

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

Estudos (Inter)  
Multidisciplinares  
nas Engenharias 2

**Atena**  
Editora

Ano 2019

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas  
Engenharias  
2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E82	<p>Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-701-7 DOI 10.22533/at.ed.017190910</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



## APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 21 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETO DESENVOLVIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS/SP	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909101</b>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>13</b>
ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA A PARTIR DE RESÍDUO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE PNEUS	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909102</b>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>25</b>
ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DA MADEIRA: UMIDADE, DENSIDADE APARENTE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELAS ÀS FIBRAS DAS ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR	
Weiza Nunes Barbosa Emerson Lopes de Amorim Luiz Gustavo Ayres Barros Kellen de Souza Singh Lucas Matos de Souza José Castro Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909103</b>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>37</b>
ANÁLISE DOS EFEITOS DA VAZÃO MÁSSICA SOBRE A DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM AQUECEDORES DE LEITE DO TIPO PLACAS PLANAS GAXETADAS	
Alex Vazzoler	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909104</b>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>47</b>
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA ( <i>Manihot esculenta Crantz</i> ) EM COMUNIDADE TRADICIONAL DO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP E POSSÍVEIS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	
Roberto Quaresma Santana Lia Carla de Souza Rodrigues Jorge Emílio Henriques Gomes Marília de Almeida Cavalcante	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0171909105</b>	
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>55</b>
AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MACROTEXTURA E DRENABILIDADE EM DUAS PISTAS DE POUSO NA REGIÃO DO VALE DO ARAGUAIA	
Thamires Ferreira da Silva	

Lucas Jorge Freitas Marinho  
Augusto Romanini  
Raul Tadeu Lobato Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.0171909106**

**CAPÍTULO 7 ..... 69**

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DE GELATINAS OBTIDAS A PARTIR DAS PELES DE MAPARÁ (*Hypophthalmidae*) E URITINGA (*Arius Proops*)

Élida Viana de Souza  
Jiullie Delany Bastos Monteiro  
Nara Helem Brazão da Costa  
Leliane da Silveira Barbosa Gomes  
Iara Eleni de Souza Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.0171909107**

**CAPÍTULO 8 ..... 77**

CONTROLE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO PLACER DE MINERAIS PESADOS NA REGIÃO PRAIAL AO NORTE DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS (BUJURU, BRASIL)

Bruno Silva da Fontoura  
Adelir José Strieder  
Jéssica Stern Behling  
Rui Sérgio Saraiva Duarte Junior  
Talita Cabelera da Silva  
Paulo Mendes  
Aureliano Augusto Vieira da Nóbrega  
Lauro Julio Calliari

**DOI 10.22533/at.ed.0171909108**

**CAPÍTULO 9 ..... 87**

ESTRUTURA FÍSICA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL PAUTADO EM PROTÓTIPO 8/6

Marcos José de Moraes Filho  
Luciano Coutinho Gomes  
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira  
Darizon Alves de Andrade  
Josemar Alves dos Santos Junior  
Wanberton Gabriel de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.0171909109**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA NA MANGUEIRA EM FUNÇÃO DE SEU ENROLAMENTO

Diogo Henrique Morato de Moraes  
Ricardo Marques da Silva Viegas  
Dione Monteiro de Moraes  
Matheus Henrique Morato de Moraes  
Marcio Mesquita

**DOI 10.22533/at.ed.01719091010**

**CAPÍTULO 11 ..... 109**

**ÍNDICE DE DESEMPENHO DE MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO CIMENTO PORTLAND SÍLICA DE CASCA DE ARROZ E NANOSSÍLICA COLOIDAL**

Daniel da Silva Andrade  
Josué Régio Damaceno  
Laércio Breno Moreira  
Aline Alves de Almeida  
João Henrique da Silva Rêgo

**DOI 10.22533/at.ed.01719091011**

**CAPÍTULO 12 ..... 122**

**LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISAS CIENTÍFICAS NA ÁREA DAS CIÊNCIAS SOCIAIS SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR PARA O SEGMENTO SUCROENERGÉTICO**

Manoel Gonçalves Filho  
Clóvis Delboni  
Reinaldo Gomes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.01719091012**

**CAPÍTULO 13 ..... 135**

**MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM ATRAVÉS DA FERRAMENTA POKA YOKE: UM ESTUDO DE CASO NO MCDONALD'S**

Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer  
Dayse Mendes  
Douglas Soares Agostinho  
Felipe Martins Machado  
Jennifer Evangelista Cavalcante  
Kellen Coelho dos Santos  
Marcos Augusto Mendes Marques  
Marcos Henrique Morais  
Renatha Querubina de Anevam  
Rodrigo Ramiro Prior

**DOI 10.22533/at.ed.01719091013**

**CAPÍTULO 14 ..... 144**

**MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA UTILIZANDO UMA ABORDAGEM ANALÍTICA**

Régis Sperotto de Quadros  
Glênio Aguiar Gonçalves  
Daniela Buske

**DOI 10.22533/at.ed.01719091014**

**CAPÍTULO 15 ..... 153**

**O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE PARABÓLICO**

Emmanoel Guasti Ferreira  
Marcílio Sousa da Rocha Freitas  
José Antônio da Rocha Pinto  
Geraldo Rossoni Sisquini

