



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

SOLUBILIZAÇÃO DE PÓ DE BASALTO POR MEIO DE VINHAÇA:

VARIAÇÃO DE pH E NUTRIENTES DISPONÍVEIS

Otávio Mitsuhiro Motizuki Lopes¹; Leandro Garcia Costa¹; Maria Leonor Lopes-Assad²

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da mistura de pó de basalto e vinhaça na alteração do pH e na disponibilização de elementos importantes para nutrição mineral de plantas, visando a aplicação desses materiais na adubação de solos, contribuindo para o aproveitamento de resíduos agroindustriais e de mineração. Foram realizados três ensaios (E1, E2 e E3). Em E1 e E2 foi avaliado o efeito da agitação no pH da mistura e em E3, em ensaio sem agitação, foram avaliadas a variação de pH e a liberação de íons solúveis importantes para nutrição de plantas. Os ensaios foram realizados em bancada, em três repetições, em erlenmeyers de 125 mL. Na comparação de E1 com E2 não houve efeito da agitação e não houve variação significativa do pH de misturas de vinhaça com pó de basalto. Em E3, ao final de 180 minutos de incubação, os teores de cálcio, ferro e manganês nas misturas de vinhaça e pó de basalto apresentaram aumentos significativos. Conclui-se que misturas de vinhaça e pó de rocha podem ser alternativa no aproveitamento de resíduos de mineração e da indústria sucroalcooleira, mas são necessários estudos para avaliar o efeito em solos e plantas.

Palavras-chave: Resíduo agroindustrial; resíduo de mineração; rochagem; pó de rocha; biossolubilização.

SOLUBILIZATION BASALT POWDER BY VINASSE: VARIATION OF pH AND AVAILABLE NUTRIENTS

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the mixture of basalt powder and vinasse on changing the pH and the availability of important elements for plant mineral nutrition, aimed at application of these materials in the fertilization of soils, contributing to the utilization of agroindustrial residues and mining. Three essays were performed (E1, E2 and E3). In E1 and E2 was assessed the effect of stirring the pH of the mixture and E3, in an essay without agitation, were evaluated the variation of pH and the release of soluble ions important for plant nutrition. Essays were performed on a bench in three replications in 125 ml Erlenmeyer flasks. In comparison with E1 E2 there was no effect of stirring and no significant variation of the pH of mixtures of basalt powder with vinasse. In E3, the end of 180 minutes of incubation, the calcium, iron and manganese amounts with the mixture of basalt powder and vinasse showed significant increases. It is concluded that mixtures of vinasse and rock powder can be an alternative in the use of mining waste and the alcohol industry, but studies are needed to evaluate the effect on soils and plants.

Key words: Agro-industrial waste; mining residue; stonemeal; rock dust; biosolubilization.

Trabalho recebido em 05/06/2012 e aceito para publicação em 15/04/2013.

¹ Engenheiros Agrônomos – Mestrandos em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Anhanguera, km 174, CEP 13600-970 Araras, SP. e-mail: otaviomlopes@gmail.com; legarcosta@gmail.com. Bolsista da CAPES.

² Engenheira Agrônoma – Professora Associada, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Anhanguera, km 174, CEP 13600-970 Araras, SP. e-mail: assad@cca.ufscar.br. Bolsista PDTEI do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

A grande demanda por fertilizantes, associada à insuficiente produção interna de matéria-prima e à forte oscilação nos preços do petróleo, incide sobre os custos de produção e confere fragilidade à agricultura nacional. Neste sentido, pesquisas têm sido desenvolvidas com fontes alternativas de fertilizantes. Uma metodologia, que requer pouco investimento energético, consiste na moagem de rochas, resultando no chamado pó de rocha.

A rochagem tem sido proposta como alternativa que proporciona liberação lenta de nutrientes para solos altamente intemperizados, nos quais fertilizantes solúveis podem ser facilmente removidos (LEONARDOS *et al.*, 1987; CORONEOS *et al.*, 1995; GILLMAN *et al.*, 2002). A maioria das reações de dissolução de minerais no solo são dependentes do pH, do potencial de oxi-redução, da composição da solução do solo e da temperatura (HARLEY & GILKES, 2000). Ácidos orgânicos liberados pelas raízes e a microbiota da rizosfera também podem afetar as taxas de dissolução de minerais silicatados (DREVER & STILLINGS, 1997).

