

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Solubilização Biológica de Potássio

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

Presidente

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Marco Antonio Raupp

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

Luiz Antônio Rodrigues Elias

Secretário-Executivo

Arquimedes Diógenes Ciloni

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Carlos César Peiter

Coordenador de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processos Minerais

Cosme Antônio de Moraes Regly

Coordenador de Administração

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-61121-99-0

STA - 66

Solubilização Biológica de Potássio

Diego Valentim Crescente Cara

Biólogo, M.Sc., Doutorando EQ/UFRJ

Daniele Leonel da Rocha

Química, Mestranda EQ/UFRJ, Bolsista PCI
CETEM/MCTI

Cláudia Duarte da Cunha

Eng. Química, D.Sc., CETEM/MCTI

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Eng. Química, D.Sc., CETEM/MCTI

Eliana Flávia Camporese Sérvulo

Eng. Química, D.Sc., Escola de Química/UFRJ

CETEM/MCTI

2012

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luiz Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luiz Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Vera Lúcia Espírito Santo Souza

Programação Visual

Andrezza Milheiro da Silva

Revisão

Solubilização Biológica de Potássio /

Diego Valentim Crescente Cara [et al.]. __Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

42p. (Série Tecnologia Ambiental, 66)

1. Potássio. 2. Bio-solubilização. 3. Pó de Rocha. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Cara, Diego Valentim Crescente. III. Rocha, Daniele Leonel da. IV. Cunha, Cláudia Duarte da. V. Rizzo, Andréa Camardella de Lima. VI. Sérvulo, Eliana Flávia Camporese. VII. Série.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 AGRICULTURA NO BRASIL	9
2 IMPORTÂNCIA DO POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO VEGETAL	11
3 FONTES ATUAIS	13
4 DISPONIBILIZAÇÃO DE POTÁSSIO NO SOLO	17
5 ROCHAS COMO FONTE DE POTÁSSIO	19
5.1 Rochagem	20
5.2 Solubilização Biológica	22
6 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

RESUMO

O potássio é considerado um dos três principais nutrientes para o crescimento dos vegetais, junto com o nitrogênio e o fósforo. A sua assimilação, desde que em quantidades adequadas, resulta em melhoria da qualidade da espécie vegetal cultivada e, conseqüentemente, em aumento da produtividade agrícola. Contudo, em geral, o solo das diferentes regiões brasileiras é deficiente dos nutrientes de importância para o desenvolvimento do vegetal, impondo a necessidade do emprego de fertilizantes. No Brasil, a produção de potássio está restrita apenas a uma única mina em operação – a mina, subterrânea Taquari/Vassouras, em Sergipe - que não satisfaz as necessidades do país. Por isso, o Brasil importa cerca de 90% do potássio para a agricultura na forma de KCl, principalmente de países como Bielorrússia, Canadá e Alemanha. A crescente demanda de potássio em associação aos elevados custos da importação, com tendências futuras de aumentos, tem incentivado a busca por rotas alternativas de obtenção deste mineral.

Uma das alternativas sustentáveis é o emprego de pó de rocha com alto teor de potássio. A rochagem, conforme é denominada, é uma prática que, além de contribuir para a fertilidade do solo, auxilia no controle do pH e garante a disponibilidade dos nutrientes por mais tempo, sem afetar o seu equilíbrio.

Alguns estudos demonstraram que existem micro-organismos com capacidade de promover a solubilização de minerais de rochas. A biossolubilização passa a existir como uma proposta biotecnológica de utilização de minerais com alto teor de K^+ como fonte alternativa para a fertilização de solos.

Palavras-chave:

Potássio, pó de rocha, biossolubilização.

ABSTRACT

Potassium is considered one of the three main nutrients for plant growth, along with nitrogen and phosphorus. Their assimilation in adequate amounts results in better quality of collected product and, consequently, into an increase in productivity. However, the Brazilian soil is deficient in macronutrients, requiring the application of fertilisers. Brazil has only a single mine in operation, Taquari/Vassouras mine, in Sergipe, which does not satisfy the demand of the country. Then, Brazil imports about 90% of potassium in the form of KCl, mainly from countries like Belarus, Canada and Germany. Due to higher import cost, search for alternative routes of potassium sources has been intensified.

Rocks that have high potassium content in their structure are possible sources of nutrients to soil. The use of these rocks to soil fertility and agricultural production is a viable application. It helps in correcting soil acidity and is also an excellent conditioner and can store the nutrients in the soil longer.

Some studies show that through the action of microorganisms, it is possible to optimize the rock dissolution process. The weathering of rocks mediated by microorganisms is an excellent biotechnological proposal of using K as fertilizer. These new sources are more sustainable and more adapted to tropical conditions.

Key-words:

Potassium, mineral weathering, rocks.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um grande potencial para o agronegócio devido ao seu privilegiado clima (tropical e subtropical), com chuvas regulares e abundância de energia solar, além de extensa disposição geoagrícola, equivalente a 355 milhões de km² (OLIVEIRA, 2009). No entanto, o solo, na maior parte do território nacional, é deficiente de nutrientes, faz-se necessário o emprego de fertilizantes a fim de melhorar a sua capacidade produtiva.

O solo brasileiro, em geral, é ácido e pobre em nutrientes minerais (nitrogênio, potássio e fósforo). Em consequência, anualmente, milhares de toneladas de fertilizantes industriais são aplicados aos solos brasileiros para alcançar os valores desejados de produção e produtividade agrícola. A principal demanda é de fósforo e potássio. Esse cenário é desanimador, pois a produção interna de fertilizantes ainda é insuficiente para atender às necessidades das práticas agrícolas (COLA e SIMÃO 2012).

No Brasil, a produção comercial de fertilizantes teve início na década de 1940, com a produção da mistura de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) a partir de fertilizantes simples importados. Mas, só a partir de 1990, a produção de fertilizantes apresentou crescimento expressivo, sendo de 24,6 milhões de toneladas em 2007, particularmente destinadas a produção de biocombustíveis, seguida da produção de alimentos e ração animal (FERNANDES, GUIMARÃES e MATHEUS 2009).

O potássio é um dos três elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, sendo, por isso, fundamental para as boas práticas agrícolas. Mais de 95% da produção mundial de potássio é usada como fertilizante.

O Brasil se situa dentre os principais países importadores de potássio em virtude da baixa produção interna. A produção de potássio no Brasil se iniciou em 1985, estando restrita ao Complexo Mina/ Usina Taquari/Vassouras, no Estado de Sergipe, sendo operada pela Companhia Vale do Rio Doce/VALE. Atualmente, a produção corresponde a cerca de 10% apenas das necessidades brasileiras para atender à indústria de fertilizantes, principalmente no preparo de NPK (BRASIL, 2011). Os principais fornecedores de potássio são: o Canadá (33,0%), a Bielorrússia (29,0%), a Alemanha (13,0%), Israel (12,0%) e a Rússia (11,0%).

