

*Anais*

||| CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ROCHAGEM

**Editores**

Adilson Luis Bamberg

Carlos Augusto Posser Silveira

Éder de Souza Martins

Magda Bergmann

Rosane Martinazzo

Suzi Huff Theodoro

**Todos os direitos reservados**  
**A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Vania Aparecida Marques Favato – CRB-8/3301

C749a Congresso Brasileiro de Rochagem (3.: 2016: Pelotas, RS).  
Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem, 8 a 11 de novembro de 2016 / Editores: Adilson Luis Bamberg... et. al. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016.

455 p. : il.

ISBN: 978-85-61175-68-9

1. Remineralizadores de solo. 2. Agrogeologia. 4. Mineralogia 5. Agrominerais. 6. Fertilidade do solo I. Bamberg, Adilson Luis. II. Silveira, Carlos Augusto Posser. III. Martins, Éder de Souza. IV. Bergmann, Magda. V. Martinazzo, Rosane. VI. Theodoro, Suzi Huff. VII. Título.

CDD 549.7

© Embrapa 2017

# NUTRIÇÃO DE MILHO APÓS ADIÇÃO DE SIENITO E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

Luiz Fernando dos Santos<sup>1</sup>; Lucas Leal Machado<sup>2</sup>; Lucas Rodrigues<sup>2</sup>;  
Fernando Fabriz Sodré<sup>2</sup>; Éder de Souza Martins<sup>3</sup>; Jader Galba Busato<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Química – Universidade de Brasília (UnB) nandosantos.fsa@gmail.com; <sup>2</sup> Universidade de Brasília (UnB); <sup>3</sup>Embrapa Cerrados

**Resumo:** A remineralização de solos a partir da prática da rochagem tem sido apontada como capaz de fornecer nutrientes vegetais. A rochagem consiste na incorporação de rochas finamente moídas aos solos, mas a sua baixa solubilidade limita a liberação de nutrientes. Por isto são necessários processos que aumentem a solubilização desses minerais, como a aplicação de substâncias húmicas que promovem modificações anatômicas e bioquímicas nas plantas e especialmente ampliam a produção de ácidos orgânicos e a extrusão de  $H^+$  pelas raízes. Objetivou avaliar se a aplicação de soluções contendo substâncias húmicas altera a capacidade de absorção de nutrientes por plantas de milho (*Zea mays* L.) tratadas com pó de sienito (remineralizador). As plantas tratadas com soluções contendo substâncias húmicas apresentaram maior absorção de macronutrientes. Ainda, o uso do remineralizador resultou em menores absorções de  $Al^{3+}$  e  $Na^+$  nos tecidos vegetais.

**Palavras-chave:** sienito, ácidos húmicos, rochagem

## INTRODUÇÃO

O uso excessivo de fertilizantes químicos na produção agrícola resulta em impactos ambientais, como lixiviação de sais para lençóis freáticos causando eutrofização e aumento da salinidade do solo (VINOD et al., 2015) além de onerar drasticamente a produção agrícola, uma vez que a maioria dos fertilizantes é importada (ANDA, 2015). O uso de fontes de nutrientes com menor solubilidade, chamados de remineralizadores, como o uso de rochas finamente moídas extraídas em território nacional podem contribuir para diminuição dos custos e para melhorar os indicadores de fertilidade dos solos. Aplicações de rochas fosfatadas contendo minerais de apatitas como fontes de P, rochas basálticas visando o fornecimento de  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  e rochas silicáticas potencialmente fornecedoras de  $K^+$  já foram avaliadas (ESCOSTEGUY & KLANT, 1998; RIBEIRO et al., 2010; SOUZA et al., 2013). A importância da utilização dessas rochas é a lenta liberação dos nutrientes, o que possibilita a oferta gradativa ao solo, reduzindo as perdas por lixiviação. De outra forma, a baixa concentração de nutrientes é apontada como desvantagem, exigindo que grandes quantidades do material sejam aplicadas, especialmente em culturas de ciclo curto (VAN STRAATEN, 2006). Entretanto, uma série de trabalhos também evidenciou aumento da solubilização de nutrientes provenientes de rochas finamente moídas a partir do uso combinado de micro-organismos e materiais orgânicos em decomposição (BUSATO et al., 2012; SOUSA et al., 2013; LOPES et al., 2014). Outra

