



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE NUTRIENTES NO
CONTEXTO DA AGROECOLOGIA**

JULIANA ANDRÉIA VRBA BRANDÃO

**Araras
2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CONTEXTO DA
AGROECOLOGIA**

JULIANA ANDRÉIA VRBA BRANDÃO

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD

CO-ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. SANDRA REGINA CECCATO-ANTONINI

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia e
Desenvolvimento Rural como requisito
parcial à obtenção do título de
**MESTRE EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL**

Araras

2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B817pr

Brandão, Juliana Andréia Vrba.

Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia / Juliana Andréia Vrba Brandão. -- São Carlos : UFSCar, 2013.

83 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Solos - fertilidade. 2. Pó de basalto. 3. Pó de fonolito. 4. *Aspergillus niger*. 5. Rochagem. I. Título.

CDD: 631.422 (20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DE

JULIANA ANDREA VRBA BRANDÃO

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS, *EM 29 DE JUNHO DE 2012.*

BANCA EXAMINADORA:



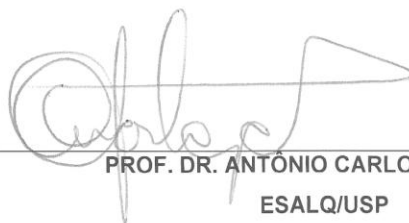
PROFA. DRA. MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD

ORIENTADORA
PPGADR/UFSCar



PROFA. DRA. ANASTÁCIA FONTANETTI

PPGADR/UFSCar



PROF. DR. ANTÔNIO CARLOS AZEVEDO

ESALQ/USP

*“A percepção do desconhecido é a
mais fascinante das experiências.
O homem que não tem os olhos
abertos para o misterioso passará
pela vida sem ver nada.”*
Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar forças para a realização desse trabalho.

Aos meus pais Paulo e Sandra, pelo apoio, carinho e compreensão.

À Prof^a Maria Leonor Lopes Assad, do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) pela orientação e à Prof^a Sandra Regina Ceccato Antonini, do Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Sócio Economia Rural pela co-orientação.

Ao Prof. José Carlos Casagrande, à Larissa Pastorello e aos técnicos João Luiz Consonni e José Campanha, do Laboratório de Análises Químicas de Solos e Planta, pelas análises laboratoriais.

Ao Prof. Norberto Antonio Lavorenti e ao Prof. Castilho, pela ajuda com a análise estatística.

Aos Professores José Geanini Peres e Márcio Roberto Soares, do DRNPA e Fernando Sala do Departamento de Biotecnologia e Produção Animal e Vegetal, pelo apoio e auxílio.

Ao Sr. José Paulo, da Pedreira Remanso, pelo fornecimento de pó de basalto, ao Sr. Rafael Curimbaba Ferreira, do Grupo Curimbaba, pelo fornecimento de pó de fonolito e ao Sr. Belém, da Usina Santa Lúcia, pelo fornecimento da vinhaça, pelo material contribuído para a pesquisa.

À Prof^a Márcia Maria Rosa Magri, à Ana Paula Bassi, aos técnicos Afra Vital, Lúcia Picollo Silva e Ângelo Cerantola do Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM) e Sílvia do Laboratório de Análise e Simulação Tecnológica (LAST), por toda a colaboração.

Aos técnicos Ernesto V. Favetta, Salassiel A. dos Santos, Irson R. Rossi, José Roberto S. Andrade e Rubens Olívio do DRNPA, ao Sr. Irineu Paiva, da Prefeitura do Campus de Ciências Agrárias e ao Sr. Gilberto Cioffi, do Setor Agrícola, pelo auxílio.

À Larissa, à Mariana, ao Leandro, ao Otávio e ao Gabriel, pelo auxílio.

À Isabel Blasco, Renata Aguiar e Renata Malvestiti, pelo apoio, carinho, desabafos e conselhos.

Ao Ricardo Coelho e ao João pelos conselhos e auxílio.

Aos amigos João Eduardo, João Henrique, Túlio, Pedro, Cláudio, Sheik, Schneider, Vagner, Fábio, Tiago, Paulo Lopes, Paulo e Artur e às amigas Renata, Lisa, Cinara, Mariane, Flávia, Daiane, Keila, Magali, Nádia e Suzana pela amizade, apoio e convivência.

À Cláudia Junqueira, secretária do PPGADR, por todo o auxílio.

Aos amigos do IDE, pelo apoio, carinho, desabafos e conselhos.

Ao CNPq pela Bolsa e à Finep pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1. PÓ DE ROCHA: ALTERNATIVA AGROECOLÓGICA	
1.1 Um pouco de história	4
1.2 Agricultura e o uso de fertilizantes	6
1.3 Pó de rocha como fertilizante alternativo	9
1.4 Características mineralógicas de pós de rocha	12
1.5 Processo de biossolubilização	14
1.6 O fungo <i>Aspergillus niger</i>	16
1.7 Referências bibliográficas	17
CAPÍTULO 2. EFEITO DE VINHAÇA COMO MEIO DE CULTURA DE <i>Aspergillus niger</i> NA BISSOLUBILIZAÇÃO <i>IN VITRO</i> DE PÓ DE ROCHA	
Resumo.....	23
2.1 Introdução.....	24
2.2 Metodologia.....	26
2.3 Resultados e Discussão.....	28
2.4 Conclusões.....	41
2.5 Agradecimentos.....	41
2.6 Referências bibliográficas.....	41
CAPÍTULO 3. SOLUBILIZAÇÃO DE PÓS DE BASALTO E DE FONOLITO POR FUNGO FILAMENTOSO	
Resumo.....	44
3.1 Introdução.....	45
3.2 Materiais e Métodos.....	47
3.3 Resultados e Discussão.....	49
3.4 Conclusões.....	54

3.5 Agradecimentos.....	55
3.6 Referências bibliográficas.....	55
CAPÍTULO 4. EFEITO DE VERMICOMPOSTAGEM E PÓ DE BASALTO NA PRODUÇÃO DE ABOBRINHA ITALIANA	
Resumo.....	59
4.1 Introdução.....	60
4.2 Materiais e Métodos.....	63
4.3 Resultados e Discussão.....	67
4.4 Conclusões.....	70
4.5 Agradecimentos.....	70
4.6 Referências bibliográficas.....	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
ANEXOS	
Anexo 1 Análise de variância para os ensaios de solubilização durante 35 dias de incubação de <i>Aspergillus niger</i> com vinhaça e pó de basalto	75
Anexo 2 Análise de variância para os dois ensaios de solubilização durante 30 dias de incubação de <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura com pó de basalto e pó de fonolito.....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Principais empresas produtoras de fertilizantes no Brasil.....	9
Tabela 2. Alguns tipos de rochas e minerais como fonte de nutrientes..	10

Capítulo 2

Tabela 1. Caracterização química do pó de basalto e da vinhaça utilizados nos ensaios de solubilização	27
Tabela 2. Valores médios de pH e de teores de C, Ca, Mg, K, Zn, Cu, Fe e Mn solúveis em dois ensaios de incubação de vinhaça com pó de rocha e <i>Aspergillus niger</i> ao final de 35 dias.....	30

Capítulo 3

Tabela 1. Caracterização química dos pós de fonolito e de basalto	48
---	----

Capítulo 4

Tabela 1. Umidade, teores de nutrientes e pH em vermicomposto produzido com e sem adição do pó de basalto	65
Tabela 2. Características químicas do Latossolo Vermelho Distroférico típico utilizado no experimento com abobrinha italiana (<i>Cucurbita pepo</i>)	66
Tabela 3. Peso fresco de frutos de abobrinha (<i>Cucurbita pepo</i>) obtidos em ensaios de avaliação de efeito de vermicompostagem e pó de basalto. (T1 – vermicomposto + pó de basalto; T2 – vermicomposto; T3 – pó de basalto; T4- adubação convencional; e T5 – sem adubação)	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 2	
Figura 1. Tratamentos em triplicatas após sete dias de incubação: a) pó de basalto + vinhaça (PV); b) vinhaça + <i>A. niger</i> (VF); c) pó de basalto + vinhaça + <i>A. niger</i> (PVF)	28
Figura 2. Variação de pH em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2	31
Figura 3. Variação da acidez titulável em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2	32
Figura 4. Variação do teor de carbono (C) em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2	33
Figura 5. Variação de teor de cálcio (Ca) em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2	34
Figura 6. Variação do teor magnésio (Mg) em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2	35
Figura 7. Variação de teor de potássio (K) em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2	36

Figura 8. Variação do teor de ferro (Fe) em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.....	37
Figura 9. Variação do teor de manganês (Mn) em ensaios de solubilização de pó de basalto por <i>A. niger</i> em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2	38
Figura 10. Variação do teor de cobre (Cu) em ensaios de solubilização de pó de basalto por meio de <i>A. niger</i> em meio de cultura de vinhaça a) ensaio 1; b) ensaio 2	39
Figura 11. Variação do teor de zinco (Zn) em ensaios de solubilização de pó de basalto por meio de <i>A. niger</i> em meio de cultura de vinhaça a) ensaio 1; b) ensaio 2	40

CAPÍTULO 3

Figura 1. Variação de (A) pH, (B) acidez titulável, (C) cálcio (Ca) e (D) potássio (K) nos ensaios com pó de basalto, pó de fonolito e <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura.	51
Figura 2. Variação dos teores de (A) magnésio (Mg), (B) ferro (Fe), (C) manganês (Mn) e (D) zinco (Zn) em ensaios com pó de basalto, pó de fonolito e <i>Aspergillus niger</i> em meio de cultura	52
Figura 3. Quantidade de potássio solubilizado em função do tempo nos tratamentos pó de basalto + meio de cultura + <i>Aspergillus niger</i> (DMA) e pó de fonolito + meio de cultura + <i>Aspergillus niger</i> (FMA)	53

CAPÍTULO 4

Figura 1. Montagem do vermicomposto: a) primeira camada de palha; b) camada de esterco acima da palha; c) introdução de minhocas na última camada de esterco; d) vermicomposto depois de montado.	64
--	----

Figura 2. Experimento conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos com abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*): a) vermicomposto + pó de rocha (T1) aos 25 dias após o plantio (DAP); b) vermicomposto (T2) aos 25 DAP. c) Pó de rocha (T3) aos 25 DAP; d) adubação convencional (T4) aos 25 DAP; e) sem adubação (T5) aos 25 DAP; f) área experimental aos 50 DAP (início da colheita)

PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CONTEXTO DA AGROECOLOGIA

Autora: JULIANA ANDRÉIA VRBA BRANDÃO

Orientadora: Prof^a. Dr^a. MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. SANDRA REGINA CECCATO-ANTONINI

RESUMO

Objetivou-se com a pesquisa avaliar alternativas para acelerar a solubilização de minerais contidos em pó de rocha. No primeiro ensaio, apresentado no capítulo 2, o objetivo foi avaliar o efeito do fungo *Aspergillus niger* linhagem CCT4355 e vinhaça na solubilização de minerais contidos em pó de basalto. O experimento *in vitro* consistiu nos tratamentos: vinhaça + *A. niger* (VF), pó de rocha + vinhaça (PV) e pó de rocha + vinhaça + *A. niger* (PVF). O pó de basalto utilizado possuía grãos de tamanho inferior a 0,053 mm. Em PV a solubilização de cálcio, magnésio, potássio, zinco e cobre foi maior do que em PVF, evidenciando o potencial solubilizador da vinhaça. Conclui-se que misturas de vinhaça e pó de rocha possuem importante potencial para produção de biofertilizante de baixo custo. No segundo experimento, apresentado no capítulo 3, o objetivo foi avaliar o efeito de *A. niger* na liberação de nutrientes dos pós de basalto e de fonolito em ensaios de solubilização *in vitro*, utilizando meio de cultura líquido adaptado para *A. niger*. Os tratamentos adotados foram: pó de fonolito + meio (FM), pó de fonolito + meio + *A. niger* (FMA), pó de basalto + meio (DM), pó de basalto + meio + *A. niger* (DMA) e *A. niger* + meio (MA). Observou-se que *A. niger* foi capaz de produzir ácidos orgânicos que solubilizaram os pós de rocha e interagiram de diferentes formas com os nutrientes. Conclui-se que *A. niger* tem potencial como solubilizador de pó de rochas silicáticas. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com misturas de vermicomposto e pó de basalto, e foram dois os objetivos: i) determinar a disponibilidade de nutrientes em bioproduto resultante da vermicompostagem, preparada com adição de pó de basalto, e ii) avaliar o

efeito de pó de rocha, com e sem vermicompostagem, em cultura de ciclo curto, utilizando abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) como planta indicadora. A aplicação de pó de basalto nas camadas do vermicomposto proporcionou elevação do pH do produto obtido ao final de 55 dias de incubação, mas a vermicompostagem não foi capaz de disponibilizar nutrientes presentes no pó de basalto. A aplicação de vermicomposto, com e sem adição de pó de rocha, teve efeito semelhante à adubação convencional, confirmando a importância da vermicompostagem em sistema de produção de acesso restrito a insumos industrializados. Conclui-se que a vermicompostagem não promoveu aumento na liberação de nutrientes contidos no pó de basalto quando preparada e aplicada em cultura de abobrinha italiana. Espera-se com essa pesquisa contribuir para o melhor entendimento da rochagem como prática alternativa para a fertilização de solos.

Palavras-chave: Pó de basalto, pó de fonolito, biossolubilização, *Aspergillus niger*, rochagem.

ROCK DUST AS A SOURCE OF NUTRIENTS IN THE CONTEXT OF AGROECOLOGY

Author: JULIANA ANDRÉIA VRBA BRANDÃO

Adviser: Prof^a. Dr^a. MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD

Co-adviser: Prof^a. Dr^a. SANDRA REGINA CECCATO-ANTONINI

ABSTRACT

The aim of the search was evaluate alternatives to accelerate the solubilization of minerals contained in rock powder. In the first experiment, presented in Chapter 2, the objective was to evaluate the effect of the fungus *Aspergillus niger* strain CCT4355 and vinasse in the solubilization of minerals contained in the basalt powder. The experiment *in vitro* consisted in the treatments: vinasse + *A. niger* (VF), rock powder + vinasse (PV) and rock powder + vinasse + *A. niger* (PVF). The basalt powder used had grains smaller than 0.053 mm. In PV the solubilization of calcium, magnesium, potassium, zinc and copper was greater than PVF, demonstrating the potential of vinasse as solubilizing agent. It concludes that mixtures of vinasse and rock powder have significant potential for production of low cost biofertilizer. In the second experiment, presented in chapter 3, the objective was to evaluate the effect of *A. niger* in the release of nutrients from the powder of basalt and phonolite *in vitro* dissolution tests. The treatments were: powder of phonolite + medium (FM), powder of phonolite + medium + fungus (FMA), powder of basalt + medium (DM), powder of basalt + medium + fungus (DMA) and fungus + medium (MA). It was observed that *A. niger* was able to produce organic acids which solubilized the rock powders and interacted in different ways with the nutrients. It is concluded that the strain CCT4355 of *A. niger* has potential as a solubilizing agent of silicate rock powder. The chapter 4 presents the results obtained with mixtures of vermicompost and basalt powder, and the two objectives were: i) determine the availability of nutrients in bioproduct resulted of vermicompost, prepared with

the addition of powder of basalt, and ii) evaluate the effect of rock powder, with and without vermicomposting, in short cycle culture, using Italian zucchini (*Cucurbita pepo*) as a indicator plant. The application of basalt powder in the vermicompost layers provided the pH raising of the product obtained at the end of 55 incubation days, but the vermicomposting was not able to provide nutrients presents in the basalt powder. The application of vermicompost, with and without addition of rock powder, had an effect statistically similar to conventional fertilization, confirming the importance of vermicomposting in production system with restricted access to industrialized products. It is concluded that vermicomposting did not increase the release of nutrients contained in the basalt powder when prepared and applied in a Italian zucchini. It is hoped that this research contributes to a better understanding of stonemeal as an alternative practice for soil fertilization.

Keywords: basalt powder, phonolite powder, biossolubilization, *Aspergillus niger*, stonemeal.

INTRODUÇÃO GERAL

Os solos tropicais, em geral, são muito intemperizados, possuem elevada acidez e baixa capacidade de troca catiônica, sendo necessário o emprego de técnicas adequadas de manejo para a manutenção e melhoria das suas características físicas, químicas e biológicas. Destaca-se, entre outras, a utilização de adubos para fornecer os nutrientes importantes para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

Na adubação de solos, utilizam-se adubos produzidos industrialmente. Como os fertilizantes industriais utilizam combustível fóssil para o seu processamento e transporte, seu valor de mercado é diretamente afetado pelas flutuações cambiais e pelas oscilações do preço do barril de petróleo no mercado mundial. Além disso, por serem de alta solubilidade, esses fertilizantes podem ser facilmente lixiviados, principalmente nos sistemas agrícolas de sequeiro e em sistemas irrigados.

Algumas pesquisas avaliando fontes alternativas de fertilizantes agrícolas têm sido feitas com o objetivo de reduzir os impactos na balança comercial brasileira pela importação de adubos sintéticos, e conferir maior sustentabilidade ambiental e agrônômica à produção agropecuária em

solos tropicais. Dentre elas, a utilização de pós de rocha *in natura* diretamente no solo tem sido considerada de importância estratégica para o país.

Estima-se que muitas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares possam ser utilizadas como fertilizante ou corretivo natural, desde que devidamente manejadas. São muitas as vantagens apontadas no uso de pó de rocha como fertilizante na agricultura. Destacam-se: o baixo risco de lixiviação, a diminuição da fixação de fósforo, o fornecimento de micronutrientes essenciais, e sua fácil obtenção, muitas vezes na forma de rejeitos de pedreiras e de indústrias minero-metalúrgicas.

A liberação dos nutrientes do pó de rocha para a solução do solo é lenta, dada a baixa solubilidade de seus minerais constituintes. Assim, em solos muito intemperizados, o uso de pó de rocha proporciona menores perdas, por lixiviação, de elementos solúveis, quando comparadas com fertilizantes industriais de alta solubilidade. Entretanto, a solubilização lenta pode dificultar o uso do pó de rocha em sistemas de produção de culturas de ciclo curto. Assim, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de acelerar o processo de solubilização, visando atender a demanda nutricional das culturas. Uma das alternativas é modificar o pH da solução, pois este é um dos fatores que controlam a dissolução de minerais.

Ensaio com microrganismos têm sido realizados com resultados promissores, porque os microrganismos são capazes de produzir ácidos orgânicos, inorgânicos e CO₂, que afetam o ambiente químico dos minerais, acelerando sua alteração. Vários microrganismos são citados na literatura como promissores. A linhagem CCT4355 do fungo *Aspergillus niger* tem sido utilizada com sucesso pelo Grupo de Pesquisa “Insumos Alternativos para Fertilização de Solos” da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Essa linhagem foi isolada de vinhaça. Assim, considerou-se a hipótese de que este subproduto da indústria sucroalcooleira poderia ser utilizado como meio de cultura para o fungo,

ampliando as possibilidades de emprego da vinhaça e diminuindo os custos de produção.

Este aspecto assume particular importância em sistemas agrícolas de base familiar. Como muitos adubos industriais utilizados na agricultura brasileira têm por base matéria prima importada, os gastos com esses insumos representam um percentual elevado dos custos de produção. Práticas como adubação com material orgânico em compostagem ou vermicompostagem, adubos verdes, biofertilizantes e outros constituem alternativas.

Neste sentido, a pesquisa conduzida objetivou avaliar alternativas para acelerar a solubilização de pó de rocha. Os objetivos específicos foram: (i) avaliar o efeito de *Aspergillus niger* em meio de vinhaça na alteração de minerais contidos em pó de basalto; (ii) avaliar o efeito de *Aspergillus niger* em meio adaptado na alteração de minerais contidos em pó de fonolito e em pó de basalto; (iii) avaliar o efeito de vermicomposto na alteração de minerais contidos em pó de basalto; (iv) avaliar o efeito de misturas de pó de basalto e vermicomposto no desenvolvimento de plantas de abobrinha (*Cucurbita pepo*).

A Dissertação foi estruturada em quatro capítulos. No capítulo 1, na forma de revisão bibliográfica sobre fertilizantes alternativos, são discutidos os principais assuntos que nortearam esta pesquisa. Os capítulos 2 e 3, redigidos na forma de artigos científicos, abordam, respectivamente, a vinhaça como meio de cultura para o *Aspergillus niger* na solubilização de pó de basalto e o papel de *A. niger* na solubilização de dois tipos de rocha silicática (o fonolito e o basalto). O capítulo 4, também na forma de artigo, apresenta os resultados obtidos com misturas de vermicomposto e pó de basalto. Ao final, são apresentadas as considerações finais. Espera-se com esta pesquisa contribuir para o melhor conhecimento da rochagem como prática alternativa para a fertilização de solos.

CAPÍTULO 1. PÓ DE ROCHA: ALTERNATIVA AGROECOLÓGICA

1.1 Um pouco de história

Os primeiros sistemas de cultivo e criação que surgiram no período Neolítico desenvolveram-se nos aluviões das vazantes dos rios (MAZOYER e ROUDART, 2010), onde os solos eram naturalmente férteis. Lopes e Guilherme (2007, p. 43) consideram que um solo fértil é aquele que:

contém os nutrientes essenciais em quantidades adequadas e balanceadas para o normal crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas e que apresenta ainda boas características físicas e biológicas, está livre de elementos tóxicos e encontra-se em local com fatores climáticos favoráveis.

Posteriormente, os sistemas agropecuários se expandiram pelo mundo por meio de cultivos de derrubada e queimada, alternados com períodos de pousio, que permitiam a reconstituição da vegetação natural e a restituição ao solo das quantidades de matéria orgânica e minerais suficientes para compensar as perdas ocasionadas pelos cultivos

(MAZOYER e ROUDART, 2010). No entanto, com o passar do tempo ocorreu a separação entre a agricultura e a criação animal e aumentou a pressão demográfica sobre as áreas agrícolas, inviabilizando a prática do pousio. Logo esta técnica foi gradativamente sendo substituída pela utilização de adubos.

Com a diminuição do pousio e com o aumento da produção de fibras, de alimentos e de forragens, em função da demanda de uma população urbana crescente, aumentou a necessidade de se incrementar a fertilidade dos solos. Ehlers (1996) aponta que o uso de adubos orgânicos era problemático para agricultores até meados do século XIX porque a mão de obra e o tempo despendido eram excessivamente grandes. As descobertas científicas e os avanços tecnológicos da segunda metade do século XIX e posteriormente, as duas grandes guerras mundiais ocorridas no século XX estimularam cada vez mais o uso intensivo de insumos industriais na agricultura. Estes provocaram um aumento tão significativo na produtividade agrícola, principalmente em países industrializados, que os efeitos produzidos são considerados revoluções: revolução agrícola no século XIX e revolução verde, cujo auge situa-se na década de 70 do século passado.

