

**Bernardo da Silva Nascimento**

**ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS DE POTÁSSIO NO  
BRASIL**

Trabalho Final de Curso  
(Geologia)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2013



UFRJ

**Bernardo da Silva Nascimento**

## **ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS DE POTÁSSIO NO BRASIL**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador: José Mário Coelho

Rio de Janeiro  
Junho 2013

**BERNARDO, da Silva Nascimento**

Título: Rochas e Minerais Alternativos de Potássio no Brasil -  
- Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2013.

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de  
Geologia, 2013.

Orientador: José Mário Coelho

1. Geologia. 2. Setor de Economia Mineral – Trabalho Final de  
Curso. I. José Mário Coelho. II. Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III.  
Rochas e Minerais Alternativos de Potássio no Brasil.

Bernardo da Silva Nascimento

**ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS DE POTÁSSIO NO BRASIL**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador: José Mário Coelho

Aprovada em:

Por:

---

José Mário Coelho (UFRJ)

---

Adão Benvindo da Luz (UFRJ)

---

João Alves Sampaio (CETEM)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2013

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal do Rio de Janeiro, por disponibilizar sua excelente estrutura universitária e a todos os professores do IGEO pelo conhecimento proporcionado. Quero agradecer também ao meu orientador Adão Benvindo da Luz pela orientação neste trabalho.

A todos os meus amigos de curso, principalmente a turma de 2008, pelos grandes momentos e pelas grandes histórias vividas durante a faculdade, as minhas gratidões. Também agradeço aos meus familiares e amigos de fora da faculdade.

## RESUMO

NASCIMENTO, Bernardo da Silva. Rochas e Minerais Alternativos de Potássio no Brasil. 2013. 42p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O termo "potash" foi criado por Sir Humphrey Davy, quando isolou este elemento com base em potassa cáustica, em 1807. O potássio é um dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre, na qual ocorre apenas na forma de compostos. Além dos típicos minerais de minério de potássio formados por cloretos e sulfatos, o potássio ocorre em outros minerais, com teores variando, na maioria das vezes, entre 2% e 10%  $K_2O$ , mas em alguns casos, superiores a 10%  $K_2O$ . Fertilizantes são produtos ou substâncias que, aplicados aos solos, fornecem às plantas os nutrientes necessários para o seu bom desenvolvimento e produção. Os fertilizantes potássicos são obtidos, principalmente, por meio de lavra de depósitos subterrâneos de silvita e carnalita. O principal uso dos sais de potássio é na agricultura, onde estes fornecem um dos três–nutrientes mais importantes. Depósitos de minerais como a halita ( $NaCl$ ), muito abundante, silvita ( $KCl$ ) e carnalita ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ) formaram-se por evaporação gradual de águas salinas, em bacias fechadas, pouco profundas. Rochagem é um termo que deriva de rocha e significa a aplicação direta, na agricultura, de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante de aplicação direta para remineralizar o solo. Este processo de fertilização do solo também é designado por petrofertilização. Um das rotas que poderia contribuir para diminuir a carência de fertilizantes potássicos, no Brasil, seria produzi-los, a partir de rochas ricas em feldspatos potássicos do tipo ortoclásio, um dos minerais mais ricos em K (17%  $K_2O$ ) na natureza, ou de feldspatóides, como a leucita (22%  $K_2O$ ). Nos estados de Minas Gerais e Goiás encontram-se ocorrências com potencial para materiais fertilizantes alternativos de potássio.

Palavras-chaves: fertilizantes alternativos; fertilizantes potássicos; potássio.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, Bernardo da Silva. Alternatives Rocks and Minerals of Potassium in Brazil. 2013. 42p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The term "potash" was created by Sir Humphrey Davy, when he isolated it from the caustic potash, in 1807. Potassium is one of the ten most abundant elements in the earth's crust, occurring in these, only in the form of compounds. In addition to the typical potassium ore minerals formed by chlorides and sulphates, potassium occurs in other minerals, with varying levels in most cases between 2% and 10%  $K_2O$ , but in some cases with levels exceeding 10%. Fertilizers are products or substances that, when applied to soils, provide to the plants the necessary nutrients for normal development and production. The potash fertilizers are mainly obtained through underground mining of deposits. The main use of potassium salts is in agriculture, where these provide one of the three most important nutrients. Deposits of minerals such as halite ( $NaCl$ ), very abundant, sylvite ( $KCl$ ) and carnallite ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ) were formed by gradual evaporation of saline waters in closed basins, shallow. "Rocks for crops" is a term that derives from rock and means the direct application, in agriculture, of ground or rock containing natural fine materials as fertilizer. It's a process for soil fertilization, also called petrofertilization. One of the routes that could diminish the shortage of potassium fertilizers in Brazil, it would be to produce them based on rocks rich in feldspar orthoclase type, one of the richest minerals in K (17%  $K_2O$ ) in nature, or feldspathoids as the leucite (22%  $K_2O$ ). The states of Minas Gerais and Goiás are regions with high potential for alternative fertilizer materials.

Key-words: alternative minerals; fertilizers; potassium.

## **Lista de Figuras**

Figura 1 Sistema cristalino da silvita

Figura 2 Participação do K no ciclo dos outros nutrientes

Figura 3 Localização das bacias e sub-bacias com reservas de potássio no Brasil

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 Minerais de potássio e seus teores equivalentes em peso (%)

Tabela 2 Alguns tipos de rochas e minerais como fonte de macronutrientes principais e secundários

Tabela 3 Reserva mundial de potássio

Tabela 4 Composição mineralógica aproximada de silvinita de Taquari-Vassouras

Tabela 5 Produção mundial de potássio

Tabela 6 Principais estatísticas – Brasil

## **Lista de Gráficos**

Gráfico 1 Importação de potássio

Gráfico 2 Exportação de potássio

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce

DIDEM – Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

GEFEK – Gerência Geral de Fertilizantes Potássicos

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

PETROMISA – Petrobrás Mineração S.A



## SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
<i>Abstract</i> .....	vii
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Gráficos.....	viii
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	viii
1 – INTRODUÇÃO.....	11
1.1 – Objetivos.....	12
1.2 – Metodologia.....	12
2 – O POTÁSSIO COMO FERTILIZANTE.....	13
2.1 – Mineralogia dos minerais de potássio.....	13
2.2 – Geologia dos sais de potássio.....	14
2.3 – Geoquímica do potássio.....	15
2.4 – Importância e função do potássio na agricultura.....	16
3 – ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS DE POTÁSSIO.....	18
3.1 – Amazonitos.....	18
3.2 – Carbonatitos.....	19
3.3 – Flogopititos.....	19
3.4 – Fonolitos.....	19
3.5 – Kimberlitos.....	20
3.6 – Riólitos e Riodacitos.....	20
3.7 – Rochas zeolíticas.....	20
3.8 – Rochas ultramáficas alcalinas.....	21
3.9 – Verdetes.....	21
3.10 – Kamafugitos.....	22
3.11 – Vermiculitas.....	22
3.12 – Nefelina-Sienito.....	22
4 – RESERVAS DE POTÁSSIO NO BRASIL.....	24
4.1 – Bacia de Sergipe-Alagoas.....	25
4.2 – Mina de Taquari-Vassouras (SE).....	26
4.2.1 – Geologia de Taquari-Vassouras.....	27
4.2.2 – Método de lavra de Taquari-Vassouras.....	28
4.3 – Bacia do Amazonas.....	28
4.4 – Reservas no estado do Amazonas.....	29
4.5 – Reservas submarinas de potássio.....	29
4.6 – Ocorrência de rochas com potencial para fertilizantes alternativos de potássio.....	30
4.6.1 – Verdetes.....	30
4.6.1.1 – A glauconita como fonte de potássio para a agricultura.....	30

4.6.2 – Fonolitos.....	31
5 – ANÁLISE DO MERCADO DE POTÁSSIO.....	32
5.1 – Produção interna.....	32
5.2 – Importação de potássio.....	33
5.3 – Exportação de potássio.....	34
5.4 – Consumo interno brasileiro.....	34
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS.....	40

## 1 – INTRODUÇÃO

O termo "potash" foi criado por Sir Humphrey Davy, quando isolou este elemento a partir da potassa cáustica em 1807. O processo consistiu na lixiviação de cinzas de árvore, seguida de evaporação, com auxílio de potes de ferro. O produto residual era chamado de *pot ash*. O potássio é utilizado como fertilizante desde o século III a.C., na forma de adubo ou cinzas.

O potássio é um dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo somente sob a forma de compostos. Além dos típicos minerais de minério formados por cloretos e sulfatos, o potássio ocorre em outros minerais, com teores variando na maioria das vezes entre 2% e 10%, mas em alguns casos com teores superiores a 10% (Nascimento e Lapido-Loureiro, 2004).

Fertilizantes são produtos ou substâncias que, aplicados aos solos, fornecem às plantas os nutrientes necessários para o seu bom desenvolvimento e produção (Albuquerque, 2000).

As substâncias – nutrientes – que constituem os fertilizantes se dividem em dois grandes conjuntos: macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes se dividem em: nutrientes naturais, nutrientes primários e nutrientes secundários. O potássio (K) é um macronutriente primário (Nascimento e Lapido-Loureiro, 2003).

Os fertilizantes potássicos são obtidos, principalmente, por lavra de depósitos subterrâneos, situados, na maioria das vezes, a centenas de metros de profundidades. Além disso, podem ser obtidos pela cristalização fracionada dos sais contidos nas águas dos mares e dos lagos salgados, o que os torna, praticamente, inesgotáveis. Canadá e Rússia são os países que possuem as maiores reservas mundiais de Potássio (IBRAM, 2012). Israel e Jordânia retiram sais de Potássio do Mar Morto. No Brasil a Vale explora comercialmente uma mina situada em Taquari-Vassouras (SE). No entanto as reservas são pequenas tornando o país altamente dependente desta matéria-prima, com importações acima de 80%. Os fertilizantes potássicos à base de cloretos (silvita e carnalita) e sulfatos (langbeinita, polihalita e kainita) ocorrem associados a minerais de ganga e por isto precisam ser submetidos a processos de beneficiamento, a fim de se obter produtos comerciais com as características químicas e granulométricas requeridas pelo agronegócio (Nascimento *et al.*, 2008).

Os feldspatos potássicos são minerais muito abundantes na crosta terrestre, no entanto não são considerados minerais de minério, pela dificuldade de tornar o nutriente potássio disponível para as plantas, de forma econômica. Para quebrar a molécula do feldspato e disponibilizar o K para as plantas é necessário recorrer aos processos químicos e ou térmicos, mas que sejam viáveis do ponto de vista econômico.