possibilidade, ainda pouco explorada, para aumentar a solubilização está associada à ação das próprias plantas no ambiente de cultivo. Isto porque alguns compostos naturais presentes nos solos, tais como as substâncias húmicas (SH), podem promover modificações anatômicas e bioquímicas nas plantas que resultam em maior absorção, assimilação e distribuição dos nutrientes, como maior exsudação de ácidos orgânicos, da atividade da enzima  $H^+$ -ATPase, incidência de sítios de mitose, alongamento da raiz principal e aumento de raízes laterais (DENRE et al., 2014; CANELLAS et al., 2015). Estas substâncias têm sido nomeadas bioestimulantes do crescimento vegetal. O objetivo desse trabalho é avaliar se a aplicação de soluções contendo ácidos húmicos (AH) altera os parâmetros biométricos e a capacidade de absorção de nutrientes nas plantas de milho (*Zea mays* L.), cultivadas num Latossolo tratado com remineralizador sienito.

## MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico - LVAd, de textura muito argilosa ( $668,7 \pm 1,6$  g  $kg^{-1}$  de argila,  $39,5 \pm 0,6$  g  $kg^{-1}$  de silte e  $292 \pm 1$  g  $kg^{-1}$  de areia). A rocha utilizada como remineralizador foi classificada como Sienito e apresenta teor de  $K_2O$  total acima de 10%, o que a classifica como ultrapotássica (FOLEY et al., 1987). Para o desenho experimental primeiro foi determinado a dose mais eficiente de AH para crescimento radicular do milho, as sementes foram colocadas para germinar em papel germitest, em câmara tipo BOD (TE-371, TECNAL, Piracicaba, São Paulo, Brasil) com temperatura, umidade e luminosidade controladas. As plântulas foram coletadas e acondicionadas em recipientes contendo soluções com 0, 20, 40, 80 e 160 mg AH  $L^{-1}$ , permanecendo em BOD por 10 dias. A área radicular das plantas foi determinada utilizando o programa de processamento de imagens ImageJ<sup>®</sup> e o número de raízes laterais foi determinado por contagem com auxílio de lupa. Para o experimento em casa de vegetação, sementes pré-germinadas na presença e ausência de AH foram transferidas para os vasos preenchidos com solo e diferentes doses do remineralizador (granulometria  $<0,150$ mm), configurando os tratamentos apresentados na Tabela 1. O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, totalizando 30 observações. Em todos os tratamentos, foi realizada adubação nitrogenada na dose de 100 kg de N  $ha^{-1}$ , empregando-se  $(NH_4)_2SO_4$  (21% de N). Nos tratamentos que receberam sementes tratadas com AH, aplicaram-se 100 mL de solução de AH com 15 e 25 dias após o plantio por vaso. Após 45 dias de cultivo, as plantas foram coletadas, para análise biométrica e química das folhas seguindo os procedimentos propostos por Embrapa (2009). Foram determinados os teores de  $K^+$ ,  $P-PO_4^{3-}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $Al^{3+}$ . Os teores nutricionais passaram pelo teste de normalidade Shapiro-Wilks e posteriormente foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA), quando significativos pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando-se o software XLSTAT 2013, obtendo-se modelos de regressão das médias observadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dose de 40 mg AH  $L^{-1}$  foi a que apresentou melhor eficiência na emergência de raízes laterais (Figura 1A). Além disso, as raízes das plantas de milho tratadas nas doses de 40 mg e

