

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

ROBSON JARDELLYS DE SOUZA MACIEL

**USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO
MILHO VERDE ORGÂNICO.**

SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil

ROBSON JARDELLYS DE SOUZA MACIEL
Tecnólogo em Agroecologia

**USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO
MILHO VERDE ORGÂNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior

SÃO LUÍS
Maranhão – Brasil

ROBSON JARDELLYS DE SOUZA MACIEL
Tecnólogo em Agroecologia

**USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO
MILHO VERDE ORGÂNICO.**

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior (Orientador)

Doutor em Agronomia

Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Heder Braun

Doutor em Fitotecnia

Universidade Estadual do Maranhão

Pesquisadora Dra. Ivana Machado Fonseca

Doutora em Agronomia

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Cocais

DEDICO

A Deus, o Senhor, por todas as vitórias que ele me concedeu e por todas as vitórias que me concederá, pois nelas o nome do Altíssimo será exaltado para todo o sempre. À minha Família e Amigos em nome da minha mãe Clara Castro e das minhas avós Alda Castro e Maria Maciel.

Aos meus amores – Elciane Martins e Daniel Maciel

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha jornada neste mundo de desafios, onde nele tive minhas vitórias e Ele se fez majestoso em minha vida. A cada manhã renovando minha Fé, Força, Esperança e sendo o meu socorro mais presente na angústia. Para sempre sejas Louvado.

À minha esposa, Elciane Pantoja Martins, e ao meu filho Daniel Martins Maciel, família que Deus me concedeu constituir, que me apoiaram incondicionalmente, mesmo quando minha presença física se fez necessária. Compreenderam que este curso de Mestrado é uma porta para um futuro melhor.

Às Famílias Castro e Maciel, em nome de Clara Castro, minha mãe e Robson Maciel, meu pai, agradeço vossos apoio e orações nessa jornada para alcançar mais um degrau na pirâmide do conhecimento.

À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), por meio do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, pelas oportunidades, pelos conhecimentos compartilhados e seus ensinamentos e apoio técnico – científico.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Professor Dr. Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior, pelas orientações necessárias para a conclusão dessa grande caminhada.

Aos Professores do Curso de Pós Graduação em Agroecologia – UEMA, pela dedicação e ensinamentos durante todo período do curso, em especial ao Professor Dr. Heder Braun, pela atenção especial e acolhimento para a conclusão desta etapa.

Aos funcionários e colaboradores do programa de Pós Graduação em Agroecologia – UEMA.

Aos acadêmicos de Engenharia Agrônômica: Assistone Jesus da Costa, Ítalo Ramon Januário, Raudielle Santos, Táciela Marinho, Givago Alves e as acadêmicas de Biologia:

Danielle Coutinho e Débora Costa e outros colaboradores pela amizade, incentivo, companheirismo e ajuda nos trabalhos de campo e laboratório.

À Aliança das Igrejas Cristã Evangélicas do Brasil (AICEB) e ao Seminário Cristão Evangélico do Norte (SCEN), em nome do Pastor Raimundo Mendonça e família, que me receberam de braços abertos e acolheram durante toda estada em São Luís/MA, para que pudesse concluir este curso.

Aos colegas de turma: Roberto Lima, Letícia Ramos, Márcio Leite, Sérgio Robinson Cabezas, Júlio César Medina, Stefania Pinzón, Marcelo Luís Corrêa, Vinícius Macêdo, Maria de Jesus Sousa, Elizabeth Costa, Pedro Ivo Bitu e Rozalino Antônio Aguiar pela amizade, companheirismo e ajuda mútua para chegarmos à conclusão do curso.

**Mudaste o meu pranto em dança,
a minha veste de lamento em veste de alegria,
para que o meu coração
cante louvores a ti e não se cale.
Senhor, meu Deus,
eu te darei graças para sempre.**

Salmos 30: 11-12

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... | i |
| CAPÍTULO I | I |
| USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO MILHO VERDE ORGÂNICO..... | I |
| 1. INTRODUÇÃO | 2 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 Agricultura orgânica e seus desafios quanto ao uso de adubos potássicos..... | 3 |
| 2.2 Importância do potássio para as plantas | 4 |
| 2.3 Uso de sulfato de potássio na agricultura orgânica | 4 |
| 2.4 Fontes alternativas de K..... | 5 |
| 2.4.1. Cinza de madeira como fonte de K..... | 6 |
| 2.4.2. Pó de rochas ornamentais como fonte de K..... | 7 |
| 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 8 |
| | |
| CAPÍTULO II..... | 18 |
| VIABILIDADE AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO MILHO VERDE ORGÂNICO..... | 18 |
| RESUMO..... | 19 |
| ABSTRACT | 20 |
| 1. INTRODUÇÃO | 21 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 23 |
| 2.1. Localização, preparo da área e instalação do experimento..... | 23 |
| 2.2. Avaliação agronômica e nutricional das plantas | 25 |
| 2.3. Análise estatística | 26 |
| 3. RESULTADOS | 27 |
| 3.1. Componentes de produtividade do milho | 27 |
| 3.2. Teor de K e demais macronutrientes na folha, colmo e grãos..... | 28 |
| 3.3. Teor de micronutrientes na folha, no colmo e nos grãos de milho | 30 |
| 3.4. Eficiências do K nas plantas de milho..... | 32 |
| 3.5. Acúmulo de K | 33 |
| 4. DISCUSSÃO | 34 |

| | |
|--|----|
| 4.1. Produção de milho verde com uso de fontes alternativas de K para a agricultura orgânica | 34 |
| 4.2. Nutrição do milho com fontes alternativas de K..... | 35 |
| 4.3. Eficiência de uso e acúmulo de K na cultura de milho adubada com fontes alternativas..... | 36 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 37 |
| 6. AGRADECIMENTOS | 37 |
| 7. REFERÊNCIAS | 38 |
| | |
| CAPÍTULO III | 43 |
| EFICIÊNCIAS E PRODUTIVIDADE DO MILHO VERDE ADUBADO COM FONTES POTÁSSICAS ALTERNATIVAS NA AGRICULTURA ORGÂNICA..... | 43 |
| RESUMO..... | 44 |
| ABSTRACT | 45 |
| 1. INTRODUÇÃO | 46 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 48 |
| 2.1. Localização, preparo da área e instalação do experimento..... | 48 |
| 2.2. Coleta de plantas úteis para amostragem, avaliação agronômica e nutricional | 50 |
| 2.3. Análise estatística | 52 |
| 3. RESULTADOS..... | 53 |
| 3.1. Avaliações da produtividade do milho..... | 53 |
| 3.2. Teores de N, P, K e acúmulo de K no milho orgânico adubado com fontes alternativas..... | 54 |
| 3.3. Índices de Eficiências nos tratamentos com adubação alternativa | 56 |
| 4. DISCUSSÃO | 59 |
| 4.1. Produção agronômica do milho adubado com fontes alternativas de K..... | 59 |
| 4.2. Teores de K na planta de milho adubada com fontes alternativas..... | 60 |
| 4.3. Eficiências e acúmulo de K na cultura de milho adubada com fontes alternativas..... | 61 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 62 |
| 6. AGRADECIMENTOS | 62 |
| 7. REFERÊNCIAS | 63 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO II

- Figura 1. Valores médios do teor de K (g kg^{-1}) obtidos nas folhas, nos colmo e nos grãos de milho submetidos à adubação com fontes alternativas de K..... 30
- Figura 2. Eficiência de uso potássio (EUK, kg kg^{-1}) pela cultura do milho, submetida à adubação de fontes alternativas de K..... 34
- Figura 3. Eficiência agrônômica e eficiência fisiológica do milho verde, submetida à adubação de fontes alternativas de K..... 35
- Tabela 1. Análise química dos compostos pó de rochas, cinza de madeira e composto orgânico usados para adubação como fontes alternativas de K 26
- Tabela 2. Valores médios da massa seca das plantas do milho submetida à adubação de fontes alternativas de K e solúvel..... 29
- Tabela 3. Valores médios do teor de macronutrientes submetidas à adubação de fontes alternativas de K..... 31
- Tabela 4. Valores médios do teor de micronutrientes submetidas à adubação de fontes alternativas de K..... 33
- Tabela 5. Valores médios do teor total e acúmulo de k na planta de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K e solúvel..... 35

CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Análise química dos compostos pó de rochas, cinza de madeira e composto orgânico usados para adubação como fontes alternativas de K | 51 |
| Tabela 2. Valores médios da biomassa seca e produtividade das plantas de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K | 55 |
| Tabela 3. Valores médios do teor de NPK nas plantas de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K | 57 |
| Tabela 4. Valores médios do teor total e acúmulo de k na planta de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K e solúvel..... | 58 |
| Tabela 5. Índices de eficiência nutricional e de produtividade na planta de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K e solúvel | 59 |

CAPÍTULO I

USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO MILHO VERDE ORGÂNICO

INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um dos nutrientes encontrados em maior abundância nos tecidos vegetais (forma iônica K^+), (MALAVOLTA, 1999). Após o seu fornecimento às plantas o K, retorna ao solo rapidamente por ser facilmente liberado no solo, principalmente, após a senescência das plantas (PAVINATO et al., 2008).

A absorção de K na cultura do milho se dá, sobretudo, na fase inicial (45 dias após a semeadura). Nessa fase inicial de desenvolvimento, o K é mais exigido que o nitrogênio (N) e o fósforo (P) (COELHO, 2005).

O K é um nutriente escasso na maioria dos solos agricultáveis do trópico úmido, devido à formação geológica e ao alto grau de intemperismo desses solos (AGUIAR et al., 2009). Esse problema é ainda maior para a agricultura orgânica, onde o complemento da fertilidade do solo com adubos potássicos convencionais (especialmente as fontes solúveis) é limitado segundo às normas das certificadoras (BRASIL, 2009a).

Dessa forma, com intuito de reduzir o uso de fontes solúveis de K para a agricultura orgânica, fontes alternativas de K e de baixo custo tornam-se essenciais para garantir uma adubação potássica adequada para o cultivo de plantas orgânicas. Nesse ponto, resíduos oriundos de material mineral despontam como alternativas aceitáveis para o fornecimento de nutrientes a essas plantas (GUELFIL-SILVA et al., 2013).

Entre as fontes alternativas de K, o pó de rochas proveniente de rochas ornamentais, com predominância de mármore e granitos, pode ser usado como fonte de K na agricultura (MELAHMED et al., 2009). Além desses, outro resíduo que pode ser utilizado com potencial em fornecer K às plantas é a cinza oriunda da queima da madeira em fornos industriais. Alguns poucos trabalhos de pesquisa têm demonstrado o uso das cinzas como fonte de adubação potássica e de outros nutrientes para as culturas (NEPSTAD et al., 1999; ZHANG et al., 2002; MARTINS et al., 2008; PEDROSO JUNIOR et al., 2008).

Mas, ainda há carência de mais literatura de pesquisas que avaliam o uso de cinza de madeira e pó de rochas como adubos potássicos e fonte de nutrientes que possam ser de fácil aquisição, economicamente viáveis e possam garantir o fornecimento de nutrientes para uso na agricultura orgânica.

Diante disso, objetivou-se com este trabalho, avaliar a viabilidade e eficiência do uso de cinza de madeira e de pó de rochas tanto na forma isolada quanto combinada como fontes potássicas alternativas, em sistema orgânico para a cultura do milho verde em solos de baixa fertilidade natural na Ilha de São Luís.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agricultura orgânica e seus desafios quanto ao uso de adubos potássicos

Na descrição de Penteadó (2000), o modelo de agricultura orgânica tem como princípios a implantação de uma agricultura sustentável sem perdas da qualidade que envolvem processos tecnológicos na produção de alimentos. No Brasil existem certificadoras para garantir que esses produtos originam-se de produção orgânica segundo a Instrução Normativa Nº 46, DE 6 DE OUTUBRO DE 2011, consolidando-se com a Lei 10.831, de 23/12/2003.

Países como a Índia, Tunísia, Turquia, Cuba ou África tropical estimam crescimento significativo da produção orgânica, mostrando que esse modelo de agricultura tem efetivamente o potencial de fornecer oportunidades a pequenos agricultores para o mercado internacional (KILCHER, 2007; BOLWIG et al., 2009).

No Brasil, a quantidade de agricultores convencionais que estão no processo de transição agroecológica e que pretendem se tornar produtores orgânicos é extensa, visto que há um mercado promissor em expansão (BLANC, 2009), mas que ainda possui dificuldades de produção certificada desses produtos orgânicos. Essa busca de transição entre modelos agrícolas mostra o interesse por produzir alimentos mais rentáveis e saudáveis.

Contudo, há uma grande dificuldade em atender aos critérios usados pelas certificadoras, principalmente quanto ao uso de adubos minerais potássicos, sendo que o custo de aquisição desses adubos é alto, fator esse limitante a boa parte de pequenos produtores orgânicos (EGELYNG, 2009).

Adubos potássicos possuem cloro (Cl), nitrato (NO_3^-) ou enxofre (S) em teores considerados altos, esses elementos podem alterar o estado nutricional das plantas e torná-las mais suscetíveis a pragas e doenças (HANS-RUDOLF e SEYDON, 2006; GAYNOR, 2003).

No Brasil existem limites ao uso de fontes minerais na produção de orgânicos. Muitas certificadoras de orgânicos vetam o uso de fertilizantes solúveis como o cloreto de potássio (KCl), dificultando assim o uso de fontes de adubação potássica para a agricultura orgânica.

A busca por fontes de adubação potássica é um dos maiores desafios da agricultura orgânica brasileira, já que existem restrições quanto ao uso de fontes solúveis de adubos potássicos. Dessa forma, fontes alternativas de K representam um grande avanço quanto a prática de reutilização de resíduos naturais, pois, muitos resíduos que são despejados de maneira inadequada, podendo causar danos ao ambiente como o pó de rochas e cinza de

madeiras, podem também ser usados para fins agrícolas (PERUCCI et al., 2006; MANNING, 2010).

Com essas premissas de reutilizar resíduos de origem natural, almeja-se encontrar fontes alternativas que possam suprir, em parte ou completamente, a carência de potássio na agricultura orgânica. Mas, vale salientar que os resíduos precisam ser avaliados quanto aos teores de nutrientes contidos e a sua viabilidade de uso na agricultura orgânica, para que não tenha perigos quanto a sua utilização (SOARES et al., 2005). Ademais, fontes alternativas podem representar uma redução na dependência de insumos externos de alto valor comercial tais como os adubos potássicos e representar redução significativa nos custos de produção da agricultura orgânica.