**DOI 10.22533/at.ed.01719091015**

<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>168</b>
RE-EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TOTAL ACID NUMBER ON NAPHTHENIC CORROSION BY ELECTROCHEMICAL NOISE TECHNIQUE	
Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes Alysson Nunes Diógenes Haroldo de Araújo Ponte	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091016</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>179</b>
SLOW-RELEASE FERTILIZER FROM A ROCK CONTAINING GLAUCONITE BY THERMAL PROCESSING WITH ADDITIVES	
Antonio Clareti Pereira Emily Mayer de Andrade Becheleni Marta Ribeiro dos Santos Gomes Sônia Denise Ferreira Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091017</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>190</b>
UMA INTRODUÇÃO AO USO DA INTEGRAL DE DUHAMEL EM SISTEMAS DINÂMICOS ESTRUTURAIIS	
Natan Sian das Neves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091018</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>202</b>
USO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ADSORÇÃO COM TURFA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO	
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado Francisco Igor da Costa Freire Andréa Francisca Fernandes Barbosa André Luís Novais Mota Kalyanne Keyly Pereira Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091019</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
UTILIZAÇÃO DE COBERTURA COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE HORTIFRUITI	
Martiliana Mayani Freire Leoclécio Luis de Paiva Laís Barreto Franco Anna Paula Marques Cardoso Gleison Martins Medeiros Raposo Caliane Lília Leite do Nascimento Pedro Fagner Araújo Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01719091020</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>218</b>
MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE CAIXAS COLETORAS DE DRENAGENS URBANAS NA REGIÃO DO PORTO DE PELOTAS/RS	
Marciano Carneiro Milton Cruz Fernandes	



Angélica Cirolini  
Alexandre Felipe Bruch  
Lenon Silva de Oliveira  
Gabriel da Silva Pontes

**DOI 10.22533/at.ed.01719091021**

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>232</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>233</b>

## SLOW-RELEASE FERTILIZER FROM A ROCK CONTAINING GLAUCONITE BY THERMAL PROCESSING WITH ADDITIVES

### **Antonio Clareti Pereira**

Dr Chemical Engineering – Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG  
Rua Guanabara, 491 – Concórdia. Code: 31110-650 Belo Horizonte MG - Brazil; claretipereira@gmail.com

### **Emily Mayer de Andrade Becheleni**

Dr Chemical Engineering – Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.  
Av. Pres. Antonio Carlos, 6627 – Belo Horizonte – MG – Brazil – Code: 31270-901 – emabecheleni@gmail.com

### **Marta Ribeiro dos Santos Gomes**

Dr Metallurgical Engineering - Researcher  
Secretary of State for Economic Development, Science, Technology and Higher Education – SEDECTES

### **Sônia Denise Ferreira Rocha**

Professor Chemical and Mining Engineering – Universidade Federal de Minas Gerais  
Departamento de Engenharia de Minas- Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG  
Av. Pres. Antonio Carlos, 6627 – Belo Horizonte – MG – Brazil – Code: 31270-901 – sdrocha@demin.ufmg.br

\*Corresponding author: claretipereira@gmail.com

**ABSTRACT:** Glaucosite is a monoclinic mineral, of green color, a potassium and iron hydrated phyllosilicate. It is an alternative source of potassium, but still not being commercially exploited in a large scale for this purpose, due to the lack commercial technology that makes the business economically viable. This work investigated the dissolution of potassium in a solution of citric acid 2% (m/m) after thermal and chemical processing, with additives ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), of a rock containing glaucosite at six temperatures: 660°C, 700°C, 740°C, 780°C, 820°C and 860°C, 60 minutes and granulometry smaller than 0.15mm. The mass ratio (rock,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) was: (1.0: 0.2: 0.3). A rock containing glaucosite with a content of 11.9%  $\text{K}_2\text{O}$  and 58% glaucosite was selected. The potassium extraction was evaluated by extraction in 2% citric acid solution (m/m) at 95°C for 15 minutes and in water at 90°C. The solubility in water was 21% (770°C) and in citric acid the highest potassium extraction was 78% at the temperature of 770°C. The curve passes over a maximum (770°C), showing that there is a limit to the temperature in the thermal processing. Above this value, there is a drop in the extraction indicating different mechanism of reaction between the rock and additives. By considering that in water, the solubility of potassium was 4 times lower than in citric acid, it can be concluded that the thermal processing

makes Verdete ore a potential alternative source of potassium for the production of slow release fertilizer.

**KEYWORDS:** potassium; slow release fertilizer; thermal processing; glauconite.

## 1 | INTRODUCTION

Silicates constitute an important group of minerals in the soils, constituting about 40% of the common minerals. They make up more than 90% of the earth's crust and occur in both primary minerals, inherited from igneous or metamorphic rocks, and secondary minerals formed by the intemperance of primary mineral products. The possibility of the use of silicate rocks for the production of fertilizers is an important strategy, since they are well distributed in all regions of the world (Castro *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 2006; Theodoro *et al.*, 2006; Van Straaten, 2007; Martins *et al.*, 2010; Tchouankoue *et al.*, 2014).

Slow-release fertilizers use phyllosilicates as a potassium-providing raw material because of the low mobility of this potassium in water, dilute acids or weak organic acids. In order to increase the kinetics release of this potassium, several studies in this subject have been published (Tokunaga, 1991; Valarelli, 1993; Piza *et al.*, 2011, Orioli Jr & Coutinho, 2009; Mangrich *et al.*, 2001). Results obtained in these surveys indicate that rocks containing reasonable amounts of glauconite may constitute alternative sources of potassium for agricultural use. These researches were emphasized between the years of 1970 and 1980. Biotite, leucite, nepheline syenite, micaschists, potassium feldspar, chloriteschists, muscovite and Verdete were some of the evaluated materials (Lopes *et al.* 1972; Faquin, 1982; Leite, 1985).

