



**Cássia Cristina Bachião Miranda**

**Biossolubilização do fonolito por bactérias diazotróficas e potencial de utilização em  
*Brachiaria brizantha* cv. Marandu**

**ALFENAS – MG**

**2016**

**Cássia Cristina Bachião Miranda**

**Biossolubilização do fonolito por bactérias diazotróficas e potencial de utilização em  
*Brachiaria brizantha* cv. Marandu**

Dissertação apresentada à Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dra. Ligiane Aparecida Florentino

Coorientador: Dr. Aداuton Vilela de Rezende

**ALFENAS – MG**

**2016**

Dados internacionais de catalogação-na-publicação  
Biblioteca Central da UNIFENAS

Miranda, Cássia Cristina Bachião

Biossolubilização do fonolito por bactérias diazotróficas e potencial de utilização em *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu*. — Cássia Cristina Bachião Miranda.—Alfenas, 2016.

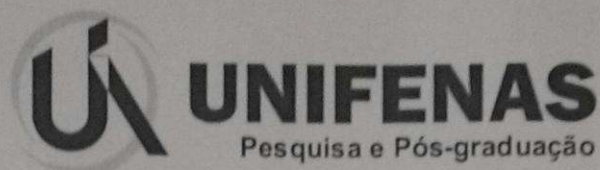
68 f.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra Ligiane Aparecida Florentino  
Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-graduação  
em Ciência Animal - Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas,  
2016.

1. Forragem 2. Micro-organismos solubilizadores 3. Rocha  
potássica I. Universidade José do Rosário Vellano II. Título

CDU : 633. 2(043)

Zélia Fernandes Ferreira Miranda  
Bibliotecária CRB 6 1486



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Título:** "BIOSSOLUBILIZAÇÃO DO FONOLITO POR BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS E POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO EM BRACHIARIA BRIZANTHA CV. MARANDU".

**Autor:** Cássia Cristina Bachião Miranda

**Orientador:** Profa. Dra. Ligiane Aparecida Florentino

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CIÊNCIA ANIMAL** pela Comissão Examinadora.

Profa. Dra. Ligiane Aparecida Florentino  
Orientadora

Prof. Dr. Adauton Vilela de Rezende

Profa. Dra. Márcia Rufini

Alfenas, 03 de junho de 2016.

Prof. Dr. Adauton Vilela de Rezende  
Coordenador do Programa  
Mestrado em Ciência Animal

*Primeiramente a Deus, por estar sempre me guiando e iluminando meus caminhos. Ao meu avô (in memoriam) que sempre me apoiou. A minha família que é minha base e que me incentivam a nunca desanimar e desistir dos meus objetivos.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTO

À Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS, ao programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Laboratório de Microbiologia Agrícola, Laboratório de Alimentos e Laboratório de Solos, pelas instalações e pelo desenvolvimento das pesquisas e aos funcionários e professores responsáveis que sempre que recepcionaram e ensinaram com respeito e carinho.

À minha caríssima orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dra. Ligiane Aparecida Florentino, e ao coorientador Prof. Dr. Aداuton Vilela de Rezende, obrigada pela oportunidade, pelos ensinamentos, pela paciência e pelas contribuições por uma melhor formação acadêmica e amadurecimento pessoal.

À CAPES pela bolsa de Mestrado, à Fapemig pelo auxílio financeiro (Processo: APQ-01115-14).

Aos membros da banca examinadora, Dra. Márcia Ruffini, Dra. Ligiane Aparecida Florentino e o Dr. Aداuton Vilela de Rezende pela disponibilidade, pelas contribuições apresentadas neste dia de tamanha importância.

Aos colegas dos grupos de estudo NEMA e NEPAR, pela troca de aprendizados ao longo deste período.

Às meninas do laboratório de Microbiologia Agrícola, Aline Mesquita, Tati Braga, Larissa Compri, Flávia Romam, Rosane Veiga, Ana Paula Pereira que sempre estivemos juntas, contribuindo uma com a outra, nas pesquisas, nas experiências e nos ensinamentos. Serei sempre grata.

Aos alunos da graduação Anderson Romão, Hyago Araújo e Gian que me auxiliaram na condução do experimento.

Aos meus pais Moacir Antônio Miranda e Claudete Bachião Miranda, minha irmã Cristiane Aparecida Bachião Miranda, e aos meus sobrinhos Gustavo Henrique Miranda Justino e Elisa Manuela Miranda Justino, por estarem sempre me incentivando a buscar o melhor e a não

desistir dos meus objetivos, pois, sem o apoio, as orações e os ensinamentos de vocês, nada disso seria possível, pois sei que não mediram esforços.

Ao meu namorado Bruno César Paulino, pelo amor, pela compreensão e pelo auxílio ao longo deste período.

As minhas adoráveis amigas Maria Caruline Baquião, Flaviane Souza, Eliza Maria, Angela Rezende e Gabriela Piza, família Rep La da Vila, obrigada por tudo.

O meu muito obrigada a todos que colaboraram de alguma forma com esta grande conquista.

*“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça”.*

(Isaiás 41:10)



## RESUMO GERAL

O potássio (K) é um dos nutrientes essenciais às culturas e sua disponibilidade para as plantas depende das reservas do solo e aplicação de fertilizantes potássicos. O Brasil importa cerca de 90% do K utilizado na agricultura, necessitando, portanto, de estudos relacionados à descoberta de fontes alternativas deste nutriente, como uso de pó da rocha fonolito. No entanto, este apresenta lenta liberação de K no solo, inviabilizando sua utilização na agricultura. Nesse sentido, os objetivos desse trabalho foram avaliar a solubilização de potássio da rocha fonolito por estirpes de bactérias diazotróficas associativas supridas com duas fontes de carbono e analisar a viabilidade do uso de fonolito em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e, além disso, verificar se a inoculação com estirpes bacterianas diazotróficas e solubilizadoras de potássio contribuem para o desenvolvimento desta forrageira. Para isso, foram conduzidos dois experimentos; o primeiro, *in vitro*, em que diferentes estirpes bacterianas foram inoculadas em meio de cultura Aleksandrov modificado contendo pó de rocha fonolito. Foram utilizadas duas fontes de carbono, sacarose e glicose, para verificar o efeito destas na solubilização de K. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 13 x 2, sendo 12 estirpes bacterianas e um controle sem inoculação e duas fontes de carbono. De um modo geral, todas as estirpes contribuíram para aumentar a concentração de K no meio de cultura, destacando-se as estirpes UNIFENAS 100-13 e UNIFENAS 100-94, as quais foram selecionadas para a utilização no segundo experimento, em que estas estirpes foram inoculadas em *B. brizantha* adubada com diferentes doses de fonolito. Esse experimento foi instalado em vasos com capacidade de 15 dm<sup>3</sup> de solo, utilizando-se o delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC) esquema fatorial e um tratamentos adicional (4x3+1), quatro doses do fonolito (Fonolito 100%; Fonolito 75%; Fonolito 50%; Fonolito 25%), 3 variáveis inoculantes (estirpe UNIFENAS 100-13; estirpe UNIFENAS 100-94 e o controle sem inoculação) e KCl (tratamento adicional). Foram avaliados parâmetros morfológicos e bromatológicos. O uso de pó de rocha silicatada fonolito, associado a bactérias diazotróficas no desenvolvimento de *B. brizantha* cv. Marandu, promoveu melhora no valor nutricional como substituto do cloreto de potássio (KCl). O inculante UNIFENAS 100-94, juntamente com a tratamento sem inoculante, apresentou melhores valores nutricionais.

**Palavras-chave:** Forragem; micro-organismos solubilizadores; rocha potássica.

## GENERAL ABSTRACT

Potassium (K) is one of the most required nutrients on crops and their availability to plants depends on soil reserves and potassium fertilization. Brazil imports about 90% of K used in agriculture, requiring, therefore, studies related to the discovery of alternative sources of this nutrient, such as use of phonolite rock dust. However, this has slow release of K in the soil, making the utilization unfeasible in agriculture. In this sense, the objectives of this study were to evaluate the potential solubilization of potassium phonolite rock by strains of associative diazotrophs supplied with two carbon sources and verify the feasibility of the use of the phonolite rock powder *Brachiaria brizantha* cv. Marandu and if the inoculation with bacterial strains diazotrophic and potassium solubilizing contribute to the development of forage. For this, two experiments were conducted, the first one in vitro, in which different bacterial strains were inoculated in Aleksandrov culture modified containing phonolite rock dust. We used two carbon sources, sucrose and glucose to check the effect of these on K. solubilization. The experiment was installed in design completely randomized in a factorial scheme 13 x 2, being 12 bacterial strains and an uninoculated control and two carbon sources. In general, all strains contributed to increase the concentration of K in the culture, highlighting the UNIFENAS 100-13 and 100-94 UNIFENAS strains, which were selected for use in the second experiment, in which these strains were inoculated in *Brachiaria brizantha* fertilized with different doses of phonolite. This experiment was installed in pots with capacity of 15 soil dm<sup>3</sup>, using the randomized complete block design (RBD), with treatments arranged in a factorial scheme 6 x 3 x 3, with utilization of KCl and five doses of phonolite: 100, 75, 50 and 25% of the recommended dose of KCl and 3 inoculants variables (UNIFENAS 100-13 strain, UNIFENAS 100-94 strain and control without inoculation), being evaluated by 3 cutting periods. Were evaluated morphological parameters and bromatologies. The use of rock silicate powder phonolite associated with diazotrophs in the development of *B. brizantha* cv. Marandu promoted better nutritional value as a substitute for potassium chloride ( KCl) . The UNIFENAS 100-94 inculante with the treatment without inoculation had better nutritional value.

**Key words:** Fodder, solubilizing microorganisms, potassic rock.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

**Figura 1.** Concentração de K ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e valor do pH do meio cultura Aleksandrov suplementado com fonolito contendo glicose (A) e sacarose (B) como fonte de carbono, cultivado com as diferentes estirpes bacterianas. \*\* = p < 46

---

### ARTIGO 2

**Figura 1.** Condições climáticas registradas durante o período de estudo pela estação meteorológica da cidade de Alfenas – MG ..... 51

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

**Tabela 1.** Identificação, local de isolamento, concentração de potássio nos solos de origem, meio utilizado para isolamento das bactérias e características morfológicas das estirpes cultivadas em meio de cultura batata dextrose ágar (BDA) contendo azul de bromotimol como indicador de pH..... 41

**Tabela 2.** Valores de pH final do meio de cultura Aleksandrov suplementado com fonolito, contendo duas fontes de carbono distintas, incubado por sete dias..... 43

**Tabela 3.** Valores de potássio (K) solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ), em meio de cultura Aleksandrov, suplementado com fonolito e com duas fontes de carbono distintas, incubado por sete dias<sup>(1)</sup>..... 45

### ARTIGO 2

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância (Quadrados Médios) dos dados referentes à matéria seca (MS) proteína bruta (PB); fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA); hemicelulose (HEM); largura de folha (LF); comprimento de folha (CF); densidade de perfilhos (DP); produtividade da matéria seca (PMS); digestibilidade da matéria seca (DMS); nutrientes digestíveis totais (NDT); energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) de *B. brizantha* cultivada com diferentes doses de fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio..... 58

**Tabela 2.** Composição bromatológica (matéria seca; proteína bruta e fibra em detergente neutro); largura e comprimento de folha; densidade de perfilhos e produtividade de matéria seca de *B. brizantha*, cultivada com diferentes doses de fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio..... 59

**Tabela 3** Desdobramento de doses de fonolito com bactérias solubilizadoras de potássio para fibra em detergente ácido (FDA); hemicelulose (HEM); digestibilidade da matéria seca (DMS); nutrientes digestíveis totais (NDT); energia digestível (ED) e metabolizável (EM) de

*B. brizantha*, cultivada com diferentes doses de fonolito e inoculada com bactérias solubilizadoras de potássio.....60

**Tabela 4.** Contraste entre tratamento adicional *versus* fatorial para matéria seca (MS) proteína bruta (PB); fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA); hemicelulose (HEM); largura de folha (LF); comprimento de folha (CF); densidade de perfilhos (DP); produtividade da matéria seca (PMS); digestibilidade da matéria seca (DMS); nutrientes digestíveis totais (NDT); energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) de *B. brizantha* .....61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABIEC</b>	Associação Brasileira das Indústrias Exploradoras de Carne
<b>ANDA</b>	Associação Nacional para Difusão de Adubos
<b>ANUALPEC</b>	Anuário da Pecuária Brasileira
<b>BDSK</b>	Bactérias Diazotróficas Solubilizadoras de Potássio
<b>DNPM</b>	Departamento Nacional de Produção Mineral
<b>FBN</b>	Fixação Biológica de Nitrogênio
<b>GEE</b>	Gases do Efeito Estufa
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Estatísticas Geográficas
<b>K</b>	Potássio
<b>KCl</b>	Cloreto de Potássio
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>NPK</b>	Nitrogênio (N), Fósforo(P) e Potássio(K)
<b>PNF</b>	Plano Nacional de Fertilizantes

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Degradação das pastagens no Brasil .....	19
2.2 Gênero <i>Brachiaria</i> .....	20
2.3 Importância do Potássio para as forrageiras .....	20
2.4 K no solo .....	21
2.5 Uso de pó de rocha na agricultura .....	22
2.6 Bactérias solubilizadoras de K .....	23
<b>3. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>37</b>
<b>ARTIGO 1: Solubilização de potássio da rocha fonolito por bactérias diazotróficas</b> <b>.....</b>	<b>38</b>
<b>ARTIGO 2: Desenvolvimento de <i>Brachiaria brizantha</i> adubada com fonolito</b> <b>associado à inoculação com bactérias solubilizadoras de potássio.....</b>	<b>52</b>

## **CAPÍTULO 1**



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Os solos brasileiros são tipicamente caracterizados pela elevada acidez associada à baixa fertilidade natural, necessitando de altas doses de corretivos e de fertilizantes para garantir boa produção agrícola. Isso torna o Brasil um dos maiores consumidores e importadores de fertilizantes constituídos à base de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (NPK). Destes, destaca-se o K, do qual cerca de 90% é importado, na forma de KCl, de países como Canadá, Alemanha e Bielorrússia (DNPM, 2014).