Segundo Greenwell (1999) citado por Nascimento *et al.*, 2008, mais de 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante. Outros usos dos compostos de potássio estão ligados à indústria de detergentes, cerâmicas, produtos químicos e farmacêuticos.

O território brasileiro é constituído, em sua maior parte, por solos ácidos e pobres em nutrientes como o potássio (K), na maioria dos casos. Com isso, o Brasil importa, praticamente, todo o fertilizante potássico utilizado em sua agricultura, na forma de KCl.

## **1.1 – Objetivos**

O presente trabalho tem por finalidade avaliar rochas e minerais de potássio com potencial para uso como fertilizantes alternativos de liberação lenta. Avaliar também a mineralogia, geologia, geoquímica do potássio, além da sua importância para a agricultura do país. São avaliados depósitos em alguns pontos do país, bem como os mercados nacional e mundial de produção, exportação e importação de potássio.

## **1.2 – Metodologia**

O trabalho foi realizado a partir de um levantamento bibliográfico, onde foram pesquisados trabalhos nacionais e internacionais sobre o tema em questão, como teses, artigos, trabalhos e notícias já publicados. Também foi utilizado como base para a análise do mercado nacional e mundial de potássio, o Sumário Mineral do DNPM (2012).

Ao longo desse estudo, priorizou-se a identificação de ocorrências e/ou depósitos de rochas e minerais de potássio, como potenciais para uso como fertilizantes alternativos de liberação lenta de potássio, no Brasil.

## 2 – O POTÁSSIO COMO FERTILIZANTE

### 2.1 - Mineralogia dos minerais de potássio

O principal uso dos sais de potássio é na agricultura, onde esses fornecem um dos três elementos nutrientes mais importantes, essenciais para o desenvolvimento das plantas, pois ativa a catálise biológica, tem funções reguladoras da osmose, promove a síntese do açúcar e a sua ida para os tecidos de armazenagem (Nascimento *et al.*, 2008).

Embora o potássio esteja presente em vários minerais, apenas um pequeno número deles possui valor econômico de mercado, sendo dois desses utilizados como minerais de minério: silvita (KCl), com teor de 63,1% de  $K_2O$ ; e a carnalita ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ), contendo 17% de  $K_2O$ . Outros, menos explotados, são os sulfatos de potássio: langbeinita ( $KMg_2(SO_4)_3$ ), com aproximadamente 22,7% de  $K_2O$ ; polyhalita ( $K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ ), contendo 15,6% de  $K_2O$ ; e kainita ( $4KCl \cdot 4MgSO_4 \cdot 11H_2O$ ), com teor de 19,2% de  $K_2O$  (Tabela 1). A maioria dos minerais que contem potássio em sua rede cristalina são insolúveis e o processo de dissolução só é possível a partir de uso químico acompanhado de tratamento térmico. Por isso não são considerados como minerais de minério, para aplicação como fertilizantes (Nascimento e Lapido-Loureiro, 2004).

A silvita é o mineral de minério com maior percentagem de potássio (52,5%). Cristaliza em estrutura hexoetaédrica (Figura 1), a mesma do sal-gema, cúbica de face centrada, porém sua célula unitária tem maiores dimensões.



**Figura 1** - Sistema cristalino da silvita (hexoetaédrico).

Constitui ainda um minério comum de potássio, uma mistura de silvita (KCl) e halita (NaCl) que é chamada por silvinita.

Cloretos e sulfatos de potássio (Tabela 1) ocorrem em antigos lagos e extensos depósitos de origem marinha. A questão é se o potássio for pouco abundante nestes depósitos e o fato de quase não existirem no hemisfério sul, onde só há a mina de Taquari-Vassouras, em Sergipe, em operação.

**Tabela 1** - Minerais de potássio e seus teores equivalentes em peso (%). Fonte: Nascimento *et al.* (2008).

Minerais	Fórmulas	Teores Equivalentes (%)			
		K	KCl	K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Silvita	KCl	52,44	100,00	63,17	----
Carnalita	KMgCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	14,07	26,83	16,95	----
Silvinita	KCl + NaCl	----	----	10-35	----
Kainita	4KCl.4MgSO <sub>4</sub> .11H <sub>2</sub> O	15,71	29,94	19,26	----
Arcanita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	44,88	----	54,06	100,00
Glaserita	3K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	35,29	----	42,51	78,63
Langbeinita	KMg <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	18,84	----	22,69	41,99
Leonita	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .MgSO <sub>4</sub> .2CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	21,33	----	25,69	47,52
Polyhalita	K <sub>2</sub> MgCa <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	12,97	----	15,62	28,90

O grupo dos feldspatos é o mais abundante conjunto de minerais da crosta terrestre, representando mais de 90% do total. Os feldspatos são minerais de significativa importância econômica, pois são utilizados para a manufatura de porcelanas e vidros.

Os feldspatos se dividem em: feldspatos potássicos, feldspatos calco-sódicos, plagioclásios e feldspatos báricos.

Os feldspatos alcalinos potássicos (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) agrupam-se em 3 polimorfos estáveis a diferentes temperaturas: sanidina (alta temperatura; rochas ígneas), ortoclásio (média temperatura; rochas ígneas intrusivas) e microclínio (baixa temperatura; granitos e pegmatitos). O ortoclásio pode conter de 8-15% de K<sub>2</sub>O, porém sua solubilização natural é muito lenta.

A leucita é um silicato rico em potássio e pertence ao grupo dos feldspatóides. As micas pelos seus teores de potássio são bons indicadores de rochas potenciais para aplicação na remineralização de solos, sendo a flogopita, biotita e muscovita as que possuem teores mais elevados (4-17% de K<sub>2</sub>O).

O teor de potássio nas rochas varia muito, nos granitos o teor médio situa-se em torno de 3,8% de K<sub>2</sub>O, nos andesitos é de 3,2% e nas rochas basálticas 0,7%. Nas rochas ultrabásicas, os teores variam de 2-14% de K<sub>2</sub>O. Nas rochas alcalinas como os nefelinasienitos/fonolitos há um enriquecimento em potássio por metassomatismo como é o caso do Planalto de Poços de Caldas (MG), onde se atingem teores de até 12-13%. Rochas ricas de micas, como alguns carbonatitos, xistos, e rochas vulcânicas, como kimberlitos, são fontes potenciais de K, Ca, Mg e de micronutrientes (Nascimento *et al.*, 2008).

## 2.2 - Geologia dos sais de potássio

Depósitos de minerais como a halita (NaCl), muito abundante, silvita (KCl) e carnalita (KMgCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) formaram-se por evaporação gradual de águas salinas, em bacias fechadas, pouco profundas. As camadas de sal formadas, localizadas principalmente no hemisfério norte, foram recobertas por outros depósitos sedimentares. Essas camadas de sal se formaram

no Paleozóico, entre o Devoniano (417 a 354 M.a.) e o Permiano (290 a 248 M.a.) (Nascimento e Lápido-Loureiro, 2004).

O principal mecanismo formador destas camadas de sais, que possuem espessuras consideráveis, é o seguinte: a água dos rios transportam, em solução, vários sais solúveis e quando deságuam em mares fechados a concentração dos sais passa a aumentar progressivamente, porque a evaporação é igual ou superior ao aporte das águas fluviais. Pela elevação do nível dos oceanos, essas bacias podem ser invadidas por águas de mar aberto, ricas de NaCl. Pelo contrário, em períodos de estações chuvosas, podem perder a saturação. Dessa forma se explica a alternância, de camadas mais ricas de KCl, NaCl ou de argilas estéreis. Atualmente esses depósitos são encontrados, com frequência, a grandes profundidades. Os depósitos de halita podem também ter sido formados quando volumes consideráveis de água marinha foram isolados dos oceanos por formação de barras arenosas e subsequentes concentração de NaCl por evaporação.

Frequentemente, as camadas de sais de potássio apresentam-se interestratificadas com as de outros sais comuns, como o cloreto de sódio.

Devido ao material salino possuir alta plasticidade e propriedade de passar ao estado fluido quando submetido a elevadas pressões, as deformações tectônicas podem dar origem a morfologias complexas, tornando-se comum os domos e elevações (Nascimento *et al.*, 2008).

No território brasileiro encontram-se depósitos na sub-bacia evaporítica de Taquari-Vassouras localizada no estado do Sergipe e também na Amazônia, onde o depósito é formado por sedimentos químicos-evaporíticos da parte superior do Carbonífero da Bacia do Amazonas. Os depósitos explorados estão localizados no estado de Sergipe.

### 2.3 - Geoquímica do potássio

“A geoquímica ocupa-se em larga escala com a transformação da matéria de um estado em outro, como exemplificado pela cristalização de magmas, pelo intemperismo das rochas, pela deposição de sais de uma solução e, em geral, pela formação de minerais em uma faixa ampla de temperaturas, pressões e ambientes químicos” (Mason, 1971).

Os minerais que predominam na crosta terrestre, incluindo os do solo agrícola, são os silicatos e os óxidos. Os interstícios desta rede O-Si-Al são ocupados por íons Mg, Fe, Ca, Na e K.

O potássio é um elemento particularmente móvel, a análise do comportamento geoquímico é fundamental e de grande interesse para a compreensão da distribuição nos minerais e nas rochas e para se entender a importância na vida dos vegetais.

Os elementos classificam-se em: siderófilos, calcófilos, litófilos e atmófilos, o que corresponde, respectivamente a fases, metálica, sulfurosa, silicatada, e com oxigênio. O potássio é um elemento litófilo por causa da sua afinidade com o ferro metálico.

Os teores de potássio na crosta terrestre começaram a ser medidos para determinarem uma composição média das rochas ígneas (Mason, 1971).

A distribuição do potássio nas rochas é irregular. Enquanto nos granitos o teor médio é de 4,5%, em diabásios é de apenas 0,53% e nos basaltos dos fundos oceânicos é sempre inferior a 0,3% (Mason, 1971).

Na evolução da Terra, durante o arrefecimento do magma primitivo, os elementos escalonavam-se e migravam, segundo o seu grau de mobilidade, disponibilidade. Formavam gases voláteis ou partículas em constante movimento. O potássio situava-se neste último caso.

O potássio é um elemento alcalino, com número atômico 19 e peso atômico 39. Liga-se, solidamente, com elementos halogêneos, como o cloro. Nos solos, o potássio está estreitamente relacionado com o tipo de material parental e com a pedogênese, sendo a sua principal fonte os minerais argilosos.

Uma parte é facilmente extraível por agentes naturais, como a água ou soluções salinas diluídas, e outras frações apenas como reagentes fortes como o ácido nítrico em ebulição (Conti, 2002).