2.2 Importância do potássio para as plantas

O K é um elemento com alta mobilidade nos tecidos vegetais, contribui como cofator da catálise enzimática regula a pressão osmótica e o abertura e fechamento dos estômatos (FARIA et al., 2012), auxilia na fotossíntese, na formação de frutos e na resistência ao frio e às doenças (KARLEN et al., 1988; ANDREOTTI et al., 2001).

A absorção de K é necessária para o desenvolvimento da planta, mas em solos altamente intemperizados, esse nutriente torna-se inacessível, e ainda pode ser perdido por lixiviação (ROSOLEM et al., 2006; SILVA et al., 2011).

A determinação dos teores críticos das formas de K em solos e a capacidade dos solos em liberar K para absorção pelas plantas são importantes para a gestão adequada de K na produção agrícola (BRUNETTO et al., 2005).

2.3 Uso de sulfato de potássio na agricultura orgânica

Apenas alguns minerais são comumente usados para obtenção de fertilizantes potássicos e derivados, a silvita (KCl) e a carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004; ROBERTS, 2005). Devido aos baixos teores de nutrientes nos solos, algumas certificadoras de produtos orgânicos passaram a aceitar o sulfato de potássio (K_2SO_4), em doses baixas segundo recomendação das certificadoras, para suprir a insuficiência de potássio nos cultivos orgânicos (MAPA, IN N° 46, de 6 de outubro de 2011). A composição química do sulfato de potássio corresponde a 50-52% de K_2O e de 17 a 18% de enxofre, solúveis em água (MALAVOLTA et al., 2006).

Por conter em sua composição enxofre em quantidades aceitáveis e não danosas ao ambiente, o K_2SO_4 pode ser usado em manejo de culturas orgânicas (MDIC, 2012).

A dependência de importações de fontes de potássio contribui para a redução do superavit da balança comercial brasileira (NACHTIGALL e RAIJ, 2005). Com isso, o uso de fontes alternativas que possam suprir ou complementar a disponibilidade de K para os cultivos é de grande importância para o desenvolvimento de tecnologia para os sistemas de produção, em especial, para os orgânicos (ROSEN e ALLAN, 2007).

2.4 Fontes alternativas de K

Fontes alternativas para adubação potássica tem se tornado um componente fundamental nos sistemas de produção orgânica para otimizar recursos e assim reduzir a aplicação de fertilizantes minerais de alta solubilidade (GUELFILVA et al., 2013). Produtos de origem vegetal e mineral são usados como matéria prima de muitas indústrias (VOOGT, 2002), gerando resíduos que podem vir a ser usados como fertilizantes potássicos alternativos devido aos teores de K presentes em sua composição.

A queima de lenhas, árvores e arbustos, matéria prima de carvoarias e fornos industriais, tem como subproduto a cinza. Esse resíduo pode ser usado como fonte de adubação devido aos teores de nutrientes contidos nesse resíduo oriundo da biomassa vegetal (BASU et al., 2009).

O uso de cinza, como estratégia de fertilização é largamente praticada por agricultores tradicionais em vários estados brasileiros. A queima da biomassa facilita a limpeza da área para o plantio, as cinzas produzidas corrigem a acidez e fornecem nutrientes para as culturas, mas os efeitos dessas queimadas são danosos ao ambiente e a melhoria da fertilidade é efêmera, sendo necessária a queima de novas áreas para cultivo agrícola (ALVES, 2008).

Quanto ao uso de resíduos de origem mineral, o pó de rochas resultado da moagem de rochas ornamentais deve também ser avaliado como fonte de nutrientes disponíveis em diversas localidades e de fácil aquisição. As marmorarias geram resíduos decorrentes do corte de rochas ornamentais, que podem vir a ser também aproveitados para uso na adubação potássica, já que algumas rochas ornamentais como o granito e o mármore possuem teores altos de K (THEODORO e LEONARDOS, 2006; RESENDE et al., 2005). Seu uso começa a ser mais acentuado como fonte complementar, mas ainda passa por diversas discussões quanto à possibilidade de uso na agricultura orgânica, sendo uma prática comum entre agricultores familiares (MANNING, 2010).

2.4.1. Cinza de madeira como fonte de K

Com a alta concentração de nutrientes (K, Zn, Ca, Mg e Fe), as cinzas de madeira que resultam da queima em fornos industriais, podem melhorar o rendimento de muitas culturas agrícolas, entre as quais a cultura do milho que é muito exigente em nutrientes (NKANA et al., 1998; ZIMMERMANN e FREY, 2002). Em geral, a cinza de biomassa caracteriza-se por possuir elevados teores de Ca, Mg e principalmente de K e, em menor medida, de P (DEMEYER et al., 2001).

A adição de cinzas em solos ácidos favorece a neutralização da acidez do solo, aumenta a disponibilidade dos nutrientes, entre eles o K-trocável que é a forma mais acessível para a planta, permitindo que haja uma maior eficiência no uso dos nutrientes (PRADO et al., 2002). Devido às suas propriedades e sua influência sobre a química do solo, a utilização de cinzas de madeira é particularmente adequada para o manejo da fertilidade do solo ácido tropical (ARAÚJO et al., 2004).

Em um estudo utilizando diversas fontes de nutrientes para produção de composto orgânico, a aplicação do composto feito com adição de cinzas de madeira resultou em altos teores de K tanto no solo como na planta (SEVERINO et al., 2006). Assim como no estudo de Nkana et al. (1998), em solos tropicais considerados ácidos, a aplicação de cinza neutralizou a acidez e elevou a disponibilidade de nutrientes para as culturas.

Considerando a diversidade de madeiras queimadas, as cinzas podem apresentar teores de K altos e na forma mais acessível. Devido às características físicas e químicas das partículas, o K poderá ser bem absorvido e acumulado de maneira mais eficiente nas raízes e poderá se descolar com mais facilidade pelas estruturas da planta (DEMEYER et al., 2001; PRADO et al., 2002).

Em estudo realizado por Gómez-Rey (2010), trabalhando com pinus, a aplicação de cinza sob forma direta aumentou rápida e significativamente os valores de pH e os teores de bases trocáveis, tornando a liberação e absorção do K mais eficiente. Quando ocorre perda de K, seja por lixiviação ou pela relação positiva do Ca-Mg/K, o uso de cinza como fertilizante na agricultura deverá se basear na análise química das cinzas, para que não ocorram alterações negativas do solo (BASU et al., 2009; AUGUSTO et al., 2008).

A aplicação de quantidades concentradas de cinza de biomassas diversas podem ocasionar efeitos alcalinos, com variações acentuadas do pH acarretando em danos de nichos de ervas espontâneas e de microrganismos que auxiliariam na absorção dos nutrientes (PARK et al., 2005). Daí a importância de estudos para aplicação adequada de cinza na agricultura

orgânica, para que não haja modificações negativas nas propriedades químicas e físicas do solo e tão pouco perdas significativas de potássio (TIMM et al., 2003).

2.4.2. Pó de rochas ornamentais como fonte de K

Como forma de diminuir a carência de nutrientes nos solos e reduzir custos de importação, uma alternativa para substituir os fertilizantes solúveis são as rochas moídas e aplicadas ao solo na forma de pó, técnica denominada rochagem (THEODORO e LEONARDOS, 2006). As rochas podem fornecer nutrientes a longo prazo para as culturas, por possuírem lenta liberação dos nutrientes quando comparadas aos fertilizantes solúveis (HARLEY e GILKES, 2000; KNAPIK e ANGELO, 2007).

A técnica de rochagem pode ser entendida como uma forma de otimizar recursos escassos no país, sendo que 90% das fontes minerais são importadas a altos valores comerciais (BRASIL, 2013). O uso de pó de rochas surge como uma técnica de reutilização de recursos minerais visando diminuir a dependência externa de adubos agrícolas e entre eles os adubos potássicos (GUELFISILVA, 2013). A utilização de pó de rochas se baseia nos conceitos de rejuvenescimento e conservação de solos, já que a origem mineral desse composto favorece uma lenta liberação de nutrientes (ALMEIDA et al., 2007). Quando aplicados os farelos de rochas diretamente ao solo, poderá haver um aumento nos teores de fósforo, cálcio, magnésio, potássio e nos teores de micronutrientes no solo e esses nutrientes mais acessíveis à assimilação pela planta (PAGLIA et al., 2006).

Devido à liberação lenta dos nutrientes poderá se tornar uma fonte de recuperação das propriedades químicas desses solos a longo prazo (FERREIRA et al., 2009). Essa técnica de uso de pó de rochas, como adubação, evidencia uma boa prática para a agricultura familiar (FYFE et al., 2006). O estudo de Plewka et al. (2009) mostrou que a incorporação de pó de rochas em composto orgânico, adubação verde e biofertilizantes aumenta os teores de nutrientes, mas isso pode requerer longo tempo de preparo e o uso direto deverá ser feito com cautela para não ocorrer alterações indesejáveis nas propriedades dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. C. F.; AMORIM, A. P.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Environmental and agricultural benefits of a management system designed for sandy loam soils of the humid tropics. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1473-1480, 2009.

ALMEIDA, D. L., AZEVEDO, M. S. F. R., CARDOSO, M. O., DE-POLLI, H., GUERRA, J. G. M., MEDEIROS, C. A. B., NEVES, M. C. P., NUNES, M. U. C., RODRIGUES, H. R., SAMINEZ, T. C. O., VIEIRA, R. C. M. Agricultura Orgânica: Instrumento para a Sustentabilidade dos Sistemas de Produção e Valoração de Produtos Agropecuários. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 22p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 122).

ALMEIDA, E.; SILVA, F. J.P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no Sul do Brasil. **Agriculturas**, v. 4, n. 1, p. 7-10, 2007.

ALVES, E. **Agricultura itinerante ou moderna na Região Amazônica?**. Embrapa: Revista de Política Agrícola. Ano XVII – Nº 2 – Abr./Maio/Jun. 2008.

ARAÚJO, M. C.; MADEIRA, M.; HILÁRIO, L.; MARQUES, P. P. Efeito da cinza de biomassa florestal no crescimento de plantas de *Eucalyptus globulus* e nas características do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 27, n.1, p.99-112, 2004.

ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e Agricultura Orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 6, p. 67-80, 2002.

AUGUSTO, L.; BAKKER, M. R.; MEREDIEU, C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems potential benefits and drawbacks. **Plant and Soil**, v.306, p.181-198, 2008.

BALDOTTO, M. A., ASPIAZÚ, I., SILVA, A., CORRÊA, M. L. T., ALVAREZV, V. Potencialidade agrônômica do resíduo de rochas ornamentais. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, v. 3, p. 1-8, 2007.

BARONA, A.; ROMERO, F. Distribution of metals in soils and relationships among fractions by principal component analysis. **Soil Technology**, Cremlingen.v.8, p.303-319, 1996.

BASU, M.; PANDE, M.; BHADORIA, P. B. S.; MAHAPATRA, S. C. - Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. **Progress in Natural Science**, v. 19. n.10. p.1173-1186, 2009.

BATISTA, M. A. V.; VIEIRA, L. A.; SOUZA, J. P.; FREITAS, J. D. B.; BEZERRA NETO, F. Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-CE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 8-11, 2012.

BLANC, J. Family farmers and major retail chains in the Brazilian organic sector: assessing new development pathways. A case study in a peri-urban district of São Paulo. **Journal of Rural Studies**, v. 25.3, p. 322–332, 2009.

BOLWIG, S.; GIBBON, P.; JONES, S. The economics of smallholder organic contract farming in tropical Africa. **World Development**, v.37.6, p. 1094–1104, 2009.

BONFIM-SILVA, E. M., CABRAL, C. E. A., DA SILVA, T. J. A., MOREIRA, J. C. F., DE CARVALHO, J. C. S. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. Vegetable ash: productive characteristics and chlorophyll in palisadegrass. **Bioscience Journal**, v. 29, n.5, 2013.

BRAGA, J.M.; YAMADA, T. Uso eficiente de fertilizantes potássicos. In; SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 1984, Brasília. Anais... Brasília: **POTAFOS**, p.291-321, 1984.

BRASIL, N. M. **Contaminação do Solo por Metais Pesados pelo Uso de Resíduos Orgânicos: “Principais Conquistas e Desafios”**. Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Vitória – ES, 2009 a.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Produtos orgânicos: o olho do consumidor**. 1 ed. Brasília, 2009.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2012. 136 p.: il.; 29 cm. ISSN 0101 2053.

BRASIL. **Lei 10.831**. Brasília: Diário Oficial da União, 24/12/2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução **Normativa N°7**. Brasília: Diário Oficial da União, Seção 1. p 11, 19/05/1999.

BRUNETTO, G., GATIBONI, L.C.; SANTOS, D. R.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Níveis crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.565-571, 2005.

CAPORAL, F. R. Agroecologia : uma ciência do campo da complexidade / Francisco Roberto Caporal (org.). José Antônio Costabeber. Gervásio Paulus. – Brasília: 2009. p.111.

CHANG, A. C.; PAGE, A. L.; WARNEKE, J. E.; GRGUREVIC, E. Sequential extraction on soil heavy metals following a sludge application. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.33-38, 1987.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T. e ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 612-658, 2005.

DA COSTA, A. S. V.; HORN, A. H.; DONAGEMMA, G. K.; DA SILVA, M. B. Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. **Revista Geonomos**, v.18, n.1, 2013.

DEMEYER, A.; NKANA, J. C. V.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v. 77: p. 287-295, 2001.

EGELYNG, H. **Organic agriculture: glocalisation options for the south?** R. Janardhan, A.S. Sisodhya (Eds.), *Organic Farming – Perspectives and Experiences*, ICFAI University Press, Bangalore, p. 186–201, 2009.

ETIEGNI, L., CAMPBELL, A. G. Physical and chemical characteristics of wood ash. **Bioresource Technology**. v. 37, p. 173-178, 1991.

FADIGAS, F. S.; AMARAL-SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v.61, n.2, p. 151-159, 2002.

FERRAZ JR, A. S. L. **O cultivo em aleias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido**. In: Moura, E. G. (Ed.). *Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil*. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão. 2ª Ed. Vol. 1. p. 73-92, 2006.