One way to increase the availability of potassium is by promoting the modification of the mineral structure by thermal processing (Francisco *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2012; Van Straaten, 2007). Mazumder *et al.* (1993) Mazumder *et al.* (1993) investigated the dissolution of glauconite potassium in distilled water after thermal processing (between 700°C and 850°C) using a mixture of sandstone containing the mineral and calcium chloride, varying the calcination time between 5 and 180 minutes and granulometry from 300µm to 75µm. The leaching in distilled water was performed at a temperature ranging from 40°C to 90°C, achieving extractions greater than 90% from 10 minutes of leaching, for calcination at 850°C. To reach such extractions, the ratio was 1.0:0.5 sandstone and calcium chloride, in a calcination time of 60 minutes.

The objective of this work was the study of a rock containing glauconite (Verdete ore) as an alternative source of potassium for the production of a slow release fertilizer. More precisely, to evaluate the influence of the temperature on the thermal processing of the rock, with additives, on the solubility of potassium in a solution of citric acid 2% (m / m) and in water.

## 2 | MATERIAL AND METHOD

### Chemical and mineralogical characterization

For chemical and mineralogical characterization, the samples were reduced into grain size suitable for analysis. Scanning electron microscopy (JEOL, JSM 35C and X-ray Dispersive Energy Spectrometer, NORAN, Voyager 3050 model) was applied to identify the mineral phases and their elements.

For the analysis of the crystalline components of the sample, X-ray diffractometer, Philips-PANalytical PW 1710 from the X-ray laboratory of the Department of Metallurgical Engineering and Materials of UFMG, was used with a voltage of 40mV, current of 20mA and angle of incidence ranging from 3° to 80°, with a variation of 0.05°. In the generated diffractograms, the diffraction peaks were indexed according to the standards presented in the ICDD database. For the analysis by ICP/OES, the preparation of the sample followed the procedures listed below:

- ✓ Lithium metaborate melting: the melting involved the complete dissolution of the sample in a molten flow;
- ✓ Optical Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma Direct reading – ICP/OES: the equipment used in this work was the ICP/OES model Perkin Elmer Optima 7300DV.

### Thermal Processing

The glauconite under study comes from rock (Verdete ore) containing this mineral that occurs in Serra da Saudade, in the region of the municipality of Cedro de Abaeté, state of Minas Gerais, Brazil. For the thermal processing, the system was considered: (rock+CaCO<sub>3</sub>+MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), in the mass ratio (1.0: 0.2: 0.3).

By considering some conclusions of the study by Aitta et al (1986), the following particle size was adopted: 100% smaller than 0.15 mm for the sample subjected to thermal processing. To select the temperature, in thermal processing, simulations of the phase equilibrium were performed considering the input components. The simulations were performed in the application FactSage module Equilib. For the system (rock + CaCO<sub>3</sub> +MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), the phases likely to be formed are found in Table 2:

Temperature (°C)	800	850	900	950	1000
CO <sub>2</sub>	G	G	G	G	G
H <sub>2</sub> O	G	G	G	G	G
HCl	G	G	G	G	G
KCl	L	L	L	G, L	G, L
K <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	-	-	-	-	G
Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	S	S	S	S	S
KCaCl <sub>3</sub>	S	S	S	S	S
CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	S	S	S	S	S
MgOCaOSi <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	S	S	S	S	S
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	S	S	S	S	S

Table 1: Phases in the glauconite/CaCO<sub>3</sub>/MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O system. G-Gas, L-Liquid and S-Solid.

Due to the appearance of KCl in the gas phases at temperatures above 950°C and the decrease of the KCaCl<sub>3</sub> solid phase above 900°C, the temperatures chosen were: 660°C, 700°C, 740°C, 780°C, 820°C and 860°C. The choice of CaCO<sub>3</sub> had the function of reducing the loss of HCl due to the decomposition of MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O. The thermal processing was performed in a ceramic crucible (alumina) with an initial mass of 50g of rock, maintained in the temperature for 1h. The components of the mixture were PA reagents.

### Extraction of the systems thermally processed in citric acid and water

The extraction of potassium in water was performed at 90°C, according to MAPA (Mapa, 2014).

For extraction in citric acid a 2% solution was prepared with 10 g of crystallized citric acid, monohydrate and analytical grade (Prolab) - C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>.H<sub>2</sub>O - dissolved in distilled water. Then, the solution was transferred to a 500-mL volumetric flask and increased. Regarding the dissolution test, 0.1000g (for the 1: 500 ratio ) of each product of the calcination reactions is weighed and added in 100mL beakers. After that, 50mL of the extracting solution was added and brought to the heating plate, maintaining the temperature of 95°C for 15 minutes without boiling. After heating, the solution was cooled, filtered through a 0.45-µm membrane and 25 mL of the filtrate were transferred to a 100-mL volumetric flask and increased (Mapa, 2014).



### 3 | RESULT AND DISCUSSION

#### Chemical and mineralogical characterizatón

The chemical composition of the sample was (Table 1):

Compound	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>
%	15.1	<0.03	6.7	11.9	3.0	0.0	62.2

Table 2: Chemical composition of Verdete sample used in the study.