O consumo de fertilizantes no Brasil tem apresentado evolução crescente (ZHANG e ZHANG, 2007). Por outro lado, o preço do potássio tem sofrido contínuos aumentos, tendo atingido seu máximo em 2009.

2 | IMPORTÂNCIA DO POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO VEGETAL

A partir do século XIX, químicos e botânicos descobriram que as plantas requerem elementos químicos para o crescimento. O número desses elementos químicos varia de acordo com o critério adotado por cada pesquisador, mas, em geral, são citados dezessete. De acordo com as quantidades requeridas pelas plantas, esses elementos químicos podem ser classificados em: macronutrientes - como o nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), o enxofre (S), o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) - e micronutrientes, como por exemplo, o ferro (Fe) (LONERAGAN, 1997). Na ausência de qualquer um desses elementos, as plantas exibem sintomas de deficiência nutricional, anomalias de crescimento e, frequentemente, não se reproduzem normalmente (DALCIN, 2008).

O potássio é um elemento fundamental para todos os organismos vivos. Na fisiologia vegetal, em particular, desempenha funções importantes no controle das atividades enzimáticas envolvidas em diversos processos metabólicos como fotossíntese, síntese de proteínas e carboidratos. Além disso, tem influência direta no balanço hídrico e no crescimento de meristemas. A sua assimilação, em quantidades adequadas, tem como principais consequências uma maior resistência a pragas e doenças e melhor qualidade do produto colhido (VAN STRAATEN, 2007). O K^+ é o cátion presente em maior quantidade no citoplasma e juntamente aos ânions que o acompanham, tem funções fundamentais nas células e tecidos das plantas (DALCIN, 2008). O potássio regula a osmose da planta, atuando na abertura e no fechamento de estômatos através de alterações da turgidez das células-guarda, induzidas por uma bomba de potássio na parede celular. Como os

estômatos são importantes na regulação da perda de água pelas plantas, o potássio ajuda a diminuir essa perda e aumenta a tolerância a secas. Além de ativar a catálise biológica de enzimas e promover o metabolismo do nitrogênio e a síntese de proteínas, o K^+ tem alta mobilidade entre as células, sendo rapidamente translocado das folhas mais velhas para as mais novas em regiões meristemáticas, com o conseqüente surgimento de sintomas de deficiência nas primeiras (TAIZ e ZEIGER, 2004; VAN STRAATEN, 2007; KERBAUY, 2008). Tem importância fundamental para o desenvolvimento dos frutos, translocação de metais e balanço iônico. Tudo isso o torna um macronutriente responsável por produtos de boa qualidade e alta produtividade (LOPES-ASSAD *et al.*, 2006).

O teor de potássio nas plantas varia de 1 a 5% (massa seca). É absorvido pelas raízes na forma de K^+ , embora ocorra, principalmente, em várias outras formas no solo. Ao contrário do N, S e P, o K não se combina com outros elementos para formar protoplasma, gorduras e celulose (LUZ e LINS, 2008).

3 | FONTES ATUAIS

O agronegócio concebe, atualmente, cerca de 40% do produto interno bruto (PIB) nacional. Devido à grande e melhor eficiência na utilização de fertilizantes, o país vem demonstrando crescimento na produção agrícola. Assim, além de se tornar um dos maiores produtores de alimentos no mundo, vem se tornando, também, um dos maiores consumidores de fertilizantes. Além do aumento da produção agrícola voltada para a geração de alimentos, há ainda, o crescente aumento do plantio de espécies relacionadas à produção de biocombustíveis (cana de açúcar, soja, mamona etc.). No entanto, a abertura de novas fronteiras agrícolas torna-se cada vez mais limitada em função, muitas vezes, das deficiências nutricionais dos solos ainda disponíveis para o plantio e cultivo das espécies adequadas (OLIVEIRA, 2009).

O uso principal dos sais de potássio é na agricultura, sendo os de uso mais comum o cloreto de potássio (contendo de 60 a 62% de K_2O equivalente) e o sulfato de potássio (50 a 52 % de K_2O equivalente). As principais fontes de potássio em fertilizantes são os sais solúveis de potássio encontrados em depósitos de evaporitos, pois esses são muito solúveis em água, podendo ser explorados e processados de forma mais fácil. Este é um produto resultante da meteorização das rochas ígneas e encontra-se nos mares, lagos salgados e nas jazidas de evaporitos, intercalado nas rochas sedimentares (LUZ e LINS, 2008; OLIVEIRA, 2009). No entanto, esses depósitos não estão igualmente difundidos pelo mundo.

O Canadá, a Rússia e a Alemanha são os maiores produtores de cloreto de potássio, seguidos por Israel, Jordânia e Estados Unidos. Na América do Sul e na Ásia são poucos os depósitos

de cloreto de potássio explorados. A China e a Índia praticamente não possuem depósitos. Também não há minas em exploração na África (LUZ e LINS, 2008).

Segundo Luz e Lins (2008), aproximadamente 95% da produção mundial de potássio é utilizada na fabricação de fertilizantes, sendo o restante direcionado para a fabricação de cloreto de potássio (90%) e para a fabricação de sulfato de potássio (5%).

No Brasil, as maiores reservas oficiais se encontram em Sergipe, na região de Taquari/Vassouras e Santa Rosa de Lima, com minérios de carnalita, silvinita e silvita, e no Amazonas, totalizando 525 milhões de toneladas, com teor médio de potássio de 23,7% (MONTE, ANDRADE e BALTAR, 2002).

Os depósitos na Amazônia foram descobertos em 1955, durante um programa de pesquisa de petróleo pela Petrobras. As reservas oficiais de silvinita somam cerca de 1 mil toneladas, com teor médio de 18,47% de K_2O equivalente. Este depósito, que se encontra em Nova Olinda, é formado por sedimentos químicos - evaporíticos que se localizam na parte superior do Carbonífero da Bacia do Amazonas. Ocorrem nessa região horizontes de salgema, sais de potássio, gipsita, anidrita e calcário, porém, ainda não há projetos de exploração dessas reservas (LOUREIRO, MELAMED e NETO, 2008; OLIVEIRA, 2011).

O projeto de implantação do complexo mina/usina de Taquari-Vassouras para o aproveitamento do cloreto de potássio foi iniciado em 1979 pela Petrobras Mineração S.A. (Petromisa), e inaugurado em 1985. A partir de 1992, a mina passou a ser administrada pela Gerência Geral de Fertilizantes - Gefek da

Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), por meio de um contrato de arrendamento. A unidade é a única produtora de cloreto de potássio em atividade no Brasil (MONTE *et al.*, 2002).