A revolução verde baseia-se em técnicas de seleção de variedades com bom potencial produtivo (principalmente grandes culturas voltadas para exportação), ampla utilização de fertilizantes químicos, agrotóxicos, irrigação e drenagem. Nos países em desenvolvimento, a partir da década de 60, foi adotada por agricultores capazes de adquirir esses novos meios de produção e implantada nas regiões favorecidas, ou seja, onde era possível obter rentabilidade. Em muitos países, inclusive no Brasil, a difusão dessa revolução foi favorecida pelo poder público, por meio de políticas de incentivo aos preços agrícolas, de subvenções aos insumos, baixas taxas de juros para empréstimos e investimentos em infraestruturas de irrigação, drenagem e transporte (MAZOYER; ROUDART, 2010). Se por um lado os aumentos de produtividade e de produção resultantes da revolução verde provocaram uma forte baixa dos

preços agrícolas, por outro aumentaram os custos de produção e comercialização (GLIESSMAN, 2005).

Com o passar do tempo, a monocultura associada ao uso intensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos ocasionou inúmeros impactos ambientais e sociais. Ressaltam-se a contaminação de alimentos (CARNEIRO et al., 2012), emissão de gases de efeito estufa, redução dos teores de matéria orgânica do solo, contaminação do lençol freático e surgimento de insetos, fitopatógenos e ervas adventícias resistentes (GLIESSMAN, 2005).

Além disso, na década de 80, a economia brasileira passou por diversas mudanças que afetaram a agricultura. Dentre elas, destacam-se a reforma no crédito rural e a submissão das políticas agrícolas aos planos de controle inflacionário, que acarretaram a elevação do risco na agricultura, em função das variações bruscas dos preços agrícolas (BARBOSA; COUTO, 2008).

E é nesse contexto que a Agroecologia, aplicação de conceitos e princípios ecológicos no desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis (GLIESSMAN, 2005), começou a se destacar como uma alternativa ao modelo agrícola proposto pela revolução verde. Recentemente, a Agroecologia teve a sua importância reconhecida pela Organização das Nações Unidas (ONU) no seu relatório de 20 de dezembro de 2010, intitulado Agroecologia e o direito à alimentação (UNITED NATIONS, 2010).

1.2 Agricultura e o uso de fertilizantes

Os recursos naturais são imprescindíveis para a produção agrícola. De acordo com Castro e Lessa (2005), recursos naturais são os elementos da natureza que podem ser incorporados às atividades econômicas, constituindo variado conjunto em que se destacam os solos agricultáveis, as florestas, as jazidas minerais, os recursos hidrológicos etc. Dentre os recursos naturais utilizados pelos sistemas agrícolas, ressalta-se o solo, corpo natural formado a partir de adições, perdas,

translocações e transformações de materiais minerais e orgânicos ao longo do tempo e sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo (SANTOS et al, 2006).

O Brasil possui solos formados a partir de diferentes rochas e minerais, sendo muitas vezes altamente intemperizados, com acelerada remoção de nutrientes, o que ocasiona acidez elevada e toxidez por alumínio, além de alta capacidade de fixação de fósforo (LOPES; GUILHERME, 2007). No entanto, a sua baixa fertilidade natural pode ser modificada por meio de técnicas adequadas de manejo que mantenham suas características físicas, químicas e biológicas. Dentre essas técnicas destacam-se, a utilização do solo de acordo com a sua aptidão agrícola, a redução da intensidade de preparo do solo, a rotação de culturas, o cultivo consorciado, o plantio em curvas de nível, a calagem, a utilização de cobertura morta, de adubos verdes e de fertilizantes para suprir os nutrientes demandados para o desenvolvimento vegetal adequado aos solos destinados à agricultura.

A produção agrícola brasileira está associada principalmente a solos muito intemperizados e tem crescido muito nos últimos anos. Segundo dados disponibilizados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada¹ (CEPEA), da Escola Superior de Agricultura Paulista (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), o PIB agropecuário brasileiro ultrapassou R\$ 264 bilhões em 2011, o que reflete a dimensão da produção desse setor e a sua importância para a economia brasileira. Entretanto, a baixa fertilidade da maioria dos solos agrícolas e a insuficiente produção doméstica de fertilizantes (potássio, fosfatos, compostos nitrogenados e enxofre), faz do Brasil o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes, atrás apenas da China, Índia e EUA (SIDONIO, 2010), ocasionando impactos negativos na balança comercial brasileira.

Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), no Brasil, em 2010, 35% das matérias primas para a produção

¹ Disponível em <<http://cepea.esalq.usp.br/pib/>> Acesso em: 25 de maio de 2012.

de fertilizantes fosfatados foram importados e, no caso do potássio, esse valor chegou a 90% (OLIVEIRA, 2010). Os dois principais países em reservas de sais de potássio, em 2010, foram o Canadá com 47,7% e a Rússia com 35,8%, que juntos foram responsáveis por 48,7% da produção mundial de potássio (OLIVEIRA, 2010).

No Brasil, a partir de 1998 a indústria de fertilizantes passou a ser controlada por um oligopólio de grandes grupos internacionais – Bunge, Mosaic/Cargill e Yara – centrado nos fertilizantes fosfatados a partir da rocha fosfática. Esses conglomerados também dominam a cadeia final dos produtos fertilizantes, principalmente no segmento independente das misturadoras, o que amplia o seu controle sobre essa indústria e seus preços finais para os agricultores (MME, 2009). No segmento dos fertilizantes potássicos, o controle é exercido pela Companhia Vale (MME, 2009). Em janeiro de 2010, a Vale adquiriu 100% das ações da Bunge Participações e Investimentos (BPI), o que envolveu aquisição das minas de Araxá (MG) e Cajati (SP) e das plantas de processamento de Cubatão (SP) e Guará (SP), bem como a participação da Bunge na empresa da Fosfértil². Com a compra, a Vale assumiu a liderança no mercado de fertilizantes no País e passou a ser uma das maiores empresas, em nível global, neste segmento (Tabela 1).

Em busca de soluções para a redução da dependência externa de fertilizantes, pesquisas com fontes alternativas de nutrientes vêm sendo feitas no Brasil. Tais fontes envolvem materiais, orgânicos ou minerais, que até então não eram explorados comercialmente, por desconhecimento técnico do potencial de uso, por falta de posicionamento do produto no mercado ou por falta de interesse da grande indústria de fertilizante (BENITES; POLIDORO; RESENDE, 2010).

² Disponível em <http://megaminas.globo.com/2010/01/27/vale-compra-participacao-da-bunge-na-fosfertil>. Acessado em 25 de maio de 2012.

Tabela 1. Principais empresas produtoras de fertilizantes no Brasil. Adaptado de Heringer, 2012.

Produtos	Matérias primas básicas	Empresas
Fertilizantes nitrogenados	Uréia / Sulfato de amônio / Nitrato de amônio MAP/DAP ^(a) TSP ^(b)	Petrobrás, Vale, Copebrás, Galvani Petrobrás, Brasken, Proquigel, Vale Vale, Copebrás Vale, Copebrás, Timac Agro
Fertilizantes fosfatados	SSP ^(c)	Heringer, Galvani, Copebrás, Yara Brasil, Timac Agro, Fospar, Cibrafertil
Fertilizantes potássicos	Cloreto de potássio	Vale
Misturadoras	NPK	Heringer, Mosaic, Yara, Fertipar, outros

^(a)MAP/DAP - fosfato monoamônico (48% P₂O₅) / fosfato diamônico (45% P₂O₅); ^(b)TSP - superfosfato triplo (45% P₂O₅); ^(c)superfosfato simples (18% P₂O₅).

1.3 Pó de rocha como fertilizante alternativo

Rochagem ou remineralização são os termos geralmente empregados para designar uma prática agrícola antiga de fertilização natural do solo que consiste na aplicação direta de rochas moídas e/ou minerais ao solo (LUZ et al., 2010), sendo a calagem e a fosfatagem natural dois exemplos típicos. A rochagem é uma prática importante para uma agricultura ecologicamente sustentável. Por não ser um fertilizante industrializado, o pó de rocha possui um baixo valor agregado, sendo um insumo acessível tanto para o pequeno quanto para o grande produtor rural (D'ANDRÉA, 2003).

De acordo com Resende et al. (2006), há cerca de 30 anos, foram feitas tentativas de desenvolver processos físicos e químicos de tratamento de rochas brasileiras com teores mais elevados de K. No entanto, a utilização desses produtos mostrou-se economicamente

inviável, devido à lentidão na disponibilização de nutrientes para as plantas, ao elevado gasto energético no processamento das rochas ou à baixa competitividade em relação ao cloreto de potássio (RESENDE et al., 2006). Nos últimos anos as pesquisas com outros tipos de rochas obtiveram resultados promissores no fornecimento de K, o que motivou o estabelecimento de uma rede nacional de pesquisa, a Rede AgriRocha, em 2003, com o principal propósito de estudar o potencial de substituição de parte das fontes convencionais de K pela utilização das rochas brasileiras (RESENDE et al., 2006).

Existe uma grande variedade de rochas susceptíveis de aplicação na remineralização de solos (LUZ et al., 2010). Na Tabela 2 estão relacionados alguns tipos de rochas e minerais como fontes de nutrientes.

Ao contrário dos adubos solúveis, tais como o cloreto de potássio e os superfosfatos, o pó de rocha é um insumo permitido pela agricultura orgânica, já sendo comercializado como fertilizante em diversos países do mundo tais como Austrália, Nova Zelândia, Canadá, Áustria, Holanda, Suécia, Suíça, Reino Unido, México, África do Sul, Estados Unidos e Brasil³.

Tabela 2. Alguns tipos de rochas e minerais como fonte de nutrientes. Adaptado de LAPIDO-LOUREIRO e RIBEIRO, 2009.

Rochas e minerais	Macronutrientes
Rochas ultrabásicas	Mg, Ca
Basalto/Gabro	Mg, Ca
Carbonatito	Ca, Mg, P, K ^(a)
Rochas silicáticas alcalinas (sienitos e nefelina sienitos) ^(b)	K
Rochas ácidas (granitos e gnaisses)	K

^(a) Principalmente quando ricos de mica, em particular flogopita ^(b) Em especial seus correspondentes efusivos: fonolitos e traquitos

³ Disponível em <www.remineralize.org> Acesso em: 01 de set. 2010.

Segundo Melamed et al. (2009), dentre algumas vantagens promovidas pelo uso do pó de rocha como fertilizante destacam-se: fornecimento lento de macro e micronutrientes para as plantas cultivadas, reequilíbrio do pH do solo e a diminuição da dependência de fertilizantes cuja produção exija um elevado consumo de energia.

Além disso, a utilização do pó de rocha como fertilizante alternativo em ambientes tropicais, quando comparada à aplicação em ambientes de clima temperado, apresenta algumas vantagens. Destacam-se o aumento da taxa de dissolução das rochas e dos minerais que são intensificadas devido à elevada temperatura e umidade (VAN STRAATEN, 2006).

Experimentos conduzidos em casa de vegetação por Pinheiro (2009), com duas espécies de leguminosas arbóreas, indicaram que plantas de *M. bimucronata* cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico que recebeu 200 mg dm^{-3} de flogopitito apresentaram aumento significativo de biomassa total, quando comparadas com plantas cultivadas sem adição da rocha potássica. A autora observou que a adição de flogopitito ao Latossolo não provocou aumento no teor de K disponível, entretanto contribuiu para a diminuição da acidez potencial do solo após o cultivo, influenciando positivamente na saturação por bases.

Estudos conduzidos por Melamed et al. (2009) para verificar a eficiência de pó de rocha no suprimento de nutrientes, durante uma seqüência de cultivos, mostraram a eficiência relativa de um calcário dolomítico e de um carbonatito na correção de um Latossolo e de um Gleissolo do Planalto Central do Brasil. De modo geral, a correção do pH pelas rochas foi mais eficiente no Latossolo do que no Gleissolo. No Latossolo, os efeitos das rochas na elevação do pH do solo foram similares.

Escosteguy e Klamt (1998), em ensaio de incubação de pó de basalto microcristalino e de pó de olivina-basalto em Latossolo Vermelho-Escuro e em Podzólico Vermelho-Amarelo, verificaram que houve aumento de pH, dos teores de K, de Ca, de Mg, de H + Al, de P e da CTC dos solos incubados, mas concluíram que os acréscimos foram pequenos

e que tais materiais não podem ser utilizados como a principal fonte de nutriente às plantas. A solubilidade das formas de potássio presentes nas rochas depende das características químicas, mineralógicas e da granulometria dos pós de rocha e determinam o seu potencial fertilizante (CASTRO et al., 2006).

1.4 Características mineralógicas de pós de rocha

A maioria das rochas é formada por silicatos, que correspondem em volume a cerca de 96% da crosta terrestre, dos quais cerca de 59% são representados por feldspatos, 17% por anfibólios e piroxênios, 12% por quartzo, 3,5% pelas micas, perfazendo os outros silicatos, o volume de aproximadamente 4,5%, sobrando cerca de 4% para os não silicatos (ZANARDO e MARQUES JÚNIOR, 2009). Por sua vez, os silicatos podem ser classificados em seis grupos: os nesossilicatos $(\text{SiO}_4)^{4-}$, os sorossilicatos $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$, os ciclossilicatos $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{6-}$, $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{8-}$ e $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$, os inossilicatos $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{n-}$, os filossilicatos $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, e os tectossilicatos (SiO_2) (ZANARDO e MARQUES JÚNIOR, 2009).

Os inossilicatos constituem um grupo que possui uma estrutura resultante da polimerização dos tetraedros de SiO_4 , formando fios, cadeias unidimensionais infinitas que podem ser simples, gerando o grupo dos piroxênios ou duplas, resultando no grupo dos anfibólios. Os piroxênios ocorrem em quase todos os tipos de rochas ígneas e nas metamórficas de temperatura média a alta, sendo que a polimerização em fios resulta no radical $(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$, estando os fios unidos por meio de cátions dispostos intersticialmente, com fórmula geral $\text{BmCn/Si}_2\text{O}_6$, em que a posição B é ocupada por cátions grandes (principalmente por Ca e Na), a posição C por cátions menores (Mg, Fe, Fe^{3+} , Mn, Al, Mn^{3+} , Li, Ti) e m e n correspondem ao número de elementos na fórmula química. Os tectossilicatos são o grupo dos silicatos mais importante volumetricamente, uma vez que perfazem pouco mais de 70% do volume ocupado pela crosta terrestre, abrangendo o grupo da sílica, dos feldspatos, dos feldspatos potássicos, dos feldspatos potássicos/sódicos,

dos plagioclásios, dos feldspatóides, da escapolita e das zeólitas (ZANARDO e MARQUES JÚNIOR, 2009).

Os feldspatos são minerais primários formados a altas temperaturas em rochas ígneas e metamórficas, ou herdados em rochas sedimentares (CURI; KÄMPF; MARQUES, 2005). Possuem cores claras, são comuns nas frações areia e silte dos solos, podendo também aparecer na fração argila. A estrutura dos feldspatos consiste em uma rede tridimensional de tetraedros contendo Al^{3+} em lugar do Si^{4+} , o que resulta uma deficiência de carga positiva que é compensada pela presença de cátions como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} . De acordo com a composição química dos minerais, os feldspatos podem ser potássicos (ortoclásio - KAlSi_3O_8) ou calco-sódicos (albita - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, anortita – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). São importantes pois, quando alterados, liberam nutrientes para as plantas, como o K^+ e o Ca^{2+} e outros elementos (Al^{3+} , Si^{4+} , O^{2-}) para a formação de novos minerais (INDA JÚNIOR et al., 2006).

Os feldspatos potássicos podem conter até 169 g kg^{-1} de K_2O , 30 g kg^{-1} de rubídio e concentração variada de bário. Este grupo é constituído por minerais tais como a sanidina, ortoclásio, microclínio e adulária, que podem conter, aproximadamente, até 17% de K_2O (CURI; KÄMPF; MARQUES, 2005). Segundo Ernani et al. (2007), todo o K nos feldspatos é do tipo estrutural, isto é, encontra-se no interior de uma complexa rede tridimensional de tetraedros de Si, necessitando ser dissolvido para que possa ser utilizado pelas plantas.

O fonolito é uma rocha ígnea, leucocrática e alcalina constituída predominantemente por feldspatos potássicos (sanidina ou ortoclásio), feldspatóides, piroxênio sódico, hornblenda, biotita e raros plagioclásios (MACHADO et al., 2011). O basalto (classificado geologicamente como um latíandesito) é uma rocha ígnea, mesocrática e básica com predominância de plagioclásio, piroxênios (augita, pigeonita), minerais opacos (magnetita, ilmenita e sulfetos) e olivina (MACHADO et al., 2005).

1.5 Processo de biossolubilização

Excetuando-se o nitrogênio, todos os nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das plantas são de origem mineral. No entanto, nas condições climatológicas normais, 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.

A liberação dos nutrientes do pó de rocha para a solução do solo é lenta, dada a baixa solubilidade de seus minerais constituintes. Isto constitui uma vantagem em solos muito intemperizados, porque as perdas de elementos solúveis por lixiviação são menores, quando comparados com fertilizantes industriais de alta solubilidade. Entretanto, a solubilização lenta pode dificultar o uso do pó de rocha em sistemas de produção de culturas de ciclo curto. Assim, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de acelerar o processo de solubilização, visando atender a demanda nutricional de culturas. Uma das alternativas é modificar o pH da solução, pois este é um dos fatores que controlam a dissolução de minerais silicatados, presentes em pós de rochas. Isto porque essa dissolução se dá principalmente por hidrólise, reação entre íons H^+ e OH^- (provenientes da dissociação da água). Muitas dessas reações são incongruentes e Kämpf et al. (2009) assinalam que em condições ácidas ($pH < 5$), há protonação (adsorção de H^+) mais rápida dos sítios com Al, nos silicatos, desestabilizando as ligações Al-O.

De acordo com Luz et al. (2010), algumas das rotas tecnológicas sugeridas para enfrentar o desafio desses fertilizantes são: moagem fina e acidulação, obtenção de produtos de K e P via processos térmicos, compostagem e biossolubilização. Resultados promissores têm sido obtidos em ensaios com microrganismos capazes de promover a solubilização dessas rochas, acelerando processos de alteração de silicatos contidos no pó (LOPES-ASSAD et al., 2006; AVANSINI et al., 2008; SEVERINO et al., 2008).

Resultados obtidos por Han et al. (2005) mostraram que a inoculação da bactéria solubilizadora de fosfato *Bacillus megaterium* em

rocha fosfática e da bactéria solubilizadora de potássio *Bacillus mucilaginosus* em rocha potássica, respectivamente, aumentaram a disponibilidade de P e K no solo e a absorção de N, P e K, além de promover o crescimento de berinjelas quando comparados às testemunhas que não possuíam as bactérias. Posteriormente, estudos conduzidos por Hamdali et al. (2008), demonstraram que seis estirpes de actinobactérias foram capazes de crescerem nos exudatos das raízes de plantas de trigo, única fonte de nutriente, e foram eficientes na liberação de fosfato solúvel do pó de rocha. A estirpe mais eficiente foi a *Streptomyces griseus* – estirpe relacionada (BH7), que estimulou o crescimento aéreo da planta em mais de 70% nos testes em tubos de ensaio e mais de 30% em solos com pó de rocha fosfática, comparado ao tratamento controle sem a inoculação.

No Brasil, vários resultados têm sido obtidos, com diferentes microrganismos e materiais. Nahas et al. (1990) verificaram que o *A. niger* promoveu a solubilização de 1,2 g L⁻¹ de fosfato solúvel obtido de 5 g L⁻¹ de fluorapatita (apatita de Araxá) adicionado à 30 mL de vinhaça diluída, na densidade relativa de 4,5^o Brix, após 13 dias de incubação a 30°C em Erlenmeyers de 250 mL e sem agitação. Nahas (1999) verificou que a solubilização de fosfatos por microrganismos, em determinados casos, é relacionada com a diminuição do pH e/ou à produção de ácidos orgânicos. Lopes-Assad et al. (2006) verificaram que a acidificação promovida por *A. niger* proporcionou aumento da taxa de solubilização de K contido nos minerais de pós de rochas, sendo que ao final de 21 dias o total solubilizado foi maior no tratamento do fungo com a rocha ultramáfica alcalina (1,52 cmol/dm³) do que no tratamento com flogopitito (0,52 cmol/dm³). Rosa et al. (2009) apontaram que a levedura *Torulaspora globosa*, isolada da rizosfera da cana de açúcar foi eficiente na solubilização do pó de rocha ultramáfica alcalina.

1.6 O fungo *Aspergillus niger*

O *Aspergillus niger* é um fungo filamentosso ascomiceto que cresce aerobicamente na matéria orgânica. Na natureza, ele é encontrado no solo, na liteira e em material vegetal em decomposição. O crescimento do fungo se dá em temperaturas que variam de 6-47°C, tendo como temperatura ótima relativamente alta, de 35-37°C, atividade de água limite para o crescimento de 0,88 e faixa de pH entre 1,4-9,8. Essas características somadas à elevada produção de conidiósporos, que são disseminados pelo ar, garantem a sua ampla ocorrência, com uma alta frequência em ambientes quente e úmidos (SCHUSTER et al., 2002).

Por serem organismos saprofíticos, muitos dos fungos filamentosos possuem como parte da sua atividade metabólica um potente sistema secretor de ácidos e enzimas para tornarem os nutrientes biodisponíveis (GRIMM et al., 2005; GUEBEL et al., 2001). Devido a essa característica, *A. niger* vem sendo utilizado industrialmente desde 1919, quando pela primeira vez se produziu ácido cítrico a partir da fermentação, passando a ser um acidulante amplamente utilizado em indústrias alimentícias. Além do ácido cítrico, o fungo também é uma rica fonte de enzimas, tais como invertases, proteases, pectinases, amilases e celulasas, que são geralmente consideradas seguras, sendo empregadas por diversos outros segmentos industriais (SCHUSTER et al., 2002). Entretanto, a produção do ácido cítrico por fermentação submersa pelo fungo *Aspergillus niger* pode ser afetada por alguns fatores, tais como: o tipo e a concentração da fonte de carbono, a limitação de nitrogênio e fosfato, o pH, a aeração, a concentração de elementos traço e a morfologia do organismo produtor (PAPAGIANNI, 2007). Dentre os elementos que precisam estar em uma quantidade limite no meio de cultura do fungo, encontram-se o Zn, Mn, Fe, Cu, metais pesados e metais alcalinos (PAPAGIANNI, 2007).

