoladas foi baseada na mudança da coloração do meio, de azul esverdeado para amarelo.

### *Ensaio de biossolubilização de potássio*

As estirpes isoladas que apresentaram resposta no teste do halo foram testadas em ensaios de biossolubilização, em meio Aleksandrov (HU et al., 2006). Além das estirpes isoladas foi testada também uma estirpe do gênero *Paenibacillus* proveniente do banco de coleção de culturas do Laboratório de Biotecnologia (Labiotec) do CETEM, conhecida solubilizadora de potássio. O pH do meio de cultura foi ajustado para 7 antes da esterilização. Os pós de rochas testados (1.0 % p/v) foram esterilizados separadamente antes da adição ao meio de cultura, como única fonte de potássio. Os experimentos foram conduzidos em frascos erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de meio de cultura. O inóculo foi padronizado em 10% (v/v) para cada estirpe após a realização das suas curvas de crescimento. Os frascos foram agitados por 10 dias a 30 °C e 150 rpm. Ensaio controle foram realizados contendo apenas o meio de cultura e o pó de rocha e todas as condições (bióticas e abióticas) foram feitas em triplicata.

Ao final do experimento, as amostras foram centrifugadas a aproximadamente 4500 rpm à 4 °C por 20 minutos e os sobrenadantes foram filtrados utilizando membranas de 0.22 µm. A concentração de potássio em solução (mg.L<sup>-1</sup>) foi determinada por espectrometria de absorção atômica (LIU et al., 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Isolamento e seleção de bactérias com potencial de biossolubilização de potássio*

Foram isoladas 72 estirpes bacterianas a partir dos 4 tratamentos estudados, sendo 16 do tratamento sem adição de fertilizante, controle (i), 14 do tratamento com fertilização utilizando resíduo mineral – Pó de brita (Amostra 8) (ii), 17 do tratamento com fertilização utilizando resíduos da moagem de Amazonita (iii) e 25 do tratamento com fertilização utilizando pó de rocha Kamafugito (iv). Foi realizado o teste do halo para triagem rápida de microrganismos com capacidade de solubilização de potássio, com base na melhor visualização da formação dos halos ao redor da colônia. A utilização do corante azul de bromotimol no meio Aleksandrov (PARMAR; SINDHU, 2018; RAJI; THANGAVELU, 2021) permite visualizar a mudança de coloração do meio, de verde azulado para amarelo, que é um indicativo da produção de ácidos orgânicos pelos microrganismos, como mecanismo para solubilizar principalmente P e K contidos nas rochas e resíduos de rochas (ARIA et al., 2010; BASHIR et al., 2018).

Das 72 estirpes avaliadas, 5 apresentaram potencial para solubilização de potássio. Vale ressaltar que após o crescimento das estirpes isoladas da amostra proveniente do plantio sem adição de pó de rocha (tratamento i), nenhuma apresentou mudança na coloração do meio. Em contrapartida, 2 estirpes bacterianas isoladas de solo contendo a rocha Amazonita (tratamento iii) e 3 estirpes bacterianas isoladas de solo contendo a rocha Kamafugito (tratamento iv) apresentaram mudança de coloração. Apenas para a condição em que o solo foi fertilizado com resíduo de mineração (Amostra 8 – tratamento ii), cujo teor de K<sub>2</sub>O era muito baixo (1,8%), não houve estirpe isolada que tivesse ocasionado mudança de coloração no meio, assim como foi observado no tratamento sem fertilização.

A Tabela 1 mostra os resultados referentes ao tamanho do halo formado pelos 5 microrganismos que apresentaram potencial para biossolubilização de K e a estirpe *Paenibacillus polymyxa*, utilizando os 3 pós de rocha em estudo. Os microrganismos que apresentaram os maiores tamanhos de halos foram os isolados IA4 e IA13, e a estirpe *Paenibacillus polymyxa*, para todos os pós de rocha testados.