FERREIRA, E. R. N. C.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.8, n.2, p.111-121, 2009.

FERMINO, M. H.; TRENTIN, A. L.; KÄMPF A. N. Caracterização física e química de materiais alternativos para composição de substratos para plantas: 1. Resíduos industriais e agrícolas. In: KÄMPF AN; FERMINO MH. (eds). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênesis, p. 241-248, 2000.

FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; HEODORO, S. H. **The use of rocks to improve Family agriculture in Brazil**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, n. 4, p. 721-730, 2006.

GAYNOR, A. A contaminação do solo com pesticidas: Estudo de caso de Perth – Austrália Ocidental. **Revista Agricultura Urbana**, Quito, n. 3, p. 1-9, 2003.

GOMEZ-REY, M. X.; MADEIRA, M.; COUTINHO, J., VASCONCELOS, E. Efeito da cinza de biomassa na dinâmica do C e N do solo de uma plantação de pinus pinaster. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 33, n. 2, dez. 2010.

GRANJEIRO, L. C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Características de produção de frutos de melancia sem sementes em função de fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.4, p. 450-454, 2006.

GUELFY-SILVA, D. R.; MARCHI, G.; SPEHAR, C. R.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V. Agronomic efficiency of potassium fertilization in lettuce fertilized with alternative nutrient sources. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 2, p. 267-277, 2013.

HANS-RUDOLF, P.; SEYDON, N. use of waste water in urban agriculture in the dakar area, senegal: an interdisciplinary study towards sustainability. Disponível em: <http://www.unil.ch/webdav/site/cam/users/jlavanch/public/recherche/Gueye_projet.pdf>. Acessoem 10 de mar. 2014.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 01, p. 11-36, 2000.

KARLEN, D. L. .Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v. 80, n. 2, p. 232-242, 1988.

KILCHER, L.. How organic agriculture contributes to sustainable development C. Hülsebusch, F. Vichern, H. Hemann, P. Wolff (Eds.), Organic Agriculture in the Tropics and Subtropics – Current Status and Perspectives. Suppl. 89.**Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics.**, Kassel Univ. Press gmbH, v.166, p. 31–49, 2007.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 27p, 2003.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Prunus sellowii* Koehne em resposta a adubações com NPK e pó de basalto. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 257-264, 2007.

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. C. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian view point. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.56, p.3-9, 2000.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Ed. Agr. Ceres. 2006. 631p.

MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.30: p. 281-294, 2010.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 6 DE OUTUBRO DE 2011.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: _____. Rochas e minerais industriais. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205 – 223.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. (Série estudos e documentos, 72), 2007. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sed/sed-72.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2013.

MELAMHED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentável. In: LAPIDO LOUREIRO, F.E.; MELAMHED, R. & FIGUEIREDO NETO, J. (Coords.), **Fertilizantes Agroindustriais e Sustentabilidade**. CETEM/MCT, 645 p., 2009.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agrofor. Syst.**, v.57, p.117-125, 2003.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC). **Anuário Estatístico**. Secretaria do Desenvolvimento da Produção - Brasília: SDP. p.66, 2012.

MOURA, E. G.; SILVA, A. J. F.; FURTADO, M. B.; AGUIAR, A. C. F. Avaliação de um sistema de cultivo em aleias em um argissolo franco-arenoso da região amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1735-1742, 2008.

MOURA, E. G et al. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, v.35, p.363–371, 2010.

MOURA, E. G. et al. Patents on periphery of the Amazon rainforest. **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v.1, p.142-149, 2009a.

NACHTIGALL, G.R.; RAIJ, B. VAN. Análise e interpretação de potássio no solo. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L., eds. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, **Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, p.93-118, 2005.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 66p. (Série Estudos e Documentos, 61). 2004.

NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTERK, C.; PAULO MOUTINHO; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and Fire. **Nature**, v.398, p.505-508, 1999.

NKANA, J. C. V.; DEMEYER, A.; VERLOO, M. G. Chemical effects of wood ash on plant growth in tropical acid soils. **Bioresource Technology**, Essex, v. 63, n. 3, p. 251-260, 1998.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores do solo em plantios florestais. In:

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.385-414, 2000.

OFIATTI, V.; LIMA, R. L. S.; GOLDFARD, M.; BELTRÃO, N. E. M. Cinza de madeira e lodo de esgoto como fonte de nutrientes para o crescimento do algodoeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.7, n.1, p.144-152, 2007.

OLIVEIRA F. A.; CASTRO, C.; MOREIRA, A.; SILVA, L. S. Efeito residual da adubação com rochas brasileiras como fontes de potássio para a cultura da soja. **Espaço & Geografia**, v.9, p.247-262, 2006.

OLIVEIRA, T. S. **Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos**. 128f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

OSAKI, F. M. R. DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. **Revista Setor Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 197-205, 1991.

PARK, B. B.; YANAI, R. D.; SAHM, J. M.; LEE, D. K.; ABRAHAMSON, L. P. Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.28 p.355 - 365, 2005.

PAULETTI, V.; SERRAT, B. M.; MOTTA, A. C. V.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.53, p.563-574, 2010.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.358-364, 2008.

PEDROSO JUNIOR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. **A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. hum., Belém, v. 3, n. 2, ago. 2008.

PENTEADO, S. R. **Introdução à Agricultura Orgânica**: Normas e técnicas de cultivo. Campinas: Editora Grafimagem, 2000. 110 p.

PERUCCI, P.; MONACI, E.; CASUCCI, C.; VISCHETTI, C. Effect of recycling wood ash on microbiological and biochemical properties of soils. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 26, p.157-165, 2006.

PIVA, R., BOTELHO, R. V., ORTOLAN, C., MÜLLER, M. M. L., KAWAKAMI, J. Adubação em vinhedo orgânico da cv. Isabel utilizando cinzas vegetais e esterco bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal ,v. 35, n. 2, June 2013.

PLEWKA, R. G.; ZAMULAK, J. R.; VENANCIO, J.A.; MARQUES, A. C. Avaliação do uso do pó de basalto na produção de feijão. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n.2, p. 4397-4400, 2009.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; NATALE, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n.5, p.1.493-1.500, 2002.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, **Ceres**, 1991. 343p.

RESENDE, A. V.; MACHADO, C. T. T.; MARTINS, E. S.; NASCIMENTO, M. T.; SOBRINHO, D. A. S.; FALEIRO, A. S. G.; LINHARES, N. W.; SOUZA, A. L. e CORAZZA, E. J. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I. Respostas da soja e do milho. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, Anais. Recife: UFRPE/SBCS. 2005.

ROBERTS, T. L. World reserves and production of potash. In: Yamada, T. e Roberts, T.L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 1-20. 2005.

ROSEN, C. J.; ALLAN, D. L. Exploring the benefits of organic nutrient sources for crop production and soil quality. **Hortecology**, v. 17, p. 422-430, 2007.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1033-1040, 2006.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Composição Química de Onze Materiais Orgânicos Utilizados em Substratos para Produção de Mudas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Comunicado Técnico**, 278, Campina Grande, Paraíba. 2006.

SILVA, S. M.; OLIVEIRA, L. J.; FARIA, F. P.; REIS, E. F.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, S. M. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1931-1937. 2011.

SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G. de; MOREIRA, F. M. S. Fitotoxidez de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 29, p. 175-183, 2005.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve Family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, n.4, 721-730, 2006.

VOOGT, W. Potassium management of vegetable under intensive conditions. In: PASRICHA NS & BANSAL SK. (eds). **Potassium for sustainable crop**. Basel, Switzerland: International Potash Institute, p. 347-362, 2002.

ZHANG, F. S.; YAMASAKI, S.; NANZYU, M. Waste ashes for use in agricultural production: I. Liming effect, contents of plants nutrients and chemical characteristics of some metals. **Science of the Total Environment, Amsterdam**. v. 284, p. 215-225, 2002.

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1727-1737, 2002.

CAPÍTULO II

VIABILIDADE AGRONÔMICA DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO MILHO VERDE ORGÂNICO

RESUMO

Fontes minerais e solúveis de potássio (K), tem se tornado objeto de pesquisas em diversas áreas agrícolas devido a grande demanda desse nutriente pela agricultura brasileira. Saber qual o potencial de uso dos compostos alternativos como fonte de nutrientes pode diminuir gastos com importação de fertilizantes minerais. Diante disso, objetivou-se avaliar a produção de matéria seca, os componentes de produção, os teores de macronutrientes e micronutrientes bem como a eficiência do uso de potássio pelas plantas de milho submetidas à adubação com fontes alternativas de K (cinza de madeira e pó de rocha) e solúvel (sulfato de potássio). Para isso, foi instalado um experimento no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos: cinza de madeira; pó de rochas ornamentais; sulfato de potássio; pó de rochas ornamentais +cinza de madeira; sulfato de potássio + cinza de madeira e sulfato de potássio + pó de rochas ornamentais. Aos 72 dias após a emergência (DAE) foram coletadas três plantas representativas por parcela, para quantificar a produção de matéria seca, os componentes de produtividade e a eficiência do uso do K. Em todas as frações da planta (folha, colmo e grãos), os tratamentos estudados afetaram positivamente, aumentando a massa seca das folhas, do colmo e o comprimento das espigas e não influenciam os teores de K presentes e a produção de espigas verdes. Os tratamentos apresentaram teores mais elevados no acúmulo de K da planta de milho. As eficiências do uso de K obtidas nas frações não são influenciadas pelos tratamentos contendo fontes alternativas de K e solúvel. É possível utilizar essas fontes alternativas de K em substituição às solúveis.

Termos para indexação: *Zea mays*, pó de rocha, cinza, produção orgânica, nutrientes.

ABSTRACT

Minerals and soluble sources of potassium (K) has becoming a subject of researches in a wide range of agricultural areas due to the high nutrient demand in Brazilian agriculture. The knowledge of alternative sources of soil nutrients could help to reduce economic costs with fertilizers import. Thus, this study aims to evaluate the dry biomass production, the production components, macro- and micronutrients concentrations and the nutrient use efficiency of potassium of corn plants subjected to different combinations of alternatives and soluble sources of K. A field experiment with corn (*Zea mays* L. cv. AG1051) was carried out with randomized blocks in four repetitions and six treatments: wood ash, rock powder, potassium sulfate, rock powder + wood ash, potassium sulfate + wood ash, potassium sulfate + rock powder. After 72 days of plant emerging representative plants were sampled in each treatment to quantify the dry biomass production, the productivity components and potassium use efficiency. In all plant fractions (leaves, stem and grains), the treatments influenced the dry biomass and the ear corn height but didn't affect the K-content and the ear corn yield. The treatment change the K accumulation in corn plants. The potassium use efficiency in the plant fractions weren't influenced by the treatments containing both alternative and soluble sources of K. It is possible to adopt this alternative K sources in substitution to the soluble ones.

Index terms: *Zea mays*, rock dust, ash, organic produce nutrients.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de milho é superada apenas pelo arroz e trigo, devido o milho fazer parte, principalmente, da composição de rações para uso animal e alimentação humana. Os solos da região Nordeste, para a produção de milho, são empobrecidos devido o seu material de origem e ao alto grau de intemperismo.

Devido à magnitude de sua produção agrícola, sob demanda crescente nacional e internacional, e às características de baixa fertilidade natural dos solos, o Brasil tornou-se grande consumidor de fertilizantes. Contudo, a contar pela insuficiente produção interna e pelo crescimento inferior da indústria nacional de fertilizantes em relação ao aumento da demanda, o país continuará grande importador de adubos no curto e médio prazo, sofrendo o peso negativo desta dependência em sua balança comercial.

Na região Nordeste, grande parte das famílias presentes no meio rural se alimentam do milho, daí a importância da cultura do milho para esta região. Ainda, nesta região há grande escassez de recurso financeiro por parte dos agricultores. Novas formas de produzir alimentos em quantidade, qualidade e sem danos ao ambiente têm sido buscadas, mas sem causar danos ao ambiente.

De acordo com Aguiar et al. (2010), a fertilidade do solo é um dos principais fatores que afetam a produtividade do milho. Como a cultura do milho é altamente exigente em nutrientes e entre eles o potássio (K), que é o elemento mineral mais absorvido em seu desenvolvimento inicial, a produção orgânica têm algumas limitações quanto ao uso de adubos potássicos solúveis (YAMADA e ROBERTS, 2005; ROBERTS, 2004).

O K é o nutriente absorvido em maior quantidade pelas plantas superado apenas pelo nitrogênio (MALAVOLTA, 1996; 2006). Em estudo realizado por Karlen et al. (1988) observou-se que as culturas, principalmente o milho, são altamente exigentes em K na sua fase inicial, podendo acumular cerca de 40% de todo o K necessário para seu desenvolvimento nos primeiros 40 – 50 dias após a emergência (DAE).

Um dos maiores entraves para a produção orgânica do milho é o uso de fertilizantes que forneçam K para as culturas com baixo custo para melhorar a competitividade do sistema orgânico de produção. O uso de fontes alternativas de K pode ser um recurso promissor na agricultura orgânica. No estudo realizado por Rengel e Damon (2008) descreveram que a cultura do milho poderá responder de forma satisfatória a adubação com fontes alternativas de K, quando substituindo ou complementando fertilizantes solúveis de acordo com os teores de nutrientes contidos. Os resíduos de marmorarias (pó de rochas) e cinza de madeira são

despejados no ambiente causando contaminações ambientais. Por serem oriundos de fontes naturais, estudos realizados com esses materiais mostraram que são promissores para o uso na agricultura como fontes alternativas de nutrientes e por apresentarem bons teores de K, ambos mostraram-se propícias para a complementação ou até mesmo a substituição de adubos potássicos (HARLEY e GILKES, 2000; MARTINS, 2001; THEODORO e LEONARDOS, 2006;).

A experimentação agrícola com uso de fontes alternativas de K torna-se importante para avaliar os riscos e a aplicabilidade desses elementos de forma direta e eficiente, principalmente, para o cultivo de milho em sistema orgânico de produção. Fontes alternativas de nutrientes como a cinza de madeira e o pó de rochas, podem manter as propriedades químicas e físicas do solo dando suporte na fixação de plantas, tendem a otimizar o uso dos elementos minerais essenciais para a planta e podem diminuir a escassez de K, reduzindo sua perda após a adubação (KIEHL, 1985).