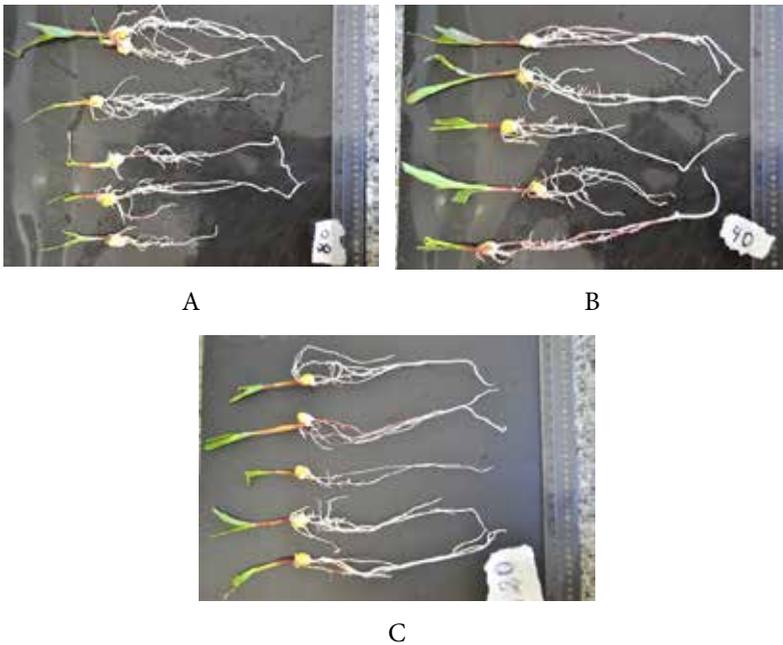
80 mg de AH (ácidos húmicos) L<sup>-1</sup> apresentaram maior área radicular, 169 e 161 cm<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 2A e 2B).

**Tabela 1** – Identificação dos tratamentos.

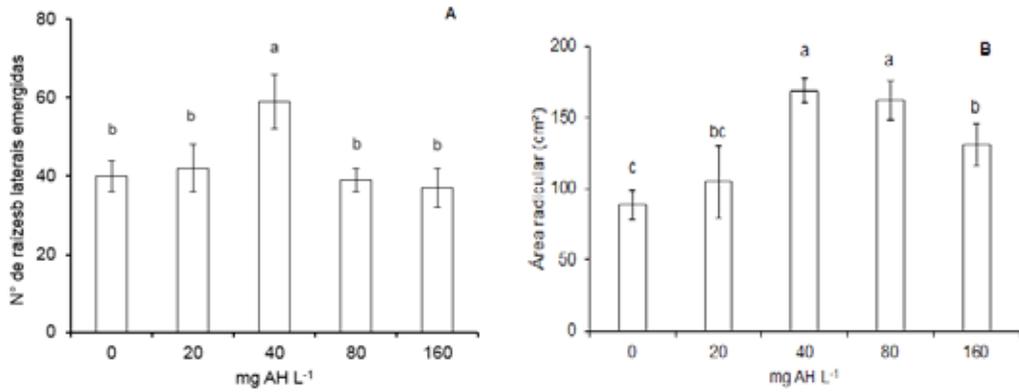
Tratamentos	Doses de remineralizador (kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> )				
	0	75	150	225	300
Rem* + Planta (RP)	0 RP	75 RP	150 RP	225 RP	300 RP
Rem + Planta + AH (RPA)	0 RPA	75 RPA	150 RPA	225 RPA	300 RPA

\* Rem = remineralizador: sienito moído.

**Figura 1** – Desenvolvimento radicular inicial de plântulas de milho na presença de ácidos húmicos. (A = 20 mg AH L<sup>-1</sup>; B = 40 mg AH L<sup>-1</sup>; C = 80 mg AH L<sup>-1</sup>).



**Figura 2** – Determinação da dose de ácidos húmicos mais eficiente para o desenvolvimento radicular inicial de plantas de milho. Letras minúsculas diferentes das barras significam médias diferentes pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