A alta dependência da importação deve-se, principalmente, às baixas concentrações de K<sub>2</sub>O encontradas nas reservas nacionais, sendo as principais exploradas atualmente nos estados de Sergipe (Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima) e Amazonas (Fazendinha e Arari), representando 0,22% das reservas mundiais (DNPM, 2014).

Nessas rochas, os minerais encontrados com maior abundância no Brasil são carnalita, biotita, leucita, sienito nefelínico, micaxisto, feldspato potássico, cloritaxisto, muscovita e verdete, porém são diversos os fatores que podem influenciar na eficiência agrônômica, tais como origem e composição da rocha, fatores do solo, tempo de incubação, tratamento químico ou térmico aplicado e, principalmente, de acordo com as culturas utilizadas (EICHLLER; LOPES, 1983; LEITE, 1985). Em Minas Gerais, no município de Poços de Caldas, encontra-se disponível a rocha vulcânica denominada fonolito, com composição de feldspatos alcalinos, feldspatoides e feldspatos potássicos, com cerca de 8,7 % de K<sub>2</sub>O (TEIXEIRA et al., 2012a). Portanto, o fornecimento de K e de outros nutrientes contidos em rochas minerais é liberado por processo lento.

Sendo assim, é necessário o desenvolvimento de tecnologias, visando a aumentar a liberação do K contidos nesses minerais, como por meio da utilização de micro-organismos, que, por intermédio da produção de ácidos orgânicos ocorre a redução do pH, aumentando a disponibilidade de K no meio. São conhecidas diversas espécies de microrganismos capazes de solubilizar K, como fungos, bactérias Gram positivas, negativas e bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> ou diazotróficas (Meena et al., 2014).

Em relação à bactérias diazotróficas, a capacidade de solubilizar K desperta grande interesse, uma vez que além do nitrogênio para o desenvolvimento vegetal estas podem contribuir com o K. No entanto, são poucos os estudos realizados até o momento.

Nesse contexto, esta pesquisa foi conduzida com os objetivos de:

a) Avaliar a solubilização de potássio da rocha fonolito por estirpes de bactérias diazotróficas associativas, supridas com duas fontes de carbono;

b) Analisar a viabilidade do uso de fonolito em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e verificar se a inoculação com estirpes bacterianas diazotróficas e solubilizadoras de potássio contribuem para o desenvolvimento desta forrageira.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Degradação das pastagens no Brasil

O Brasil é um país de grande extensão territorial, contendo cerca de 169 milhões de hectares em área total ocupada por pastagens (ABIEC, 2013; ANUALPEC, 2013). O Estado de Minas Gerais possui uma área estimada em 18,2 milhões de hectares de pastagens, sendo que a atividade pecuária é responsável por 55,9% do PIB do Estado, com valor de R\$ 88,3 bilhões em 2015 (CEPEA/USP, 2015).

Segundo estimativas de Macedo et al. (2014), cerca de 50% das áreas de pastagens cultivadas existentes no território nacional encontram-se degradadas ou em algum grau de degradação, sendo que a baixa fertilidade dos solos brasileiros, aliada à falta de adubação de manutenção, constitui uma das principais causas. Estudos realizados por Ferreira et al. (1999), indicam que o fornecimento de fertilizantes nessas áreas é muito baixo, de aproximadamente cerca de  $7,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de NPK, quantidade esta que não preenche as exigências das pastagens cultivadas. Conseqüentemente, as forrageiras produzidas nessas áreas possuem baixa qualidade nutricional.

A degradação das pastagens está relacionada com a perda de vigor e de produtividade da forrageira cultivada, com a ocorrência de doenças, de pragas e de plantas invasoras. A constância desse processo poderá acarretar uma degradação total do solo e dos recursos naturais, ocasionando perdas econômicas, ambientais e sociais (MACEDO et al., 1995; MACEDO et al., 2014; EUCLIDES et al., 2015).

Diante da condição atual em que são encontradas extensas áreas de pastagens degradadas, torna-se fundamental sua recuperação, visando obter maior produtividade, aliada à sustentabilidade dos agroecossistemas. Nesse sentido, estão sendo desenvolvidas diversas pesquisas visando reverter esse quadro, como pode ser verificado nos estudos de Fabrice et al. (2015); Rebonatti (2015); Rodrigues et al. (2015); Santini et al. (2016), que estudaram mecanismos de recuperação por meio de calagem, adubação, introdução de outras culturas como *Stylosanthes* e consórcios com culturas anuais.

Além disso, as áreas de pastagem que apresentam bom desenvolvimento vegetativo desempenham um importante papel no sequestro de  $\text{CO}_2$  atmosférico, contribuindo, assim, para reduzir os gases do efeito estufa (GEE) e o aquecimento do planeta (PULROLNIK et al., 2009).

## 2.2. Gênero *Brachiaria*

As forrageiras mais utilizadas para a implantação de pastagens são: *B. brizantha* cv. Xaraés (PEDREIRA et al., 2007); *B. brizantha* cv. Marandu (GIACOMINI et al., 2009); *Panicum maximum* cv. Mombaça (CARNEVALLI et al., 2006) e *P. maximum* cv. Tanzânia (BARBOSA et al., 2007). Destas, se destacam as espécies do gênero *Brachiaria*, constituindo aproximadamente 80 a 90% das pastagens, pois apresentam boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas tropicais e bom valor nutritivo, favorecendo o desenvolvimento das pastagens (MACEDO, 2006; PAULINO E TEIXEIRA, 2009).

Cerca de 70 milhões de hectares de vegetação nativa são substituídas por diversas cultivares de forrageiras, sendo uma das principais a cultivar Marandu, conhecida popularmente por Braquiário da espécie *B. brizantha* (FARIA, 2007; COSTA et al., 2007). Isso ocorre por apresentar diversos atributos positivos como tolerância à cigarrinha; elevada produção; alta qualidade de forragem; elevada resposta à adubação; boa produção de sementes; alta competição com invasoras; adaptabilidade se adequando com pasto vedado e estabelecimento rápido (CORREA, 2013).

De acordo com Rosolem; Vicentini; Steiner (2012), as plantas de *Brachiaria* possuem aptidão em extrair quantidade significativa de potássio do solo, o que certifica sua importância no uso como cultura de cobertura, na ciclagem do nutriente no solo.

Essa é uma forrageira de exigência média à alta fertilidade, por isso é de suma importância manter os níveis ideais de fertilidade do solo para obter resultados satisfatórios. Segundo Peixoto; Moura; Faria (1994), dentre os gêneros de *Brachiaria*, a espécie *B. brizantha* é a que mais responde às adubações realizadas.

## 2.3. Importância do Potássio para os vegetais

O território brasileiro é constituído, de forma geral, por solos ácidos e pobres em nutrientes devido a sua gênese e ação do intemperismo. Dentre diversos nutrientes que encontram em deficiência no solo, encontra-se o potássio (K) (RESENDE et al., 2006).

Após o nitrogênio (N), o K é o nutriente requerido em maiores quantidades pelas culturas. Entretanto, diferentemente do N que pode ser disponibilizado por processos de fixação biológica do N atmosférico, não existem fontes renováveis de K. Desse modo, sua disponibilidade às plantas depende essencialmente das reservas do solo e da aplicação de fertilizantes (RESENDE et al., 2006).

O K é um elemento essencial aos processos metabólicos nas plantas, pois exerce fundamental papel na fotossíntese, favorece a formação e translocação de carboidratos e o uso eficiente da água pela planta; promove regulação osmótica das células e dos tecidos vegetais, participa de várias etapas da síntese de proteínas e da ativação de enzimas; equilibra a aplicação de nitrogênio e melhora a qualidade do planta (ANDRADE et al., 2000; FILGUEIRA, 2008; MALAVOLTA, 2006).

Entretanto, o K apenas sucede na disposição monovalente de pequeno raio iônico dentre os sistemas biológicos, cuja absorção é elevadamente seletiva e ligada aos processos metabólicos, manifestando elevada mobilidade no interior da planta em todos os níveis: dentro da célula, entre as células individuais, a meio dos tecidos e no transporte de longa distância via xilema e floema. Dessa forma, as plantas requerem potássio em altas quantidades. Por essa razão, ele é classificado como um dos três principais nutrientes vegetais; sua deficiência ocasiona diminuição do crescimento das plantas e as torna sujeitas às doenças, à quebra de talos e à suscetibilidade a outras condições de estresse (COLA; SIMÃO, 2012; RAIJ, 1990).

#### **2.4. K no solo**

O Potássio é encontrado no solo em quatro frações, sendo estas: K trocável, K não-trocável, K em solução e K estrutural; essas formas estão em equilíbrio (RAIJ, 1990; ASKEGAARD e ERIKSEN, 2000; ÖBORN et al., 2005).

O K trocável e o K em solução são absorvidos pelas raízes das plantas, enquanto o K não-trocável e o K estrutural são apenas potencialmente disponíveis, reservas que podem ser usadas para reabastecer o K trocável (CAMPKIN, 1985; ÖBORN et al., 2005; ØGAARD et al., 2002), e são uma indicação da capacidade de longo prazo de cada tipo de solo suprir a perda de K (CAMPKIN, 1985). Estudos mostraram que principalmente o teor de K trocável, e duas outras formas, sendo através do K liberado a partir dos resíduos das culturas e K não-trocável podem migrar para a solução do solo, colaborando significativamente com a nutrição das plantas (ÖBORN et al., 2005). Contudo, a taxa de liberação de K dos minerais a partir dessas formas é muito lenta e depende do processo de fragmentação do mineral.

Dos fertilizantes potássicos, o mais utilizado na agricultura é o cloreto de potássio (KCl) por ser solúvel (MALAVOLTA, 1989). Além deste, outras fontes de potássio utilizadas na agricultura são o sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ), o sulfato duplo de potássio e magnésio ( $K_2SO_4.MgSO_4$ ) e o nitrato de potássio ( $KNO_3$ ).

O Brasil importa cerca de 90% do potássio utilizado na agricultura de países como Bielorrússia (35,74%), Canadá (35,21%), Alemanha (12,66%), Israel (6,45%) e Rússia (5,83%) (DNPM, 2014).

## **2.5. Uso de pó de rocha na agricultura**

A utilização de pó de rocha na agricultura, também conhecida como rochagem, constitui-se numa técnica antiga de fertilização natural de diversos nutrientes no solo e que apresenta características sustentáveis, devido ao baixo custo e à liberação lenta no solo, evitando perdas por lixiviação (CAMPE et al., 1996; BERGMANN; THEODORO, 2009).

Melamed et al. (2009) destacam algumas vantagens quanto ao uso de pó de rocha: fornecimento lento de macro e de micronutrientes, aumento do pH do solo, diminuição da dependência de fertilizantes, cuja produção exige um elevado consumo de energia.

O Brasil apresenta ampla geodiversidade, a qual pode ser utilizada como fonte alternativas de nutrientes, favorecendo o desenvolvimento regional, dentro de um enfoque sustentável (THEODORO, 2000). No entanto, para que um mineral seja considerado uma fonte alternativa com potencial para aplicação na agricultura, não basta somente que a rocha apresente um elevado teor de nutrientes, é necessário que estes nutrientes estejam disponíveis às plantas, assim como se deve avaliar a possibilidade de liberação de elementos tóxicos pela rocha (TEIXEIRA et al., 2012b; MANCUSO et al., 2014).

A maioria das rochas é formada por silicatos, cerca de 96% da crosta terrestre. Esses silicatos são subdivididos em alguns grupos; dentre esses grupos, encontra-se o feldspato potássico. A produção de feldspato foi em torno de 250 mil toneladas no Brasil no ano de 2007, sendo Paraná (68%), Santa Catarina (15%), São Paulo (7%), Minas Gerais (6%) e Paraíba (3%) os principais estados produtores (JOAQUIM, 2008; ZANARDO & MARQUES, 2009).

As principais reservas de K no Brasil estão localizadas nos estados de Sergipe e de Amazonas, na forma do minério silvinita, mistura de silvita (KCl) com halita (NaCl) e do mineral carnalita (KCl.MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O). O depósito em Taquari Vasouras e Santa Rosa de Lima, localizada no município de Rosário do Catete em Sergipe, da qual possui os direitos a Companhia VALE (NASCIMENTO & LOUREIRO, 2004; LOPES, 2005), possui uma produção de KCl que está crescendo gradativamente no decorrer dos anos. Do ano de 2008 para 2011, houve um aumento de 10,59% na produção (cerca de 383,3 toneladas de K<sub>2</sub>O em 2008 para 418,0 toneladas de K<sub>2</sub>O em 2011), a partir de silvita (OLIVEIRA, 2012).

No Estado do Amazonas, encontra-se  $K_2O$  nas proximidades de Fazendinha e Arari, situada na região de nova Olinda do Norte, possuindo reservas com cerca de 1.008,1 milhões de toneladas, com base em reservas de silvinita (OLIVEIRA, 2012).