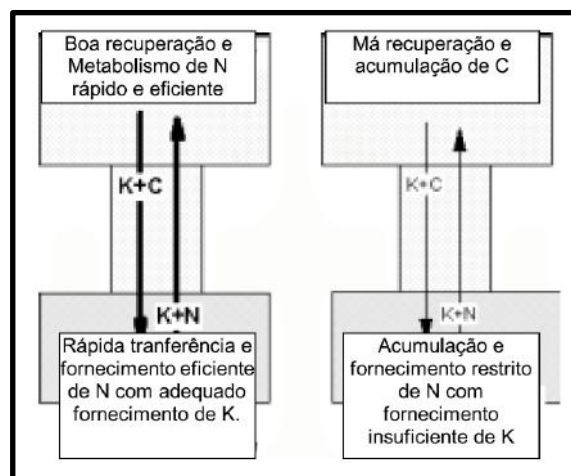
As formas mais comuns em que o K é encontrado no solo são: i) em solução; ii) sob a forma iônica unido eletrostaticamente aos materiais que constituem a parte sólida; iii) ligado fortemente a fase sólida mineral, em depósitos de minerais potássicos ou de reposição dos solos.

As reservas de potássio dependem fundamentalmente da quantidade e tipo de argilas presentes e são os fertilizantes que compensam desequilíbrios provocados pela resultante da atividade agrícola.

## 2.4 - Importância e função do potássio na agricultura

O potássio é um nutriente essencial para todos os organismos vivos. Tem como principal função, promover reciclagem dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas. Desempenha uma função importante na ativação de enzimas.

O gráfico de Marschner *et al*, 1996 (Krauss, 2000 *apud* Nascimento & Loureiro, 2004) (Figura 2) mostra a importante função do K no ciclo dos nutrientes.



**Figura 2** - Participação do K no ciclo dos outros nutrientes. Fonte: Krauss (2000) *apud* Nascimento e Loureiro (2004).



O potássio é um fator de qualidade na produção. A participação deste na qualidade do vegetal está relacionada com o transporte dos aminoácidos e açúcares para os órgãos de armazenamento como grãos, tubérculos e raízes e com a ativação da conversão em amido, proteínas gordurosas, vitaminas, etc.

A complementação de potássio em solos deficientes promove um melhor rendimento das colheitas e torna o vegetal mais resistente às pragas e doenças. A carência de potássio ocasiona um comportamento inadequado dos estômatos restringindo a fotossíntese e, assim, o rendimento das safras.

Ao unir todas essas informações, ressalta-se que a ausência de fertilizantes de potássio pode ser substituída, em alguns casos, pelo potássio dissolvido na solução. Porém, esse cultivo intensivo pode causar exaustão às reservas de K e diminuir a capacidade de proteção de pragas do solo, o que significa uma ameaça ao meio ambiente.

Neste contexto, o potássio tornou-se um dos macronutrientes mais importantes na agricultura.

### 3 – ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS DE POTÁSSIO

Rochagem é um termo que deriva de rocha e significa a aplicação direta, na agricultura, de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante de aplicação direta. É um processo de fertilização do solo, também designado por petrofertilização.

Todos os nutrientes necessários ao bom desenvolvimento das plantas são de origem mineral, com exceção do nitrogênio. A agricultura orgânica ou biológica necessita de aditivos minerais, sendo os principais o P e o K. Porém, nas condições normais de clima, a desagregação natural e a alteração química não são capazes de disponibilizar os nutrientes das rochas ou minerais, para o crescimento de plantas. Assim, existem diversos estudos, com o propósito de modificar os minerais e rochas, tornando-os viáveis a utilização como fertilizantes alternativos (Luz *et al.*, 2010).

Um das rotas que poderia diminuir a carência de fertilizantes potássicos, no Brasil, seria produzi-los à base de rochas ricas em feldspatos do tipo ortoclásio, um dos minerais mais ricos em K (17% K<sub>2</sub>O) na natureza, ou os feldspatóides, como a leucita (22% K<sub>2</sub>O).

Os estados de Minas Gerais e Goiás são regiões com grande potencial para materiais fertilizantes alternativos (Luz *et al.*, 2010).

**Tabela 2** - Alguns tipos de rochas e minerais como fonte de macronutrientes principais e secundários. Fonte: Luz *et al.* (2010).

Rochas e Minerais	Macronutrientes
<b>Rochas ultrabásicas alcalinas leucíticas</b>	<b>K, Mg, Ca, etc</b>
Basalto/Gabro	Mg, Ca, etc
<b>Carbonatito</b>	<b>Ca, Mg, P, K</b>
<b>Kimberlito</b>	<b>K, Mg, etc</b>
<b>Rochas silicáticas alcalinas (sienitos e nefelina sienitos)</b>	<b>K e outros</b>
<b>Rochas ácidas (granitos e gnaisses)</b>	<b>K e outros</b>
Gipsita e rejeitos industriais (principalmente fosfogesso)	S, Ca
Calcários (calcíticos e dolomíticos)	Ca, Mg

#### 3.1 – Amazonitos

Essa rocha é constituída, essencialmente, por uma variedade verde de microclínio K(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) e ocorre no município de Potiraguá, BA. A rocha amazonítica é composta por microclínio, plagioclásio, quartzo, biotita e turmalina. Luz *et al.* (2010) estudaram a sua caracterização tecnológica com o propósito de utilizá-la como fertilizante de liberação lenta de K. Com amostras dessa rocha, teor médio de 5,8% de K<sub>2</sub>O, foram realizados ensaios de

extração de K. Utilizaram-se soluções extratoras de água destilada e  $\text{HNO}_3$  0,001 mol/L (Luz *et al.*, 2010).

### 3.2 – Carbonatitos

Os carbonatitos, pela sua composição química e mineralógica, podem ser utilizados como fertilizantes alternativos e calagem. São conhecidos 22 complexos carbonatíticos no Brasil que podem ser agrupados em 6 grupos (Lapido-Loureiro, 1995 *apud* Luz *et al.*, 2010):

- Amazônia (3) – Seis Lagos, Mutum e Maicuru (AM, PA);
- Nordeste (1) – Angico dos Dias (BA);
- Alto-Araguaia (3) – Morro do Engenho, Caiapó e Santo Antônio da Barra (GO);
- Alto Paranaíba (6) – Catalão I e II, Serra Negra, Salitre I e II, Araxá e Tapira (GO, MG);
- Sudeste (7) – Ipanema, Itanhaém, Juquiá, Jacupiranga, Itapirapuã e Mato Preto (SP, PR);
- Sul (2) – Lages e Anitápolis (SC).

A mineralogia destes carbonatitos é bastante variável, com ocorrência frequente, além da apatita e flogopita, silicato de K e Mg, sendo o K o nutriente estratégico no contexto desde estudo prospectivo (Luz *et al.*, 2010).

### 3.3 – Flogopititos

É uma rocha constituída, essencialmente, de flogopita (mineral do grupo das micas), com cerca de 8% de  $\text{K}_2\text{O}$ . Esta contém íons potássio nas posições interlamelares. Foram realizados, pelo CETEM/IQ-UFRJ, estudos de caracterização tecnológica dessa rocha, proveniente de Carnaíba, BA, com o fim de utilizá-la como fertilizante de liberação lenta, com resultados promissores (Luz *et al.*, 2010).

### 3.4 – Fonolitos

São numerosas as ocorrências de fonolitos no país, associadas a complexos alcalinos. Entre as mais conhecidas e melhor estudadas está a de Poços de Caldas, MG.

O fonolito é uma rocha de origem vulcânica que possui na sua composição mineralógica o predomínio de feldspatos potássicos (microclima e ortoclásio), feldspato plagioclásios (andesina) e feldspatóides (nefelina). A origem do seu nome esta relacionada ao som que pode ser percutido. O elevado teor de óxidos alcalinos enquadra o fonolito como um fundente muito utilizado pelas indústrias cerâmicas (Andrade *et al.*, 2005 *apud* Teixeira *et al.*, 2012). O teor de potássio varia desde 6 a 11% de  $\text{K}_2\text{O}$ , incentivando o estudo desta rocha como fonte alternativa de fertilizante de liberação lenta de potássio (Teixeira *et al.*, 2012).

### 3.5 – Kimberlitos

Os kimberlitos, rocha-mãe dos diamantes, pela sua mineralogia e composição química, são considerados rochas ultrapotássicas. Assim, estas são consideradas como fontes de fertilizantes alternativos.

Dividem-se em Grupo I (basáltico) e Grupo II (micáceo). Nos kimberlitos do Grupo I, ricos em CO<sub>2</sub>, predominam olivina forsterítica, ilmenita magnésiana, piropo e flogopita. Os do grupo II são ricos em H<sub>2</sub>O, com macro e mega cristalizações de flogopita, com a existência de micas e a olivina não é constituinte essencial (Barbosa, 2006 *apud* Luz *et al.*, 2010).

Em termos de ocorrências diamantíferas, há 15 áreas conhecidas que se distribuem pelos estados de Roraima, Sul do Amazonas, Rondônia, Amapá, Pará, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo, com potencial para uso como rocha alternativa para agricultura (Luz *et al.*, 2010).

### 3.6 – Riolitos e Riodacitos

No município de Guarapuava (PR) ocorre uma sucessão de derrames básicos e ácidos, estes correspondem aos riodacitos e riolitos do tipo Chapecó, enriquecidos em P e K. Estas rochas são explotadas em pedreiras, para a produção de brita e areia de brita, gerando um material fino como rejeito da britagem.

Estudos recentes mostram que esse material pode ser empregado na agricultura como fonte de P e K, com prévio tratamento biológico da rocha pulverizada, usando microorganismos selecionados que auxiliam a biodisponibilização desses nutrientes, resultando em fertilizante para a agricultura (Tratz *et al.*, 2008 *apud* Luz *et al.*, 2010).

### 3.7 – Rochas zeolíticas

Zeólitas são aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos terrosos, principalmente Na, K, Mg e Ca. As zeólitas possuem importantes propriedades para os processos industriais, tais como: alto grau de hidratação, propriedades de troca catiônica, propriedades catalíticas, canais uniformes nos cristais desidratados, dentre outras. Possui uma alta capacidade de adsorção ligada à sua estrutura cristalina caracterizada por cavidades espaçosas (Luz, 1994 *apud* Luz *et al.*, 2010).

As zeólitas possuem um vasto campo de aplicação, destacando-se, no contexto deste trabalho, como condicionador de solos, pela sua capacidade de retenção de água e de armazenar nutrientes do tipo nitrogênio, potássio e fósforo, liberando-os lentamente. Desta forma, contribuem para minimizar as perdas por lixiviação desses nutrientes, resultando em significativa economia de fertilizantes. As zeólitas, por serem carreadoras de nutrientes, podem ser utilizadas como fertilizantes, com a vantagem de algumas de suas espécies possuírem, naturalmente, quantidades significativas de potássio e pouco sódio.