Em tempos de crise econômica ou em situações desfavoráveis, a aplicação de adubos solúveis se torna economicamente inviável, devido ou ao seu custo ou à lixiviação de nutrientes. Uma alternativa seria o uso de adubos naturais como o pó de rochas e cinza de madeiras.

Desde o início, notou-se a falta de indícios científicos da validade de muitas das técnicas alternativas de fertilização dos solos, um assunto cujo conhecimento é predominantemente empírico na região. Não obstante a isso, o fato do Brasil ser um grande consumidor mundial de fertilizantes e muito dependente das importações para atender a essa demanda reitera a necessidade do estudo de fontes alternativas de nutrientes, que além de necessárias aos sistemas orgânicos de produção, podem auxiliar a diminuir a dependência brasileira do mercado externo de fertilizantes e propiciar o acesso a técnicas produtivas de baixo custo e menos agressivas ao ambiente aos produtores nacionais.

Diante do exposto, objetivou-se, com este trabalho avaliar a viabilidade técnica de utilização do pó de rocha e cinza de madeira de forma isolada e combinada como fontes alternativas de potássio para a produção de milho verde orgânico. Ainda, foi avaliada a eficiência agrônômica e a diagnose nutricional das plantas de milho em função dessas fontes alternativas de K.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização, preparo da área e instalação do experimento.

O experimento foi desenvolvido na área agrícola da empresa Alimentum Ltda, sediada na zona rural de São Luís/MA, durante os meses de setembro de 2012 a janeiro de 2013. As coordenadas geográficas da área experimental são 2° 37'39, 69" Latitude Sul e 44° 11' 15,7" Longitude. O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com uma estação chuvosa que se estende de Janeiro a Junho e outra estação seca, com déficit hídrico acentuado entre os meses de Julho a Dezembro.

A precipitação foi 48 mm durante todo o período experimental e mais de 80 % ocorreu no mês de Novembro, necessitando de irrigação complementar por aspersão 3 vezes ao dia, devido à deficiência hídrica que ocorreu nesse período. As temperaturas máximas e mínimas foram, respectivamente, de 28 °C a 37 °C e 20 °C a 22 °C.

O solo da área experimental foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2013). Na profundidade de 0-20 cm foram retiradas amostras de solo para caracterização química e física. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para análise no laboratório de química do solo da Universidade Estadual do Maranhão e apresentou 20 dag kg⁻¹ de areia grossa; 64 dag kg⁻¹ areia fina; 8 dag kg⁻¹ de silte e 8 dag kg⁻¹ argila; 5,1 de pH em CaCl₂; 152,0 mg dm⁻³ de P; 1,0 mmol_c dm⁻³ de K; 15,0 mmol_c dm⁻³ de Ca; 5,0 mmol_c dm⁻³ de Mg; 26,0 mmol_c dm⁻³ de acidez potencial (H⁺+Al³⁺); 1,5 mmol_c dm⁻³ de Na; 0,0 mmol_c dm⁻³ de Al; 1,87 dag kg⁻¹ de carbono orgânico; 22,5 mmol_c dm⁻³ de CTCe; 48,5 mmol_c dm⁻³ de CTCp e 46% de saturação por base.

No delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, foram testados seis tratamentos: 1,2 t ha⁻¹ de cinza de madeira; 1,2 t ha⁻¹ de pó de rochas; 120 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio; 830 kg ha⁻¹ de pó de rochas + 830 kg ha⁻¹ de cinza de madeira; 120 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio+ 830 kg ha⁻¹ de cinza de madeira e 120 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio + 830 kg ha⁻¹ de pó de rochas. Definiram-se essas doses segundo trabalho de Lazo (dados não publicados) que identificou a curva de calibração de K para plantas de milho segundo cada fonte alternativa de K para adubação com intuito de fornecer doses acessíveis por área.

Cada parcela experimental de 3,6 x 3,0 m foi constituída de 48 plantas em quatro fileiras, espaçadas de 1 m entre si e 0,25 m entre plantas. Em cada parcela, as duas fileiras laterais e 0,50 m de cada extremidade das duas fileiras centrais serviram como bordadura,

totalizando 16 plantas úteis. A área total utilizada para a instalação do experimento foi 288 m².

O pó de rocha e a cinza de madeira, utilizados no experimento, foram adquiridos através do processo de produção de marmorarias e fornos de produção de carvão vegetal, respectivamente. Estes materiais foram coletados em diversas localidades do município de São Luís/MA. A caracterização química destes materiais utilizados no presente experimento está apresentada na Tabela 1, segundo metodologia de Tedesco et al, (1995).

Para a instalação do experimento, o preparo da área foi realizado oito dias de antecedência da semeadura do milho, com roçada, e em seguida, abertura dos sulcos com aproximadamente 10 cm de profundidade. Após a limpeza da área foi aplicado 1 kg m⁻¹ linear do composto orgânico produzido com esterco bovino, podas de árvores e cama de aviário (Tabela 1) produzido na propriedade como adubação básica, não houve a aplicação de corretivos no solo já que a propriedade é de produção orgânica e existem normas para uso da área. Em seguida, os sulcos foram cobertos com o solo de áreas adjacentes e realizada irrigação por aspersão três vezes ao dia para favorecer a incorporação do composto ao solo.

Tabela 1 – Caracterização química das fontes alternativas de potássio utilizadas no experimento

| Fontes de K | P | K | N | Ca | Mg | Mn | Cu | Fe | Zn |
|-------------------|-------------------------------|-------|-------|------|------|--------------------------------|------|-------|-------|
| | -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | -----mg kg ⁻¹ ----- | | | |
| Pó de rocha | 0,47 | 10,03 | 0,74 | 3,75 | 0,98 | 9,00 | 7,90 | 20,10 | 20,19 |
| Cinza de madeira | — | 22,11 | 22,82 | 4,55 | — | 25,00 | 8,45 | 64,70 | 77,00 |
| Composto orgânico | — | 17,3 | 16,5 | 4,72 | — | 37,00 | 5,50 | 35,00 | 37,00 |

Não houve valores de P e Mg para cinza de madeira e pó de rocha devido a não leitura durante a análise química.

No sétimo dia após a aplicação do composto foi realizada a aplicação do pó de rocha, cinza de madeira e sulfato de potássio. No dia seguinte, foi realizada semeadura do milho híbrido ‘AG 1051’, com três sementes por cova, de forma manual e com auxílio de enxada, na profundidade média de 5cm. Aos 5 dias após o plantio (DAP) do experimento foi observado à germinação das sementes e efetuado os tratos culturais (capinas e pulverizações com bioinseticida) de acordo com as normativas preconizadas para o sistema orgânico (INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 6 DE OUTUBRO DE 2011).

. Ainda, foi feito o desbaste aos 10 dias após o plantio (DAP), selecionando-se uma planta por cova.

2.2. Avaliação agronômica e nutricional das plantas

Aos 72 dias após a emergência (DAE), quando a planta atinge o estágio de grão leitoso (R3), foram coletadas três plantas representativas por parcela, manualmente, a 5 cm da superfície do solo, quando as plantas atingiram o ponto de milho verde (mais de 50% das espigas atingiram o estágio de grão leitoso e com cerca de 70 a 80% de umidade). Logo após a coleta, as plantas foram separadas em folha, colmo e espiga. As folhas e os colmos foram picados e acondicionados em sacos de papel devidamente etiquetados.

Com as espigas verdes foi obtida a produção comercial pela pesagem sem palha, considerando as espigas comerciais despalhadas aquelas com comprimento superior a 15 cm e diâmetro superior a 4 cm, granadas, isentas de insetos praga e doenças, conforme descrição de Paiva Júnior et al. (2001).

Foi avaliado também o comprimento médio de espiga sem palha com o uso de régua graduada em centímetros. O diâmetro médio das espigas, em milímetros, foi obtido com o uso de paquímetro digital. Posteriormente, as espigas foram postas para secar ao sol por 72 horas quando, então, foram manualmente debulhadas.

As partes (folhas, colmos e grãos) das plantas de milho foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, durante 5 dias. Após a secagem, as folhas e os colmos foram pesados em balança eletrônica com precisão de 0,001 g e os resultados expressos em kg ha⁻¹.

Após a pesagem, procedeu-se à moagem das amostras em moinho tipo Wiley. Uma subamostra de 0,2 g do material vegetal moído foi submetida à digestão sulfúrica para a quantificação do teor de N total, pelo método de Kjeldahl, conforme descrição da metodologia de Tedesco et al. (1995). Outra subamostra de 0,2 g foi submetida à digestão nítrico-perclórica, conforme Tedesco et al. (1995), para determinação do teor de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn. Exceto o N, os demais macronutrientes e micronutrientes foram dosados pelo método de Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) VARIAN modelo 720ES.

Eficiências do uso e agronômica do K, posteriormente, com os dados referente a matéria seca e o teor de K foram calculadas a eficiência do uso do K foliar (EUKF, kg kg⁻¹), do colmo (EUKC, kg kg⁻¹) e dos grãos (EUKG, kg kg⁻¹). Estas eficiências foram calculadas pelas razões entre a massa seca total da parte aérea e o conteúdo de K das partes das plantas

de milho. Para cada fração da planta de milho, o conteúdo de K foi obtido pela relação entre o teor de K (g kg^{-1}) e a massa seca (g por planta).

O acúmulo de K na planta foi obtido pela relação entre o somatório dos conteúdos das partes das plantas: colmo, folhas e espigas. Com os dados de produção, acúmulo de matéria seca foram calculadas a eficiência agrônômica (EA, kg kg^{-1}) e eficiência fisiológica (EF, kg kg^{-1}). A EA é a relação entre a produção de matéria seca obtida por unidade de nutriente aplicado; e a EF é a produção de biomassa pelo teor de nutriente na planta. Conforme metodologia proposta por Fageria e Baligar (2005), foi possível calcular a EA pela seguinte fórmula: $EA = (R_f - R_0)/(Q_f)$, expressa em kg kg^{-1} , em que R_f é a produção de espigas com fertilizante; R_0 é a produção de grãos sem fertilizante e Q_f é a quantidade de fertilizante aplicado, em kg ha^{-1} e de acordo com Fageria (1998), a EF foi calculada pela seguinte fórmula: $EF: (R_f - R_0)/(Q_a - Q_0)$ expresso em kg kg^{-1} ; R_f é a produção total de matéria seca da parte aérea, em kg, com adubação; R_0 é a produção total de matéria seca, em kg ha^{-1} , sem adubação; Q_a é o acúmulo de nutriente com adubação, em kg ha^{-1} ; Q_0 é o acúmulo de nutriente sem adubação, em kg ha^{-1} .

2.3. Análise estatística

As variáveis avaliadas foram testadas quanto à normalidade dos resíduos ou erro experimental pelo teste de Lilliefors e a homocedasticidade de variâncias pelo teste de Cochran e Bartlett, ao nível de até 10% de probabilidade. Todas as variáveis avaliadas apresentaram normalidade e homocedasticidade de variância. Não houve a necessidade de transformação dos dados.

Em seguida, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Dunnett, ao nível de 5% de probabilidade, para testar a viabilidade técnica das fontes alternativas de K. As demais variáveis avaliadas foram submetidas ao teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

O software utilizado para a execução das análises estatísticas foi o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. RESULTADOS

3.1. Componentes de produtividade do milho

Houve diferença entre os tratamentos avaliados em relação à massa seca das folhas (MSF), dos colmos (MSC) e para o comprimento da espiga (CE) (Tabela 2). Os tratamentos contendo cinza de madeira e pó de rochas foram os que apresentaram a maior MSF; e para a MSC, foi apenas o tratamento contendo cinza de madeira. Nos tratamentos contendo a combinação do sulfato de potássio com cinza de madeira e sulfato de potássio com pó de rochas foram os que apresentaram, respectivamente, a menor produção de MSF e MSC, porém, este não diferiu estatisticamente do tratamento contendo a combinação de pó de rochas com cinza de madeira. O maior CE foi obtido no tratamento com pó de rochas, porém, não diferiu do tratamento contendo sulfato de potássio e sulfato de potássio com cinza.

Observa-se na Tabela 2, que os tratamentos avaliados não influenciou no amento do diâmetro das espigas (DE), na produção de matéria seca da parte aérea (PM) e a produção de espigas comerciais (PEC).

Tabela 2 – Valores médios da massa seca das folhas (MSF) e do colmo (MSC), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), produção total de matéria seca (PM) e produtividade de espigas comerciais (PEC) do milho submetido à adubação de fontes alternativas de K e solúvel

| TRATAMENTOS | VARIÁVEIS AVALIADAS | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|----------|---------------------------|---------------------------|
| | MSF kg ha ⁻¹ | MSC kg ha ⁻¹ | CE cm | DE cm | PM kg ha ⁻¹ | PEC t ha ⁻¹ |
| Cinza – 18 kg ha | 127,32 A | 305,04 A | 19,70 BC | 4,45A | 736,60A | 7,37A |
| Pó de Rocha – 12 kg ha | 125,00 A | 270,60 B | 21,23 A | 4,60A | 791,40A | 7,91A |
| Sulfato de K ~ 48 kg ha | 91,36 CD | 259,96 B | 21,03 AB | 4,14A | 852,60A | 8,53A |
| Pó de Rocha + Cinza – 30 kg ha | 96,72 C | 152,52 D | 19,73 BC | 4,34A | 677,60A | 6,78A |
| Sulfato de K + Cinza – 66 kg ha | 87,56 D | 201,24 C | 20,00 ABC | 4,15A | 802,80A | 8,03A |
| Sulfato de K + Pó de Rocha – 60 kg ha | 107,47 B | 155,60 D | 18,85 C | 3,91A | 660,00A | 6,60A |
| CV% | 2,27 | 2,85 | 3,23 | 17,18 | 32,10 | 32,10 |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3.2. Teor de K e demais macronutrientes na folha, colmo e grãos

O teor de K nas frações das plantas de milho (folhas, colmos e grãos) não apresentou diferença entre os tratamentos contendo fontes alternativas de K e solúvel (Figura 1). Os teores de K quantificados nas folhas e nos colmos foram superiores aqueles observados nos grãos de milho colhido no estágio leitoso (milho verde).