A rocha fonolito, proveniente do município de Poços de Caldas – MG, é constituída principalmente por feldspatos potássicos e feldspatoide, ou seja, microclínio e ortoclásio, sanidina e nefelina . A rocha possui aproximadamente 8,7% de  $K_2O$  em sua composição química, além de outros nutrientes que são requeridos pelas plantas como cálcio, magnésio e ferro (TEIXEIRA et al., 2011, 2012a, 2012b; 2015). O elevado teor de óxidos alcalinos enquadra o fonolito como um fundente muito utilizado pelas indústrias cerâmicas (ANDRADE et al., 2005).

De acordo com os estudos de Mancuso (2012), a utilização da rocha fonolito na cultura do café proporcionou incrementos semelhantes aos proporcionados pelo KCl na dose de  $K_2O$  recomendada para a cultura.

Conforme Machado et al. (2005), uma questão ainda controversa se refere à identificação da melhor metodologia de avaliação da disponibilidade de potássio em solos que receberam a aplicação dessas rochas, visto que a forma mineral em que o nutriente se encontra na rocha implica uma maior ou menor disponibilização para as plantas (COLA; SIMÃO, 2012).

Estudos visando identificar fontes alternativas de nutrientes apresentam relevância e está em consonância com o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF) 2009, cujo objetivo principal consiste em reduzir a importação de fertilizantes, sendo o uso de fósforo de 49% para 12%, nitrogênio de 78% para 33%, e potássio deve continuar em torno de 80% (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2011).

## **2.6. Bactérias solubilizadoras de potássio (K)**

O Brasil se dispõe de reservas de minerais potássicos que estão sendo utilizados na agricultura como fonte alternativa, portanto estes apresentam baixa solubilização contendo benefícios em solos intemperizados (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004).

O solo é um sistema dinâmico onde fatores de natureza física, química e biológica interagem continuamente. As transformações microbianas, assim como as diferentes reações químicas do solo, podem ser alteradas de acordo com os tipos de manejo adotados.

O emprego de microbiota do solo, possibilitando melhor capacidade de solubilização de minerais como o potássio é de grande importância, pois promove a interação solo e planta. Por meio desses processos biológicos, são promovidos mecanismos alternativos e promissores ao aumento da produtividade da cultura manejada, pois elevam a disponibilidade de nutrientes contidos no solo (AQUINO e CORREIA, 2005).

De acordo com alguns autores, as bactérias possuem o potencial de solubilizar os minerais insolúveis liberando o potássio contido nestes (MEENA et al., 2014; SUGUMARAN e JANARTHANAM, 2007; ARCHANA et al., 2012; BASAK e BISWAS, 2009, 2010; SINDHU et al., 2012; PARMAR e SINDHU, 2013; ZHANG et al., 2013; GUNDALA et al., 2013). Desses grupos de micro-organismos, alguns são capazes de fixar N<sub>2</sub>, conforme os autores Leungvutiviroj et al. (2010) e Phua et al. (2012).

De acordo com a revisão realizada por Moreira et al. (2010), as bactérias diazotróficas podem contribuir para o crescimento vegetal não só pelo fornecimento de nitrogênio, mas também por outros mecanismos como produção de fitormônios, solubilização de fosfatos, antagonismo a fitopatógeno, entre outros. Espécies de bactérias diazotróficas associativas foram isoladas a partir de raízes e de partes aéreas de espécies de importância agrícola como as gramíneas (DOBEREINER, 1992, 1995; BALDANI et al., 1997; DIAS, 2015). Dessas espécies, as principais encontradas em gramíneas são *Azotobacter chroococcum* (DOBEREINER, 1953); *Azorhizophilus* spp. (DOBEREINER, 1966); *Azospirillum brasiliense* (DOBEREINER & PEDROSA, 1987); *A. amazonense* (MAGALHÃES et al., 1893); *Burkholderia* spp. (BALDANI et al., 1997; PERIN et al., 2006).

O principal mecanismo de solubilização de K ocorre por meio da produção de ácidos orgânicos, como málico, láctico, fórmico, acético, oxálico, tartárico e cítrico, ácidos inorgânicos, diminuição de pH, promovendo a liberação do nutriente contido nas rochas para o meio através da solubilização (LOPES-ASSAD et al., 2006; NARLOCH et al., 2002; STAMFORD et al., 2008).

Porém, a utilização de micro-organismos solubilizadores de minerais insolúveis ainda é pouco conhecida e testada. Buscando solucionar esse problema, diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de aumentar a liberação dos nutrientes de rochas em menor tempo, por meio dos processos de biossolubilização, envolvendo diversas espécies de micro-organismos (HUNGRIA; URQUIAGA, 1992; RESENDE et al., 2006). Esses estudos apresentam grande relevância na utilização de tecnologias alternativas de produção de biofertilizantes (BIGHAM et al., 2001; YUAN et al., 2004; CALVARUSO et al., 2006).



Dentre alguns trabalhos já desenvolvidos com diversos micro-organismos, foi possível comprovar que estes conseguem solubilizar o nutriente potássio através da decomposição de minerais silicados. Hungria e Urquiaga (1992) relatam em sua revisão de literatura o crescimento de bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus* e *Penicillium* em meio de cultura deficiente em potássio, ao qual se adicionou uma rocha. Esses autores relatam que o potássio pode ser liberado de minerais como biotita, muscovita, ortoclássio, entre outros. Brandão et al., (2014) realizou estudos que envolvem *A. niger* na solubilização de pós de diabásio e de fonolito e teve resultado satisfatório em relação à quantidade de K solúvel, no tratamento com pó de fonolito, sendo que a presença de determinada linhagem do fungo *A. niger* pode solubilizar minerais contidos nesses pós de rochas.

Estudos realizados por Meena et al. (2014) constataram que micro-organismos da rizosfera contribuem de forma significativa na solubilização de formas fixas de minerais do solo, mostrando que a inoculação apresenta melhoria na solubilização de K em mineral insolúvel.

### 3. REFERÊNCIAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Rebanho Bovino Brasileiro**. Disponível em:< [http://www.abiec.com.br/3\\_rebanho.asp](http://www.abiec.com.br/3_rebanho.asp).> Acesso em 07 abr. 2014.

ANDRADE, A. C. et al. Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Rev. Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 1589-1595, nov/dez.2000.

ANDRADE, P. M. et al. Efeito da Adição de Fonolito na Sinterização de Argila Caulinítica. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, p. 361-370, 2005.

ANUALPEC, 2013. **Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo: Informa Economics FNP, 2013. 400 p.

ARCHANA, D. S.; NANDISH, M. S.; SAVALAGI, V. P.; ALAGAWADI, A. R. Screening of potassiumsolubilizing bacteria (KSB) for plant growth promotional activity. **Bioinfolet**, , New Delhi, v. 9, n. 4, p.627–30, dec. 2012.

ASKEGAARD, M.; ERIKSEN, J. Potassium retention and leaching in an organic crop rotation on loamy sand as affected by contrasting potassium budgets. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 16, n. 3, p. 200–205, sept. 2000.

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F. Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo. Seropédica, RJ. **EMBRAPA Agrobiologia**, 2005. p.51. (Documentos,201)

BARBOSA FILO, M. P. et al. Aplicação de rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 63-84, jun.2006.

BARBOSA, R. A. A. et al. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.. 42, n. 3, p. 329-340, mar. 2007.

BASAK, B. B.; BISWAS, D. R. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudangrass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. **Plant Soil**, Austrália, v. 317, n. 1-2, p. 235–55, apr.2009

BASAK, B. B.; BISWAS, D. R. Co-inoculation of potassium solubilizing and nitrogen fixing bacteria on solubilization of waste mica and their effect on growth promotion and nutrient acquisition by a forage crop. **Biol Fertil Soils**, Italy, v. 46, n. 6, p. 641–648, aug. 2010.

BERGMANN, M. F. THEODORO, S. M. de C. H. Rochagem Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no Distrito mineiro de Ametista do Sul (DMAS), RS, BRASIL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM: Rochagem e fertilidade do solo, 1., 2009, Brasília. **Anais...** Brasília – DF: Embrapa Cerrados, 2010, p 137-145.

BIGHAM, J. M.; BHATTI, T. M.; VUORINEN, A.; TUOVINEN, O. H. Dissolution and structural alteration of phlogopite mediated by proton attack and bacterial oxidation of ferrous iron. **Hydrometallurgy**, Amsterdam, v. 59, n.2, p. 301-309, fev.2001.

BRANDÃO, J. A. V.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Solubilization of diabase and phonolite dust by filamentous fungus. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 740-745, set/out. 2014.

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**, Washington, v. 72, n.2, p.1258-1266, feb. 2006.

CAMPE, J.; O'BRIEN, T. A.; BARKER, A. V. Soil remineralization for sustainable agriculture. **Remineralise the Earth**, Spring, p. 141-164, 1996.

CAMPKIN, R. Model for calculating potassium requirements for grazed pastures. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, Nova Zelandia, v. 13, n. 1, p. 27–37, aug. 1985.

CARNEVALLI, R. A. et al. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, Colombia, v. 40, n.3, p. 165-176, sept. 2006.

CARVALHO, M. M. et al. Resposta de uma espécie de braquiária à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 195-200, maio/ago.1991.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Produto Interno Bruto Agronegócio CEPEA-USP/CNA, 2015. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pib/>. Acesso em 07 maio 2016.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 7, n. 4, p. 15-27, abr. 2012.

CORREA, C. V.; CARDOSO, A. I. I.; CLAUDIO, M. T. R. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semina: ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2129-2138, set./out. 2013.

COSTA, K. A. P. et al. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1197-1202, jul/ago.2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Potássio**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>> Acesso em: 27 jan. 2016.

EICHLER, V. & LOPES, A.S. Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solo de textura argilosa. **Ciência e Prática**, Bebedouro, v.7, n. 2, p.136-146, jun.1983.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 1, p. 808-818, nov./ dez.2014.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. D.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, p. 393-402, fev.2007.

FABRICE, C. E. S. et al. Recuperação de pastagens de " *Brachiaria decumbens*" degradada com introdução de *Stylosanthes* e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Bahia, v. 16, n. 4, p. 758- 771, dez. 2015.

FARIA, E. F. S.; **Formação e manejo de Pastagens** : plantas Forrageiras. Salvador : Universidade Federal da Bahia, 2007 . p.28.

FERREIRA, C. R. R. P. T. et al. Caracterização da pecuária bovina no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.29, n.2, p. 7-30, fev.1999.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008. 421 p.

GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. Produção e partição de matéria seca em *Brachiaria brizantha* em resposta à fertilização potássica e às datas de corte. **Agronomia**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1/2, p. 23-28, 2002.

GIACOMINI, A. A.; et al. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 733-741, May 2009.

GUNDALA, P. B.; CHINTHALA, P.; SREENIVASULU, B. A new facultative alkaliphilic, potassium solubilizing, *Bacillus* Sp. SVUNM9 isolated from mica cores of Nellore District, Andhra Pradesh, India. **Research and Reviews. J Microbiol Biotechnol**, India, v. 2, n., p.1–7, apr.2013.

HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S. Transformações microbianas de outros elementos (potássio, micronutrientes e metais pesados). In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. ;NEVES, M. C. P. **Microbiologia do Solo**. Campinas : [s.n.], 1992. Cap. 23, p. 329-340

JOAQUIM, L. G. Feldspato. In: **Sumário Mineral-DNPM**. 2008. Disponível em: <[w.ww.dnpm.gov.br](http://w.ww.dnpm.gov.br)> Acesso em 07 maio 2016.

LAL, S.; TABACCHIONI, S. Ecology and biotechnological potential of *Paenibacillus polymyxa*: a minireview. **Indian Journal of Microbiology**, India, v. 49, n. 1, p. 2-10, Mar. 2009.

LEITE, P. C. **Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo**. 1985. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

Lopes, S. N. Arqueologia histórica: um novo foco no cotidiano dos imigrantes do vale do Taquari. In : SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2005, Porto Alegre. **Livro de resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2005.

LOPES-ASSAD, M. L. et al. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, Brasília, v.9, n. 1, p.1-17, jun.2006.

MACEDO, M. C. M. Pastagens nos ecossistemas de cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIRAS, 1995, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p.28-62.

MACEDO, M. C. M. Degradação de Pastagens: Conceitos e Métodos de Recuperação. In: SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL, 1999, Goiânia. **Anais...** Goiânia : Embrapa Gado de Leite, 1999. p.137-150.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000.

MACEDO, M. C. M. Aspectos edáficos relacionados com a produção de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu. In : BARBOSA, RA (Ed.) **Morte de pastos de braquiárias**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte , 2006. p. 35-65.

MACEDO, M. C. M. et al. **Degradação de pastagens, alternativa de recuperação e renovação e formas de mitigação**. Campo Grande : Embrapa gado de corte, 2014. p. 158-181.

MACHADO, C. T. T. et al. 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., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE/SBCS, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. ; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1989.

MALAVOLTA, E. **Função dos macros e micronutrientes** : manual de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANCUSO, M. A. C. **Fontes e doses de potássio na cultura do café (Coffea arabica L.)**. 2012, 61 f. Dissertação ( Mestrado)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MANCUSO, M. A. C. et al. Effect of potassium sources and rates on Arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1448–1456, jul. 2014.

MATTOS, W. T.; MONTEIRO, F. A. Respostas de *Braquiária brizantha* a doses de potássio. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 428-437, Maio 1998.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. In: LAPIDO-LOUREIRO, E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 385-395.

MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERMA, J. P. Does a rhizospheric microorganism enhance K<sup>+</sup> availability in agricultural soils? **Microbiological Research**, v. 169, p. 337-347. 2014. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501313001432#>>. Acesso em: 14 Fev. 2016.

MINISTÉRIO DA FAZENDA Secretaria de Acompanhamento Econômico – SEAE . **Panorama do mercado de fertilizantes**, Maio/2011. p. 8-33.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

NARLOCH, C. et al. Resposta da cultura do rabanete à inoculação de fungos solubilizadores de fosfatos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 06, p. 841-845, jun.2002.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: O potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM: MCT, 2004. 66 p. (Estudos e Documentos, 61).



