

116

Série Tecnologia Ambiental

Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais - Estado da Arte

**Maiccon Martins Barros
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais - Estado da Arte

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado

Sergio Freitas de Almeida

Secretário-Executivo

Paulo Mauricio Jaborandy de Mattos Dourado

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Vanessa Murta Rezende

Coordenadora-Geral de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Marusca Santana Custodio

Coordenadora Substituta de Administração - COADM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

STA - 116

Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais - Estado da Arte

Maiccon Martins Barros

Eng. Civil, M.Sc. em Ciência e Tecnologia de Materiais pela UEZO. Bolsista PCI do CETEM/MCTI

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Eng. Químico, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela EQ-UFRJ. Pesquisador Titular do CETEM/MCTI

CETEM/MCTI

2021

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

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

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

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

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Revisão

CIP – Catalogação na Publicação

B227

Barros, Maiccon Martins

Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais: estado da arte / Maiccon Martins Barros, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021.

98p. - (Série Tecnologia Ambiental; 116).

ISBN 978-65-5919-010-2

1. Calagem. 2. Rochagem. 3. Fertilização de solos. I. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. II. Centro de Tecnologia Mineral. III. Título. IV. Série.

CDD – 631.8

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 - 5849

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Fertilização do Solo	13
3.2 Fertilização do Solo no Mundo	15
3.3 Fertilização do Solo no Brasil	16
3.4 Técnicas Utilizadas para Fertilização e Correção de pH do Solo	19
3.5 Rochagem	21
3.6 Calagem	28
3.7 Tipos de Materiais Utilizados para Fertilização	31
3.8 Potássio	32
3.9 Rocha Fosfática	39
3.10 Nitrogênio	45
3.11 Resíduos Utilizados para Fertilização e Correção do pH	50
3.12 Granito	52
3.13 Gnaisse	55
3.14 Calcário	58
3.15 Mármore	61
3.16 Vermiculita	65
3.17 Ardósias	68

3.18 Produção Brasileira	72
3.19 Resíduos de Ardósias	77
3.20 Resíduos de Ardósias como Fertilizantes Naturais	80
3.21 Aplicação de Ardósias	81
4 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

RESUMO

A grande maioria dos solos tropicais brasileiros são Latossolos que, mesmo dotados de boas características físicas, apresentam, em forma quase generalizada, características químicas inadequadas, tais como elevada acidez, altos teores de alumínio trocável e deficiência de nutrientes, especialmente de cálcio, de potássio, de magnésio e de fósforo. Solos dessa natureza, uma vez corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial agrícola, possibilitando melhorias na nutrição da planta, resultando em boas produtividades. Dessa forma, vários produtos e métodos são utilizados com intuito de reposição de nutrientes como, por exemplo, o uso de rochas na agricultura, principalmente as rochas básicas e ultrabásicas, que, além de corrigir a acidez do solo, contribui com a reposição dos nutrientes. Esta técnica denominada de rochagem (*rocks for crops*), ou remineralização do solo, resume-se na adição do pó de rocha ao solo que, pelo intemperismo químico, no qual a água possui ação solvente, decompõe o pó de rocha lentamente, desse modo os nutrientes são liberados gradualmente. Nesse contexto, aparece o setor de rochas ornamentais (granitos, mármore, calcários, ardósias, quartzitos, pedra sabão, dentre outros), que gera mais de 70% de resíduos desde a lavra até o beneficiamento, podendo ser uma fonte de fertilizantes naturais e corretivos de solos. Dessa forma, objetiva-se nesse trabalho realizar um estado da arte dos trabalhos científicos desenvolvidos sobre fertilização e correção de acidez de solos por meio de métodos tradicionais e alternativos no Brasil e no mundo.

Palavras-chave

Calagem, rochagem, fertilização de solos.

ABSTRACT

The vast majority of Brazilian tropical soils are Oxisols that, even with good physical characteristics, present, in almost generalized form, inadequate chemical characteristics, such as high acidity, high levels of exchangeable aluminum and deficiency of nutrients, especially calcium, potassium, magnesium and phosphorus. Soils of this nature, once chemically corrected, have great agricultural potential, enabling improvements in plant nutrition, resulting in good productivity. Thus, several products and methods are used in order to replace nutrients, such as the use of rocks in agriculture, especially basic and ultrabasic rocks, which, in addition to correcting soil acidity, contribute to the replacement of nutrients. This technique called rocks for crops or remineralization of the soil is summed up in the addition of rock dust to the soil, which due to chemical weathering, in which water has a solvent role, decomposes the rock dust slowly, thus nutrients are gradually released. In this context, there is the sector of ornamental rocks (granites, marbles, limestones, slates, quartzites, soapstone, among others), which generates more than 70% of residues from mining to beneficiation, and can be a source of natural fertilizers and soil amendments. Thus, the objective of this work is to achieve a state of the art of the scientific works developed on fertilization and soil acidity correction by means of traditional and alternative methods in Brazil and in the world.

Keywords

Liming, rock for crops, soil fertilization.

1 | INTRODUÇÃO

Em decorrência de ser um país agrícola, o uso de fertilizantes no Brasil tem se intensificado com o passar dos anos com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola nacional e, com isso, o mercado nacional de fertilizantes triplicou o seu volume entre 1991 e 2003 com uma taxa de crescimento anual de 8,6%, mas a produção interna satisfaz apenas uma parcela do consumo: fósforo, 52%; nitrogênio 32%; e potássio pouco mais de 10 %. Todos os indicadores mostram, claramente, que essa dependência continuará a aumentar fortemente se não forem implantados novos projetos, tanto mais que “em geral, o balanço de nutrientes na agricultura brasileira é insatisfatória.

A indústria dos fertilizantes fosfatados, que absorve mais de 90% da produção de fósforo, “evoluiu consideravelmente nos anos 90 com a chegada dos programas de ajuste estrutural a longo termo”. A produção de fertilizantes de base passou a deslocar-se progressivamente para as regiões com matéria-prima abundante e preços competitivos.

É fácil de compreender o grande consumo de fertilizantes no Brasil não só pela sua dimensão, mas também porque, de acordo com o mapa pedológico do País somente 9% dos seus solos não possuem limitações relevantes para a produção agrícola, ou seja, apresentam boa reserva de nutrientes, boa drenagem, boas propriedades físicas (*i.e.*, estrutura, textura, entre outras) e teor de água que atenda o ciclo da planta (LOUREIRO et al., 2003).

A importância das práticas sustentáveis na agricultura moderna e a agricultura orgânica estão rapidamente ganhando importância entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento (AQUINO et al, 2020). A necessidade de

alternativas aos fertilizantes químicos a cada dia se torna mais essencial. Encontrar opções locais para fertilizantes químicos não é apenas importante para países como o Brasil, onde a agricultura é uma parte significativa da economia do país e é altamente dependente dos fertilizantes químicos importados (até 73% do consumo é importado - ANDA, 2019), mas também para qualquer país que busque uma agricultura sustentável.

O uso adequado de fertilizantes se tornou uma ferramenta indispensável na luta mundial de combate à fome e subnutrição.

Nesse contexto, a rochagem, 'remineralização' ou 'pó de rocha' ("rock for crops") são termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor os nutrientes necessários à produção e associada à qualidade, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo uso inadequado e intensivo. É um processo alternativo ou complementar de fertilização, que consiste na adição de pó de rocha ('petrofertilizante') para aumentar a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente. A rochagem pode contribuir para a redução do consumo de fertilizantes industriais que exigem grande quantidade de energia para sua fabricação e ser um agente dinamizador de produtividade e qualidade. Já a calagem, é um termo relacionado com o processo de correção da acidez do solo por meio da aplicação de materiais como pós de mármore e calcário, capazes de liberar cálcio e magnésio ao solo e conferir a correção do pH do mesmo.

Nesse trabalho, pretende-se realizar um estado da arte sobre a maior parte de trabalhos científicos relacionados com a fertilização de solos e correção de pH com a utilização de métodos tradicionais e também métodos alternativos como, por exemplo, a aplicação de resíduos gerados no corte de mármore e calcários para a prática da calagem e a aplicação de resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais silicatadas como fonte alternativa de potássio.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi um levantamento de trabalhos científicos voltados à fertilização e correção de pH de solos, principalmente relacionados com a aplicação de resíduos provenientes do corte de rochas ornamentais.

3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 | Fertilização do Solo

A agricultura brasileira experimentou grande desenvolvimento durante os últimos 100 anos, obtendo aumentos significativos na produtividade de grande número de culturas, notadamente nas últimas três décadas. Isto se deveu a inovações tecnológicas resultantes de inúmeras pesquisas e da difusão do uso dessas técnicas. Um dos componentes mais importantes para esse desenvolvimento da agricultura, principalmente no que diz respeito ao aumento da produtividade agrícola, sem esquecer os outros fatores de produção, foi à pesquisa em fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas que permitiram o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes na agricultura brasileira (LOPES et al., 2017).

Os fertilizantes promovem o aumento de produtividade agrícola, possibilitando proteger e preservar milhares de hectares de florestas e matas nativas, assim como a fauna e a flora (LOUREIRO et al., 2008).

Depois do petróleo e do ferro, os fertilizantes são, em escala mundial, um dos bens minerais que mais movimentam toneladas (LOUREIRO et al., 2003).

A importância das práticas sustentáveis na agricultura moderna e a agricultura orgânica estão rapidamente ganhando importância entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento (AQUINO et al, 2020). A necessidade de alternativas aos fertilizantes químicos a cada dia se torna mais essencial. Encontrar opções locais para fertilizantes químicos

não é apenas importante para países como o Brasil, onde a agricultura é uma parte significativa da economia do país e é altamente dependente dos fertilizantes químicos importados (até 73% do consumo é importado - ANDA, 2019), mas também para qualquer país que busque uma agricultura sustentável.

O uso adequado de fertilizantes se tornou uma ferramenta indispensável na luta mundial de combate à fome e subnutrição. A utilização de potássio na agricultura ocorre por meio da adição de macronutriente primário, geralmente em forma de sal – KCl, a partir de minerais como silvinita (KCl.NaCl) e carnalita (KMgCl₃.6H₂O). Devido à alta solubilidade dos sais, estes são largamente aplicados na agricultura; entretanto, a solubilidade que facilita a sua assimilação pelas plantas também causa grandes perdas por lixiviação (TEIXEIRA et al., 2010).

O potássio tem funções importantes na fertilização de cultivares, que atinge desde a melhoria na quantidade e qualidade da proteína das plantas, diminuição da incidência de doenças e estimulação do processo curativo e redução do estresse abiótico causado pelo frio. Entretanto, para algumas culturas sensíveis a cloreto, o uso do sal KCl não é recomendado, devendo ser aplicado por meio de outras fontes minerais (TEIXEIRA et al., 2010).

Algumas rochas e minerais portadores de potássio, como as micas flogopita e vermiculita, poderão ser estudados como alternativa potencial à complementação de fertilização dos solos (TEIXEIRA et al., 2010).

Em solos tropicais para que os fertilizantes aplicados tenham maior eficiência, é necessária à correção da acidez do solo, que há muito tempo vem sendo feita com o uso do calcário. Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, como o pó oriundo do corte de rochas ornamentais (R.O.) que possuem potencial de utilização como corretivos da acidez do solo, com a possibilidade de fornecer um destino viável a esses resíduos (MACHADO et al., 2009).

3.2 | Fertilização do Solo no Mundo

A produção mundial de matérias-primas e produtos intermediários para a indústria dos fertilizantes atingiu, em 1999, 463 Mt. Na Tabela 1 indicam-se os principais itens. O Brasil, no contexto mundial, ocupa posição muito modesta como produtor, sendo, no entanto, o 4º maior consumidor. O consumo mundial de fertilizantes aumentou nas últimas quatro décadas (LOUREIRO et al., 2003).

Tabela 1. Produção mundial das principais matérias primas e produtos intermediários para fertilizantes e participação do Brasil.

Produtos	Produção Mundial (10 ³ t)	Produção Brasileira (10 ³ t)	(%)
Potássio (em t K ₂ O)	25.470	315	1,2
Concentrados fosfáticos	137.895	4.421	3,2
Amônia (em t de N)	104.943	949	0,9
Enxofre (todas as formas) ^(a)	60.217	^(a) 298	0,5
Ácido sulfúrico (em t H ₂ SO ₄)	155.108	4.506	2,9

Fonte: LOUREIRO, 2003.

Entre 1993 e 1999 esse consumo cresceu constantemente, tendo atingido em 1999/00, 140,3 Mt, o maior valor em 12 anos. Decresceu em 2000/01, baixando para 136,5 Mt. Por outro lado, pelo 3º ano consecutivo, a demanda por cereais excedeu a produção, reduzindo os estoques de 75 Mt/ano e, certamente, o consumo de cereais continuará crescendo em consonância com o aumento do número de habitantes da Terra. Em consequência, o de fertilizantes para a cultura de cereais, também crescerá (LOUREIRO et al., 2003).

Os grandes produtores mundiais de sais de potássio são, na atualidade, Canadá e Rússia, que produzem juntos cerca de 18 milhões de toneladas a partir de rocha. Chile e Argentina também se destacam no cenário mundial como produtores de sais de potássio a partir de salmoura de salinas naturais (salares). Transferindo o foco para a área da nutrição mineral de plantas, tem-se os fertilizantes, que são minerais portadores de nutrientes, que ocorrem naturalmente e que são essenciais à vida. São utilizados com diversas finalidades e a sua aplicação regular, para fins agrícolas, data do final do século XIX, na Europa. Após a segunda Guerra Mundial foram observados aumentos sensíveis do consumo de fertilizantes nessa região, que se estabeleceram pelas três décadas. O aumento de consumo nos países em desenvolvimento começou há cerca de 50 anos atrás, nos anos de 1960 (FRANÇA et al., 2010).

3.3 | Fertilização do Solo no Brasil

A história do desenvolvimento da agricultura no Brasil, desde o seu descobrimento, está diretamente, mas de forma empírica no passado, ligada à fertilidade do solo. Os grandes ciclos da

cana-de-açúcar e do café alicerçaram-se, no início, na fertilidade natural dos solos das matas e na migração para novas áreas, quando essa fertilidade natural se exauria. Passaram-se muitas décadas até que, por meio de observações práticas do início, surgiram trabalhos envolvendo a fertilidade do solo e o uso de fertilizantes orgânicos e minerais, com vistas em estabelecer as bases para a prática da adubação que permitisse a exploração contínua das propriedades rurais (LOPES et al., 2008).

Em 1895, foi publicado um dos primeiros trabalhos sobre fertilidade do solo no Brasil, de autoria do Dr. Franz W. Dafert, que fornece detalhes sobre a análise química de fertilizantes orgânicos, na época chamados de “estrumes nacionais”. Até àquela época, os fertilizantes utilizados nas lavouras eram basicamente produtos orgânicos, dos quais se tinha pouca informação sobre características químicas, composição e modos de aplicação (LOPES et al., 2008).

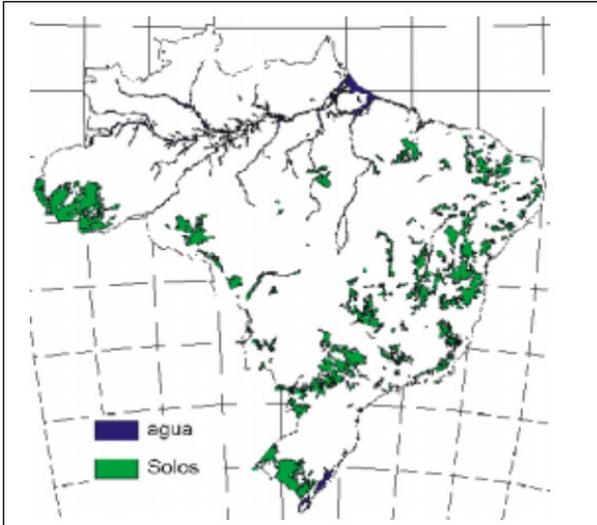
Em decorrência de ser um país agrícola, o uso de fertilizantes no Brasil tem se intensificado com o passar dos anos com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola nacional (SILVA et al., 2010).

O mercado nacional de fertilizantes triplicou o seu volume entre 1991 e 2003 com uma taxa de crescimento anual de 8,6%, mas a produção interna satisfaz apenas uma parcela do consumo: fósforo, 52%; nitrogênio 32%; e potássio pouco mais de 10 %. Todos os indicadores mostram claramente que essa dependência continuará a aumentar fortemente se não forem implantados novos projetos, tanto mais que “em geral, o balanço de nutrientes na agricultura brasileira é insatisfatória (LOUREIRO et al., 2008).