**Tabela 1** – Tamanhos dos halos formados pelas estirpes bacterianas selecionadas.

Pó de rocha	Estirpes bacterianas	Halo
Amostra 8	IA4	++
	IA13	++
	IK7	+
	IK10	+
	IK16	+
	<i>Paenibacillus</i>	+
Amazonita	IA4	++
	IA13	+
	IK7	+
	IK10	+
	IK16	+
	<i>Paenibacillus</i>	+
Kamafugito	IA4	++
	IA13	++
	IK7	+
	IK10	+
	IK16	+
	<i>Paenibacillus</i>	++

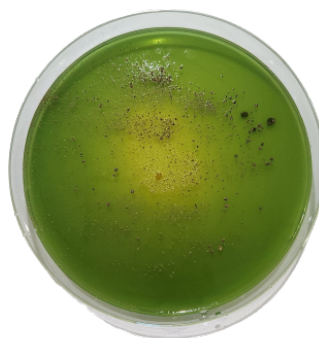
+, halos < 0,1 cm ao redor da colônia

++, halos > 0,1 cm ao redor da colônia

Fonte: Próprio autor

Na Figura 1 é possível visualizar a imagem de uma placa de Petri com o meio de cultivo contendo o indicador azul de bromotimol. É possível notar a mudança na coloração após o período de incubação de 48h. O uso do corante azul de bromotimol demonstrou ser eficaz na identificação preliminar de microrganismos capazes de solubilizar potássio, o que também foi corroborado por diversos estudos anteriores (PARMAR; SINDHU, 2013; RAJAWAT et al., 2016; AZIZAH et al., 2020; BOUBEKRI et al., 2021; ONYEWENJO et al., 2021).

**Figura 1** – Mudança na coloração do meio após o período de incubação da estirpe IA13 por 48h.



Fonte: Próprio autor

Esses resultados mostram que as 5 estirpes isoladas apresentam potencial para uma possível utilização como inoculantes em solos agrícolas, assim como em ensaios biohidrometalúrgicos para obtenção de potássio em solução, que corresponde a uma alternativa tecnológica sustentável para a produção de fertilizantes potássicos. A partir dos resultados obtidos, foram realizados ensaios de biossolubilização para quantificar o potássio extraído dos pós de rochas.

#### *Ensaio prospectivos de biossolubilização*

Os resultados da solubilização de potássio pelas estirpes bacterianas estão apresentados na Tabela 2. É possível observar que todos os microrganismos testados foram capazes de remover potássio das três rochas utilizadas nos ensaios. As concentrações de K obtidas pelos microrganismos variaram de 200 a 500 mg.kg<sup>-1</sup>. Os maiores valores de solubilização foram obtidos pela bactéria isolada da rocha Amazonita (IA13) nos três pós de rochas testados, alcançando valores de solubilização de 500 mg.kg<sup>-1</sup> para a Amazonita, 490 mg.kg<sup>-1</sup> para o Kamafugito e 340 mg.kg<sup>-1</sup> para a Amostra 8, após 10 dias de ensaio utilizando meio Aleksandrov. Em geral, os mecanismos de biossolubilização de potássio presente em alguns minerais podem envolver a capacidade de alguns microrganismos em produzir ácidos orgânicos, sideróforos, polissacarídeos capsulares e ligantes orgânicos.

A diminuição do pH promove a liberação de prótons que facilita o processo de solubilização (ZARJANI et al., 2013; PARMAR; SINDHU, 2013; GROUDEV, 1987; SATTAR et al., 2018). Os polissacarídeos podem adsorver fortemente os ácidos orgânicos e aderir à superfície do mineral, resultando em uma área de alta concentração de ácidos (LIU et al., 2012). No presente estudo, em todos os ensaios houve diminuição do valor pH e, conseqüentemente aumento das concentrações de potássio, sugerindo produção de ácidos orgânicos pelas estirpes testadas. Os resultados obtidos foram satisfatórios quando comparados aos resultados recentes obtidos na literatura (AZIZAH et al., 2020; SUN et al., 2020; BOUBEKRI et al., 2021; YONGMEI; PANPAN 2021; CHINACHANTA; SHUTSRIRUNG, 2021).

**Tabela 2** – Concentração e percentual de solubilização de potássio pelas estirpes isoladas e pela estirpe de *Paenibacillus polymyxa* após 10 dias de incubação em meio Aleksandrov.