Algumas rochas silicáticas, quando moídas e utilizadas de maneira análoga ao calcário, mostraram significativa liberação de potássio (K) em testes de laboratório, em solos incubados e em cultivos controlados (CASTRO *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2006). Em alguns casos, além do K, as rochas forneceram

outros nutrientes e apresentaram efeito alcalinizante (RESENDE *et al.*, 2005; MACHADO *et al.*, 2005; MOREIRA *et al.*, 2006; BARBOSA FILHO *et al.*, 2006), provavelmente em função do íon silicato, que pode atuar como receptor de prótons, tal como o carbonato presente nos calcários. Anda *et al.* (2009), utilizando diferentes doses de basalto finamente moído (<250 µm) em um Oxisol da Indonésia cultivado com cacau (*Theobroma cacao* L.) em estufa por 15 meses, observaram um aumento do pH do solo com aumento de doses de basalto. Por outro lado, Escosteguy e Klamt (1998) constataram pequena liberação de nutrientes a partir de pó de rochas e indicaram que estes materiais não podem ser usados como principal fonte de nutrientes para plantas cultivadas. Bolland e Baker (2000), utilizando pó de granito em solos arenosos do oeste da Austrália, também concluíram que este não tinha valor como fertilizante.

Os processos de liberação dos nutrientes do pó de rocha para a solução do solo, na forma adequada para serem absorvidos pelas plantas, são relativamente lentos e incompatíveis com a demanda de culturas anuais. Resultados promissores têm sido obtidos em ensaios com microrganismos capazes de promover a solubilização de minerais formadores das rochas, por meio de ácidos produzidos pela atividade biológica (ALONSO *et al.*, 2008; BASAK & BISWAS, 2010; LAMBERS *et al.*, 2009; OUAHMANE *et al.*, 2009;

SCHNEIDER *et al.*, 2010; VASSILEVA *et al.*, 2010). Entretanto, a ausência de tecnologias apropriadas para manipulação de microrganismos solubilizadores de pó de rocha pode dificultar o uso da rochagem em sistemas agrícolas.

A vinhaça, resíduo produzido em grande quantidade pelo setor sucroalcooleiro, apresenta pH ácido e seu constituinte principal é matéria orgânica (de 0,38% a 6,34%), sob a forma de ácidos orgânicos (SILVA *et al.*, 2007). Trata-se de material com cerca de 2 a 6% de constituintes sólidos, com grande quantidade de potássio e teores médios de cálcio e magnésio (ROSSETTO, 1987). O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e atualmente são produzidos em média entre 12 e 15 litros de vinhaça por litro de álcool (MARQUES, 2006).

Atualmente, praticamente toda a vinhaça gerada no processo de produção de álcool é reutilizada na agricultura como biofertilizante. A aplicação de vinhaça no solo pode proporcionar elevação de pH, aumento da capacidade de troca catiônica e da disponibilidade de alguns nutrientes, e melhoria no desenvolvimento da microfauna e microflora do solo (BRITO *et al.*, 2009). Quando são aplicadas quantidades elevadas, pode ocorrer desagregação das partículas do solo dificultando a infiltração, gerando escoamento superficial e contaminação das águas superficiais (SILVA *et al.*, 2007). Além

disso, estudos apontam que a vinhaça é uma importante fonte de gases de efeito estufa (GEE). Oliveira (2010), a partir de dados empíricos, estimou que a fertirrigação com 200 m ha⁻¹ de vinhaça resultou na emissão de 439,9 e 489,1 kg de CO₂ equivalente, respectivamente para cana crua e cana queimada.

Com a implantação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, por meio da Lei Federal nº 12.305/10 (BRASIL, 2010), a indústria sucroalcooleira e a de mineração, bem como todo setor produtivo, deverão estruturar e implantar mecanismos de lógica reversa para os resíduos sólidos, como os resíduos agroindustriais e de mineração. Assim, misturas de vinhaça com pó de rocha podem constituir alternativa para o aproveitamento de resíduos de mineração e da indústria sucroalcooleira, contribuindo para minimizar seus possíveis impactos no ambiente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da mistura de pó de basalto e vinhaça na alteração do pH e na disponibilização de elementos importantes para nutrição mineral de plantas, visando a possível aplicação desses materiais na adubação de solos, contribuindo para o aproveitamento de resíduos agroindustriais e de mineração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três ensaios no Laboratório de Análise Química de Solos e Planta do Centro de Ciências Agrárias da

Universidade Federal de São Carlos, no período de agosto a outubro de 2010. A vinhaça, proveniente de mosto de melão, foi obtida na Usina Santa Lúcia, em Araras (SP), e mantida congelada até sua utilização. O pó de basalto foi coletado em uma pedreira do município de Cordeirópolis (SP). O material rochoso dessa mineradora foi classificado geologicamente como um latíandesito e possui quantidades medianas de sílica (SiO_2) (Tabela 1). O material disponibilizado pela mineradora apresentava granulometria inferior a 0,3 mm e no laboratório foi passado em peneira para obtenção de material com granulometria inferior a 0,05 mm.