A análise dos estudos realizados, até agora, por pesquisadores do CETEM/Embrapa/UFRJ, recomendam o prosseguimento desses estudos objetivando o seu aproveitamento econômico, em particular, para uso na agricultura (Luz *et al.*, 2010).

### 3.8 – Rochas ultramáficas alcalinas

Essas rochas podem ser encontradas na Província Ígnea do Alto Paranaíba, que está situada no centro-oeste de Minas Gerais e sudeste de Goiás e é composta por grande volume de kamafugitos (Grupo Mata da Corda e inúmeros corpos sub-vulcânicos), numerosos kimberlitos, com destaque para a região de Coromandel, com vários complexos plutônicos alcalino-carbonatíticos (Catalão I e II, Serra Negra, Salitre I e II, Araxá e Tapira) e diques de flogopita picritos.

### 3.9 – Verdetes

Verdete é o nome atribuído a uma rocha constituída, essencialmente, de glauconita e que ocorre, nos municípios de Matutina, Cedro e Cedro do Abaeté, no estado de Minas Gerais, entre outros, formando depósitos estimados em centenas de milhões de toneladas (Luz *et al.*, 2010).

A glauconita ocorre em sedimentos marinhos (arenitos, argilas, calcários e leitos de fosforita) de baixas profundidades, principalmente em zonas de mares e oceanos, além de sedimentos marinhos recentes (siltitos verdes e areias).

O termo glauconita deriva da palavra grega, glaucos ( $\gamma\lambda\alpha\upsilon\kappa\omicron\varsigma$ ), que significa verde azulado. É um aluminossilicato hidratado de ferro, magnésio, potássio cuja fórmula química é  $K_2(Mg,Fe)_2Al_6(Si_4O_{10})_3(OH)_{12}$ , com densidade variando entre 2,4 e 2,95 (Luz *et al.*, 2010).

Nessa região de Matutina, a rocha verdete ocorre na forma compacta e, na sua maior parte, bem fraturada, porém há locais, nos quais a rocha ocorre na forma compacta sem fratura (Luz *et al.*, 2010).

Outras ocorrências de verdetes são:

- Formação Pimenteiras, no flanco ocidental da bacia do Paranaíba (TO), constituídas por sedimentos marinhos formados por arenitos, siltitos e folhelhos, com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e glauconita, ocupando uma área aproximada de 25.000 km<sup>2</sup>;

- Grupo Beneficente, na região de Juruema/Teles Pires/Aripuanã no norte de Mato Grosso e no Sul do Amazonas, sequência de metassedimentos marinhos glauconíticos constituída de siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos, cobrindo uma área aproximada de 60.000 km<sup>2</sup>.

A associação da glauconita à mineralizações de fosfato poderá revestir-se de grande interesse no âmbito da rochagem.

O verdete pode se tornar uma fonte alternativa ao KCl (silvita), tradicional fertilizante potássico usado na agricultura.

O desenvolvimento de fertilizante potássico exige investimento de pesquisas tecnológicas e a utilização de uma matéria-prima rica em potássio, fato que favorece a utilização do verdete para esse fim.

Desse modo, o verdete de Matutina localiza-se numa vasta e bem desenvolvida fronteira agrícola. Além da demanda promissora para obtenção de um produto de potássio, para uso como fertilizante agrícola, há também na região: pedreiras de calcário, energia elétrica, malhas ferroviária e rodoviária, entre outras. Em resumo, há uma logística que favorece o aproveitamento econômico desse fertilizante alternativo.

A obtenção de um produto de potássio para uso como fertilizante, com base em verdete, exige o desenvolvimento de pesquisas com foco nos parâmetros tecnológicos, inclusive testes agrônômicos e estudos de mercados (Luz *et al.*, 2010).

### **3.10 – Kamafugitos**

As províncias alcalinas do Alto Paranaíba e de Goiás contêm algumas das mais extensas exposições conhecidas de kamafugitos, dentre as quais se destacamos derrames da região de Rio Verde.

Rio Verde, também designado por Santo Antônio da Barra, é uma sequência vulcânica heterogênea (piroclástica e lavas) de rochas zeolíticas (analcíticas), localmente capeadas por lavas, tufo e aglomerados de silicocarbonatitos. Esses Kamafugitos foram estudados pela Embrapa Cerrados e UnB, como fontes de K para soja e milho e apresentaram resultados animadores (Martins *et al.*, 2008 *apud* Luz *et al.*, 2010).

### **3.11 – Vermiculitas**

A vermiculita é um silicato hidratado de magnésio, ferro, alumínio, potássio, com estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal, podendo conter até 5% K<sub>2</sub>O. O mineral se expande, sob aquecimento (800 a 1.100<sup>0</sup>C), atingindo volume de 10 a 12 vezes o seu volume natural. Sua capacidade de troca catiônica está na faixa de 100 a 130 meq/100g (Ugarte *et al.*, 2008 *apud* Luz *et al.*, 2010).

O depósito de vermiculita da região de Paulistana está localizado no sudeste do Estado do Piauí, no município de Queimada Nova. Trata-se de um corpo de rochas básicas e ultrabásicas, de forma elíptica, intrusivo em xistos granatíferos, xistos gnaissificados e migmatitos que compõem o Grupo Salgueiro, que se estende ao vizinho estado de Pernambuco, onde também foram detectadas ocorrências de vermiculita. Esta ocorre associada à rocha básica, na forma disseminada ou em veios pegmatóides (Luz *et al.*, 2010). Pode ser usada como fonte alternativa de potássio na agricultura.

### **3.12 – Nefelina-Sienito**

A nefelina (Na, K)(AlSiO<sub>4</sub>) é um aluminossilicato de sódio e potássio que pertence ao grupo dos feldspatóides e se forma nas rochas magmáticas subsaturadas em sílica.

Nefelina-sienito é uma rocha ígnea rica em feldspatos potássicos (microclionio e ortoclásio) e feldspatóides sódicos/potássicos, praticamente livre de quartzo, com a ocorrência de minerais ferromagnesianos.

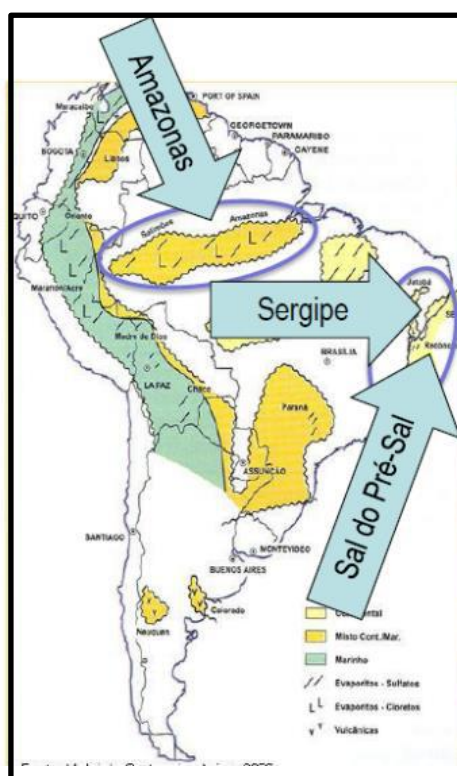
Essa rocha constitui uma das matérias-primas essenciais às indústrias de vidro e cerâmicas. Na fabricação de vidros, é utilizado como fonte de álcalis, já na indústria cerâmica, funciona como um substituto virtual do feldspato, em decorrência do seu elevado teor de alumina (Sampaio *et al.*, 2008).

#### 4 – RESERVAS DE POTÁSSIO NO BRASIL

A agricultura brasileira e a de outros países, grandes produtores de alimentos, como a China, por exemplo, consomem enorme quantidade de fertilizantes, com o agravante no caso brasileiro, da produção interna ser pequena e não crescer de forma a compensar o constante aumento de consumo. Países, com deficiência na produção de potássio, são obrigados a importá-lo por ser fundamental para a agricultura.

O crescente aumento do uso de fertilizante potássico na agricultura fez com que pesquisas sobre minerais alternativos para a produção de fertilizantes de potássio ganhassem importância ao longo dos últimos anos.

As reservas de sais de potássio no Brasil estão localizadas em Sergipe e no Amazonas (Figura 3). Podem existir reservas na porção submersa da Plataforma Continental Brasileira, ou seja, no sal do pré-sal, mas o seu aproveitamento técnico e econômico ainda não foi comprovado. Em Sergipe, nas regiões de Taquari/Vassouras e de Santa Rosa de Lima, as reservas oficiais de silvinita (KCl + NaCl) (reservas medidas) totalizaram 482,6 milhões de toneladas, com teor médio de 9,7% de  $K_2O$  equivalente. Dessas, 66,6 milhões de toneladas de minério "in situ" (teor de 22,41% de  $K_2O$ ), que correspondem a 14,9 milhões de toneladas de  $K_2O$  equivalente, corresponde à reserva lavrável em Taquari/Vassouras. Trabalhos de reavaliação das reservas de silvinita na região de Santa Rosa de Lima, situada 16 km a oeste de Taquari-Vassouras, dimensionaram reserva de aproximadamente 66,9 milhões de toneladas de minério "in situ" (15,48 milhões de toneladas de  $K_2O$  equivalente), considerando a camada principal (DNPM, 2012).



**Figura 3** - Localização das bacias e sub-bacias com reservas de potássio no Brasil.



Ainda em Sergipe, são conhecidos importantes depósitos de carnalita ( $\text{KCl.MgCl}_2.6\text{H}_2\text{O}$ ). As reservas totais de carnalita (medida + indicada + inferida), com teor médio de 8,31% de  $\text{K}_2\text{O}$  equivalente, somam cerca de 12,9 bilhões de toneladas. Apesar da expressiva reserva desse bem mineral, a viabilidade técnica e econômica de seu aproveitamento depende da conclusão dos testes de lavra por solução e cristalização fracionada dos sais, em andamento (DNPM, 2012).

No Amazonas, nas localidades de Fazendinha e de Arari, na região de Nova Olinda do Norte, as reservas oficiais de silvinita (medida + indicada) somam 1.008,1 milhões de toneladas, com teor médio de 18,47% de  $\text{K}_2\text{O}$  equivalente (DNPM, 2012).