Em 2006, o total de entregas de produtos fertilizantes no Brasil foi de 20.982.000 t com um crescimento de 3,9 % em relação ao ano anterior (20.195 000 t), mas 10,8% inferior às entregas de 2004 (22.767.000). Em escala mundial o País apresenta a segunda maior taxa de crescimento (LOUREIRO et al., 2008).

A indústria dos fertilizantes fosfatados, que absorve mais de 90% da produção de fósforo, “evoluiu consideravelmente nos anos 90 com a chegada dos programas de ajuste estrutural a longo termo”. A produção de fertilizantes de base passou a deslocar-se progressivamente para as regiões com matéria-prima abundante e preços competitivos. Deve acentuar-se que “... uma usina de fertilizantes moderna é altamente eficiente e o seu impacto negativo no ambiente é insignificante. É após a saída dos fertilizantes da usina que começam as más práticas” (LOUREIRO et al., 2008).

É fácil de compreender o grande consumo de fertilizantes no Brasil não só pela sua dimensão, mas também porque, de acordo com o mapa pedológico do País somente 9% dos seus solos não possuem limitações relevantes para a produção agrícola, ou seja, apresentam boa reserva de nutrientes, boa drenagem, boas propriedades físicas (estrutura, textura, entre outras) e teor água que atenda o ciclo da planta (LOUREIRO et al., 2003).



Fonte: LOUREIRO, 2003.

Figura 1. Solos brasileiros com elevada aptidão agrícola.

3.4 | Técnicas Utilizadas para Fertilização e Correção de pH do Solo

A acidez do solo inclui uma combinação de fatores, que ocorre devido a sua própria natureza e/ou ao seu uso contínuo. Ademais, os solos podem ter a sua acidez elevada pelas práticas agrícolas inadequadas, isto é, sem a devida reposição de nutrientes e/ou pela utilização de fertilizantes de caráter ácidos. De modo que a acidez elevada dos solos influencia na disponibilidade dos nutrientes contidos ou adicionados a ele, na atividade dos micro-organismos, na solubilidade de elementos ou compostos tóxicos, como o alumínio e nas propriedades físicas do solo (TEIXEIRA et al., 2010).

Para evitar o empobrecimento do solo agrícola, haverá a necessidade de repor os nutrientes. Cabe lembrar que, o aumento da fertilidade do solo não consiste apenas na simples aplicação de fertilizante. É necessário corrigir a sua acidez que, se excessiva, restringe a absorção dos nutrientes pelas plantas. Para este problema, a melhor solução é a calagem do solo (TEIXEIRA et al., 2010).

A grande maioria dos solos tropicais brasileiros são Latossolos que, mesmo dotados de boas características físicas, apresentam em forma quase generalizada características químicas inadequadas, tais como elevada acidez, altos teores de alumínio trocável e deficiência de nutrientes, especialmente de cálcio, de magnésio e de fósforo. Solos dessa natureza, uma vez corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial agrícola, possibilitando melhorias na nutrição da planta, resultando em boas produtividades (MACHADO et al., 2008).

Vários produtos são utilizados na agricultura para a correção da acidez dos solos, como lodo proveniente de estações de tratamento de água, escórias de siderurgias e rejeitos da lixiviação química do caulim, o que contribui para converter o destino destes rejeitos, de modo a diminuir o impacto ambiental em torno destas indústrias. O uso de rochas na agricultura, principalmente as rochas básicas e ultrabásicas, também consiste em uma técnica de fertilização natural que, além de corrigir a acidez do solo, contribui com a reposição dos nutrientes. Esta técnica denominada de rochagem (*rocks for crops*) ou remineralização do solo resume-se na adição do pó de rocha ao solo que, pelo intemperismo químico, no qual a

água possui ação solvente, decompõe o pó de rocha lentamente e, desse modo, os nutrientes são liberados gradualmente (TEIXEIRA et al., 2010).

A correção da acidez do solo também é realizada através da calagem, que consiste na aplicação de calcário à camada arável do solo, que é a área de maior concentração de raízes (ANDRADE et al., 2010).

Misturas de adubos de origem animal com rocha moída foram os primeiros fertilizantes usados na agricultura. Esses materiais contêm elementos essenciais para o equilíbrio nutricional das plantas. O plantio direto e a rochagem, como fonte de macro e micronutrientes, inclusive a agricultura orgânica, como fonte de nitrogênio e de outros nutrientes, possuem importância socioeconômica na produção sustentável de alimentos, principalmente na agricultura familiar e/ou de pequenas propriedades e na agricultura de qualidade (SOUZA et al., 2010).

3.5 | Rochagem

A rochagem, ‘remineralização’ e ‘pó de rocha’ (“*rock for crops*”) são termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor os nutrientes necessários à produção e associada à qualidade, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo uso inadequado e intensivo. É um processo alternativo ou complementar de fertilização, que consiste na adição de pó de rocha (‘petrofertilizante’) para aumentar a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente. A rochagem pode contribuir para a redução no consumo de fertilizantes industriais

que exigem grande quantidade de energia para sua fabricação e ser um agente dinamizador de produtividade e qualidade (MACHADO et al., 2008).

Para Alovisi (2020) rochagem é uma das principais alternativas ao uso de fertilizantes químicos, na qual consiste na utilização de pó de rocha; um fertilizante natural, com solubilidade mais lenta, rico em macro e micronutrientes (ALOVISI et al., 2020). O pó de rocha promove a remineralização do solo, o que se deve ao seu amplo conteúdo mineral e à sua composição química potencialmente apropriada para o enriquecimento de solo de baixa fertilidade ou para a recuperação de solo empobrecido por lixiviação (ALOVISI et al., 2020). Esta técnica promove a liberação lenta de uma variedade de nutrientes para o solo e plantas (*i.e.*, K, P, Fe, Mn, Zn, Cu), que melhoram a fertilidade, reduzem os custos de produção e têm efeitos duradouros em comparação com o uso de fertilizantes químicos (AQUINO et al., 2020).

Na literatura, é possível encontrar alguns sinônimos para o termo rochagem, por exemplo, agrominerais, pó de rocha, petrofertilizantes, remineralização ou fontes alternativas de nutrientes (PÁDUA et al., 2012).

Os pioneiros deste conceito de remineralização do solo são o francês M. Missoux (1853) e o alemão Julius Hensel (1880), ao divulgarem seus trabalhos sobre a utilização de rocha como fonte de nutrientes. Hensel ainda publicou um livro em 1880, intitulado “Bread of stones”, que significa pão proveniente das rochas (PÁDUA et al., 2012).

No Brasil, os estudos se iniciaram na década de 1950, por meio de D. Guimarães e Vladimir Ilchenko, seguidos pelo professor Othon Leonardos (UnB), considerado precursor da rochagem

no país. As pesquisas se intensificaram entre as décadas de 1970 e 1980, buscando rochas para o fornecimento de K e outros nutrientes às plantas e também rotas alternativas para a obtenção de fertilizantes (PÁDUA et al., 2012).

Como prova da importância dada a esta linha de pesquisa e do interesse que tem despertado em pesquisadores, instituições e governantes, no ano de 2003 foi criada uma rede interinstitucional de pesquisa, intitulada de Rede AgriRocha, coordenada pela Embrapa. Esta rede foi articulada para organizar e desenvolver atividades de avaliação e experimentação com rochas de 20 regiões geográficas do país, buscando ampliar as possibilidades de uso e a viabilidade econômica desses materiais como fontes de K, principalmente (PÁDUA et al., 2012).

A aplicação de agrominerais ao solo caracteriza-se pelos diversos efeitos benéficos proporcionados. Minerais provenientes de rochas ígneas e metamórficas contêm a maior parte dos nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento de plantas superiores. Em geral, dentre os nutrientes fornecidos pelas rochas estão potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre, além de alguns micronutrientes, elementos benéficos às plantas, como silício e elementos-traços que também podem ser encontrados (PÁDUA et al., 2012).

Uma das formas de obtenção de vários agrominerais usados na rochagem é por meio do aproveitamento dos subprodutos de mineração e garimpo que, geralmente, são classificados como passivos ambientais para as empresas que os geram. Dar um uso mais nobre a estes materiais é relevante, do ponto de vista ambiental, mas também operacional e

socioeconômico, pois facilita a obtenção das matérias-primas e otimiza os processos produtivos. A técnica da rochagem possibilitaria a interação entre dois setores da economia, a mineração e a agricultura, que, tradicionalmente, não têm ligação e que são considerados, de forma geral, como agentes de degradação ambiental (PÁDUA et al., 2012).

A rochagem é uma tecnologia que busca reduzir o uso desenfreado dos insumos químicos, vista como um processo auxiliador no rejuvenescimento ou remineralização do solo, devido alterar positivamente os parâmetros de fertilidade, mas não afetando o equilíbrio ambiental; portanto, existe uma junção de dois problemas causados ao ambiente (mineralização: com excesso de rejeitos e a agricultura: utilização excessiva de produtos sintéticos) (BRITO et al., 2019).

As rochas, ao sofrerem a ação do intemperismo, liberam de forma gradual nutrientes e geram argilas capazes de elevar a CTC (*i.e.*, capacidade de troca catiónica), agindo no enriquecimento do solo, principalmente solos tropicais, cujo a ação da lixiviação constante reduz a fertilidade e deixa a CTC baixa, além da rochagem possuir um maior efeito residual (BRITO et al., 2019).

O pó de rocha pode ser considerado uma excelente alternativa, visto que, o Brasil detém excelente geodiversidade, podendo surgir diferentes tipos de rochas com características distintas em diferentes regiões do país, além de ser atribuída vantagem sobre o aspecto social e ambiental, pois se aproveita os rejeitos de pedreiras e mineradoras gerando, assim, fertilizantes minerais com ampla variedade de nutrientes entre os quais o

fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio, além de uma série de micronutrientes, ocasionando um rejuvenescimento para os solos de baixa fertilidade (BRITO et al., 2019).

A adição de rocha em pó na agricultura favorece a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos melhorando seu estado nutricional. No entanto, a utilização desses resíduos de rocha em pó deve ocorrer no sentido de priorizar material que é encontrado na região e de fácil acessibilidade aos agricultores, outra vantagem desse uso é a liberação de nutrientes gradualmente, reduzindo as perdas por lixiviação e favorecendo a ação de longo prazo para fertilizar solos tropicais que são geralmente altamente lixiviados e pobres em nutrientes disponíveis para as plantas (BRITO et al., 2019).

Dentre algumas vantagens da utilização de pó de rocha quando comparadas aos fertilizantes solúveis, destaca-se por ser um subproduto que é considerado ecologicamente correto, proporcionar maior velocidade de crescimento e sanidade das plantas, apresentar um custo reduzido, melhorar a fertilidade do solo, além de ser, possivelmente, um incremento para a produtividade. Outra vantagem da utilização de rochagem é o fornecimento de silício, que apesar de não ser considerado um dos elementos pertencente ao grupo de essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta, ele é tido como benéfico, uma vez que estudos apontam que quando a planta está bem nutrida de sílica, a mesma apresenta um maior potencial a resistência ao ataque de pragas e doenças (BRITO et al., 2019).

A utilização direta de resíduos de rochas in natura exige, para a disponibilização dos nutrientes presentes nessas rochas, um período de tempo longo que é diminuído em condições

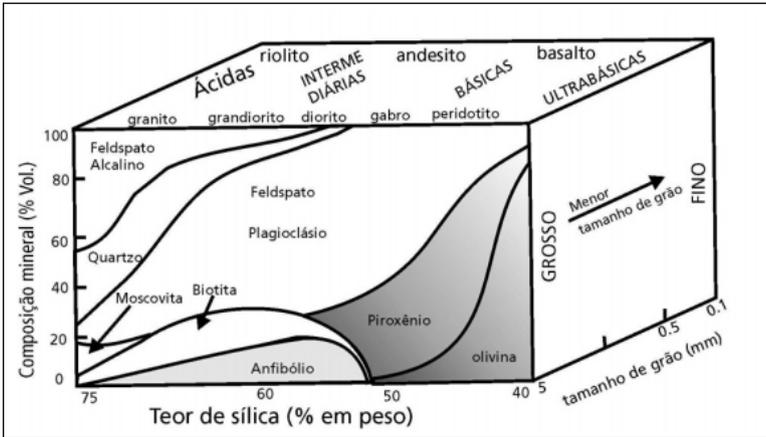
climáticas das regiões tropicais em virtude da ação mais intensiva do clima e de organismos que aumentam a velocidade dos processos de alteração das rochas em comparação com a de climas temperados (ANDRADE et al., 2010).

A aplicação de resíduos de rocha em ambientes de climas tropicais pode apresentar muitas vantagens em relação a ambientes temperados. A taxa de dissolução dos minerais e a reação entre superfícies minerais e solução de solo são extremamente acentuadas, em função de altas temperaturas e regimes de umidade.

Soma-se a estes fatos o potencial de aplicação desses materiais, que é extremamente vantajoso devido às altas taxas de intemperismo e lixiviação, o que torna tais ambientes altamente receptivos à adição de nutrientes. Embora, em alguns países em climas temperados, o uso da rochagem se torne uma prática comum, (por exemplo, Portugal), há muitos poucos resultados publicados da rochagem desenvolvidos em países tropicais (ANDRADE et al., 2010).

Resíduos de rocha como o granito, por exemplo, que é especialmente rico em potássio devido à sua riqueza em feldspatos potássicos, podem apresentar grande potencial como fontes de potássio ao solo. O resíduo de mármore, essencialmente constituído de carbonato de cálcio e magnésio, possui teores mais elevados nesses elementos. Algumas vantagens da utilização dos resíduos de rochas são a correção do pH, o fornecimento de nutrientes e seu efeito residual prolongado (ANDRADE et al., 2010).

A composição química e mineralógica é fator determinante para seleção do material mais adequado à rochagem. As rochas ígneas, por exemplo, apresentam diferenças sensíveis, como pode observar-se na Figura 2 (SOUZA e col, 2010).



Fonte: SOUZA, 2010.

Figura 2. Classificação das rochas com ênfase no índice de cor, composição mineralógica e granulometria.

O uso de rochagem, como potencial fertilizante, é de grande valia para o desenvolvimento de uma agricultura que se preocupa com a economia e o meio ambiente, uma vez feita a aplicação de pó de rocha em solos tropicais em especial, espera-se que a mesma, consiga equiparar os parâmetros de produção dos fertilizantes convencionais, esses rapidamente lixiviados nestes tipos de solo (BRITO et al., 2019).

Vale ressaltar, que a busca continua por tecnologia menos poluente ao meio ambiente, acaba favorecendo o ser humano de forma direta, visto que, diminui o contato com materiais de origem químicas (BRITO et al., 2019).

O uso de pó de rocha surge da necessidade de suprir a carência de fertilizantes para produtores de pequeno porte, bem como a implementação de um produto de vida útil mais duradora (BRITO et al., 2019).

A adição ao solo de compostos inorgânicos, de origem mineral, que agem como corretivos e fertilizantes, sendo uma técnica que visa a remineralização mediante a aplicação direta ao solo, tendo a calagem e a fosfatagem natural como dois exemplos típicos (BRITO et al., 2019).

3.6 | Calagem

A calagem é considerada uma das práticas agrícolas mais antigas, tendo sido usada pelos romanos há mais de três mil anos. Nos Estados Unidos, a calagem teve início entre 1825 a 1845 na região leste, no estado de Virginia, por Edmund Ruffin e gradualmente foi sendo adotada à medida que a colonização ocorreu na direção oeste do país. No Brasil, a calagem provavelmente vem sendo usada desde a década de 20, pois nessa época, em 1923, no Rio Grande do Sul, foi instalada a primeira indústria de calcário (WIETHÖLTER, 2000).

O termo calagem, como é usado em agricultura, significa adição ao solo de qualquer composto contendo Ca ou Mg e que seja capaz de reduzir a acidez. As substâncias mais importantes são carbonatos; óxidos e hidróxidos de Ca e de Mg. Sulfatos e cloretos de Ca e de Mg não têm efeito como

corretivo de acidez. O calcário agrícola é extraído de minas e a maioria é submetido apenas ao processo físico de moagem (WIETHÖLTER, 2000).