Nos dois primeiros ensaios foi avaliado o efeito da agitação no pH da mistura e no terceiro, em ensaio sem agitação, foram avaliadas a variação de pH e a liberação de íons solúveis importantes para nutrição de plantas. Assim, em erlenmeyers de 125 mL, foram feitos os seguintes tratamentos: T0 = 1 g de pó de rocha + 100 mL de água destilada; T1 = 1 g de pó de rocha + 100 mL de vinhaça; e T2 = 2,0 g de pó de rocha + 100 mL de vinhaça. As misturas de vinhaça e pó de rocha corresponderam às proporções em campo de 2 t de pó de rocha/200 m³ de vinhaça (T1) e 2 t de pó de rocha/100 m³ de vinhaça (T2). Os controles foram 100 mL de água destilada (C1) e 100 mL de vinhaça (C2).

Inicialmente foi feito o ensaio sem agitação (ensaio 1) e, em seguida, com agitação

em mesa agitadora com 140 rpm (ensaio 2). Todos os tratamentos e controles foram feitos em três repetições e a medição do pH foi feita por meio de pHmetro digital. O pH das amostras do ensaio 1 (sem agitação) foi medido nos tempos 0,15; 0,25; 0,5; uma; duas; três; quatro; cinco; 24 e 96 horas. Em função dos resultados obtidos no ensaio 1, os tempos de medida no ensaio 2 (com agitação) foram 0,15; 0,25; 0,5; uma; duas; três e quatro horas.

Em função dos resultados obtidos nos dois primeiros ensaios, o terceiro ensaio (ensaio 3) foi conduzido sem agitação da mistura. Foram usadas doses de vinhaça e de água destilada equivalentes a 50, 100, 150 e 285 m³ ha⁻¹. A dose de pó de basalto, em granulometria menor ou igual a 0,05 mm, foi equivalente a 2 t ha⁻¹. Assim, em erlenmeyers de 125 mL, foram feitas as seguintes misturas: T1 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T2 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T3 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T4 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T5 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T6 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T7 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de água destilada; T8 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T9 = 100 mL de água destilada; e T10 = 100 mL de vinhaça. Todos os tratamentos foram em três repetições, com frascos fechados com papel alumínio. Foram feitas medições de pH aos 5, 60, 120 e 180 minutos após o início da mistura. Ao final de 180 minutos de incubação foram determinados

os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) solúveis em alíquotas da fase líquida.

Todos os tratamentos foram feitos em três repetições e o delineamento adotado em todos os quatro ensaios foi em parcelas subdivididas, onde as parcelas correspondiam aos tratamentos, os blocos correspondiam às repetições e as subparcelas correspondiam aos tempos, nos ensaios 1 e 2, e aos teores de elementos solúveis na fase líquida das misturas, no ensaio 3. Em todos os ensaios, foram calculados a média e o desvio padrão e foi realizada a análise de variância, aplicando-se o Teste de Tukey, em comparações múltiplas, com significância de 5% para todos os tratamentos. Nos ensaios 1 e 2 foram estabelecidas curvas de tendência com ajuste polinomial.

O pH foi determinado potenciométricamente por meio de pHmetro digital. As extrações de Ca, Mg, K foram feitas por meio de resina trocadora de íons e as extrações de Fe, Cu, Zn e Mn foram feitas com ácido deitilenotriaminopentacético (DTPA). O Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn trocáveis foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o K trocável por fotometria de emissão por chama. Todas as análises foram feitas conforme Rajj *et al.* (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição de rochas varia muito de uma localidade a outra, o que dificulta a generalização de resultados em ensaios com pó de rocha. Escosteguy e Klamt (1988) afirmam, por exemplo, que diversos trabalhos apontam que rochas basálticas proporcionaram melhoria da fertilidade de solos, embora não tenham alcançado resultados promissores com pó de basalto microcristalino e com pó de uma olivina-basalto em ensaios de campo no Rio Grande do Sul. No presente trabalho, o pó de rocha utilizado foi genericamente denominado de basalto, que é o termo mais empregado nas mineradoras da região de Araras. Entretanto, termos geológicos, e considerando a composição química do pó de rocha (Tabela 1), a classificação seria um latíandesito, conforme apontam Machado *et al.* (2005), que estudando corpos intrusivos na região, observaram materiais de composição semelhante ocorrendo na forma de *sill*.