As reservas medidas de silvinita (KCl + NaCl) na Mina Taquari/Vassouras em 2010 totalizaram 485,1 milhões de toneladas, sendo estas com o teor médio de 9,7% de K₂O equivalente. Desse montante, 78,9 milhões de toneladas de minério *in situ* (teor de 22,41% de K₂O) correspondem a 17,7 milhões de toneladas de K₂O equivalente (OLIVEIRA, 2011).

Desde 1985, aproximadamente 63 milhões de toneladas das reservas oficiais brasileiras vem sendo mineradas, tendo sido explorados, nesse período, cerca de 13,6 milhões de toneladas de minério (MONTE, ANDRADE e BALTAR, 2002).

A capacidade de produção nacional de potássio, de 600 mil toneladas, atualmente a cargo da Companhia Vale S/A, corresponde a apenas 10,25% das necessidades de abastecimento do país (OGASAWARA, KULAIF e FERNANDES, 2010; OLIVEIRA, 2011).

A baixa produção nacional de potássio impõe a importação da maior parte do fertilizante utilizado na agricultura na forma de KCl (cloreto de potássio). Há previsões que a demanda brasileira de potássio cresça 50% até 2015, o que é da ordem de 7,0 Mt. Os principais fornecedores de KCl para o Brasil em 2010 foram Bielorrússia (28,01%), Canadá (27,6%), Alemanha (17,7%), Israel (14,24%) e Rússia (6,37%) (OLIVEIRA, 2011).

Devido ao crescente aumento da produção agrícola e consequente uso de potássio na agricultura, aliado ao seu preço crescente (608,10 US\$-FOB em 2010), como mostra a Figura 1, foi impulsionado o desenvolvimento de pesquisas sobre fontes alternativas para a produção de fertilizantes de potássio.

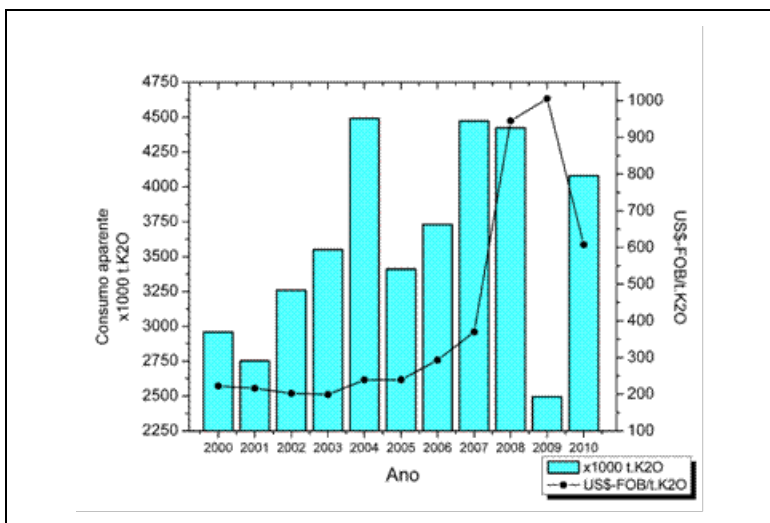


Figura 1 – Consumo aparente em t de K₂O e preço da t de K₂O em US\$-FOB (Brasil, 2011).

Em função deste panorama, é premente a necessidade de investimentos no estudo da aplicabilidade de rotas alternativas de produção de K⁺ solúvel, uma vez que o Brasil é fortemente dependente de importação do produto.

4 | DISPONIBILIZAÇÃO DO POTÁSSIO NO SOLO

Os solos de plantio, em sua maioria, contêm grandes concentrações do íon metálico K^+ . O potássio está presente em centenas de quilos por hectare; no entanto, menos de 2%, e devido às suas diferentes formas de ocorrência no solo, está disponível para as plantas em seu período de desenvolvimento (NASCIMENTO e LAPIDO-LOUREIRO, 2008; VAN STRAATEN, 2007). Abaixo são citadas diferentes formas de ocorrência de potássio:

- I. presente na fase solúvel do solo, na forma do cátion K^+ , disponível para a biota.
- II. adsorvido na superfície dos minerais do solo e da matéria orgânica, formando o que se chama de K-trocável.
- III. presente na estrutura de diferentes minerais, indisponível para os seres vivos.

A atuação de diferentes fenômenos físicos e químicos sobre minerais, como as águas das chuvas, mudança de temperatura e oxidação natural resultam em reações de intemperismo, como também na dissolução e na cristalização de minerais. Entende-se por intemperismo o processo em que ocorre a erosão da rocha e a diminuição do tamanho das suas partículas. Plantas e micro-organismos também estão envolvidos neste processo de formação e destruição de minerais (UROZ *et al.*, 2009).

A superfície de alguns tipos de minerais oferece a capacidade de micro-organismos e substâncias orgânicas interagirem, sendo que alguns dos compostos minerais do solo são mais sensíveis às variações de pH e Eh induzidos pela presença de ácidos orgânicos produzidos por bactérias e/ou fungos.

Logo, o intemperismo resultante da atividade biológica é mais interessante, pois a microbiota do solo atua intensamente nesse processo e diretamente sobre as partículas minerais. O impacto dos organismos que vivem em tais ambientes específicos sobre os processos de intemperismo é muito mais significativo do que as reações inorgânicas (VELDE e MEUNIER, 2008; UROZ *et al.*, 2009).

5 | ROCHAS COMO FONTE DE POTÁSSIO

O potássio nunca ocorre em sua forma elementar, devido à afinidade e à reatividade com outros elementos, estando presente em rochas, solos, oceanos, lagos, dentre outros. Teores mais elevados são encontrados em minerais evaporíticos e nos silicatos de potássio. Embora silicatos de potássio contenham presença significativa de potássio na sua rede cristalina, não constituem importantes fontes, em virtude de sua reduzida solubilidade (OLIVEIRA, 2009). Apenas um pequeno número de minerais constituídos por cloretos e/ou sulfatos são considerados de interesse econômico em virtude, principalmente, do seu conteúdo de potássio e da sua relativamente fácil solubilização. A maioria dos minerais que contém potássio em sua rede cristalina (caso do grupo dos feldspatos e alguns do grupo da mica) é insolúvel e o processo de dissolução só é viável a partir de forte ataque químico acompanhado de tratamento térmico (NASCIMENTO e LAPIDO-LOUREIRO, 2008).