1.7 Referências bibliográficas

- AVANSINI, S.H.; ERLER, G.; LOPES-ASSAD, M.L.; SOARES, M.R.; CASAGRANDE, J.C.; CECCATO-ANTONINI, S.R. Scale-up do processo de biossolubilização de pó de rocha para liberação de potássio. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 2008, Londrina. Anais.
- BARBOSA, G.J.; COUTO, E.P. Evolução das políticas agrícolas e o incentivo à iniciativa privada na agricultura brasileira. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 2008, Acre. Anais. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/896.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2011.
- BENITES, V.M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.V. Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** v. 35, n. 03, (set./dez. 2010). – Viçosa: SBPC, 2010.
- CARNEIRO, F.F.; PIGNATI, W.; RIGOTO, R.M.; AUGUSTO, L.G.S.; RIZOLLO, A.; MULLER, N.M.; ALEXANDRE, V.P.; FRIEDRICH, K.; MELLO, M.S.C. **Dossiê ABRASCO – Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. ABRASCO, Rio de Janeiro, abril de 2012. 1ª Parte. 98p. Disponível em: <http://www.abrasco.org.br/UserFiles/File/ABRASCODIVULGA/2012/DossieAGT.pdf>> Acesso em: 01 mai. 2012.
- CASTRO, A.B.; LESSA, C. **Introdução à economia: uma abordagem estruturalista**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2005. p. 1 a 28.
- 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**, v. 9, n. 2, 179:193, 2006.
- CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L., eds.

- Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 75.
- D'ANDRÉA, P.A. Rochagem no Brasil: regulamentação. 2003 Disponível em: <<http://www.uoguelph.ca/rocks/news/abstracts/abs06.htm>>. Acesso em: 01 set. 2010.
- EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma.** São Paulo: Livros da Terra, 1996. 178p.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al., (Eds). **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 557-560.
- ESCOSTEGUY, P. A. & KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 22, p.11-20. 1998.
- GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 3ª ed. p. 33-59.
- GUEBEL, D.V., DARIAS, N.V.T. Optimisation of citric acid production by *A. niger* through a metabolite flux balance model. **Process. Biotechnol.** v.4, n.1, p. 1–11, 2001.
- GRIMM, L.H.; KELLY, S.; KRULL, R.; HEMPEL, D.C. Morphology and productivity of filamentous fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology** v. 69, 375-384, 2005.
- HAMDALI, H; HAFIDI, M; VIROLE, M.J.; OUHDOUCH, Y. Rock phosphate-solubilizing Actinomycetes: screening for plant growth-promoting activities. **World J. Microbiol. Biotechnol.** v. 24, 2565-2575, 2008
- HAN, H.S.; LEE, K.D. Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil availability and growth of Eggplant. **Research Journal of Agriculture and Biological Science** 1 (2), 176-180, 2005.
- HERINGER, 2012. Mercado Brasileiro de Fertilizantes. [on line]. Disponível em http://www.mzweb.com.br/Heringer/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=2265. Acessado em 25 de maio de 2012.

- INDA JUNIOR, A.V.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. Composição da fase sólida mineral do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de Química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006.
- KÄMPF, N; CURTI, 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**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 333-379.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; RIBEIRO, R.C. Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto. Breve síntese conceitual. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; MELAMED, R.; NETO, J.F. (Ed.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2009. p.149-172.
- LOPES-ASSAD, M. L. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; ANTONINI, S. R. C. Solubilização de pó de rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2006.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. In: NOVAIS, R. F. et al., (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.42-43.
- LUZ, A.B.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; SAMPAIO, J.A.; CASTILHOS, Z.C.; BEZERRA, M.S. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Ed.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro, RJ : CETEM, 2010. p. 61-88.
- MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.; GODOY, A. M.; FERREIRA, J.A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F. de. **Enciclopédia Multimídia de Minerais**. 2011. [on-line]. Disponível na Internet via WWW. URL: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>>. Acesso em 02 de agosto de 2011.
- MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; MELO, R.P.; OLIVEIRA, M.A.F.; SQUISATO, E. As rochas intrusivas da formação Serra Geral na

- porção leste da bacia do Paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos – resultados preliminares. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 5-17, 2005.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010. 586p.
- MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. Pó de rocha como Fertilizante Alternativo para Sistemas de Produção Sustentáveis em Solos Tropicais. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; NETO, J. F. (Ed.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ : CETEM, 2009. p. 385-395.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. Elaboração do Plano Duodecenal de Geologia, Mineração e Transformação mineral – PDGMT 2010/2030. Cadeia de Fertilizantes. **Relatório Técnico 75 – Perfil dos Fertilizantes N-P-K**. 2009. Disponível em: <www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P49_RT75_Perfil_dos_Fertilizantes_N-P-K.pdf> Acesso em: 12 de nov. 2010.
- NAHAS, E. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: SBCS/UFLA/DCS, 1999. p. 467-486
- NAHAS, E.; BANZATTO, D.A.; ASSIS, L.C. Fluorapatite solubilization by *Aspergillus niger* in vinasse medium. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 8, p. 1097-1101, 1990.
- OLIVEIRA, L.A.M. (2010). **Potássio, Sumário Mineral** – DNPM. Disponível em <https://sistemas.dnrm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6350> Acesso em: 20 de abr. 2012.

- PAPAGIANNI, M. Advances in citric acid fermentation by *Aspergillus niger*: biochemical aspects, membrane transport and modeling. **Biotechnology Advances**, v. 25, p. 244-263, 2007.
- PINHEIRO, C.M. **Rocha potássica no crescimento inicial, comportamento fotossintético e colonização micorrízica de duas espécies arbóreas**. 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009.
- RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; SENA, M.C.; MACHADO, C.T.T.; KINPARA, D.I.; FILHO, E.C.O. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Espaço e Geografia**, v. 9, n.1, p.19-42, 2006.
- ROSA, M.M.; AVANSINI, S.H.; ASSAD, M.L.L.; ANTONINI, R.C. Biossolubilização de pó de rocha para liberação de potássio pela levedura *Torulaspora globosa*. In: **Simpósio Nacional de Bioprocessos**, 2009, Natal. Anais.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, 2006. p. 31
- SCHUSTER, E; DUNN-COLEMAN, N; FRISVAD, J. C.; VAN DIJCK, P. W. M. On the safety of *Aspergillus niger* – a review. **Applied Microbiology Biotechnology**, 59:426-435, 2002.
- SEVERINO, V. S; BONINI, M. de A.; ASSAD, M. L.L.; ANTONINI, S. R. C.; SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C. Solubilização de potássio de pó de rocha in natura por microrganismos. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 2008, Londrina. Anais.
- SIDONIO, L. Panorama atual e perspectivas de desenvolvimento do setor de fertilizantes no Brasil. **Informe Setorial BNDES** nº 16, Janeiro 2010. Disponível em:
<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt

/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/Informes_Setoriais/201001_informe-16Al.html> Acesso em: 06 set. 2010.

UNITED NATIONS, 2010. Report submitted by the Special Rapporteur on the right to food, Olivier De Schutter. A/HRC/16/49. 21 p. Disponível em http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20110308_a-hrc-16-49_agroecology_en.pdf. Acessado em 09 de setembro de 2011.

VAN STRAATEN, P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 78, n.4, p. 731-747.

ZANARDO, A.; MARQUES JÚNIOR, J.M. Conceitos Básicos em Mineralogia. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R. (Ed). **Química e Mineralogia do Solo**. Viçosa, MG : SBCS, 2009. p. 73-150.

CAPÍTULO 2. EFEITO DA VINHAÇA COMO MEIO DE CULTURA DE *Aspergillus niger* NA BIODISSOLUBILIZAÇÃO *IN VITRO* DE PÓ DE ROCHA⁴

Resumo

Na safra 2010/2011 o Brasil produziu 27,6 bilhões de litros de álcool e cerca de 331,2 bilhões de litros de vinhaça. Atualmente, a maior parte da vinhaça é aplicada no solo por meio da fertirrigação e algumas rotas tecnológicas alternativas têm sido buscadas visando seu reaproveitamento. A linhagem CCT4355 do fungo *Aspergillus niger* foi isolada de vinhaça de cana de açúcar, a qual possui pH em torno de 4, o

⁴ Parte deste trabalho foi apresentada na forma de resumo expandido no 1º Fórum Paulista de Agroecologia, realizado em Araras (SP), de 13 a 15 de outubro de 2010.

que potencializaria os processos de solubilização de minerais contidos em pó de rocha. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito de *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça na solubilização de minerais contidos em pó de basalto. O experimento foi conduzido *in vitro* no delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos *A. niger* + vinhaça (VF), pó de basalto + vinhaça (PV) e pó de basalto + *A. niger* + vinhaça (PVF), com três repetições. O pó de basalto utilizado possuía granulometria inferior a 0,053 mm. No tratamento PVF houve solubilização de ferro e zinco e no tratamento PV houve solubilização de cálcio, cobre e manganês. Conclui-se que misturas de vinhaça e pó de basalto possuem potencial como biofertilizante de baixo custo.

Palavras-chave: Biofertilizante, aproveitamento de resíduos agroindustriais, aproveitamento de resíduos de mineração.

2.1 Introdução

A produção de etanol a partir da cana de açúcar (*Saccharum* spp.) para utilização como combustível alternativo no Brasil tem crescido nos últimos anos e gera em média de 10 a 13 L de vinhaça para cada litro de etanol produzido (SILVA, 2010). Dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior⁵ apontam que na safra 2010/2011 foram produzidos no Brasil 27,6 bilhões de litros de álcool (oito bilhões de litros de anidro e 19,6 de hidratado). Isto representa, portanto, cerca de 331,2 bilhões de litros de vinhaça.

Atualmente, no Brasil, a maior parte da vinhaça é aplicada no solo por fertirrigação devido ao seu alto teor de potássio (BRAUNBECK e CORTEZ, 2005). Entretanto, algumas rotas tecnológicas alternativas têm sido buscadas visando o melhor reaproveitamento de vinhaça. Citam-se, por exemplo, a fermentação com alto teor alcoólico, a concentração de vinhaça e a produção de fertilizante organomineral e de biogás (metano) a partir de vinhaça.

⁵ Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=999>>. Acesso em: 14 de mar. 2012.

A vinhaça pode ser também utilizada em sistemas agroecológicos. A Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica, e a Instrução Normativa nº 007, de 17 de maio de 1999, foram os primeiros regulamentos brasileiros relativos à agricultura orgânica e relacionam entre os insumos permitidos o pó de rocha e a vinhaça não amoniacal. Entretanto, tendo em vista seu elevado conteúdo de potássio, seu uso pode trazer impactos ao ambiente.

Andrade e Diniz (2007) consideram que a aplicação da vinhaça é antieconômica a distâncias superiores a 15 km da usina e nem todas as áreas apresentam condições topográficas e de acesso favoráveis. Esses autores apontam também que a aplicação da vinhaça em pequenas áreas pode provocar aumento da concentração de sais de potássio no solo, com o conseqüente risco de contaminação das águas subterrâneas.

A composição da vinhaça varia de acordo com a matéria-prima utilizada, mas de modo geral, ela possui pH ácido (em torno de 4), elevados teores de matéria orgânica e nutrientes, na forma de nitrogênio (1.660 – 4.200 mg L⁻¹), fósforo (225 – 3.038 mg L⁻¹) e potássio (9.600 – 17.475 mg L⁻¹) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) entre 80.000 a 100.000 mg L⁻¹ (PEREIRA, 2009).

Uma das limitações na utilização de pó de rocha em sistemas agrícolas é a taxa de liberação de nutrientes para as plantas, que se dá de modo geral por meio de processos de solubilização mais lentos dos que os observados quando são utilizados adubos solúveis. Resultados promissores têm sido obtidos em ensaios com microrganismos capazes de promover a solubilização dessas rochas, acelerando processos de alteração de silicatos contidos no pó. Um dos microrganismos mais promissores é o fungo *Aspergillus niger* (NAHAS; BANZATTO; ASSIS, 1990; LOPES-ASSAD et al., 2006). O alto potencial de *A. niger* na produção de ácidos orgânicos, em especial o ácido cítrico, tem sido apontado como a principal causa de seu papel solubilizador (CEREZINE et al. 1988; HUNGRIA e URQUIAGA, 1992; NAHAS et al., 1990; NAHAS e ASSIS, 1992; SILVA FILHO et al., 2002)

Considerando que nos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) resultados promissores têm sido obtidos com a linhagem CCT4355 isolada por Ceccato (1989) de vinhaça de cana de açúcar, buscou-se avaliar se o uso de vinhaça e *A. niger* potencializaria solubilização de minerais contidos em pó de rocha. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de *Aspergillus niger* e vinhaça na solubilização de minerais contidos em pó de basalto.

2.2 Metodologia

Os ensaios de solubilização *in vitro* foram conduzidos de julho a agosto e setembro de 2010 no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM) da UFSCar. Nos testes de solubilização foi utilizada a linhagem CCT4355 do fungo *Aspergillus niger*, isolada de vinhaça de cana de açúcar (CECCATO, 1989), pertencente ao banco de microrganismos do LAMAM.

O fungo permaneceu armazenado em geladeira (6-8°C) até o início dos testes. Na produção de inóculo foi utilizado meio MYPG (3 g L⁻¹ de extrato de carne, 3g L⁻¹ de extrato de levedura, 8 g L⁻¹ de peptona, 10 g L⁻¹ de glicose e 20 g L⁻¹ de Agar) em cultivo em tubo de ensaio em meio inclinado. Os tubos foram incubados a 30°C por cinco dias. Um volume de 4 mL de Tween 80 (0,1%) foi adicionado em cada tubo de cultura e os esporos foram raspados com o auxílio de uma alça de platina para a sua liberação. Uma suspensão de 1,0 a 1,8 x 10⁷ esporos mL⁻¹ foi obtida após a contagem em câmara de Neubauer.

Antes de ser autoclavado à 120°C por 20 minutos, adicionou-se pó de basalto (0,4% m/v) com granulometria inferior a 0,053 mm (270 mesh) em Erlenmeyers de 125mL. Em seguida, adicionou-se 50 mL de vinhaça (40% do volume nominal) e 89,14 g L⁻¹ de sacarose. A quantidade de sacarose adicionada foi calculada com base no resultado da análise química da vinhaça (Tabela 1) e o objetivo era elevar a relação C/N da

vinhaça para 30/1, de modo a proporcionar o desenvolvimento adequado do fungo *A. niger*.

Os frascos foram incubados a 30°C em agitação a 160 rpm por 35 dias, com análises de triplicatas a cada sete dias. As amostras foram removidas e filtradas a vácuo, utilizando-se papel de filtro. O experimento foi montado duas vezes (ensaio 1 e ensaio 2) e em batelada, visando evitar possíveis problemas de contaminação. Assim, para cada período de medida, os três tratamentos foram dispostos, em três repetições cada um. Portanto, os resultados obtidos representaram uma aproximação da continuidade do processo no tempo.

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

Basalto ¹							
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂
%							
50,31	12,62	0,84	13,94	2,24	6,91	10,16	1,02
Vinhaça ²							
pH	Ca	Mg	K	C	N		
	mmol _c .dm ⁻³			Kg.m ⁻³			
4	3,53	2,92	81,54	13,5	1,7		

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.

O experimento *in vitro* (Figura 1) consistiu nos seguintes tratamentos: *A. niger* + vinhaça (VF), pó de basalto + vinhaça (PV) e pó de basalto + *A. niger* + vinhaça (PVF). O pó de basalto utilizado possuía granulometria inferior a 0,053 mm. A caracterização química do pó de rocha (Tabela 1) foi feita no Acme Analytical Laboratories, no Canadá. A análise da vinhaça utilizada no ensaio (Tabela 1) e as análises químicas de solutos obtidos ao longo do ensaio (Tabela 2 e Figuras 2, 3 e 4) foram

feitas no Laboratório de Análise de Solo e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos.

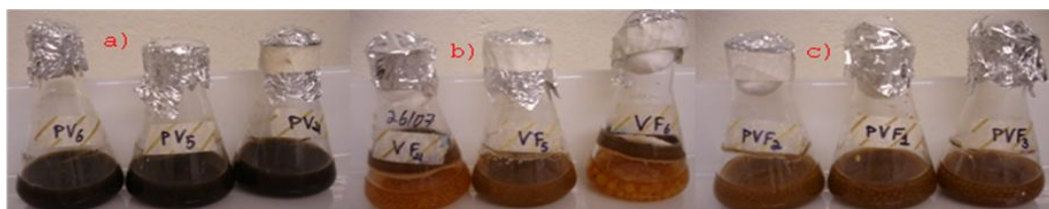


Figura 1. Tratamentos em triplicatas após sete dias de incubação: a) pó de basalto + vinhaça (PV); b) vinhaça + *A. niger* (VF); c) pó de basalto + vinhaça + *A. niger* (PVF).

As determinações dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) foram por fotometria de emissão de chama e a determinação do C foi por oxidação com dicromato de potássio seguida de titulação com uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal. Também foi determinado o pH em água e a acidez titulável, por titulação das amostras até pH 7 com NaOH 0,05 mol.L⁻¹.

Foram feitos dois ensaios para avaliar a repetibilidade do processo. Os resultados dos ensaios *in vitro* foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade utilizando o software estatístico Statística 6.0 (2001).

2.3 Resultados e Discussão

Os valores de pH em água, C, Zn e Cu nos tratamentos de vinhaça e pó de basalto obtidos nos dois ensaios realizados foram maiores em relação aos tratamentos em que a vinhaça foi utilizada como meio de cultura para o fungo *Aspergillus niger* (Tabela 2). As tabelas com os dados completos e a estatística encontram-se no Anexo 1. Os microrganismos podem influenciar o mecanismo e a taxa de dissolução dos minerais de diversas maneiras, por exemplo, como resultado do

metabolismo microbiano (geração de energia), por meio da produção de ácidos orgânicos e inorgânicos e pela absorção ou complexação de nutrientes desejados (HOPF et al., 2009).

No caso do *A. niger*, a biossolubilização promovida pelo fungo ocorre de maneira indireta através da ação de ácidos orgânicos que são produzidos pelo metabolismo do fungo (GUEBEL et al., 2001). Sob este prisma, verificou-se que ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, sendo que os valores mais baixos de pH foram obtidos no tratamento vinhaça e *A. niger* e os valores de pH intermediários ocorreram no tratamento pó de basalto, vinhaça e *A. niger*, evidenciando que ocorreu a produção de ácidos pelo fungo (Figura 2). Os valores mais altos de pH e de acidez titulável (Figura 3) ocorreram no tratamento pó de basalto e vinhaça, evidenciando a tendência que a vinhaça tem de resistir a mudança do seu pH (poder tampão).

Os teores de carbono no tratamento vinhaça e pó de rocha foram maiores do que nos demais tratamentos, pois o *A. niger* não está presente nesse tratamento e, portanto não há consumo de carbono. Em relação ao teor de potássio, não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos (Figura 4).

Os teores de cálcio (Figura 5) foram maiores no tratamento pó de basalto e vinhaça com relação aos demais tratamentos. Isso se deve ao fato de que um dos ácidos orgânicos produzido pelo *A. niger*, o ácido cítrico (ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico), possui atividade quelante de íons Ca^{+2} (GRAHAM e LUND, 1986 citado por CARVALHO et al., 2005). Em relação aos teores de magnésio (Figura 6) e potássio (Figura 7), não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 2. Valores médios de pH e de teores de C, Ca, Mg, K, Zn, Cu, Fe e Mn solúveis em dois ensaios de incubação de vinhaça com pó de rocha e *Aspergillus niger* ao final de 35 dias.

Atributos	Ensaio 1			Ensaio 2		
	VF	PVF	PV	VF	PVF	PV
pH	3,55	3,67	3,80	3,51	3,64	3,89
C (Kg m ⁻³)	73,93	62,77	107,67	68,67	81,10	112,10
	mmol _c dm ⁻³					
Acidez titulável	120,12	81,68	115,48	128,20	106,78	155,80
Ca	5,03	3,92	4,28	5,28	5,50	6,46
Mg	7,61	6,44	4,52	2,96	3,51	3,76
K	97,17	77,86	78,80	98,63	104,36	116,67
	mg dm ⁻³					
Zn	0,50	0,70	0,73	0,57	0,95	1,48
Cu	0,39	0,36	0,67	0,10	0,11	0,23
Fe	56,33	204,33	140,00	52,70	246,13	186,50
Mn	5,27	8,17	8,93	6,47	12,37	11,90

Tratamentos: VF- vinhaça + *A. niger*, PVF – pó de basalto + vinhaça + *A. niger*, PV – pó de basalto + vinhaça.

Em relação aos teores de ferro (Figura 8) e manganês (Figura 9), ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o tratamento pó de basalto, vinhaça e *A. niger* obteve os teores mais elevados desses elementos. Isso se deve ao fato de que *A. niger* libera ácidos redutores (cítrico e oxálico) que convertem Fe(III) a Fe(II) e MnO₂ a Mn(II) (Stone, 1987 citado por MEHTA et al., 2010). Em relação ao teor de cobre (Figura 10), ocorreu diferença significativa entre o tratamento pó de basalto e vinhaça em relação aos demais tratamentos. Quanto ao teor de zinco (Figura 11), ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o tratamento pó de basalto e vinhaça apresentou os teores mais elevados desse elemento, seguido do tratamento de pó de basalto, vinhaça e *A. niger*, evidenciando que ocorreu liberação de zinco pelo pó de basalto.