A influência de AH sobre o desenvolvimento radicular de plantas já foi demonstrada (CANELLAS et al., 2002), sendo observados aumento do número de raízes laterais, dos sítios de mitose, da área radicular e da atividade H<sup>+</sup>-ATPase em concentrações semelhantes ao observado no presente trabalho ou em 20 mg C<sub>AH</sub> L<sup>-1</sup> (ZANDONADI et al., 2007; AGUIAR et al., 2013). Porém, considerando que o teor de C em AH varia entre 40 a 60% (CANELLAS et al., 2010), pode-se considerar que as doses de 20 mg C<sub>AH</sub> L<sup>-1</sup> e 40 mg AH L<sup>-1</sup> são doses aproximadamente equivalentes e, conseqüentemente, terão efeitos similares nas raízes de milho. O efeito tipo hormonal (bioestimulante) das substâncias húmicas está associado à presença de moléculas de auxinas na estrutura química dessas substâncias (CANELLAS et al., 2002). Seus efeitos podem, assim, ter em conta a diversidade de crescimento da raiz e dos padrões da “bomba de prótons” de ativação induzida por AH. Ruck et al. (1993) descreveram um receptor que se liga à auxina na membrana plasmática, cuja H<sup>+</sup>-ATPase pode ser ativada nos protoplastos de milho. Isto é consistente com o mecanismo de crescimento ácido proposto para a bioatividade de AH, pelo qual a ativação na membrana plasmática torna as bombas de prótons no tonoplasto orquestrada juntamente com o crescimento de raízes laterais (ZANDONADI et al., 2007).

O uso do remineralizador foi associado ao aumento da altura das plantas e diâmetro de caule (Tabela 2). Além disso, possibilitou incremento nas massas frescas e secas no cultivo, sobretudo a maior concentração de K<sup>+</sup> verificado nos teores médios das plantas tratadas com maiores dosagens de remineralizador (Figura 3B). Uma vez que esse nutriente tem uma essencial importância para o crescimento inicial das plantas, por favorecer a multiplicação e o alongamento das células (TAIZ & ZEIGER, 2013). Maiores teores de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (figura 3A) nas amostras de plantas tratadas com AH podem ocorrer devido à maior atividade das enzimas ATPases, já que a presença de AH potencializa os mecanismos de “bomba de prótons” e acidificação da parede celular, além disso houve fornecimento de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> com as maiores doses de remineralizador. Maggioni et al. (1987) observaram acréscimo de 106% nos teores de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> em tecido vegetal de raízes de aveia crescida sob adição de solução contendo AH (0,2 mg C<sub>AH</sub> L<sup>-1</sup>).

Também, acréscimos na ordem de 116% nos teores de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> foram verificados em folhas de abacaxizeiro “Vitória” tratados com solução de AH (50 mg L<sup>-1</sup>) derivado de vermicomposto (BALDOTTO et al., 2010). Considerando as equações de regressão para obter os maiores teores encontrados, os acréscimos verificados foram de 7,8% para folhas de milho para as plantas tratadas com AH comparadas as plantas controle. O acúmulo maior de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> nas folhas pode

ser explicado pela alta mobilidade desse nutriente pelos tecidos vegetais (xilema), o que ocasiona o seu acúmulo em tecidos mais jovens, principalmente nas folhas (TAIZ & ZEIGER, 2013). Com a melhor absorção de  $P-PO_4^{3-}$  das plantas de milho promovida pela ação do AH, houve conseqüentemente maior acúmulo desse nutriente nas respectivas plantas desses tratamentos.

Em relação ao  $Fe^{3+}$  (Figura 3C), de maneira geral, houve diminuição dos teores com o aumento das dosagens do remineralizador. Esse nutriente está envolvido em reações redox, ou seja, está relacionado com a transferência de elétrons em componentes de enzimas, tais como os citocromos (TAIZ & ZEIGER, 2013).

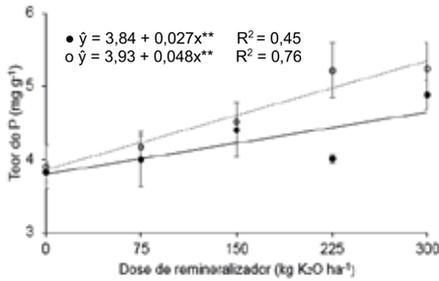
Uma das preocupações no uso de rochas como fontes de nutrientes é a alta concentrações de Al presentes na sua estrutura química (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2009). O que poderia aumentar os teores de Al e a absorção pelas plantas. Entretanto, o aumento das doses do remineralizador resultou em redução na absorção e acúmulo de  $Al^{3+}$  pelas plantas de milho avaliados (Figura 3D). Isso pode ser devido à formação de hidroxialuminossilicatos por causa da presença de minerais silicáticos procedentes da rocha, inertes na solução do solo, ficando o  $Al^{3+}$  indisponível para as plantas. A presença de AH em solução também inibe o efeito negativo de  $Al^{3+}$ . Tan & Binger (1986), estudando plantas de milho tratadas com 50 mg AH  $L^{-1}$  contaminado por Al, verificaram que a presença de AH pode ter quelatado a maior parte do Al, tornando-o inativo para a reação com  $P-PO_4^{3-}$  e mais indisponíveis para as plantas. O efeito positivo do remineralizador pode ser explorado em outros trabalhos para a diminuição da bioatividade e contaminação de  $Al^{3+}$  nos cultivos em solos tropicais. Solos que tem como característica elevada acidez potencial (EMBRAPA, 2013).