NASCIMENTO, R. L.; MIRANDA, L. A. **Exploração de potássio no Brasil**. Brasília : Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2015. 23p.

ÖBORN, I. et al. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 21, n. 1, p. 102–112, dez. 2005.

ØGAARD, A. F.; KROGSTAD, T. ; LUNNAN, T. Ability of some Norwegian soils to supply grass with potassium (K) - soil analyses as predictors of K supply from soil. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 18, n. 4, p. 412–420, set.2002.

OLIVEIRA, L. A. M. **Potássio**. Brasília: DNPM, 2012. Disponível em: [https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6388](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6388) >. Acesso em: 20 mar. 2016.

PARMAR, P.; SINDHU, S. S. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. **J Microbiol Res**, India, v. 3, n.1, p. 25–31, apr.2013.

PAULINO, V. T.; TEIXEIRA, E. M. L. Sustentabilidade de pastagens–manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa. **CPG-Produção animal sustentável, Ecologia de Pastagens, IZ, APTA/SAA**, v. 16, 2009.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; SILVA, S. C. da. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.281-287, fev.2007.

PEIXOTO, M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. Manejo da pastagem. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1994.

PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, jun.2009.

RAIJ, B. **Potássio: necessidade e Uso na Agricultura moderna.** Piracicaba : Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato-POTAFOS, 1990.

RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1997. 285 p.

REBONATTI, M. D. **Recuperação de pastagem com estilosantes Campo Grande e adubação Fosfatada.** 2015. 53 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/127774>>. Acesso em 07 maio 2016.

RESENDE, A. V. et al. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira. **Espaço & Geografia**, Brasília, v.9, n.1, p.19-42, jun. 2006.

RODRIGUES, M. et al. Análise econômica de consórcios de *Brachiaria brizantha* com culturas graníferas anuais voltados para a recuperação de pastagens na Amazônia. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 10, n. 1, p. 82-90, out/dez.2015.

ROSOLEM, C. A. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.). In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. p.239-260

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um latossolo vermelho do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.36, n. 36, p.1507-1515, jul.2012.

SANTINI, J. M. K. et al. Técnicas de manejo para recuperação de pastagens degradadas de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk). **Boletim de Indústria Animal**, São Paulo, v. 72, n. 4, p. 331-340, dez.2016.

SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p. 847-854, jun.2002.

SINDHU, S. S.; PARMAR, P.; PHOUR, M. Nutrient cycling: potassium solubilization by microorganisms and improvement of crop growth. In: PARMAR, N, SINGH, A, edit-ors. **Geomicrobiology and biogeochemistry: soil biology**. New York : Springer-Wien, 2012.

SRIDEVI, M.; MALLAIAH, K. V. Phosphate solubilization by *Rhizobium* strains. **Indian Journal of Microbiology**, India, v.49, n. 1, p. 98-102, Mar. 2009.

STAMFORD, N. P. et al. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and their effects in soil chemical attributes. **World J. Microbiol. Biotechnol.** Suíça, v. 24, n. 10, p. 2061-2066, p. 2061-2066, oct. 2008.

SUGUMARAN, P.; JANARTHANAM, B. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. **World J Agric Sci** , India, v. 3, n. 3, p. 350–355, May 2007.

TÁVORA, J. E. M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. **YAMADA, T**, 1982.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Caracterização da rocha fonolito pelas técnicas de difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e infravermelho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, v.1, 34.,2011, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2011.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **HOLOS**, Natal, Brasil, v.5, n.28, p. 21-33, Nov. 2012a.

TEIXEIRA, A. M. S et al. Caracterização e classificação quanto ao risco ambiental do estéril da mina de cromita do município de Andorinha, Bahia. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 9, p. 1794–1799, 2012b.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E.; SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito. **HOLOS**, Natal, Brasil, v. 5, n. 31, p. 52-64, set.2015.

THEODORO, S. H. **Fertilização da terra pela terra**: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. 2000. 225f. Tese (Doutorado) -Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB). Brasília, 2000.

YUAN, L.; HUANG, J.; LI, X.; CHRISTIE, P. Biological mobilization of potassium from clay minerals by ectomycorrhizal fungi and eucalypt seedling roots. **Plant and Soil**, Australia, v. 262, n. 1-2, p. 351-361, May 2004.

ZANARDO, A.; MARQUES JUNIOR, J. **Conceitos básicos de mineralogia** : química e mineralogia de solos. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 73-150.

ZHANG, S. et al. Spatial distribution of soil nutrient at depth in black soil of Northeast China: a case study of soil available potassium. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Cornell University, Ithaca, USA , v. 95, n. 3, p. 319–331, june 2013.

## **CAPÍTULO 2**

## ARTIGO 1

(Artigo aceito - Revista Comunicata Scientiae)

### **Solubilização de potássio da rocha fonolito por bactérias diazotróficas**

**(Potassium solubilization in phonolite rock by diazotrophic bacteria)**

**Resumo** - Algumas estirpes de bactérias diazotróficas, além de fixar o N<sub>2</sub>, são capazes de produzir fitormônios, controlar patógenos e solubilizar minerais que contenham fósforo (P) e potássio (K), contribuindo para o crescimento vegetal. No entanto, a solubilização de minerais contendo K tem sido pouco explorada. Nesse sentido, objetiva-se com esta pesquisa avaliar a solubilização de potássio (K) da rocha fonolito por estirpes de bactérias diazotróficas associativas, supridas com duas fontes diferentes de carbono. Foram utilizadas 12 estirpes bacterianas cultivadas por sete dias a 25°C em meio líquido Aleksandrov suplementado com pó de rocha fonolito. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 13 x 2 (12 estirpes bacterianas e um controle sem inoculação) e duas fontes de carbono (glicose e sacarose) com quatro repetições. Após o cultivo, o sobrenadante foi separado por centrifugação e analisado o valor do pH final e a concentração de K. A redução do pH foi diretamente relacionada à maior concentração de K. Todas as estirpes bacterianas diazotróficas contribuíram para maior liberação de K, quando comparado ao tratamento controle, destacando-se a estirpe UNIFENAS 100-94, que solubilizou cerca de 130 mg L<sup>-1</sup> de K na presença das duas fontes de carbono, indicando o potencial de utilização desta estirpe bacteriana diazotrófica e solubilizadora de minerais contendo K na agricultura.

**Palavras-chave:** biosolubilização, fonte de carbono, pó de rocha.

**Abstract** - Some strains of nitrogen fixing bacteria, besides fixing the N<sub>2</sub>, can produce phytohormones, controlling pathogens, solubilizing minerals containing phosphorus (P) and potassium (K), contributing to plant growth. However, the solubilization of minerals containing K has been little exploited. Therefore, the aim of this study was to evaluate potassium solubilization (K) of phonolite rock by strains of associative nitrogen fixing bacteria supplied with two different carbon sources. Twelve bacterial strains were cultured for seven days at 25°C in medium Aleksandrov supplemented with phonolite rock powder. The experiment was carried in a completely randomized factorial, 13 x 2 (12 bacterial strains and a control without inoculation) and two carbon sources (glucose and sucrose) with four replications. After the growth, the supernatant was separated by centrifugation and analyzed

for the final pH value, and the content of K. All diazotrophic bacterial strains contributed to increase the release of K when compared to the control treatment. The strain UNIFENAS 100-94 solubilized  $130 \text{ mg L}^{-1}$  K in the presence of the two carbon sources, indicating the potential use of these diazotrophic bacterial strains for K solubilizing from rock minerals.

**Keywords:** bio-solubilization, carbon source, rock powder.

## INTRODUÇÃO

O processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), realizado pelas bactérias diazotróficas, ou fixadoras de  $\text{N}_2$ , proporciona vantagens econômicas e maior sustentabilidade aos agroecossistemas (MOREIRA et al., 2010). Além do N, essas bactérias podem contribuir para o crescimento vegetal por meio de diversos mecanismos, como produção de fitormônios e aumento na liberação de nutrientes presentes em minerais de baixa solubilidade, sendo consideradas bactérias promotoras do crescimento vegetal (MOREIRA et al., 2010; PHUA et al., 2012).

Em relação à capacidade de solubilização de minerais por bactérias diazotróficas, observa-se que grande parte dos estudos estão relacionados, principalmente, à solubilização de minerais contendo fósforo (SOUCHIE et al., 2005; BARROSO & NAHAS, 2008; LIRA-CADETE et al., 2012). No entanto, verifica-se a necessidade de avaliar o potencial dessas bactérias em solubilizar outros minerais que contenham elementos de importância econômica, como o potássio (K), nutriente do qual o Brasil importa cerca de 90% do total utilizado na agricultura (ANDA, 2012). A alta dependência do mercado externo é devido à baixa produção nacional, oriunda, principalmente das jazidas de Silvinita e Carnalita, as quais contribuem com menos de 10% da demanda nacional (DNPM, 2014).

Uma das rochas que tem sido estudada como potencial fonte de K é o fonolito, de origem vulcânica, encontrada em Poços de Caldas, Minas Gerais, que apresenta 8,7% de  $\text{K}_2\text{O}$  total. A baixa concentração de  $\text{K}_2\text{O}$  solúvel presente no fonolito pode ocorrer devido à predominância de alguns minerais constituintes, como: microclínio e ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), sanidina  $[(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  e nefelina  $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$ , a qual possui como principal constituinte o feldspato potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) (TEIXEIRA et al., 2012), e em que o K se encontra retido por ligações covalentes na rede cristalina do mineral, apresentando, portanto, baixa liberação de K para a solução do solo (MARTINS et al., 2008). As pesquisas realizadas com o pó dessa rocha apresentaram resultados satisfatórios quando este foi utilizado na mesma proporção do cloreto de potássio (KCl) (MANCUSO, 2012; PÁDUA, 2012).

Algumas espécies microbianas são capazes de solubilizar os minerais, liberando o K para a solução, aumentando, assim, a disponibilidade deste nutriente no solo e,

consequentemente, contribuindo para o desenvolvimento vegetal (WU et al., 2005; GIRGIS et al., 2008; BASAK & BISWAS, 2009; LEAUNGYUTIVIROJ et al., 2010; PARMAR & SINDHU, 2013; MEENA et al., 2014). Alves et al. (2010) relatam a eficiência de fungos ectomicorrízicos em disponibilizar P e K a partir de pó de rocha, para o desenvolvimento do eucalipto. Considerando as condições dos solos brasileiros, ácidos e de baixa fertilidade natural, pesquisas associando a fixação de N<sub>2</sub> e solubilização de K apresentam grande relevância, principalmente para as extensas áreas de pastagens, em que a falta de reposição de nutrientes, como o N e K, tem sido apontada como uma das causas de degradação (BONFIM-SILVA & MONTEIRO, 2006).

Portanto, a seleção e a identificação desses micro-organismos apresenta grande importância, uma vez que viabilizaria a utilização de pó de rocha, reduzindo, assim, a dependência externa de fertilizantes e proporcionando maior sustentabilidade aos ecossistemas. Entretanto, diferentes condições de cultivo, como tipo de rocha, fonte de carbono, temperatura e pH, podem interferir na quantidade de K liberada pelos microrganismos (PARMAR & SINDHU, 2013), sendo importante, portanto, considerar estes parâmetros nos estudos iniciais envolvendo a seleção de micro-organismos solubilizadores de minerais contendo K.

Assim, objetiva-se com esta pesquisa avaliar a solubilização de potássio (K) da rocha fonolito por estirpes de bactérias diazotróficas associativas, supridas com duas fontes diferentes de carbono.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Neste estudo, foram utilizadas 12 estirpes de bactérias diazotróficas pertencentes à coleção do Laboratório de Microbiologia da Unifenas e isoladas de solos rizosféricos cultivados com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, nos municípios de Alfenas e Machado, Minas Gerais. Essas bactérias foram isoladas por Dias (2015) a partir de quatro meios de cultura (JMV, JNFb, LGI e NFb) semi-sólido e semi-seletivo para os gêneros: *Burkholderia* – JMV (BALDANI et al., 2000), *Herbaspirillum* – JNFb, *Azospirillum amazonense* - LGI e *Azospirillum* spp. – NFb (DOBEREINER et al., 1995). Na tabela 1, são apresentadas as principais características das estirpes bacterianas utilizadas neste estudo.



**Tabela 1.** Identificação, local de isolamento, concentração de potássio nos solos de origem, meio utilizado para isolamento das bactérias e características morfológicas das estirpes cultivadas em meio de cultura batata dextrose ágar (BDA), contendo azul de bromotimol como indicador de pH.