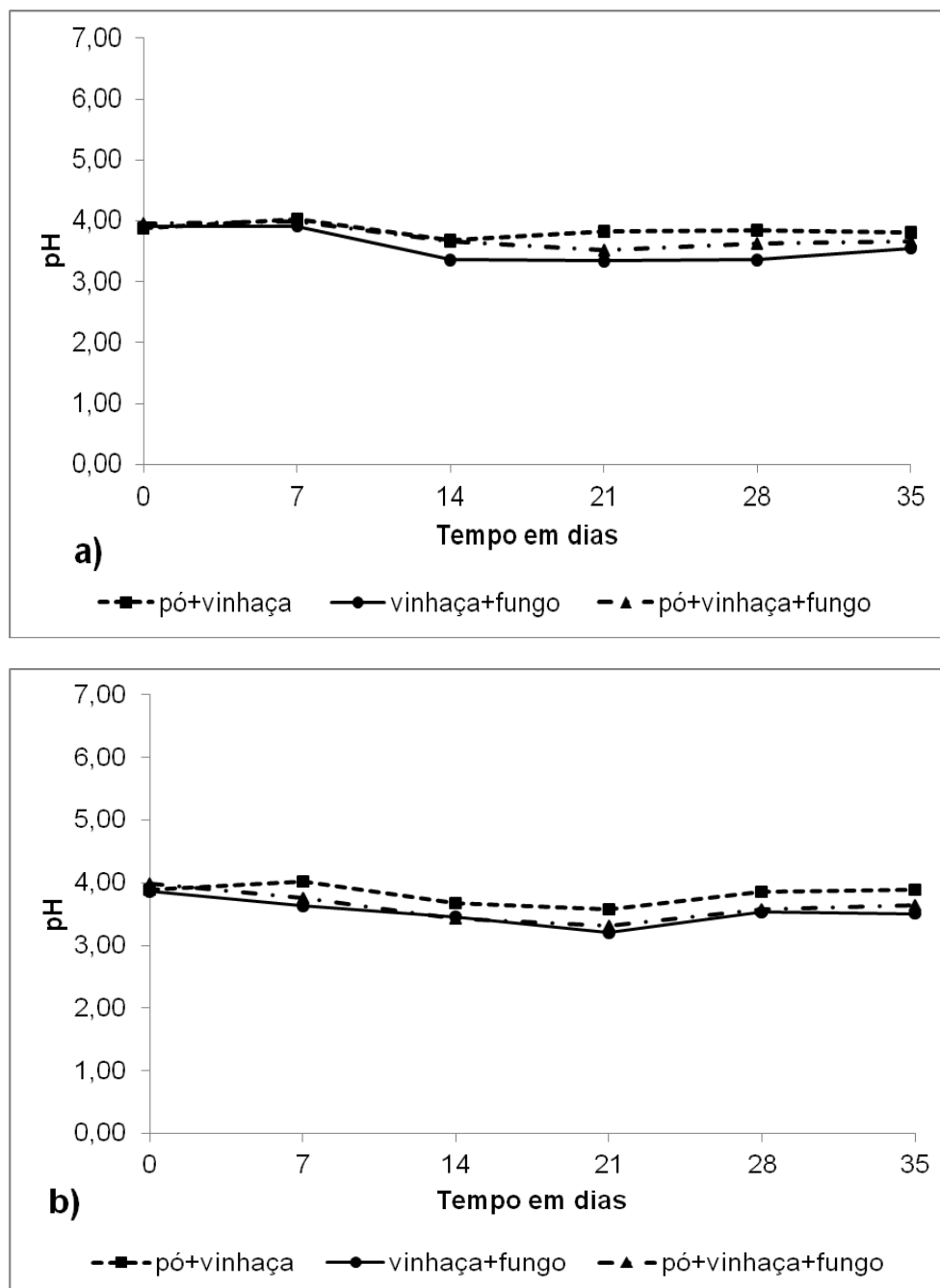


Figura 2. Variação de pH em ensaios de solubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

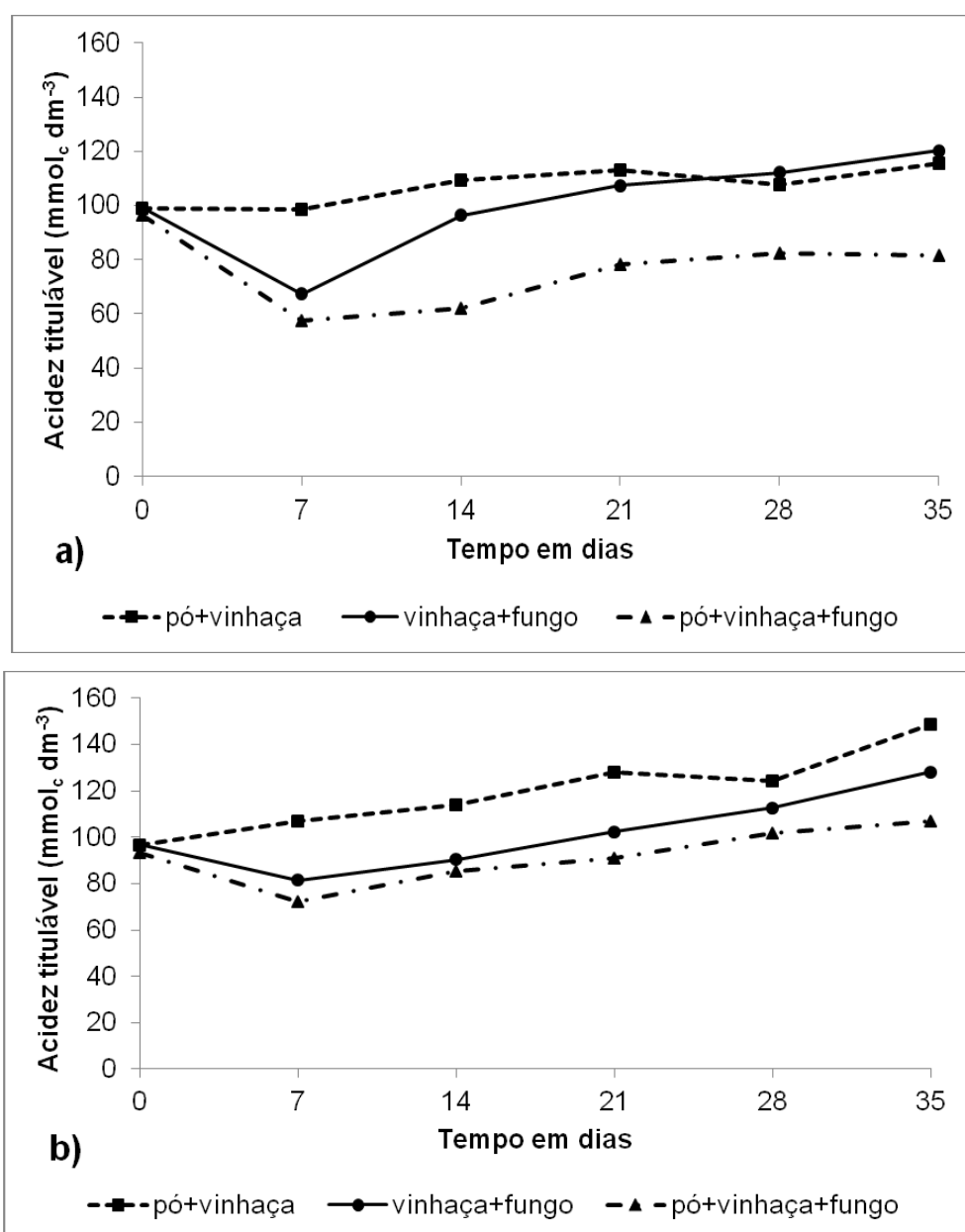


Figura 3. Variação da acidez titulável em ensaios de solubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

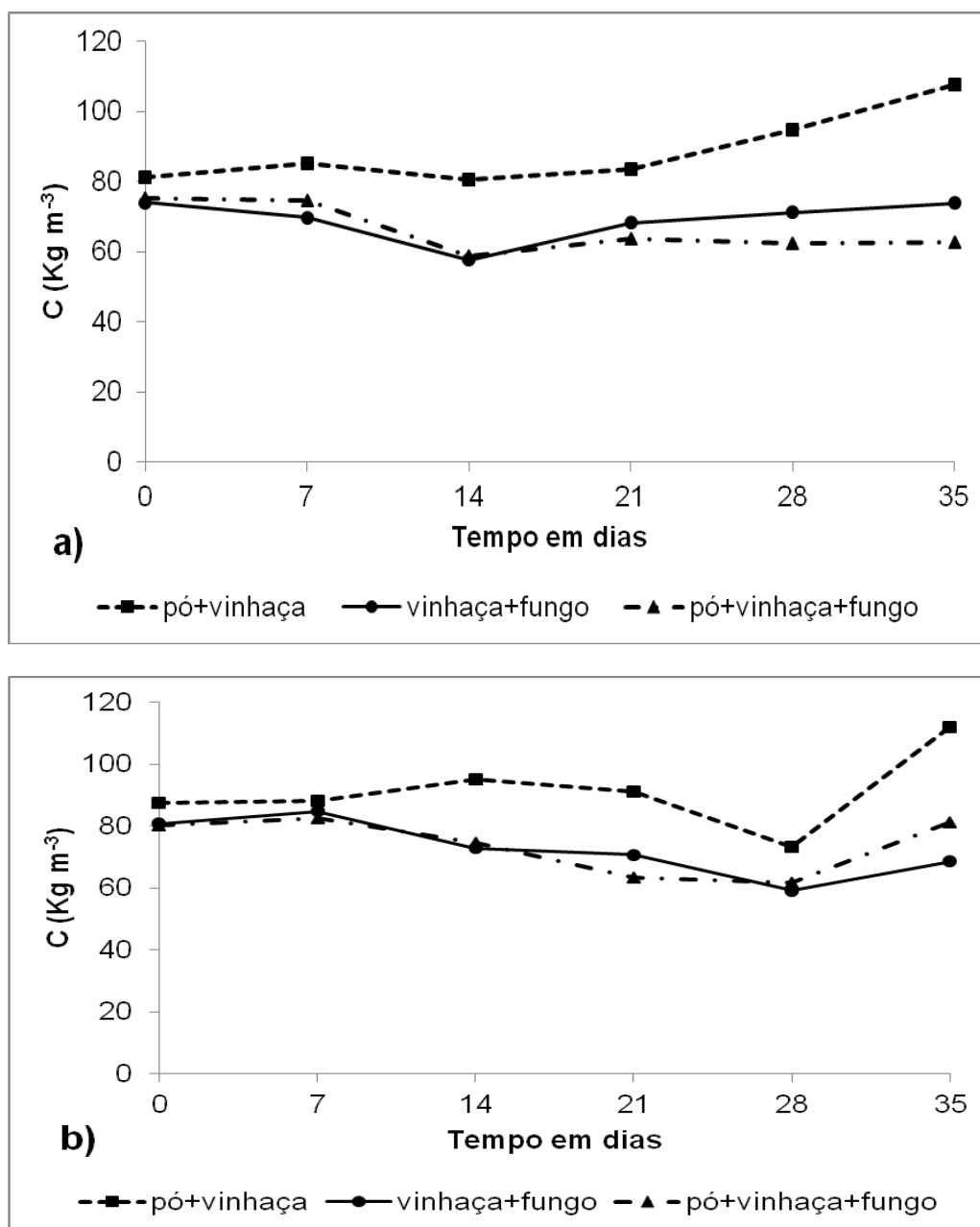


Figura 4. Variação do teor de carbono (C) em ensaios de solubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

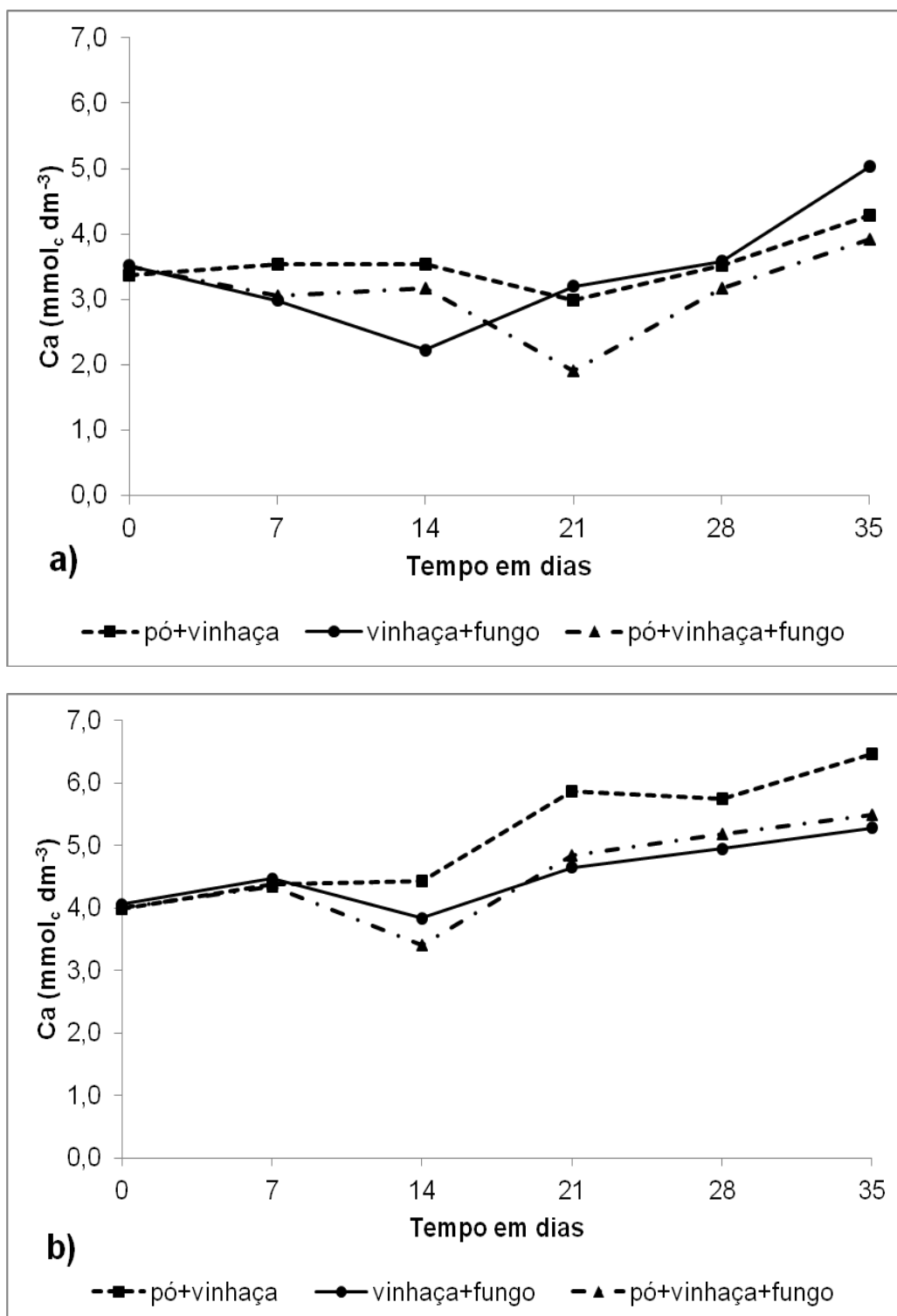


Figura 5. Variação de teor de cálcio (Ca) em ensaios de solubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

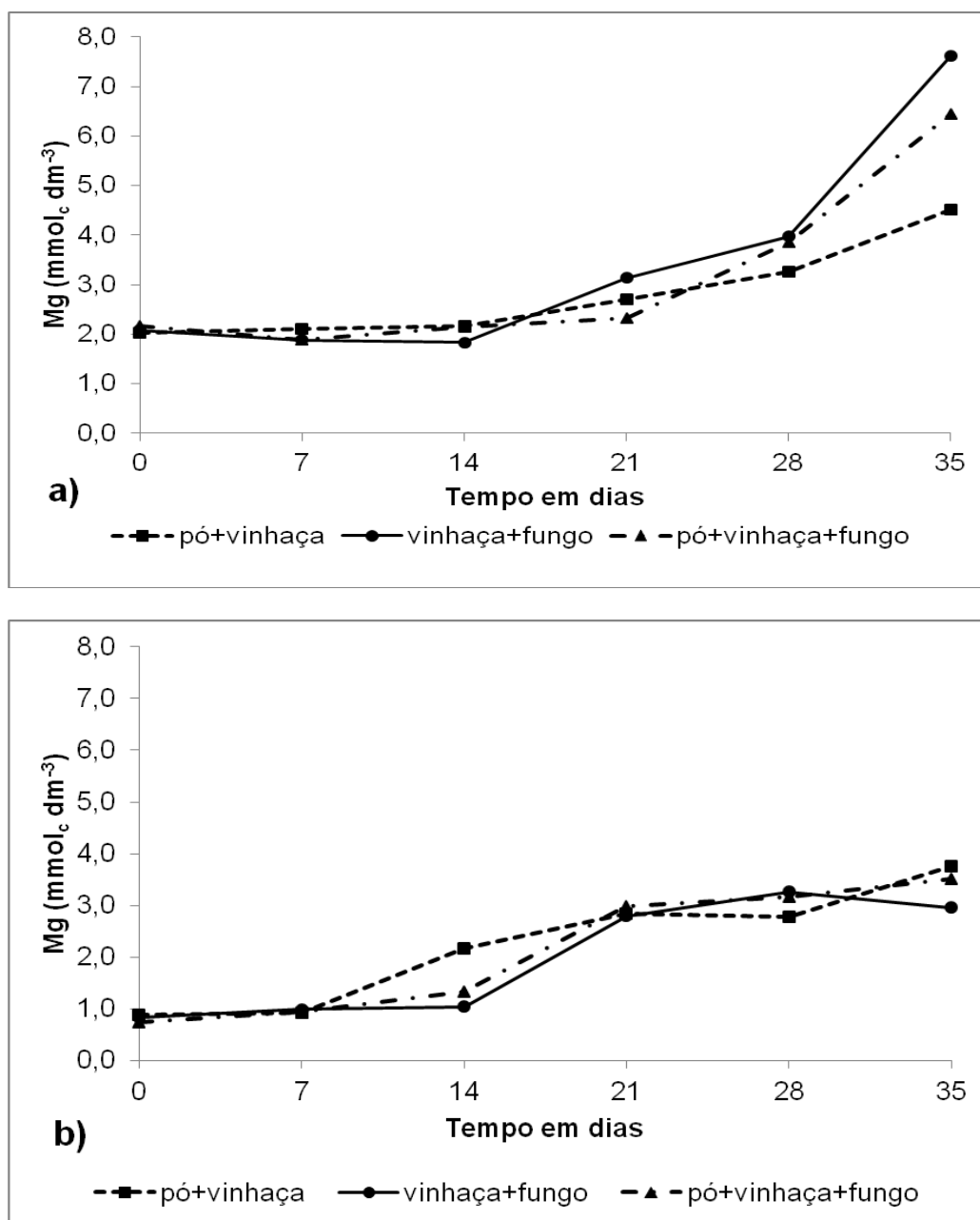


Figura 6. Variação do teor magnésio (Mg) em ensaios de solubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

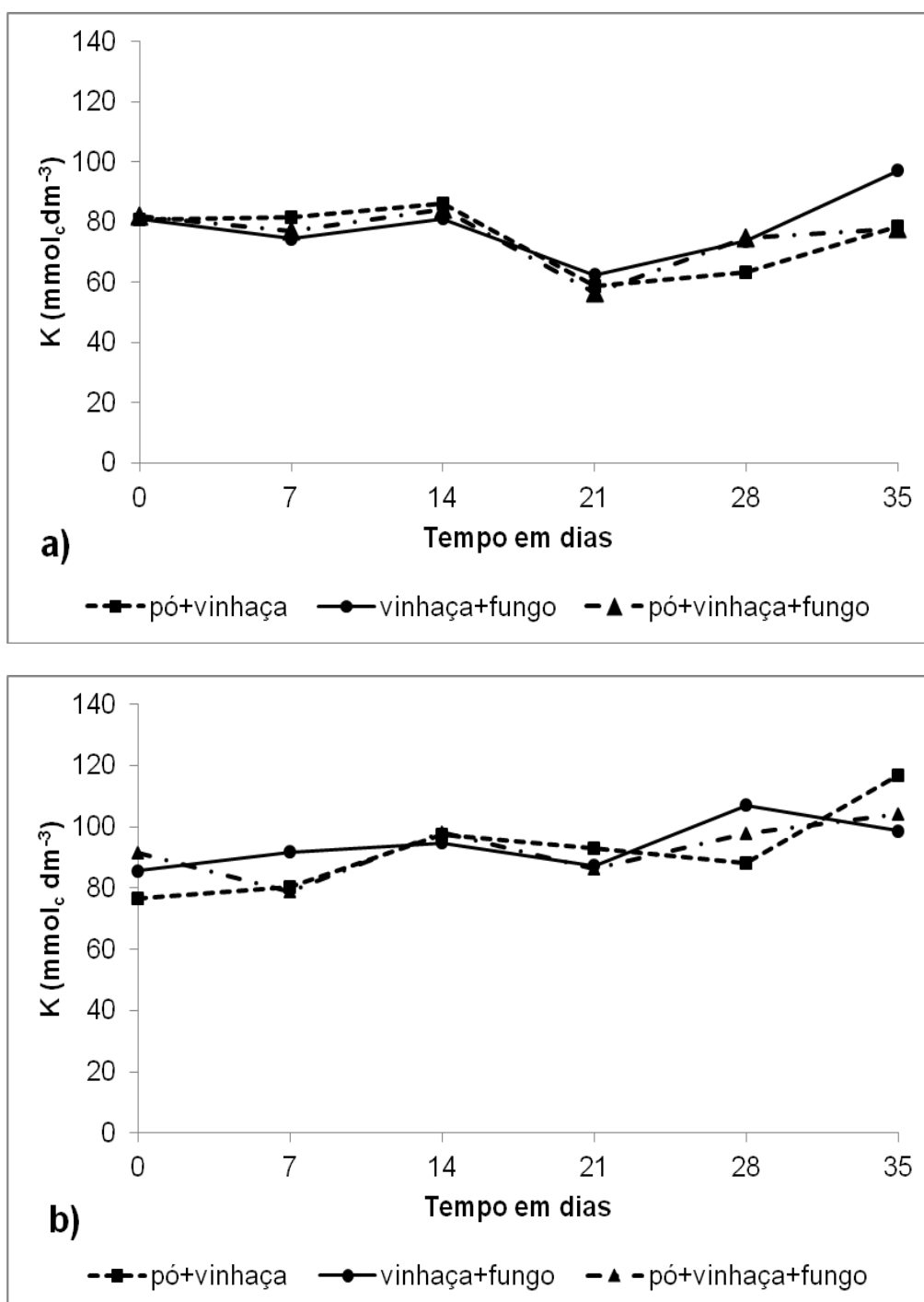


Figura 7. Variação de teor de potássio (K) em ensaios de solubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