A acidez de um solo consiste na substituição dos cátions básicos do complexo de troca (CTC) do solo por Al^{3+} e H^+ , este último também originado da dissociação de grupamentos ácidos da matéria orgânica. Os solos podem ser naturalmente ácidos, pela pobreza do material de origem, desprovido de bases, ou por condições de pedogênese e acúmulo residual de alumínio. Além disso, os solos cultivados podem ter sua acidez aumentada por erosão, extração de cátions básicos pelas culturas e lixiviação de cátions básicos e adubação. A elevada acidez de grande parte dos solos tropicais, em função do elevado intemperismo, condiciona uma alta atividade do alumínio na solução do solo e uma deficiência de cálcio, magnésio e fósforo (ANDRADE et al., 2010).

Os solos ácidos cobrem, aproximadamente, 40% das terras aráveis do mundo, têm um efeito prejudicial no crescimento da planta e, portanto, o processo de calagem com materiais ricos em cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) é uma prática agrícola comum para aumentar o pH do solo e a produtividade das culturas (ABALOS, 2020).

Muitos solos brasileiros, na forma original, são quimicamente ácidos e deficientes em um ou mais nutrientes essenciais às plantas. A aplicação de calcário a solos ácidos, aliada a outras práticas de melhoria da fertilidade e do manejo do solo, tem a função de elevar a capacidade produtiva do solo, mediante o aumento da capacidade de troca de cátions, aumento da disponibilidade de nutrientes e insolubilização de elementos tóxicos às plantas, que, no conjunto, se traduz em aumento de

rendimento das culturas, um requisito básico para viabilizar economicamente a demanda atual de produção de alimentos e melhorar a sustentabilidade econômica da atividade agrícola (WIETHÖLTER, 2000).

A calagem é uma prática cujos efeitos benéficos são bastante conhecidos na agricultura e visam, principalmente, corrigir a acidez; neutralizar os efeitos tóxicos de elementos como o alumínio e o manganês; fornecer cálcio e magnésio; aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes; contribuir para a melhoria da estrutura do solo e da vida microbiana (ROSSETTO et al., 2004).

Em solos de regiões tropicais, a atividade de alumínio é alta e sua solubilidade decresce com a elevação do pH do solo, alcançando valores mínimos a pH próximo à faixa 5,5 a 6,0 voltando a se solubilizar em valores de pH acima de 8,0. Em função disso, a calagem, além de fornecer cálcio e magnésio, visa elevar o pH do solo, diminuindo a solubilidade do alumínio e reduzindo o risco de toxicidade às plantas (ANDRADE et al., 2010).

O primeiro passo que o produtor deve dar é proceder à análise do solo. Esse é o instrumento valioso e insubstituível, realizado em laboratórios, para avaliar não somente a necessidade da calagem, mas também a da adubação mais adequada. Evidenciada a necessidade da calagem, as perguntas mais frequentes dos produtores são como e quando aplicar o calcário, quais seriam suas melhores fontes e qual a quantidade apropriada (FILHO, B.PM).

Em relação à época de aplicação, os calcários geralmente são pouco solúveis e, portanto, necessitam que sua utilização seja realizada com suficiente antecedência, desde que haja

umidade no solo. Apesar disso, pode-se muito bem pensar em distribuir o calcário no período de maior ociosidade das máquinas na propriedade (FILHO, B.P.M).

Quanto à forma de aplicação, é necessário levar em conta o sistema de cultivo adotado. Caso o agricultor faça o plantio convencional, o calcário, dada sua baixa solubilidade, deve ser bem incorporado por meio de arações e gradagens, a fim de permitir o máximo de contato com as partículas do solo. Devido às características químicas dos corretivos, é importante que os mesmos sejam incorporados ao solo de forma a obter maior eficiência. Por razões práticas e econômicas a melhor forma de aplicá-lo é a lanço, de uma só vez (FILHO, B.P.M).

3.7 | Tipos de Materiais Utilizados para Fertilização

À exceção do nitrogênio, todos os nutrientes necessários ao bom desenvolvimento das plantas são de origem mineral. Mesmo a agricultura orgânica ou biológica necessita de aditivos minerais, principalmente P e K. Entretanto, 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 das plantas, em compasso com os índices de produtividade exigidos pelo agronegócio. Assim, continua em ação o desenvolvimento de diversos estudos, com o propósito de modificar os minerais e rochas, tornando-os aproveitáveis como fertilizantes (SOUZA et al., 2010).

Há uma grande variedade de rochas susceptíveis de aplicação na remineralização de solos. Na Tabela 2 estão relacionados alguns tipos de rochas e minerais como fontes de

macronutrientes principais e secundários associados às suas respectivas fontes. Já na Tabela 3 são apresentadas as funções para os tipos de materiais (SOUZA et al., 2010).

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

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

Fonte: SOUZA, 2010.

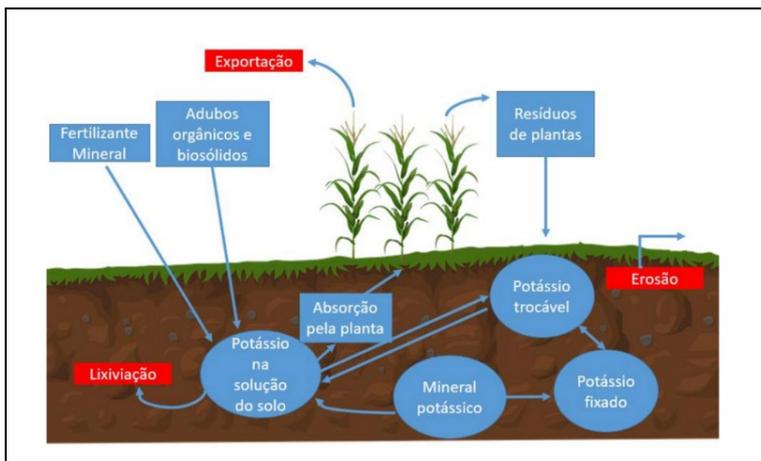
3.8 | Potássio

O potássio, junto com o fósforo e o nitrogênio, é componente essencial dos fertilizantes químicos, agrominerais que são matérias-primas que garantem a produtividade agrícola em todo o mundo. Apesar de o potássio ser relativamente abundante nas rochas, as necessidades deste elemento para a produção agrícola no Brasil são de grande monta (SOUZA et al., 2010).

O potássio possui diversas funções metabólicas nas plantas como ativador e regulador de enzimas, regulação osmótica, bem como síntese de proteínas, carboidratos e de ATP, entre

outras funções. O K, como fertilizante, é o segundo nutriente mais utilizado no Brasil, ficando atrás somente do fósforo. O principal adubo utilizado de fonte potássica é o cloreto de potássio (KCl) (GAMA et al., 2020).

As principais formas de entrada de potássio no ciclo são através dos fertilizantes e dos minerais primários que contém o K na sua estrutura, como as micas (biotita e muscovita) e os feldspatos potássicos. As principais formas de perda do K no solo são através da lixiviação, erosão e a exportação pelas culturas, não ocorrendo perdas por formas gasosas como ocorre com o nitrogênio (GAMA et al., 2020).



Fonte: Gama, 2020.

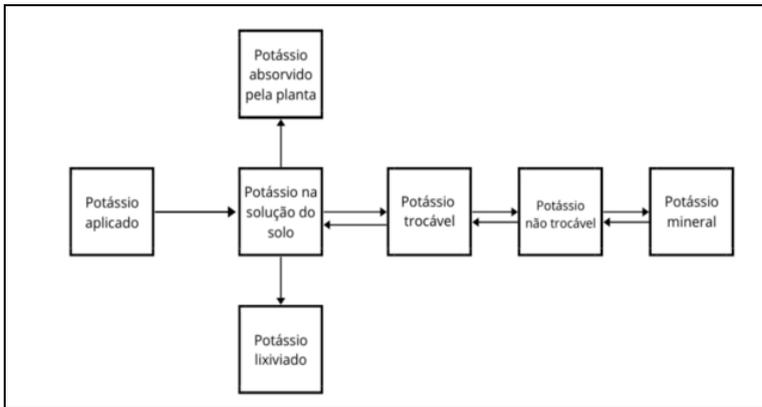
Figura 3. Ciclo do potássio no solo.

O potássio é um nutriente abundante em rochas e solos, principalmente os que possuem minerais primários com K em sua estrutura, o que pode permitir teores totais até maiores que 1%. A maior parte do K do solo é encontrada na estrutura dos

minerais primários e secundários, e a menor parte (cerca de 2% do total) encontra-se prontamente disponível para as plantas, que são aqueles ligados aos colóides do solo (K trocável) ou presentes na solução do solo (GAMA et al., 2020).

Portanto, a disponibilidade de K no solo, está intimamente ligada ao material de origem e ao grau de intemperismo do solo. Outra forma de potássio é aquele presente na matéria orgânica; porém, a quantidade é extremamente baixa, pois se restringe ao K na fração orgânica viva. Existe também o potássio fixado, presente nas entre-camadas dos minerais do tipo 2:1, como a illita e a vermiculita. Porém ocorre também em baixíssimas quantidades (GAMA et al., 2020).

A forma de potássio disponível para as plantas é a catiônica (K^+), caracterizada por baixa capacidade de adsorção aos colóides e, portanto, facilmente perdida via lixiviação. De forma geral, na solução do solo, a concentração de bases trocáveis segue a ordem $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$. Portanto, várias formas de potássio podem ocorrer no solo; porém, de grande importância destaca-se apenas o K presente nos minerais, K trocável e o K em solução (GAMA et al., 2020).



Fonte: Gama, 2020.

Figura 4. Formas de potássio no solo.

Existem diversos métodos para a produção de fertilizantes potássicos, dentre eles cita-se: método convencional, método contínuo, método de solução e o método de recuperação de salmouras. Nesses métodos de produção os minerais mais utilizados são a silvinita, silvita, langbeinita e a kainita. O cloreto de potássio (KCl) é o principal fertilizante potássico utilizado, contendo cerca de 60 % de K_2O . Existem outros fertilizantes potássicos utilizados, porém, em menor quantidade, como o Sulfato de potássio (K_2SO_4), sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) e o nitrato de potássio (KNO_3) (GAMA et al., 2020).

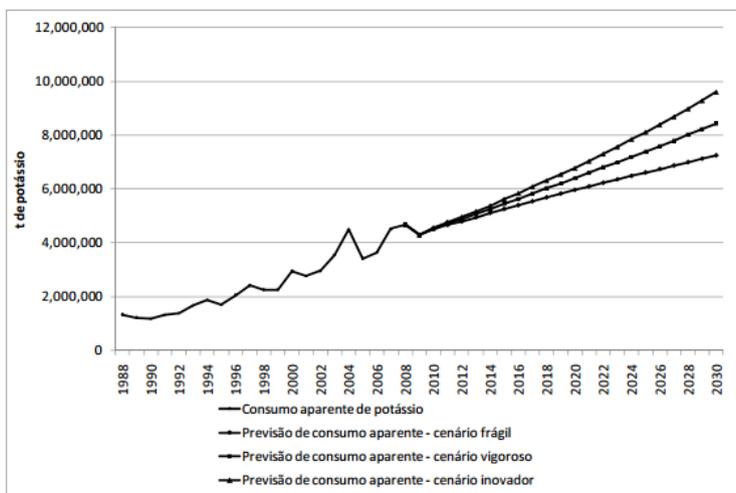
Tabela 3. Fertilizantes potássicos.

Fertilizante	Garantia Mínima				Observação
	K2O	Cálcio	Magnésio	Enxofre	
Cloreto de potássio	58	-	-	-	
Sulfato de potássio	48	-	-	15	45% de cloro
Sulfato de potássio magnésio	20	-	10	20	
Nitrato de potássio	44	-	-	-	13% de nitrogênio

Fonte: Gama, 2020.

O potássio é produzido no Brasil por uma única empresa, a Vale S/A, porém a capacidade de produção desta empresa só é suficiente para abastecer 9% do consumo nacional. Entre 2005 e 2008, os preços desta *commodity* dispararam, atingindo valores muito altos tendo, praticamente, triplicado. Analistas apontam como causas a financeirização do mercado do potássio que, a exemplo de outras *commodities* e especificamente de todas as *commodities* fertilizantes, passou a ser alvo de grandes movimentos especulativos de capitais no mercado de futuros, com o registro em bolsa das principais empresas produtoras e, ainda, das operações de grande vulto dos principais *players* para uma estocagem elevada do produto. Esse processo, porém, se interrompeu com a chamada crise internacional de 2008, sendo que, em meados de 2009, as projeções do Banco Mundial já apontavam para a normalização dos preços do potássio em um nível ainda um pouco menor que os seus preços históricos (SOUZA et al., 2010).

A projeção de consumo até 2030 (tanto a total quanto a *per capita*) também considera o padrão de consumo *per capita* médio de nações já industrializadas (no caso, os EUA), como uma *proxy* do ponto de saturação do consumo *per capita* brasileiro. Os resultados obtidos mostram que o consumo mais que duplica no Cenário 3, cresce 90% no Cenário 2 e cresce 70% no Cenário 1 (SOUZA et al., 2010).



Fonte: SOUZA, 2010.

Gráfico 1. Consumo aparente de potássio, projeções 2010 – 2030.

Na evolução do consumo por habitante de potássio no Brasil, nos EUA e no mundo, de 1990 a 2007, o gráfico mostra que o consumo *per capita* brasileiro em 2007 foi de 24,1 kg/hab/ano, apresentando, no período de 1990 a 2007, um aumento de 198%, e tendo, no último ano, ultrapassado os valores dos EUA. As razões que explicam a disparidade no comportamento deste índice é que, no Brasil, as proporções de potássio e fósforo necessárias à fertilização dos solos são bem

superiores, e isso se dá tanto pelas características dos seus solos quanto pelo tipo de culturas principais, como soja, cana-de-açúcar e café (SOUZA et al., 2010).

Partindo-se de um consumo atual de 4,6 milhões de t/ano, as projeções do consumo para 2030 evidenciaram que serão necessárias mais 3 a 5 milhões de toneladas de K_2O para atender apenas ao crescimento do consumo aparente, quantidades essas muito significativas, principalmente quando se comparadas com a produção interna atual de apenas 400 mil t/ano. Sendo assim, colocando-se como meta a autossuficiência até 2030, teríamos, então, uma necessidade suplementar produtiva com novos projetos de 7 a 9 milhões de t/ano de K_2O (SOUZA et al., 2010).

Um dos caminhos que poderia solucionar a carência de potássio fertilizante no Brasil, seria produzi-lo à base de rochas ricas de feldspatos, o mineral mais abundante na natureza (o ortoclásio contém até 17% de K_2O), ou de feldspatóides (leucita: 22% de K_2O), por processos térmicos ou sob a forma de aplicação direta associada ou não à biolixiviação. Os estados de Minas Gerais e Goiás são regiões com grande potencial para materiais fertilizantes alternativos (SOUZA et al., 2010).

O potássio é um dos elementos essenciais na nutrição da planta e um dos três que se encontra, na forma disponível, em pequenos teores nos solos tropicais muito intemperizados, limitando o rendimento dos cultivos. É o cátion mais abundante nas células, necessário para ativação de muitas enzimas que participam do metabolismo da planta. O potássio é absorvido do solo pelas plantas na forma de K^+ e não forma compostos

orgânicos em plantas. Sua função principal está relacionada, fundamentalmente, à muitos e variados processos metabólicos (ARAÚJO et al., 2010).

Todo o potássio nos feldspatos e nos feldspatóides é do tipo estrutural, ou seja, encontra-se no interior da rede tridimensional de tetraedros de silício. Desse modo, para que o potássio possa ser utilizado pelas plantas, esses minerais necessitam ser dissolvidos por meio das reações naturais de intemperismo químico que ocorrem durante a formação e o desenvolvimento do solo. Isso demanda um tempo muito longo (ARAÚJO et al., 2010).

3.9 | Rocha Fosfática

A prática de usar materiais fosfáticos como fertilizantes é tão antiga que não há registro do seu início. Excrementos de aves eram usados pelos cartagineses há mais de 200 anos a.C e os incas utilizavam guano muito antes da chegada dos espanhóis. O fósforo pode ser adicionado ao solo como adubo comercial (químico), esterco de curral ou de galinha, lodo de esgoto, restos de colheita ou outros subprodutos. Essas práticas, porém, não são suficientes, havendo a necessidade de usar outras fontes (MELAMED et al., 2006).

Da mina (rochas fosfáticas) aos produtos industriais (ácido fosfórico e seus derivados) e aos campos de cultivo (fertilizantes), o fósforo segue vários caminhos em função da tipologia do minério, da distribuição geográfica das jazidas e centros de consumo, das substâncias fabricadas, das características do parque industrial e da recuperação de subprodutos com valor comercial ao que se associa

redução/eliminação de agentes causadores de impactos ambientais, nomeadamente metais pesados e elementos radioativos (MELAMED et al., 2006).