The mineralogy of the sample is represented in the graph in the Figure 1.

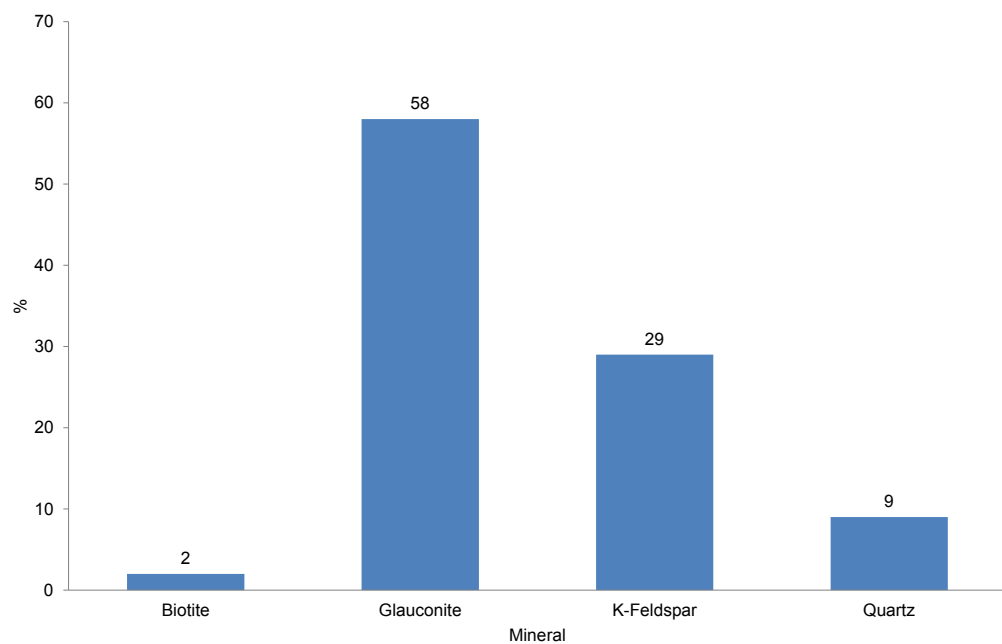


Figure 1: composition of Verdete sample used in the study.

Figure 1 represents the diffractogram of the Verdete rock with its main readings.

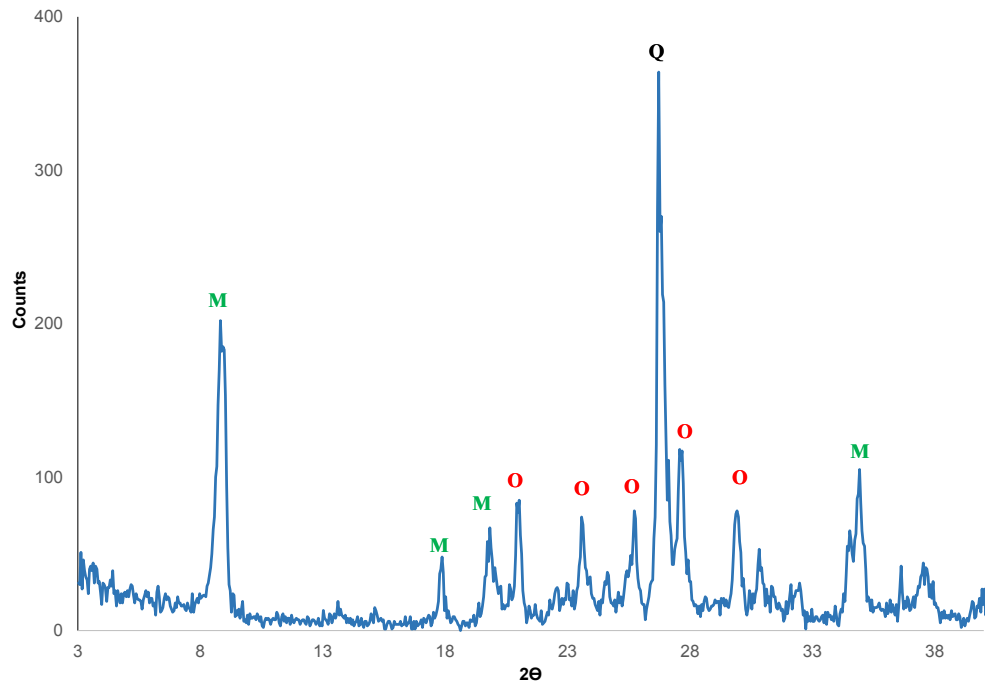


Figure 2: Diffractogram of Verdete ore: M – Mica, Q – Quartz, O– Orthoclase (K-Feldspar).

The images in the MEV (Figure 3) show a predominant matrix of a phyllosilicate of the Verdete rock.