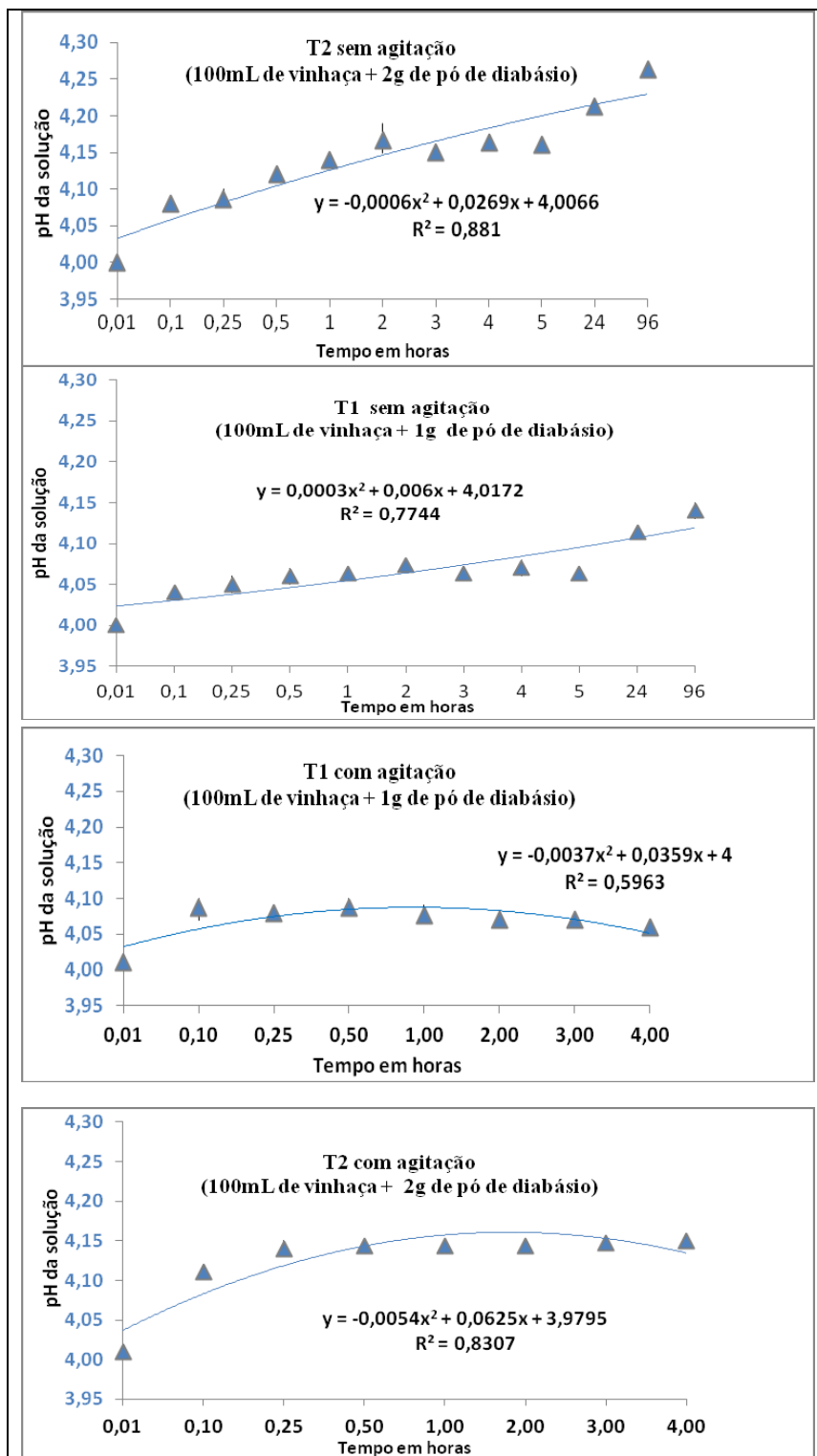


Figura 1. pH em ensaios de pó de basalto com vinhaça, sem e com agitação. (▲ média de três repetições; | indica desvio padrão).