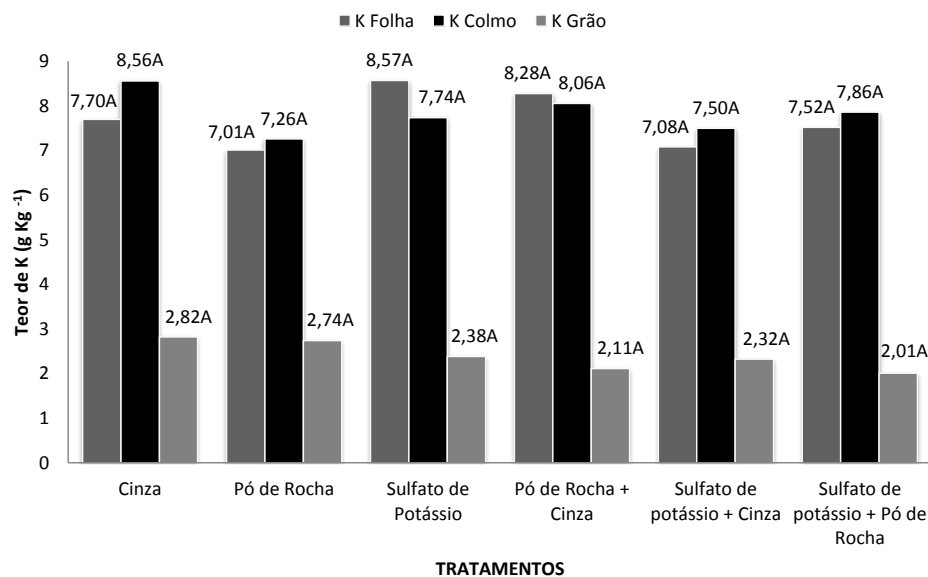


FIGURA 1 - Valores médios do teor de potássio (K) (g kg^{-1}) na folha, no colmo e nos grãos das plantas de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K e solúvel. Para cada variável avaliada, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O teor de N presente nas partes das plantas de milho, diferiram em todos os tratamentos avaliados, mostrando que as fontes de K afetaram positivamente aumentando a absorção de N. O tratamento contendo cinza de madeira bem como o tratamento contendo pó de rochas com cinza de madeira foram os que apresentaram menor e maior teor de N nas folhas, respectivamente (Tabela 3). Os tratamentos estudados tiveram um aumento no teor de P apenas nos grãos das plantas de milho, sendo que o pó de rocha apresentou o maior teor de P, porém, não diferiu dos tratamentos com cinza de madeira sulfato de potássio com cinza de madeira e sulfato de potássio com pó de rochas (Tabela 3).

Da mesma forma, os tratamentos não apresentaram diferenças para os teores de P e Ca tanto nas folhas quanto nos colmos.

Observou-se que os tratamentos estudados não aumentaram os teores de Mg e Ca tanto nas folhas quanto nos colmos e nos grãos das plantas de milho.(Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios dos teores de N, P, Mg e Ca avaliados na folha, colmo e grãos de milho submetidos à adubação de fontes alternativas de K e solúvel

| TRATAMENTOS | FOLHA | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | N (g kg ⁻¹) | P (g kg ⁻¹) | Mg (g kg ⁻¹) | Ca (g kg ⁻¹) |
| Cinza de madeira | 25,74 E | 3,31A | 1,75A | 1,84A |
| Pó de Rochas | 29,93 BC | 3,48A | 1,93A | 1,97A |
| Sulfato de Potássio | 31,50 B | 2,95A | 2,05A | 2,50A |
| Pó de Rochas + Cinza de madeira | 38,12 A | 3,06A | 2,14A | 1,73A |
| Sulfato de potássio + Cinza de madeira | 27,62 DE | 3,09A | 1,84A | 1,43A |
| Sulfato de potássio + Pó de Rochas | 29,43 CD | 2,86A | 1,87A | 1,70A |
| CV% | 2,89 | 20,26 | 19,47 | 26,92 |
| | COLMO | | | |
| Cinza de madeira | 13,25 B | 3,66A | 1,56A | 3,20A |
| Pó de Rochas | 11,73 C | 3,15A | 1,64A | 4,09A |
| Sulfato de Potássio | 13,40 B | 2,81A | 1,68A | 4,52A |
| Pó de Rochas + Cinza de madeira | 15,48 A | 3,18A | 1,91A | 3,77A |
| Sulfato de potássio + Cinza de madeira | 15,45 A | 3,17A | 1,92A | 3,53A |
| Sulfato de potássio + Pó de Rochas | 13,71 B | 3,08A | 1,87A | 4,17A |
| CV% | 1,82 | 15,91 | 10,74 | 45,83 |
| | GRÃO | | | |
| Cinza de madeira | 2,38 BC | 3,42 AB | 1,06A | 0,35A |
| Pó de Rochas | 2,15 C | 3,80 A | 1,21A | 0,34A |
| Sulfato de Potássio | 2,79 AB | 2,93 AB | 0,83A | 0,23A |
| Pó de Rochas + Cinza de madeira | 2,89 A | 2,61 B | 0,78A | 0,20A |
| Sulfato de potássio + Cinza de madeira | 2,70 AB | 3,11 AB | 0,99A | 0,26A |
| Sulfato de potássio + Pó de Rochas | 2,57 ABC | 2,77 AB | 0,82A | 0,18A |
| CV% | 8,44 | 14,60 | 22,77 | 35,37 |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

3.3. Teor de micronutrientes na folha, no colmo e nos grãos de milho

Os teores de molibdênio (Mo) e zinco (Zn) determinados nas folhas, nos colmos e nos grãos apresentaram diferenças entre as fontes alternativas de K estudadas (Tabela 4). O maior teor de Mo foi encontrado no tratamento que houve a combinação do sulfato de potássio com pó de rochas tanto para as folhas quanto para os grãos. Para os colmos das plantas de milho, o maior teor de Mo foi obtido no tratamento contendo de forma isolada o pó de rochas (Tabela 4). O maior teor de Zn obtido nas folhas foi no tratamento contendo cinza de madeira e pó de rochas, porém, não diferindo entre si. Por outro lado, nas folhas, o menor teor de Zn foi obtido tratamento contendo sulfato de potássio com cinza de madeira. Os teores de Zn quantificado no colmo e nos grãos apresentaram resultados semelhantes, sendo os maiores valores foram obtidos nos tratamentos contendo cinza de madeira, pó de rochas e sulfato de potássio.

Os teores de Mn das folhas e colmos foram influenciados positivamente pelos tratamentos estudados. Os maiores teores de Mn nas folhas foram obtidos nos tratamentos contendo cinza de madeira, na combinação do pó de rochas com cinza de madeira e sulfato de potássio com pó de rochas. Já para os grãos, o maior teor de Mn foi obtido no tratamento contendo somente cinza de madeira. Nas folhas foi obtido o menor teor de Mn, para o tratamento contendo de forma isolada o pó de rochas. Por outro lado, o teor de Mn nos grãos não foi alterado pelos tratamentos contendo fontes alternativas de K e solúvel.

Os tratamentos estudados não alteraram o teor de Fe no colmo das plantas de milho. Houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de Fe obtidos nas folhas e nos grãos de milho (Tabela 4). Os maiores valores dos teores de Fe nas folhas foram observados nos tratamentos com sulfato de potássio (K_2SO_4) atingindo $173,90 \text{ mg kg}^{-1}$. No colmo, o maior teor de Fe foi obtido nos contendo à aplicação de cinza de madeira bem como o sulfato de potássio com pó de rochas, porém, não diferindo entre si. O menor teor de Fe foi obtido no tratamento contendo sulfato de potássio com cinza de madeira tanto para as folhas quanto para os grãos (Tabela 4).

Os teores de Cu nos grãos de milho não sofreram alteração pelos tratamentos. Os maiores teores desse micronutriente foram encontrados nos tratamentos contendo pó de rochas com cinza de madeira, para as folhas, porém, não diferindo do pó de rocha, sulfato de potássio, e da forma combinada do sulfato de potássio com cinza de madeira e com pó de rochas. No colmo, o sulfato de potássio de forma isolado e da forma combinada do pó de rochas com cinza de madeira, porém, não diferindo entre si.

Tabela 4– Valores médios do teor de molibdênio (Mo), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe) e cobre (Cu) quantificados na folha, colmo e grãos de milho submetidos à adubação de fontes alternativas de K e solúvel.

| TRATAMENTOS | FOLHA | | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Mo (mg kg ⁻¹) | Mn (mg kg ⁻¹) | Zn (mg kg ⁻¹) | Fe (mg kg ⁻¹) | Cu (mg kg ⁻¹) |
| Cinza de madeira | 11,65 B | 16,07 A | 70,01 A | 101,74 C | 13,18 B |
| Pó de Rochas | 3,71 C | 7,51 D | 72,36 A | 114,83 B | 17,33 AB |
| Sulfato de Potássio | 2,15 DE | 9,73 C | 38,06 B | 173,90 A | 16,98 AB |
| Pó de Rochas + Cinza de madeira | 2,12 E | 16,47 A | 33,22 BC | 71,77 E | 18,44 A |
| Sulfato de potássio + Cinza de madeira | 3,33 CD | 12,51 B | 23,10 D | 65,48 F | 17,24 AB |
| Sulfato de potássio + Pó de Rochas | 14,51 A | 16,73 A | 32,21 C | 85,18 D | 16,50 AB |
| CV% | 8,26 | 2,93 | 4,87 | 2,25 | 11,65 |
| COLMO | | | | | |
| Cinza de madeira | 3,39 AB | 32,93A | 31,62 AB | 271,96A | 64,46 BC |
| Pó de Rocha | 6,80 A | 20,82 B | 38,47 A | 156,71A | 26,42 D |
| Sulfato de Potássio | 3,84 AB | 18,42 BC | 18,14 ABC | 185,13A | 70,02 AB |
| Pó de Rocha + Cinza de madeira | 1,99 B | 11,67 D | 10,18 C | 153,55A | 73,95 A |
| Sulfato de potássio + Cinza de madeira | 1,78 B | 12,64 D | 14,38 BC | 185,98A | 58,61 C |
| Sulfato de potássio + Pó de Rocha | 1,17 B | 16,03 C | 13,36 BC | 153,62A | 31,81 D |
| CV% | 44,89 | 6,58 | 43,20 | 36,50 | 9,19 |
| GRÃO | | | | | |
| Cinza de madeira | 3,24 ABC | 28,75 A | 19,10 AB | 49,01 A | 18,89A |
| Pó de Rocha | 2,99 BC | 28,04 A | 24,40 A | 36,23 B | 18,56A |
| Sulfato de Potássio | 3,65 AB | 32,39 A | 11,86 AB | 22,93 C | 18,71A |
| Pó de Rocha + Cinza de madeira | 2,47 C | 34,62 A | 6,85 B | 34,49 B | 19,99A |
| Sulfato de potássio + Cinza de madeira | 2,44 C | 32,30 A | 12,44 AB | 10,15 D | 19,70A |
| Sulfato de potássio + Pó de Rocha | 4,13 A | 36,17 A | 7,65 B | 47,05 A | 20,36A |
| CV% | 12,47 | 11,35 | 45,35 | 9,92 | 5,67 |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

3.4. Eficiências do K nas plantas de milho

Os tratamentos avaliados não afetaram a eficiência do uso do K (EUK) foliar (EUKF), do caule (EUKC) e do grão (EUKG) (Figura 2). A EUKF foi superior tanto em relação à EUKC quanto a EUKG.

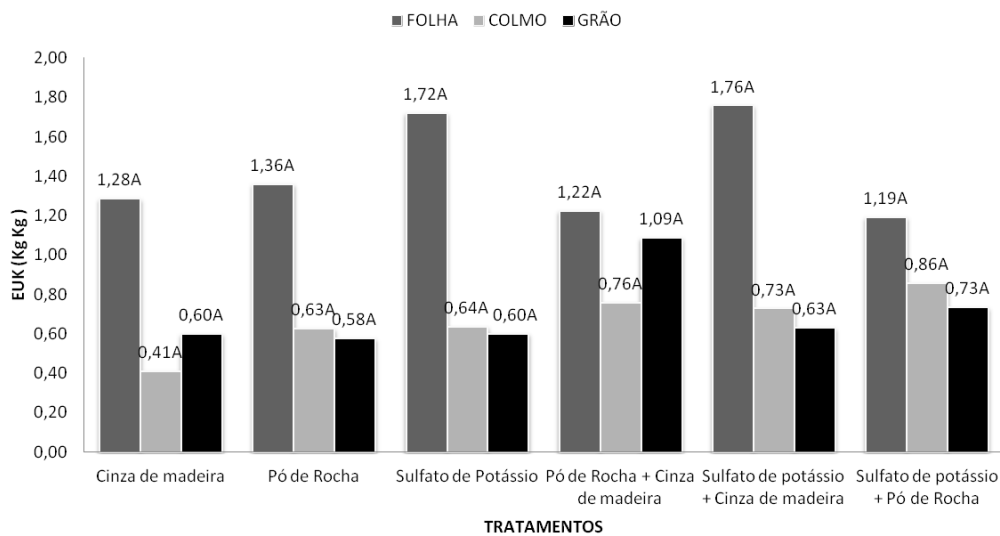


FIGURA 2 – Valores médios da eficiência de uso potássio (EUK, kg kg⁻¹) na folha, no colmo e nos grãos de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K e solúvel. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

A eficiência agrônômica (EA) e a fisiológica (EF) apresentaram diferença quando comparada com o sulfato de potássio. Dentre as fontes alternativas de K, o tratamento contendo pó de rochas de forma isolada apresentou a maior EA, atingindo 21,92 kg kg⁻¹ (Figura 3). O tratamento contendo pó de rochas foi o que apresentou a maior EF, atingindo 21,92 kg kg⁻¹ (Figura 3).