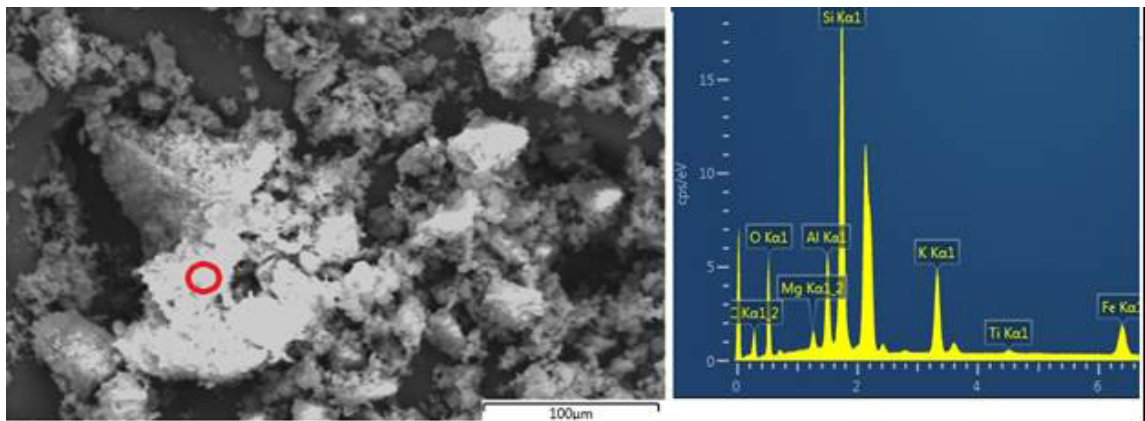


Figure 3: - Backscattered electron images of Verdete rock sample in Scanning Electron Microscope showing the predominance of a phyllosilicate matrix.

## Thermal processing

The diffractogram of the heat-treated mixture at 780°C for 60 minutes is in Figure 4. The identified crystalline phases were: D - Diopside ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), M - Mica, O - Orthoclase ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), Q - Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), S - Sylvite ( $\text{KCl}$ ). The sylvite was formed by the displacement of the potassium of the structure of the glauconite by the chloride ion. At 780°C the residual mica is poorly identified, indicating almost complete transformation of this phase, considering that the detection limit of a XRD analysis is 5%. The formation of diopside, the phase rich in Ca and Mg, is further evidence of the unreacted ash-forming nucleus model which is the final inert phase.

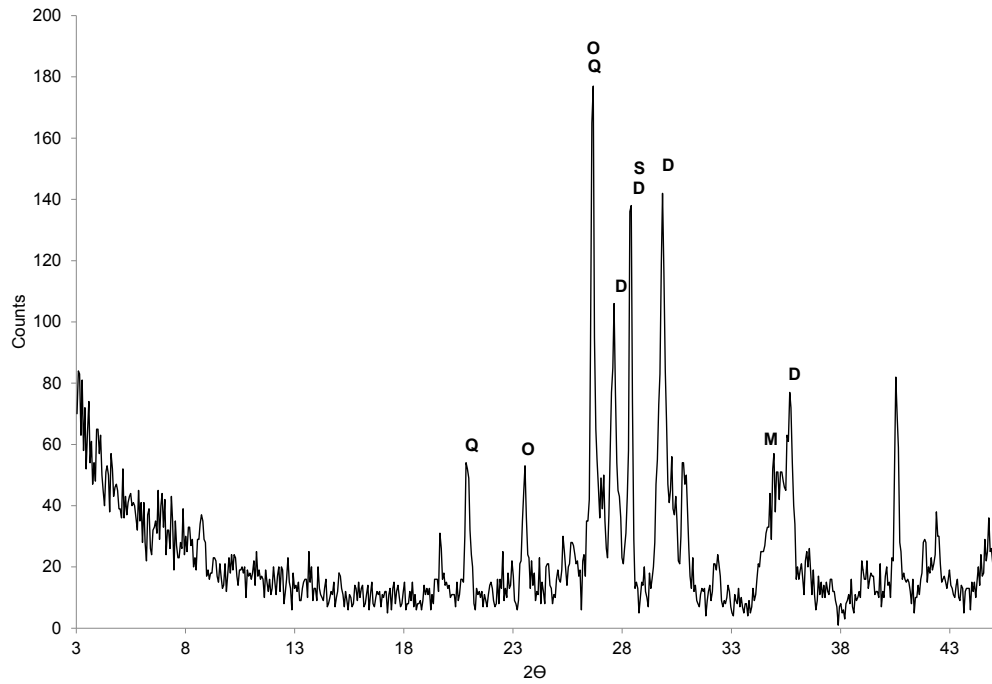


Figure 4: Sample diffractogram (mixture) at thermal treatment at 780°C. Identified phases: D – Diopside; M – Mica; O – Orthoclase; Q – Quartz; S - Sylvite.

Figure 5 represents SEM image and specific EDS analysis of the sample treated at 780°C revealing a crystalline structure containing phases rich in K and Cl. The image shows that the crystals begin to melt, corroborating with the melting point of pure KCl of 778°C.