A presença de micas, pela sua estrutura aberta e teores significativos de potássio, é um bom indicador de rochas favoráveis para aplicação na remineralização dos solos. Alguns exemplos de teores de K_2O em micas são: biotita (7-12%), flogopita (11-17%), muscovita (7-10%), illita (4-8%) e glauconita (5-8%) (LUZ e LINS, 2008).

A utilização de rochas na fertilização de solos é usual, incluindo o uso de diferentes rochas silicáticas que contenham concentrações consideráveis de potássio. No entanto, a liberação do nutriente pode ser lenta e incompatível com a dinâmica de sistemas de produção agrícola. Uma tendência

atual é a possibilidade de se incrementar a liberação de potássio das rochas silicáticas mediante processos de bio-solubilização (RESENDE *et al.*, 2006).

5.1 | Rochagem

Os fertilizantes de alta solubilidade têm sido extensivamente utilizados em áreas agrícolas. A maioria dos insumos aplicados na forma de sais solúveis se perde por lixiviação natural, principalmente nos períodos chuvosos.

Rochas ou minerais que apresentem teores relativamente elevados de potássio em sua estrutura podem ser fontes potenciais de sais de potássio, termofosfatos potássicos ou, ainda, ter aplicação direta nos solos, como fertilizantes de liberação lenta de potássio (NASCIMENTO e LAPIDO-LOUREIRO, 2009). Alguns representantes do grupo das micas vêm ganhando especial atenção, pois apresentam elevados teores de potássio. Neste grupo, incluem-se a flogopita, glauconita, vermiculita e muscovita, entre outros.

Atualmente, uma das estratégias preferencialmente utilizadas em áreas de agricultura familiar é a técnica chamada de rochagem, que envolve a aplicação de pó de rochas, que contenham quantidades consideráveis do nutriente mineral de interesse em sua estrutura. Mas, além desta técnica poder ser usada na incorporação de nutrientes minerais ao solo, aumentando a sua fertilidade natural, consegue nele reter os nutrientes por mais tempo. Também possibilita a correção da acidez do solo, contribuindo para o devido condicionamento do

solo (COLA e SIMÃO, 2012). De acordo com Lopes-Assad e colaboradores (2006), em alguns casos, as rochas podem apresentar efeitos alcalinizantes.

A maior retenção de nutrientes se deve à presença de formas de minerais de solubilidade mais lenta que os presentes em fertilizantes comerciais. Ademais, a liberação gradual de nutrientes resulta na diminuição das perdas por lixiviação, favorecendo uma ação prolongada do insumo aplicado. Por isso, o pó de rocha se constitui em fonte de nutrientes para plantas cultivadas durante longos períodos. Também promove o aumento da capacidade de troca catiônica dos solos devido à formação de novos minerais de argila durante o processo de solubilização da rocha (MELAHMED, GASPAR, MIEKLEY, 2008).

A aplicação de pó de rocha como fertilizante em solos de regiões tropicais comparativamente aos de clima temperado tem mais vantagens, destacando-se o aumento da taxa de dissolução das rochas e dos minerais e da possível reação entre superfícies minerais e a solução do solo, que são intensificados pelos maiores valores de temperatura e umidade (VAN STRAATEN, 2007).

A rochagem reduz os custos de produção agrícola por utilizar produto alternativo ou servir como suplementação aos adubos químicos solúveis industrializados (LOUREIRO, MELAMED e NETO, 2008). O modelo de fertilização baseado na técnica de rochagem também é uma alternativa viável em termos econômicos e ecológicos, devido ao baixo custo do processo de beneficiamento, posto que envolve apenas uma etapa de moagem.

Como desvantagem, pode-se salientar o fato de que em lugares de clima temperado, a solubilização lenta e a baixa concentração de nutrientes são fatores que poderiam afetar negativamente a eficácia agrônômica a curto prazo. Também há o problema de as rochas ricas em silicato requererem muita energia para serem moídas e poderem conter elementos não necessários ao solo, como o quartzo. Nestes casos, a eficácia dependeria da utilização de toneladas de pó de rocha, o que tornaria a prática não econômica (VAN STRAATEN, 2006).

A baixa solubilização dos minerais na rocha torna o processo de liberação dos nutrientes mais lento, e, por sua vez, pode dificultar a adequada absorção pelas plantas. Sabe-se, no entanto, que diversos grupos de micro-organismos, como bactérias e fungos, têm a capacidade de solubilizar o potássio retido em minerais silicatados, por meio de sua decomposição (LUZ e LINS, 2008; DALCIN, 2008; UROZ *et al.*, 2009).

5.2 | Solubilização Biológica

Os micro-organismos apresentam imensa diversidade genética, contribuindo em funções únicas e vitais na manutenção do ecossistema, como componentes fundamentais de cadeias alimentares, na reciclagem de nutrientes e nos diversos ciclos biogeoquímicos existentes. Apesar de sua grande importância na participação e manutenção da biosfera, estima-se que menos de 5% dos micro-organismos existentes no planeta tenham sido caracterizados e descritos (LEITE, 2009).

Segundo UROZ e colaboradores (2009), o processo de intemperismo mineral envolve a interação entre plantas e micro-organismos, os quais podem colonizar as superfícies de minerais, especialmente poros e fendas do solo (Figura 2).

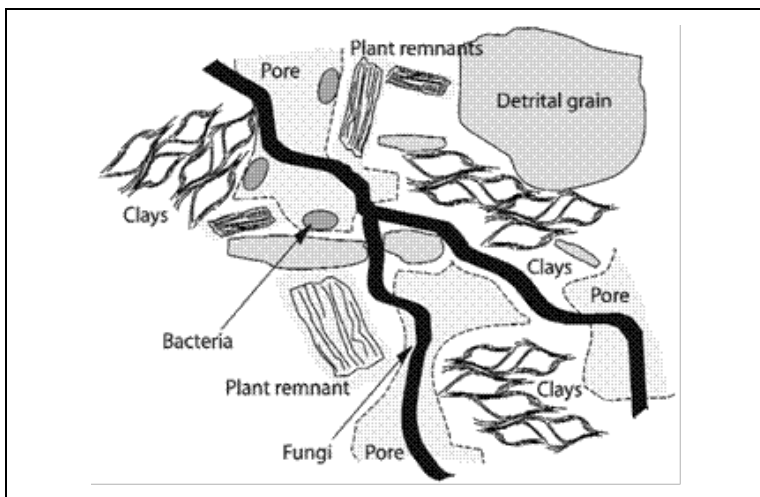


Figura 2 - Representação esquemática de uma rizosfera mostrando interação da biota com os minerais e compostos orgânicos. FONTE: VELDE e MEUNIER (2008).