As diversas reações que ocorrem nas plantas exigem um elevado gasto de energia que são suportadas pelo fósforo como componente essencial do trifosfato de adenosina (ATP). Além disso, o P é componente do DNA, RNA e fosfolipídios (GAMA et al., 2020).

No Brasil a maioria dos solos possui alto grau de intemperismo, o que proporciona problema na disponibilidade de P. Com o aumento no grau de intemperismo o solo passa por uma mudança gradual nas suas características químicas, como a perda nas cargas negativas. Com o intemperismo o solo se torna menos eletronegativo e mais eletropositivo, diminuindo, assim, a sua capacidade de troca catiônica e aumentando a sua capacidade de adsorção aniônica. Tal processo aumenta a retenção de ânions como o fosfato, indisponibilizando o nutriente para as plantas (GAMA et al., 2020).

O ciclo do fósforo evidencia uma forte interação solo – planta e também demonstra que a matéria orgânica é um fator chave na disponibilidade deste elemento nos solos. Evidencia, ainda, que o P possui forte interação com partículas minerais do solo, principalmente, com os óxido e hidróxidos de Fe e Al, típicos dos solos de regiões tropicais. O P pode ser encontrado nos solos na forma inorgânica e orgânica, ambas com forte interação com as partículas do solo (GAMA et al., 2020).

Tabela 4. Formas gerais de fósforo encontrados no solo.

Fração	Composto
Fósforo Inorgânico	P-Fe
	P-Al
	P-Mn
	P-Ca
	P-disponível
Fósforo Orgânico	P-inositol
	P-fitina
	P-biomassa
	P-ácidos nucleicos
	P-fosfolípidos

Fonte: Gama, 2020.

O fosfato (ou concentrado de rocha fosfática) é uma matéria-prima de grande importância porque é um elo-base na cadeia dos fertilizantes químicos NPK, insumo fundamental da agricultura. A produção brasileira de rocha fosfática está localizada nas regiões Sudeste e Centro-oeste, próxima aos principais mercados consumidores. Não se trata, como já foi enfatizado antes, de um mercado concorrencial, pois existe forte concentração da oferta. Os preços desta *commodity* no Brasil tendem a refletir os movimentos dos preços internacionais, a que se somam, no Brasil, atividades de formação artificial (especulativa) do preço com estoques elevados, constituídos a partir das compras por importações (SOUZA et al., 2010).

As fontes industrializadas de maior solubilidade são: superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP) e os termo-fosfatos, que são obtidos a partir da fusão de fosfato natural com uma rocha magnésiana e posteriormente é resfriado rapidamente (GAMA et al., 2020).

Tabela 5. Fertilizantes fosfatados e suas concentrações.

Fertilizante	Garantia Mínima
Fosfato diamônico (DAP)	17% de nitrogênio e 45% de P_2O_5
Fosfato monoamônico (MAP)	9% nitrogênio e 48% de P_2O_5
Fosfato monopotássico	51% de P_2O_5 e 33% K_2O
Fosfato natural	24% de P_2O_5 e 16% de cálcio
Fosfato natural reativo	27% de P_2O_5 e 28% de cálcio
Superfosfato simples	18% de P_2O_5 , 16% de cálcio e 8% de enxofre
Superfosfato triplo	41% de P_2O_5 e 10% de cálcio
Termofosfato magnésiano	17% de P_2O_5 , 7% de magnésio e 16% de cálcio

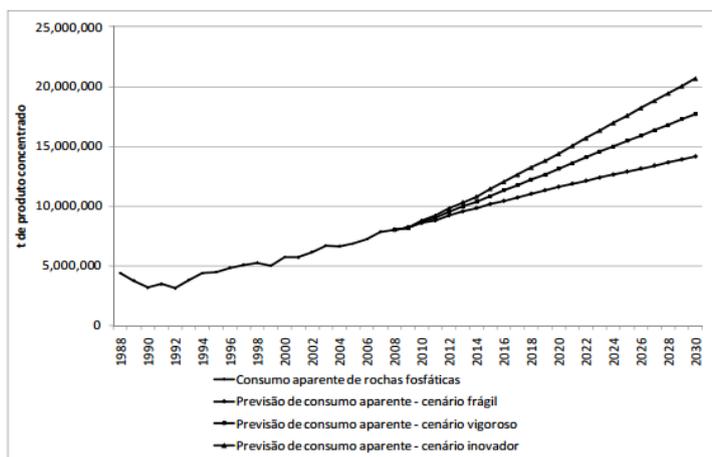
Fonte: Gama, 2020.

Os preços internacionais da rocha fosfática sofreram forte oscilação entre 2007 e 2008 por conta da ação dos especuladores, mas têm gradativamente voltado a valores mais próximos da média histórica dos últimos anos e, segundo estimativas do Banco Mundial, aí permanecerão até 2020 (BM 2009). A produção de rocha fosfática não é intensiva em mão-de-obra, empregando pouco mais de duas mil pessoas, sendo quase a metade destas em regime terceirizado. O uso principal (68%) da rocha fosfática no Brasil é na indústria de fertilizantes,

mas há, também, um conjunto grande de outras aplicações, como na alimentação animal e nas indústrias químicas (SOUZA et al., 2010).

Se analisarmos os últimos 30 anos, de 1978 a 2008, o consumo brasileiro de rocha fosfática aumentou cerca de seis vezes. Entre 1990 a 2007, o consumo *per capita* brasileiro passou de 21,5 para 42 kg/hab/ano, quase três vezes menor do que o dos EUA, mas duas vezes maior do que o consumo médio *per capita* mundial (SOUZA et al., 2010).

O consumo aparente de rocha fosfática projetado para 2030 é apresentado a seguir, medido por toneladas de concentrado de rocha fosfática. Como para as outras projeções, a projeção de consumo de 2010 a 2030 (total e *per capita*) considera três macro cenários para a evolução da economia: o cenário 1, designado por Frágil, com 2,3 % de crescimento médio anual; o cenário 2, designado por Vigoroso, ao qual se arbitrou um crescimento médio anual de 4,6%; e, finalmente, o cenário 3, chamado de Inovador, com 6,9% de crescimento médio ao ano. Também foi considerado o padrão de consumo per capita médio de nações já industrializadas (no caso, os EUA), como uma *proxy* do ponto de saturação do consumo *per capita* brasileiro (SOUZA et al., 2010).



Fonte: SOUZA, 2010.

Gráfico 2. Consumo aparente de rocha fosfática, projeções 2010 – 2030.

Os resultados obtidos mostram que o consumo chega a mais do que duplicar no Cenário 3, Inovador, duplica no Cenário Vigoroso 2 e cresce 70% no Cenário Frágil 1. Os dados da sua evolução encontram-se a seguir, tanto em gráfico como em uma Tabela sintética. O gráfico demonstra quantidades substanciais de rocha fosfática que serão requeridas em 2030, entre 14 e 20 milhões de toneladas de concentrado. Seria necessário, então, um acréscimo de 8 a 14 milhões de toneladas para se atingir a autossuficiência (a produção brasileira em 2008 foi de 6 milhões de toneladas), o que seria requerido em novos projetos e ampliações. Como se verá no item seguinte, sobre as expectativas de novos investimentos, os empreendimentos anunciados, mesmo se todos cumpridos, ainda não conseguirão suprir as necessidades do consumo esperado (SOUZA et al., 2010).

A concentração da oferta de rocha fosfática nas regiões Sudeste e Centro-Oeste deverá se manter para os próximos anos, sendo que, mesmo com uma maior utilização de rochagem ou de materiais alternativos ou de aplicação de rocha fosfática parcialmente acidulada na agricultura, não mudaria o cenário, uma vez que são necessárias jazidas ricas em apatita para sua produção e estas estão concentradas nas regiões produtoras atuais (SOUZA et al., 2010).

Esforços governamentais estão sendo desenvolvidos para melhor gerenciar as reservas já existentes e em fase de pesquisa, para efetivar os investimentos prometidos e anunciados pelos grandes grupos, para a melhor utilização dos recursos minerais brasileiros, em nome do interesse nacional. Trata-se de um complexo desafio, dado que no presente momento as cotações dos produtos fertilizantes estão em ciclo de baixa e as expectativas de longo prazo são de estabilização um pouco abaixo dos preços históricos (SOUZA et al., 2010).

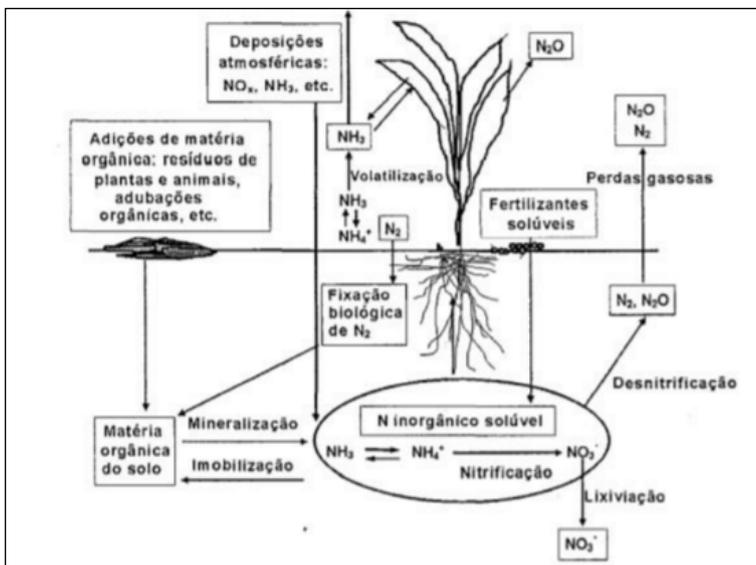
3.10 | Nitrogênio

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido entre as culturas e responsável por participar de várias moléculas estruturais nas plantas. Por esse motivo o N é também o elemento mais consumido na forma de fertilizante (GAMA et al., 2020).

O nitrogênio está presente em todas as partes do globo terrestre, nos solos, oceanos e no ar; porém, será enfatizado apenas o ciclo do N no solo, pois do ponto de vista agrícola é o mais importante. A observação do ciclo de N (Figura 5) é necessária para demonstrar a importância de dois fatores. O primeiro, é que a matéria orgânica é fundamental na disponibilização de N ao solo (GAMA et al., 2020). O segundo é

que o processo de mineralização, realizada por microrganismos do solo, é uma ação fundamental para transformação do N presente na matéria orgânica para formas inorgânicas absorvíveis pelas plantas. O terceiro se refere à parte de N presente no solo, que é decorrente da fixação simbiótica do N_2 e por deposição atmosférica de formas combinadas de N (GAMA et al., 2020).

Um outro fator é que o ciclo do N demonstra que esse elemento, dependendo das condições do meio, passa por diferentes processos de transformação no solo. Essa dinâmica de transformação no solo é que justifica o fato do N não ser comumente requisitado em análises químicas do solo (GAMA et al., 2020).



Fonte: GAMA, 2020.

Figura 5. Ciclo resumido do nitrogênio no solo.

O N presente no solo pode ocorrer em duas formas principais, sendo a fração orgânica a que corresponde à aproximadamente 95% do N total, e o restante é a fração inorgânica, composta principalmente por NH_4^+ , NO_3^- e uma pequena parcela de NO_2^- . As formas de N no solo evidenciam que a principal fonte de N é a matéria orgânica (MO). Então, a utilização de práticas que conservem ou aumentem o conteúdo de MO provavelmente proporcionarão menor consumo de fertilizantes minerais (GAMA et al., 2020).

Existem três formas de aquisição de N do solo, são essas: biológica, através de micro-organismos fixadores de N atmosférico, atmosférica e industrial. (GAMA et al., 2020).

Os fertilizantes nitrogenados minerais são adquiridos por meio de fixação sintética do nitrogênio atmosférico em amônia, processados posteriormente em outros compostos. Os principais fertilizantes nitrogenados e seus teores, que estão disponíveis no mercado atualmente, estão listados na Tabela 6 (GAMA et al., 2020).

Tabela 6. Fertilizantes nitrogenados solúveis mais comuns.

Fertilizante	Forma de N	Teor de Nutriente			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
		%			
Ureia	amídica	45-46			
Nitrato de amônio	amoniacal e nítrica	33			
Sulfato de amônio	amoniacal	21			23
Nitrocálcio	amoniacal e nítrica	21-28			
DAP	amoniacal	16-18	42-48		
MAP	amoniacal	11	52		
Amônia anidra	amoniacal	82			
Uran	amídica	28-32			
Nitrato de sódio	nítrica	16			
Nitrato de cálcio	nítrica	15-16			
Nitrato de potássio	nítrica	13		46	
Nitrosulfato	amoniacal e nítrica	26			
Nitrofosfatos	amoniacal e nítrica	13-26	6-34		

Fonte: Gama, 2020.

Os fertilizantes, assim como o Sol, sob o ponto de vista econômico, integram o conjunto de fatores de produção e correspondem a “energia” necessária a todo processo produtivo, pois são de grande importância para o desenvolvimento final das plantas ou alimentos (FREITAS, 2015).

O nitrogênio (N_2), presente no ar, responde pela formação de aminoácidos e proteínas e, portanto, pela manutenção do crescimento da planta. Mas somente certas bactérias e algas podem absorvê-lo da atmosfera. Assim, o nitrogênio se constitui em matéria-prima para a produção de fertilizantes sintéticos, também chamados de “nitrogenados”, como a amônia e a ureia, as quais são obtidas por reação química entre o nitrogênio molecular (N_2), por meio de micro-organismos fixadores, e o hidrogênio, retirado de derivados do petróleo, principalmente o gás natural. Com base na importância desses nutrientes para as plantas, compreende-se o porquê de sua aplicação na agricultura: os fertilizantes nitrogenados correlacionam-se, diretamente, ao aumento da produtividade dos alimentos e das matérias-primas do agronegócio brasileiro (FREITAS, 2015).

O nitrogênio (N) participa da estrutura de todos os aminoácidos e conseqüentemente das proteínas. Faz parte do núcleo tetrapirrólico de clorofila e das bases purínicas e pirimidínicas que compõem os ácidos nucleicos (DNA e RNA), dentre outras funções não menos importantes. O nitrogênio não faz parte dos minerais primários e nem dos acessórios; entretanto, está presente em todos os solos. São fontes de N: as descargas elétricas, a fixação biológica e a fixação industrial (MORAES e col, 2006).

A quantidade de nitrogênio que chega ao solo pelas águas da chuva, varia muito com a região, e normalmente em quantidades inferiores às demandas da maioria das espécies vegetais cultivadas (NUNES).

O nitrogênio é o nutriente mineral absorvido em maiores quantidades pela maioria das culturas. Sob boas condições, o NH_4^+ é rapidamente convertido em NO_3^- pelas bactérias do solo. Ambas as formas podem ser absorvidas e utilizadas pelas plantas; porém, a maioria, exceto as aquáticas, como arroz, absorve mais N- NO_3^- do que NH_4^+ . Muitas culturas, especialmente fumo, batata e tomate, preferem NO_3^- como fonte de N, devido ao íon acompanhante do NO_3^- usualmente ser um cátion que também é um nutriente essencial para a cultura. Tanto as formas aniônica como catiônica exercem um sinergismo na absorção de nutrientes, favorecendo o aumento da produtividade e a qualidade final dos produtos (NUNES).

A legislação brasileira de fertilizantes divide os adubos nitrogenados em duas categorias, os orgânicos e os minerais. Admite-se também os organominerais, o produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos. Os fertilizantes orgânicos podem ser de origem vegetal (restos de culturas, adubos verdes, tortas de oleaginosas, turfa, torta de filtro, vinhaça ou restilo), animal (sangue dessecado, farinha de carne, tancage, couro moído, farinha de cascos e chifres, guano, restos de peixe) ou mista. Os fertilizantes minerais são obtidos pelo processo Harber-Bosch, por meio da síntese industrial da amônia (NH_3) em condições de pressão e temperatura elevadas (MORAES et al., 2006).

A NH_3 é o composto chave da produção de quase todos os adubos nitrogenados do comércio mundial. Diretamente da amônia pode-se obter: sulfato de amônio, uréia, fosfatos de amônio, amônia anidra e ácido nítrico. A partir dos dois últimos, são produzidos os adubos fluídos e os diversos nitratos. A uréia é o fertilizante nitrogenado mais usado no mundo. Nos últimos 50 anos o consumo brasileiro de N aumentou mais de 1.000 vezes, atingindo em 2005 cerca de 701 mil toneladas. A produção nacional equivale a 34,7% do total consumido (MORAES et al., 2006).