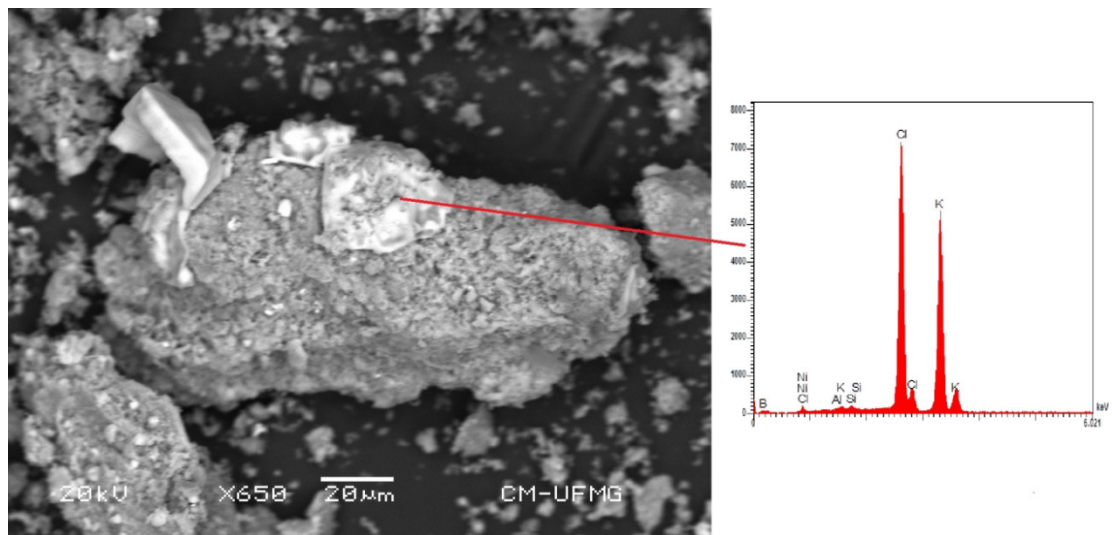


Figure 5: Image of SEM and EDS of a sample heated at 780°C, with addition of additives. EDS readings showing phases rich in K and Cl, with crystals in the melting process.

### Extraction of the systems processed in citric acid

Figure 6 is the diffractogram of a sample after thermal treatment at 780°C (with additives) and after leaching with 2% citric acid solution. The identified crystalline phases were, as follow: D – Diopside; H-Hematite; M-Mica; O – Orthoclase; Q - Quartz. The increase in the crystallization of the hematite was most likely due to the

iron released from the glauconite structure. It is also observed that the mineral phases of diopside, product of the reaction in the thermal treatment, have low solubility in 2% citric acid. Other studies may determine a better condition to solubilize this compound as it is a source of calcium and magnesium. The Orthoclase that did not react in the thermal treatment phase, remains as a component with non-exchangeable potassium. The sylvite phases was completely vanished.

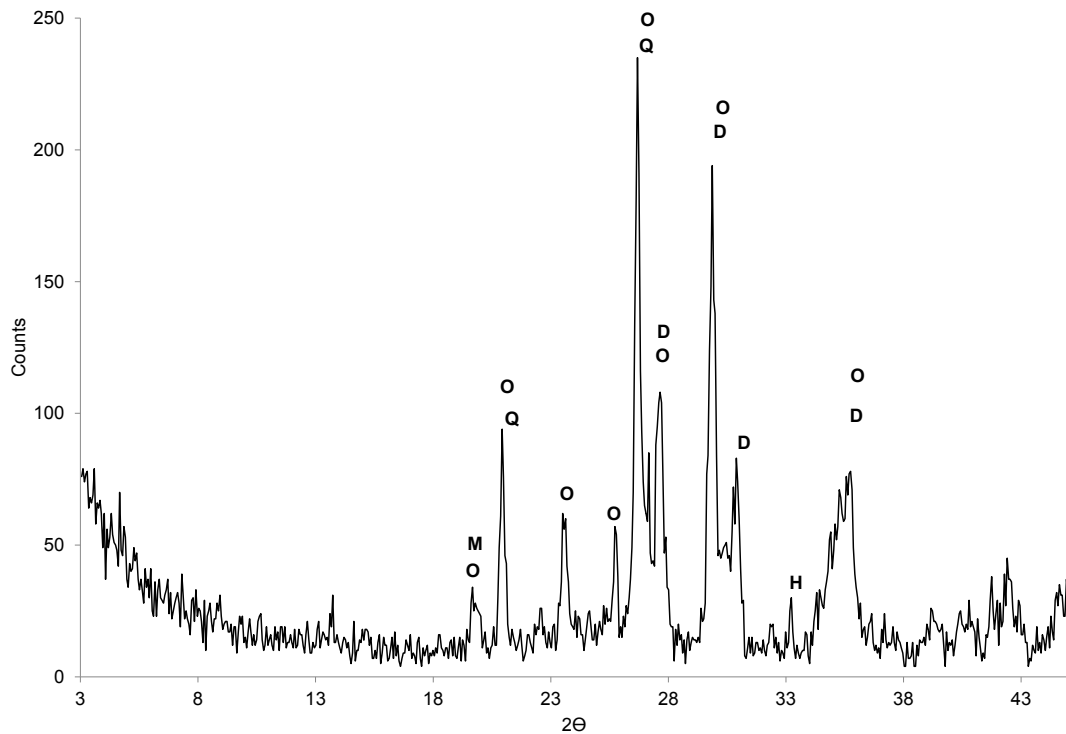


Figure 6: - Sample diffractogram after thermal treatment at 780°C (with additives) and leached with 2% citric acid solution. D – Diopside; H – Hematite; M – Mica; O – Orthoclase; Q – Quartz.

Figure 7 is SEM image and specific EDS analysis of the sample treated at 780°C and after solubilization in 2wt% citric acid solution. No phase rich in sylvite was identified, indicating total extraction of this phase by citric acid.