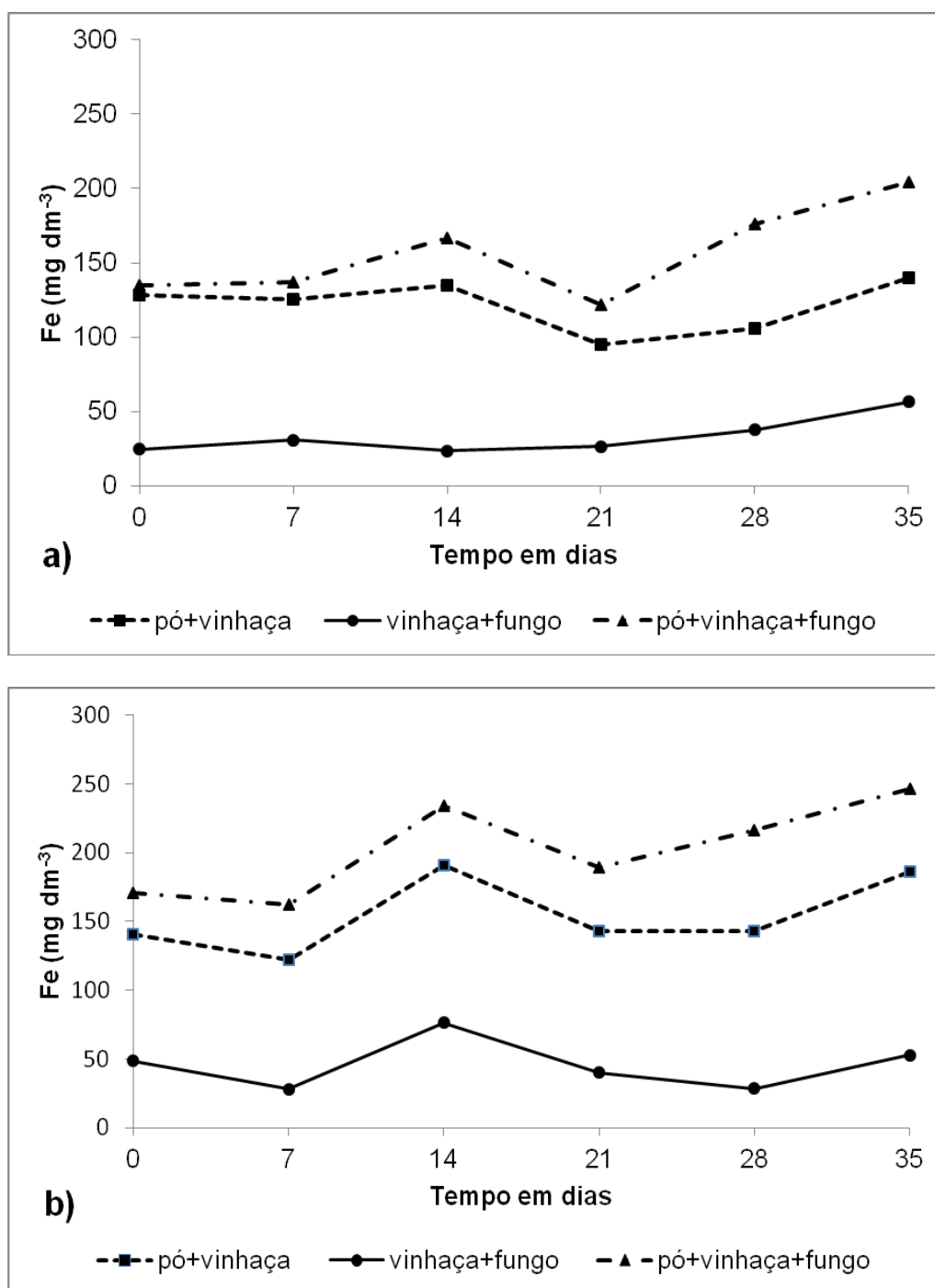


Figura 8. Variação do teor de ferro (Fe) em ensaios de solubilização de pó de basalto por *Aspergillus niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

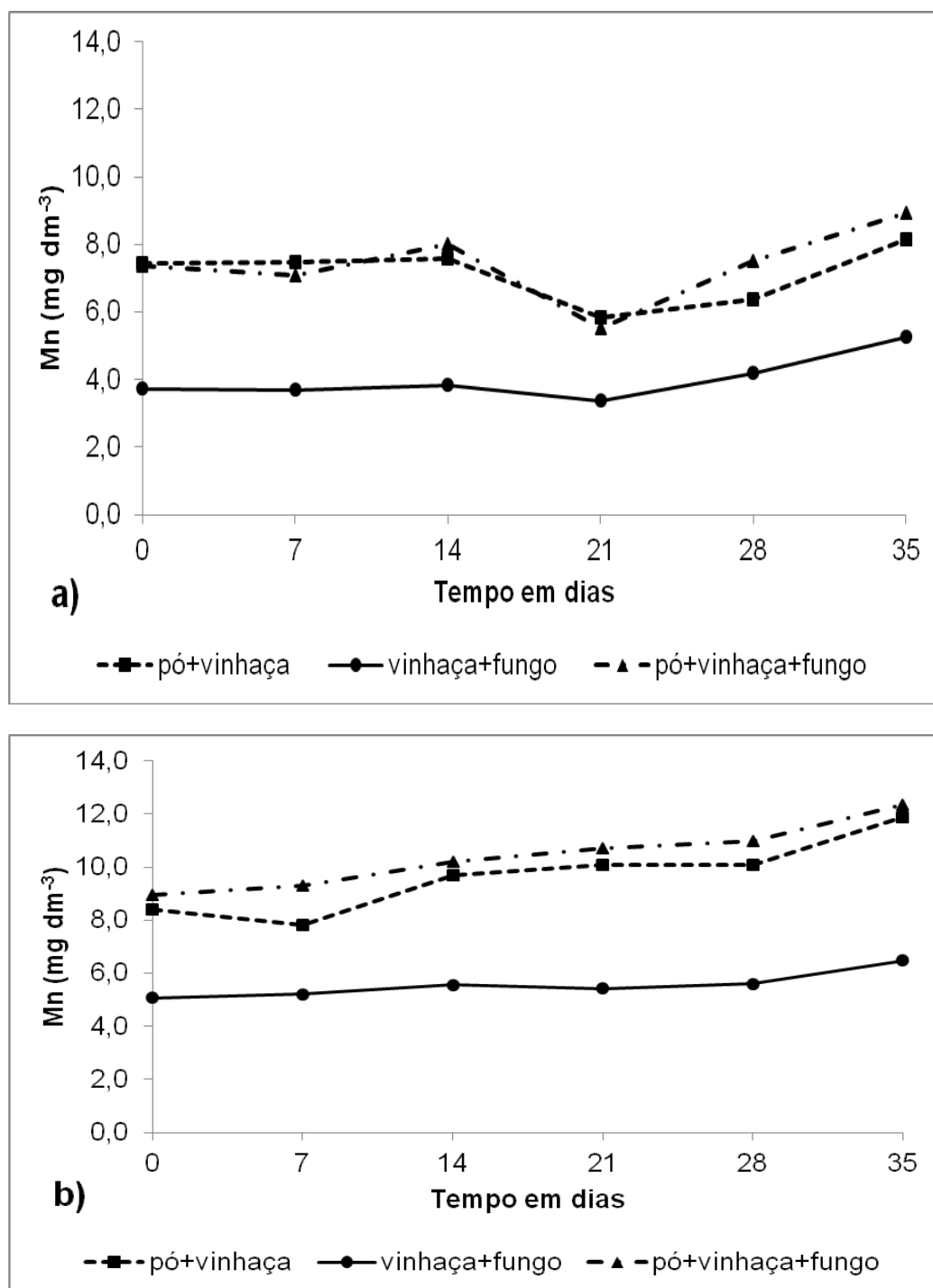


Figura 9. Variação do teor de manganês (Mn) em ensaios de solubilização de pó de basalto por *A. niger* em meio de cultura de vinhaça: a) ensaio 1; b) ensaio 2.

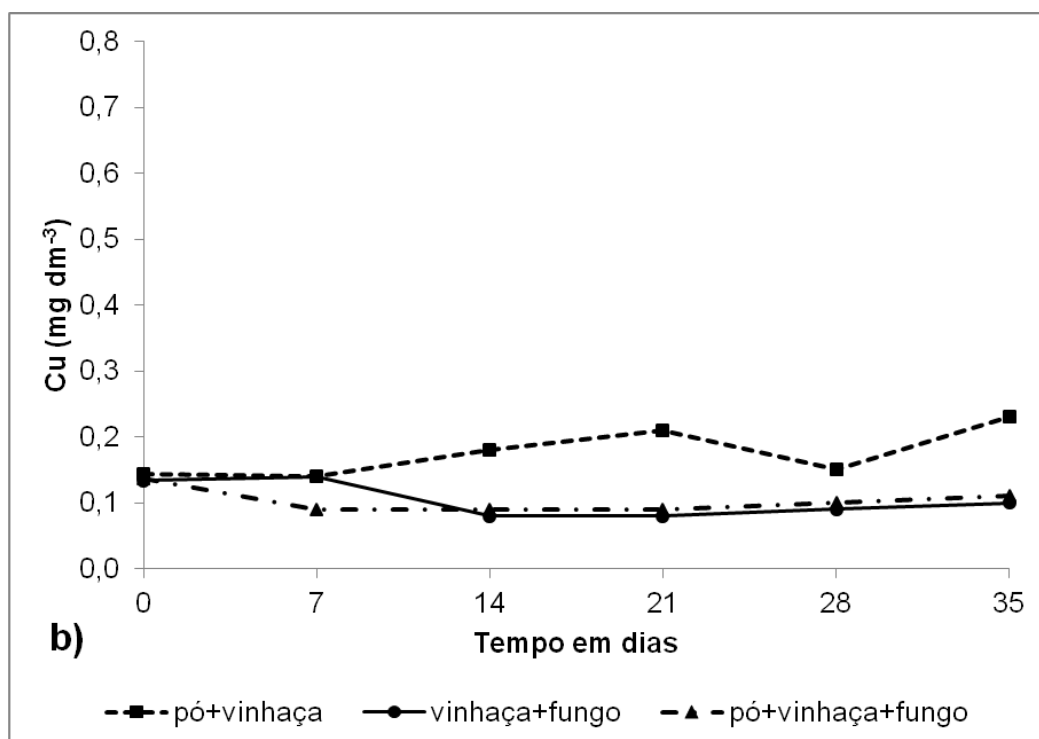
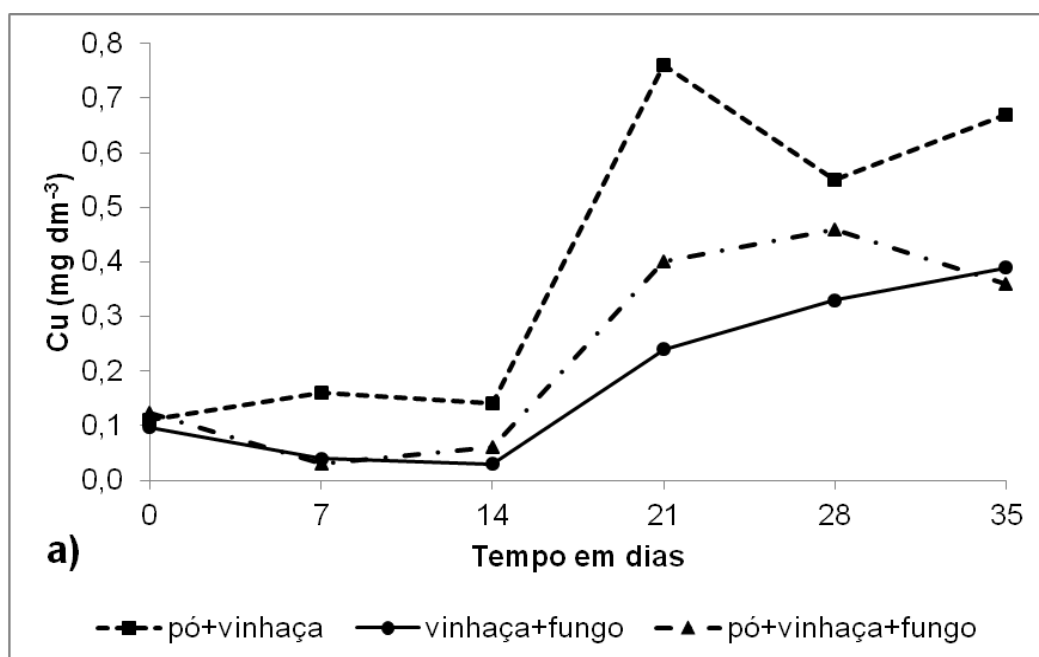


Figura 10. Variação do teor de cobre (Cu) em ensaios de solubilização de pó de basalto por meio de *A. niger* em meio de cultura de vinhaça a) ensaio 1; b) ensaio 2.

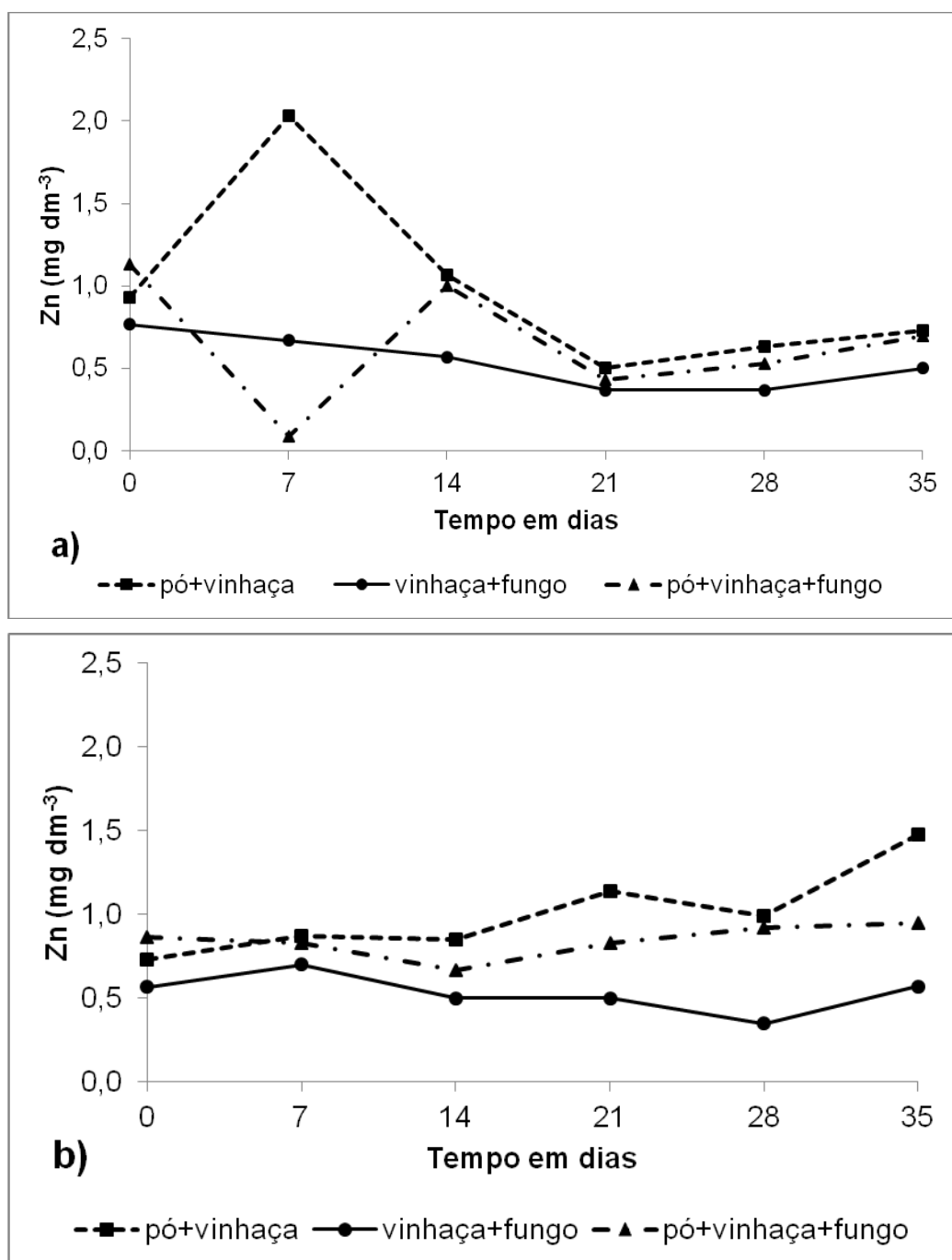


Figura 11. Variação do teor de zinco (Zn) em ensaios de solubilização de pó de basalto por meio de *A. niger* em meio de cultura de vinhaça a) ensaio 1; b) ensaio 2.

2.4 Conclusões

O uso de vinhaça como meio cultura para *Aspergillus niger* em ensaios de solubilização de pó de basalto proporcionou aumento na liberação de ferro e zinco solúveis após 35 dias de incubação. Não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos em relação aos teores de potássio e magnésio e o tratamento de vinhaça e pó de basalto liberou mais cálcio, cobre e manganês que os tratamentos com o fungo *A. niger*.

2.5 Agradecimentos

Ao CNPq pelas Bolsas concedidas às duas primeiras autoras e à FINEP pelo suporte financeiro por meio do Projeto ROCKBIOCOM – Ref. Finep 0944/08.

2.6 Referências bibliográficas

- ANDRADE, J. M. F.; DINIZ, K. M. **Impactos ambientais da agroindústria da cana-de-açúcar: subsídios para a gestão**. 2007. Monografia. USP/ESALQ, Piracicaba. 131 f.
- BRAUNBECK, O. A.; CORTEZ, L. A. B. O cultivo da cana-de-açúcar e o uso dos resíduos. In: ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. (Org.) **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira** - Campinas, SP: UNICAMP, 2005, p. 215-246.
- CARVALHO, W.; SILVA, D. D. V.; CANILHA, L.; MANCILHA, I.M. Aditivos alimentares produzidos por via fermentativa – Parte I: Ácidos Orgânicos. **Revista Analytica**, Ago/Set 2005, n. 18, p. 70-76.
- CECCATO, S. R. **Produção de biomassa e depuração biológica da vinhaça de cana-de-açúcar por cultura mista de fungos filamentosos e leveduras**. 1989. 159p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CEREZINE, P. C.; NAHAS, E.; BANZATTO, D. A. Phosphate accumulation by *Aspergillus niger* from fluorapatite. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 29, p. 501-505, 1988.

- GUEBEL, D.V., DARIAS, N.V.T. Optimisation of citric acid production by *A. niger* through a metabolite flux balance model. **Process. Biotechnol.** v. 4 (1), 1–11, 2001.
- HOPF, J.; LANGENHORST, F.; POLLOK, K.; MERTEN, D.; KOTHE, E. Influence of microorganisms on biotite dissolution: An experimental approach. **Chemie der Erde** v.69, n.2, p.45-56, 2009.
- HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S. Transformações microbianas de outros elementos (potássio, micronutrientes e metais pesados). In: CARDOSO, E.J.B.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Ed.). **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.329-340.
- LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Solubilização de pó de rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, v. 9, n.1, p. 1-17, 2006.
- MEHTA, K. D.; CHITRANGADA DAS; PANDEY, B. D. Leaching of copper, nickel and cobalt from Indian Ocean manganese nodules by *Aspergillus niger*. **Hydrometallurgy**, v.105, p.89-95, 2010.
- NAHAS, E.; ASSIS, L.C. Solubilização de fosfatos de rocha por *Aspergillus niger* em diferentes tipos de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n.2, p. 325-331, 1992.
- NAHAS, E.; BANZATTO, D.A.; ASSIS, L.C. Fluorapatite solubilization by *Aspergillus niger* in vinasse medium. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 8, p. 1097-1101, 1990.
- PEREIRA, B. A. **Agroindústria canavieira: uma análise sobre o uso da água na produção sucroalcooleira**. 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília.
- SILVA, L. D. O. Sustentabilidade do Etanol Brasileiro: Uma Proposta de Princípios e Critérios. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPE/Programa de Planejamento Energético. p.25 Disponível em < www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/leonardo_daemon.pdf> Acesso em: 02 de set. 2010.

SILVA FILHO, G.N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n.6, p. 847-854, 2002.

STATISTICA. Statistica Statsoft: Data analysis software system. Version 6.0, 2001.

CAPÍTULO 3. SOLUBILIZAÇÃO DE PÓS DE BASALTO E DE FONOLITO POR FUNGO FILAMENTOSO

Resumo

Este trabalho objetivou avaliar o efeito do fungo *Aspergillus niger* linhagem CCT4355 na liberação de nutrientes dos pós de basalto e de fonolito em ensaios de solubilização *in vitro*. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5x4 com três repetições. Foram avaliados cinco tratamentos (pó de fonolito + meio, pó de fonolito + fungo + meio, pó de basalto + meio, pó de basalto + fungo + meio e fungo + meio) e quatro épocas de amostragens (0, 10, 20 e 30 dias). Adicionou-se pó de rocha (0,4% m/v) a Erlenmeyers de 125 mL contendo 50 mL de meio de cultura líquido adaptado para *A. niger*. Os

frascos foram incubados por 30 dias, e foram feitas análises do pH em água, acidez titulável e teores de potássio, cálcio, zinco, ferro e manganês solúveis. Houve aumento significativo da quantidade de K solúvel nos tratamentos pós de basalto e de fonolito e fungo, e o tratamento com pó de fonolito + fungo + meio apresentou maior teor de K solúvel quando comparado com o tratamento pó de basalto + fungo + meio. O *A. niger* foi capaz de produzir ácidos orgânicos que solubilizaram os pós de rocha e interagiram de diferentes formas com os nutrientes. Conclui-se que a linhagem CCT4355 de *A. niger* tem potencial como solubilizador de pó de rochas silicáticas.

Termos para indexação: biossolubilização, *Aspergillus niger*, pó de rocha silicática.

3.1 Introdução

O Brasil possui solos tropicais formados a partir de diferentes materiais de origem, sendo muitas vezes altamente intemperizados com acelerada remoção de nutrientes, o que ocasiona acidez elevada e toxidez por alumínio, além de alta capacidade de fixação de fósforo (LOPES e GUILHERME, 2007). No entanto, a sua baixa fertilidade natural pode ser modificada por meio de técnicas de manejo adequadas visando à conservação das suas características físicas, químicas e biológicas. Destacam-se a redução da intensidade de preparo do solo, a rotação de culturas, o cultivo consorciado, o plantio em curvas de nível, a utilização de cobertura morta, de adubos verdes e de fertilizantes para suprir os nutrientes demandados para o desenvolvimento vegetal adequado em solos destinados à agricultura.

Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)⁶, em 2010 o Brasil importou mais de 15 milhões de toneladas de matérias primas e produtos intermediários para a fabricação de adubos sintéticos. Como esses fertilizantes utilizam combustível fóssil para o seu processamento e transporte, seu valor de mercado é diretamente afetado

⁶ Disponível em <<http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>> Acesso em 20 de jun. 2011.

pelas flutuações cambiais e pelas oscilações do preço do barril de petróleo. Além disso, por serem altamente solúveis, esses fertilizantes podem ser facilmente lixiviados, principalmente nos sistemas agrícolas de sequeiro e em sistemas irrigados. Os fertilizantes solúveis também não são admitidos pelas normas técnicas vigentes para a agricultura orgânica, uma vez que nesse tipo de agricultura a atividade biológica do solo e a qualidade das águas devem ser mantidas e incrementadas (BRASIL, 1999; FAO, 2007).

No Brasil, em busca de fontes alternativas de nutrientes atualmente estão sendo realizadas pesquisas com materiais orgânicos ou minerais que até então não eram exploradas comercialmente, por desconhecimento técnico do potencial de uso, por falta de posicionamento do produto no mercado ou por falta de interesse da grande indústria de fertilizantes (BENITES et al., 2010). Dentre essas pesquisas, a utilização de pós de rocha *in natura* diretamente no solo tem sido considerada de importância estratégica para o país, por contribuir para a diminuição de impactos negativos na balança comercial brasileira causados pela importação de adubos (MARTINS et al., 2008; NASCIMENTO e LOUREIRO, 2009).

Entretanto, os processos de decomposição química dos minerais e liberação dos nutrientes do pó de rocha para a solução do solo, na forma e quantidade adequadas para serem absorvidos pelas plantas, são relativamente lentos. A fim de solucionar essa questão, deve-se procurar pós de rocha com granulometria mais fina, pois a estabilidade dos minerais que compõem as rochas depende, dentre outros fatores, da sua estrutura, da sua solubilidade e da sua área superficial específica (ASE) (KÄMPF et al., 2009).