Tabela 1. Caracterização química do pó de basalto e da vinhaça utilizados nos ensaios de solubilização.

Basalto ¹							
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
%							
50,31	1,02	13,94	12,62	6,91	10,16	2,24	0,84
Vinhaça ²							
pH	Ca		Mg		K		
mmol _c .dm ⁻³							
4,0	2,1		0,65		6,4		

¹Análise química fornecida pela Acme Analytical Laboratories LTD.² Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Campus de Araras.

Avaliação do efeito da agitação no pH da mistura

Kämpf *et al.* (2009) assinalam que as alterações de minerais dependem de sua natureza, dos reagentes envolvidos (composição, pH, concentração) e de condições que controlam o equilíbrio no sistema (temperatura, pressão etc). Assim, uma das alternativas para solubilizar minerais contidos em pó de rocha é modificar o pH da solução. A alteração se dá principalmente por hidrólise, reação

química entre íons H⁺ e OH⁻ (provenientes da dissociação de água). Ao longo do tempo de incubação, de 96 horas para o ensaio sem agitação, e de 4 horas no ensaio com agitação, houve ligeira variação do pH (Figura 1), sem que se possa afirmar que houve estabilização da acidez. Em T1 e T2 (Tabelas 2 e 3), o pH manteve-se em torno de 4, confirmando o forte poder tampão da vinhaça, e foi sempre inferior ao tratamento com água (T0).

Tabela 2 - Valores de pH obtidos em incubação de basalto + vinhaça, sem agitação (T0=1,0 g pó+100mL água destilada, T1=1,0 g pó+100 mL vinhaça, T2=2,0 g pó+100 mL vinhaça, C1 = 100 mL de água destilada e C2 = 100 mL de vinhaça).

Tempo	Tratamentos					Médias
	T 0	T1	T2	C1	C2	
Sem agitação						
0,15 hora	9,25 aDE	4,04 cdB	4,08 cE	6,58bA	4,00 dA	5,59 C
0,25 hora	9,25 aDE	4,05 cdB	4,09 cDE	6,58 bA	3,99 dA	5,59 C
0,5 hora	9,28 aCD	4,06 cB	4,12 cCD	6,54 bBC	3,99 dA	5,60 BC
1 hora	9,35 aA	4,06 dB	4,14 cBC	6,57 bAB	3,97 eAB	5,62 A
2 horas	9,34 aAB	4,07 dB	4,17 cB	6,53 bC	3,97 eAB	5,62 AB
3 horas	9,3 aBC	4,06 dB	4,15 cBC	6,54 bBC	3,95 eB	5,6 ABC
4 horas	9,27 aCD	4,07 dB	4,16 cB	6,54 bBC	3,95 eB	5,6 BC
5 horas	9,23 aE	4,07 dB	4,16 cB	6,52 bC	3,95 eB	5,58 C
24 horas	8,99 aG	4,11 dC	4,21 cF	5,98 bE	3,95 eC	5,45 E
96 horas	8,52 aF	4,14 dA	4,26 cA	5,97 bD	3,95 eB	5,37 D
Médias	9,18 a	4,07 d	4,15 c	6,44 b	3,97 e	

Letras minúsculas iguais na horizontal e letras maiúsculas iguais na vertical indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste de Tukey.

No ensaio sem agitação (Tabela 2), o aumento da quantidade de pó promoveu ligeira modificação na variação do pH ao longo de 96 horas de incubação (0,10 em T1 e 0,18 em T2). A diferença entre doses aplicadas foi significativa a partir de meia hora de incubação. No ensaio com agitação (Tabela 3), o pH de T1 e T2 não

apresentou diferença significativa ao longo do tempo e a diferença entre doses aplicadas só foi significativa com 4 horas de incubação. Assim, agitar as soluções a 140 rpm não produziu efeitos significativos na alteração do pH.

Tabela 3 - Valores de pH medidos em ensaios de incubação de basalto + vinhaça, com agitação (T0=1,0 g pó+100mL água destilada, T1=1,0 g pó+100 mL vinhaça, T2=2,0 g pó+100 mL vinhaça, C1 = 100 mL de água destilada e C2 = 100 mL de vinhaça).