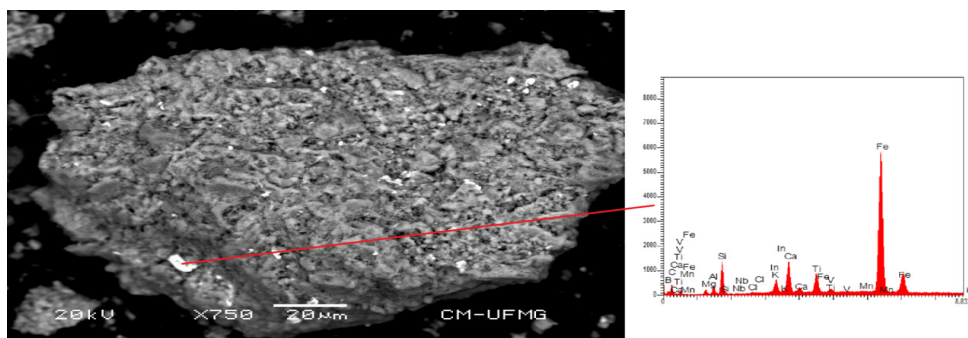


Figure 7: SEM and EDS images of the sample heated at 780°C, with the addition of additives and after leaching with 2% citric acid solution. EDS readings did not identify Sylvite-rich phases.

The graph in Figure 8 represents the extraction of potassium in citric acid after tests of the mixture (with additives) at several temperatures. The curve went through a maximum (around 770°C), showing that there was a limit to the temperature. Above this value, there was a decrease in the extraction, indicating that other secondary and irreversible reactions began to overlap the mixed control of the initial reaction (diffusion and chemistry).

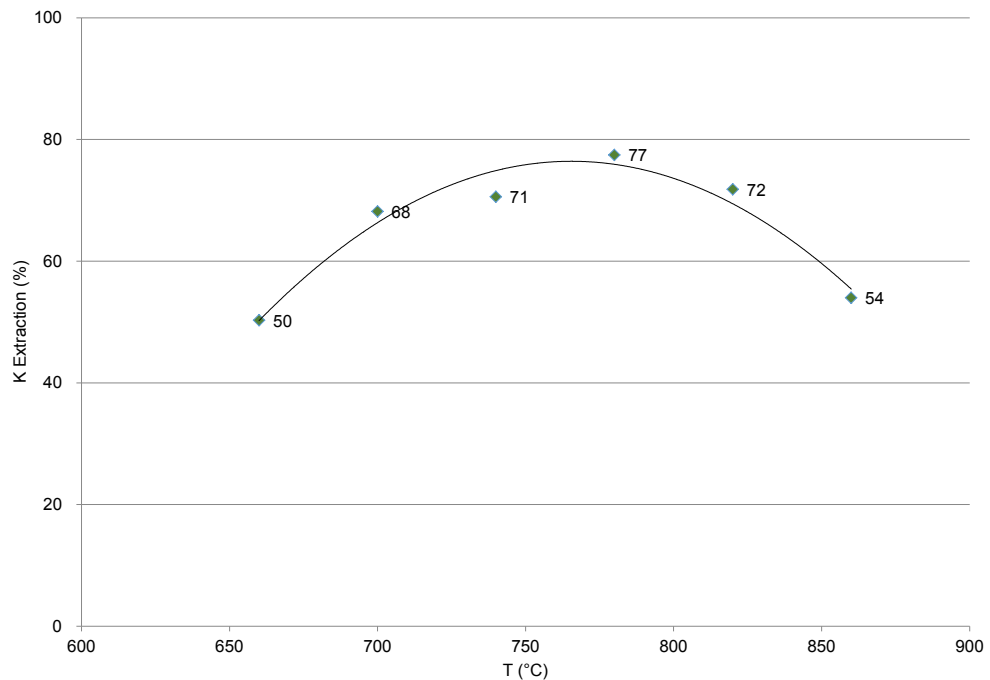


Figure 8: Potassium extraction in 2% citric acid solution (m/m).

#### 4 | ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the financial support: Fapemig, CNPq and Capes that granted the execution of this research study.

#### 5 | CONCLUSION

The thermal processing of the mixture (rock,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) in the mass ratio of (1.0: 0.2, 0.3) was effective, resulting in the extraction of 78% of the potassium in a 2wt% citric acid solution. There was formation of sylvite (KCl) proving the displacement of potassium from the structure of phyllosilicates. After solubilization in citric acid, no sylvite phase was identified, both in the X-ray analysis and in SEM images and EDS, therefore, dissolved in the solution. The extraction increases with temperature, rising to a maximum (78%) at 770°C. Above this value, the potassium extraction decreases. Up to this maximum temperature, the system is governed by gas-



solid reaction, where gas is generated by the pyrohydrolysis of magnesium chloride. Above this temperature, other reactions with different mechanism begin to interfere, reducing the solubility of potassium in citric acid. The difference between the solubility of potassium in water, 21%, and the solubility in citric acid, 78%, makes glauconite a potential alternative source of potassium for the production of slow release fertilizer, when thermally processed using chlorine additive.