Pó de rocha	Estirpes bacterianas	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	Extração (%)	pH
Amostra 8	Controle	94,5 ± 07,77	0,96 ± 0,00	7
	IA4	270,0 ± 14,14	2,76 ± 0,14	6
	IA13	340,0 ± 00,00	3,47 ± 0,00	6
	IK7	245,0 ± 21,21	2,50 ± 0,08	6
	IK10	205,0 ± 21,21	2,09 ± 0,21	6
	IK16	280,0 ± 70,71	2,86 ± 0,72	6
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	210,0 ± 14,14	2,14 ± 0,02	5
Amazonita	Controle	125,0 ± 07,07	0,26 ± 0,01	7
	IA4	395,0 ± 07,07	0,82 ± 0,01	6
	IA13	500,0 ± 14,14	1,04 ± 0,03	6
	IK7	295,0 ± 21,21	0,61 ± 0,04	6
	IK10	310,0 ± 14,14	0,64 ± 0,03	6
	IK16	250,0 ± 42,42	0,52 ± 0,09	6
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	200,0 ± 28,28	0,41 ± 0,06	5
Kamafugito	Controle	155,0 ± 07,07	0,62 ± 0,03	7
	IA4	330,0 ± 00,00	1,33 ± 0,00	6
	IA13	490,0 ± 42,42	1,97 ± 0,17	6
	IK7	270,0 ± 00,00	1,08 ± 0,00	6
	IK10	275,0 ± 07,07	1,10 ± 0,03	6
	IK16	285,0 ± 35,35	1,14 ± 0,14	6
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	260,0 ± 28,28	1,04 ± 0,11	5

Isolado Amazonita 4: IA4; Isolado Amazonita 13: IA13; Isolado kamafugito 7: IK7; Isolado kamafugito 10: IK10; Isolado kamafugito 16: IK16. Fonte: Próprio autor

Dentre os valores de concentração de potássio obtidos nos ensaios de biossolubilização com o isolado IA13, o maior valor (3,47% p/p) foi alcançado na presença da Amostra 8. Em um estudo realizado por Matias et al. (2019) foi avaliado o desempenho do isolado bacteriano *Acidithiobacillus thiooxidans* FG-01 na biossolubilização de potássio, utilizando 20 g/L de rocha verde, por 49 dias, em meio de cultura 9 K (SILVERMAN; LUNDGREN, 1959). Nesse estudo foram obtidos 6,6% de potássio a partir da rocha verde. Embora o resultado tenha sido superior aos obtidos pelas estirpes bacterianas deste estudo, é importante notar que o tempo de ensaio foi cinco vezes superior, com o dobro da densidade de polpa (pó de rocha no meio de cultura), o que aumenta significativamente os custos do processo.

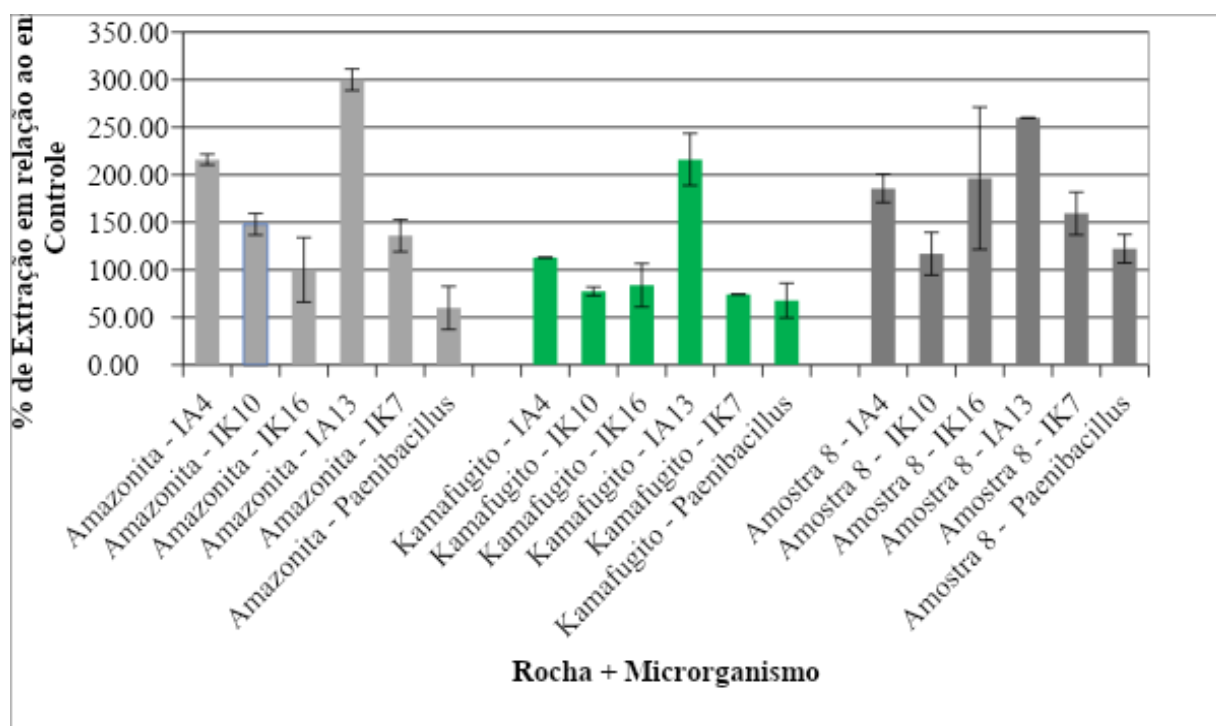
Além disso, em um estudo realizado por Schueler et al. (2021) foram avaliadas as estirpes bacterianas *Burkholderia* sp., *Bacillus* sp., *C. Glathei*, *P. caribensis* isoladamente além de um consórcio contendo todas, nos ensaios de biossolubilização utilizando meio Aleksandrov, e a rocha verde, por 15 dias. Os resultados do percentual de extração de potássio foram de 0,68%, 0,61%, 0,48%, 0,50% e 0,58%, respectivamente. Estes resultados mostram que, apesar do tempo de processo ter sido maior, os valores percentuais de extração de potássio foram inferiores aos obtidos no presente estudo.