**Tabela 2** – Valores médios das alturas de plantas e diâmetro de caule das plantas dos tratamentos com diferentes doses de remineralizador (sienito em pó), na presença e ausência de ácidos húmicos, do primeiro ciclo de cultivo.

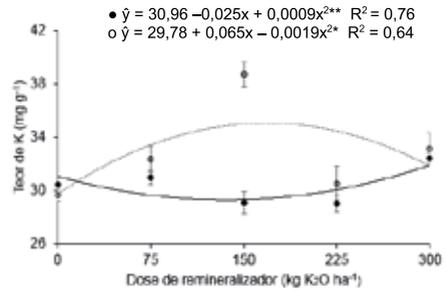
AH	Dose de remineralizador kg $K_2O$ $ha^{-1}$					Equação	R <sup>2</sup>
	0	75	150	225	300		
Altura (cm)							
S	11,3aD	16,8aC	19,0aAB	17,5bB	23,0aA	$12,73 + 0,032x^{**}$	0,72
C	11,0aD	15,7bC	18,3aAB	20,5aAB	22,5aA	$13,44 + 0,038x^{**}$	0,73
Diâmetro (mm)							
S	15,6aD	25,0aC	28,3aB	25,3bC	35,0aA	$18,06 + 0,052x^{**}$	0,50
C	10,0aD	21,7aC	29,0aB	28,0aB	34,6aA	$16,67 + 0,060x^{**}$	0,55

ns: não significativo  $p < 0,05$ ; \*significativo a  $p < 0,05$ ; \*\*significativo a  $p < 0,01$  \*S = plantas sem tratamento com AH (ácido húmico); C = plantas tratadas com AH 40 mg  $L^{-1}$ . Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha desiguais indicam médias diferentes pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

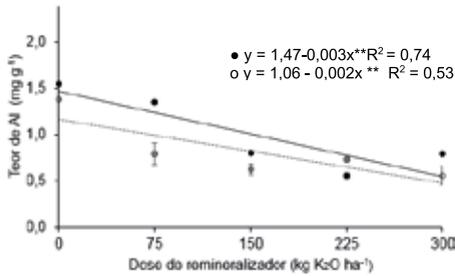
**Figura 3** – Modelos de regressão para os teores de  $P-PO_4^{3-}$  (A);  $K^+$  (B);  $Fe^{3+}$  (C) e  $Al^{3+}$  (D) das folhas de milho após 45 dias de cultivo.



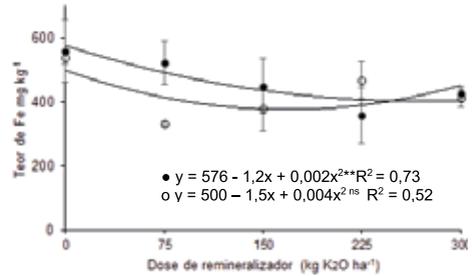
A



B



C



D

## CONCLUSÕES

De maneira geral a relação remineralizador x AH foi benéfica para as plantas de milho ao incrementar maiores teores de  $K^+$ , de  $P-PO_4^{3-}$  nas amostras em presença do AH e maiores doses de remineralizador.

Plantas tratadas com ácidos húmicos de maneira geral apresentaram teores maiores de  $K^+$  e  $P-PO_4^{3-}$  nas folhas de milho.