Resultados promissores têm sido obtidos em ensaios com diferentes microrganismos (fungos filamentosos, bactérias e leveduras) capazes de promover a solubilização de pós de rochas, acelerando processos de alteração de silicatos contidos no pó (SHENG, 2005;

SUGUMARAN e JANARTHANAM, 2007; HAMDALI et al., 2008; LIAN et al., 2008; XIAO et al., 2008).

Os fungos filamentosos saprofíticos possuem, como parte da sua atividade metabólica, um potente sistema secretor de ácidos e enzimas capazes de transformar materiais e disponibilizar nutrientes (GRIMM et al., 2005; GUEBEL e DARIAS, 2001). Dentre os fungos filamentosos ascomicetos, o *Aspergillus niger* tem sido extensivamente utilizado nos trabalhos de solubilização de rochas (LOPES-ASSAD et al., 2010; LOPES-ASSAD et al., 2006). A biossolubilização promovida pelo *Aspergillus niger* ocorre de maneira indireta, através da ação de ácidos redutores (cítrico e oxálico) que são produzidos pelo metabolismo do fungo (MEHTA et al., 2010) e liberados na solução. Na natureza, ele é encontrado na liteira do solo e seu crescimento se dá em amplas faixas de temperaturas (6-47°C) e pH (1,4 a 9,8) (SCHUSTER et al., 2002).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do fungo *Aspergillus niger* na solubilização *in vitro* de pós de fonolito e basalto, ambas rochas silicáticas.

3.2 Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM) e as análises dos nutrientes foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas de Solo e Planta, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras - SP.

O pó de fonolito foi fornecido pela Mineradora Curimbaba Ltda. de Poços de Caldas, MG, e o pó de basalto pela Mineradora Remanso Ltda. de Araras, SP. O fonolito é uma rocha alcalina leucocrática constituída predominantemente por feldspatos potássicos, enquanto o basalto (classificado geologicamente como um latíandesito) é uma rocha básica mesocrática com predominância de plagioclásio, piroxênios (augita e pigeonita), minerais opacos (magnetita, ilmenita e sulfetos) e olivina

(MACHADO et al., 2005). Ambos apresentam quantidades medianas de sílica (SiO₂) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química dos pós de fonolito e de basalto.

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂
Fonolito ¹	54,8%	3,29%	8,46%	21,3%	6,07%	-	-	-
Basalto ²	50,31%	12,62%	0,84%	13,94%	2,24%	6,91%	10,16%	1,02%

¹Análise química fornecida pela mineradora Curimbaba Ltda e ²Análise química fornecida pela Acme Analytical Laboratories LTD.

Nos testes de solubilização foi utilizado o fungo *Aspergillus niger* linhagem CCT-4355, isolada de vinhaça de cana de açúcar (Ceccato, 1989), pertencente ao banco de microrganismos do LAMAM. Até o início dos testes, o fungo permaneceu armazenado em geladeira (6-8°C), em tubos de ensaio, em meio de cultura MYPG inclinado. Na produção de inoculo foi utilizado meio MYPG (3 g L⁻¹ de extrato de carne, 3g L⁻¹ de extrato de levedura, 8 g L⁻¹ de peptona, 10 g L⁻¹ de glicose e 20 g L⁻¹ de Agar) em cultivo em tubo de ensaio em meio inclinado; os tubos foram incubados a 30°C por cinco dias. Um volume de 4 mL de Tween 80 (0,1%) foi adicionado em cada tubo de cultura e os esporos foram raspados com o auxílio de uma alça de platina para a sua liberação. Uma suspensão de 1,0 a 1,8*10⁷ esporos mL⁻¹ foi obtida após a contagem em câmara de Neubauer. Para a montagem do experimento foi utilizado 50 mL de meio de cultura líquido adaptado para *A. niger* (2,85 g L⁻¹ de citrato de sódio, 1 g L⁻¹ de fosfato de amônia, 0,5 g L⁻¹ de sulfato de magnésio, 0,132 g L⁻¹ de cloreto de cálcio e 10 g L⁻¹ de glicose, pH 7,0), conforme CERZINE et al. (1988). O cultivo foi realizado em Erlenmeyers de 125 mL, com adição ou não de 0,2 g de pó de rocha (0,4% m v⁻¹), com granulometria inferior a 0,053 mm (270 mesh), e com a inoculação ou não de 0,5 mL da suspensão de esporos, de acordo com o tratamento.

O experimento *in vitro* foi realizado no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5X4, com três repetições. Os tratamentos foram: *A. niger* + meio (MA); pó de fonolito + meio (FM); pó

de fonolito + *A. niger* + meio (FMA); pó de basalto + meio (DM) e pó de basalto + *A. niger* + meio (DMA), e por quatro épocas de amostragens (0, 10, 20 e 30 dias). Os frascos foram incubados a 30°C a 160 rpm por 30 dias. O conteúdo dos frascos foi filtrado a vácuo, utilizando papel de filtro Whatman nº01. No filtrado, foram analisados o pH em água; a acidez titulável, por titulação das amostras até pH 7, utilizando-se solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹; e os teores de potássio (K), cálcio (Ca), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) solúveis por fotometria de emissão de chama.

Os resultados dos ensaios in vitro foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, ou regressão conforme a natureza dos dados quantitativo ou qualitativo, utilizando o software estatístico Statistica 6.0 (2001).

3.3 Resultados e Discussão

Nos ensaios realizados em laboratório, ocorreu ao longo do tempo uma redução significativa do pH e um aumento da acidez titulável no tratamento meio de cultura + *A. niger* (MA) em relação aos demais tratamentos (Figuras 1 A e B), enquanto que nos tratamentos sem o microrganismo praticamente não houve variação do pH ou da acidez titulável, evidenciando o papel do fungo na produção de ácidos orgânicos. Por outro lado, nos tratamentos em que o fungo e o pó de rocha estavam presentes a maior variação de pH ocorreu em presença do pó de basalto, o que reflete o maior conteúdo de minerais ricos em cálcio e magnésio presentes nesta rocha. O pó de basalto utilizado possuía 10,16% de CaO e 6,91% de MgO e o pó de fonolito não continha CaO e MgO (Tabela 1).

Os teores de cálcio foram maiores nos tratamentos com os pós de rocha e o meio de cultura, não ocorrendo diferença entre os dois tipos de pós (Figura 1 C), indicando que, na ausência do fungo, não ocorreu liberação do cálcio contido no pó de basalto. As pequenas quantidades de Ca observadas no tratamento com pó de fonolito podem ser provenientes do meio de cultura. Nos tratamentos com o fungo, os teores de cálcio diminuíram ao longo do tempo, pois um dos ácidos orgânicos produzido

pelo *A. niger*, o ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), possui atividade quelante de íons Ca^{+2} (CARVALHO et al., 2005).

Ocorreu diferença significativa na quantidade de K solubilizado nos diferentes tratamentos (Figura 1 D) com pó de fonolito. Já nos tratamentos com pó de basalto, a quantidade de K presente neste não proporcionou diferença significativa entre os tratamentos. Mas ocorreu diferença significativa no tratamento pó de basalto + meio (DM) ao longo do tempo, sendo que a maior quantidade de K solúvel foi encontrada aos 30 dias e este nutriente foi liberado mesmo na ausência do fungo. Como a quantidade de K presente no pó de fonolito é dez vezes maior do que aquela presente no pó de basalto (Tabela 1), no tratamento fonolito + meio + fungo (FMA) ocorreu um aumento superior aos demais tratamentos, evidenciando o potencial solubilizador do fungo. Os resultados obtidos nesse ensaio apontam que o potássio, contido nos minerais presentes no pó de fonolito, foi o elemento que apresentou maior solubilização por *A. niger*.

O potássio presente nos feldspatos não está prontamente disponível, pois se encontra fortemente ligado às moléculas de oxigênio dos tetraedros de SiO_4 e AlO_4 (CURI, et al., 2005). Por isso, a liberação dos íons K^+ requer a dissolução do feldspato pela ação de íons H^+ provenientes dos ácidos produzidos pelo *A. niger*. A reação pode ser expressa de forma simplificada como $KAISi_3O_8 + H^+ \rightarrow HAISi_3O_8 + K^+$.

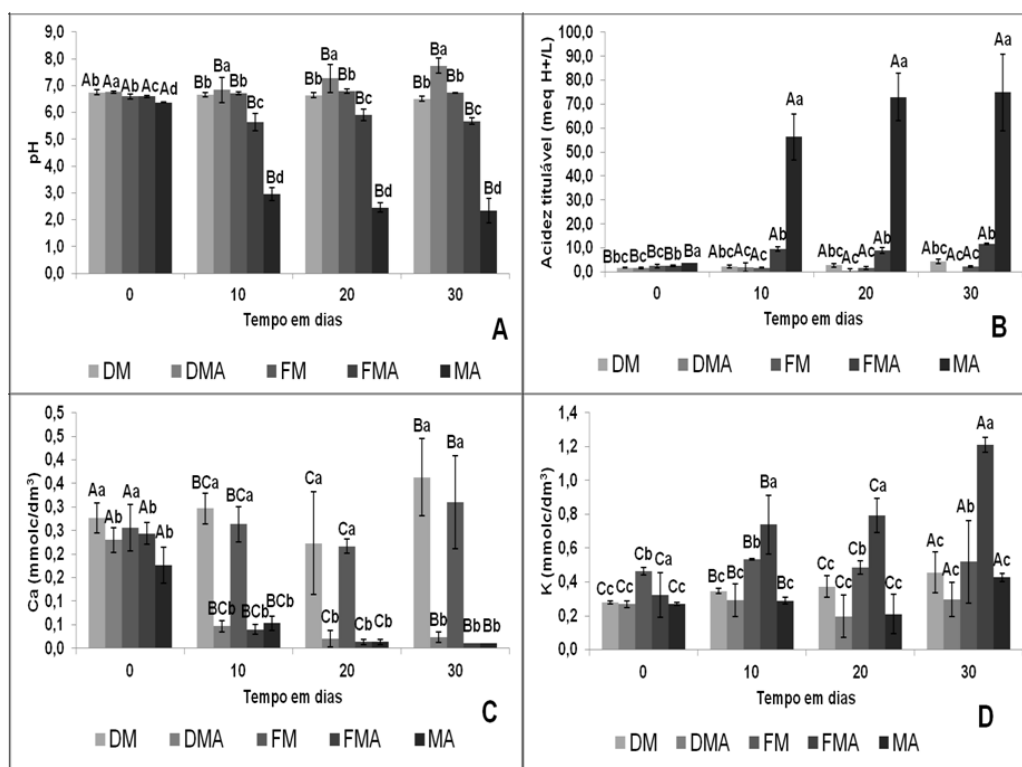


Figura 1. Variação de (A) pH, (B) acidez titulável, (C) cálcio (Ca) e (D) potássio (K) nos ensaios com pó de basalto, pó de fonolito e *Aspergillus niger* em meio de cultura. Tratamentos: DM – pó de basalto + meio de cultura; DMA – pó de basalto + meio de cultura + *A. niger*; FM – pó de fonolito + meio de cultura; FMA – pó de fonolito + meio de cultura + *A. niger*; MA – meio de cultura + *A. niger*. (Letras maiúsculas sobre as barras comparam as médias entre os tempos e as minúsculas comparam as médias entre os tratamentos pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias).

Não houve efeito de *A. niger* na solubilização de Mg (Figura 2 A) e nem na solubilização de Fe (Figura 2 B) nos tratamentos com os dois pós de rocha estudados. Também não ocorreu diferença significativa no teor de manganês nos tratamentos DM, DMA e FM (Figura 2 C). Do mesmo modo, não ocorreu diferença significativa na quantidade de Zn nos tratamentos DM e DMA e nem nos tratamentos FM e FMA (Figura 2 D), indicando que não ocorreu a influência do fungo na solubilização desse elemento. Porém, para este elemento ocorreu diferença significativa entre

os pós, sendo que a quantidade de Zn solubilizada foi superior nos tratamentos com o pó de fonolito.

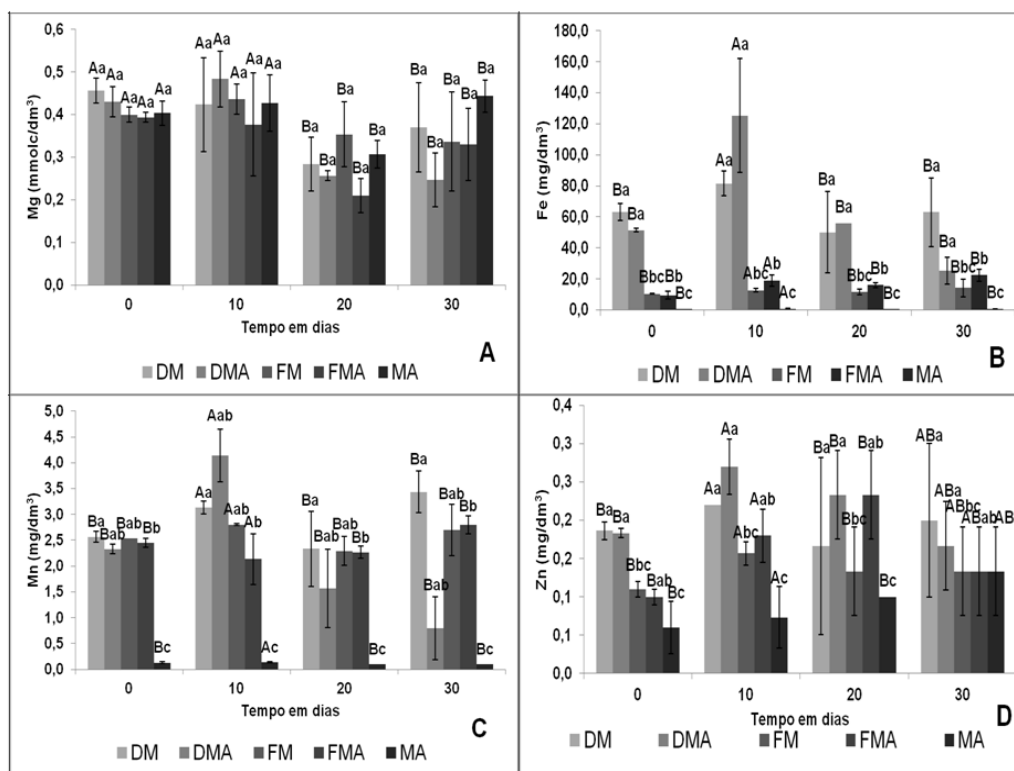


Figura 2. Variação dos teores de (A) magnésio (Mg), (B) ferro (Fe), (C) manganês (Mn) e (D) zinco (Zn) em ensaios com pó de basalto, pó de fonolito e *Aspergillus niger* em meio de cultura. Tratamentos: DM – pó de basalto + meio de cultura; DMA – pó de basalto + meio de cultura e *A. niger*; FM – pó de fonolito + meio de cultura; FMA – pó de fonolito + meio de cultura e *A. niger*; MA – Meio de cultura e *A. niger*. Letras maiúsculas sobre as barras comparam as médias entre os tempos e as minúsculas comparam as médias entre os tratamentos pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O *A. niger* libera ácidos redutores (cítrico e oxálico) que convertem as formas insolúveis Fe(III) e MnO₂ a formas solúveis Fe(II) e Mn(II) (MEHTA et al., 2010). Alguns fatores afetam a fermentação submersa do ácido cítrico (tipo e a concentração da fonte de carbono, limitação de nitrogênio e fosfato, pH, aeração, concentração de elementos traço e a morfologia do organismo produtor) e, dentre os metais que precisam estar

em uma quantidade limite, encontram-se o Zn, Mn, Fe, Cu, metais pesados e metais alcalinos (PAPAGIANNI, 2007).

A diminuição ao longo do tempo nos teores de Fe e Mn ocorridas no tratamento basalto + meio + *A. niger* (DMA) acompanharam a elevação do pH (Figura 1 A). De acordo com Papagianni (2007), esse fato pode estar relacionado à toxidez causada pelos elevados níveis desses elementos no meio de cultura que prejudicam a produção de ácido cítrico pelo *A. niger*.

Os resultados obtidos neste ensaio apontaram o pó de fonolito como fonte importante de K quando incubado com a linhagem CCT-4355 do fungo *A. niger*, podendo ser usado na produção de biofertilizante potássico. Entretanto, ao final dos 30 dias a quantidade de K solubilizado pelo *A. niger* no tratamento com o pó de fonolito + meio + fungo (FMA) não atingiu seu grau máximo (Figura 3).

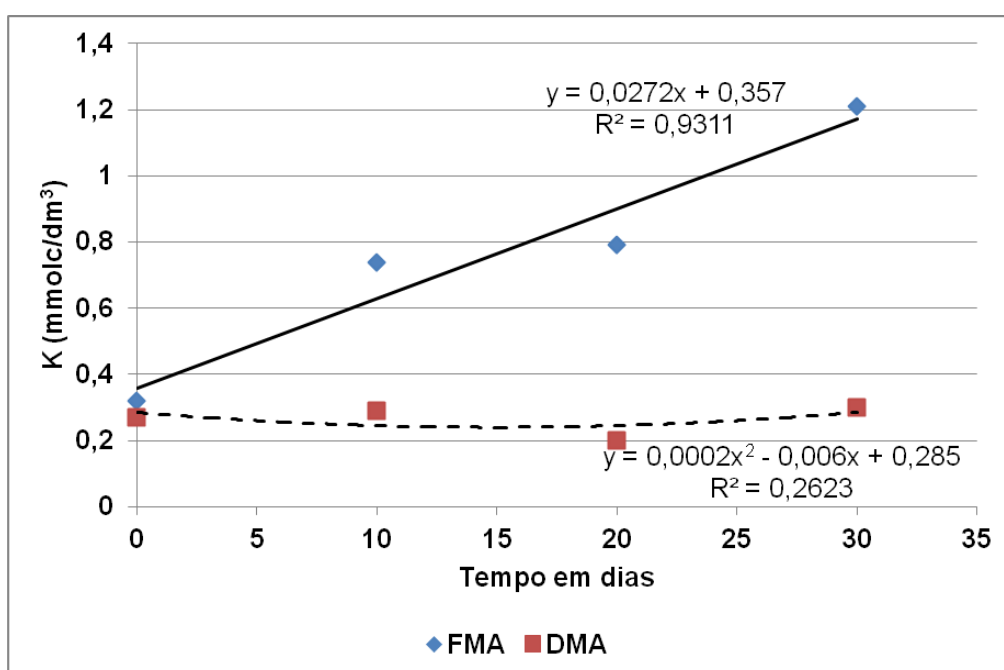


Figura 3. Quantidade de potássio solubilizado em função do tempo nos tratamentos pó de basalto + meio de cultura + *Aspergillus niger* (DMA) e pó de fonolito + meio de cultura + *Aspergillus niger* (FMA).

Com efeito, como cada frasco com pó de fonolito continha $7,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, no tratamento fonolito + meio + fungo, o teor de potássio solúvel aos 30 dias de incubação foi $1,21 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$. Isto corresponde a uma taxa de solubilização de 16,8%, enquanto que no tratamento fonolito + meio essa taxa manteve-se em 7,2%. Lopes-Assad et al. (2006), com essa mesma linhagem de *A. niger*, obtiveram taxas de solubilização de 54,7% para o pó de rocha ultramáfica alcalina contendo 3,32% de K_2O e 33,26% de SiO_2 e 11,8% para pó de flogopitito contendo 5,13% de K_2O e 47,12% de SiO_2 , aos 21 dias de incubação. Esses resultados sugerem que a taxa de solubilização realizada pelo *A. niger* está relacionada com as quantidades de SiO_2 e K_2O presentes nas rochas e as suas características mineralógicas.

Duas fontes de potássio comumente utilizadas na agricultura orgânica são as cinzas vegetais, com cerca de 10% de K, e esterco bovino curtido de curral, com cerca de 5% de K (SOUZA e ALCÂNTARA, 2008). Assim, o pó de fonolito com cerca de 8% de K pode ser uma alternativa para adubação orgânica. A via biotecnológica, por meio da incubação de pó de rocha com *A. niger* e produção de biofertilizante, constitui uma alternativa promissora, no sentido de acelerar o processo de liberação de nutrientes.

3.4 Conclusões

1. O fungo *Aspergillus niger* promoveu a solubilização de elementos contidos no pó de basalto e pó de fonolito, confirmando o seu papel como solubilizador de rochas silicáticas.
2. O elemento que apresentou maior solubilização pela linhagem CCT4355 do fungo *A. niger* foi o K em pó de fonolito.
3. O pó de fonolito pode ser indicado para a produção de biofertilizante potássico.

3.5 Agradecimentos

Ao CNPq pelas Bolsas concedidas às duas primeiras autoras e à FINEP pelo suporte financeiro por meio do Projeto ROCKBIOCOM – Ref. Finep 0944/08.

3.6 Referências bibliográficas

- BENITES, V.M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.V. Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 03, p. 18-21. 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 7, de 17 de maio de 1999. Estabelece as normas de produção, tipificação, processamento, envase, distribuição, identificação e de certificação da qualidade para os produtos orgânicos de origem vegetal e animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 de maio de 1999, Seção 1, p. 11.
- CARVALHO, W.; SILVA, D.D.V.; CANILHA, L.; MANCILHA, I.M. Aditivos alimentares produzidos por via fermentativa – Parte I: Ácidos Orgânicos. **Revista Analytica**, n. 18. 2005.
- CECCATO, S. R. **Produção de biomassa e depuração biológica da vinhaça de cana-de-açúcar por cultura mista de fungos filamentosos e leveduras**. 1989. 159p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CEREZINE, P.C.; NAHAS, E.; BANZATTO, D.A. Phosphate accumulation by *Aspergillus niger* from fluorapatite. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 29, p. 501-505, 1988.
- CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 71-91.