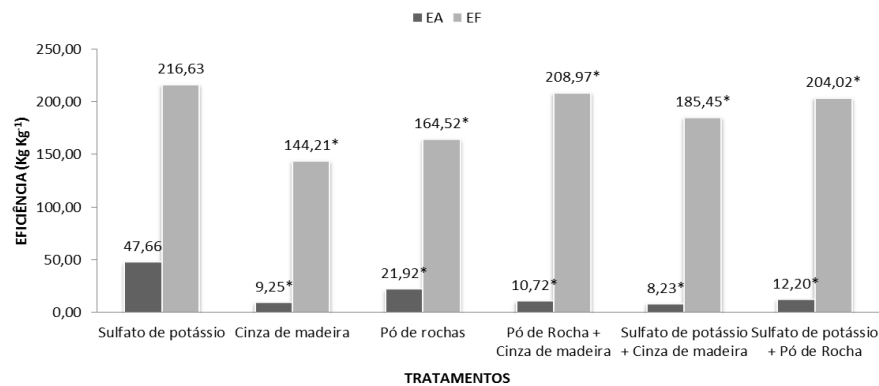


FIGURA 3 – Índices de eficiência agrônômica (EA, kg kg⁻¹) e fisiológica (EF, kg kg⁻¹) na planta de milho submetidas à adubação de fontes alternativas de K e solúvel.

Médias seguidas de asterisco diferem do sulfato de potássio (controle), ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

3.5. Acúmulo de K

O acúmulo de K na planta não apresentou diferença entre os tratamentos. O acúmulo de K nas plantas de milho diferiu entre os tratamentos avaliados. O maior acúmulo de K foi obtido no tratamento contendo somente cinza de madeira, porém, não diferindo dos tratamentos contendo pó de rochas e sulfato de potássio. Observa-se, ainda, na Tabela 5, que a maior quantidade de K foi armazenada no colmo das plantas de milho.

Tabela 5 – Valores médios do teor de K na planta (g kg⁻¹), acúmulo de K na planta (kg ha⁻¹) e os valores em porcentagem nas frações da planta de milho (folhas, colmos e grãos) submetidos à adubação de fontes alternativas de K e solúvel.

| Tratamento | Teor K na planta (g kg ⁻¹) | Acúmulo K na planta (kg ha ⁻¹) | % de K nas frações | | |
|--|--|--|--------------------|-------|-------|
| | | | Folha | Colmo | Grão |
| Cinza de madeira | 6,48A | 58,03A | 21,10 | 64,26 | 14,64 |
| Pó de Rocha | 5,44A | 44,55AB | 24,61 | 55,10 | 20,29 |
| Sulfato de Potássio | 5,54A | 43,28AB | 22,63 | 58,14 | 19,23 |
| Pó de Rocha + Cinza de madeira | 5,56A | 31,58B | 31,78 | 48,69 | 19,53 |
| Sulfato de potássio + Cinza de madeira | 4,96A | 34,45B | 22,53 | 54,94 | 22,54 |
| Sulfato de potássio + Pó de Rocha | 5,75A | 35,29B | 27,43 | 44,46 | 28,11 |
| CV% | 17,92 | 16,87 | | | |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

4. DISCUSSÃO

4.1. Produção de milho verde com uso de fontes alternativas de K para a agricultura orgânica

A produção da massa seca das folhas e dos colmos das plantas de milho podem ter tido interferência nos tratamentos devido à ocorrência de lixiviação de nutrientes, estresse hídrico e demais fatores abióticos e bióticos como chuva, ventos, insetos ou pequenos animais. Segundo Coelho et al., (1991) afirmaram que existem muitos fatores (luz, solo, nutrientes e água) que podem afetar na produção de biomassa nas plantas de milho.

As fontes alternativas de K, cinza de madeira e pó de rochas foram as que apresentaram os melhores resultados para a produção de biomassa. Quanto ao uso da cinza de madeira, Horta et al. (2010) mostraram que pode ocorrer maior produção de biomassa com aplicação de cinza atribuída à disponibilidade de K de forma mais facilmente absorvida pelas plantas.

Na afirmação de Martins et al. (2008), o uso de pó de rochas tende a otimizar o uso de nutrientes no solo, mesmo em lenta liberação mineral, o K pode ser de fácil mobilização e absorção, o que favorece o desenvolvimento inicial da cultura e mantém o fornecimento mineral por um período maior. Como o período de acúmulo de K como elemento de “arranque” acontece até o estágio de inflorescência (fase VT) da planta de milho, o pó de rochas poderá fornecer K de maneira gradativa (COELHO et al., 2011).

O comprimento das espigas (CE) consideradas comerciais obtido no presente experimento foram maiores que os encontrado por Venegas (2009), quando esse usou farinha de carne e ossos como fonte alternativa de K. Isso permite inferir que o uso de pó de rochas e cinza de madeiras poderá alcançar uma melhor produção quando usada como fontes alternativas. Os maiores resultados para CE no tratamento contendo pó de rochas provavelmente ocorreu devido à lenta liberação de nutrientes o que deve ter favorecido um suprimento contínuo de nutrientes durante todo período vegetativo, quando comparado com o tratamento contendo sulfato de K e cinza de madeira (ROBERTS, 2004).

A não variação para o diâmetro da espiga (DE) pode ter ocorrido devido os tratamentos possuírem nutrientes suficientes para o desenvolvimento completo da cultura de milho. Segundo Epstein e Bloom (2006), a planta pode ajustar seu crescimento em função da disponibilidade dos nutrientes no solo, fato que pode ter ocorrido neste estudo, onde as plantas de milho tiveram produtividades de espigas semelhantes entre os tratamentos.

Não havendo variação para produtividade de espigas, as fontes alternativas de K usadas, mostraram-se promissoras como fontes para substituição e complementação na adubação potássica para fins de produção comercial do milho verde na agricultura orgânica corroborando com os resultados obtidos por Nkana et al., 1998; Zimmermann e Frey, 2002; Theodoro e Leonardos, 2006; Knapik e Angelo, 2007.

4.2. Nutrição do milho com fontes alternativas de K

A variação significativa de nitrogênio nas frações da planta de milho avaliadas no experimento pode ter sido influenciada pela variação nos teores de K e na forma como o nutriente se encontra nas fontes utilizadas. Na afirmação de Stromberger et al. (1994), o K faz parte de processos bioquímicos que envolvem a assimilação do N na planta, sendo que, os teores de K trocáveis podem facilitar a absorção de N pelas raízes, já que o maior acúmulo de K acontece também nas raízes o que facilitaria a absorção do N (KARLEN et al., 1988). A absorção de K contribui para a extrusão de prótons que é fundamental no processo de absorção do NO_3^- via simporte (FERNANDES e SOUZA, 2006).

No trabalho de Moraghan e Mascagni Jr (1991) relataram que o N é o nutriente mais exigido pelas plantas, uma vez que esse elemento participa da composição de diversas biomoléculas, mas com os teores de K trocáveis não diferindo entre os tratamentos neste trabalho, a absorção de N estaria relacionada com a disponibilidade dos demais nutrientes avaliados nesse trabalho como o P, Mg, Ca, Mn, Cu, Fe e Zn. Os dados encontrados nesta pesquisa para macronutrientes corroboram as afirmações de Büll (1993), onde o uso de fontes alternativas para adubação potássica poderá haver variação nos teores de N extraído pela cultura do milho em função de diversos fatores como disponibilidade de água, luminosidade e temperatura.

No trabalho de Rabêlo et al. (2013) observou-se que as quantidades aplicadas de fertilizantes e a formas de aplicação de fontes de K não interferiram na nutrição e na produção de silagem de milho. Os dados encontrados para P, Mg, Ca nesta pesquisa, concordam com esta afirmação. Podendo as fontes alternativas fornecer os macronutrientes para a cultura do milho de forma semelhante as fontes solúveis.

Os teores de micronutrientes obtidos por Moraghan e Mascagni Jr (1991) esclareceram que processos químicos do solo podem favorecer a absorção desses elementos devido ao aumento da disponibilidade, mesmo que em teores considerados baixos. Em pesquisa realizada por Fernandes et al. (2013), os autores mostraram que devido aos teores de alguns

nutrientes nas cinzas e pó de rochas serem baixos e sua liberação no solo ser lenta, principalmente do pó de rochas, os teores de K nessas fontes poderá ser tornar mais acessíveis para absorção pelas plantas.

4.3. Eficiência de uso e acúmulo de K na cultura de milho adubada com fontes alternativas

Pesquisa realizada por Resende et al. (2005) descreveu que a reserva original de K nos solos, mesmo que baixa para avaliações agronômicas, pode ser suficiente para um primeiro cultivo agrícola, dando respostas visíveis quando adubado com fontes potássicas. Como as eficiências são dadas em relações de uso de nutrientes, pela relação entre produtividade e a quantidade disponível do elemento mineral, seja ele fornecido pelo próprio solo ou pela fertilização (HIREL et al., 2011).

Os dados encontrados para eficiência agronômica mostraram que as fontes alternativas de K apresentaram menor valor que a fonte solúvel, mas não diferiram estatisticamente entre si. Esse efeito é encontrado por Basso et al. (2013), quando os autores usaram vinhaça como fonte potássica alternativa, onde descrevem que esse efeito é ocasionado pela maior disponibilidade de K na fase inicial de desenvolvimento da planta. E, quando avaliada a eficiência fisiológica, os dados mostraram que não houve diferença entre os tratamentos avaliados. Esses dados possibilitam inferir que mesmo não sendo superior e não diferindo estatisticamente da fonte solúvel a cinza de madeira e pó de rochas como fontes alternativas de adubação potássica são promissoras para uso na agricultura orgânica. A afirmação quanto à viabilidade de uso de fontes alternativas na agricultura também é justificada segundo algumas pesquisas (BÜLL, 1993; STROMBERGER et al., 1994; MALAVOLTA, 1996; PAVINATO et al., 2008; FERNANDES et al., 2013).

A incorporação por misturas de restos culturais ou compostagem, a adubação concentrada em sulcos e a sua forma de manejo podem otimizar a absorção do K pela planta de milho e diminuir a perda por lixiviação (VILELA et al., 2002). Também na pesquisa de Costa et al. (2009), observou-se que em diversos sistemas de manejo quando os teores de K estão baixos, a planta de milho apresenta uma característica metabólica diferenciada tendo maior acúmulo de K, pois este nutriente serve como elemento de “arranque” da cultura (BRUNETTO et al., 2005). Essas ilações corroboram os dados encontrados neste trabalho, tendo nos tratamentos com fontes alternativas os maiores acúmulos, pois o K nestes compostos estaria de forma mais acessível para a planta durante um maior intervalo de tempo.

CONCLUSÃO

1. A utilização da cinza de madeira e pó de rochas como fontes alternativas de K, de forma conjunta ou isolada, pode substituir o sulfato de potássio como a fonte mineral solúvel, no sistema de produção orgânica da cultura de milho verde.

2. As fontes alternativas de K, cinza de madeira e o pó de rochas, fornecem nutrientes necessários para o desenvolvimento da cultura de milho verde, mostrando-se promissores para uso na agricultura orgânica como fonte de adubação potássica.

3. A eficiência agrônômica do K proveniente do tratamento contendo sulfato de potássio é superior a cinza de madeira e pó de rochas de forma isolada e combinada.

4. Diagnose nutricional com uso das fontes alternativas foi igual ao uso da fonte solúvel indicando que o uso dessas fontes podem ser viáveis para a cultura de milho verde orgânico.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA), pelo suporte financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. À empresa Alimentum Ltda, pela concessão da área para instalação e condução dos experimentos.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. U.; OLIVEIRA, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; GONÇALVES, E. P. Avaliação da produtividade e da qualidade de sementes de feijão-vagem, cultivado com matéria orgânica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p. 232-237, 1999.

BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P.; SOMAVILLA, L.; BRIGO, T. J. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.43, n. 4, p. 596-602, 2013

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; SANTOS, D. R.; SAGGIN, A., KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 561-571, 2005.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 301p. 1993.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 01, p. 17-24. 2007.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA, A. F. C.; GESEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio ¹⁵N em um latossolo vermelho escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 187-193, 1991.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M. H.. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1291-1301, 2009.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos / Humberto Gonçalves dos Santos ...** [et al.]. – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2013. 353 p.

EPSTEIN E; BLOOM A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ª ed. Londrina: Planta, 2006. p. 393.

FARIA, A.F., ÁLVAREZ, V.V.H., MATTIELLO, E.M., NEVES, J.L., DE BARROS, N.F.; DE PAIVA, H.N. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012.

FERNANDES, L. A., VALADARES, R. V., VALADARES, S. V., RAMOS, S. J., COSTA, C. A., SAMPAIO, R. A., MARTINS, E. R. Fontes de potássio na produtividade, nutrição mineral e bromatologia do maxixe do reino. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 607-612, 2013.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005.

FYFE, W.S; LEONARDOS, O.H; THEODORO, S.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p.715-720, 2006.

HARLEY, A.D.; GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 11-36. 2000.

HEINZ, R., DE SOUSA MOTA, L.H., GONÇALVES, M.C., NETO, A.L.V., CARLESSO, A. Seleção de progênies de meios-irmãos de milho para eficiência no uso de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 731-739, 2012.

HORTA C; LUPI S; ANJOS O; ALMEIDA J. Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Revista de Ciências Agrárias**, v.33, p147-159, 2010.

KARLEN, D.L., FLANNERY, R.A., SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v. 80, n. 2, p. 232-242. 1988.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres. 492 p. 1985.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres. 638p. 2006.

MALAVOLTA, E. **Nutri-fatos: Informação agronômica sobre nutrientes para as culturas**. Arquivo do Agrônomo. Piracicaba: Potafos, n.10, 13p. 1996.

MARTINS, É. S., OLIVEIRA, C. G., RESENDE, Á. V., MATOS, M. S. F. **Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura**. In: _____. Rochas e minerais industriais. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205 – 223.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 6 DE OUTUBRO DE 2011.

MARTINS, J. L. **Aproveitamento de cinza de carvão mineral na agricultura**. 2001. 141p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Anuário Estatístico**. Secretaria do Desenvolvimento da Produção - Brasília: SDP. p.66. 2012.

MORAGHAN, J. T.; MASCAGNI, J. R. H. J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.) **Micronutrients in Agriculture**. 2. ed. Madison: SSSA. p. 371-425. 1991.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1137-1145, 2010.

PAIVA JUNIOR M. C; PINHO R. G; PINHO E. V. R; RESENDE S. G. Desempenho de cultivares para a produção de milho verde em diferentes épocas e densidades de semeadura em Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, v. 25, p. 1235-1247, 2001.

PAVINATO, P. S. **Adubação em sistemas de culturas com milho em condições de sequeiro ou irrigado por aspersão**. 71p. 2004. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

RABÊLO, F. H. S., DE REZENDE, A. V., RABELO, C. H. S.; AMORIM, F. A. Características agrônômicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silagem. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 635-643. 2013.