Esses ambientes são complexos, constituídos de micronichos de diferenciadas características químicas e microbiológicas. Por exemplo, a superfície das rochas podem ser colonizadas por espécies microbianas diferentes daquelas que habitam o solo circundante, criando um novo ambiente denominado, mineralosfera (CERTINI, CAMPBELL e EDWARDS, 2004; UROZ *et al.* 2009). Além disso, a superfície e o interior das partículas minerais presentes no solo parecem ser habitadas por diferentes comunidades microbianas. McNamara e colaboradores (2006) evidenciaram no calcário uma

comunidade bacteriana endolítica predominantemente composta por bactérias Gram-positivas e Acidobactérias, enquanto a população epilítica era composta por cerca de 50% de Proteobactéria.

Além do calcário, a colonização de partículas minerais por bactérias já foi relatada para outras rochas como o granito e diversos minerais, tais como: apatita, plagioclásio e mistura de flogopita e quartzo (GLEESON *et al.*, 2006; CARSON *et al.*, 2007). Gleeson e colaboradores (2006) observaram diferenciados *fingerprints* de comunidades bacterianas colonizadoras de granito, dependendo do tipo de inclusão mineral (muscovita, plagioclásio, feldspato potássico e quartzo). Os principais elementos contidos nestes minerais - alumínio, silício e cálcio - parecem ter um impacto significativo sobre a estrutura da comunidade bacteriana. Portanto, a composição mineral afeta significativamente a variedade de espécies presentes nas comunidades microbianas a ele aderidas.

Alguns micro-organismos como bactérias e fungos presentes em ambientes com condições extremas de temperatura, pressão hidrostática, potencial redox e pH podem acelerar o processo de intemperismo de aluminossilicatos e silicatos, no intuito de obter nutrientes para o seu metabolismo. Os mecanismos pelos quais estes agem podem envolver a produção de ácidos orgânicos que atuam como acidulantes e/ou ligantes, bases na forma de NH_3 e muco capsular, especialmente em bactérias. Entre os ácidos, o ácido 2-cetoglucônico, produzido por bactérias e alguns ácidos orgânicos como o cítrico e oxálico, produzidos por alguns fungos, têm se mostrado muito eficientes na dissolução de silicatos (EHRlich, 1996).

As bactérias são frequentemente mencionadas como responsáveis pela maior parte dos processos de biossolubilização, dentre outros motivos, pela sua elevada capacidade de formar biofilmes. Sua fixação na superfície do mineral cria microambientes que as protegem do estresse ambiental. Nesses microambientes, as bactérias extraem nutrientes inorgânicos e energia diretamente da matriz mineral e/ou da parte circundante do micro-organismo (UROZ *et al.*, 2009). Na Tabela 1 são apresentados alguns estudos utilizando micro-organismos heterotróficos capazes de solubilizar diferentes tipos de rochas e materiais da indústria mineral. Os fungos não foram incluídos nesta tabela, apesar de apresentarem uma grande diversidade de espécies, bem como diferentes aplicações e ainda serem capazes de formar associações mutualísticas com raízes de plantas, conhecidos, genericamente, como micorrizas.

Tabela 1a. Diferentes micro-organismos utilizados na solubilização de diferentes tipos de rochas e materiais da indústria mineral.

Micro-organismo	Origem	Observações	Referência
<i>Burkholderia Collimonas</i>	Floresta temperada	Liberção de ferro a partir de biotita.	Calvaruso <i>et al.</i> , 2010; Uroz <i>et al.</i> , 2009, 2011; Lepleux <i>et al.</i> , 2012.
<i>Burholderia cepacia</i> CC-A174	Solo de Taiwan	Solubilização de fosfato.	Lin <i>et al.</i> , 2006.
<i>B.fungorum</i> ATCC BAA- 463	Coleção de cultura	Granito.	Wu <i>et al.</i> , 2008.
<i>B.fungorum</i> ATCC BAA-463.	Coleção de cultura	Solubilização de apatita e outras rochas. Produção de ácido glucônico sob estresse.	Mailloux <i>et al.</i> , 2009.

Tabela 1b. Diferentes micro-organismos utilizados na solubilização de diferentes tipos de rochas e materiais da indústria mineral.

Micro-organismo	Origem	Observações	Referência
<i>Rhanelia aquatilis</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Agrobacterium</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp. <i>Burkholderia</i> sp. <i>Paracoccus</i> sp. <i>Sphingobacterium</i> sp.	Rizosfera de faia, pinho, trigo e solo ácido de floresta.	Biotita e flogopita como mineral a ser solubilizado. Foi quantificada a concentração de ferro, prótons e ácidos orgânicos liberados em solução.	Balland <i>et al.</i> , 2010.
<i>Streptomyces</i> sp. <i>Arthrobacter</i> sp.	Solo contendo hornblenda.		Kalinowski <i>et al.</i> , 2000
<i>Bacillus chitinolyticus</i> <i>Bacillus subtilis</i> var. 2 <i>Bacillus pumilus</i> var. 2 <i>Citrobacter</i> sp.	Isolados de rizoplano de cactos (3 espécies diferentes).	Rochas ígneas como material a ser solubilizado.	Puente <i>et al.</i> , 2004.
<i>Pseudomonas putida</i>	Controle	Bactéria promotora de crescimento.	
<i>Azospirillum brasilense</i> ATCC29710	Controle.	Bactéria promotora de crescimento.	

Tabela 1c. Diferentes micro-organismos utilizados na solubilização de diferentes tipos de rochas e materiais da indústria mineral.

Micro-organismo	Origem	Observações	Referência
<i>Bacillus megaterium</i> DSM 3228	Controle.	Bactéria solubilizadora de fosfato.	
<i>Paenibacillus</i> sp.	Solo.	Minerais silicatados como material a ser solubilizado.	Liu <i>et al.</i> , 2012.
<i>P. mucilaginosus</i>	Solo.	Fosforita, montmorillonita, caulinita e feldspato potássico como material a ser solubilizado.	Hu <i>et al.</i> , 2006.
<i>Bacillus</i> sp.	Solo.	Horneblenda como material a ser solubilizado.	Brantley <i>et al.</i> , 2011.
<i>Pseudomonas reactans</i>	Solo contaminado com petróleo.	Basalto vítreo como material a ser solubilizado.	Stockmann <i>et al.</i> , 2012.
<i>Pseudomonas reactans</i>	Águas subterrâneas.	Olivina como material a ser solubilizado.	Shirokova <i>et al.</i> , 2012.

Tabela 1d. Diferentes micro-organismos utilizados na solubilização de diferentes tipos de rochas e materiais da indústria mineral.