- FAO. World Health Organization. **Guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organically produced foods**. Rome: FAO-WHO, 2007. 39p. (Codex Alimentarius. CAC/GL, 32).
- GRIMM, L.H.; KELLY, S.; KRULL, R.; HEMPEL, D.C. Morphology and productivity of filamentous fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 69, 375-384, 2005.
- GUEBEL, D.V., DARIAS, N.V.T. Optimisation of citric acid production by *A. niger* through a metabolite flux balance model. **Process Biotechnology**, v. 4, n.1, p. 1–11, 2001.
- HAMDALI, H.; HAFIDI, M.; VIROLLE, M.J.; OUHDOUCH, Y. Rock phosphate-solubilizing actinomycetes: screening for plant growth-promoting activities. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 2565-2575, 2008.
- 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**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 333-379.
- LIAN, B.; WANG, B.; PAN, M.; LIU, C.; TENG, H.H. Microbial release of potassium from K-bearing minerals by thermophilic fungus *Aspergillus fumigates*. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 72, p. 87-98, 2008.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.
- LOPES-ASSAD, M.L.; ROSA, M.M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S.R. Solubilização de pó de rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, v. 9, n.1, p. 1-17, 2006.
- LOPES-ASSAD, M.L.; AVANSINI, S.H.; ROSA, M.M.; CARVALHO, J.R.P.; CECCATO-ANTONINI, S.R. The solubilization of potassium-bearing

- rock powder by *Aspergillus niger* in small-scale batch fermentations. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 56, p. 598-605, 2010.
- MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; MELO, R.P.; OLIVEIRA, M.A.F.; SQUISATO, E. As rochas intrusivas da formação Serra Geral na porção leste da bacia do Paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos – resultados preliminares. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 5-17, 2005.
- MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais de Potássio para a Agricultura. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM, 2008. p. 205-223.
- MEHTA, K.D.; CHITRANGADA D.A.S; PANDEY, B.D. Leaching of copper, nickel and cobalt from Indian Ocean manganese nodules by *Aspergillus niger*. **Hydrometallurgy**, v. 105, p.89-95, 2010.
- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F.E.L. O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R.; NETO, J.F. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2009. p. 305-335.
- PAPAGIANNI, M. Advances in citric acid fermentation by *Aspergillus niger*: biochemical aspects, membrane transport and modeling. **Biotechnology Advances**, v. 25, p. 244-263, 2007.
- SCHUSTER, E; DUNN-COLEMAN, N; FRISVAD, J.C.; VAN DIJCK, P.W.M. On the safety of *Aspergillus niger* – a review. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 59, p.426-435, 2002.
- STATISTICA. Statistica Statsoft: Data analysis software system. Version 6.0, 2001.
- SHENG, X.F. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium-releasing strain of *Bacillus edaphicus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p.1918-1922, 2005.

- SOUZA, R.B. de; ALCÂNTARA, F.A. **Adubação no sistema orgânico de produção de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 8p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 65).
- SUGUMARAN, P.; JANARTHANAM, B. Solubilization of potassium-containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 3, p.350-355, 2007.
- XIAO, C.Q.; CHI, R.A.; HUANG, X.H.; ZHANG, W.X.; QIU, G.Z.; WANG, D.Z. Optimization for rock phosphate solubilization by phosphate-solubilizing fungi isolated from phosphate mines. **Ecological Engineering**, v.33, p.187-193, 2008.

CAPÍTULO 4. VERMICOMPOSTAGEM E PÓ DE BASALTO NA PRODUÇÃO DE ABOBRINHA ITALIANA⁷

Resumo

O uso intensivo de fertilizantes químicos altamente solúveis corresponde a grande parte dos custos de produção em sistemas agrícolas e pode causar impacto no ambiente. O pó de basalto pode ser uma alternativa para fertilização dos solos e dessa forma contribuir para o desenvolvimento das culturas. Pesquisas têm sido feitas visando acelerar a disponibilização para as plantas dos nutrientes nele contidos. A utilização de rochas *in natura* associada à vermicompostagem pode representar uma alternativa para suprir a demanda de nutrientes para plantas. Os objetivos deste trabalho foram determinar a disponibilidade de nutrientes em bioproduto resultante da vermicompostagem, preparada

⁷ Apresentado na forma de resumos expandidos: i) no FertBio 2010, realizado em Guarapari (ES), de 13 a 17 de setembro de 2010 (Viglio, L.M.; Peixoto, M.C.F.; Brandão, J.A.V.; Assad, M.L.L. Disponibilidade de nutrientes em vermicomposto produzido com pó de basalto / Peixoto, M.C.F.; Viglio, L.M.; Brandão, J.A.V.; Assad, M.L.L. Efeito de vermicompostagem e pó de basalto na produção de *Curcubita pepo*); e ii) no 1º. Fórum Paulista de Agroecologia, realizado em Araras, SP, de 13 a 15 de outubro de 2010 (Viglio, L.M.; Peixoto, M.C.F.; Vrba, J.A.; Assad, M.L.L. Avaliação de vermicomposto produzido com e sem adição de pó de basalto).

com adição de pó de basalto, e avaliar o efeito de pó de rocha, com e sem vermicompostagem, em cultura de ciclo curto, utilizando abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) como planta indicadora. O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira, foram instalados dois tratamentos (T1 e T2), com duas repetições cada, sendo T1 = vermicomposto + pó de basalto e T2 = vermicomposto. A aplicação de pó de basalto nas camadas do vermicomposto proporcionou elevação do pH do produto obtido ao final de 55 dias de incubação. Na segunda etapa os tratamentos foram: T1 = vermicomposto + pó de basalto, T2 = vermicomposto, T3 = pó de basalto, T4 = adubação convencional e T5 = sem adubação, em cinco repetições e dispostos em delineamento em blocos casualizados. Na primeira etapa, a vermicompostagem não foi capaz de disponibilizar nutrientes presentes no pó de basalto. Na segunda etapa, não houve efeito da adubação com vermicomposto + pó de basalto quando comparada ao tratamento utilizando apenas vermicomposto. A aplicação de vermicomposto, com e sem adição de pó de rocha, teve efeito estatisticamente semelhante à adubação convencional, confirmando a importância da vermicompostagem em sistema de produção de acesso restrito a insumos industrializados. Conclui-se que a vermicompostagem não promoveu aumento na liberação de nutrientes contidos no pó de basalto quando preparada e aplicada em cultura de abobrinha italiana.

Palavras-chave: pó de rocha, minhoca, rochagem, *Cucurbita pepo*.

4.1 Introdução

Os solos brasileiros possuem, em sua maioria, limitações de fertilidade natural, sendo que 84% desses solos possuem problemas com acidez (AMARAL et al., 1999). A agricultura é o setor mais importante da economia brasileira e tem contribuído com aproximadamente 30% do produto interno bruto nos últimos 10 anos. Frequentemente, para alcançar

o ótimo desenvolvimento das culturas, são feitas aplicações de corretivos e fertilizantes, cujo uso é crescente.

Nas últimas décadas tem crescido a preocupação com os efeitos da atividade agrícola intensiva, em particular, com o uso de insumos quimicamente processados e seus impactos ambientais (RESENDE, 2006). Os fertilizantes industriais são produtos com alta solubilidade e podem causar diversos danos, inclusive ambientais, se aplicados de maneira incorreta. Além disso, são responsáveis por grande parte dos custos da produção agrícola, principalmente em cultivos de pequena escala (GLIESSMAN, 2005).

A utilização de rochas *in natura* (moídas ou trituradas) é uma das técnicas mais antigas utilizadas na agricultura e tem se mostrado como uma alternativa para a fertilização dos solos. Essa técnica, conhecida como rochagem, é definida como uma prática agrícola de incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, na forma de pó, sendo a calagem e a fosfatagem natural exemplos comuns desta prática (LEONARDOS et al., 2000). Em comparação com os fertilizantes químicos atuais, que são altamente solúveis e concentrados, as rochas moídas liberam de forma gradativa uma variedade de nutrientes (STRAATEN, 2006). A utilização de rejeitos de mineração aumenta as vantagens dessa prática, por dar utilidade para esses resíduos.

O potencial de uso de rochas como fertilizante é dependente da concentração das suas formas químicas (OLIVEIRA et al., 2005), do grau de eficiência e da taxa de solubilização. Segundo Khatounian (2001), uma forma de se diminuir este tempo, e promover a liberação dos nutrientes, seria aplicar o basalto na forma moída, como pó fino. Entretanto, as dificuldades operacionais e os custos para moagem visando a obtenção de material de granulometria fina ainda representam obstáculos para a utilização do pó de rocha em larga escala.

Uma alternativa importante para acelerar a alteração dos minerais é a técnica de compostagem de resíduos orgânicos com pó de rocha ou sua variação, a vermicompostagem. Isto porque a diversidade

microbiológica no composto e no vermicomposto pode favorecer a alteração dos minerais contidos no pó. Por outro lado, a liberação de elementos contidos nos minerais pode complementar a disponibilização de nutrientes pela mineralização do vermicomposto.

A vermicompostagem é um método no qual se utilizam minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação (BIDONE, 2001). Consiste na decomposição aeróbica da matéria orgânica, com desprendimento de gás carbônico, água e energia pela ação dos microrganismos, incrementada pela ação de minhocas. Uma das diferenças, no processo de produção de composto e vermicomposto, é a redução da espessura da pilha, a fim de evitar que sejam atingidas temperaturas acima de 35°C que inviabilizariam a sobrevivência das minhocas (HAIMI e HUHTA, 1986). Além disto, a vermicompostagem dispensa o revolvimento do material orgânico, que é realizado pelas minhocas.

Estudos demonstraram que a vermicompostagem, em comparação ao composto produzido sem as minhocas, acelera a estabilização da matéria orgânica e produz um composto com menor relação C/N, maior capacidade de troca catiônica e maior quantidade de substâncias húmicas (ALBANELL et al., 1988). Uma espécie de minhoca muito utilizada é a conhecida como africana (*Eudrilus eugeniae*), em razão do seu tamanho avantajado (RODRIGUES et al., 2003). *E. eugeniae*, da família *Eudrilidae*, é adaptada ao clima tropical, principalmente a temperaturas em torno de 20 a 25°C, não se adaptando a temperaturas baixas (RODRIGUES et al., 2003).

A abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*), família Cucurbitaceae e conhecida popularmente como abóbora de moita, é uma planta de crescimento determinado e compacto com internódios curtos, sendo sua colheita iniciada aos 45 dias após plantio (DAP) e prolongando-se por mais 60 DAP.

Objetivou-se com esse trabalho determinar a disponibilidade de nutrientes em bioproduto resultante da vermicompostagem com adição de

pó de basalto e avaliar o efeito de pó de rocha, com e sem vermicompostagem, no cultivo de abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*).

4.2 Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no campus de Araras (SP) da Universidade Federal de São Carlos, no período de janeiro a abril de 2010, na primeira etapa, e de abril a julho, na segunda etapa.

Inicialmente foi coletado esterco bovino fresco, proveniente do CCA/UFSCar até atingir uma quantidade necessária para a montagem do vermicomposto. O esterco foi mantido em piso impermeabilizado e em declive e revolvido regularmente para atingir sua maturação, e assim estar “curtido” para a montagem do vermicomposto. Resíduos de capina também foram coletados no CCA. Foram utilizados 0,4m³ de minhocas da espécie *E. eugeniae*, provenientes de minhocário localizado em Rio Claro (SP). O pó de basalto, fornecido pela Pedreira Remanso, de Araras (SP), foi mantido em estufa a 110°C por 24 horas e foi passado em peneira de malha de 2 mm. Posteriormente foi submetido a um teste granulométrico, garantindo assim que no mínimo 70% das partículas estivessem com tamanho inferior a 2 mm.

O vermicomposto foi montado em bombonas plásticas (Figura 1) que, cortadas ao meio, passaram a ter volume de 0,1 m³ cada, totalizando dois recipientes para cada tratamento. As camadas foram montadas de forma alternada. Inicialmente foi colocada a camada de palha (Figura 1a), com espessura média de 0,10m, e em seguida a camada de esterco (Figura 1b), com espessura média de 0,05m. À medida que era feita a montagem das camadas, foi realizada a irrigação.

Foram feitos dois tratamentos (T1 = pó de basalto + vermicomposto e T2 = vermicomposto) em duas repetições. Em T1, entre as camadas de esterco e palha, foi adicionado o pó de basalto na proporção de 0,25 kg m⁻² (dosagem equivalente a 2,5 t ha⁻¹). Essa proporção foi utilizada visando à aplicação do pó em uma área de 20 m², que representa, geralmente, a área de um canteiro empregado por um pequeno agricultor.

As minhocas foram colocadas sobre a última camada de esterco (Figura 1c), num volume de 0,1 m³ (1.500 indivíduos), para cada recipiente. Após a introdução das minhocas, o vermicomposto foi coberto com uma última camada de palha, com espessura média de 0,10m. Ao final da montagem do vermicomposto a altura total das camadas em cada recipiente foi de 0,3 m (Figura 1d).



Figura 1. Montagem do vermicomposto: a) primeira camada de palha; b) camada de esterco acima da palha; c) introdução de minhocas na última camada de esterco; d) vermicomposto depois de montado. Fotos: Arquivo pessoal.

Depois de montadas, as bombonas foram colocadas sobre uma bancada em galpão parcialmente aberto. Para evitar o ataque de formiga, foram colocados suportes contendo hipoclorito de sódio (água sanitária) nos pés da bancada. A temperatura e umidade do vermicomposto foram monitoradas diariamente e sempre que necessário era realizada a irrigação.

Cinquenta e cinco dias após o preparo do vermicomposto, cada repetição foi homogeneizada, misturando o material da parte superior com

a inferior. Em seguida, foram retiradas amostras e encaminhadas ao Laboratório de Análise Química de Solo e Planta da UFSCar Campus de Araras. Foram determinados os teores de N, Ca, Mg, K, S, P, Cu, Fe, Mn e Zn, o pH em água e o teor de carbono orgânico e foi feita a determinação da umidade em três amostras de 0,10 kg de cada tratamento, após secagem em estufa a 65°C por 72 horas (Tabela 1).

Tabela 1. Umidade, teores de nutrientes e pH em vermicomposto produzido com e sem adição do pó de basalto.

Atributos	Vermicomposto + pó de basalto (T1)	Vermicomposto (T2)
pH	6,7	6,2
MO* (g/kg)	253,4	260,3
Umidade (%)	57	61
mmol/dm ³		
N	2.340,43	3.723,40
P	777,00	900,00
K	87,26	117,05
Ca	655	750
Mg	564,82	627,08
S	154,70	216,56
mg/dm ³		
Cu	67	42
Fe	24.200	30.706
Mn	439	439
Zn	228	228

*MO (matéria orgânica) = 1,724 x C

Na segunda etapa, foi montado um experimento em uma área experimental de 215 m², do campus de Araras da Universidade Federal de São Carlos, em São Paulo, situada a uma altitude de aproximadamente 610 metros. O clima característico nesse local é subtropical de inverno seco e verão quente. O solo da área é do tipo Latossolo Vermelho Distroférrico típico (Embrapa, 1999), textura argilosa.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados constando de cinco tratamentos com cinco repetições. Os tratamentos foram: T1 = vermicomposto + pó de basalto, T2 = vermicomposto, T3 = pó de basalto, T4 = adubação convencional e T5 = sem adubação. A parcela

experimental foi de 5 m X 1,2 m, com quatro plantas de *C. pepo* espaçadas em 1 m, totalizando cem plantas.

Inicialmente, foi feito o preparo da área por meio de gradagem. A calagem com calcário dolomítico da área de T4 foi feita 30 dias antes do plantio, com adubação convencional de plantio em cova quinze dias antes do plantio, com base na análise de solo (Tabela 2) e de acordo com Raij et al. (1997). As mudas de *C. pepo*, variedade Mazourka cultivar Caserta, foram preparadas em duas bandejas de isopor com 128 células cada, contendo substrato orgânico.

Tabela 2. Características químicas do Latossolo Vermelho Distroférico típico utilizado no experimento com abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*).

	P resina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
Amostras	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----						
0 – 20 cm	8	27	5,2	2,0	19	10	29	0,3	31,0	60,0
20 – 40 cm	3	25	5,3	0,8	15	9	28	0,3	24,8	52,8
	V	S	B	Cu	Fe	Mn		Zn		
	%	----- mg dm ⁻³ -----								
0 – 20 cm	52	1	0,29	3,7	23	120,0		1,8		
20 – 40 cm	47	1	0,30	3,7	18	75,0		0,6		

A dosagem de vermicomposto utilizada em T1 e T2 foi equivalente a 12 t ha⁻¹, sendo que as quantidades adicionadas em ambos não foram as mesmas, pois diferiam quanto ao teor de umidade. As mudas foram transplantadas para o campo com dez dias. À medida que eram abertas as covas, adicionou-se o vermicomposto com pó de basalto (1.668g por cova), vermicomposto (1.720 g por cova) e 200g de pó de basalto (equivalente a 2 t ha⁻¹) nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Durante todo o cultivo a área foi irrigada por aspersão e foi feita a retirada manual de plantas infestantes. Em T4 foi realizada adubação mineral de cobertura de acordo com Raij et al. (1997), utilizando-se uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio no plantio e sulfato de amônio e cloreto de potássio na adubação de cobertura, parcelada aos 15, 25 e

40 dias após o plantio (DAP). A colheita se iniciou aos 50 DAP se estendendo por 90 DAP. O parâmetro avaliado foi a massa fresca dos frutos.

A análise estatística foi feita por análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, no nível de 5% de significância, por meio do SAS (Statistical Analysis System).

4.3 Resultados e Discussão

No início do processo de vermicompostagem houve fuga de algumas minhocas, provavelmente devido ao estresse causado por mudança de habitat. A fuga foi maior em T1 do que em T2, sem que se possa afirmar que esse fato seja devido à presença do pó de basalto nas camadas de T1. No final da vermicompostagem, T1 apresentou valores de pH maiores do que T2 (Tabela 1), possivelmente devido a adição de pó de basalto. No entanto, Kudla et al. (1996) não obtiveram resultados satisfatórios no controle da acidez de solos, com utilização de pó de basalto.

A umidade e os teores de nutrientes (Tabela 1) em T1 foram menores quando comparados com T2, com exceção do Cu cujo teor foi maior em vermicomposto incubado com pó de basalto. Este resultado pode ser decorrente de fatores como curto período de tempo disponível para solubilização dos nutrientes presentes no pó de basalto, granulometria do pó e mineralogia do basalto.

O acompanhamento dos tratamentos no campo mostrou que, onde havia o vermicomposto, as plantas estavam mais vistosas, com maior número de frutos por planta e frutos com maior peso, equiparando ao tratamento com adubação convencional (Figura 2). Já no tratamento onde se utilizou apenas o pó de basalto e onde não foi realizado nenhum tipo de adubação, as plantas se apresentaram raquíticas, com menor número de frutos por planta e frutos com menor peso.

A análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre as médias de peso fresco de abobrinha obtido para os tratamentos

com vermicomposto (com e sem adição de pó de basalto) e com adubação convencional (Tabela 3). Comparando-se os tratamentos com pó de basalto, constatou-se que não houve efeito da vermicompostagem na alteração dos minerais contidos no pó de rocha, pois as médias obtidas não diferiram significativamente. Observou-se também que as médias de peso fresco de *C. pepo* no tratamento com pó de basalto foi estatisticamente igual a do tratamento sem adubação, indicando que não houve disponibilização de nutrientes do pó de basalto no período do experimento (Tabela 3).

Tabela 3. Peso fresco de frutos de abobrinha (*Cucurbita pepo*) obtidos em ensaios de avaliação de efeito de vermicompostagem e pó de basalto. (T1 – vermicomposto + pó de basalto; T2 – vermicomposto; T3 – pó de basalto; T4- adubação convencional; e T5 – sem adubação).

Tratamentos	Peso fresco (g)
Vermicomposto + pó de basalto	234,45 ab
Vermicomposto	236,63 a
Pó de basalto	209,20 bc
Adubação convencional	252,05 a
Testemunha (sem adubação)	203,00 c

Médias com mesma letra não apresentam diferença significativa entre si ao nível de 5% no Teste de Tukey.

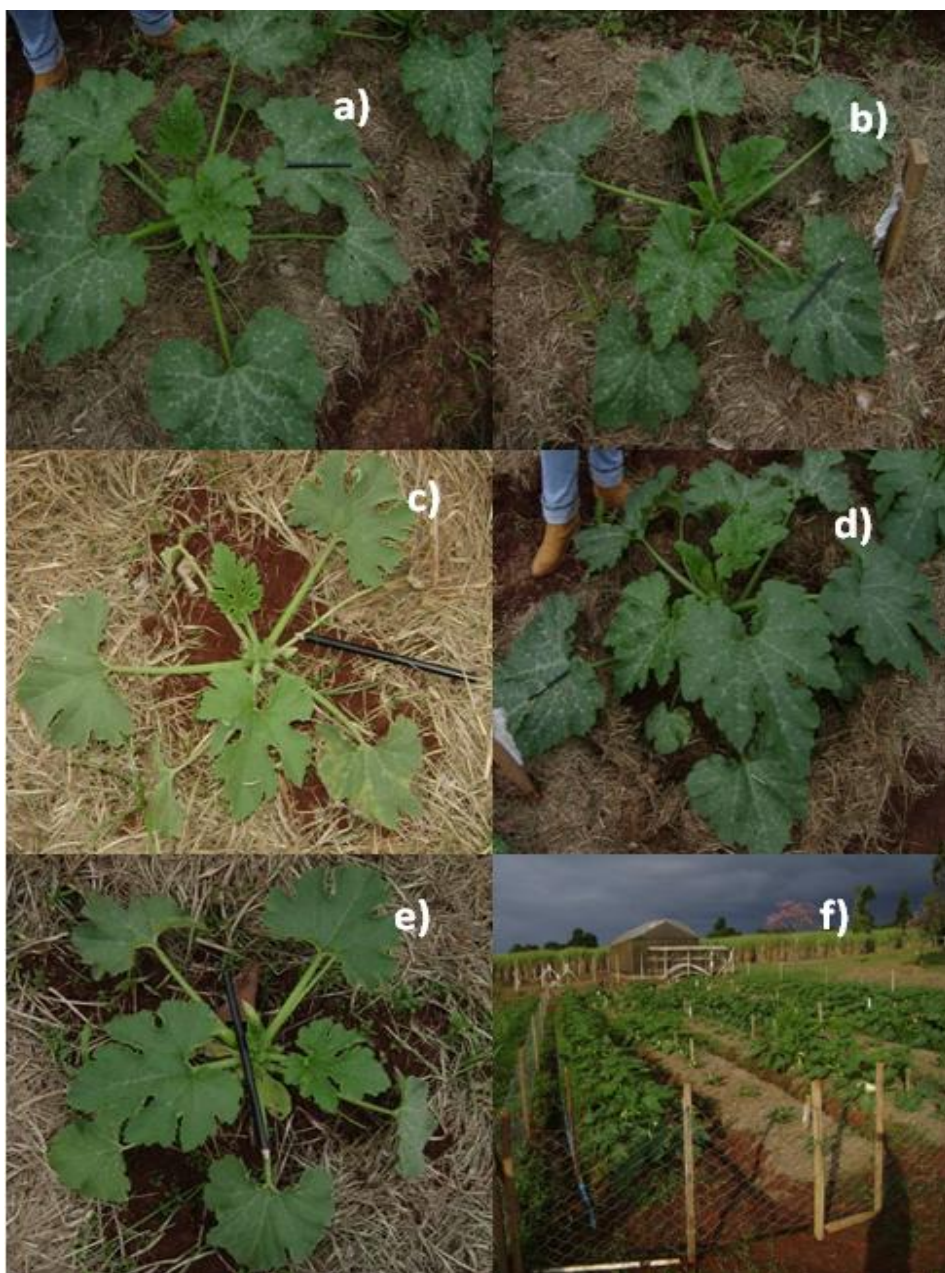


Figura 2. Experimento conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos com abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*): a) vermicomposto + pó de rocha (T1) aos 25 dias após o plantio (DAP); b) vermicomposto (T2) aos 25 DAP. c) Pó de rocha (T3) aos 25 DAP; d) adubação convencional (T4) aos 25 DAP; e) sem adubação (T5) aos 25 DAP; f) área experimental aos 50 DAP (início da colheita).