O fornecimento de N para as culturas baseia-se na exigência e na capacidade de fornecimento de N pelo solo. No Brasil, apenas a Comissão de Fertilidade do solo RS/SC e a Embrapa Cerrados consideram o teor de matéria orgânica do solo como parâmetro no cálculo da recomendação de N. As principais perdas do N aplicado são a lixiviação e a volatilização. Em solos ácidos como os do Brasil, dependendo das condições, as perdas por volatilização da NH_3 podem ser expressivas. O uso de produtos inibidores da ação da urease (enzima que desdobra a molécula de uréia em NH_3 e CO_2) e a aplicação incorporada têm sido as principais estratégias para evitar tais perdas (MORAES et al., 2006).

3.11 | Resíduos Utilizados para Fertilização e Correção do pH

O Espírito Santo é líder na produção de rochas ornamentais no País, com cerca de 2,7 milhões de toneladas/ano, representando 52,3% do total das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2003. A cadeia produtiva da indústria de rochas ornamentais tem uma grande importância econômica

no Estado. Em consequência disso, uma quantidade vultosa de resíduos é gerada tornando seu destino final um problema ambiental de grandes proporções. Em solos tropicais para que os fertilizantes aplicados tenham maior eficiência, é necessária à correção da acidez do solo, que há muito tempo vem sendo feita com o uso do calcário (MACHADO et al., 2009).

Existem materiais corretivos alternativos, como o pó oriundo do corte de rochas ornamentais (R.O.) que possuem potencial de utilização como corretivos da acidez do solo, com a possibilidade de fornecer um destino viável a esses resíduos (MACHADO et al., 2009).

Os calcários representam a quase totalidade dos corretivos empregados no Brasil. O Espírito Santo dispõe de grandes jazidas de calcários cristalinos puros e de calcários magnésia nos que abastecem, praticamente, todo o território capixaba, além de estados circunvizinhos. As reservas localizadas no sul do estado, que representam mais de 99% do total, ocorrem no prolongamento e na direção nordeste das jazidas do estado do Rio de Janeiro, aflorando, principalmente, nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim, São José do Calçado, Mimoso do Sul e Castelo (PASSOS et al., 2010).

Em solos tropicais, para que os fertilizantes aplicados tenham maior eficiência, é necessária a correção da acidez do solo, que é realizada através da aplicação de calcário ao mesmo (calagem). Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, como o resíduo oriundo do corte de rochas ornamentais (R.O.), que possuem potencial de utilização como corretivos da acidez do solo, somando-se, ainda, com a possibilidade de fornecer um destino viável a esses resíduos, à medida que constitui, atualmente, um sério problema ambiental, com preocupação

com o estoque e manuseio destes nos pátios das empresas. Esses resíduos ocupam áreas de descarga cada vez maiores, além dos inconvenientes ecológicos, principalmente para o Estado do Espírito Santo, que é o maior produtor de R.O. do Brasil, e especificamente para a cidade de Cachoeiro de Itapemirim, que atua como polo de produção e extração de R.O (PASSOS et al., 2010).

Nesse contexto, as atividades agrícolas apresentam reais possibilidades de reciclagem e integração desses subprodutos produzidos pelo setor, desde que os mesmos apresentem características corretivas e/ou fertilizantes e que não possuam potencial contaminante (por exemplo, metais pesados) para o solo ou recursos hídricos (PASSOS et al., 2010).

3.12 | Granito

O granito é uma das principais rochas ornamentais extraída no Espírito Santo, sendo as regiões Norte e Noroeste do estado o principal polo de produção, sendo responsável por 70% da extração de granito no estado. O granito é uma rocha ígnea, que apresenta em sua composição quartzo, feldspato, micas, anfíbulas, piroxenas e olivina. Sua composição varia conforme o processo de formação ao qual esteve submetido (FARIA et al., 2013).

Assim, devido à sua mineralogia, constata-se que o resíduo de beneficiamento do granito possa conter teores significativos de alguns elementos químicos considerados macro e micronutrientes para as plantas. Dentre os macronutrientes, destacam-se potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Em relação aos micronutrientes, merece destaque o Fe que

está presente no resíduo devido à utilização da limalha. Apesar da presença vantajosa de alguns nutrientes, é também possível que o resíduo de beneficiamento do granito apresente quantidades apreciáveis de Cd, Cr, Ni e Pb que podem ser tóxicos para as plantas e/ou nocivos à saúde humana quando em teores elevados (GUARÇONI et al., 2011).

O granito é comum na natureza, por isso, não possui um custo muito elevado. É utilizado nas construções em estruturas que demandam uma resistência elevada, como bancadas e pisos. Possui como propriedades: estrutura maciça, granulometria média, baixa absorção e porosidade, diversidade de cores e texturas e alta resistência à ruptura (FERROLI et al.).

De acordo com a coloração, os “granitos” são classificados em vermelho, marrom, amarelo, azul, verde, preto e cinza. A sua coloração é devida, principalmente, à cor dos minerais constituintes e da alteração intempérica. Geralmente, são preferidas as rochas de granulometria grossa com textura equidimensional sem orientação, isto é, típica textura granítica. Entretanto, em certos casos, são preferidas as rochas com fenocristais ou porfiroblastos orientados (NEVES et al.).

Há diversos métodos para extração de rochas. Destacam-se: fio diamantado, onde essas rochas precisam ser extraídas em pedaços grandes; por isso, são feitos cortes com fios diamantados e ferramentas que fatiam as montanhas retirando o granito em grandes blocos e massa expansiva, onde com uma perfuratriz, são feitos furos nas rochas que são preenchidos com argamassa expansiva – uma substância em pó, composta principalmente de cal virgem, que fragmenta o minério sem necessidade de explosão. Ao ser misturada com

água, essa argamassa sofre um processo de hidratação aumentando seu volume e causando fissuras nas rochas devido à pressão resultante (FERROLI et al.).

Os blocos extraídos são cortados em chapas de espessura normalmente entre 3 e 5cm. O beneficiamento do granito pode ser subdividido em primário e secundário. O beneficiamento primário é entendido como o processo de obtenção de chapas com espessuras variadas em unidades industriais chamadas serrarias. O beneficiamento secundário consiste no corte e acabamento de peças e é realizado nas marmorarias (FERROLI et al.).

A utilização do resíduo de beneficiamento do granito como fertilizante para diversas culturas tem sido testada. Vasconcelos et al. (2003a, 2003b) e Rosen (2002) observaram efeitos positivos desse resíduo e reportaram sua possível utilização na agricultura como fertilizante. Por outro lado, é imperativo destacar que na grande maioria dos trabalhos que utilizaram resíduos de rochas não houve preocupação em se quantificar a liberação de metais pesados por esses (GUARÇONI et al., 2011).

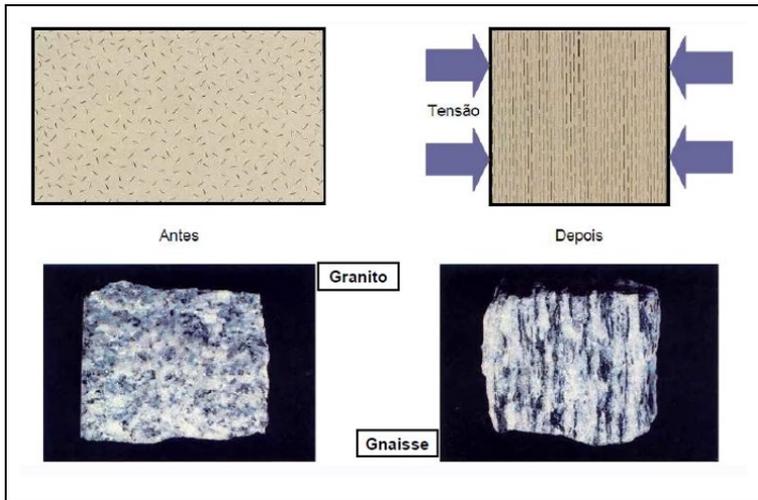
A utilização de pó de rocha na fertilização de solos apresenta resultado a médio e longo prazos, e os efeitos são mais duradouros do que a fertilização química, a qual deve ser aplicada necessariamente em todas as safras. Trabalhos mostram que o pó de rocha não é prontamente solubilizado, com a concentração de nutrientes na solução do solo, aumentando ao longo do tempo após a aplicação do pó de rocha (FARIA et al., 2013).

A atividade dos corretivos no solo está condicionada a variáveis como granulometria e poder real de neutralização, que atuam diretamente na eficiência do corretivo (FARIA et al., 2013).

Segundo Faria, os rejeitos de granito alteram positivamente o pH do solo, apresentando potencialidade para ser utilizado como corretivo da acidez do solo. Os resíduos da indústria de granito não apresentam correção do pH a curto prazo, sendo necessários períodos mais longos para obtenção dos resultados desejáveis. Os rejeitos não devem ser utilizados como única fonte de correção da acidez do solo, devendo ser utilizado como forma alternativa, utilizando-o com outras fontes de corretivos.

3.13 | Gnaiss

O gnaiss é resultante, principalmente, da deformação de granitos. É uma das rochas mais antigas do mundo. O gnaiss é uma rocha de grande variação mineralógica e grau metamórfico (PAES, 2018). Durante o seu processo de formação ocorre uma reorientação de minerais como pode ser observado na figura abaixo:

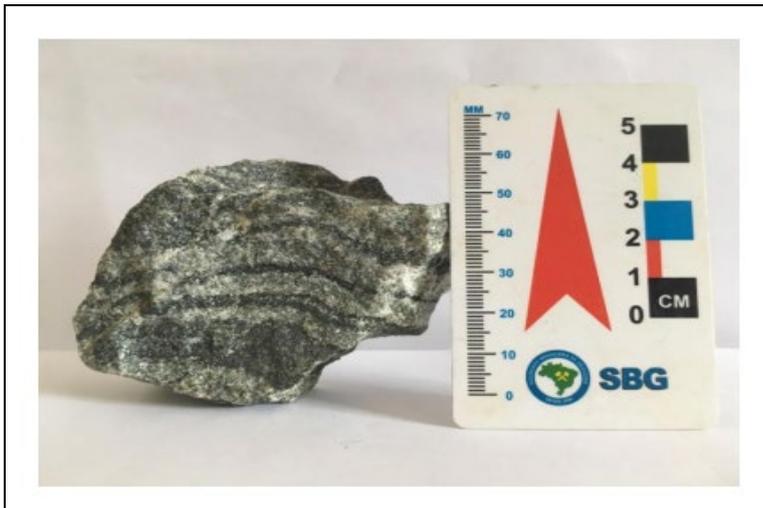


Fonte: PAES, 2018.

Figura 6. Exemplo de reorientação dos minerais na rocha Gnaiss.

Segundo SIMÕES, Trata-se de uma rocha com bandamento gnáissico milimétrico a centimétrico, composta por piroxênio/anfibólio (40%), quartzo (50%) e feldspato (10%).

Ao microscópio, a rocha é composta por quartzo (40-50%), clino anfibólio esverdeado (20-25%), epidoto (7-10%), diopsídio (5-10%), plagioclásio(5-8%), microclina (3-5%) e titanita (3-5%), podendo aparecer, também, clinozoisita e carbonato (10-5%) como acessórios comuns. Apresenta granulação variável de fina a média, com grãos variando de anédricos a subédricos, microestrutura granoblástica e bandamento gnáissico bem marcado (SIMÕES et al., 2018).



Fonte: SIMÕES, 2018.

Figura 7. Rocha Gnasse.

No Rio Grande do Sul, estas rochas são muito comuns e constituem parte dos terrenos Pré-Cambrianos.

Na cidade do Rio de Janeiro é a principal rocha constituinte do Pão de Açúcar, do Corcovado e da Pedra do Arpoador. Além disso, muitas edificações e monumentos coloniais do século XIX e início do século XX foram construídos com gnaisses utilizando a técnica de cantaria, trazida pelos portugueses em meados do século XVI (PAES, 2018).

A rocha gnaisse se classifica dentro das metamórficas como foliada pela sua foliação denominada Bandado Gnáissico com alternância de leitos mineralógicos de cores clara (quartzo e feldspato) e escura (biotita e anfibólio). Além disso, passam por um intenso fenômeno de cristalização (alta textura) e sua fissibilidade é pouco evidente (PAES, 2018).

3.14 | Calcário

Na geologia, o calcário é uma rocha sedimentar formada por mais de 50% de minerais carbonáticos como a calcita (CaCO_3) e dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], onde a deposição desses minerais se dá por precipitação química ou pelo acúmulo de agentes biogenéticos. Pode conter, também, outros carbonatos como a siderita (FeCO_3) e magnesita (MgCO_3), entre outros, além de impurezas como a matéria orgânica, silicatos, fosfatos, sulfetos, sulfatos, entre outros (FABRIS et al., 2015). Quando metamorizados recebem o nome de mármore.

Os calcários são rochas sedimentares formadas pela deposição de materiais carbonáticos, seja por precipitação química ou pelo acúmulo de agentes biogênicos. O Cálcio (Ca) é um dos elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre, chegando de 3 à 4% do total. Este está presente nas rochas ígneas, que por processos intempéricos liberam esse elemento na forma de íon para as águas. Uma vez que chega ao oceano, encontra um meio menos solúvel e, em associação com o CO_3 , precipita formando os calcários. Fatores como alta evaporação e variações na temperatura podem aumentar essa precipitação (FABRIS et al., 2015).

Um outro mecanismo capaz de formar depósitos de calcário é por deposição biogênica. Neste, restos de carapaças e esqueletos de animais marinhos como moluscos, braquiópodos, cnidários, equinodermos, foraminíferos e algas calcáreas são depositados no assoalho oceânico formando espessas camadas de material carbonático, dando origem, com o passar do tempo, às rochas carbonáticas (FABRIS et al., 2015).

Num processo denominado de calagem, tanto o calcário moído como seus produtos, cal virgem e hidratada, escória, entre outros, são aplicados no solo com o intuito de diminuir e corrigir sua acidez, permitindo, assim, a absorção de elementos presentes no solo pelos vegetais e, assim, promover o seu crescimento. Este processo também é responsável por diminuir os efeitos nocivos do alumínio e do manganês nos solos. A diminuição da acidez acontece pela reação do íon Ca com os íons de H dissolvidos no solo, aumentando, assim, seu pH. O calcário dolomítico é o mais usado para essa finalidade e disponibiliza dos 16 elementos essenciais para as plantas, o Ca e o Mg, tendo ambos papel fundamental no crescimento vegetal (FABRIS et al., 2015).

A Instrução Normativa n° 35 de 4 de julho de 2006 da Secretaria de Defesa Agropecuária- SDA do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA adota normas relativas ao Decreto n° 4.954/ 2004, onde constam as seguintes especificações para os corretivos de solos (FABRIS et al., 2015):

Da Natureza Física:

Art. 2°. Os corretivos de acidez terão natureza física sólida, apresentando- se em pó, onde suas partículas deverão passar 100% em peneira de 2 milímetros (ABNT n° 10), no mínimo 70% em peneira de 0,84 milímetros (ABNT n° 20) e no mínimo 50% em peneira de 0,3 milímetros (ABNT n° 50).

Art. 3°. Além das características exigidas no Art. 2°. , os corretivos de acidez deverão apresentar as seguintes características (Tabela 2) quanto aos valores de PN (Poder de Neutralização), soma dos óxidos de Ca e Mg (CaO% + MgO%) e PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total).

Tabela 7. Características químicas para correção de acidez do solo.

Material Corretivo de Acidez	PN (% E CaCO_3) Mínimo	SOMA (% $\text{CaO}+\text{MgO}$) Mínimo	PRNT Mínimo
Cálcario agrícola	67	38	45
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Cal virgem agrícola	125	68	120
Outros	67	38	45

Fonte: FABRIS, 2015.



Fonte: ARAÚJO, 2017.

Figura 8. Jazide calcário, Arco MG.

A disponibilidade, o beneficiamento e o emprego dos recursos minerais afetam direta e indiretamente o desenvolvimento sustentável da economia, as fontes minerais são essenciais na manufatura de diversos produtos, para a construção civil, fontes energéticas e para a agricultura (ARAÚJO et al., 2017).

A cal é um produto obtido industrialmente pela decomposição térmica do calcário em fornos de calcinação. Seus constituintes dependem da origem da rocha calcária, tendo óxido de cálcio (CaO) como o componente prevalecente, sua ação neutralizante é devida à base forte $\text{Ca}(\text{OH})_2$, produto da reação do CaO com a água (ARAÚJO et al., 2017).