RESENDE, A. V.; MACHADO, C. T. T.; MARTINS, E. S.; NASCIMENTO, M. T.; SOBRINHO, D. A. S.; FALEIRO, A. S. G.; LINHARES, N. W.; SOUZA, A. L.; CORAZZA, E. J. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I. Respostas da soja e do milheto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, **Anais**. Recife: UFRPE/SBCS. (CD-rom). 2005.

ROBERTS T. Reservas de minerais potássicos e a produção de fertilizantes potássicos do mundo. **Potafos: Informações agrônômicas**, v. 107, p. 2-3. 2004.

SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SILVA, S. M., OLIVEIRA, L. J. FARIA, F. P.; REIS, E. F. CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, S. M. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Ciência Rural**, 41:1931-1937. 2011.

SOARES, D. M; DEL PELOSO, M. J; KLUTHCOUSKI, J; GANDOLFI, L. C; FARIA, D. J. **Tecnologia para o sistema consórcio de milho verde com feijão no plantio de inverno. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 51p.** (EMBRAPA CNPAF. Boletim de Pesquisa, 10). 2000.

STROMBERGER, J. A.; TSAI, C. Y.; HUBER, D. M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 1, p. 19-37, 1994.

TEDESCO, M.J. **Extração simultânea de N, P, K, Ca e Mg em tecido de planta por digestão por $H_2O_2 - H_2SO_4$** . Porto Alegre UFRGS, 1995.

THEODORO, S.H; LEONARDOS, O.H. O uso de pedras para melhorar a agricultura familiar no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 721-730, 2006.

VENEGAS, F. Efeito de doses de farinha de carne e ossos como fonte de fósforo na produção de milho verde (*Zea mays* L.). *Ensaio e Ciência, Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v.23 (1), p. 63-76. 2009.

VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; SILVA, J.E. Adubação potássica. In; SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p. 169 – 183. 2002.

YAMADA, T., ROBERTS, T. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: **Potafós**. 2005.

CAPÍTULO III

EFICIÊNCIAS E PRODUTIVIDADE DO MILHO VERDE ADUBADO COM FONTES POTÁSSICAS ALTERNATIVAS NA AGRICULTURA ORGÂNICA

RESUMO

O potássio (K) é um dos nutrientes mais absorvido na fase inicial do desenvolvimento da planta e sua absorção pode favorecer a produtividade do milho. Fontes potássicas alternativas podem favorecer uma alta eficiência no uso de K, sendo estas fontes eficazes para reduzir custos de produção e minimizar a dependência de insumos agrícolas. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o uso de fontes potássicas alternativas para o fornecimento de K, identificando os índices de eficiência nutricional e de produtividades nesses compostos e a absorção e uso de K no manejo orgânico. Foi instalado um experimento no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos: cinza de madeira; sulfato de potássio (K_2SO_4); composto orgânico; K_2SO_4 + pó de rochas; pó de rochas+ cinza de madeira; pó de rochas. Aos 45 e 72 dias após a emergência (DAE) foram coletadas plantas representativas por parcela, para quantificar a produção de matéria seca, os componentes de produtividade e os índices de eficiência nutricional, produtivo e de uso do K. Em todas as frações da planta (folha, colmo, inflorescências e grãos), os tratamentos adubados com as fontes potássicas alternativas estudadas afetaram a massa seca das plantas e das espigas aumentando sua produtividade na parte aérea, assim como influenciam os teores de K presentes e a produtividade de espigas verdes. Os tratamentos apresentaram teores e acúmulo de K da planta de milho diferenciados. Os índices de eficiências do uso de K obtida nas duas épocas de coleta são influenciados pelos tratamentos contendo fontes alternativas de K e solúvel. É possível utilizar essas fontes alternativas de K em substituição às solúveis.

Termos para indexação: *Zea mays*, pó de rocha, cinza, produção orgânica, nutrientes.

ABSTRACT

The potassium (K) is a nutrient which is absorbed in the initial phase of plant development and its absorption influenced in corn productivity. Alternative sources of K may be responsible for high nutrient efficiency and reduce costs and minimizes the dependence of external inputs. This research aims to evaluate alternative sources of K and identify the nutrient use efficiency in nutrition and productivity. We setup a field experiment in completely randomized blocks with four repetitions and six treatments: wood ash (CZM), marble rock powder (PRM), potassium sulfate (SFP), organic compost, marble rock powder + wood ash (PRM+CZM), potassium sulfate + wood ash (SFP+CZ), potassium sulfate + marble rock powder (SFP+PRM). After 45 and 72 days after emergence (DAE) plants were sampled in each plot to quantify the dry biomass production, yield and nutrient use efficiency. In every plant fraction (leaf, stem, inflorescence and grains), the treatments with application of alternative sources of K affected the dry mass of plants and ear corn and also influenced the K-content and ear corn yield. The treatments affected the K-content in maize plant. The nutrient use efficiency of K in the both sampling times were influenced by the alternative sources. It's possible to adopt this alternative sources as substitution to the soluble potassium sulfate.

Index terms: *Zea mays*, rock dust, ash, organic produce nutrients.

1. INTRODUÇÃO

A produção de milho no sistema de manejo orgânico vem se expandindo quer seja para o consumo in natura como milho verde ou para o preparo de rações animais e outros alimentos para o consumo humano.

De acordo com Moura et al. (2010), a baixa fertilidade natural do solo é um dos principais fatores que afetam a produtividade do milho. Para que se produza de maneira satisfatória, o preparo da área com adubos que forneçam os nutrientes necessários para a planta é primordial. A cultura do milho é altamente exigente em nutrientes e entre eles o potássio, que é o elemento mineral mais absorvido em seu desenvolvimento inicial sendo, portanto, fornecido parte na adubação de plantio e parte em cobertura (ROBERTS, 2004; YAMADA e ROBERTS, 2005).

O parcelamento da adubação da cultura do milho evita o efeito salino na fase inicial de desenvolvimento da cultura e permite um suprimento de potássio para que possa se desenvolver sem comprometer a produção final, assim o período de maior exigência de K é na sua fase inicial, podendo acumular cerca de 40% de todo o K necessário para seu desenvolvimento nos primeiros 40 – 50 dias após a emergência (DAE) (KARLEN et al., 1988).

Um dos maiores gargalos para a produção orgânica do milho são os elevados custos das fontes de adubos potássicos, portanto fontes alternativas de K podem ser um recurso promissor na agricultura orgânica. Alguns autores descrevem que a cultura do milho poderá responder de forma satisfatória à adubação com fontes alternativas de potássio, quando substituindo ou complementando fertilizantes solúveis de acordo com os teores de nutrientes contidos (OLIVEIRA et al., 2006; HORTA et al., 2010).

Resíduos de marmorarias (pó de rochas) e cinza de madeiras são despejados no ambiente e podem causar contaminações ambientais. Como são resíduos de fontes naturais, estudos realizados com esses materiais mostraram que são promissores para o uso na agricultura como fontes alternativas de nutrientes e por apresentarem bons teores de K, ambos mostraram-se propícios para a complementação ou até mesmo a substituição de adubos potássios (HARLEY e GILKES, 2000; THEODORO e LEONARDOS, 2006).

Estudo sobre fontes alternativas de K são necessários para avaliar os riscos, assim como sugerir aplicações mais eficientes, principalmente, para o cultivo de milho em sistema orgânico de produção. Fontes alternativas de nutrientes podem auxiliar na manutenção das propriedades químicas e físicas aumentando sua fertilidade, também tendem a otimizar o uso

dos elementos essenciais para a planta e podem diminuir a escassez de K, reduzindo sua perda após a adubação (KIEHL, 1985).

Na literatura informações que relatam o uso de fontes alternativas de K sobre os parâmetros de crescimento, componentes de produção, teor de macronutrientes e micronutrientes e a eficiência do uso de potássio em plantas de milho cultivadas em sistema orgânico, são escassas. Diante do exposto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar os índices de eficiências quanto à nutrição e à produtividade do milho verde e seus componentes de produção, teores de NPK na planta bem como a eficiência do uso de potássio pelas plantas de milho submetidas à adubação com fontes alternativas de K, em sistema orgânico.

]

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização, preparo da área e instalação do experimento

O experimento foi desenvolvido na área agrícola da empresa Alimentum Ltda, sediada na zona rural de São Luís/MA, durante os meses de março a junho de 2013. As coordenadas geográficas da área experimental são 2° 37'39,69" Latitude Sul e 44° 11' 15,7" Longitude. O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com uma estação chuvosa que se estende de janeiro a junho e outra estação seca, com déficit hídrico acentuado entre os meses de julho a dezembro.

A precipitação foi 244,15 mm durante todo o período experimental e mais de 60% ocorreu no mês de março, portanto, não houve necessidade de irrigação complementar. As temperaturas médias mínimas e máximas foram 24,55 °C e 29,65 °C, respectivamente.

O solo da área experimental foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2013) com as seguintes características: 18 dag kg⁻¹ de areia grossa; 65 dag kg⁻¹ de areia fina; 7 dag kg⁻¹ de silte e 10 dag kg⁻¹ de argila; e 4,8 de pH em CaCl₂; 139,0 mg dm⁻³ de P; 0,93 mmol_cdm⁻³ de K; 13,0 mmol_cdm⁻³ de Ca; 3,0 mmol_cdm⁻³ de Mg; 21,0 mmol_c dm⁻³ de acidez potencial (H⁺+Al³⁺); 1,0 mmol_cdm⁻³ de Na; 0,0 mmol_cdm⁻³ de Al; 1,64 dag kg⁻¹ de carbono orgânico; 20,10 mmol_c dm⁻³ de CTCe; 42,7 mmol_c dm⁻³ de CTCp e 46,0 % de saturação por base.

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos: 3,5 t ha⁻¹ de cinza de madeira; 7 t ha⁻¹ de pó de rochas; 160 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio (K₂SO₄); 10 t ha⁻¹ composto orgânico; 80 kg ha⁻¹ de K₂SO₄ + 3,5 t ha⁻¹ de pó de rochas; 3,5 t ha⁻¹ de pó de rochas + 1,25 t ha⁻¹ de cinza de madeira. A adubação foi feita de modo a atingir 80 kg ha⁻¹ de K₂O segundo recomendações de Coelho (2005). O tratamento adubado com composto orgânico foi considerado como controle.

O pó de rochas usado no experimento é originário dos cortes de rochas ornamentais em marmorarias, e as cinzas de madeiras procedem de fornos que usam madeira como combustível para aquecimento em diversos lugares do município de São Luís. As características químicas dessas fontes alternativas estão apresentadas na Tabela 1.

Para a instalação do experimento, oito dias antecedendo a semeadura do milho foi realizado a capina, limpeza da área e abertura dos sulcos em linhas de 5 metros com aproximadamente 10 cm de profundidade. Foi aplicado 1 kg m⁻¹ de orgânico produzido com

esterco bovino, podas de árvores e cama de aviário (Tabela 1), produzido na propriedade como adubação básica.

Durante todo o experimento não houve a necessidade de irrigação complementar devido ao período experimental ser chuvoso. E as precipitações foram suficientes para a manutenção do trabalho.

Tabela 1 – Caracterização química das fontes alternativas de potássio utilizadas no experimento.

| Material | P | K | N | Ca | Mg | Mn | Cu | Fe | Zn |
|-------------------|-------------------------------|-------|-------|------|------|---------------------------------|------|------|-------|
| | -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | -----dag kg ⁻¹ ----- | | | |
| Pó de rochas | 0,47 | 10,03 | 0,74 | 3,75 | 0,98 | 0,9 | 0,79 | 2,01 | 20,19 |
| Cinza de madeiras | --- | 22,11 | 22,82 | 4,55 | --- | 0,25 | 8,45 | 6,47 | 77,0 |
| Composto orgânico | --- | 17,3 | 16,5 | 4,72 | --- | 0,37 | 0,55 | 3,50 | 0,37 |

Não houve valores de P e Mg para cinza de madeira e pó de rocha devido a não leitura durante a análise química.

Cada parcela experimental de 4,0 x 5,0 m foi constituída de 80 plantas em quatro fileiras, espaçadas de 1 m entre si e 0,25 m entre plantas. Em cada parcela, as duas fileiras laterais e 0,50 m de cada extremidade das duas fileiras centrais serviram como bordadura. Foram utilizadas 32 plantas úteis nas duas fileiras centrais. A área total utilizada para a instalação do experimento foi 480 m².

No sétimo dia posterior ao preparo inicial da área foi realizada a aplicação dos tratamentos. E, após 24 horas semeou-se o milho híbrido ‘AG 1051’ com três sementes por cova, de forma manual e com auxílio de enxada, na profundidade média de 5 cm. Aos 15 dias após a semeadura (DAS) do experimento foi observado à germinação das sementes e efetuado os tratos culturais (capinas) de acordo com as normativas preconizadas para o sistema orgânico (INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 6 DE OUTUBRO DE 2011). Foi feito o desbaste para a densidade equivalente a 40.000 plantas ha⁻¹.

2.2. Coleta de plantas úteis para amostragem, avaliação agrônômica e nutricional

As plantas foram coletadas em duas épocas de desenvolvimento da cultura do milho, a primeira coleta de plantas foi realizada no período da antese (fase VT) e, a segunda coleta, quando a planta de milho atingiu o estágio de grão leitoso (R3).

Por ocasião do florescimento, no período de antese (VT), foram retiradas três plantas por parcela a 5 cm da superfície do solo de modo manual, dividindo-as em três frações: folhas, colmo e inflorescências. O material foi posto para secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C durante 5 dias; as folhas, os colmos e as inflorescências foram moídas em moinho tipo Wiley, homogeneizadas para retirada de subamostras para determinação do teor de N total, segundo o método descrito em Kjeldahl (Malavolta et al., 1997) e os teores de P, K, Ca, Mg segundo o método descrito por Tedesco et al. (1995).

Antes da realização da segunda colheita, avaliaram-se, em três plantas por parcela, as seguintes variáveis: altura de planta (medida do nível do solo até a inserção da última folha) e diâmetro de colmo (medida acima do nível do solo no segundo nó do colmo).