Micro-organismo	Origem	Observações	Referência
<i>Azotobacter vinelandii</i> ATCC 13705	Coleção de cultura.	Silicato vítreo como material a ser solubilizado.	Liermann <i>et al.</i> , 2005.
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	Depósito de caulim.	Flogopita como material a ser solubilizado.	Styriaková <i>et al.</i> , 2004.
<i>Bacillus cereus</i>			
<i>Arthrobacter oxydans</i> <i>Microbacterium</i> sp. <i>Dietzia matronolimnaea</i> <i>Promicromonospora</i> sp. <i>Pseudonocardia autotrophica</i> <i>Nocardiopsis metallica</i> (sp. nov.)	Escória de processo metalúrgico.	Micro-organismos identificados pela DSMZ. Escória silicatada de processo metalúrgico como material a ser solubilizado.	Willscher e Bosecker, 2003.
<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>spizizenii</i> <i>Shewanella putrefaciens</i> <i>Streptomyces acidiscabies</i> E13	Solo contaminado com metal pesado.	Biotita como material a ser solubilizado.	Hopf <i>et al.</i> , 2009

A partir de solo rizosférico, Souchie e Abboud (2007) obtiveram 85 isolados, entre bactérias e fungos. Muitos dos isolados ratificaram a possibilidade da maximização de liberação de potássio *in vitro*.

Lopes-assad e colaboradores (2010) realizaram a extração de aproximadamente 62%-70% de potássio presente em pó de rocha no período de 35 dias em frascos sob agitação. Foi utilizado nesse estudo duas estirpes do fungo *Aspergillus niger* que, de acordo com os autores, é utilizado para a solubilização de fosfato em rochas, pois possui excepcional eficiência em produzir ácidos orgânicos. Junto com a utilização do micro-organismo, foram avaliadas, também, diferentes condições físico-químicas, como temperatura, pH e agitação.

Silva e colaboradores (2011) avaliaram o potencial de diferentes estirpes de micro-organismos pertencentes à Coleção de Micro-organismos Multifuncionais da Embrapa Milho e Sorgo na solubilização biológica de potássio *in vitro*, a partir do pó de rocha de fonolito. Os ensaios foram realizados sob agitação por 10 dias à temperatura de 28°C. Foram selecionadas as estirpes mais eficientes, sendo a B30 capaz de solubilizar 70% do potássio presente na rocha de fonolito. Os valores de pH do meio de cultura decresceram de 7,0 para aproximadamente 5,0. De acordo os micro-organismos testados; a maior redução no valor de pH foi alcançada com a estirpe B30.

Brehm, Gorbushina e Mottershead (2005) avaliaram a solubilização de quartzo e vidro utilizando culturas não axênicas de diatomáceas (*Nitzschia* sp., *Navicula* sp., *Cocconeis* sp.) isoladas do sedimento do mar de Wadden (costa entre Alemanha, Países Baixos e Dinamarca), contendo também

bactérias heterotróficas que crescem associadas. Foram utilizadas diatomáceas pelo seu alto requerimento de silício para construção do seu exoesqueleto e por sua capacidade de formar densos biofilmes, notadamente um fator significante no processo de biossolubilização. Neste estudo também foram ensaiadas outras populações de micro-organismos isolados da superfície de quartzo expostos às intempéries, localizados na montanha tabular de Tepui (Venezuela), entre eles: cianobactérias (*Phormidium* sp., *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp. e *Synechocystis* sp.), diatomáceas, algas verdes e bactérias quimiorganotróficas. As principais conclusões encontradas neste estudo foram: (1) A fotossíntese promove uma lixiviação alcalina no microambiente induzida por crescimento do biofilme, mesmo num ambiente com valor de pH variando de 3,5 a 8,5; (2) Uma associação sinérgica de diatomáceas com bactérias quimiorganotróficas pode dissolver rapidamente o vidro comum, para a produção de sílica, e seu fornecimento para a formação do exoesqueleto, em condições subaeradas de crescimento do biofilme.

Alguns estudos (CALVARUSO *et al.*, 2006, 2010; UROZ *et al.*, 2007, 2009, 2011) apontaram como eficientes agentes de biointemperismo as bactérias dos gêneros *Burkholderia* e *Collimonas*, pois estas são capazes de crescer em solos ácidos e relativamente pobres em nutrientes.

Balland e colaboradores (2010) estudaram diferentes isolados de rizosferas (*Rhanelia aquatilis*, *Pantoea agglomerans*, *Agrobacterium* sp., *Pseudomonas* sp., *Burkholderia* sp., *Paracoccus* sp. e *Sphingobacterium* sp.) e observaram que houve incremento nas taxas de dissolução de biotita e flogopita como resultado de um mecanismo de interação promovido pela

dissolução (obtida pela ação de prótons) e imobilização de ferro. Uma importante observação é que as estirpes bacterianas aeróbias isoladas dos horizontes mais profundos (pobre em matéria orgânica) parecem intemperizar micas de forma mais eficiente quando comparadas às linhagens bacterianas anaeróbias facultativas isoladas da rizosfera (ambiente rico em matéria orgânica).

Portanto, do ponto de vista científico e tecnológico, diferentes micro-organismos apresentam potencial de solubilizar inúmeras rochas e minerais, objetivando a aquisição de elementos fundamentais ao seu próprio metabolismo. É necessário intensificar os estudos que têm objetivo de explorar essas características próprias dos micro-organismos, visando a aplicações biotecnológicas de interesse na agroindústria, utilizando rochas que usualmente não teriam finalidade industrial ou valor econômico.

Apesar de os estudos indicarem o potencial da utilização dos micro-organismos como agentes de solubilização, os mecanismos envolvidos na alteração mineral ainda são desconhecidos. Há a necessidade, portanto, de maiores investimentos em pesquisa científica básica para promover o entendimento/desenvolvimento do processo e possibilitar a aplicação tecnológica.

Pesquisadores do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) vêm desenvolvendo, desde 2008, estudos na área de biossolubilização de potássio a partir de rochas e minerais. O objetivo é realizar estudo prospectivo sobre rotas biotecnológicas a serem aplicadas na biossolubilização de agrominerais brasileiros, visando à posterior aplicação como fontes alternativas de fertilizantes, tanto na produção de

alimentos quanto na produção de bioenergia. A justificativa para o desenvolvimento desta linha de pesquisa se baseia no reduzido número de trabalhos e/ou estudos no Brasil que abordem a biossolubilização de agrominerais como uma rota tecnológica passível de aplicação para obtenção de fontes alternativas de fertilizantes.