O calcário calcinado é um corretivo agrícola com um teor aproximado de 60% de CaO, 30% de MgO e PRNT em torno de 160%. Os elevados teores de CaO, MgO e PRNT são resultados da calcinação do calcário, que consiste na descarbonatação da rocha em temperaturas elevadas, acima de 1000 °C (ARAÚJO et al., 2017).

3.15 | Mármore

O mármore é uma rocha ornamental metamórfica proveniente do calcário. Este tipo de rocha contém mais de 50% de calcita e/ou dolomita, ou seja, são formadas a partir do metamorfismo de calcários (rochas sedimentares compostas principalmente de calcita) e dolomitos (rochas também sedimentares formadas, sobretudo carbonato de cálcio e magnésio). Apresenta estrutura maciça e granulação variada (VASCONCELOS et al., 2013).

As rochas ornamentais são utilizadas de diversas maneiras e a indicação do melhor tipo se dá de acordo com suas propriedades físicas e químicas e de acordo com suas feições estéticas, que são as propriedades que vão definir qual a mais adequada pra ser utilizada em determinada função. O mármore é uma espécie de rocha metamórfica, assim, originada pela exposição da rocha calcária em altas temperaturas e pressão. Devido a estes fatores, as maiores jazidas de pedra mármore estão em regiões de rocha matriz calcária e atividade vulcânica (VASCONCELOS et al., 2013).

Atualmente, o “mármore” brasileiro cobre quase inteiramente o consumo nacional, além de ser amplamente exportado. Sendo diferente dos “granitos”, a exploração é totalmente de afloramento, porém, a profundidade de escavação ainda é baixa. Os mármore de ótima qualidade, que estão em maior profundidade, são importados. O mármore composto puramente de carbonato de cálcio e de magnésio é de cor branca; entretanto, apresentam-se coloridos por causa dos outros minerais inclusos: tremolita e diopsídio para cor verde, flogopita, muscovita e siderita para cor marrom, magnesita e óxidos de manganês para cor de rosa, e grafita para a cor preta (NEVES et al.).

Em torno da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, há pedreiras de vários tipos de mármore: Chocolate Brasil, Mármore Rosa Itaoca, Mármore Rosa Champagne, Mármore Rosa Cachoeira, Mármore Branco Espírito Santo, Mármore Branco Santo Antônio (cor branca) etc. Estes são petrograficamente mármore, ou seja, calcário recristalizado durante o metamorfismo (NEVES et al.).

No Estado de Minas Gerais, a terra onde a produção nacional de mármore teve início, encontram-se várias cores de mármore: Mármore Chita Variado (cor de rosa, Sete Lagoas), Mármore Aurora Vermelho (marrom avermelhado, Ouro Preto), Mármore Verde Jaspe (listras verdes na base branca, Campos Altos), Mármore Marfim Esverdeado (listras verdes e rosas na base branca, Sete Lagoas), Mármore Aurora Prateado (branco, Sete Lagoas) etc (NEVES et al.).

O Brasil tem clima privilegiado para desenvolvimento de várias espécies vegetais de interesse econômico; entretanto, com limitações nos aspectos químicos dos solos, normalmente apresentam baixa CTC, baixo pH e alta saturação por alumínio, cerca de 70 % dos solos são considerados ácidos (CAZOTTI et al., 2015).

Por essas razões, a exploração agrícola desses solos necessita de correção da acidez. A calagem é a prática mais eficiente para elevar o pH, teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e saturação por bases e reduzir Al^{3+} no solo (CAZOTTI et al., 2015).

A produção de cubas de mármore sintético produz um grande volume de resíduo, caracterizado como pó de mármore. Este resíduo se não for descartado da maneira correta pode causar danos ao meio ambiente (LOURENÇO et al., 2018).

O desenvolvimento sustentável veio como uma solução para amenizar estes problemas, pois ele visa ao equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e o meio. Em outros continentes, como Europa e América do Norte, o reaproveitamento de resíduos industriais é considerado uma área de mercado bastante rentável. Por essa razão as pesquisas sobre reciclagem estão se intensificando cada vez mais com o passar dos anos. As matérias primas de origem mineral e que podem

ser utilizadas como fertilizantes, corretivos ou condicionantes de solo são chamadas de agro minerais (LOURENÇO et al., 2018).

Nesse contexto, os resíduos gerados no beneficiamento de mármore apresentam potencial para ser utilizados como corretivo de acidez do solo, com a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartado no ambiente, além de agregar valor a um resíduo indesejável. Em trabalho com resíduos de pedreira e do corte de mármore foi concluído que os resíduos do corte de mármore e, especialmente, os resíduos de mármore oriundos da pedreira poderiam ser usados como alternativa ao calcário agrícola para a neutralização da acidez do solo. Os fatores que influenciam na eficiência dos corretivos agrícolas e conseqüentemente na qualidade são o valor neutralizante e a granulometria. O valor neutralizante é fundamental; porém, devido à baixa solubilidade em água dos corretivos, a granulometria assume papel importante uma vez que sua dissolução fica na dependência da umidade do solo (CAZOTTI et al., 2015).

Diante do exposto, os resíduos do processo de polimento, por apresentarem menor granulometria, podem apresentar comportamento diferente dos resíduos do processo de serrada do mármore, por possuírem granulometria maior. Ainda podem apresentar diferença na composição química, visto que, os abrasivos usados para o corte possuem composição química diferente daqueles usados no polimento (CAZOTTI et al., 2015).

3.16 | Vermiculita

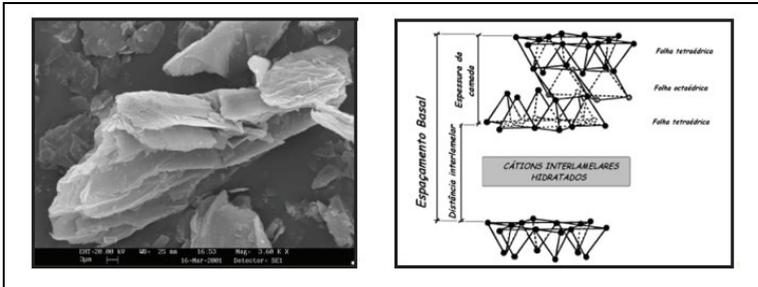
O uso adequado de fertilizantes se tornou uma ferramenta indispensável na luta mundial de combate à fome e subnutrição. A utilização de potássio na agricultura ocorre por meio da adição de macronutriente primário, geralmente em forma de sal – KCl, a partir de minerais como silvinita (KCl.NaCl) e carnalita (KMgCl₃.6H₂O). Devido à alta solubilidade dos sais, estes são largamente aplicados na agricultura; entretanto, a solubilidade que facilita a sua assimilação pelas plantas também causa grandes perdas por lixiviação (BORGES et al., 2010).

O potássio tem funções importantes na fertilização de cultivares, que atinge desde a melhoria na quantidade e qualidade da proteína das plantas, diminuição da incidência de doenças e estimulação do processo curativo e redução do estresse abiótico causado pelo frio. Entretanto, para algumas culturas sensíveis a cloreto, o uso do sal KCl não é recomendado, devendo ser aplicado por meio de outras fontes minerais (BORGES et al., 2010).

Algumas rochas e minerais portadores de potássio, como as micas flogopita e vermiculita, poderão ser estudados como alternativa potencial à complementação de fertilização dos solos (BORGES et al., 2010).

A vermiculita, (Mg, Fe)₃ [(Si, Al)₄ O10] [OH]₂ 4H₂O, é um silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro, com uma estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal. O termo vermiculita é utilizado também para designar comercialmente um grupo de minerais micáceos constituído por cerca de dezenove variedades de silicatos hidratados de magnésio e alumínio, com ferro e outros elementos. O nome vermiculita é derivado

do latim *vermiculus*, que significa pequeno verme e se deve ao fato de que esse material se expande sob aquecimento, durante o qual suas partículas movimentam-se de forma semelhante aos vermes (UGARTE et al., 2008).



Fonte: BORGES, 2010.

Figura 9. Micrografia de amostra de vermiculita e representação estrutural das micas.

A vermiculita é um mineral intemperizado, com teores de potássio que variam de 3 a 6,5%. O potássio trocável encontra-se alocado nos sítios mais externos da estrutura lamelar (Figura 8(a) e (b)) da mica e, devido ao intemperismo químico, são mais suscetíveis à troca. Esse fato não é observado para a flogopita, que contém teores de K_2O entre 7,0 e 8,3%, mas com pequena quantidade deste K^+ trocável. A maior parte da vermiculita consumida no Brasil é utilizada na agricultura, como substrato para germinação de sementes e como condicionador de solos (BORGES et al., 2010).

O mineral comercializado na forma expandida possui propriedades como baixos valores de massa específica aparente e de condutividade térmica. Essas características, associadas à granulometria, tornam o produto de vermiculita

bastante atrativo para sua utilização em diversas áreas, dentre as quais, na construção civil, na agricultura, nas indústrias química, de tintas, dentre outras (UGARTE et al., 2008).

O mineral possui uma faixa de composições que depende da composição da mica que a originou, da variação química durante o intemperismo e da troca iônica durante o processo de formação (UGARTE et al., 2008).

O valor comercial da vermiculita está, exatamente, na camada de moléculas de água que intercala as camadas de alumínio e silício na estrutura do mineral, a qual responde pelo seu elevado índice de expansão. Essas moléculas de água, quando aquecidas de forma rápida, em temperaturas elevadas, transformam-se em correntes de ar quente e causam aumento no volume do mineral. Esse processo, chamado de expansão térmica, confere ao produto final múltiplas aplicações industriais. Na forma expandida, a vermiculita é quimicamente ativa, biologicamente inerte, além de possuir baixa densidade (UGARTE et al., 2008).

No Brasil, há depósitos e jazidas de vermiculita nos estados da Paraíba, Goiás e Piauí. Os minérios brasileiros não contêm asbestos, o que confere aos concentrados de vermiculita maior valor agregado, além de favorecer o melhor aproveitamento econômico do bem mineral (UGARTE et al., 2008).

Por conta dos custos de mineração e beneficiamento, além daqueles relativos ao transporte do concentrado final, é desejável lavar a vermiculita com teor bastante elevado. Mesmo assim, os minérios de baixo teor (entre 20 e 30%) podem ser aproveitados economicamente. Os minérios ricos ou com teores elevados chegam a até 80% de vermiculita. Ao contrário de outros minerais, o valor de um minério de

vermiculita depende da distribuição e da eficiência do aproveitamento das partículas maiores do mineral. Portanto, exige-se, cada vez mais, métodos de lavra capazes de proporcionar um produto lavrado com partículas grossas (UGARTE et al., 2008).

Em geral, a aplicação da vermiculita em cada uso específico depende da sua granulometria e pureza. Aquelas com granulometria mais fina são aplicadas na produção de manufaturados para a construção civil, além de utilizadas como carreadoras na produção de fertilizantes e de alimentos para animais. As de granulometria mais grossa são utilizadas para fins de horticultura, cultivo e germinação de sementes, dentre outros (UGARTE et al., 2008).

Por apresentar elevada CTC (Capacidade de Troca Catiônica), a vermiculita na forma expandida auxilia na correção do pH e no condicionamento de solos ácidos e argilosos. A vermiculita expandida acelera a germinação, tornando os solos mais soltos, porosos e arejados, de forma a proporcionar um melhor desenvolvimento nas raízes das plantas (SOUSA et al., 2012).

Por ser um excelente retentor de umidade, age sobre a água do solo, melhorando a disponibilidade da mesma em caso de uma pequena estiagem (SOUSA et al., 2012).

3.17 | Ardósias

As ardósias caracterizam-se como rochas metamórficas de baixo grau de metamorfismo, de composição geológica similar à composição das argilas (homogênea e de textura afanítica - textura de uma massa constituída por cristais de pequena dimensão e sem forma definida), apresentam minerais

lamelares (ou seja, tabulares, em forma de tablete) provenientes da rocha sedimentar inicial, que se apresentam com as faces lisas situadas em ângulos retos com relação às fontes de pressão atuante, devido à formação em condições de alta pressão. Essa rotação dos minerais lamelares origina a clivagem ardosiana, que se apresenta como a tendência natural das ardósias a se partirem em superfícies planas. É uma rocha de alto grau de dureza (8,5 de dureza na escala de Mohs) e variando entre as cores preto, verde, cinza-escuro, vermelha e ferrugem (RODRIGUES et al., 2015). O tipo cinza é avaliado com preço mais elevado.

Binda (2020) também definiu ardósias como uma rocha metamórfica que se assemelha à argila e é composta por materiais extremamente finos como: muscovita, mica, quartzo, óxido de titânio, clorita, entre outros, possui densidade de aproximadamente $2,7 \text{ g / cm}^3$.

Na sua constituição se encontra argilas, folhelhos, cinzas vulcânicas e outras rochas de granulação fina. Revela a presença de várias classes de minerais, principalmente quartzo, mica, clorita, óxido de titânio e outros. É uma rocha de ocorrência relativamente comum, encontrada nas áreas onde os folhelhos foram submetidas a aquecimento e pressão durante a formação de montanhas (MANSUR et al., 2000).

Devido a sua composição ser formada basicamente de silicatos de alumínio, que constituem grande parte de utensílios cerâmicos, a ardósia pode vir a ser um material alternativo para indústrias cerâmicas em substituição aos convencionais, principalmente porque o Brasil é detentor de grande parte das reservas mundiais de ardósia. (MANSUR et al., 2000).

Tabela 8. Composição mineralógica das ardósias da Província de Ardósia de Minas Gerais.

Minerais (%)	Ardósia negra	Ardósia cinza	Ardósia verde
Quartzo	24 a 26	26 a 30	30 a 32
Mica branca	31 a 33	32 a 34	34 a 36
Clorita	20 a 23	18 a 20	18 a 20
Feldspato	12 a 15	12 a 15	14 a 15
Carbonato	3 a 5	2 a 3	0,5 a 1
Óxido de ferro	2 a 3	2 a 3	2 a 3
Material carbonoso	0,5 a 1	0,2 a 0,6	<0,1

Fonte: LIMA, 2015.

De todas as rochas, a ardósia é a que apresenta a mais notável anisotropia mecânica. Os planos de menor coesão, que são chamados de clivagem ardosiânica, podem ser abertos a golpes de talhadeira, de modo a desdobrar um bloco de ardósia em placas cada vez mais finas, até reduzi-las a poucos milímetros de espessura podendo conservar, entretanto, se manuseadas com cuidado, muitos decímetros quadrados e até metros quadrados, de área plana contínua. Apesar de ser facilmente riscável com o canivete, a ardósia tem coesão suficiente para apresentar arestas vivas e cortantes (BARBOSA, 1974).

Segundo TOLEDO et al. (2016) além das vantagens estéticas proporcionadas pela ardósia, como a possibilidade de uso tanto na face polida quanto natural, a mesma ainda apresenta as vantagens como durabilidade e facilidade de manutenção e limpeza, assegurando grande confiabilidade.

Apresenta propriedades físicas como clivagem preferencial, alta resistência mecânica, baixa porosidade, dureza média, além de ser constituída de minerais resistentes, o que faz com que seu uso possa ser amplo na construção civil, como em coberturas e revestimentos de paredes e pisos (TOLEDO et al., 2016). Segundo Sad, 1998 as ardósias são resistentes à meteorização e por isso são materiais altamente duráveis. Há telhados de ardósia em muitas cidades históricas da Europa.

Macroscopicamente classifica-se como uma rocha dura, inerte, com tonalidade variando do cinza escuro ao preto, as vezes podendo ser verde, amarela, castanha e vermelha, com granulação fina e com a propriedade notável de clivagem em lâminas delgadas ou folhelhos (MANSUR et al., 2000).



Fonte: TOLEDO, 2016.

Figura 10. Pedreira em Paraopeba – MG.

A região sudeste do Brasil detém a liderança nacional na área de rochas ornamentais e de revestimento, correspondendo a 75% da produção (FEAM, 2014). Quanto à produção de ardósia, mais especificamente, Minas Gerais e Santa Catarina

são os principais produtores sendo Minas Gerais responsável por aproximadamente 90% da produção nacional (CARRUSCA, 2001).

3.18 | Produção Brasileira

A produção mundial de ardósias se situa em 4 milhões de t/ano, sendo de 1,1 milhão t/ano as transações no mercado internacional. O Brasil, através do Estado de Minas Gerais (CHIODI et al), onde está localizada a maior reserva de ardósia do mundo (mais especificamente, na região central do estado), frequentemente denominada de “Província de ardósia” (ROSA et al., 2020), já ocupa o segundo lugar em termos de produção (Espanha é o primeiro) e de consumo mundial de ardósias (França é o primeiro), além de ser o segundo maior exportador (atrás da Espanha). Esta posição de destaque foi conquistada em apenas 25 anos de atividades mineiro-industriais do setor de ardósias de Minas Gerais, o qual responde por 90% dessa produção e processa a quase totalidade das exportações brasileiras (CHIODI et al.).