Estirpes	Potássio trocável dos solos de origem (mg.dm <sup>-3</sup> )	Meio de cultivo de origem	Características morfológicas em meio de cultura BDA		
			pH	Cor	EPS <sup>(1)</sup>
Isoladas no município de Alfenas, MG					
UNIFENAS 100-01	114	JNFb	Ácido	Amarela	Baixa
UNIFENAS 100-16	30	JMV	Ácido	Amarela	Baixa
UNIFENAS 100-21	30	JNFb	Ácido	Amarela	Baixa
UNIFENAS 100-26	42	JNFb	Alcalino	Amarelada	Baixa
UNIFENAS 100-39	30	JNFb	Ácido	Amarela	Média
UNIFENAS 100-40	42	JNFb	Ácido/alcalino	Amarela	Baixa
UNIFENAS 100-79	30	LGI	Ácido/alcalino	Amarela	Alta
UNIFENAS 100-94	42	JMV	Ácido	Amarela	Baixa
Isoladas no município de Machado, MG					
UNIFENAS 100-13	128	JNFb	Ácido	Amarela	Alta
UNIFENAS 100-27	120	LGI	Ácido	Amarela	Média
UNIFENAS 100-85	120	LGI	Ácido/alcalino	Amarelada	Alta
UNIFENAS 100-93	68	JMV	Ácido/alcalino	Amarelada	Alta

<sup>(1)</sup>EPS - produção de exopolissacarídeos

As estirpes bacterianas foram cultivadas em meio batata líquido sob agitação por três dias, tempo suficiente para atingir a fase logarítmica de crescimento, aproximadamente  $10^9$  células  $\text{mL}^{-1}$ . Posteriormente, 500  $\mu\text{L}$  das suspensões bacterianas foram transferidas para 50 mL do meio líquido Aleksandrov modificado (PARMAR & SINDHU, 2013), com a seguinte composição ( $\text{g L}^{-1}$ ): Glicose 10,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0,5;  $\text{CaCO}_3$  0,1;  $\text{FeCl}_3$  0,006;  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$  2,0; pH ajustado a 7,0 e 10 g da rocha fonolito como fonte de potássio contendo 8,0% de  $\text{K}_2\text{O}$ , moída e passada por peneira com abertura de malha de 0,25 mm (60 mesh). Além da glicose como fonte de carbono, foi testada também sacarose (10,0  $\text{g L}^{-1}$ ), para verificar o efeito da fonte de carbono no potencial de biossolubilização de K presente na rocha fonolito.

Além dos tratamentos inoculados com as estirpes bacterianas, foi utilizado também um tratamento controle, cujo meio apresentou a mesma composição (meio Aleksandrov modificado, contendo 10 g da rocha fonolito), sem inoculação com estirpe bacteriana.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $13 \times 2$ , sendo 12 estirpes bacterianas e um controle sem inoculação e duas fontes de carbono (sacarose e glicose) com quatro repetições. Os meios foram incubados a  $25^\circ\text{C}$  por sete dias, sob agitação (120 rpm a  $28^\circ\text{C}$ ) e, após esse período, o sobrenadante foi separado por centrifugação (10.000 rpm,  $4^\circ\text{C}$  e 20 min), foi analisado o valor do pH final em medidor de pH e a concentração de K solúvel por fotometria de chama (LOPES-ASSAD et al., 2006).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias das quatro repetições foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Sisvar (FERREIRA, 2011). Também foi realizada a análise de correlação linear entre as concentrações de K e valor de pH para cada fonte de carbono, utilizando-se o programa AgroEstat – versão 1.0 (BARBOSA & MALDONADO JÚNIOR, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos valores de pH final (Tabela 2), foram observadas diferenças significativas entre as estirpes e para a interação estirpe e fonte de carbono. Verificou-se que a inoculação com todas as estirpes bacterianas contribuiu para a redução do pH final do meio de cultura em relação ao tratamento controle, exceto o tratamento inoculado com a estirpe UNIFENAS 100-27 cultivada no meio contendo sacarose, cujo valor de pH final foi semelhante ao do tratamento controle.

**Tabela 2.** Valores de pH final do meio de cultura Aleksandrov suplementado com fonolito, contendo duas fontes de carbono distintas, incubado por sete dias<sup>(1)</sup>.

Tratamentos	pH final	
	Fonte de Carbono	
	Glicose	Sacarose
Controle	6,84 A a	6,84 A a
UNIFENAS 100-01	4,97 C a	4,88 C a
UNIFENAS 100-13	4,16 D b	4,76 C a
UNIFENAS 100-16	4,36 D a	4,41 D a
UNIFENAS 100-21	4,14 D a	4,40 D a
UNIFENAS 100-26	3,54 E b	4,82 C a
UNIFENAS 100-27	4,19 D b	6,74 A a
UNIFENAS 100-39	3,86 E b	4,30 D a
UNIFENAS 100-40	3,99 E a	3,87 E a
UNIFENAS 100-79	3,89 E b	4,41 D a
UNIFENAS 100-85	5,44 B a	5,72 B a
UNIFENAS 100-93	4,73 C b	5,76 B a
UNIFENAS 100-94	3,90 E b	4,59 C a
Médias	4,46	5,04

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

No meio contendo glicose, os tratamentos inoculados com as estirpes UNIFENAS 100-26, UNIFENAS 100-39, UNIFENAS 100-40, UNIFENAS 100-79 e UNIFENAS 100-94 apresentaram os mesmos valores de pH final, em média, cerca de três unidades abaixo do tratamento controle. Nessa mesma fonte de carbono, dentre os tratamentos inoculados com as estirpes bacterianas, observou-se que o inoculado com a estirpe UNIFENAS 100-85 foi o que apresentou o maior valor de pH final. Já para o meio de cultura contendo sacarose como fonte de carbono, a estirpe que promoveu maior redução do pH do meio foi a UNIFENAS 100-40 e a que apresentou menor influência na redução do pH foi a estirpe UNIFENAS 100-27, semelhantes ao tratamento controle.

Com relação à interação estirpes bacterianas *versus* fonte de carbono, o pH final do meio, contendo glicose e inoculado com as estirpes UNIFENAS 100-13, UNIFENAS 100-26, UNIFENAS 100-27, UNIFENAS 100-39, UNIFENAS 100-79, UNIFENAS 100-93 e UNIFENAS 100-94, foi menor que os valores de pH final do meio contendo sacarose e

inoculado com as mesmas estirpes. No entanto, não foram verificados efeitos significativos nas demais.

A redução do pH do meio promovido pela inoculação com as estirpes bacterianas pode ter ocorrido devido à produção de diferentes ácidos orgânicos pelo metabolismo microbiano (SHENG et al., 2008), sendo que a fonte de carbono presente no meio de cultura pode interferir no tipo de ácido orgânico produzido (BARROSO et al., 2006).

Observa-se na tabela 3 que todas as estirpes bacterianas utilizadas na pesquisa contribuíram de forma efetiva para o aumento dos teores de K solúvel no meio de cultura quando comparado ao tratamento controle. Na presença da glicose, os tratamentos que apresentaram maiores teores de K foram os inoculados com as estirpes UNIFENAS 100-13 e UNIFENAS 100-94. Nesse mesmo meio, os tratamentos que apresentaram menor quantidade de K foram os inoculados com as estirpes UNIFENAS 100-27, UNIFENAS 100-85 e UNIFENAS 100-93. Já para o meio contendo sacarose, verificou-se que a maior quantidade de K foi encontrada nos tratamentos inoculados com as estirpes UNIFENAS 100-01, UNIFENAS 100-21 e UNIFENAS 100-94 e o menor valor de K, no tratamento inoculado com a estirpe UNIFENAS 100-27.

**Tabela 3.** Valores de potássio (K) solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em meio de cultura Aleksandrov, suplementado com fonolito e com duas fontes de carbono distintas, incubado por sete dias<sup>(1)</sup>.

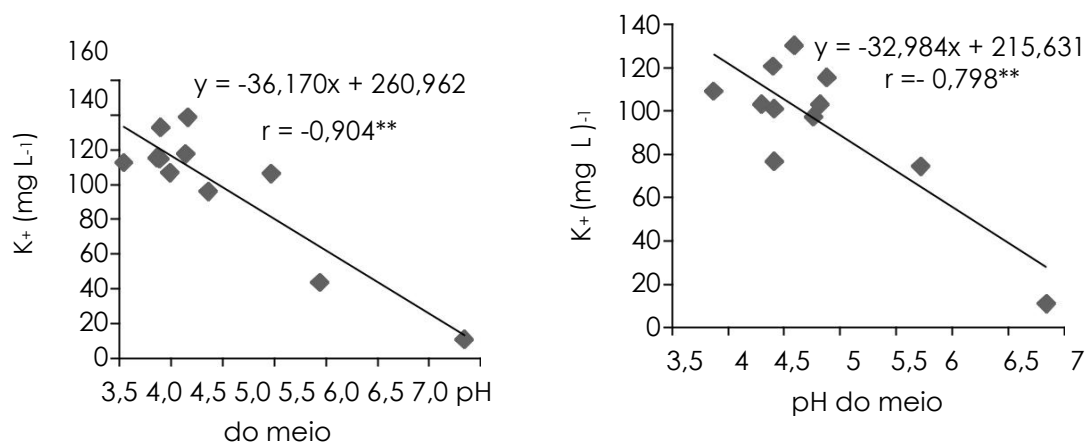
Tratamentos	K ( $\text{mg L}^{-1}$ )	
	Fonte de Carbono	
	Glicose	Sacarose
Controle	11,00 D a	11,25 E a
UNIFENAS 100-01	106,25 B a	115,50 A a
UNIFENAS 100-13	138,50 A a	97,50 B b
UNIFENAS 100-16	96,00 B a	101,25 B a
UNIFENAS 100-21	117,50 B a	120,75 A a
UNIFENAS 100-26	112,50 B a	103,25 B a
UNIFENAS 100-27	55,75 C a	58,50 D a
UNIFENAS 100-39	115,25 B a	103,25 B a
UNIFENAS 100-40	106,75 B a	109,25 B a
UNIFENAS 100-79	114,75 B a	76,75 C b
UNIFENAS 100-85	43,75 C b	74,50 C a
UNIFENAS 100-93	54,25 C b	73,25 C a
UNIFENAS 100-94	132,75 A a	130,25 A a
Médias	92,69	90,40

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

A maior solubilização de K da rocha fonolito pelas estirpes UNIFENAS 100-13 e UNIFENAS 100-94, quando cultivadas em meio contendo glicose e UNIFENAS 100-01, UNIFENAS 100-21 e UNIFENAS 100-94, na presença de sacarose, não apresentou relação com a concentração de K presente nos solos de origem dessas bactérias (Tabela 1).

Analisando as concentrações de K presentes nos meios de cultivo após o crescimento bacteriano e os valores de pH final, é possível relacionar estes dois parâmetros (Figura 1). No meio contendo glicose, esse fato pôde ser observado para a estirpe UNIFENAS 100-94, que apresentou alta capacidade em solubilizar K e promoveu maior redução no pH do meio de cultura. No mesmo meio, situação oposta pôde ser observada para o tratamento inoculado com a estirpe UNIFENAS 100-85, apresentando baixa capacidade solubilizadora de K e pequena redução no pH do meio. Quando a sacarose foi utilizada como fonte de carbono também foi possível observar o mesmo tipo de relação entre K disponível e pH do meio para o tratamento inoculado com a estirpe UNIFENAS 100-27 (Tabelas 2 e 3). Esses resultados

podem ter ocorrido devido às propriedades do metabolismo de cada estirpe bacteriana, bem como à influência da fonte de carbono, conforme Barroso et al. (2006).



(A)

(B)

**Figura 1.** Concentração de K (mg L<sup>-1</sup>) e valor do pH do meio cultura Aleksandrov, suplementado com fonolito contendo glicose (A) e sacarose (B) como fonte de carbono, cultivado com as diferentes estirpes bacterianas. \*\* =  $p < 0,01$ .

A relação entre a redução do pH e aumento da disponibilidade de K foram observados por outros autores (LOPES-ASSAD et al., 2006; GIRGIS et al., 2008), sugerindo que o abaixamento do pH, geralmente associado à produção de diferentes ácidos orgânicos, pode ser um dos mecanismos utilizados por estas bactérias para solubilizar o mineral e liberar o K preso na estrutura cristalina dos minerais.

A produção de ácidos orgânicos tem sido apontada como o principal mecanismo dos micro-organismos solubilizadores de K (HASSAN et al., 2010; MEENA et al 2014) e, algumas estirpes analisadas nesse trabalho serão, posteriormente, estudadas em relação à produção e identificação de ácidos orgânicos.

A quantidade de K liberada do fonolito foi dependente da fonte de carbono utilizada no meio de cultivo (Tabela 3). A estirpe UNIFENAS 100-13 apresentou maior solubilização de K na presença de glicose, enquanto nas estirpes UNIFENAS 100-01 e UNIFENAS 100-21 foram observadas maiores concentrações de K quando se utilizou a sacarose como fonte de carbono.

Dentre as estirpes testadas, destaca-se a UNIFENAS 100-94, que apresentou alta capacidade de solubilizar K do pó de rocha fonolito quando cultivada em ambas as fontes de

carbono, indicando maior versatilidade metabólica e, possivelmente, maior potencial em solubilizar K no solo.

As estirpes que se destacaram em solubilizar K deverão ser incluídas em novas pesquisas visando identificar o potencial de solubilização de minerais silicatados no solo e, posteriormente, avaliar o quanto de K pode ser disponibilizado para a planta.

## **CONCLUSÕES**

As estirpes de bactérias diazotróficas UNIFENAS 100-01 e UNIFENAS 100-21 apresentaram maior potencial em solubilizar K a partir do pó de rocha fonolito na presença de sacarose como fonte de carbono. Já a estirpe UNIFENAS 100-13, se destacou na presença de glicose e a estirpe UNIFENAS 100-94 apresentou alta capacidade de solubilizar K na presença das duas fontes de carbono testadas.

## **AGRADECIMENTOS**

À Capes pela bolsa de Mestrado, à Fapemig e CNPq, pelas bolsas de Iniciação Científica e à Fapemig, pelo auxílio financeiro (FAPEMIG 17/2013 - Processo: APQ-01115-14).

## REFERÊNCIAS

Alves, L., Oliveira, V. L., Silva Filho, G. N. 2010. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. *Brazilian Journal Microbiology* 41: 676-684.

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. *Anuário estatístico do setor de fertilizantes*. 2012.

[http://www.anda.org.br/multimidia/INDICE\\_DO\\_ANUARIO\\_DE\\_2012.pdf](http://www.anda.org.br/multimidia/INDICE_DO_ANUARIO_DE_2012.pdf)/ <Acesso em 04 Jun. 2014>.