Ainda, a presença do remineralizador no solo reduziu a absorção de  $Al^{3+}$  e  $Na^+$  dos tecidos vegetais das plantas.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, N.O.; OLIVARES, F.L.; NOVOTNY, E.H.; DOBBSS, L.B.; BALMORI, D.M.; SANTOS-JÚNIOR, L.G.; CHAGAS, J.G.; FAÇANHA, A.R.; CANELLAS, L.P. Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. **Plant and Soil**, v. 362 p. 161–174, 2013.

ANDA. **Principais indicadores do Setor de Fertilizantes**. Disponível em: <[http://www.anda.org.br/estatistica/Principais\\_Indicadores\\_2014.pdf](http://www.anda.org.br/estatistica/Principais_Indicadores_2014.pdf)>. 2014. Acesso em 03 de Abril de 2015.

BALDOTTO, L.E.B.; BALDOTTO, M.A.; GIRO, V.B.; CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; BRESAN-SMITH, B. Performance of 'vitória' pineapple in response to humic acid application during acclimatization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 979–990, 2010

BUSATO, J.G.; LIMA, L.S.; AGUIAR, N.O.; CANELLAS L.P.; OLIVARES, F.L. Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicompost enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria. **Bioresource Technology**, v.110, p. 390–395, 2012.

CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; JONES, D.L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 15 – 27, 2015.

CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A.L.; FAÇANHA A.R. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H<sup>+</sup>-ATPase Activity in Maize Roots. **Plant Physiology**, v.130 p.1951-1957, 2002.

CANELLAS, L.P.; PICCOLO, A.; DOBBSS, L.B.; SPACCINI, R.; OLIVARES, F.L.; ZANDONADI, D.B.; FAÇANHA, A.R. Chemical composition and bioactivity properties of size-fractions separated from a vermicompost humic acid. **Chemosphere** v. 78, p. 457–466, 2010.

DENRE, M.; GHANTI, G.; SARKAR, K. Effect of humic acids application on accumulation of mineral nutrition and pungency in garlic (*Allium sativum* L.). **International Journal Biotechnology Molecular Biology Research**. v.5, p.7–12. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ªed. Centro Nacional de Pesquisa em Solos, Brasília, 2013. 353p.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.11-20, 1998.

FOLEY, S. F.; VENTURELLI, G.; GREEN, D. H.; TOSCANI, L. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. **Earth Science Reviews**, v. 24, p.81-134, 1987

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. de. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. CETEM, 2009. 655 p.

LOPES, O.M.M.; CARRILHO, E.N.V.M.; LOPES-ASSAD, M.L.R.C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38 p. 1547-1557, 2014.

MAGGIONI, A.; VARANINI, Z.; NARDI S.; PINTON, R. Action of soil humic matter on plants roots: Stimulation of ion uptake and effects on (Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>) ATPase activity. **Science of the Total Environment**, v. 62, p. 355-363, 1987.

RIBEIRO, L.S.; SANTOS, A.R.; SOUZA, L.F.S.; SOUZA, J.S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p-891-897, 2010.

RUCK, A.; PALME, K.; VENIS, M.A.; NAPIER, R.M.; FELLE, R.H. Patch-clamp analysis establishes a role for an auxin-binding protein in the auxin stimulation of plasma-membrane current in *Zea mays* protoplasts. **Plant Journal**, v.4, p. 41–46, 1993.

SOUZA, M.E.P.; CARVALHO, A.M.X.; DELIBERALI, D.C.; JUCKSH, I.; BROWN, G.G.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO I.M. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecology** n. 69 p. 56 – 60, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Artmed, Porto Alegre, 5ed. 2013 721p.

TAN, K.H.; BINGER, A. Effect of Humic Acid on Aluminum toxicity in corn plants. *Soil Science*, v. 141, p. 54-67, 1985.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.4, p.731-747, Rio de Janeiro. 2006.

VINOD, P.N.; CHANDRAMOULI, P.; KOCH, M. Estimation of nitrate leaching in Groundwater in agriculturally used area in the State Karnataka, India, Using existing Model and GIS. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1047-1053, 2015.

ZANDONADI, D.B.; CANELLAS, L.P.; FACANHA, A.R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasma lemma and tonoplast H<sup>+</sup>-pumps activation. **Planta**, v.225, p.1583-1595, 2007.