As áreas de extração e beneficiamento de ardósias de Minas Gerais estão situadas na região central do Estado, a uma distância média de 150 km de Belo Horizonte, abrangendo totalmente o município de Papagaio e parcialmente os municípios de Caetanópolis, Felixlândia, Pompéu, Paraopeba, Curvelo, Martinho Campos e Leandro Ferreira. Cerca de 50 empresas praticam atividades de lavra, em 28 frentes ativas de extração. Mais de 300 empresas, principalmente de pequeno porte, desenvolvem atividades de beneficiamento nos

municípios produtores, tornando o setor de ardósias um dos principais segmentos sócio-econômicos da região (CHIODI et al.).

Na Figura abaixo é visto lavra paralisada de ardósias pretas, situada cerca de 200-300 m do Ponto 14, pouco antes da ponte do Rio Lambari. 50 m além deste local, ainda antes da referida ponte, registra-se outra lavra paralisada de ardósias pretas. Juntamente com o Ponto 15 (Porto Formiga), estes locais marcam as cotas topograficamente mais baixas (600 m) de lavra de ardósias na região produtora de Minas Gerais, o que se atribui a um basculamento tectônico na faixa sul da bacia sedimentar Bambu (SAD et al., 1998).



Fonte: SAD, 1998.

Figura 11. Lavra paralisada de ardósia preta.

A região está morfologicamente inserida na denominada Depressão São Franciscana, posicionada entre os chapadões sedimentares a oeste e os terrenos cristalinos mais antigos a leste. Neste contexto o relevo regional é suavemente ondulado,

com altitudes máximas que não excedem 1.100 m (o ponto mais elevado é a Serra do Ibirucu, com 1.065 m, na divisa dos municípios de Caetanópolis e Paraopeba) e cotas mínimas observadas na Represa de Três Marias (502 m), em Felixlândia (SAD, et al., 1998).

O clima é quente e úmido, com duas estações bem marcadas: chuvosa, no verão, e de seca rigorosa no inverno. A temperatura média anual oscila entre 22°C e 24°C, com amplitude térmica anual de 7-9°C. O índice pluviométrico médio anual varia entre 1.200- 1.300 mm, com máximas de 1.600 mm registradas em Leandro Ferreira e mínimas de 1.126 mm em Curvelo (SAD, et al., 1998).

A Tabela abaixo apresenta informações sobre empresas cadastradas ligadas ao setor de ardósias.

Tabela 9. Empresas ligadas ao setor de ardósia do Estado de Minas Gerais.

Município	Nº Empresas do Setor de Ardósias
Curvelo	40
Felixlândia	47 (16 indústrias extrativas)
Martinho Campos	2 (1 indústria extrativa)
Papagaios	314 (46 indústrias extrativas)
Paraopeba	110
Leandro Ferreira	0
Caetanópolis	Não respondeu
Pompéu	Não respondeu

Fonte: SAD, 1998.

Segundo SAD (1998), a Província de Ardósia de Minas Gerais pode ser subdividida em "distritos minerais", que são caracterizados por uma concentração local de jazimentos e

neste contexto podem ser especificados quatro distritos: 1) Felixlândia, 2) Rio Pará, 3) Rio Paraopeba e 4) Riacho da Areia.

O Distrito de Felixlândia tem um "campo mineral" bem definido, que é o "Campo do Buritizinho", com os depósitos ou jazidas denominadas Pedreira do Salésio, SIGÊ, Fazenda Buritizinho, Pedreira Marabá, Fazenda Boa Vista e Serra Pelada. O Distrito de Felixlândia é, essencialmente, portador de ardósia verde e/ou roxa (SAD, et al., 1998).

O Distrito do Rio Paraopeba tem um campo muito característico, que é o "Campo Córrego das Pedras", com jazidas contínuas situadas nas margens direita (Alto das Pedras) e esquerda (Fazenda Vereda) do Córrego das Pedras. Outro campo é denominado "Campo Alto Grande", com dois jazimentos e um terceiro, o "Campo Rio Verde", com cinco jazimentos (SAD, et al., 1998).

No Distrito do Rio Paraopeba as ardósias são cinzentas e/ou cinzento-ferrugem. No Distrito do Rio Pará não há, até o momento, conjuntos de jazidas atribuíveis a um determinado campo; o que se tem é uma jazida isolada. Em virtude de se encontrar posicionada do lado ocidental da província, mostra-se totalmente desvinculada dos jazimentos dos outros distritos e, por isso, pode ser atribuída a um distrito específico, o Distrito do Rio Pará. Outros jazimentos poderão, em futuro próximo, ser desenvolvidos no distrito. As ardósias do Distrito do Rio Pará são de cor cinza. Um distrito singular é o Distrito Riacho da Areia, posicionado no bordo sul da Bacia Bambuí. Contém o "Campo Lambari" (com duas jazidas). As ardósias do distrito são escuras (negras e grafite) (SAD, et al., 1998).

A produção de ardósias de Minas Gerais totaliza, aproximadamente, 500 mil toneladas/ano, desdobrando 18 milhões de m² de chapas, ladrilhos, tampos de bilhar, telhas e outros produtos. Em 2004 as exportações de ardósias de Minas Gerais atingiram US\$ 56,6 milhões, correspondentes a 175,8 mil toneladas. Em valor, essas exportações mostraram crescimento de 45,1% em relação a 2003 e já representam 47,6% das exportações totais de rochas de Minas Gerais (CHIUDI et al.).

Ressalta-se que o setor de ardósias de Minas Gerais movimentava cerca de 400 empresas de lavra e de beneficiamento, gerando de 6.000 a 7.000 empregos diretos. Ressalta-se sobretudo que a denominada “Província de Ardósias de Minas Gerais”, com área aproximada de 7.000 km², constitui a maior reserva geológica mundial, atualmente conhecida e explorada, de ardósias de alta qualidade (CHIUDI et al.).

Tabela 10. Produção Total de Rochas Ornamentais e de Revestimento em Minas Gerais.

Produção anual Material	Toneladas	Metros cúbicos	Metros quadrados	Observações
Granitos	500.00	170.000	-	80% exportada
Ardósias	410.000	-	15.000.000	Chapas de 1cm de espessura
Quartzitos	200.000	-	3.500.000	Chapas de 2cm de espessura média
Mármore	9.000	3.000	90.000	Tipo aurora, verde jaspe, preto florido
Serpentinitos	?	?	?	Produção ignorada (Rosso Sacramento)
Pedra-sabão	11.000	3.600	-	Não inclui pedra-talco
Total	1.130.000			

Fonte: SAD, 1998.

3.19 | Resíduos de Ardósias

Ao longo de toda a cadeia produtiva de rochas ornamentais, desde a lavra até as etapas de beneficiamento industrial, são geradas toneladas de resíduos, grossos (casqueiros, blocos trincados, com falhas, aparas de chapas) e finos (lama abrasiva ultrafina, gerada durante o desdobramento do bloco em chapas, que é realizado com água), que em muitos dos casos representam quase 50% de todo o processamento. Esses resíduos são depositados em aterros e todo o setor de rochas ornamentais apresenta custos mensais para a retirada desses resíduos de suas empresas e destinação nos aterros disponibilizados pelas prefeituras (BARROS et al, 2018).

Vários fatores contribuem para a grande geração de resíduos, sendo: aspecto geológico do maciço a ser explorado, natureza da rocha, técnicas utilizadas no desmonte da rocha e técnicas de beneficiamento e mão-de-obra utilizada. As pequenas e médias empresas têm dificuldade de acesso a financiamentos para que possam utilizar tecnologias mais apropriadas para as atividades de beneficiamento bem como para realizar um melhor preparo da sua mão de obra (LIMA et al., 2015).



Fonte : LIMA, 2015.

Figura 12. Rejeitos deixados na pedreira ou dispostos de forma incorreta.

No processo de mineração, a ardósia é extraída na forma de blocos, gera uma quantidade significativa de resíduos, na forma de lama, composta basicamente de água, lubrificantes e rocha moída. Além disso, há geração de resíduos provenientes da perda do bloco de extração, ocasionada por eventuais falhas na estrutura da rocha, como lavados “(fraturas) no banco de ardósia, “jacarés” (fraturas concordantes à foliação) e leitões de ardósia “matacão” (nome dado às variedades que não se delaminam e, portanto, são descartados). Esses resíduos classificam-se como inertes, pois não comprometem a potabilidade da água quando ambos entram em contato e, além disso, são resíduos recicláveis (RODRIGUES et al., 2015)

A parte não aproveitada do banco comercial (cacos e cavacos de ardósia fresca) é definida como rejeito. Se for levada em consideração a possibilidade de aproveitamento dos rejeitos da lavra de ardósia de revestimento, para usos industriais diversos, esses rejeitos passam a constituir resíduos ou estoques remanescentes (KISTEMANN et al., 2014).

A deposição e o acúmulo de material residual de ardósia em pilhas de bota-fora causam graves problemas ambientais, como danos à vegetação do local utilizado como depósito, devido ao processo de retirada da flora ou do acúmulo de material ao longo do período de utilização, além dos impactos da própria extração, como a abertura de grandes cavas que alteram profundamente a paisagem natural. Os resíduos podem, também, acumular-se nos locais de extração, em reservatórios e em cursos d'água (RODRIGUES et al., 2015).

Além de graves problemas ambientais, há, também, prejuízo econômico, já que o material rejeitado representa que houve perda de parte do material extraído. Segundo Abirrochas

(2012), no ano de 2009, por exemplo, foi verificada uma geração de resíduos da ordem de 25% de toda a produção de ardósia, totalizando $1,5 \times 10^5$ toneladas de rejeitos.



Fonte: RODRIGUES, 2015.

Figura 13. Pequena pilha de bota-fora de restos de ardósia na cidade de Pompéu.

Atualmente, vem sendo discutidas alternativas para utilização dos resíduos de ardósia a fim de reduzir o impacto ambiental causado pela deposição dos mesmos, e que, muitas vezes, é executada de modo irregular. Além disso, com os resíduos há a possibilidade de se obter novas matérias-primas para diversas áreas da construção civil e até mesmo o uso como fertilizante e, com isso, a geração de uma nova atividade econômica (RODRIGUES et al., 2015).

Os resíduos de ardósia podem ser utilizados tanto em pó quanto em brita, sendo que a forma adequada dependerá do tipo de utilização destinada, em diversas aplicações como

agregados, em pavimento asfáltico, blendagem com cimento, na indústria cerâmica para a fabricação de tijolos e telhas ou como fertilizante devido às propriedades minerais de alguns tipos de ardósia (RODRIGUES et al., 2015).

3.20 | Resíduos de Ardósias como Fertilizantes Naturais

A agricultura moderna faz uso de fertilizantes e corretivos a fim de proporcionar um aumento da produção, de modo a atender aos critérios econômicos, e ao mesmo tempo tentando conservar a fertilidade e a biodiversidade do solo, com redução de problemas no ambiente (RAIJ, 1987). Em contrapartida à atual situação global, será exigido um manejo mais adequado das terras agricultáveis e dos recursos hídricos. Assim, para a intensificação, a diversificação e a especialização de sistemas de produção agrícola, deverão ser desenvolvidas novas tecnologias inovadoras e específicas para solos e plantas (LAL, 2000).

Nos últimos anos, tem-se discutido, amplamente, estudos que poderiam indicar a viabilidade de uso de resíduos industriais na agricultura, principalmente pela expansão da agricultura orgânica. Mas, para tornar possível o uso desses resíduos, são necessários estudos agronômicos para indicar os efeitos positivos no sistema solo-planta, seja como material corretivo ou fonte de nutrientes (SAINJU et al., 2001).

A adição de rocha triturada ao solo, com finalidades agrícolas, tem dado bons resultados para algumas culturas (KNAPIK; ANGELO, 2007). Theodoro (2002) destaca experiências bem sucedidas com esta prática em que a dupla fertilização de

culturas com fertilizantes convencionais e rochagem significou ganhos tanto em termos de produtividade quanto econômicos, uma vez que uma quantidade bem menor de fertilizantes químicos foi aplicada e tendo como vantagem a diminuição de impactos ambientais.

De acordo com o biólogo Bernardo Knapik “O pó de rocha não agride o meio ambiente porque não se dissolve rapidamente. Ele é trabalhado pelos micro-organismos e pelas raízes e, assim, o solo se regenera. Já o adubo sintético é solúvel, a planta aproveita o que pode, e o que ela não absorve pode causar problemas ambientais”, compara (EPAGRI).

Em Ituporanga, no Vale do Itajaí, o pó de ardósia é usado na produção de cebola. “Usamos esse material associado à adubação verde e percebemos que o teor de potássio subiu rapidamente. Além disso, a acidez do solo diminuiu”, conta o agrônomo Hernandes Werner, pesquisador da Estação Experimental de Ituporanga (EPAGRI).

3.21 | Aplicação de Ardósias

Desde o século X é reportado o uso e exportação da pedra ardósia. Elas representam matéria-prima de ampla utilização para revestimentos e telhas. Em meados do século XII temos a primeira descrição documentada da extração de ardósia. Ela era utilizada em telhados, e foi responsável pelos clássicos telhados cinza dos castelos medievais. A ardósia é um revestimento de alta qualidade a um preço mais acessível se comparado a outros materiais ornamentais. Hoje a ardósia é considerada uma alternativa em projetos com decoração elegante e atemporal, e tem sido muito visado na arquitetura (MARINHO, 2020).



Fonte: MARINHO, 2020.

Figura 14. Ardósia para revestimento de parede.

A ardósia, devido à suas características mineralógicas, favorece a sua exploração e seu corte em placas de espessuras variadas (fissilidade) (TOLEDO et al., 2016).

Buscando viabilizar a presença no mercado de outros materiais, entendidos como sedimentares, mas com propriedades muito próximas das ardósias metamórficas, foi proposta pela comunidade europeia a identificação destes materiais como sendo ardósias sedimentares (CAMPELLO et al, 2020.).

Ao contrário das primeiras, que são facilmente divididas em folhas finas ao longo de um plano de clivagem resultante da xistosidade, normalmente oblíqua ao acamamento e decorrente

de deformação tectônica associada com metamorfismo de baixo grau, as sedimentares dividem-se ao longo dos planos de acamamento relacionados à deposição original da rocha (CAMPELLO et al, 2020.).



Fonte: CHIODI, 2014.

Figura 15. Lajotas de ardósia cinza esquadrejadas na própria frente de lavra, região da Província de Ardósia de Minas Gerais.

É uma das matérias primas mais utilizada no setor de construção civil como material de revestimento, adorno, recobrimento, pisos e decoração, devido a suas características físicas e sua clivagem. Sua exploração é baseada na lavra de folhelhos, geralmente seguida de fases de corte e acabamento (MANSUR et al., 2000). Também por possuírem alto grau de dureza, baixa porosidade, alta resistência mecânica e por

serem constituídas de minerais resistentes ao intemperismo e apresentarem baixo custo, são usadas, principalmente, para material de revestimento em jardins, mesas, pisos, degraus, soleiras, bancadas, tampos para bilhar, dentre outras utilidades (ROSA et al, 2020).

As ardósias apresentam aplicações diversas, sendo a de material de revestimento a mais recorrente. Ainda que de forma inadequada, as mesmas ainda são muito empregadas nos revestimentos de pisos e fachadas de estruturas edificadas, sob a forma de ladrilhos de tamanhos e espessuras diversas. Revestimentos internos e externos de paredes, telhados, degraus, pingadeiros e rodapés, constituem as outras formas de utilização. As ardósias são, também, aplicadas na produção de mesas de sinuca, bancadas e quadros-negros (lousas escolares) (CAMPELLO et al, 2020).

Além disso, é encontrada em banheiros, revestimento de pisos, paredes e até telhados em países de clima frio por apresentarem alta resistência mecânica e isolamento térmico. No entanto, não é muito indicada para pisos de áreas externas por propagar muito calor e quando molhada, torna-se escorregadia. Seu acabamento pode ser natural ou polido e sua espessura pode variar de 2,0cm a 3,0cm (TOLEDO et al, 2016).



Fonte: CHIODI, 2014.

Figura 16. Exemplos de aplicação das ardósias em bancadas, pias, bancos de praça e muros.