Baldani, V. L. D., Baldani, J. I., Dobereiner, J. 2000. Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. *Biology and Fertility of Soils*, 30: 485-491.

Barbosa, J. C., Maldonado Júnior, W. 2011. *AgroEstat*: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Versão 1.0. FCAV/UNESP, Jaboticabal, Brasil. 396p.

Barroso, C. B., Pereira, G. T., Nahas, E. 2006. Solubilization of  $\text{CAHPO}_4$  and  $\text{ALPO}_4$  by *Aspergillus niger* in culture media with different carbon and nitrogen sources. *Brazilian Journal of Microbiology* 37: 434-438.

Barroso, C. B., Nahas, E. 2008. Solubilização de fosfato de ferro em meio de cultura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 529-535.

Basak, B. B., Biswas, D. R. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudangrass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. *Plant and Soil* 317: 235-255.

Bonfim-Silva, E. M., Monteiro, F. A. 2006. Nitrogênio e enxofre em características produtivas do capim-braquiária proveniente de área de pastagem em degradação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35: 1289-1297.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Sumário Mineral*. Brasil: 2014. 141 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/sumario-mineral> <Acesso em 20 mar.2016>



Dobereiner, J., Baldani, J. I, Baldani, V. L. D. 1995. *Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas*. Embrapa- CNPAB, Itaguaí, Brasil. 60p.

Ferreira, D. F. 2011. SISVAR: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35: 1039-1042.

Girgis, M. G. Z., Khalil, H. M. A., Sharaf, M. S. 2008. *In Vitro* evaluation of rock phosphate and potassium solubilizing potential of some *Bacillus* strains. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2: 68-81.

Hassan, E. A, Hssan, E. A, Hamad, E. H. 2010. Microbial solubilization of phosphate-potassium rocks and their effect on khella (*Ammi visnaga*) growth. *Annals of Agricultural Science* 55: 37-53.

Leaungvutiviroj, C., Ruangphisarn, P, Hansanimitkul, P., Shinkawa, H., Sasaki, K. 2010. Development of a new biofertilizer with a high capacity for N<sub>2</sub> fixation, phosphate and potassium solubilization and auxin production. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 74: 1098–10101.

Lira-Cadete, L., Farias, A. R. B., Ramos, A. P. S., Costa, D. P., Freire, F. J., Kuklinsky-Sobral, J. 2012. Variabilidade genética de bactérias diazotróficas associadas a plantas de cana-de-açúcar capazes de solubilizar fosfato inorgânico. *Bioscience Journal* 28: 122-129.

Lopes-Assad, M. L., Rosa, M. M., Erler, G., Ceccato-Antonini, S. R. 2006. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. *Espaço & Geografia* 9: 1-17.

Mancuso, M. A. C. 2012. *Fontes e doses de potássio na cultura do café (Coffea arabica L.)*. 61f. (Dissertação de Mestrado) –Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil.

Martins, E. S.; Oliveira, C. G.; Resende, A. V., Matos, M. S. F. Agrominerais : rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: Luz, A.B., Lins, F.F. (Ed). *Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações*. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 205-223.

Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance  $K^+$  availability in agricultural soils? *Microbiological Research*, 169: 337-347.

Moreira, F. M. S. et al. 2010. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. *Comunicata Scientiae*, 1: 74-99.

Pádua, E. J. 2011. *Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas*. 91f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

Parmar, P., Sindhu, S. S. 2013. Potassium Solubilization by Rhizosphere Bacteria: Influence of Nutritional and Environmental Conditions. *Journal of Microbiology Research*, 3: 25-31.

Phua, C. K. H., Abdul Wahid, A. N., Abdul Rahim, K. 2012. Development of multifunctional biofertilizer formulation from indigenous microorganisms and evaluation of their  $N_2$ -fixing capabilities on Chinese cabbage using  $^{15}N$  tracer technique. *Tropical Agricultural Science* 35: 673-679.

Sheng, X. F., Zhao, F., He, H., Qiu, G, Chen, L. 2008. Isolation, characterization of silicate mineral solubilizing *Bacillus globisporus* Q12 from the surface of weathered feldspar. *Canadian Journal of Microbiology* 54: 1064-1068.

Souchie, E. L., Azcon, R., Barea, J. M., Saggin-Junior, O. J., Silva, E. M. R. 2005. Solubilização de fosfatos em meios sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40: 1149-1152. .

Teixeira, M. A. S., Garrido, F. M. S., Medeiros, M. E., Sampaio, J. A. 2012. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. *Holos* 5: 21-33

Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., Wong, M. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125: 155-166.

## ARTIGO 2

(Artigo a ser submetido)

### **Desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* adubada com fonolito associado à inoculação com bactérias solubilizadoras de potássio**

**(Development of *Brachiaria brizantha* fertilized with phonolite associated with inoculation of bacteria potassium solubilizing)**

**Resumo** - Objetivou-se com esta pesquisa analisar a viabilidade do uso de pó de rocha silicatada fonolito, associado à inoculação de bactérias diazotróficas solubilizadoras do potássio no desenvolvimento de *B. brizantha* cv. Marandu. O experimento foi conduzido no viveiro de Mudanças do Setor de Ciências Agrárias da Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas/MG, em vasos contendo 15 dm<sup>3</sup> de solo durante o período de 243 dias. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial e um tratamento adicional (4x3+1) com quatro repetições por tratamento. Os tratamentos utilizados foram: quatro doses do fonolito (fonolito 100%, 75%, 50% e 25%) associado a três variáveis inoculantes (estirpe UNIFENAS 100-13, estirpe UNIFENAS 100-94 e o controle sem inoculação) e um tratamento adicional de cloreto de potássio (KCl). Em todos os cortes foram avaliados os parâmetros: matéria seca (MS); proteína bruta (PB); fibra em detergente neutro (FDN); fibra em detergente ácido (FDA); hemicelulose (HEM); largura (LF); comprimento foliar (CF); densidade de perfilhos (DP); produtividade de matéria seca (PMS); digestibilidade da matéria seca (DMS); energia metabolizável (EM) e energia digestível (ED). O uso de pó de rocha silicatada fonolito associado a bactérias diazotróficas no desenvolvimento de *B. brizantha* cv. Marandu promoveu melhora no valor nutricional como substituto do cloreto de potássio (KCl). O inculante UNIFENAS 100-94, juntamente com a tratamento sem inoculante, apresentou melhores valores nutricionais.

**Palavras-chave:** Forrageiras; inoculação; pó de rocha.

**Abstract** - The objective of this research was to analyze the feasibility of using rock silicate powder phonolite associated with inoculation of bacteria diazotrophic potassium solubilizing in the development of *B. brizantha* cv. Marandu. The experiment was conducted in the nursery seedlings of Agricultural Sciences Sector of the University José do Rosário Vellano, Alfenas / MG, in pots containing 15 dm<sup>3</sup> soil during the period of 243 days. the design was used in a randomized block design (RBD) in factorial arrangement and an additional

treatments (4x3 + 1) with four replicates per treatment. The treatments were four doses of phonolite (phonolite 100%, 75%, 50% and 25%) associated with three variables inoculants (strain UNIFENAS 100-13, 100-94 UNIFENAS strain and control without inoculation) and an additional treatment potassium chloride (KCl). In all the cuts were evaluated parameters: dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), hemicellulose (HEM), width (LF), leaf length (CF), tiller density (PD), dry matter yield (PMS), dry matter digestibility (DMD), metabolizable energy (ME) and digestible energy (dE). The use of rock silicate powder phonolite associated with diazotrophs in the development of *B. brizantha* cv. Marandu promoted better nutritional value as a substitute for potassium chloride (KCl). The UNIFENAS 100-94 inculante with the treatment without inoculation had better nutritional value.

**Key-words:** Forage, inoculation, rock dust.

## INTRODUÇÃO

O gênero *Brachiaria* destaca-se entre as forrageiras mais cultivadas no Brasil devido, principalmente, à sua alta capacidade de adaptar às diferentes condições edafoclimáticas (BODDEY et al., 2004). O cultivo da espécie *B. brizantha* (Hochst ex. A. Rich) Stapf cv. Marandu vem aumentando gradativamente por possuir boa tolerância ao déficit hídrico, resistência a ataques de cigarrinha, bom desenvolvimento em solos ácidos, cobertura do solo, boa resposta a adubação, absorção de nutrientes das camadas do solo mais profundas, bom valor nutritivo e alta produção de massa verde (BARDUCCI et al., 2009; COSTA et al., 2007).

Em meio às diversas causas de degradação como má formação de pastagens, manejo e práticas culturais, ocorrência de pragas e doenças, a ausência de adubação de manutenção se destaca em todo o país. Após o nitrogênio (N), o potássio (K) é o nutriente mais exigido pela planta, dentre os nutrientes requeridos pelas forragens para apresentar um bom desenvolvimento, sendo este é essencial aos processos metabólicos das plantas (MALAVOLTA, 2006; FILGUEIRA, 2008). Entretanto, diferentemente do N, que pode ser disponibilizado por processos de fixação biológica do N atmosférico, não existem fontes renováveis de K, de modo que sua disponibilidade às plantas depende essencialmente das reservas do solo e da aplicação de fertilizantes, o que onera os custos de produção (RESENDE et al., 2006). Em estudos realizados por Martins et al. (2013), em que se avaliaram os efeitos de fontes alternativas de potássio (verdete, ultramáfica, fonolito e resíduo) na produção e nutrição do capim Marandu cultivado em casa de vegetação, foi observado que a adubação potássica proporcionou maior rendimento de matéria seca.

Uma das alternativas para a nutrição de K consiste na utilização do pó de rochas silicatadas, técnica também conhecida por rochagem e/ou remineralização do solo. É considerada uma prática sustentável, uma vez que possibilita o aumento do pH do solo e reduz o uso dos fertilizantes importados (CAMPE et al., 1996; BERGMANN; THEODORO, 2009).

Dentre as rochas silicatadas encontradas no Brasil, destaca-se o fonolito, proveniente do município de Poços de Caldas – MG, a qual é constituída principalmente por feldspatos alcalinos e feldspatóide, ou seja, microclínio e ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), sanidina  $[(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  e nefelina  $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$ , sendo seu principal constituinte o feldspato potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ). A rocha possui 8,7% de  $\text{K}_2\text{O}$  em sua composição química, além de outros nutrientes que são requeridos pelas plantas, como cálcio, magnésio e ferro (TEIXEIRA et al., 2011, 2012a, 2012b, 2015). Entretanto, o fonolito, como os demais pó de rochas, possui liberação lenta dos minerais e isso pode inviabilizar sua utilização na agricultura (MANCUSO, 2012).

Várias são as alternativas de processos que consistem na solubilização de potássio das rochas silicatadas, podendo ser processos químicos, físicos e biológicos, os quais determinam a liberação de nutrientes de baixa solubilização retidos nos minerais (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2015). Os micro-organismos do solo, como fungos e bactérias estão sendo estudados por possuírem potencial de solubilização de compostos que tem aplicação na agricultura. Diversos trabalhos demonstraram os benefícios do uso de micro-organismos com aumento na solubilização de minerais antes insolúveis (HUNGRIA; URQUIAGA, 1992; GIRGIS et al., 2008; MEENA et al., 2014; BRANDÃO et al., 2014).

Dessa forma, objetivou-se analisar a viabilidade do uso de pó de rocha silicatada fonolito, associado a bactérias diazotróficas no desenvolvimento de *B. brizantha* cv. Marandu.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Preparo do solo e plantio de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

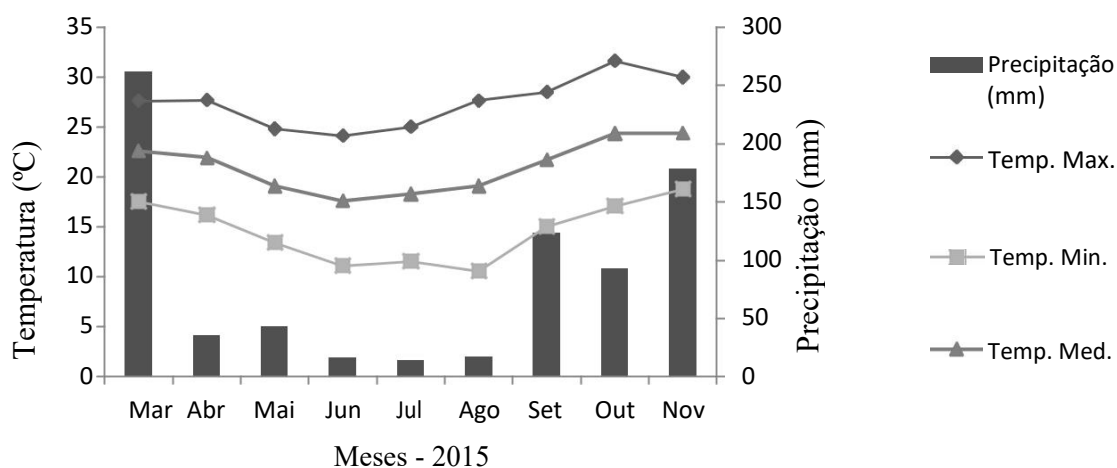
A pesquisa foi conduzida no viveiro de Mudas Florestais da Faculdade de Agronomia na Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), em Alfenas - MG. O solo utilizado na condução do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, coletado na profundidade de 0 a 20 cm, apresentando as seguintes características químicas: pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 5,3; pH ( $\text{CaCl}_2$ ) = 4,7; P Mehlich =  $1 \text{ mg dm}^{-3}$ ; K =  $30 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $\text{Ca}^{2+}$  =  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$  =  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Al}^{3+}$  =  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; H + Al =  $2,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; Soma de bases (SB) =  $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; CTC efetiva (t) =  $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; CTC

potencial (T) =  $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; V (%) = 29; m (%) = 26; matéria orgânica (M.O.) =  $5 \text{ dag kg}^{-1}$ ; P remanescente =  $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ .

As plantas de *B. brizantha* cv. Marandu foram cultivadas em vasos contendo  $15 \text{ dm}^3$  de solo. Para correção do solo, utilizou-se o calcário dolomítico para elevar a saturação de bases para 70%. Após adição do calcário, o solo foi incubado por 30 dias e a umidade mantida ao nível da capacidade de campo. As informações relativas à temperatura e à pluviosidade de Alfenas, no período do experimento são apresentadas na figura 1.

Antes do plantio, as sementes foram colocadas para germinar em bandejas de isopor, contendo o substrato Plantmax<sup>®</sup>. Assim que as plantas atingiram 10 cm do seu ponto de crescimento, foram transplantadas para os vasos, sendo utilizadas quatro plantas por vaso. Posteriormente, foi realizada as adubações de acordo com o recomendado por CFSEMG (1999), utilizando-se  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de superfosfato simples, o qual foi incorporado três dias antes da semeadura. Na adubação nitrogenada, utilizou-se ureia, equivalente a  $114 \text{ kg N ha}^{-1}$  por superfície, sendo aplicado  $1 \text{ g dm}^{-3}$  de ureia por vaso após cada corte.

Já em relação ao potássio, foram utilizadas duas fontes, o cloreto de potássio (KCl), contendo 58% de  $\text{K}_2\text{O}$ , na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  (CATUCHI et al., 2013) e o pó de rocha fonolito, contendo cerca de 8% de  $\text{K}_2\text{O}$ , em diferentes dosagens, representando, respectivamente 100, 75, 50 e 25% da dose recomendada de  $\text{K}_2\text{O}$ .



**Figura 1.** Condições climáticas registradas durante o período de estudo pela estação meteorológica da cidade de Alfenas-MG.

### Cultivo das estirpes bacterianas diazotróficas solubilizadoras de potássio (BDSK)

Foram selecionadas duas estirpes bacterianas que se destacaram nos testes de solubilização de potássio *in vitro*, sendo UNIFENAS 100-13 e UNIFENAS 100-94 (FLORENTINO et al., 2015). Estas foram isoladas de meios de cultura semi-sólidos e semi-

seletivos JNFb (DOBEREINER et al., 1995) e JMV (BALDANI et al., 2000), respectivamente.

Para inoculação na *B. brizantha*, as estirpes foram cultivadas em seus meios de origem por três dias para atingir a fase logarítmica de crescimento. Posteriormente, foram inoculados dois mL por planta, no momento do plantio.

### **Condução do experimento**

O experimento foi conduzido durante três cortes, conforme metodologia descrita por Rodrigues et al. (2008), totalizando um período de cultivo de 243 dias. Inicialmente, após 64 dias do plantio, foi realizado o corte de uniformização. O primeiro corte foi realizado 105 dias após o plantio e 41 dias após o corte de uniformização (09/07/2015); o segundo corte foi realizado 89 dias após o primeiro (06/10/2015); e o terceiro corte foi realizado 49 dias após o segundo corte (24/11/2015). Todos os cortes foram realizados após a forrageira *B. brizantha* atingir o índice de área foliar 95 %, ou seja, aproximadamente 40 cm de altura.

O corte da parte aérea da gramínea foi realizado manualmente a 10 cm da superfície do solo, com auxílio de tesoura de jardim. A cada corte foram realizadas adubações de cobertura com N e a inoculação com 8 ml de BDSK por vaso (2 mL por planta). A inoculação com as BDSK foi realizada devido ao fato de o fonolito ser uma rocha de baixa solubilização com liberação lenta de K.

Em todos os cortes, foram avaliados os parâmetros: matéria seca (MS); proteína bruta (PB); fibra em detergente neutro (FDN); fibra em detergente ácido (FDA); hemicelulose (HEM); largura (LF); comprimento foliar (CF); densidade de perfilhos (DP); produtividade de matéria seca (PMS); digestibilidade da matéria seca (DMS); energia metabolizável (EM) e energia digestível (ED).

As avaliações quanto à densidade de perfilhos, à altura da planta e à área foliar foram realizadas manualmente, após atingir o ponto de corte em quatro datas distintas. A densidade populacional de perfilhos (DP) foi avaliada por meio da contagem do número de perfilho contido em cada vaso. O estado nutricional das plantas foi avaliado por meio de análise de comprimento foliar (CF), medido com o auxílio de régua (calculado desde a superfície do solo até o ápice foliar da última folha expandida) e a largura da folha (LF), medida com uma régua (calculando três pontos na folha sendo ponto A o que se localiza na parte superior, o ponto B no centro e o ponto C na extremidade inferior da folha). Para a largura da folha, obteve-se a média de três perfilhos amostrados aleatoriamente por vaso (REZENDE et al., 2011).

A porcentagem de matéria seca (MS), proteína bruta (PB % da MS), fibra em detergente neutro (FDN % da MS) e fibra em detergente ácido (FDA % da MS) foi



Realizada conforme as metodologias descritas por SILVA & QUEIROZ (2012). Os teores hemicelulose (HEM, Eq. 1), digestibilidade da matéria seca (DMS, Eq. 2), nutrientes digestíveis totais (NDT, Eq. 3), energia digestível (ED, Eq. 4), energia metabolizável (EM, Eq. 5) e foram calculados pelas equações descritas por Rodrigues (2009):

$$\text{HEM} = \text{FDN} - \text{FDA} \quad (1)$$

Onde: FDN é a fibra de detergente neutro; FDA é a fibra de detergente ácido

$$\text{DMS} = 88,9 - (0,779 \times \text{FDA}) \quad (2)$$

Onde: DMS é a digestibilidade da matéria seca (%) e FDA é a fibra em detergente ácido (%)

$$\text{NDT} = 87,84 - (0,7 \times \text{FDA})$$

Onde: NDT é a nutrientes digestíveis totais (%) e FDA é a fibra em detergente ácido (%)

$$\text{ED} = \text{NDT} \times 0,04409$$

Onde: ED é a energia digestível ( $\text{Mcal kg}^{-1}$  de MS); NDT é o nutrientes digestíveis totais (%)

$$\text{EM} = \text{ED} \times 0,82$$

Onde: EM é a energia metabolizável ( $\text{Mcal kg}^{-1}$  de MS), ED é a energia digestível ( $\text{Mcal kg}^{-1}$  de MS)

O delineamento experimental ocorreu em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial com um tratamentos adicional ( $4 \times 3 + 1$ ). Os tratamentos utilizados foram: quatro doses do fonolito (Fonolito 100%, 75%, 50% e 25%); três variáveis inoculantes (estirpe UNIFENAS 100-13; estirpe UNIFENAS 100-94 e sem inoculante), mais um tratamento adicional de KCl com quatro repetições por tratamento, totalizando 13 tratamentos e 52 unidades experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise variância e, quando significativos, foi realizada a análise de regressão para as doses de fonolito e o teste de Tukey para comparar as estirpes. Além desses testes, foi realizada a comparação por contraste do tratamento adicional *versus* o fatorial por meio do Software estatístico SISVAR<sup>®</sup> (Ferreira, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, observa-se o resumo da análise de variância (quadrados médios) dos dados obtidos referentes a todos os parâmetros avaliados no experimento. Os parâmetros MS, PB, FDN, LF, CF, DP e PMS não apresentaram diferenças entre as doses de fonolito inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio (Tabela 2). A FDA, HEM, DMS, NDT, ED e EM apresentaram diferença significativa na interação doses de fonolito

*versus* inoculantes (Tabela 3). A PB, FDN, FDA, DMS, NDT, ED e EM foram diferentes quando comparou o tratamento adicional *versus* o fatorial pelo contraste (Tabela 4).

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância (Quadrados Médios) dos dados referentes à matéria seca (MS) proteína bruta (PB); fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA); hemicelulose (HEM), largura de folha (LF), comprimento de folha (CF), densidade de perfilhos (DP); produtividade da matéria seca (PMS); digestibilidade da matéria seca (DMS); nutrientes digestíveis totais (NDT); energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) de *B. brizantha* cultivada com diferentes doses de fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio.

FV	G L	Matéria Seca (MS)	Proteína Bruta (PB)	Fibra em Detergente Neutro (FDN)	Fibra em Detergen te Ácido (FDA)	Hemicelulo se (HEM)
Bloco	3	3.11	0.71	1.02	22.16*	32.09
Doses	3	10.78	0.39	11.11	13.76	41.13*
Inoculante	2	9.11	0.26	12.14	37.13*	10.84
Doses*Inoculante Adicional vs	6	6.16	0.44	4.73	30.42**	38.22*
Fatorial	1	11.07	8.12**	46.93**	33.47*	1.11
Resíduo	36	5.72	0.99	6.81	7.85	12.45
Total	51	6.16	0.99	7.48	13.34	18.04

FV	G L	Largura de folha (LF)	Comprimen to de folha (CF)	Densidade de Perfilhos (DP)
Bloco	3	0.06*	1.21	182.43
Doses	3	0.01	5.48	286.27
Inoculante	2	0.01	6.08	62.20
Doses*Inoculante Adicional vs	6	0.02	4.39	54.24
Fatorial	1	0.02	6.88	502.60
Resíduo	36	0.02	5.75	154.29
Total	51	0.02	5.34	155.16

FV	G L	Produtivida de da MS (PMS)	Digestibilida de da MS (DMS)	Nutrientes Digestíveis Totais (NDT)	Energia Digestív el (ED)	Energia Metabolizá vel (EM)
Bloco	3	244373.22	13.44*	10.86	0.02*	0.01*
Doses	3	139606.77	8.36	6.74	0.01	0.01
Inoculante	2	61982.43	22.54*	18.18	0.04*	0.02
Doses*Inoculante Adicional vs	6	138926.46	18.46**	14.91**	0.03**	0.02**
Fatorial	1	121209.14	20.34*	16.43*	0.03*	0.02*

Resíduo	36	231864.67	4.76	3.85	0.01	0.01
Total	51	207407.86	8.10	6.54	0.01	0.01

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 2.** Composição bromatológica (matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro), largura e comprimento de folha; densidade de perfilhos e produtividade de matéria seca de *B. brizantha*, cultivada com diferentes doses de fonolito e inoculada com bactérias diazotróficas solubilizadoras de potássio.

Itens	Doses de Fonolito				Inoculante		
	25%	50%	75%	100%	UNIFE NAS 100-13	UNIFE NAS 100-94	Sem Inocula nte
Matéria Seca (MS), %	30.31	29.24	29.21	29.04	29.21	29.87	29.87
Proteína Bruta (PB), %	10.93	10.67	10.50	10.68	10.65	10.60	10.84
Fibra em Detergente Neutro (FDN), %	60.08	59.57	57.85	58.90	60.00	59.04	58.26
Largura de folha (LF), cm	1.15	1.15	1.09	1.10	1.14	1.13	1.13
Comprimento de folha (CF), cm	22.69	22.92	21.62	21.39	22.83	22.43	22.43
Densidade de Perfilhos (DP)	64.42	60.69	60.69	60.14	58.96	61.69	61.69
Produtividade da MS (PMS), g/vaso	1658.	1521.	1498.	1645.	1570.85	1622.88	1622.8 8

**Tabela 3.** Desdobramento de doses de fonolito com bactérias solubilizadoras de potássio para fibra em detergente ácido (FDA); hemicelulose (HEM); digestibilidade da matéria seca (DMS); nutrientes digestíveis totais (NDT); energia digestível (ED) e metabolizável (EM) de *B. brizantha*, cultivada com diferentes doses de fonolito e inoculada com bactérias solubilizadoras de potássio.

Fibra em Detergente Ácido (FDA)	Doses de Fonolito				Regressão
	25%	50%	75%	100%	
UNIFENAS 100-13	27.84	36.88 b	32.54	32.12	Quadrática
UNIFENAS 100-94	30.41	27.37 a	29.24	31.89	NS
Sem Inoculante	28.70	29.29 a	31.37	29.38	NS
Hemicelulose (HEM)	Doses de Fonolito				Regressão
	25%	50%	75%	100%	
UNIFENAS 100-13	33.27	23.07 a	28.43	27.67	Quadrática
UNIFENAS 100-94	30.55	31.62 b	24.31	28.96	NS
Sem Inoculante	30.55	30.49 b	24.31	28.96	NS
Digestibilidade da MS (DMS)	Doses de Fonolito				Regressão
	25%	50%	75%	100%	
UNIFENAS 100-13	67.22	60.17 a	66.12	66.12	Quadrática
UNIFENAS 100-94	66.54	67.58 b	64.47	64.47	NS
Sem Inoculante	66.54	66.08 b	63.55	64.47	NS
Nutrientes Digestível Totais (NDT)	Doses de Fonolito				Regressão
	25%	50%	75%	100%	
UNIFENAS 100-13	71.69	65.36 a	68.40	68.69	Quadrática
UNIFENAS 100-94	69.89	72.01 b	70.71	68.85	NS
Sem Inoculante	71.08	70.68 b	69.22	70.61	NS
Energia Digestível (ED)	Doses de Fonolito				Regressão
	25%	50%	75%	100%	
UNIFENAS 100-13	3.08	2.88 a	3.12	3.04	Quadrática
UNIFENAS 100-94	3.14	3.18 b	3.06	3.11	NS
Sem Inoculante	3.14	3.02 b	3.06	3.11	NS
Energia Metabolizável (EM)	Doses de Fonolito				Regressão
	25%	50%	75%	100%	
UNIFENAS 100-13	2.59	2.36 a	2.56	2.49	Quadrática
UNIFENAS 100-94	2.53	2.60 b	2.51	2.55	NS
Sem Inoculante	2.61	2.56 b	2.51	2.55	NS

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento da interação doses de fonolito *versus* inoculantes, foram verificadas diferenças significativas para os inoculantes na dose de 50% de fonolito, sendo que o inoculante UNIFENAS 100-13 diferiu do inoculante UNIFENAS 100-94 e do tratamento sem inoculante para FDA, HEM, DMS, ED e EM (Tabela 3).