Vale ressaltar, que apesar de o maior valor de concentração de potássio no meio (500 mg.kg<sup>-1</sup>) ter sido obtido para o isolado IA13 na presença da rocha Amazonita, o percentual de

extração foi o menor (1,04%) em função do maior teor de  $K_2O$  presente nesta amostra, quando comparado a Amostra 8. Da mesma forma, observou-se que com o uso da Amazonita, os menores percentuais de extração de potássio foram obtidos para todos os microrganismos testados. Isto pode ter ocorrido devido às diferentes composições mineralógicas das amostras testadas. Em geral, os feldspatos possuem uma estrutura de rede tridimensional de Si e Al, coordenada tetraedricamente com oxigênio, que precisa ser destruída para a liberação do potássio. Dessa forma, é sugerido que feldspatos necessitam de escalas de tempo mais longas para a biossolubilização de potássio. Tais informações demonstram que ensaios abordando as mesmas condições físico-químicas e biológicas, podem apresentar diferentes resultados de solubilização, devido à diferença de estrutura dos minerais.

Na Figura 2, é apresentado o gráfico contendo a concentração de potássio no meio para todas as condições testadas em relação ao ensaio controle abiótico. O maior percentual de extração de potássio em relação ao controle (aumento de 300%) foi obtido com a utilização da rocha Amazonita na presença do microrganismo IA13.

**Figura 2** – Extração de K(%) em meio de cultura contendo o pó de rocha e os microrganismos em relação ao % de extração do controle abiótico (somente o pó de rocha).



Fonte: Próprio autor

Ainda de acordo com o gráfico é possível observar que todos os ensaios conduzidos na presença dos diferentes microrganismos, apresentaram percentuais de extração de potássio superiores a 50% quando comparados ao ensaio controle. O menor aumento percentual na extração de potássio em relação ao controle (aumento de 60%) foi obtido com o microrganismo *Paenibacillus polymyxa* e a rocha Amazonita. Em comparação com os demais microrganismos, os menores valores percentuais de extração de potássio em relação ao controle foram obtidos quando a rocha Kamafugito foi utilizada. Em um estudo conduzido por Sarikhani et al. (2018), o potencial de biossolubilização de potássio por um isolado bacteriano do gênero *Pseudomonas* foi avaliado em meio de cultura Aleksandrov, utilizando os minerais moscovita e biotita. Nesse



estudo foram observados aumentos na extração de potássio de 127% e 188% em relação ao controle, respectivamente.

Neste contexto, o presente trabalho demonstrou a potencialidade de diferentes microrganismos isolados de um solo suplementado com pó de rocha, na biossolubilização de potássio *in vitro*. Foi observado que os valores de remoção de potássio obtidos estão de acordo com os encontrados na literatura. Com isso, tais resultados impulsionam a adoção de novas estratégias e rotas de biossolubilização para obter maiores valores de remoção de potássio a partir das rochas.