**Tabela 3** - Reserva mundial de potássio. Fonte: DNPM (2012).

Discriminação	Reservas ( $10^3$ t $\text{K}_2\text{O}$ )
Países	2011 <sup>(p)</sup>
<b>Brasil</b>	<b>14.925<sup>(1)</sup></b>
Canadá	4.400.000
Rússia	3.300.000
Bielorússia	750.000
Alemanha	150.000
China	210.000
Outros países	432.000 <sup>(2)</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>9.256.925</b>

Obs.: Usa-se convencionalmente a unidade  $\text{K}_2\text{O}$  equivalente para expressar o potássio contido, embora essa unidade não corresponda à composição química da substância; (1) referente à reserva lavrável da mina de Taquari/Vassouras/Sergipe; (2) inclui o total da reserva do Mar Morto, que é equitativamente dividido entre Israel e Jordânia; (p) preliminar.

Ressalta-se que a produção brasileira de potássio se concentra numa só área (mina), e todas as demais jazidas, em Sergipe e no Estado do Amazonas, ainda não entraram em produção.

#### 4.1 – Bacia de Sergipe-Alagoas

A Bacia de Sergipe-Alagoas situa-se na margem continental nordeste do Brasil. Em sua porção terrestre abrange uma área de aproximadamente 13.000  $\text{km}^2$  e sua porção submersa uma área de cerca de 40.000  $\text{km}^2$ , até a cota batimétrica de 2.000 metros.

A bacia é representada por um rifte assimétrico, alongado na direção NNE/SSW e limitado a norte pelo Alto de Maragoji, e a sul com a Bacia do Jacuípe, pelo sistema de falhas de Vaza-Barris. Divide-se em duas sub-bacias, Alagoas e Sergipe, separadas pelo alto de Jaboatão–Penedo, nas imediações do Rio São Francisco (Aquino e Lana, 1990).

Das bacias da margem continental brasileira, esta bacia é a que possui a mais completa sucessão estratigráfica, sendo reconhecidas quatro megassequências (pré-rifte, sin-rifte,

transicional e pós-rifte) com diferentes fases de desenvolvimento tectono-sedimentar. A megassequência pré-rifte (Paleozóico e Mesozóico), inclui rochas cambrianas (Formação Estância), depósitos glaciais do Carbonífero (Formação Batinga), depósitos de sabkha costeira do Permiano (Formação Aracaré) e os sedimentos flúvio-lacustres do Neo-Jurássico/Eo-Cretáceo (formações Candeeiros, Bananeiras, Serraria e Barra de Itiúba) (Mohriak, 2003).

A fase sin-rifte, também denominada sin-rifte I, desenvolveu-se entre o Neocomiano e o Barremiano, sendo caracterizada pelo sistema siliciclástico das formações Rio Pitanga, Penedo e Barra de Itiúba. A megassequência transicional, localmente afetada por falhamentos, sendo designada de sin-rifte II, abrange o Barremiano e Aptiano e inclui a Formação Poção, a Formação Coqueiro Seco e a Formação Maceió. Durante a fase transicional, no Aptiano, iniciaram-se as primeiras incursões marinhas, com deposição de duas sequências evaporíticas na Formação Muribeca (Membro Paripueira e Membro Ibura), com destaque para os evaporitos do Membro Ibura (Feijó, 1994).

A megassequência pós-rifte ou marinha, caracterizada por subsidência termal, inicia-se no Albiano, com a instalação de uma plataforma carbonática (Formação Riachuelo). A fase marinha transgressiva resultou na deposição, entre o Albiano e o Santoniano, de três faixas diferenciadas de sedimentos englobados na Formação Riachuelo, com arenitos proximais, carbonatos de plataforma e folhelhos distais (Membro Taquari e Membro Aracaju) (Feijó, 1994). Do Campaniano ao Recente, após um período ainda predominantemente transgressivo, iniciou-se uma forte regressão onde as fácies de menor energia (Formação Calumbi) passaram a ser recobertas por fácies de maior energia (carbonatos da Formação Mosqueiro e siliciclásticos da Formação Marituba), com o estabelecimento de um sistema de plataforma/talude/bacia profunda. Na parte terrestre os sedimentos continentais da Formação Barreiras recobrem todas as megassequências mais antigas.

A Bacia de Alagoas é caracterizada por uma espessa seção sedimentar da fase rifte na região continental e por feições associadas à transpressão na região da plataforma e talude.

Entre as sub-Bacias de Alagoas e Sergipe ocorrem feições diapíricas em águas profundas que podem estar relacionadas à tectônica de sal. A Bacia de Sergipe é caracterizada por um espesso depocentro na região do Baixo de Mosqueiro, a sul de Aracaju, o qual é controlado por falha da fase rifte (Vaza-Barris–Itaporanga) que apresenta reativações até o Cretáceo Superior (Mohriak, 2003).

Na interpretação da sequência rifte na região de águas profundas há duas principais hipóteses opcionais: a) ocorrência de espessa sequência aptiana, neocomiana e sedimentos pré-rifte até a região de altos vulcânicos das zonas de fraturas; e b) afinamento do rifte na região do talude e bacia profunda, com presença de *seaward-dipping reflectors* na transição para crosta oceânica (Mohriak, 2003) (Anexo I).

#### **4.2 – Mina de Taquari-Vassouras (SE)**

Em Sergipe, os depósitos de silvinita e carnalita foram descobertos em 1963 pela PETROBRÁS, que estava fazendo prospecção de petróleo na região. Sabe-se da geologia que os domos salinos formam estruturas típicas (armadilhas) para acumulação de petróleo. O projeto de implantação da mina/usina de Taquari/Vassouras para o aproveitamento do cloreto de potássio foi iniciado em 1979, pela Petrobrás Mineração S.A. (Petromisa), e inaugurado em 1985 (Baltar *et al*, 2001).

Além de estar situada a grande profundidade (450 m), a mina encontra-se em uma zona geológica onde há ocorrência de gases explosivos, em razão da existência de campos petrolíferos nas proximidades. Outra dificuldade enfrentada pela equipe técnica foi a

possibilidade de inundação da mina, já que havia, na frente da lavra, aquíferos que se constituíam em verdadeiros rios subterrâneos. Somaram-se a isso as questões relacionadas à mecânica de rocha, como a proximidade da taquidrita ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), situada logo abaixo da camada de minério a ser extraído. Essa rocha é altamente higroscópica (tem grande afinidade pelo vapor de água) e de baixa resistência mecânica quando em contato com o ar atmosférico (Baltar *et al*, 2001).

Outro fator restritivo devido aos aquíferos diz respeito à recuperação na lavra. Em virtude da pequena distância entre o minério e o aquífero, é necessária a utilização de pilares de sustentação para impedir o abatimento das camadas superpostas.

A produção de cloreto de potássio, iniciada em 1985, está restrita ao complexo mina/usina de Taquari-Vassouras, localizado no município de Rosário do Catete, às margens da rodovia federal BR-101, a nordeste do estado de Sergipe, distante 45 km de Aracaju. A unidade esteve a cargo da PETROMISA até 1991. A partir de 1992, a mina passou a ser administrada pela Gerência Geral de Fertilizantes (GEFEK) da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), por meio de um contrato de arrendamento. A unidade é a única produtora de cloreto de potássio em atividade no Brasil (Baltar *et al*, 2001).

Quanto às expressivas reservas de carnalita existentes em Sergipe, embora na condição de reserva oficial, são carentes de maiores estudos com vistas ao seu aproveitamento. Nesse sentido, a Vale S.A., que vem conduzindo os trabalhos de lavra de silvinita em Taquari-Vassouras, na condição de arrendatária, desenvolve um projeto piloto, com vistas à definição da viabilidade técnica e econômica para o aproveitamento das referidas reservas, por processo de dissolução, seguido de cristalização fracionada dos seus sais. A opção da lavra por processo de dissolução envolve menor custo operacional, bem como permite o início da produção em menor tempo que a lavra convencional, uma vez que a lavra convencional requer abertura de *shafts*, escavações de galerias que permitam a pesquisa e a exploração do minério, instalação de correias transportadoras, planta de refrigeração, entre outros. Por outro lado, a profundidade máxima tecnicamente recomendada por métodos convencionais, para sais solúveis é de 1.200m, sendo que as carnalitas localizadas na área bloqueada, pela Vale S.A., para lavra, encontram-se em profundidade maior que a mencionada (Balanço Mineral 2001).

#### 4.2.1 – Geologia de Taquari-Vassouras

A jazida situa-se entre os campos petrolíferos de Carmópolis e Siriri, na porção sul da bacia sedimentar de Sergipe, e corresponde a uma área de 185 km<sup>2</sup>. A jazida ocorre no Membro Ibura da formação Muribeca e a formação desse depósito é atribuída a uma sequência de evaporitos, estando relacionada à série de eventos que marcaram a separação dos continentes Africano e Sul-americano, durante o Cretáceo inferior (Anexo I). A mineralização salífera é constituída por halita, silvinita, carnalita lixiviada e taquidrita. Essa coluna estratigráfica, à exceção da taquidrita, constitui o ciclo VII da sequência evaporítica, sendo a silvinita a principal fonte do minério de potássio. A mineralização dos sais de sódio e potássio ocorre na forma de camadas, com espessura média de 5 m (Baltar *et al*, 2001).

A jazida de Taquari-Vassouras tem duas camadas mineralizadas denominadas Silvinita Basal Superior e Silvinita Basal Inferior, por estarem posicionadas estratigraficamente na base do ciclo. Esta última localiza-se logo acima de uma camada de taquidrita, que possui a propriedade de absorver água quando em contato com o ar. Os corpos arenosos portadores de aquíferos encontram-se na Formação Muribeca, Membro Oiterinhos.

**Tabela 4** - Composição mineralógica aproximada de silvinita de Taquari-Vassouras. Fonte: Baltar *et al.* (2001).

<b>Espécie Mineral</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>Percentagem em Peso</b>
Halita	NaCl	67
Silvita	KCl	31
Outros	-	2

#### 4.2.2 – Método de lavra de Taquari-Vassouras

O método de lavra utilizado na mina subterrânea de Taquari-Vassouras é o de câmaras e pilares retangulares, com o uso de mineradores contínuos de rotores (Marietta 900), equipamentos de transporte elétrico (*shuttle-cars*) e quebrador-alimentador (*feederbraker*) que descarrega o minério diretamente na correia transportadora, atualmente, com cerca de 9 km de extensão operando na mina subterrânea.

O minerador escava o maciço descarregando o minério nos *shuttle-cars*, com capacidade de 15 toneladas, que transportam o material a uma distância máxima de 150m entre o minerador e o *feeder-braker*. Este equipamento faz a britagem primária do minério com tamanho máximo (*top size*) e alimenta o transportador de correias.