6 | CONCLUSÃO

O Brasil, um país que possui um solo pobre em nutrientes, tornou-se um dos maiores importadores de fertilizantes do mundo. Uma tendência é a utilização de rochas com elevados teores de potássio em sua estrutura, através da técnica de rochagem. Para aumentar a solubilidade de potássio a partir dessas rochas, estão sendo estudados micro-organismos capazes de promover a decomposição de minerais, em parte devido à ação de ácidos orgânicos e inorgânicos produzidos pela atividade biológica. A partir desse conceito, muitos processos de bio-solubilização de potássio *in vitro* a partir de pó de rocha vêm sendo estudados. A descoberta de uma fonte alternativa poria um fim na dependência externa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLAND, C.; POSZWA, A.; LEVVAL, C.; MUSTIN, C. Dissolution rates of phyllosilicates as a function of bacterial metabolic diversity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 74, p. 5478–5493. 2010.
- BALTAR, C. A.; SAMPAIO, J. A.; CAVALCANTE, P. M. Mica. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. *Rochas e Minerais Industriais*. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008, Parte II- cap. 29, p. 649-661.
- BRANTLEY, S.L.; MEGONIGAL, J.P.; SCATENA, F.N.; BALOGH-BRUNSTAD, Z.; BARNES, R.T.; BRUNS, M.A.; VAN CAPPELLEN, P.; DONTSOVA, K.; HARTNETT, H.E.; HARTSHORN, A.S.; HEIMSATH, A.; HERNDON, E.; JIN, L.; KELLER, C.K.; LEAKE, J.R.; MCDOWELL, W.H.; MEINZER, F.C.; MOZDZER, T.J.; PETSCH, S.; PETT-RIDGE, J.; PREGITZER, K.S.; RAYMOND, P.A.; RIEBE, C.S.; SHUMAKER, K.; SUTTON-GRIER, A.; WALTER, R.; YOO, K. Twelve testable hypotheses on the geobiology of weathering. *Geobiology*, vol. 9, p. 140–165. 2011.
- BREHM, U.; GORBUSHINA, A.; MOTTERSHEAD, D. The role of microorganisms and biofilms in the breakdown and dissolution of quartz and glass. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 219, p. 117–129. 2005.
- CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.-P.; FREY-KLETT, P. Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: A budgeting analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 72, p. 1258–1266. 2006.
- CARSON J.K.; ROONEY, D.; GLEESON, D.B.; CLIPSON, N. Altering the mineral composition of soil causes a shift in microbial community structure. *FEMS Microbiology Ecology*, vol. 61, p. 414-423, 2007.

- CERTINI G.; CAMPBELL, C.D.; EDWARDS, A.C. Rock fragments in soil support a different microbial community from the fine earth. *Soil Biology and Biochemistry* vol. 36, p. 1119-1128, 2004.
- COLA G.P.A ; SIMÃO J.B.P - Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. *Revista Verde, Mossoró – RN*, vol.7, nº 1 p. 1-8, Jan. 2012.
- DALCIN, G. Seleção de Microrganismos Promotores da Disponibilidade de Nutrientes Contidos em Rochas, Produtos e Rejeitos de Mineração. 2008.100f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- EHRlich HL.; NEWMAN D. K. *Geomicrobiology*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. 606 p.
- EHRlich, H. L. How microbes influence mineral growth and dissolution. *Chemical Geology*, vol. 132, p. 5-9, 1996.
- FERNANDES, GUIMARÃES, MATHEUS 2009. Principais empresas e grupos brasileiros do setor de fertilizantes. BNDES. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/>. Acesso em: 29 de mar. 2012.
- GLEESON, D.; KENNEDY, N.; CLIPSON, N.; MELVILLE, K.; GADD, G.; MCDERMOTT, F. Characterization of Bacterial Community Structure on a Weathered Pegmatitic Granite. *Microbial Ecology*, vol. 51, p. 526-534. 2006.
- HOPF, J.; LANGENHORST, F.; POLLOK, K.; MERTEN, D.; KOTHE, E. Influence of microorganisms on biotite dissolution: An experimental approach. *Chemie der Erde - Geochemistry* 69, Supplement, vol. 2, p. 45–56. 2009.
- HU, X.; CHEN, J.; GUO, J. Two Phosphate- and Potassium-solubilizing Bacteria Isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 22, p. 983–990. 2006.

- KALINOWSKI, B.E.; LIERMANN, L.J.; GIVENS, S.; BRANTLEY, S.L., Rates of bacteria-promoted solubilization of Fe from minerals: a review of problems and approaches. *Chemical Geology*, vol. 169, p. 357–370. 2000.
- KERBAUY, G.B. *Fisiologia Vegetal*, 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431 p.
- LEITE, M. V. *Fungos Filamentosos do Lodo de Esgoto: Impacto na Microbiota Fúngica e Potencial Enzimático*. 2009. 65f. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, PE.
- LEPLEUX, C.; TURPAULT, M.P.; OGER, P.; FREY-KLETT, P.; UROZ, S. Abundance of Beta-Proteobacteria on mineral surfaces correlates with mineral weathering in forest soils. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 78, p. 7114-7119. 2012.
- LIERMANN, L.J.; GUYNN, R.L.; ANBAR, A.; BRANTLEY, S.L. Production of a molybdophore during metal-targeted dissolution of silicates by soil bacteria. *Chemical Geology*, vol. 220, p. 285–302. 2005.
- LIN, T.-F.; HUANG, H.-I.; SHEN, F.-T.; YOUNG, C.-C., The protons of gluconic acid are the major factor responsible for the dissolution of tricalcium phosphate by *Burkholderia cepacia* CC-A174. *Bioresource Technology*, vol. 97, p. 957–960. 2006.
- LIU, D.; LIAN, B., Dong, H.; Isolation of *Paenibacillus* sp. and Assessment of its Potential for Enhancing Mineral Weathering. *Geomicrobiology Journal*, vol. 29, p. 413–421. 2012.
- LONERAGAN, J. F. Plant nutrition in the 20th and perspectives for the 21st century. *Plant and Soil* vol. 196, p. 163-174. 1997.
- LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G. e CECCATO-ANTONINI, S. R.; Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*, *Espaço e Geografia*, vol. 9, p. 1-17. 2006.

- LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; CARVALHO, J. R. P. e CECCATO-ANTONINI, S. R.; The solubilization of potassium-bearing rock powder by *Aspergillus niger* in small-scale batch fermentations. Canadian Journal of Microbiology, vol. 56, p. 598-605. 2010.
- LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Rochas e Minerais Industriais: Usos e especificações. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, RJ, 2008, 990p.
- MAILLOUX, B.J.; ALEXANDROVA, E.; KEIMOWITZ, A.R.; WOVKULICH, K.; FREYER, G.A.; HERRON, M.; STOLZ, J.F.; KENNA, T.C.; PICHLER, T.; POLIZZOTTO, M.L.; DONG, H.; BISHOP, M.; KNAPPETT, P.S.K. Microbial Mineral Weathering for Nutrient Acquisition Releases Arsenic. Applied and Environmental Microbiology, vol. 75, p. 2558–2565. 2009.
- MCNAMARA C.; PERRY T.; BEARCE K.; HERNANDEZ-DUQUE G.; MITCHELL R. Epilithic and Endolithic Bacterial Communities in Limestone from a Maya Archaeological Site. Microbial Ecology, vol. 51, p. 51-64. 2006.
- MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentável. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R. NETO, J.F. Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008, 645 p.
- MONTE M.B. M.; ANDRADE M.C.; BALTAR C.A.M. Cloreto de Potássio-Mina Taquari Vassouras- CVRD. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-158-00.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2012.
- NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Série Estudos e Documentos, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, nº 61, 66 p. 2004.

- NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Agrominerais: Potássio. In: LUZ, A.B. e LINS, F.A.F. Rochas e Minérias: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008, Cap. 8, p. 175-203.
- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R. NETO, J.F. Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009, Cap. 9, p. 305-335.
- OGASAWARA, E. S.; KULAIF, Y.; FERNANDES, F.R.C. A Indústria Brasileira de Fertilizantes (cadeia NPK, enxofre, rocha Fosfática e Potássio) – Projeções de 2010 a 2030. In: FERNANDES, F.R.C; LUZ, A.B e CASTILHOS, Z.C. Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010, p. 145-168.
- OLIVEIRA, L.A.M. 2009, Sumário Mineral 2008. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMinera2008/potassio.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2012.
- OLIVEIRA, L.A.M. 2011, Sumário Mineral, 2010. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6388. Acesso em: 12 jan. 2012.
- PUENTE, M.E.; BASHAN, Y.; LI, C.Y.; LEBSKY, V.K. Microbial Populations and Activities in the Rhizoplane of Rock-Weathering Desert Plants. I. Root Colonization and Weathering of Igneous Rocks. *Plant Biology*, vol. 6, p. 629–642. 2004.
- RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; OLIVERA, C.G.; SENA, M.C.; MACHADO, C.T.T. KIMPARA, J.D. e OLIVEIRA FILHO, E.C. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. *Espaço e Geografia*, vol. 9, p. 19-42. 2006.

- SHIROKOVA, L.S.; BÉNÉZETH, P.; POKROVSKY, O.S.; GERARD, E.; MÉNEZ, B.; ALFREDSSON, H. Effect of the heterotrophic bacterium *Pseudomonas* reactans on olivine dissolution kinetics and implications for CO₂ storage in basalts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* vol. 80, p. 30–50. 2012.
- SILVA, U.C.; GOMES, A.E.; PAIVA, C.A.O.; DIAS, F.E.S.; FRADE, Y.S.; MARRIEL, I.E. Biossolubilização de fonolito por micro-organismos do solo solubilizadores de potássio. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 8., 2011, Poços de Caldas. Anais. Poços de Caldas: GSC, 2011.
- SOUCHIE, E. L.; ABOUD, A. C. S. Solubilização de fosfato por microrganismos rizosféricos de genótipos de Guandu cultivados em diferentes classes de solo. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, vol. 28, nº 1 p. 11-18, 2007.
- STOCKMANN, G.J.; SHIROKOVA, L.S.; POKROVSKY, O.S.; BÉNÉZETH, P.; BOVET, N.; GISLASON, S.R.; OELKERS, E.H. Does the presence of heterotrophic bacterium *Pseudomonas* reactans affect basaltic glass dissolution rates? *Chemical Geology* vol. 296–297, p. 1–18. 2012.
- ŠTYRIAKOVÁ, I.; BHATTI, T.M.; BIGHAM, J.M.; TYRIAK, I.; VUORINEN, A.; TUOVINEN, O.H. Weathering of phlogopite by *Bacillus cereus* and *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Canadian Journal of Microbiology* vol. 50, p. 213–219. 2004.
- TAIZ L, ZEIGER E. *Plant Physiology*. 4th ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2006, 782 p.
- UROZ, S.; CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.P.; PIERRAT, J.C.; MUSTIN, C.; FREY-KLETT, P. Effect of the Mycorrhizosphere on the Genotypic and Metabolic Diversity of the Bacterial Communities Involved in Mineral Weathering in a Forest Soil. *Applied and Environmental Microbiology* vol. 73, p. 3019–3027. 2007.
- UROZ, S.; CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.; FREY-KLETT, P. Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and mechanisms. *Trends in Microbiology* vol. 17, p. 378-387. 2009.

- UROZ, S.; OGER, P.; LEPLEUX, C.; COLLIGNON, C.; FREY-KLETT, P.; TURPAULT, M.-P., Bacterial weathering and its contribution to nutrient cycling in temperate forest ecosystems. *Research in Microbiology* vol. 162, p. 820–831. 2011.
- VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências* vol. 78, p. 731- 747. 2006.
- VAN STRAATEN, P. *Agrogeology: The use of rocks for crops*. Canada: Enviroquest Limited & Peter van Straaten, 2007, 440p.
- VELDE B, MEUNIER A. *The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks*. 1th ed. German: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, 349p.
- WILLSCHER, S.; BOSECKER, K. Studies on the leaching behaviour of heterotrophic microorganisms isolated from an alkaline slag dump. *Hydrometallurgy* vol. 71, p. 257–264. 2003.
- WU, L.; JACOBSON, A.D.; HAUSNER, M. Characterization of elemental release during microbe–granite interactions at T = 28 °C. *Geochimica et Cosmochimica Acta* vol. 72, p. 1076–1095. 2008.
- ZHANG, W.; ZHANG, X. A forecast analysis on fertilizers consumption worldwide. *Environmental Monitoring and Assessment* vol. 133, p. 427–434. 2007.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-65 – **Métodos para Tratamento Biológico de Drenagem Ácida de Mina - DAM**. Cláudia Afonso Barros, Julia Carestiatto Rodrigues, Grace Maria de Britto, Cláudia Duarte da Cunha, Andréa Camardella de Lima Rizzo e Paulo Sérgio Moreira Soares, 2012.

STA-64 – **Xisto Retornado e Pó de Casca do Coco Verde como Sorventes Alternativos para Arsênio e Óleos e Graxas**. Adriana Loeser, Cláudia Duarte da Cunha, Selma Gomes Ferreira Leite e Fernando Jorge Santos Oliveira, 2012.

STA-63 - **Recovery of defective Discs in the production of New Real coins by intensive Cyanidation**. Paula Franco Cabral do Nascimento, Luis Gonzaga Santos Sobral, Carlos Eduardo Gomes de Souza, Priscila Martins da Rocha e Diogo de Oliveira Padrão, 2012.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3867-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.