## CONCLUSÃO

A partir das 72 estirpes bacterianas isoladas de solo rizosférico, 5 foram capazes de extrair o potássio das rochas em 10 dias de processo, utilizando meio Aleksandrov, e diferentes pós de rocha como fonte única de potássio. De acordo com os resultados obtidos, os ensaios de biossolubilização de potássio foram considerados positivos quando comparados ao ensaio controle, em relação a disponibilização de potássio. Todas as estirpes bacterianas apresentaram potencial nos ensaios *in vitro*, ressaltando que os melhores resultados encontrados ocorreram na presença da estirpe isolada IA13, onde foram alcançados 500 mg.kg<sup>-1</sup> de potássio em solução para a amostra de Amazonita, 490mg.kg<sup>-1</sup> para a amostras de Kamafugito e 340mg.kg<sup>-1</sup> para a Amostra 8. A partir destes resultados, novos ensaios complementares deverão ser realizados com o intuito de otimizar o processo para obtenção de maiores valores de remoção.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro, ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela infraestrutura e aos pesquisadores Marisa Bezerra de Mello Monte e Luiz Carlos Bertolino pelo fornecimento das amostras utilizadas no estudo.

## REFERÊNCIAS

ALI, A. M.; AWAD, M.; HEGAB, S. A.; ABD EL-GAWAD, A. Promoting effect of potassium solubilizing bacteria (*Bacillus cereus*) on nutrients availability and yield of potato. **Archives of Agricultural Sciences Journal**. v. 2, n. 2, p. 43-54, 2019.

ALVES, L.; OLIVEIRA, V. L.; SILVA FILHO, G. N. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 41, p. 676-684, 2010.

ARIA, M.M.; LAKZIAN, A.; HAGHNA, G.H.; BERENJI, A.R.; BESHARATI, H.; FOTOVAT, A. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. **Bioresource Technology**. v. 101, p. 551-554, 2010.

AZIZAH, H.; RAHAJENG, S. M.; JATMIKO, Y. D. Isolation and screening of phosphate and potassium solubilizing endophytic bacteria in Maize (*Zea mays* L.). **The Journal of Experimental Life Science**. v. 10, n. 3, p. 165- 170, 2020.

BASHIR, Z.; ZARGAR, M. Y.; BABA, Z. A.; MOHIDDIN, F. A.; PEER, F. A.; MIR, S. A.; NAJAR, G. R. Solubilization of potassium containing mineral by bacteria from Kashmir iris

(*Iris kashmiriana*) rhizosphere. **The Pharma Innovation Journal**. v. 7, n. 4, p. 747-750, 2018.

BAGHEL, V.; THAKUR, J. K.; YADAV, S. S.; MANNA, M. C.; MANDAL, A.; SHIRALE, A. O.; SHARMA, P.; SINHA, N. K.; MOHANTY, M.; SINGH, A. B.; PATRA, A. K. Phosphorus and potassium solubilization from rock minerals by endophytic *Burkholderia sp.* strain FDN2-1 in soil and shift in diversity of bacterial endophytes of corn root tissue with crop growth stage. **Geomicrobiology Journal**.v.37, n.6, p. 1-13, 2020.

BASAK, B. B.; MAITY, A.; RAY, P.; BISWAS, D. R.; ROY, S. Potassium supply in agriculture through biological potassium fertilizer: A promising and sustainable option for developing countries. **Archives of Agronomy and Soil Science**. v. 68, p. 101-114, 2020.

BOUBEKRI, K.; SOUMARE, A.; MARDAD, I.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; KOUISNI, L. The screening of potassium- and phosphate- solubilizing actinobacteria and the assessment of their ability to promote wheat growth parameters. **Microrganisms**. v. 9, n. 470, p. 1-16, 2021

RASIL. **Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços. Governo Federal. Comex Stat**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>. Acesso em: mai. 2023.

CHINACHANTA, K.; SHUTSRIRUNG, A. Screening for P- and K- solubilizing and siderophore producing capacity of rhizobacteria from Khao Dawk Mali 105 Aromatic Rice. **IOP Conf. Series: Earth Environmental Science**. p. 1-13, 2021.

EL-SHABRAWY, R.M.I., ALY., M. E.; EL-HOSEINY, O.H.M.; ISMAIL, S. A. Improving of feldspar efficiency as potassium fertilization for potato (*Solanum Tuberosum*) by using silicate dissolving bacteria and compost. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 57, n. 1, p. 185-196, 2019.

GROUDEV, S. N. Use of heterotrophic microorganisms in mineral biotechnology. **Acta Biotechnology**. v.17, p. 299-306, 1987.