Tempo	Tratamentos					Médias
	T0	T1	T2	C1	C2	
Com agitação						
0,15 hora	8,47 aB	4,09 cdA	4,11 cA	5,74 bA	4,01 dA	5,28 AB
0,25 hora	8,56 aA	4,08 cdA	4,14 cA	5,75 bA	4,01 dA	5,31 A
0,5 hora	8,51 aAB	4,09 cA	4,14 cA	5,75 bA	3,99 dA	5,30 A
1 hora	8,3 aC	4,08 cA	4,14 cA	5,77 bA	3,98 dA	5,25 BC
2 horas	8,27 aC	4,07 cA	4,14 cA	5,77 bA	3,96 dA	5,24 C
3 horas	8,00 aD	4,07 cA	4,15 cA	5,77 bA	3,97 dA	5,19 D
4 horas	8,01 aD	4,06 dA	4,15 cA	5,76 bA	3,97 eA	5,19 D
Médias	8,3 a	4,08 d	4,14 c	5,76 b	3,98 e	

Letras minúsculas iguais na horizontal e letras maiúsculas iguais na vertical indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste de Tukey.

Destaca-se que na rochagem são utilizadas, em geral, pó de rochas silicáticas (ricas em silicatos), nas quais as reações de alteração tendem a ser predominantemente incongruentes. Isto é, na dissolução do mineral, os elementos não são liberados na solução na mesma proporção estequiométrica da sua composição inicial ou parte dos produtos liberados precipita e forma novo mineral (KÄMPF *et al.*, 2009). A vinhaça possui pH ácido (em torno de 4) e elevado poder tampão. Ao promover a alteração de minerais contidos no pó de basalto, promove a liberação de cátions solúveis.

Assim, a utilização de vinhaça pode

ser promissora, pois a manutenção do pH ácido promoveria a alteração e possivelmente a liberação de fases minerais neoformadas e cátions solúveis. O uso de vinhaça e pó de rocha, além de vantagens econômicas, pode contribuir para o aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira e da mineração. Mas são necessários estudos mais aprofundados para avaliar o comportamento dessas misturas no solo, a eficiência do processo e os riscos de contaminação devido à liberação de elementos em quantidades que possam ser tóxicas aos organismos (macro e micro) e ao ambiente.

Avaliação da disponibilização de nutrientes

Na primeira hora de incubação, houve ligeira queda no valor de pH nos ensaios de pó de rocha e vinhaça e aumento no pH de misturas de pó de basalto e água destilada (Tabela 4). Em ensaios de campo, Resende *et al.* (2006) também observaram aumento no pH de solo argiloso que recebeu doses de pó de rocha ultramáfica alcalina. Na média, não foram observados efeitos significativos no pH das misturas em função de doses de pó de basalto, tendo ocorrido variação significativa apenas para a dose equivalente a $285 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Tabela 4).

Os tratamentos com água destilada (T5 a T8) apresentaram pH alcalino e crescente, tanto em função do tempo (principalmente em T5 e T6) quanto em função da dose (médias dos quatro tratamentos). Esta diferença de pH em relação aos tratamentos com vinhaça confirma o alto poder tampão desta, em função de sua elevada carga de material orgânico. Por outro lado, o aumento de pH nas misturas de pó de rocha com água, em relação ao controle feito com água (Tabela 4) confirma que a alteração de minerais contidos no pó de basalto promove a liberação de cátions alcalinizantes.

Tabela 4 – Valores de pH medidos em misturas de pó de basalto com vinhaça e com água destilada, durante 180 minutos de incubação.

Tratamento	pH				
	5 min	60 min	120 min	180 min	Média
T1	4,32fA	4,26fgB	4,24eB	4,24ghB	4,27g
T2	4,32fA	4,28fgA	4,28eA	4,28ghA	4,29g
T3	4,36efA	4,32fAB	4,32eB	4,31gB	4,33g
T4	4,45eA	4,44eA	4,44dA	4,46fA	4,45f
T5	8,33cD	8,47cC	8,78bA	8,66dB	8,56d
T6	8,60bD	8,69bC	8,83bB	8,89cA	8,75c
T7	8,84aB	9,03aA	9,04aA	9,05bA	8,99b
T8	8,88aC	9,10aB	9,12aB	9,35aA	9,11a
T9	6,63dA	6,64dA	6,63cA	6,63eA	6,63e
T10	4,34fA	4,21gB	4,21eB	4,19hB	4,24g

Letras minúsculas iguais na horizontal e letras maiúsculas iguais na vertical indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Tukey. (T1 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T2 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T3 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T4 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T5 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T6 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T7 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de água destilada; T8 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T9 = 100 mL de água destilada; e T10 = 100 mL de vinhaça).