A quantidade de minério desmontado em cada painel varia de acordo com o número de cortes (verticais) e passes (horizontais) escavados em cada câmara de lavra. As câmaras têm altura variável entre 2,7 e 10,3m e largura máxima de 14m. Os pilares são retangulares com área variando de 21 a 64m<sup>2</sup> (para largura da câmara com 10,9m) a 27 a 54m<sup>2</sup> (para largura da câmara com 14m). A taxa de extração, considerando a área lavrada, varia de 43 a 49%.

### 4.3 – Bacia do Amazonas

As rochas sedimentares da Bacia do Amazonas, que possui 515.000 km<sup>2</sup> de área, estão em *onlap* sobre as rochas pré-cambrianas dos escudos das Guianas, a norte, e Brasil Central, a sul. Seu limite ocidental é com a Bacia Solimões (Alto de Purus) e o oriental, com o rifte mesozóico de Marajó, é a ombreira do rifte, denominada de “Arco de Gurupá”. A espessura total das rochas sedimentares que a preenchem atinge 5.000 metros (Cunha *et al.*, 1994).

O rifte precursor da Bacia do Amazonas foi inicialmente preenchido por rochas da Formação Prosperança, de ambiente de leque aluvial-fluvial. Por ser concordante com a Formação Trombetas, a deposição da Formação Prosperança é considerada como sendo cambro-ordoviciana (Silva *et al.*, 2003).

A fase sinéclise, iniciada desde a deposição da Formação Acari, de ambiente transicional, ou da Formação Autás-Mirim, nerítica, está pontuada por orogêneses, responsáveis pelas discordâncias que separam as diversas supersequências.

A evolução da Bacia do Amazonas começa pela deposição da supersequência ordoviciano-devoniana composta pelos clásticos marinhos das formações Autás-Mirim, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru, presentes no Grupo Trombetas; sua deposição é encerrada pelo reflexo da Tardiocloyica (400 Ma) responsável pelo hiato que a separa da supersequência devoniano-carbonífera. Esta é composta pelas formações Maecuru, Ererê, Curiri, Oriximiná e Faro, que representam a sedimentação flúvio-deltáica e nerítica dos grupos Urupadi e Curuá.

Este último foi acompanhado por sedimentação glacial e seguido por um hiato deposicional correspondente a orogênese Tardichânica (330 Ma) (Silva *et al.*, 2003).

O Grupo Tapajós, composto pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá, possui um amplo espectro de ambientes de sedimentação: clásticos, carbonatos e evaporitos, tanto continentais como marinhos restritos, que formam a supersequência carbonífero-permiana. Esta supersequência é seguida sucessivamente pela Orogênese Sanrafaélica (260 Ma.) e pelo Diastrofismo Juruá. No princípio do Jurássico, fazendo parte da Província CAMP (*Central Atlantic Magmatic Province*), ocorreu amplo magmatismo basáltico formando diques tipo penatecaua e derrames não-aflorantes situados entre as formações Nova Olinda e Alter do Chão (Silva *et al.*, 2003).

A sedimentação na Bacia do Amazonas é encerrada pela deposição de duas sequências continentais, uma cretácea superior (Formação Alter do Chão) e outra cenozóica (formações Solimões e Içá), depositadas por sistemas fluviais e flúvio-lacustres (Anexo II).

#### **4.4 – Reservas no estado do Amazonas**

As reservas de silvinita foram descobertas na década de 80 pela PETROMISA/PETROBRAS e estão localizadas nos Municípios de Nova Olinda e Itacoatiara, cerca de 140 km a sudeste de Manaus.

Estes depósitos salinos localizados na parte central da Bacia Sedimentar do Amazonas estão dispostos na forma de sequência de rochas evaporíticas pertencentes às Formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá do Paleozóico superior (Anexo II).

O depósito de Nova Olinda é formado por sedimentos químico-evaporíticos que se localizam na parte superior do Carbonífero da Bacia do Amazonas e contém horizontes de salgema, sais de potássio, gipsita, anidrita e calcário

As reservas medidas somam 1,15 milhões de toneladas, com teores que variam entre 14,31 a 38,69% de cloreto de potássio. Ocorrem em estratos pouco espessos (2 a 5m) e profundidades que variam entre 980 e 1.140m.

Estudos recém-concluídos revelam jazidas encontradas nos municípios de Autazes e Itapiranga, também no estado do Amazonas. A reserva é avaliada em 500 milhões de toneladas e assim que começar a ser explorada, já é considerada como o fator principal para o Brasil se tornar auto-suficiente em produção de potássio. Os poços perfurados nesses municípios encontraram camadas de silvinita com profundidade média de 800m, espessuras das camadas variando entre 1,5 e 2m e teor de KCl entre 32,59 e 44,52% (Empresa Potássio Brasil).

#### **4.5 – Reservas submarinas de potássio**

O Brasil pode se tornar pioneiro na exploração de reservas submarinas de potássio. As companhias Itafós Fertilizantes, do Brasil, e Atacama Minerals, do Canadá, foram as primeiras a solicitar licença para a exploração. O mineral pode ser encontrado em depósitos de sal no subsolo, como os encontrados na região do pré-sal. A ideia é estudar o uso da tecnologia desenvolvida para a exploração de petróleo na busca por potássio no subsolo. A empresa ainda não tem estimativas sobre custo do investimento, alegando estar em fase preliminar de estudos. A Itafós não decidiu o local da pesquisa. A companhia opera hoje uma mina de fosfato - também usado na produção de fertilizantes - ao sul do estado do Tocantins, na região de Arraias. Já a canadense Atacama recebeu em maio uma autorização para

pesquisa geológica em uma área de 1,4 mil km<sup>2</sup> ao sul de Salvador, onde se prepara para iniciar uma campanha de perfuração (DNPM/DIDEM, 2009).

#### 4.6 – Ocorrência de rochas com potencial para fertilizante alternativo de potássio

##### 4.6.1 – Verdetes

O verdete abundante no Brasil, pode se tornar uma fonte alternativa para a obtenção de fertilizantes potássicos, principalmente no município de Cedro de Abaeté, no estado de Minas Gerais.

Essa rocha está localizada no Grupo Bambuí, na Formação Serra da Saudade, localizados na serra de nome homônimo à formação.

A Serra da Saudade constitui o domínio elevado de cristas interplanálticas que acompanham os interflúvios das bacias hidrográficas do alto rio São Francisco e do rio Indaiá, no centro-oeste mineiro, que avança em direção norte até o lago da represa de Três Marias. As principais cidades da região são Abaeté, Paineiras, Biquinhas e Cedro do Abaeté (Lima *et al.*, 2007).

A Formação Serra da Saudade é formada por cinco litofácies: ritmito pelito-arenoso, carbonatos retrabalhados, verdetes, arenito fino com *hummocky*, ritmito fosfático. Estes verdetes afloram na porção elevada da Serra da Saudade, nos arredores de Cedro de Abaeté, com espessura aproximada de até 80m. São rochas bem estratificadas, com base arenosa e topo siltito-argiloso, com predomínio de camadas planas ou onduladas (Lima *et al.*, 2007).

Os verdetes possuem teores de potássio de 7 a 14% e minerais como quartzo, k-feldspato, albita, mica branca, glauconita, clorita e opacos (Lima *et al.*, 2007). O mineral responsável pela coloração verde da rocha é a glauconita, que se forma nas porções externas da plataforma, em zonas de baixo aporte sedimentar, afastada da foz dos rios.

##### 4.6.1.1 – A glauconita como fonte de potássio para a agricultura

O termo glauconita se refere a uma série de minerais com deficiência de cátions interplanares do grupo das micas (Rieder *et al.*, 1999, Back & Mandarin, 2008 *apud* Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). Trata-se de um silicato hidratado de Al, Fe e K. Os valores médio são: K<sub>2</sub>O (6,62%), Na<sub>2</sub>O (0,36%), MgO (3,78%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,58%), Fe/FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (19,62%/3,37%/24,3%), SiO<sub>2</sub> (53,48%), H<sub>2</sub>O (4,22%) e O (44,97%) (Tifac, 2011 *apud* Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). A glauconita é considerada como mineral de sedimentos marinhos, mas pode formar-se por intemperismo de várias rochas e resultar também de processos hidrotermais. Seus depósitos originais podem ser retrabalhados dando origem a típicos depósitos continentais, aluvionares e lagunares.

As micas pela estrutura em folhas, propriedades cristlo-químicas e composição, mostram bom potencial como minerais fertilizantes. O intemperismo da biotita, por exemplo, é fonte de potássio para a solução em solo (van Straaten, 2007 *apud* Lapido-Loureiro *et al.*, 2009).

Leite (1985) e Valarelli (1993), citados em Lapido-Loureiro (2009), desenvolveram um processo para produção de "termofosfato potássico cálcico-magnésiano" e "termofosfato potássico", com base na mistura de rocha potássica (verdete) de Abaeté, rocha fosfática de Araxá e também calcário magnésiano. O processo de Leite (1985) teve por objetivo desenvolver um tipo de fertilizante com ação simultânea de correção de acidez do solo e fonte de potássio e magnésio. Foram empregados vários tratamentos térmicos para avaliação da

disponibilidade de potássio e fósforo no produto. Valarelli (1993) concluiu em seus estudos que o termofosfato fundido, tendo como fonte de  $K_2O$  o verdete de Cedro de Abaeté, é equivalente, em suas características, ao termofosfato produzido com rochas ígneas como as de Poços de Caldas.

Freitas *et al.* (2007), também citado em Lapido-Loureiro (2009), avaliaram a extração de potássio contido no verdete de Abaeté por meio de lixiviação alcalina sob pressão. Os resultados mostraram ser tecnicamente possível extrair potássio contidos nesses verdetes, obteve-se um taxa de extração de até 85,7% de potássio extraído.

Como fonte alternativa de potássio é importante dar atenção às rochas glauconíticas, e ao desenvolvimento de novos processos para seu desenvolvimento como fonte de fertilizantes potássicos, sob forma de aplicação direta (rochagem), ou através de produtos industriais.

#### 4.6.2 – Fonolitos

Há uma ocorrência de fonolito com potencial para fertilizante potássico alternativo se encontra em Poços de Caldas, MG.

A composição química da rocha (% m/m) é basicamente constituída de:  $SiO_2$  (52,44%);  $Al_2O_3$  (23,37%);  $K_2O$  (9,06%);  $Na_2O$  (8,40%);  $Fe_2O_3$  (3,85%);  $CaO$  (1,84%);  $TiO_2$  (0,61%);  $MnO$  (0,13%);  $P_2O_5$  (0,10%) (Teixeira *et al.*, 2012).