A FDA do tratamento 50% fonolito para o inoculante UNIFENAS 100-94 e do tratamento sem inoculante apresentaram menores teores quando comparados ao inoculante

UNIFENAS 100-13. Em contrapartida, a HEM, DMS, NDT, ED e EM foram maiores para o inoculante UNIFENAS 100-94 e o tratamento sem inoculante comparado ao inoculante UNIFENAS 100-13.

Os resultados da comparação do contraste entre tratamento adicional *versus* fatorial para PB, FDN, FDA, HEM, LF, CF, DP, PMS, DMS, NDT, EM e ED de *B. Brizantha* estão apresentados na Tabela 4. Houve diferença entre os parâmetros PB, FDN, FDA, DMS, ED e EM ( $P < 0,05$ ). Porém, a MS, HEM, LF, CF, DP e PMS não apresentam diferenças entre o tratamento adicional *versus* fatorial.

No desdobramento, quando avaliado por regressão às doses de fonolito no inoculante UNIFENAS 100-13, observou-se que houve efeito quadrático com a inclusão do fonolito, sendo que a inclusão de 50% de fonolito apresentou o menor valor para HEM, DMS, NDT, ED e EM. Para FDA, houve também efeito quadrático com a inclusão de fonolito, Porém, na inclusão de 50%, promoveu maior teor de FDA.

**Tabela 4.** Contraste entre tratamento adicional *versus* fatorial para matéria seca (MS) proteína bruta (PB); fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA); hemicelulose (HEM); largura de folha (LF); comprimento de folha (CF); densidade de perfilhos (DP); produtividade da matéria seca (PMS); digestibilidade da matéria seca (DMS); nutrientes digestíveis totais (NDT); energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) de *B. brizantha*.

Itens	Contraste	
	Adicional	Fatorial
Matéria Seca (MS)	27.4	29.1
Proteína Bruta (PB)	9.2 a	10.7 b
Fibra em Detergente Neutro (FDN)	62.7 b	59.1 a
Fibra em Detergente Ácido (FDA)	33.6 b	30.6 a
Hemicelulose	29.1	28.5
Largura de folha (LF)	1.1	1.1
Comprimento de folha (CF)	23.7	22.3
Densidade de Perfilhos (DP)	59.5	59.5
Produtividade da MS (PMS)	1564.2	1564.2
Digestibilidade da MS (DMS)	62.7 a	65.1 b
Nutrientes Digestíveis Totais (NDT)	67.66 a	69.76 b
Energia Digestível (ED)	3.0 a	3.1 b
Energia Metabolizável (EM)	2.4 a	2.5 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando os resultados obtidos de FDN e FDA, pode-se destacar que o uso de doses associadas aos inoculantes promoveu uma diminuição do FDN e FDA, como pode ser observado pelo contraste tratamento adicional *versus* fatorial. Essa diminuição nos teores de

FDN e FDA influenciou diretamente na digestibilidade, uma vez que os teores de FDN e de FDA nas forrageiras são inversamente proporcionais aos valores de digestibilidade da mesma (MERTENS, 1987). Esses resultados também foram observados para DMS, NDT, ED e EM do presente estudo.

De acordo com Silva e Queiroz (2002), a solução em detergente neutro é utilizada para dissolver substâncias digeridas, como pectina e conteúdo celular da planta, deixando o resíduo fibroso (FDN), que são os principais componentes da parede celular das plantas (celulose, hemicelulose e lignina), o que corroborou os dados encontrados por Silva et al. (2003), os quais determinaram os teores de FDN em diferentes cortes e doses aplicadas a *Brachiaria* spp. E observou que estes apresentaram resultados médios significativos de 59,36 % de FDN.

Os resultados para os parâmetros de FDA e PB, foram semelhantes aos apresentados por Velazques et al. (2010), os quais observaram declínio no valor nutricional da planta com o avanço da idade, demonstrando que o capim marandu apresentou composição bromatológica com teores de PB (9,9%) e FDA (32,9%), valores próximos aos obtidos no presente trabalho.

## CONCLUSÕES

O uso de pó de rocha silicatada fonolito, associado a bactérias diazotróficas no desenvolvimento de *B. brizantha* cv. Marandu, promoveu melhora no valor nutricional como substituto do cloreto de potássio (KCl). O inculante UNIFENAS 100-94, juntamente com a tratamento sem inculante, apresentou melhores valores nutricionais.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES/PROSUP, pela concessão da bolsa de mestrado.

A Yoorin pelo fornecimento do biofertilizante EKOSIL®.

## REFERÊNCIAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Rebanho Bovino Brasileiro**. Disponível em:< [http://www.abiec.com.br/3\\_rebanho.asp](http://www.abiec.com.br/3_rebanho.asp).> Acesso em 07 abr. 2014.

Barducci, R. S., Costa, C., Crusciol, C. A. C., Borghi, É., Putarov, T. C., Sarti, L. M. N. 2009. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. *Archivos de zootecnia* 58: 211-222.

Bergmann, M. F. Theodoro, S. M. de C. H. 2010. Rochagem Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no Distrito mineiro de Ametista do Sul (DMAS), RS, BRASIL. In: Congresso Brasileiro de rochagem : rochagem e fertilidade do solo. *Anais...* Brasília, Brasil. 2010. p 137-145.

Boddey, R. M., Macedo, R., Tarré, R. M., Ferreira, E., Oliveira, O. C. de, Rezende, C. de P., Cantarutti, R. B., Pereira, J. M., Alves, B. J. R., Urguiaga, S. 2004. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:389-403.

Bogdan, A. V. 1977. *Tropical pasture and fodder plants: grasses and legumes*. London, Inglaterra. 475p.

Brandão, J. A. V., Lopes-Assad, M. L. R. C., Ceccato-Antonini, S. R. 2014. Solubilization of diabase and phonolite dust by filamentous fungus. *Revista Ceres* 61: 740-745.

Carvalho, M. M., Martins, C. E., Verneque, R. D. S., Siqueira, C. Resposta de uma espécie de *Brachiaria* à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 15: 195-200.

Carvalho, A. M. de. *Plantio direto com qualidade no cerrado*. 2010. <http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/242/> <Acesso em: 15 abr. 2016>

Campe, J., O'brien, T.A., Barker, A.V. 1996. Soil remineralization for sustainable agriculture. *Remineralise the Earth*, Spring, USA. p. 141-164.

Chapman, D. F., Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: BACKER, M. J. (Ed). *Grassland of our world*. Wellington: SIR Publishing, Wellington, USA. cap.3. p.55-64.

Catuchi, T. A., Costa, L. P. F., Foloni, J. S. S., Tiritan, C. S., Custódio, C. C.,Tshako, A. T. 2013. Produção e qualidade de sementes de *Urochloa humidicola* em razão da adubação nitrogenada e potássica. *Colloquium Agrariae*, Vol. 9., p. 30-42.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1999. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação / Universidade Federal de Minas Gerais, Viçosa, Brasil. 359 p.*

Costa, K. A. D. P., Oliveira, I. P. D., Faquin, V., Neves, B. P. D., Rodrigues, C, Sampaio, F. D. M. T. 2007. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. *Ciênc. agrotec.,(Impr.)* 31: 1197-1202.

Bereiner, J,BAL Ani, V. L. , Bal Ani, J. I. 1995. *Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas*. Embrapa, Brasília, Brasil.

Ferreira, D. F. 2011. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35: 1039-1042.

Filgueira, F. A. R. 2008. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças* . Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 421p.

Girgis, M. G. Z., Khalil, Kalil Heba, M. A, Sharaf, M. S. 2008. In vitro evaluation of rock phosphate and potassium solubilizing potential of some *Bacillus* strains. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2: 68-81.



Hungria, M.; Urquiaga, S. 1992. Transformações microbianas de outros elementos (potássio, micronutrientes e metais pesados). In: Cardoso, E. J. B. N.; Tsai, S. M. , Neves, M. C. P. *Microbiologia do Solo*. Sociedade brasileira de Ciência do Solo, Campinas, Brasil. p. 329-340.

Kroth, B. E., Bonfim-Silva, E. M.; Silva, T. J da.; Koetz, M.; Schlichting, A. F. 2015. Cultivares de *Brachiaria brizantha* sob diferentes disponibilidades hídricas em Neossolo Flúvico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19: 464-469.

Kayongo-Mole, H. et al. 1974. Chemical composition and digestibility of tropical grasses. *J. Agric. Univ* 15:185-200.

Macedo, M. C. M., Zimer, A. H., Kichel, A. N., Almeida, R. G de, Araujo, A. R. de. 2014. Degradação de pastagens, alternativa de recuperação e renovação e formas de mitigação. In: *Embrapa Gado de Corte* : artigo em anais de congresso (ALICE) p. 158-181.

Malavolta, E. Função dos macros e micronutrientes. 2006. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, São Paulo, Brasil. 638p.

Mattos, W. T. de, Monteiro, F. A. Respostas de braquiária *brizantha* a doses de potássio. *Scientia Agrícola* 55: 428-437.

Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance  $K^+$  availability in agricultural soils? *Microbiological Research*, 169:337-347. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501313001432#>. < Acesso em: 14 Fev. 2016.>

Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal Animal Science* 64:1548-1558.

Pereira, T. P., Gomes, M. B., Carneiro, R. D. C. 2015. Morfogênese do capim-marandu submetido à inoculação de *Azospirillum* e adubação nitrogenada. *Revista Eletrônica Interdisciplinar* 2: 6-10.

Reis, R. A., Melo G. M. P., Bertipaglia, L. M. A. et al. 2005. Otimização da utilização da forragem disponível através da suplementação estratégica. In: Reis, R. A., Siqueira, G. R., Bertipaglia, L. M. A. et al. (Eds.). *Volumosos na produção de ruminantes*. FUNEP, Jaboticabal, Brasil. p.187-238.

Resende, A. V., Martins, E. S., Oliveira, C. G., Senal, M. C., Machado, C. T. T., Kinparal, D. I., Oliviera Filho, E. C. 2006. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia* 9:19-42.

Rezende, A. V. D., Lima, J. F. D., Rabelo, C. H. S., Rabelo F. H. S., Nogueira, D. A., Carvalho, M., Faria Júnior, D. C. N. A., Barbosa, L. D. Á. 2011. Características morfofisiológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em resposta à adubação fosfatada. *Agrarian* 4: 335-343.

Rodrigues, R. C., Alves, A. C., Brennecke, K., Melo L. P., Cerqueira, P. H. L. 2006. Densidade populacional de perfilhos, produção de massa seca e área foliar do capim-xaraés cultivado sob doses de nitrogênio e potássio. *Boletim de Indústria Animal* 63: 27-33.

Rodrigues, R. C., Mourão, G. B., Brennecke, K., Luz, P. H. C., Herling, V. R. 2008. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37: 394-400.

Rodrigues, R. C. 2009. *Avaliação químico-bromatológica de alimentos produzidos em terras baixas para nutrição animal*. Empresa Clima Temperado, Pelotas, Brasil. 31p.

Silva D. J. , Queiroz; A. C. *Análises de Alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3.ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. 235p.

Silva, M. D. C., Santos, M. V. F. D., Dubeux Júnior, J. C. B., Lira, M. D. A., Santana, D. F. Y., Farias, I., Santos, V. F. D. 2004. Avaliação de métodos para recuperação de pastagens de braquiária no agreste de Pernambuco. 1. Aspectos quantitativos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33: 1999-2006.

Teixeira, A. M. S., Garrido, F. M. S., Medeiros, M. E. 2011. Caracterização da rocha fonolito pelas técnicas de difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e infravermelho. In : Reunião Anual da sociedade Brasileira de Química. *Anais...* Florianópolis, Brasil. 2p.

Teixeira, A. M. S., Sampaio, J. A., GARRIDO, F. M. S.,; MEDEIROS, M. E. 2012 a. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. *HOLOS 5* : 21-33.

Teixeira, A. M. S., Sampaio, J. A., Garrido, F. M. S., Medeiros, M. E. 2012 b. Caracterização e classificação quanto ao risco ambiental do estéril da mina de cromita do município de Andorinha, Bahia. *Química Nova* 35: 1794–1799.

Teixeira, A. M. S., Garrido, F. M. S.; Medeiros, M. E.; Sampaio, J. A. 2015. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito. *HOLOS 5*: 52-64.

Tomazoni, J. C., Guimarães, E. 2015. Características Espectrais das Frações Humina e Ácido Húmico da Matéria Orgânica Total dos Solos da Bacia do Rio Passo da Pedra (Spectral Characteristics Humic Acid and Humic Fractions of Total Organic Matter Soil River Basin Passo da Pedra). *Revista Brasileira de Geografia Física* 8 : 721-735.

Valadares Filho, S. C., Machado, P. A. S., Chizzotti, M. L. et al. 2010. *Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos* : CQBAL 3.0. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.

Velásquez, P. A. T. , Berchielli, T. T., Reis, R. A.. 2010. Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade in vitro de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia* 6: 1206-1213.

Zotarelli, L. 2000 . *Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina - PR*. 134 f. (Dissertação Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro ,Rio de Janeiro, Brasil.