LIU, D.; LIAN, B.; DONG, H. Isolation of *Paenibacillus sp.* and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. **Geomicrobiology Journal**. v. 29, p. 413-421, 2012.

MANNING, D. A. C., BAPTISTA, J., SANCHEZ LIMON, M., & BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 476-481, 2017.

MATIAS, P. C.; MATTIELLO, E. M.; SANTOS, W. O.; JADEL, J. L.; ALVAREZ, V. H. Solubilization of a K-silicate rock by *Acidithiobacillus thiooxidans*. **Minerals Engineering**. v. 132, p. 69-75, 2019.

MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERMAC, J. P.; AEROND, A.; KUMARA, A.; KIM, K.; BAJPAIF, V. K. Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. **Ecological Engineering**. v. 81, p. 340-347, 2015.

MEENA V. S., BAHADUR I., MAURYA B. R., KUMAR A., MEENA R. K., MEENA S. K., VERMA J. P. Potassium-solubilizing microorganism in evergreen agriculture: An overview. In: Meena V, Maurya B, Verma, J, Meena R (eds). **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**. p. 1-20, 2016.

NAIN, A.; CHAUDHARY, K.; SHARMA, C.; SHEORAN, H. Potassium solubilization in soils. **Ecofarming**. v. 3, n. 1, p. 58-63, 2023.

NATH, D.; MAURYA, B. R.; KHAN, S. *In-vitro* solubilization of waste minerals and morphological characteristics of potassium and phosphorus solubilizing bacteria. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. v. 7, n. 2, p. 1626-1632, 2018.

PARMAR, P.; SINDHU, S. S. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. **Journal of Microbiology Research**. v. 3, n. 1, p. 25-31, 2013.

PARMAR, P.; SINDHU, S. S. The novel and efficient method for isolating potassium solubilizing bacteria from rhizosphere soil. **Geomicrobiology Journal**. v.36, n.2, p. 1-7, 2018.

PADHAN, D.; SEN, A.; KUNDU, R.; YADAV, V. K. Potassium solubilisation in soils: mechanisms, effect on plant growth and future prospects. **Current Research in soil fertility**. AkiNik Publications. Chapter 3. p. 37-59, 2019.

RAJAWAT, M. V. S.; SINGH, S.; TYAGI, S. P.; SAXENA, A. K. A modified plate assay for rapid screening of potassium-solubilizing bacteria. **Pedosphere**. v. 26, n. 5, p. 768–773, 2016.

RAJI, M.; THANGAVELU, M. Isolation and screening of potassium solubilizing bacteria from saxicolous habitat and their impact on tomato growth in different soil types. **Archives of Microbiology**. p. 1-15, 2021.

SATTAR, A.; NAVEED, M.; ALI, M.; ZAHIR Z. A.; NADEEM, S. M.; YASEEN, M.; MEENA, V. S.; FAROOQ, M.; SINGH, R.; RAHMANF, M.; MEENA, H. N. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. **Applied Soil Ecology**. p. 1-14, 2018.

SARIKHANI, M. R.; OUSTAN, S.; EBRAHIMI, M.; ALIASGHARZAD, N. Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. **European Journal of soil Science**. p. 1-9, 2018.

SCHUELER, T. A.; DOURADO, M. L.; VIDEIRA, S. S.; CUNHA, C. D.; RIZZO, A. C. L. Biosolubilization of verdete: An alternative potassium source for agriculture fertilizer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v. 34, p.1-6, 2021.

SILVERMAN, M.P.; LUNDGREN, D.G. Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus ferrooxidans*. I. An improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields. **Journal of Bacteriology**. v. 77, p. 642–647, 1959.

SOUMARE, A.; SARR, D.; DIÉDHIU, A. G. Potassium sources, microorganisms and plant nutrition: Challenges and future research directions. **Pedosphere**. v. 33, n. 1, p. 105-115, 2023.

SUN, F.; OU, Q.; WANG, N.; GUO, Z. X.; OU, Y.; Li, N.; PENG, C. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from Mikania micrantha rhizospheric soil and their effect on M. micrantha plants. **Global Ecology and Conservation**. v. 23, p. 1-9, 2020.

ZARJANI, J. K.; ALIASGHARZAD, N.; OUSTAN, S.; EMADI, M.; AHMADI, A. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soils. **Archives of Agronomy and Soil Science.** v. 59, n.12, p. 1713-1723, 2013.

Publicado em 18/12/2023.