Foto: Arquivo pessoal.

4.4 Conclusões

A aplicação de pó de basalto nas camadas do vermicomposto proporcionou elevação do pH.

O uso do pó de basalto, com granulometria inferior a 2 mm, em conjunto com a vermicompostagem, não mostrou incremento na produção de abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) indicando que a vermicompostagem não promoveu aumento na taxa de liberação de nutrientes do pó de basalto para uma cultura de ciclo curto.

Os tratamentos com vermicomposto (com e sem adição de pó de basalto) e com adubação convencional apresentaram médias de peso fresco de abobrinha estatisticamente iguais, indicando que vermicompostagem, com ou sem adição de pó de basalto, pode ser uma alternativa de baixo custo para a fertilização de solos.

4.5 Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão das Bolsas de Iniciação Científica e pela Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora.

4.6 Referências bibliográficas

- ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; CABRERO, T. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, p.266 - 269, 1988.
- AMARAL, F. C.S.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JUNIOR, W. **Principais Limitações dos Solos Brasileiros**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Solos, 1999. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/tema3/tema3.html>. Acesso em 3 de mar. de 2010.

- BIDONE, F. R. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, 2001. 240p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.
- GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 3ª ed. p. 33-59.
- HAIMI, J.; HUTHA, Y. Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass for vermicomposting. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.2, p.23-27, 1986.
- KHATOUNIAN, C.A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001.
- KUDLA, A. P.; MOTTA, A. C. V.; KUDLA, M. E. Efeito do uso do pó de basalto aplicado em um Cambissolo álico sobre o solo e crescimento do trigo. **Agrárias**. Curitiba: Ed. da UFPR, v. 15, n. 2, 1996. p. 187-195.
- LEONARDOS O., THEODORO S.H., ASSAD M.L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.56, p.3-9, 2000.
- OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C.; FRANCHINI, J.C.; TORRES, E. Manejo do solo. In: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C.(Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005p. 299-316.
- RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- RESENDE, A.V. **Rochas brasileiras como fontes de potássio para sistemas agropecuários**. Brasília: Embrapa, 69 p. 2006.
- RODRIGUES, C. V.; THEODORO, V. C. A.; ANDRADE, I. F.; INÁCIO NETO, A.; RODRIGUES, V. N.; ALVES, F. V. Produção de minhocas e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes

de bubalinos e bovinos. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1409 -1418, nov./dez., 2003.

STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 731-747, 2006.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou avaliar, na perspectiva de sistemas agroecológicos, as possibilidades de uso de pó de rochas silicáticas. Vários ensaios foram feitos, em laboratório, em casa de vegetação e no campo, e nem sempre os resultados encontrados foram promissores. No início das pesquisas muitas eram as dúvidas sobre como manejar a rochagem de modo a atender as demandas de culturas agrícolas em quantidade suficiente para garantir produção e renda. Ao final, novas questões surgiram, principalmente quanto à rota tecnológica mais apropriada a sistemas de produção de base familiar.

A manipulação de microrganismos nem sempre é possível, a produção de composto ou de vermicomposto exige que a propriedade disponha de resíduos em quantidades suficientes e o manejo da vinhaça, subproduto da indústria sucroalcooleira, só é possível se o agricultor integrar a cadeia produtiva deste setor. Assim, se as alternativas parecem promissoras por um lado, por outro surgem problemas operacionais que precisam ser mais bem apreciados.

De todo modo, a rochagem, prática antiga e com resultados positivos em culturas de ciclo longo, deve ser mais bem pesquisada, na

perspectiva de agricultores que não dispõem de condições financeiras para arcar com os elevados custos de adubos industriais. A rochagem também constitui uma alternativa para minimizar impactos causados pela lixiviação decorrente do uso de adubos solúveis em sistemas de sequeiro de solos muito intemperizados. Perante a imensa diversidade de combinações existente entre diferentes tipos de solo, rochas e culturas, espera-se que com este trabalho se possa contribuir para o avanço das pesquisas sobre o uso de pó de rocha *in natura* no Brasil e no mundo.

ANEXOS

Anexo 1 – Análise de variância para os ensaios de solubilização durante 35 dias de incubação de *Aspergillus niger* com vinhaça e pó de basalto.

Tabela 1 - Variação de pH ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
pH							
VF	3,900	3,907	3,360	3,343	3,360	3,547	3,569 c
PVF	3,957	3,993	3,660	3,510	3,617	3,667	3,734 b
PV	3,887	4,020	3,677	3,823	3,850	3,803	3,843 a
Média	3,914A	3,973A	3,565C	3,559C	3,609BC	3,672B	

Obs.: F para a interação Tratamento x Tempo = 4,879.

Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
pH							
VF	3,86	3,63	3,46	3,20	3,53	3,51	3,53 c
PVF	3,99	3,75	3,42	3,31	3,57	3,64	3,61 b
PV	3,89	3,74	3,68	3,58	3,86	3,89	3,77 a
Média	3,92A	3,70B	3,50D	3,37E	3,63C	3,68BC	

Obs.: F para a interação Tratamento x Tempo = 17,1.

Tabela 2 - Variação de acidez titulável ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
Acidez titulável (meq H ⁺ L ⁻¹)							
VF	99,14	67,34	96,37	107,46	112,17	120,12	100,43 b
PVF	96,53	57,40	62,13	78,11	82,34	81,68	76,37 c
PV	98,98	98,65	109,26	113,17	107,70	115,48	107,21 a
Média	98,22AB	74,46C	89,25B	99,58AB	100,74AB	105,76A	

F para a interação Tratamento x Tempo = 4,879.

Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
Acidez titulável (meq H ⁺ L ⁻¹)							
VF	96,59	81,35	90,30	102,41	112,54	128,20	101,90 b
PVF	93,28	72,24	85,33	90,81	101,76	106,78	91,70 c
PV	96,43	106,87	113,82	127,89	124,21	155,80	121,06 a
Média	95,43CD	86,82D	94,31D	107,04BC	11,41B	130,26A	

F para a interação Tratamento x Tempo = 2,896.

Tabela 3 – Teores de carbono ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância; ns = não significativo a 5%.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Carbono (kg m ⁻³)						
VF	74,13ns	69,70ns	57,77ns	68,20ns	71,33ns	73,93ns	69,18 b
PVF	75,27ns	74,73ns	58,63ns	63,60ns	62,30ns	62,77ns	66,22 b
PV	81,33ns	85,07ns	80,47ns	83,70ns	94,87ns	107,67ns	88,85 a
Média	76,91AB	76,50AB	65,62B	71,83AB	76,17AB	81,45A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,858.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Carbono (kg m ⁻³)						
VF	80,80ns	84,80ns	72,87ns	70,70ns	59,13ns	68,67ns	72,83 b
PVF	80,13ns	82,73ns	74,80ns	63,27ns	61,83ns	81,10ns	73,98 b
PV	87,47ns	88,27ns	95,10ns	91,07ns	73,25ns	112,10ns	92,09 a
Média	82,80A	85,27A	79,15AB	75,01AB	63,67B	87,29A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,591.							

Tabela 4 – Teores de potássio ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância; ns = não significativo a 5%.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Potássio (mmol _c dm ⁻³)						
VF	80,94ns	74,53ns	81,20ns	62,48ns	73,76ns	97,17ns	78,35 a
PVF	82,14ns	77,26ns	84,36ns	56,58ns	74,96ns	77,86ns	75,53 a
PV	80,77ns	81,54ns	86,32ns	58,67ns	63,42ns	78,80ns	74,92 a
Média	81,28A	77,78A	83,96A	59,24B	70,71AB	84,61A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 0,886.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Potássio (mmol _c dm ⁻³)						
VF	85,73ns	91,77ns	94,79ns	87,26ns	107,09ns	98,63ns	94,21 a
PVF	91,62ns	78,80ns	98,29ns	86,24ns	97,78ns	104,36ns	92,85 a
PV	76,58ns	80,43ns	97,30ns	93,16ns	88,07ns	116,67ns	91,95 a
Média	84,64B	83,67B	96,73AB	88,89B	98,84AB	106,55A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,341.							

Tabela 5 - Teores de cálcio ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância; ns = não significativo a 5%.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Cálcio (mmol _c dm ⁻³)						
VF	3,52	2,98	2,23	3,20	3,58	5,03	3,42 ab
PVF	3,50	3,05	3,17	1,91	3,17	3,92	3,12 b
PV	3,36	3,53	3,53	2,98	3,52	4,28	3,54 a
Média	3,46B	3,19BC	2,98BC	2,70C	3,42B	4,41A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 2,941.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Cálcio (mmol _c dm ⁻³)						
VF	4,06ns	4,47ns	3,84ns	4,65ns	4,95ns	5,28ns	4,54 b
PVF	4,01ns	4,35ns	3,41ns	4,84ns	5,19ns	5,50ns	4,55 b
PV	3,99ns	4,39ns	4,43ns	5,87ns	5,75ns	6,46ns	5,16 a
Média	3,83B	4,04B	3,83B	5,12a	5,24A	5,74A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,475.							

Tabela 6 - Teores de magnésio ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância; ns = não significativo a 5%.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Magnésio (mmol _c dm ⁻³)						
VF	2,08ns	1,87ns	1,83ns	3,14ns	3,97ns	7,61ns	3,42 a
PVF	2,17ns	1,89ns	2,14ns	2,33ns	3,86ns	6,44ns	3,14 a
PV	2,03ns	2,11ns	2,16ns	2,70ns	3,25ns	4,52ns	2,80 a
Média	2,09C	1,96C	2,05C	2,72BC	3,69B	6,19A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,7679.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Magnésio (mmol _c dm ⁻³)						
VF	0,83ns	0,99ns	1,04ns	2,79ns	3,26ns	2,96ns	1,98 a
PVF	0,75ns	0,94ns	1,34ns	2,99ns	3,17ns	3,51ns	2,11 a
PV	0,89ns	0,92ns	1,05ns	2,84ns	2,77ns	3,76ns	2,05 a
Média	0,82C	0,95C	1,15C	2,87B	3,10AB	3,41A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 2,123.							

Tabela 7 - Teores de zinco ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Zinco (mg dm ⁻³)						
VF	0,77	0,67	0,57	0,37	0,37	0,50	0,54 c
PVF	1,13	0,90	1,00	0,43	0,53	0,70	0,78 b
PV	0,93	2,03	1,07	0,50	0,63	0,73	0,98 a
Média	0,94B	1,20A	0,88B	0,43D	0,51CD	0,64C	
F para a interação Tratamento x Tempo = 23,869.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Zinco (mg dm ⁻³)						
VF	0,57	0,70	0,50	0,50	0,35	0,57	0,53 c
PVF	0,87	0,83	0,67	0,83	0,92	0,95	0,84 b
PV	0,73	0,87	0,85	1,14	0,98	1,48	1,02 a
Média	0,72BC	0,80BC	0,65C	0,82B	0,72BC	1,00A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 7,482.							

Tabela 8 - Teores de cobre ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Cobre (mg dm ⁻³)						
VF	0,10	0,04	0,03	0,24	0,33	0,39	0,19 b
PVF	0,12	0,03	0,06	0,40	0,46	0,36	0,24 b
PV	0,11	0,16	0,14	0,76	0,55	0,67	0,40 a
Média	0,11B	0,08B	0,08B	0,46A	0,45A	0,47 ^a	
F para a interação Tratamento x Tempo = 3,8115.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Cobre (mg dm ⁻³)						
VF	0,13	0,14	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10 b
PVF	0,14	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,10 b
PV	0,14	0,14	0,18	0,21	0,14	0,23	0,17 a
Média	0,13AB	0,12AB	0,11B	0,12AB	0,11B	0,15 A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 7,482.							

Tabela 9 - Teores de ferro ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Ferro (mg dm ⁻³)						
VF	24,67	30,67	23,67	26,33	37,67	56,33	33,22 c
PVF	134,67	137,00	166,33	121,67	176,33	204,33	156,72 a
PV	128,00	125,67	134,67	95,00	106,00	140,00	121,56 b
Média	95,78BC	97,78BC	108,22B	81,00C	106,67B	133,56A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 5,294.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Ferro (mg dm ⁻³)						
VF	43,00	28,00	76,33	39,87	28,23	52,70	44,69 c
PVF	170,67	162,00	234,33	189,17	216,40	246,13	203,12 a
PV	140,67	122,33	191,00	143,23	143,20	186,50	152,91 b
Média	118,11B	104,11B	164,25A	124,09B	127,54B	161,78A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 2,147.							

Tabela 10 - Teores de manganês ao longo de 35 dias de incubação do *A. niger* e pó de basalto em meio de cultura de vinhaça. VF – vinhaça e *A. niger*; PVF – pó de basalto, *A. niger* e vinhaça; PV – pó de basalto e vinhaça. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância; ns = não significativo a 5%.

Experimento	Tempo (dia)						Média
Tratamento	1	2	3	4	5	6	
	Manganês (mg dm ⁻³)						
VF	3,73ns	3,70ns	3,83ns	3,37ns	4,20ns	5,27ns	4,02 b
PVF	7,36ns	7,10ns	8,00ns	5,53ns	7,53ns	8,17ns	7,14 a
PV	7,43ns	7,47ns	7,57ns	5,83ns	6,37ns	8,93ns	7,41 a
Média	6,17B	6,09B	6,47B	4,91C	6,03B	7,45A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,411.							
Repetição	Tempo (dia)						Média
Tratamento	0	7	14	21	28	35	
	Manganês (mg dm ⁻³)						
VF	5,07ns	5,20ns	5,57ns	5,43ns	5,60ns	6,47ns	5,56 c
PVF	8,93ns	9,30ns	10,20ns	10,70ns	10,97ns	12,37ns	10,41 a
PV	8,40ns	7,80ns	9,70ns	10,10ns	10,10ns	11,90ns	9,64 b
Média	7,47C	7,43C	8,34BC	8,74B	8,74B	10,24A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,246.							

Anexo 2 – Análise de variância para os dois ensaios de solubilização durante 30 dias de incubação de *Aspergillus niger* em meio de cultura com pó de basalto e pó de fonolito. (MA – meio de cultura e *A. niger*; FMA – pó de fonolito, meio de cultura e *A. niger*; FM – pó de fonolito e meio de cultura; DMA – pó de basalto, meio de cultura e *A. niger*; DM – pó de basalto e meio de cultura. Letras iguais indicam que não há diferença entre as médias no nível de 5% de significância).

Tabela 11 – Variação de pH ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Tratamentos	pH				Média
	Tempo (dia)				
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	6,37	2,96	2,45	2,34	3,53 d
FMA	6,59	5,64	5,90	5,68	5,95 c
FM	6,59	6,71	6,79	6,73	6,71 b
DMA	6,75	6,84	7,27	7,74	7,15 a
DM	6,75	6,67	6,64	6,51	6,64 b
Média	6,61A	5,76B	5,81B	5,80B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 44,33.					
Ensaio 2					
MA	6,54	2,95	1,93	1,87	3,32 c
FMA	6,62	6,10	6,25	6,22	6,30 b
FM	6,68	6,84	6,83	6,99	6,83 a
DMA	6,57	5,82	6,90	6,74	6,51 ab
DM	6,62	6,51	6,52	6,48	6,53 ab
Média	6,60 A	5,64B	5,69B	5,66B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 27,57.					

Tabela 12 – Variação da acidez titulável ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Tratamentos	Acidez titulável (meq H ⁺ L ⁻¹)				Média
	Tempo (dia)				
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	3,84	56,32	72,96	74,88	52,00 a
FMA	2,56	9,60	8,80	11,68	8,16 b
FM	2,40	1,76	1,60	2,24	2,00 c
DMA	1,60	1,92	0,48	0,00	1,00 c
DM	1,76	2,24	2,72	4,32	2,76 bc
Média	2,43B	14,37A	17,31A	18,62a	
F para a interação Tratamento x Tempo = 28,15.					
Ensaio 2					
MA	3,36	56,32	81,50	99,96	60,29 a
FMA	2,40	8,48	7,68	8,30	6,71 b
FM	2,24	1,28	1,22	0,33	1,27 b
DMA	2,88	9,60	5,06	3,27	5,20 b
DM	2,72	2,88	3,18	3,59	3,09 b
Média	2,72B	15,71A	19,73A	23,09a	
F para a interação Tratamento x Tempo = 10,518.					

Tabela 13 – Teores de carbono ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Tratamentos	Carbono (Kg m ⁻³)				Média
	Tempo (dia)				
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	8,00	5,07	1,83	3,53	4,61 ab
FMA	8,03	2,07	3,17	2,13	3,85 b
FM	8,53	8,50	5,33	4,37	6,68 a
DMA	8,13	3,10	3,70	6,17	5,27 ab
DM	8,90	8,47	3,63	7,63	7,16 a
Média	8,32 A	5,44B	3,53B	4,77B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,56					
Ensaio 2					
MA	9,97	5,33	2,53	3,03	5,22 b
FMA	7,80	0,67	1,97	1,67	3,02 c
FM	8,43	8,10	9,57	9,37	8,87 a
DMA	6,80	2,30	1,97	1,47	3,13 c
DM	7,43	7,77	8,47	9,37	8,26 a
Média	8,09A	4,83B	4,90B	4,98B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 13,159.					

Tabela 14 – Teores de potássio ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Tratamentos	Potássio (mmol _c dm ⁻³)				Média
	Tempo (dia)				
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	0,27	0,29	0,21	0,43	0,30 c
FMA	0,32	0,74	0,79	1,21	0,77 a
FM	0,46	0,53	0,49	0,52	0,50 b
DMA	0,27	0,29	0,20	0,30	0,26 c
DM	0,28	0,35	0,37	0,46	0,36 c
Média	0,32C	0,44B	0,41BC	0,58A	
F para a interação Tratamento x Tempo = 7,04.					
Ensaio 2					
MA	0,16	0,16	0,10	0,15	0,14 c
FMA	0,28	0,71	0,47	0,72	0,54 a
FM	0,24	0,46	0,32	0,36	0,35 b
DMA	0,28	0,25	0,49	0,24	0,32 b
DM	0,29	0,30	0,17	0,21	0,24 bc
Média	0,25B	0,37A	0,31AB	0,34AB	
F para a interação Tratamento x Tempo = 3,0296.					

Tabela 15 – Teores de cálcio ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Cálcio (mmol _e dm ⁻³)					
Tratamentos	Tempo em dias				Média
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	0,18	0,05	0,01	0,01	0,06 b
FMA	0,24	0,04	0,01	0,01	0,08 b
FM	0,26	0,26	0,22	0,31	0,26 a
DMA	0,23	0,05	0,02	0,02	0,08 b
DM	0,28	0,30	0,22	0,36	0,29 a
Média	0,24A	0,14BC	0,10C	0,14B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 6,41.					
Ensaio 2					
MA	0,17	0,01	0,01	0,02	0,05 b
FMA	0,23	0,04	0,02	0,02	0,08 b
FM	0,21	0,23	0,27	0,28	0,25 a
DMA	0,22	0,04	0,05	0,03	0,08 b
DM	0,24	0,24	0,29	0,26	0,26 a
Média	0,21 A	0,11B	0,13B	0,12B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 9,657.					

Tabela 16 – Teores de zinco ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Zinco (mg dm ⁻³)					
Tratamentos	Tempo em dias				Média
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	0,06ns	0,07ns	0,10ns	0,13ns	0,09c
FMA	0,10ns	0,18ns	0,23ns	0,13ns	0,16ab
FM	0,11ns	0,16ns	0,13ns	0,13ns	0,13bc
DMA	0,18ns	0,27ns	0,23ns	0,17ns	0,21a
DM	0,19ns	0,22ns	0,17ns	0,20ns	0,19a
Média	0,13B	0,18 ^a	0,17AB	0,15AB	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,361.					
Ensaio 2					
MA	0,10ns	0,10ns	0,10ns	0,10ns	0,10 c
FMA	0,10ns	0,20ns	0,20ns	0,20ns	0,17 bc
FM	0,10ns	0,20ns	0,13ns	0,13ns	0,14 cd
DMA	0,20ns	0,30ns	0,23ns	0,23ns	0,24 a
DM	0,20ns	0,27ns	0,20ns	0,17ns	0,21 ab
Média	0,14B	0,21 A	0,17B	0,17B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,593.					

Tabela 17 – Teores de ferro ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Tratamentos	Ferro (mg dm ⁻³)				Média
	Tempo em dias				
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	0,13	0,50	0,37	0,50	0,37 c
FMA	9,52	19,12	16,07	22,37	16,77 b
FM	10,44	12,72	11,70	14,13	12,25 bc
DMA	51,37	125,40	55,80	25,30	64,47 a
DM	63,04	81,55	50,00	63,03	64,40 a
Média	26,90B	47,86A	26,79B	25,07B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 7,847.					
Ensaio 2					
MA	0,30	0,10	0,10	0,33	0,21 d
FMA	14,77	18,53	14,63	19,00	16,73 c
FM	8,20	17,07	9,80	9,30	11,09 cd
DMA	78,23	160,00	131,90	133,87	126 a
DM	74,20	77,10	68,93	59,20	69,86 b
Média	35,14B	54,56A	45,07AB	44,34B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 6,889.					

Tabela 18 – Teores de manganês ao longo de 30 dias de incubação de *Aspergillus niger*, pó de basalto e pó de fonolito em meio de cultura líquido adaptado para o fungo.

Tratamentos	Manganês (mg dm ⁻³)				Média
	Tempo em dias				
	0	10	20	30	
Ensaio 1					
MA	0,13	0,14	0,10	0,10	0,12 c
FMA	2,45	2,14	2,27	2,80	2,41 b
FM	2,54	2,80	2,29	2,70	2,58 ab
DMA	2,33	4,14	1,57	0,80	2,21 ab
DM	2,57	3,13	2,33	3,43	2,87 a
Média	2,00B	2,47 A	1,71B	1,97B	
F para a interação Tratamento x Tempo = 11,353.					
Ensaio 2					
MA	0,10ns	0,10ns	0,10ns	0,10ns	0,10 c
FMA	1,50ns	1,33ns	2,17ns	1,97ns	1,74 b
FM	1,27ns	1,83ns	1,93ns	1,93ns	1,74 b
DMA	1,90ns	2,97ns	2,97ns	3,20ns	2,76 a
DM	1,90ns	2,17ns	2,10ns	1,93ns	2,25 b
Média	1,33B	1,68AB	1,85A	1,83a	
F para a interação Tratamento x Tempo = 1,855.					