Apesar das misturas de vinhaça e pó de basalto terem apresentado pH ácido (inferior a 4,5), o efeito na solubilização de elementos pode ser considerado pequeno (Tabela 5). Os teores de Ca, Mg, Cu e Zn, ao final de 3 horas de incubação, não apresentaram diferença significativa na comparação dos controles (vinhaça pura e água destilada) com misturas de vinhaça com água destilada.

Por outro lado, os teores de K, Fe e Mn nas misturas de vinhaça e pó de basalto apresentaram aumentos significativos, quando comparados com o controle de vinhaça. Na comparação com os tratamentos com água destilada, a solubilização desses elementos também foi

significativamente superior. Além disso, houve efeito positivo da dose de pó de rocha na solubilização de Fe e Mn, nas misturas de pó de basalto e vinhaça. Com relação ao K, o efeito foi variável, mas significativamente diferente do controle com vinhaça pura. Na maior dose testada ($285 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), o teor de Mn foi mais de três vezes superior e o teor de Fe praticamente dobrou (Tabela 5), quando comparados com o conteúdo desses elementos na vinhaça, indicando que houve solubilização.

Tabela 5 – Teores de nutrientes ao final de 180 minutos de incubação de diferentes doses de pó de basalto com vinhaça (T1 a T4) e com água destilada (T5 a T8).

Tratamento	Macronutriente (mg dm^{-3})			Micronutriente (mmol/dm^3)			
	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
T1	7,96a	2,18a	0,78a	0,03a	38,34c	6,49cd	0,53a
T2	7,23b	1,98a	0,7a	0,02a	39,32c	7,32bc	0,49a
T3	7,18b	1,99a	0,68a	0,01a	44,73b	9,51b	0,53a
T4	8,11a	2,33a	0,76a	0,03a	49,16a	15,14a	0,73a
T5	0,13a	0,42a	0,08a	0,04a	0,82f	0,07e	0a
T6	0,13a	0,39a	0,1a	0,02a	1,27f	0,07e	0a
T7	0,27a	0,34a	0,08a	0,01a	1,76f	0,07e	0a
T8	0,67a	0,75a	0,09a	0,02a	5,89e	0,07e	0a
T9	0a	0,02a	0,06a	0a	0f	0e	0a
T10	6,4c	2,1a	0,65a	0,03a	25,05d	4,16d	0,49a

Letras minúsculas iguais na horizontal indicam que não há diferença significativa no nível de 5% pelo Teste Tukey. (T1 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T2 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T3 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T4 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T5 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T6 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T7 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de água destilada; T8 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T9 = 100 mL de água destilada; e T10 = 100 mL de vinhaça).

Em ensaios de 30 dias de incubação, Lopes *et al.* (2011) verificaram que houve variação dos teores dos diferentes nutrientes liberados nos tratamentos com vinhaça e pó de basalto em comparação com vinhaça pura. Portanto, o tempo de incubação de apenas 3 horas pode ser considerado insuficiente para alterar minerais contidos em pó de rocha, mesmo com a relativa estabilização do pH das misturas.

Misturas de vinhaça com pó de rocha podem constituir alternativa para o aproveitamento de resíduos de mineração e da indústria sucroalcooleira. Com a implantação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, por meio da Lei Federal nº 12.305/10, o setor produtivo deve estruturar e implantar mecanismos de lógica reversa para os resíduos sólidos, neles incluídos os resíduos agroindustriais e de mineração. Assim, e tomando-se, por exemplo, o conteúdo de K e Cu nas misturas de pó de rocha e vinhaça, têm-se duas situações distintas. A vinhaça, utilizada regularmente como fonte de K na produção de cana de açúcar, não proporciona aumento significativo do teor de K quando misturada ao pó de basalto (Tabelas 5 e 6). Estima-se inclusive que proporcionaria uma diminuição de cerca de 10% na quantidade a ser aplicada. Isto pode estar relacionado ao baixo conteúdo de minerais portadores de K no pó de

basalto utilizado (Tabela 1). Por outro lado, os teores de Cu permanecem inalterados após 3 horas de incubação, tanto na vinhaça pura quanto nas misturas com doses crescentes de pó de basalto.