Teixeira *et al.* (2012) realizaram experimentos para comprovar que essa rocha fonolito possui potencial para fertilizante alternativo. A análise dos resultados de DRX, indicou que a composição mineralógica da rocha é formada principalmente por microclina ( $KAlSi_3O_8$ ), ortoclásio ( $KAlSi_3O_8$ ), andesina  $[(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8]$  e nefelina  $[(Na,K)AlSiO_4]$ . A análise dos resultados, feita por Teixeira *et al.* (2012) revelou que o fonolito possui potencial para aplicação na agricultura, uma vez que é uma rocha rica em  $K_2O$  e sua mineralogia principal é formada por minerais de feldspato.

## 5 – ANÁLISE DO MERCADO DE POTÁSSIO

Em 2011, o Canadá (47,5%) e a Rússia (35,6%) ocuparam as duas primeiras posições no *ranking* mundial das reservas de sais de potássio, sendo também os maiores produtores mundiais, uma vez que juntos somaram cerca de 50% do total de fertilizante potássico produzido no ano (Tabela 4). O Brasil ficou com a 11ª colocação em termos de reservas lavráveis e ocupou a 10ª posição em relação à produção mundial.

**Tabela 5** - Produção mundial de potássio. Fonte: DNPM (2012).

Discriminação	Produção (10 <sup>3</sup> t K <sub>2</sub> O)		
	2010 <sup>(r)</sup>	2011 <sup>(p)</sup>	(%)
<b>Brasil</b>	<b>418</b>	<b>424</b>	<b>1,1</b>
Canadá	9.788	11.200	30,1
Rússia	6.280	7.400	20,0
Bielorrússia	5.250	5.500	14,8
Alemanha	3.000	3.300	8,9
China	3.200	3.200	8,6
Outros países	5.732	6.150	16,5
<b>TOTAL</b>	<b>33.668</b>	<b>37.174</b>	<b>100</b>

Obs.: Usa-se convencionalmente a unidade K<sub>2</sub>O equivalente para expressar o potássio contido, embora essa unidade não corresponda à composição química da substância; (r) revisado; (p) preliminar.

### 5.1 – Produção interna

A produção de fertilizante potássico no Brasil está restrita ao complexo mina/usina Taquari-Vassouras, em Sergipe e esteve a cargo da Petromisa até outubro de 1991, à época titular da concessão de lavra. Em face à extinção da Petromisa, os seus direitos minerários passaram para a Petrobrás, por meio de cessão de direitos. A concessão de lavra, que inclui o complexo mina/usina de Taquari/Vassouras, foi arrendada à Vale Potássio Nordeste S.A. O Plano de Aproveitamento Econômico inicial (projeto base) definiu, para o complexo mina/usina de Taquari/Vassouras, uma capacidade nominal de produção de 500 mil t/ano de KCl, correspondendo a 300 mil t/ano de K<sub>2</sub>O equivalente. A capacidade de produção foi aumentada a partir de 1998 e, desde então, vem apresentando produção superior à meta prevista no projeto base. Assim, em 2011, foram produzidas 625,3 mil t de KCl, (com teor de 67,78% de K<sub>2</sub>O equivalente), correspondendo a 424 mil t. de K<sub>2</sub>O equivalente.

No ano de 2011, a produção interna de KCl foi inferior à verificada no ano anterior, quando foram produzidas 661,69 mil t. No entanto, verifica-se que a quantidade de KCl produzida em 2011, quando expressa em K<sub>2</sub>O equivalente (424 mil t), foi superior à



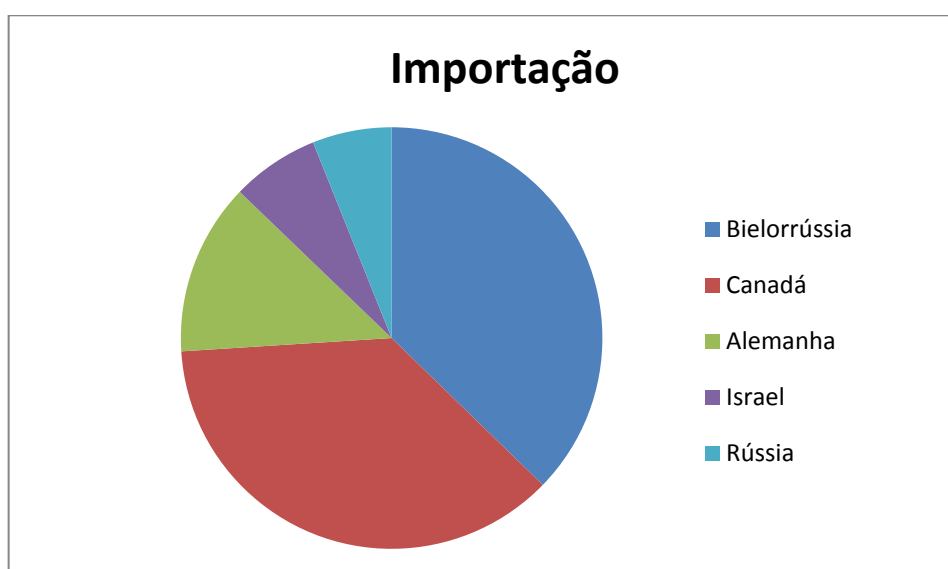
observada no ano anterior. Essa diferença está relacionada ao fato de que o KCl produzido, no ano em análise, possui um teor de  $K_2O$  mais elevado (67,78%) que no ano passado.

A produção interna de KCl vem crescendo nos últimos anos. Embora esse crescimento não tenha um comportamento linear, em decorrência das pequenas oscilações anuais, observa-se um incremento na produção, entre 2008 e 2011, de 10,59% (de 383,3 t. de  $K_2O$ , em 2008, para 418,0 t. de  $K_2O$  em 2011). Em função do mercado, em Taquari/Vassouras produzem-se os tipos Standard (0,2 a 1,7 mm) e Granular (0,8 a 3,4 mm).

A mina de Taquari/Vassouras, em atividade desde 1985, produziu 39,31 milhões de toneladas de minério. Em face do método de lavra utilizado, a taxa de extração na referida mina fica próxima de 50% da reserva lavrável. Atualmente, a capacidade total instalada de produção da mina é de 3.200 mil t/ano (ROM) e a vida útil prevista é de mais seis anos. A usina de beneficiamento dispõe de uma capacidade instalada para produção de 850 mil t/ano de KCl (DNPM,2012), o que corresponde a uma operação abaixo da sua capacidade nominal.

## 5.2 – Importação de potássio

Em virtude da pequena produção interna, comparada à grande demanda interna pelo produto, o Brasil situa-se no contexto mundial como grande importador de fertilizante potássico, tendo como principais fornecedores em 2011, a Bielorrússia (35,74%), o Canadá (35,21%), a Alemanha (12,66%), Israel (6,45%) e a Rússia (5,83%).



**Gráfico 1:** Importação de cloreto de potássio.

Fonte: Sumário Mineral, DNPM (2012).

Observando as estatísticas do comércio exterior brasileiro em 2011, nota-se um aumento das importações de fertilizantes potássicos em relação ao ano de 2010, sendo a maior dos últimos quatro anos. Verifica-se também, no ano em análise, um aumento do preço por tonelada do produto, modificando assim a tendência de queda observada no ano de 2010. No entanto, mesmo com o aumento observado, o preço não alcançou o patamar atingido em 2009. A quantidade de fertilizantes potássicos importada em 2011 esteve 25,4% acima da verificada

no ano de 2010, enquanto o valor de importação do produto foi aproximadamente 56,80% maior do que em 2010. Considerando o quadro observado em 2011, o Brasil mantém-se no contexto mundial como grande importador de fertilizantes potássicos.

Também, são usados como fontes de potássio para a agricultura, em usos específicos, o sulfato de potássio e o sulfato duplo de potássio e magnésio. Em 2011 foram importadas 32,54 mil toneladas de sulfato de potássio, correspondendo a US\$ FOB 19,36 milhões (DNPM, 2012).

### 5.3 – Exportação de potássio

As exportações brasileiras de fertilizantes potássicos são, basicamente, destinadas aos países da América do Sul. Em 2011 as exportações atingiram, aproximadamente, 9.553 t de K<sub>2</sub>O equivalente, referente ao cloreto de potássio, correspondendo a US\$-FOB 8.638 mil (DNPM, 2012).



**Gráfico 2:** Exportação de cloreto de potássio.

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro (2010).

### 5.4 – Consumo interno brasileiro

O consumo aparente de fertilizantes potássicos no Brasil em 2011 foi 23,10% superior ao observado no ano de 2010, com uma tendência de crescimento do mesmo, com patamares elevados de consumo. A produção interna de potássio fertilizante ainda está muito abaixo da demanda interna pelo produto. Em 2011, a produção doméstica de KCl representou apenas 8,44% do consumo aparente.

O principal uso do cloreto de potássio é como fertilizante, sendo o setor agrícola o responsável pela maior demanda pelo produto. O sulfato de potássio e o sulfato duplo de

potássio e magnésio também são usados, em menor proporção, como fontes de potássio para a agricultura, em culturas específicas.

Em termos mundiais, mais de 95% da produção de potássio é usada como fertilizante, sendo 90% dessa produção na forma de cloreto de potássio. O restante é consumido pela indústria química (DNPM, 2012).

**Tabela 6:** Principais estatísticas de produção, importação, exportação, consumo aparente e preços – Brasil. Fonte: MDIC/SECEX; DIPLAM/DNPM.

<b>Discriminação</b>	<b>Unidade</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Produção	(t. K <sub>2</sub> O)	452.698	417.990	423.850
Importação	(t. K <sub>2</sub> O)	2.068.305	3.674.186	4.607.449
	(10 <sup>3</sup> US\$-FOB)	2.079.022	2.234.245	3.503.225
Exportação	(t. K <sub>2</sub> O)	8.317	12.880	9.553
	(10 <sup>3</sup> US\$-FOB)	9.312	9.863	8.638
Consumo Aparente	(t. K <sub>2</sub> O)	2.512.686	4.079.296	5.021.746
Preços	(US\$-FOB/ t. K <sub>2</sub> O)	1.005,20	608,10	760,34

## 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento da produção agrícola foi de 85% nos últimos 35 anos, enquanto que a área cultivada aumentou somente 8%. A alternativa que impulsionou a atividade agrícola mundial, foi o aumento do rendimento da produção agrícola (cerca de 90% no últimos 35 anos) (Câmpora, 2003 *apud* Nascimento e Lapido-Loureiro, 2004). Se isso aconteceu deve-se, em grande parte, ao uso intensivo de fertilizantes minerais, mas, na maioria dos países, as fontes tradicionais, nomeadamente as de potássio, não são suficientes para atender essa demanda, sempre crescente, como é o caso brasileiro.