Atualmente, com a grande geração de resíduos nas mineradoras e nas empresas de beneficiamento mineral, aliado à preocupação do impacto ambiental que geram, pensa-se muito na reutilização desses resíduos na construção civil, uma vez que eles podem apresentar atividade pozolânica podendo ser utilizados em substituição ao cimento, diversificando, portanto, as matérias-primas e contribuindo para redução de custos de produção e melhoria das características dos materiais (MENEZES et al., 2009).

Assim, grande parte dos rejeitos da mineração podem ser reciclados, transformados, reutilizados e incorporados, resultando em novos materiais de modo a atender às tecnologias mais simples, eficientes e econômicas de construção (LANA, 2014).

Durante a extração e mineração da ardósia os resíduos são caracterizados como pó, cascalho e lama, e quando jogados indiscriminadamente na natureza causam grande impacto. Em consequência disso, o estudo da adição do resíduo de ardósia está avançando e sendo empregado em vários materiais na construção civil. No Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Engenharia, no estado de Minas Gerais, foram realizados estudos para o uso de resíduo de ardósia em tijolos e o resíduo pode substituir a cerâmica vermelha na fabricação de tijolos e tubos cerâmicos. Além de reutilizar o rejeito da ardósia, não gera custo e é abundante na região de Minas Gerais; outra vantagem apresentada é o fato de substituir a cerâmica, material oriundo da extração da argila, que é altamente poluente (TOLEDO et al., 2016).

As proporções de adição do resíduo de ardósia em matrizes cerâmicas podem variar de 10% à 60% e são obtidas por processos de combinações, moldagem e queima a 1000°C por 4 horas. Assim, o resíduo de ardósia tem sido recuperado como matéria-prima por várias empresas do setor cerâmico, sobretudo na fabricação de telhas, atendendo a exigência mínima de 27MPa para uso e comercialização do material (TOLEDO et al., 2016).

O uso de material residual para a construção civil vem sendo estudado desde meados da década de 70 e segundo BUTLER et al. (2000) o resíduo de ardósia é utilizado em matrizes de concreto de baixo custo, além de ser empregado como matéria prima no setor cerâmico.

Pode-se observar, também, em outros trabalhos uma destinação adequada dos resíduos de ardósia, visto em Santos e Rodrigues (2016) na aplicação do resíduo proveniente do corte de ardósia em pavimentação rodoviária; em Antunes, Guimarães e Marques (2020) com rejeitos industriais britados de ardósia, fisicamente transformados em agregados, como integrantes das camadas granulares e de revestimento de um pavimento asfáltico; e em Rosa et al (2020) na reutilização da ardósia em substituição do agregado graúdo na dosagem do concreto.

4 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que os solos brasileiros necessitam de fertilização e correção de pH e que o país é dependente da compra de insumos para essas práticas. No entanto, métodos alternativos de rochagem e calagem foram apresentados em diversos trabalhos científicos no Brasil e no mundo, indicando, por exemplo, a possibilidade de utilização de resíduos da lavoura e do beneficiamento de rochas nacionais para tal fim, agregando valor ao resíduo e diminuindo a dependência internacional

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALOS, D. et al. Trade-offs in greenhouse gas emissions across a liming-induced gradient of soil pH: Role of microbial structure and functioning. *Soil Biology and Biochemistry*, 150 (2020) 108006. doi:10.1016/j.soilbio.2020.108006.

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Estimativa da Serragem de Chapas de Rochas Ornamentais no Brasil. Informe 05/2012.

ALOVISI, A.M.T. et al. Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 918-932, mai. 2020.

ANDA, 2019. Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. Disponível em: <http://anda.org.br/estatisticas/>. (Acessado em 20 de Outubro, 2020).

ANDRADE, V.F. et al. Utilização de Resíduos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Correção da Acidez e Adubação de Solos Tropicais. *Série Tecnologia Ambiental*. CETEM/MCT, 2010, ISSN 0103-7374, ISBN 978-85-61121-59-4.

ANTUNES, M.A.G.; GUIMARÃES, A.C.R.; MARQUES, G.L.O. Uma solução viável para a reciclagem de resíduos industriais de ardósia em pavimentação. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.4, p. 236-254, 2020.

AQUINO, J.M. et al. The potential of alkaline rocks from the Fortaleza volcanic province (Brazil) as natural fertilizers. *Journal of South American Earth Sciences* 103 (2020) 102800.

ARAÚJO, C.W. et al. Influência da Granulometria do Calcário Dolomítico no ph do Solo. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Formiga - UNIFOR. Formiga, Minas Gerais - MG, 2017.

ARAÚJO, S.C. et al. Estudo do Uso de Rocha Potássica como Fertilizante de Liberação Lenta. II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2010.

BARBOSA, A.L.M. (1974). Curso de Petrologia - I. Minerais Petrográficos, 11. Petrografia Macroscópica. Esc. Minas Met., UFOP, 248 p., Ouro Preto.

BARROS, M.M. et al. Tijolo ecológico com resina polimérica e resíduo de rocha ornamental. Dissertação de Mestrado. Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, Rio de Janeiro-RJ, Brasil 2018.

BINDA, F.F. et al. Friction elements based on phenolic resin and slate powder. *Journal of Materials Research and Technology*, 2020;9(3):3378-3383.

BORGES, S.R. et al. Estudo da Aplicação de Resíduos de Vermiculita como Fertilizantes Alternativos de Potássio. II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2010.

BRITO, S.R. et al. Rochagem na Agricultura: importância e vantagens para adubação complementar. v.6, n.1, p. 528-540. Universidade Federal do Cariri - UFCA. Rio Branco, 2019. ISSN: 2446-4821.

BUTLER, A.K.; LEEK, D.S.; JOHNSON, R.A. Potential for using some alternative aggregates in structural concrete. *Structural Engineer*, v. 78, n. 22, p. 22-25, Nov 21 2000.

CAMPELLO, S.M. et al. Rochas Industriais. Disponível em <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/rochas-industriais/>. Acesso: 29 de Outubro, 2020.

CARRUSCA, E. Aproveitamento Industrial de Resíduos de Ardósia como Insumo Mineral na Fabricação de Cimento. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2001.

CAZOTTI, M.M. et al. Caracterização de resíduos de diferentes processos de beneficiamento do mármore para fins de calagem. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015. Natal - RN.

CHIODI C. & Chiodi D.K. 2014. *Plano de ação para sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais - Ardósia em Papagaios*. Belo Horizonte, v. 1. Relatório Técnico apresentado à Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM.

CHIODI, K.D. et al. Ardósia no Brasil. Disponível em <http://www.mpmslate.com/site/ardosia-no-brasil/>. Acesso: 29 de Outubro, 2020.

EPAGRI. SC: adubação com pó de rocha é barata e ecologicamente correta. Disponível em https://www.cetem.gov.br/agrominerais/noticias/2009/09_05_30_not_epagri.pdf. Acesso: 29 de Outubro, 2020.

FABRIS, J, ALBARNAZ, T.D.L. Avaliação Quantitativa das Diferentes Variedades de Mármore na Região de Caçapava do Sul como Matéria - Prima para a Produção de Corretivos de Acidez dos Solos e Cal. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul - RS, 2015.

FARIA, M.R. et al. Utilização de Resíduos de Granito na Correção da Acidez de um Latossolo Vermelho-Amarelo. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis - SC, 2013.

FEAM. Plano de ação para sustentabilidade do setor de rochas ornamentais - Ardósia em Papagaios (Parte 3). Belo Horizonte, MG, 2014. 50 p.

FERNANDA, P. 2018. Rochas: Gnaisse. Disponível em <https://www.geoportalufff.com/post/gnaisse>. Acesso: 28 de Outubro, 2020.

FERROLI, M.C.P. et al. *Mármore e Granito*. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/marmore-e-granito/>. Acesso: 28 de Outubro, 2020.

FILHO, B.P.M. Calagem. Disponível em https://www.agencia.cnpia.embrapa.br/Repositorio/CONTAG01_87_1311200215104.html. Acesso: 27 de Outubro, de 2020.

FRANÇA, A.C.S. et al. Estudo da Aplicação de Resíduos de Vermiculita como Fertilizante Alternativo de Potássio. II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2010.

FREITAS, M.S, 2015. Nitrogênio: um dilema entre produzir e poluir?. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=13816>. Acesso: 28 de Outubro, 2020.

GAMA, P.A.M.D. et al. Rochagem e remineralização de solos. Apostila de fertilidade dos solos, módulo III. Belém, Pará, 2020.

GUARÇONI, M. André, Fanton, César José. Resíduo de beneficiamento do granito como fertilizante alternativo na cultura do café. Revista Ciência Agronômica, 2011, 42(1), 16-26. ISSN: 0045-6888.

KISTEMANN, Denise Chiodi. CHIODI, Cid Filho. Plano de Ação Para Sustentabilidade do Setor Rochas Ornamentais – Ardósia em Papagaios. Implementação do Plano de Ação. Volume 1 - Texto. Setembro/2014.

LAL, R. Soil management in the developing countries. Soil Science, v.165, n.1, p. 57-72. 2000.

LANA, S.C. Avaliação pozolânica do resíduo do corte de ardósia. 2014. 45 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) UFOP, Ouro Preto - MG, 2014.

LIMA, P.J. et al. Caracterização de Agregados Reciclados de Rejeitos de Ardósia para a Fabricação de Tubos de Concreto. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET - MG. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2015.

LOPES, S.A. et al. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA, p.2 - 19, Minas Gerais - MG 2017.

LOUREIRO, L.E.F. et al. Agrominerais - Fosfato. Rochas e Minerais Industriais, capítulo 7, p. 142 - 145. CETEM/2008, 2a Edição.

LOUREIRO, L.E.F. et al. Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável e Competitiva. Coletânea Fertilizantes I. Série Estudos e Documentos. CETEM/MCT, 2003, ISSN 0103-6319.

LOURENÇO, O.S.E. et al. Aproveitamento de Resíduos Sintéticos de Indústria de Mármore como Corretivo de Solo. XIV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia - SIBESA, 2018. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

MACHADO, V.R. et al. Utilização de Rejeitos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Correção da Acidez e Adubação de Solos Tropicais. XVI de Iniciação Científica - CETEM, Rio de Janeiro - RJ, Brasil 2008.

MACHADO, V.R. et al. Nutrição Mineral e a Utilização de Resíduos de Rochas Ornamentais. XVII de Iniciação Científica - CETEM, Rio de Janeiro - RJ, Brasil 2009.

MANSUR, H.S. et al. Caracterização de Pó de Ardósia Proveniente de Rejeitos Quanto a Cristalinidade e Comportamento Térmico. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 14^o edição, 2000, São Pedro, São Paulo - SP.

MARINHO, G. Ardósia: uma rocha subestimada. Disponível em <https://www.minasjr.com.br/ardosia-uma-rocha-subestimada/>. Acesso: 29 de Outubro, 2020.

MELAMED, R. et al. O Fósforo na Agricultura Brasileira: uma abordagem minero-metalúrgica. Série Estudos e Documentos. CETEM/MCT, 2006, ISSN 0103-6319.

MENEZES, R.R.; NEVES, G.A.; SOUZA, J.; MELO, W.A; FERREIRA, H.S.; HEBER C. FERREIRA, H.C. Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.6, p.795-801. Campina Grande, 2009.

MORAES, E. et al. O Nitrogênio na Agricultura Brasileira. Série Estudos e Documentos. CETEM/MCT, 2006, ISSN 0103-6319, ISBN 85-7227.

NAPIK, J.G.; ANGELO, A.C. Pó de basalto e esterco eqüino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (ROSACEAE). Floresta, v. 37, n. 03, p. 427-436, 2007.

NEVES, P.L.J. et al. Rochas Ornamentais do Brasil, Seu Modo de Ocorrência Geológica, Variedade Tipológica, Exploração Comercial e Utilidades como Materiais Nobres de Construção. Revista de Geociências, 2-2, 119-132. Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense - UFF. Rio de Janeiro. RJ.

NUNES, L.S.J. Nitrogênio. Disponível em https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nitrogenio_361444.html. Acesso: 28 de Outubro, 2020.

PÁDUA, J.E. et al. Rochagem como Adubação Complementar para Culturas Oleaginosas. Dissertação de Pós Graduação. Universidade Federal de Lavras - LAVRAS, Minas Gerais - MG, 2012.

PASSOS, R.R. et al. Utilização de Resíduos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Correção da Acidez e Adubação de Solos Tropicais. Série Tecnologia Ambiental. CETEM/MCT, 2010. ISSN 0103-7374, ISBN 978-85-61121-59-4.

RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 142. 1987.

RODRIGUES, K.R. et al. Propostas de Aproveitamento de Resíduos de Ardósia da Cidade de Pompéu, Minas Gerais. Revista Intercâmbio, vol. VI - 2015 / ISSN - 2176-669X.

ROSA, M.P. et al. Viabilidade na reutilização da ardósia em substituição do agregado graúdo na dosagem do concreto. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 1, p. 936-948, jan. 2020. ISSN 2525-8761.

ROSSETTO, R. et al. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação coma adubação potássica. Disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052004000100011. Acesso: 28 de Outubro, 2020.

SAD, G.H.J. et al. Panorama do Setor de Ardósia do Estado de Minas Gerais, Brasil. Volume 1, Textos e Anexos. Página 8.

SAINJU, U.M.; RAHMAN, S.; SINGH, B.P. Evaluating hairy vetch residue as nitrogen fertilizer for tomato in soilless medium. HortScience, v. 36, n. 01, p. 90-93, 2001.

SANTOS, R.L.R; RODRIGUES, C.S. Aplicação do resíduo proveniente do corte de ardósia em pavimentação rodoviária. II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Minas Gerais - MG, Brasil, 2016.

SILVA, S.A.A. Flogopitito da Bahia como Fonte de Potássio para a Agricultura Brasileira. II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2010.

SIMÕES, L.S.A. et al. Caracterização Petrográfica e de Química Mineral dos Gnaisses e Granofels Calcissilicáticos do Grupo Dom Silvério na área- tipo, Leste de Minas Gerais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP. Ouro Preto, Minas Gerais - MG, 2018.

SOUSA, A.D.L. et al. Cinética de Liberação do Potássio em Rejeito de Mineração de Vermiculita para o Fortalecimento do Solo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco - UFP. Recife, Pernambuco - PB, 2012.

SOUZA, S.E.L.V. et al. Agrominerais para o Brasil, capítulo 4, página 62. Centro de Tecnologia Mineral, CETEM, Rio de Janeiro - RJ, 2010.

SOUZA, S.E.L.V. et al. Agrominerais para o Brasil, capítulo 8, página 156-162. Centro de Tecnologia Mineral, CETEM, Rio de Janeiro - RJ, 2010.

TEIXEIRA, A.M.S. et al. Estudo do Uso de Serpentinó como Corretivo de Solos Agrícolas. II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2010.

THEODORO, S.H. Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 344 p.

TOLEDO, F.J. et al. Estudo da Reatividade de Resíduo de Ardósia como Adição em Matrizes Cimentícias. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP. Ouro Preto, Minas Gerais - MG, 2016.

UGARTE, O.F.J. et al. Rochas e Minerais Industriais: Usos e Aplicações. Cap. 38, CETEM/2008, 2a Edição.

VASCONCELOS, S.C.C.; GURGEL, T.M. Processo de Extração do Mármore e suas Aplicações na Construção Civil na Cidade de São Rafael - RN. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semi Árido, Departamento de Ciências Tecnológicas e Ambientais. Mossoró, Rio Grande do Norte - RN, 2013.

WIETHÖLTER, S. Calagem no Brasil. Embrapa. Passo Fundo, Rio Grande do Sul - RS, 2000. ISSN 15 16-5582.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2020, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 360 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

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

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-115 - **Rochas aglomeradas: Uma alternativa tecnológica e ambiental para a utilização dos resíduos de rochas ornamentais.** Mônica Castoldi Borlini Gadioli, Mariane Costalonga de Aguiar, Ana Júlia Nali Giori, Abiliane de Andrade Pazeto, Maria Carolyna Sopeletti Fernandes, 2021.

STA-114 - **Geração de revestimentos poliméricos contendo resíduos de pegmatitos com características de isolamento térmico.** Gabriella Neto Chagas, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, 2020.

STA-113 - **Molecular modeling study of biocides interaction with talc, the main mineral component of soapstone monuments.** Julio Cesar Guedes Correia, Lucas Andrade Silva, Fernanda Barbosa da Silva, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, 2020.

INFORMAÇÕES GERAIS

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

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

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

NOVAS PUBLICAÇÕES

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

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 43 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.