## REFERENCES

- Aitta, E., Leskela, M., Lajunen, L.H.J., Jyrkas, K., Seppala, E. Thermal Processing /of Phlogopite and Muscovite with Calcium and Magnesium Compounds. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.36, p.169-177, 1986.
- Almeida, E.; Silva, F. J. P.; Ralisch, R. Powdered rock to revitalise soils. **Leisa Magazine**, v.22, n. 4, 2006.
- Castro, C.; Oliveira, F. A. e Salinet, L. H. 2005. **Rochas Brasileiras como fontes alternativas de potássio para uso em sistemas agropecuários – efeito residual**. In: Reunião Nacional de Pesquisa em Girassol, 16, Londrina, Anais. Londrina: Embrapa Soja. (CD-rom).
- Faquin, V. (1982) Efeito do tratamento térmico do sienito nefelínico adicionado de calcário dolomítico, na disponibilidade de potássio ao milho (*Zea mays* L.), em casa de vegetação. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 115p.
- Francisco, E.A.B.; Prochnow, L.I.; Toledo, M C M.; Ferrari, V.C.; Jesus, S.L. Thermal Treatment of Aluminous Phosphates of the Crandallite Group and Its Effect on Phosphorus Solubility. **Scientia Agricola**, v.64, n.3, p.269-274, 2007.
- Leite, P.C. (1985) Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 146p.
- Lopes, A.S.; Freire, J.C.; Aquino, L.H., Felipe, M.P. (1972) Contribuição ao estudo da rocha potássica - Verdete de Abaeté (Glauconita) para fins agrícolas. **Agros**, 2:3242.
- Mangrich, A., Tessaro, L., dos Anjos, A., Wypych, F., Soares, J. A slow-release K<sup>+</sup> fertilizer from residues of the Brazilian oil-shale industry: synthesis of kalsilite-type structures. **Environmental geology**, v.40 n.8 p.1030-1036, 2001.
- Mapa. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Defesa Agropecuária. Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org) Brasília – DF: MAPA/DAS/CGAL, 2014, 220p.
- Martins, E.S.; Oliveira, C.G.; Resende, A.V.; de Matos, M.S.F. **Agrominerais**: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: ADÃO, B.L.; LINS, F. (Eds.). Rochas e minerais industriais: usos e especificações. 2ªed. Rio de Janeiro, Cetem, 2010, cap. 9, p.205-221.
- Mazumder, A.K., Sharma, T., Rao, T.C. Extraction of potassium from glauconitic sandstone by the roast-leach method. **International Journal of Mineral Processing**, v.38, p.111–123, 1993.
- Orioli Jr, V., Coutinho, E.L.M. “Effectiveness of Fused Magnesium Potassium Phosphate for Marandu Grass”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33 pp. 1855-1862, 2009.
- Piza, P.A.T, Bertolino, L.C., Silva, A.A.S., Sampaio, J.A., Luz, A.B. Verdete da região de Cedro do Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. **Geociências**, 30:345-356, 2011.

Silva, A.A.S., Medeiros, M.E.; Sampaio, J.A.; Garrido, F.M.S. Caracterização do Verdete de cedro do abaeté para o desenvolvimento de material com liberação controlada de potássio. **Holos**, Ano 28, v.5, 2012.

Tchouankoue, J.P.; Tchekambou, A.N.T.; Abossolo, M.A.; Ngansop, C.; Theodoro, S.H. **Rock Fertilizers as an Alternative to Conventional Fertilizers**: the Use of Basalt From the Cameroon Volcanic Line for maize farming on Ferrallitic soils. In: Goreau, T.J.; Larson, R.W.; Campe, J. (eds.) *Geotherapy: Innovative Methods of Soil Fertility Restoration, Carbon Sequestration, and Reversing CO2 Increase*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2014, p. 449-464.

Theodoro, S.H.; Othon, L.; Rocha, E.L.; Rego, K.G. Experiências de Uso de Rochas Silicáticas Como Nutrientes. **Espaço & Geografia**, v.09, n.2, p.263;292, 2006.

Tokunaga, Y. Potassium silicate: a slow-release potassium fertilizer. Kaihatsu Hiryo Co.2-1-13. 1991.

Valarelli, J.V. Ardósias Verdete de Cedro do Abaeté na Produção de Termofosfato Potássico Fundido e sua Eficiência Agronômica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.31, p.363-375, 1993.

Van Straaten, P. *Agrogeology: the use of rocks for crops*. Ontario (Canadá): Enviroquest Ltd., 2007, 426p.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 38, 39, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Agregado artificial 1, 11, 13

### B

Biomassa 47, 49, 52, 54

Bloco estrutural 13, 20

### C

Cimento Portland 3, 113, 120

Concreto reciclado 1, 13, 15

Controle estrutural 77, 80, 84, 85

Corrosão 202, 203

### D

Desperdícios 127, 135, 140, 142

Dinâmica estrutural 190, 191, 200

Drenabilidade 55, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68

Drenagem urbana 218, 219, 231

### E

Energia 14, 27, 38, 43, 47, 52, 53, 54, 96, 97, 98, 103, 115, 126, 127, 133, 232

Ensino 139, 190, 232

### F

Farinha de mandioca 47, 49, 50, 52, 54

### I

Índice de confiabilidade 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 165, 166

Inovação 76, 122, 124, 125, 126, 127, 232

Irrigação 99, 100, 108

### M

Madeira 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 51, 52

### N

Nanossílica 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

### P

Pozolana 109, 110

Propriedade mecânica 25, 27

Propriedades físicas 25, 26, 27, 28, 71, 111

## **R**

Resíduos 1, 2, 4, 10, 12, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 47, 49, 52, 53, 54, 69, 70, 71, 72, 74, 76, 110, 208, 229

Resíduos de pneu 13, 15

## **S**

Sílica de casca de arroz 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120

Solução analítica 144, 151

Sustentabilidade 1, 14, 24, 35, 74, 127, 138, 142, 232

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-701-7



9 788572 477017