Além das buscas pelos clássicos depósitos sedimentares de silvinita e carnalita, rochas como as ígneas alcalinas da família dos sienitos, fonolitos, verdetes, entre outras, recebem mais atenção e podem ser uma alternativa, mesmo que parcial.

Os feldspatos potássicos são minerais muito abundantes na crosta terrestre, no entanto não são considerados minerais de minério, em virtude das limitações de processo para tornar o nutriente potássio disponível para as plantas, de forma econômica. Para quebrar a molécula do feldspato e disponibilizar o K para as plantas é necessário recorrer aos processos químicos e ou térmicos, mas que sejam viáveis do ponto de vista econômico.

Os equivalentes microcristalinos dessas rochas ricas em minerais potássicos também devem ser considerados e devidamente estudados, como a possibilidade de aplicação direta na agricultura como fertilizantes potássicos, essas pesquisas estão em fase de desenvolvimento no Brasil e em outros países.

Dentre os minerais silicatados comuns, com teores elevados de potássio, as micas, pelas suas propriedades cristaló-químicas, são certamente, além dos feldspatos potássicos, os de maior potencial por serem abundantes na natureza e por ocorrerem em muitas rochas..

Os estudos de matérias e rotas alternativas para da produção de fertilizantes potássicos é de grande importância para o Brasil por causa das características dos solos, da forte dependência de importações, restritas a poucos países fornecedores.

Algumas instituições, como o CETEM, a EMBRAPA, o Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, já desenvolvem estudos, muito promissores, de aproveitamento direto de rochas ricas em potássio, como fertilizantes na agricultura. Os resultados obtidos serão de grande importância para a agricultura brasileira.

Neste trabalho procurou-se elaborar uma visão geral da importância do potássio na agricultura, de sua escassez em todo o hemisfério sul e da relevância de trabalhos de pesquisa que possam indicar e definir fontes e rotas alternativas de fertilizantes potássicos.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, G. de A. S. C. de. 2000. 134p. Tese (Doutorado: Contribuição à Implantação de um Novo Polo de Fertilizantes no Nordeste do Brasil) - EP/USP, São Paulo.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. 2010. DNPM.

AQUINO, G.S., LANA, M.C. 1990. Exploração na Bacia de Sergipe – Alagoas: o “estado da arte”. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro.

BALANÇO MINERAL BRASILEIRO. 2001. Disponível em:  
<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=65>

BALTAR, C. A. M. *et al.* 2001. Cloreto de Potássio – Mina de Taquari-Vassouras – CRVD, CETEM, Rio de Janeiro.

CONTI, M. E. Dinamica de la Liberación y Fijación de Potasio en el suelo, Facultad de Argentina, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Disponível em:  
[http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/231285E76AAC1968032569CB007023E8](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/231285E76AAC1968032569CB007023E8). Consultado em: Março/2013

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. 2012. Sumário Mineral, Potássio.

DNPM/DIDEM. 2009. Clipping de Notícias.

CUNHA, P.R.C. et al. 1994. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras, 47-55p.

FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia de Sergipe–Alagoas. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 149-161p.

GREENWELL, B. 1999. Canadian Minerals Yearbook – General Review.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração, Informações e análises da economia mineral brasileira. 7ªed. 2012

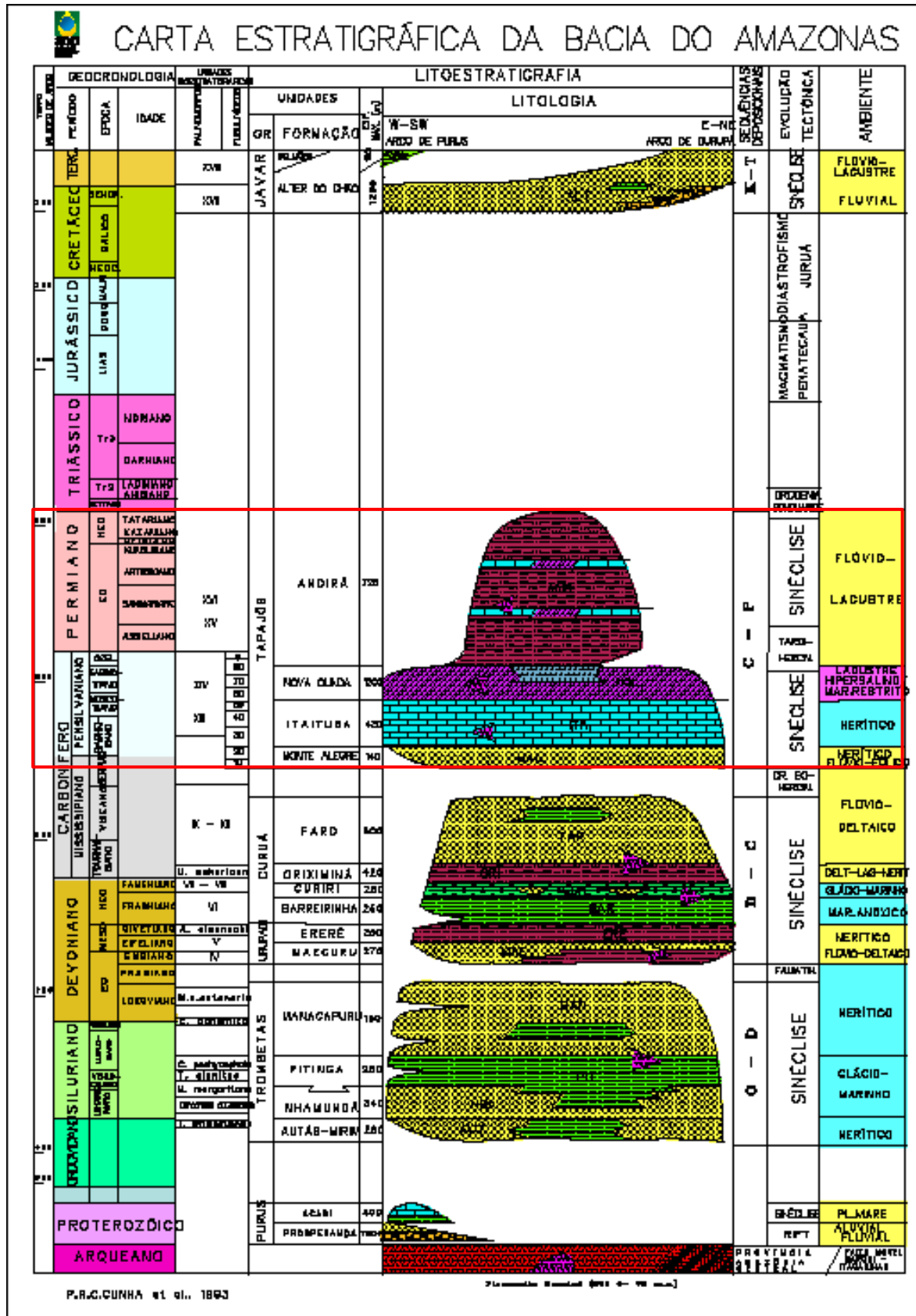
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. & NASCIMENTO, M. 2003. Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável e Competitiva. In: Fertilizantes: Agroindústria & Sustentabilidade, 81-123p, CETEM, Rio de Janeiro.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. *et al.* 2009. Tecnologias de Aplicação de Glauconita como Fonte de Potássio na Agricultura: o Caso Brasileiro e a Experiência Indiana. CETEM, Rio de Janeiro.
- LIMA, O. N. B.; UHLEIN, A. & BRITTO, W. de. 2007. Estratigrafia do Grupo Bambuí da Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, 37 (4 – suplemento), 204- 215p.
- LUZ, A. B. da; LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; SAMPAIO, J. A.; CASTILHOS, Z. C. & BEZERRA, M. S. 2010. Rochas, Minerais e Rotas Tecnológicas para a Produção de Fertilizantes Alternativos. In: Agrominerais para o Brasil, 61-88p, CETEM, Rio de Janeiro.
- MASON, B. H. 1971. Princípios da Geoquímica, Editora Polígono, São Paulo.
- MOHRIAK, W. U. 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil; Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileiro, 87-165p, CPRM.
- NASCIMENTO, M. & LAPIDO-LOUREIRO, F. E. 2004. 64p. Fertilizantes e Sustentabilidade: O Potássio na Agricultura Brasileira, Fontes e Rotas Alternativas. CETEM, Rio de Janeiro.
- NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M. & LAPIDO-LOUREIRO, F. E. 2008. Agrominerais - Potássio. In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações, LUZ, A. B.; LINS, F. F. (eds). 2ª edição. Rio de Janeiro. CETEM, 174-203p.
- POTÁSSIO BRASIL (Empresa). Disponível em:  
<http://www.potassiodobrasil.com.br/index.php>. Consulta em: Março/2013.
- SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. & BRAGA, P. F. A. 2008. Nefelina-Sienito. In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações, LUZ, A. B.; LINS, F. F. (eds). 2ª ed, 663-680p. CETEM, Rio de Janeiro.
- SILVA, A. J. P. da; LOPES, R. da C.; VASCONCELOS, A. M. & BAHIA, R. B. C. 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil; Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores, 55-86p, CPRM, Rio de Janeiro.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S. & MEDEIROS, M. E. 2012. Avaliação da Rocha Fonolito Como Fertilizante Alternativo de Potássio. CETEM, IQ-UFRJ, Rio de Janeiro.





Anexo B – Carta Estratigráfica da Bacia do Amazonas



Fonte: [http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round8/geral/ATIV\\_secoes\\_e\\_cartas\\_R8.asp](http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round8/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R8.asp)

## Anexo C – Minerais e suas fórmulas químicas

Mineral	Fórmula Química
Arcanita	$K_2SO_4$
Biotita	$K(Mg, Fe)_3(OH, Fe)_2(Al, Fe)Si_3O_{10}$
Carnalita	$KMgCl_3 \cdot 6H_2O$
Feldspatos Alcalinos Potássicos	$KAlSi_3O_8$
Flogopita	$KMg_3Si_3AlO_{10}(Fe, OH)_2$
Glaserita	$3K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4$
Halita	$NaCl$
Kainita	$4KCl \cdot 4MgSO_4 \cdot 11H_2O$
Langbeinita	$KMg_2(SO_4)_3$
Leonita	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Leucita	$KAl(Si_2O_6)$
Muscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH, Fe)_2$
Polyhalita	$K_2MgCa_2(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$
Silvinita	$KCl + NaCl$
Silvita	$KCl$