De todo modo, pesquisas são necessárias para avaliar o efeito dessas misturas no solo e na nutrição mineral de plantas cultivadas, bem como para definir tecnologias que possibilitem a obtenção de quantidades adequadas de nutrientes.

Tabela 6 – Diferença de teores de nutrientes medidos em vinhaça pura e em misturas de vinhaça tratadas com diferentes doses de pó de rocha após 180 minutos de incubação.

Tratamento	Macronutriente (mg dm ⁻³)				Micronutriente (mmol _e /dm ³)		
	ΔK	ΔCa	ΔMg	ΔCu	ΔFe	ΔMn	ΔZn
T1	1,56	0,08	0,13	0	13,29	2,33	0,04
T2	0,83	- 0,12	0,05	- 0,01	14,27	3,16	0
T3	0,78	- 0,11	0,03	- 0,02	19,68	5,35	0,04
T4	1,71	0,23	0,11	0	24,11	10,98	0,24

T1 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T2 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T3 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T4 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de vinhaça; T5 = 0,7 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T6 = 1,3 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T7 = 2,0 g pó de basalto + 100 mL de água destilada; T8 = 4 g de pó de basalto + 100 mL de água destilada; T9 = 100 mL de água destilada; e T10 = 100 mL de vinhaça.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As misturas de pó de basalto e vinhaça mantiveram o pH em torno de 4, devido ao elevado poder tampão da vinhaça. Ao promover a alteração de minerais contidos no pó de basalto, ocorreu liberação de cátions solúveis. Assim, a utilização de vinhaça pode ser promissora, pois a manutenção do pH ácido promoveria a alteração e possivelmente a liberação de fases minerais neoformadas e cátions solúveis. O uso de vinhaça e pó de rocha, além de vantagens econômicas, pode contribuir para o aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira e da mineração. Mas são necessários estudos mais aprofundados para avaliar o comportamento dessas misturas no solo, a eficiência do processo e os riscos de contaminação devido à liberação de

elementos em quantidades que possam ser tóxicas aos organismos (macro e micro) e ao ambiente.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de Bolsas e à FINEP pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ALONSO, L.M.; KLEINER, D.; ORTEGA, E. Spores of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* host yeasts that solubilize phosphate and accumulate polyphosphates. **Mycorrhiza**, Alemanha, v. 18, n. 4, p. 197-204, 2008.
- ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C.I.; OMAR, S.R.S.

- Dissolution of ground basalt and its effect on oxisol chemical properties and cocoa growth. **Soil Science**, Estados Unidos, v. 174, n. 5, p. 264-271, 2009.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SANTOS, D.F.; COUTO, P.A. Aplicação de rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 63-84, 2006.
- BASAK, B.B.; BISWAS, D.R. Co-inoculation of potassium-solubilizing and nitrogen-fixing bacteria on solubilization of waste mica and their effect on growth promotion and nutrient acquisition by a forage crop. **Biology and Fertility of Soils**, Alemanha, v. 46, n. 6, p. 641-648, 2010.
- BOLLAND, M.D.A.; BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Holanda, v. 56, n. 1, p. 59-68, 2000.
- BRASIL – PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei nº 12.305. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 1 ago. 2012.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. R. M. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p.456-462, 2009.
- CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; MOREIRA, A.; SALINET, L.H.; VERONESI, C.O. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 9, n. 2, 179-193, 2006.
- CORONEOS, C.; HINSINGER, P.; GILKES, R.J. Granite powder as a source of potassium for plants: A glasshouse bioassay comparing two pasture species. **Fertilizer Research**, Holanda, v. 45, n. 2, p. 143-152, 1995.
- DREVER, J.I.; STILLINGS, L.L. The role of organic acids in mineral weathering. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Holanda, 120, n. 1-3, p. 167-181, 1997.
- ESCOSTEGUY, P.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 11-20, 1998.
- GILLMAN, G.P.; BURKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. **Applied Geochemistry**, Holanda, v. 17, n. 8, p. 987-1001, 2002.
- HARLEY, A.D.; GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Holanda, v.56, n. 1, p. 11–36, 2000.
- KÄMPF, N; CURI, N; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**, v. 1. Viçosa: SBCS, 2009. Cap. 5, p. 333-379.
- LAMBERS, H.; MOUGEL, C.; JAILLARD, B.; HINSINGER, P. Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. **Plant and Soil**, Holanda, v. 321, n. 1-2, p. 83-115, 2009.