Aos 72 dias após a emergência (DAE) foi realizada a segunda coleta de plantas de milho quando estas atingiram o estágio de grão leitoso (R3 – mais de 50% das espigas atingiram o estágio de grão leitoso e com cerca de 70 a 80% de umidade), sendo coletadas três plantas representativas por parcela, manualmente, a 5 cm da superfície do solo, sendo estas plantas divididas em três partes: as folhas, os colmos e as espigas. As folhas e colmos foram trituradas e acondicionadas em sacos de papel devidamente etiquetados.

Esse material também foi posto para secar em estufa de circulação forçada a 70 °C durante 5 dias, logo após esse período foram moídas em moinho tipo Wiley, homogeneizadas e retirada subamostras que serviram para determinar o teor de N total, segundo o método descrito em Kjeldahl (Malavolta et al., 1997) e os teores de P, K, Ca, Mg segundo o método descrito por Tedesco et al. (1995). As espigas foram postas para secar ao sol durante 3 dias e após secas foram debulhadas manualmente e os grãos foram triturados em moinho tipo Wiley para aquisição de amostras para análise nutricional dos grãos.

2.3. Análise de produtividade de espigas verdes

Com as espigas verdes foram obtidas a produção comercial pela pesagem sem palha (g), considerando as espigas comerciais despalhadas aquelas com comprimento superior a 15

cm e diâmetro superior a 4 cm, granadas, isentas de insetos-praga e doenças, conforme descrição de Paiva Júnior et al. (2001).

Foi avaliado também o comprimento médio de espiga sem palha com o uso de régua graduada em centímetros. O diâmetro médio das espigas, em milímetros, foi obtido com o uso de paquímetro digital. Posteriormente, as espigas foram postas para secar ao sol por 3 dias quando, então, foram manualmente debulhadas.

2.4. Quantificação dos teores de nutrientes

Nas duas fases de coleta (VT e R3) das plantas de milho, as partes (folhas, colmos, inflorescência e grãos) foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C por 5 dias. Após a secagem, as folhas, as inflorescências e os colmos foram pesados em balança eletrônica com precisão de 0,001 g e os resultados expressos em g por planta.

Após a pesagem, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley. Uma subamostra de 0,2 g do material moído foi submetida à digestão sulfúrica para a quantificação do teor de N total (g kg^{-1}). O teor de N total foi quantificado pelo método de Kjeldahl e determinado por titulação com H_2SO_4 a 0,05N. Outra subamostra de 0,2 g da matéria seca das frações da planta de milho foi submetida à digestão nítrico-perclórica para determinação dos teores de nutrientes por Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) Varian Modelo 720ES.

2.5. Eficiências nutricionais e produtividade

Os valores de acúmulo de K foram obtidos por meio do produto entre o teor de K em cada parte da planta e a produção de massa seca (MS). Com os dados de matéria seca e acúmulo de K, foram calculados os índices conforme melhor se ajustassem às metodologias descritas por Fageria (1998), Moll et al. (1982) e Barbieri et al. (2008): eficiência agrônômica, eficiência fisiológica, eficiência de produção, eficiência de recuperação e eficiência de utilização.

A eficiência de uso ou eficiência agrônômica ($\text{EA} - \text{kg kg}^{-1}$) foi calculada como a relação entre produção de espiga (PES) e a quantidade de potássio aplicado no solo (K_{as}). A eficiência fisiológica ($\text{EF} - \text{kg kg}^{-1}$) foi calculada como a relação entre produção de matéria seca (MS) e o acúmulo de K na planta.

A eficiência de recuperação ($ER - \text{kg kg}^{-1}$) foi calculada como a relação entre o acúmulo de K e K_{as} . K total na MS da parte aérea foi considerada como K absorvido usado no cálculo de ER. A eficiência de produção de grãos ($EG - \text{kg kg}^{-1}$) foi calculada com a relação entre a produção de espigas por unidade de acúmulo de K na planta (kg kg^{-1}). E a eficiência de utilização de K (EU), foi calculada pela relação da eficiência fisiológica e a eficiência da recuperação e o resultado expresso em kg kg^{-1} . Também foi calculada a eficiência de remobilização (EW) pela subtração da eficiência fisiológica no estágio R3 pela eficiência fisiológica do estágio VT, e expressa em kg kg^{-1} .

Outras variáveis calculadas foram o rendimento de produção de grãos (REP – 0% de umidade) por unidade de K nos colmos, nas folhas, nas florescências e nos grãos (kg kg^{-1}) e K nas frações da planta de milho por unidade de K_{as} (kg kg^{-1}).

2.6. Análise estatística

As variáveis avaliadas foram testadas a normalidade dos resíduos ou erro experimental pelo teste de Lilliefors e a homocedasticidade de variâncias pelo teste de Cochran e Bartlett, ao nível de até 10% de probabilidade. Todas as variáveis avaliadas apresentaram normalidade e homocedasticidade de variância, não houve a necessidade de transformação dos dados.

Em seguida, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. O software estatístico utilizado para a execução das análises estatísticas foi o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG versão 9.1).

3. RESULTADOS

3.1. Avaliações da produtividade do milho

Os tratamentos avaliados diferiram quanto ao peso de matéria seca da parte aérea em ambas as fases de desenvolvimento e a produtividade (Tabela 2). Na fase de antese (VT), a massa de matéria seca das frações da planta diferiu entre os tratamentos, com os maiores valores de biomassa o tratamento com pó de rochas (PR), sulfato de potássio com pó de rochas (K_2SO_4 + PR) e cinza de madeira (CZ) para folhas, colmos e inflorescências respectivamente. Na fase de R3, a biomassa seca das folhas, colmos e grãos diferiram entre os tratamentos com os maiores valores para cinza de madeira (CZ) e sulfato de potássio (K_2SO_4) para as folhas e colmos, e sulfato de potássio com pó de rochas (K_2SO_4 + PR) para os grãos.

Tabela 2 – Valores médios das massas secas e produção do milho submetido à adubação de fontes alternativas de K e solúvel.

| Tratamentos | VARIÁVEIS AVALIADAS | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|-----------------------|--------|
| | FASE ANTESE ou VT | | | FASE R3 | | | PRODUTIVIDADE | | |
| | MSF | MSC | MSI | MSF | MSC | MSG | DM | CE | PROD |
| -----g Kg ⁻¹ ----- | | | | | | (mm) | (cm) | (t ha ⁻¹) | |
| CZ | 116.40B | 337.18D | 85.53A | 112.99A | 287.69A | 349.51B | 4,23A | 21,74A | 10,36C |
| K_2SO_4 | 94.52D | 321.50E | 64.12B | 106.25A | 263.19A | 315.82C | 3,75A | 21,66A | 9,80D |
| CO | 109.04C | 365.61C | 58.52B | 83.53B | 244.98A | 304.17C | 4,00A | 21,56A | 9,37E |
| K_2SO_4 + PR | 119.70B | 425.12A | 71.99AB | 90.04B | 185.31B | 377.85A | 4,13A | 21,51A | 11,78A |
| PR+ CZ | 93.90D | 239.06F | 36.14C | 85.67B | 245.06A | 313.87C | 4,13A | 21,08A | 9,40E |
| PR | 129.14A | 405.56B | 73.40AB | 85.62B | 179.89B | 341.57B | 3,30A | 21,00A | 10,73B |
| CV% | 1,76 | 0,83 | 11,02 | 3,67 | 8,94 | 1,91 | 10,86 | 4,31 | 1,16 |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. VT: estágio de desenvolvimento de inflorescências; R3: estágio de grão leitoso; Variáveis - MSF: massa seca da folha; MSC: massa seca do colmo; MSI: massa seca da inflorescência; MSG: massa seca do grão; DM: diâmetro; CES: comprimento da espiga; PROD: produção de espigas. Tratamentos – CZ: cinza de madeira; K_2SO_4 : sulfato de potássio; CO: composto orgânico; PR: pó de rochas.

Não houve diferenças para o diâmetro de espiga (DM) e no tamanho da espiga produzida (CE) entre os tratamentos. A produção de espiga comercial (PROD) diferiu entre os tratamentos de maneira significativa, a maior produção foi observada no tratamento com sulfato de potássio e pó de rochas ($K_2SO_4 + PR$). A PROD seguiu uma ordem decrescente segundo os tratamentos na forma: $K_2SO_4 + PR > PR > CZ > K_2SO_4 > PR + CZ > CO$ (Tabela 2).

3.2. Teores de N, P, K e acúmulo de K no milho orgânico adubado com fontes alternativas

Os teores de N presentes nas folhas em ambos os períodos não diferiram significativamente assim como o teor de N na inflorescência. Os colmos avaliados na antese (VT) e no grão leitoso (R3), para o teor de N diferiram estatisticamente entre os tratamentos e em ambos os períodos avaliados apresentaram os melhores teores no tratamento sulfato de potássio com pó de rochas ($K_2SO_4 + PR$). Para o teor de N nos grãos houve diferenças para os tratamentos contendo o sulfato de potássio com pó de rochas ($K_2SO_4 + PR$) os melhores valores para N (Tabela 3).

Os tratamentos proporcionaram diferenças nos teores de P para todas as partes da planta de milho analisadas e nos dois períodos avaliados. Os tratamentos com as fontes de adubação em combinação ou isoladas apresentaram os melhores índices (Tabela 3).

Os teores de K nas partes das plantas de milho nas fases VT e R3 apresentaram diferenças entre os tratamentos contendo fontes alternativas de K (Tabela 3). O K nas folhas no período VT, adubados com cinza de madeira (CZ), sulfato de potássio (K_2SO_4) e sulfato de potássio com pó de rochas ($K_2SO_4 + PR$) apresentaram maiores teores e para o mesmo período os colmos e inflorescências obtiveram teores mais elevados no tratamento sulfato de potássio (K_2SO_4). Para o período de R3, as folhas e colmos do tratamento com sulfato de potássio e pó de rochas ($K_2SO_4 + PR$) apresentaram teores mais elevados. Os grãos produzidos com as fontes alternativas apresentaram maiores teores e não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3 – Teor médio de macronutrientes avaliados na folha, colmo, inflorescências e grãos de milho nas épocas de avaliação submetidos à adubação potássica com fontes alternativas e solúvel

| Tratamentos | ANTESE (VT) | | | GRÃO LEITOSO (R3) | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------|----------|-------------------------------|--------|---------|
| | FOLHA | | | FOLHA | | |
| | N | P | K | N | P | K |
| | -----g kg ⁻¹ ----- | | | -----g kg ⁻¹ ----- | | |
| CZ | 28,14A | 4.58C | 12.58AB | 26,97A | 2.59C | 9.22E |
| K ₂ SO ₄ | 29,44A | 4.70C | 12.97A | 28,12A | 3.48AB | 9.78D |
| CO | 29,94A | 4.61C | 11.94ABC | 24,69A | 2.36C | 11.63B |
| K ₂ SO ₄ + PR | 29,79A | 5.50BC | 12.47AB | 25,76A | 2.87BC | 12.56A |
| PR+ CZ | 27,69A | 6.30AB | 11.69BC | 25,63A | 3.57A | 11.42BC |
| PR | 29,10A | 7.17A | 11.26C | 26,93A | 3.75A | 11.17C |
| CV% | 9,71 | 12,19 | 3,79 | 11,98 | 9,11 | 1,06 |
| | COLMO | | | COLMO | | |
| CZ | 10.98C | 5.75C | 11.80B | 9.21B | 7.50A | 9.66C |
| K ₂ SO ₄ | 8.54D | 6.23BC | 14.14A | 7.54C | 6.84A | 9.67C |
| CO | 8.14D | 7.96A | 13.73A | 9.10B | 7.28A | 10.77B |
| K ₂ SO ₄ + PR | 18.80A | 8.56A | 12.57B | 17.68A | 7.84A | 10.86AB |
| PR+ CZ | 8.55D | 7.38AB | 12.48B | 5.35D | 7.05A | 11.19A |
| PR | 13.66B | 7.97A | 10.40C | 5.96D | 4.84B | 10.64B |
| CV% | 8,91 | 8,32 | 3,21 | 6,13 | 7,31 | 1,52 |
| | FLORESCÊNCIA | | | GRÃOS | | |
| CZ | 25,88A | 6.61C | 6.46D | 7.95BC | 4.68D | 6.45C |
| K ₂ SO ₄ | 24,01A | 8.91A | 10.85A | 7.16C | 5.68BC | 9.66A |
| CO | 29,58A | 7.47BC | 8.88C | 9.30AB | 5.08CD | 6.67C |
| K ₂ SO ₄ + PR | 28,87A | 9.14A | 9.43B | 9.65A | 5.53C | 8.25B |
| PR+ CZ | 26,70A | 7.18BC | 8.68C | 8.99AB | 7.26A | 9.62A |
| PR | 27,11A | 8.05AB | 9.44B | 8.57ABC | 6.28B | 9.62A |
| CV% | 12,07 | 6,96 | 2,23 | 8,44 | 5,47 | 2,72 |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. K₂SO₄ – sulfato de potássio. N:nitrogênio; P: fósforo; K: potássio. Tratamentos – CZ: cinza de madeira; K₂SO₄: sulfato de potássio; CO: composto orgânico; PR: pó de rochas.

Para os teores de K na planta o tratamento com sulfato de potássio (K₂SO₄), foi o que apresentou maior resultado seguido do controle para o período VT. Mas o teor total de K para os mesmos tratamentos no período R3 apresentou queda de 25,01% para o K₂SO₄ e de 26,48% para o composto, tendo o maior teor na planta nesse período nos tratamentos combinados de pó de rochas com cinza de madeira e aquele com pó de rocha (Tabela 4). O acúmulo de K nas fases de desenvolvimento do milho também diferiu nos tratamentos. Na fase de VT os maiores valores de acúmulo foram obtidos nos tratamentos adubados com a

combinação de pó de rochas e cinza de madeira e no tratamento adubado somente com pó de rochas (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores médios do teor total da parte aérea de K na planta, acúmulo total de K na planta e os valores em porcentagem de K nas frações da planta de milho (folhas, colmos e grãos) submetidos à adubação de fontes alternativas de K e solúvel

| Tratamentos | TK _a -----g kg ⁻¹ ----- | TK _{R3} | AC _a -----kg ha ⁻¹ ----- | AC _{R3} | % de K nas frações | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------|---|------------------|--------------------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| | | | | | VT | | | R3 | | |
| | | | | | Colmo | Folha | Inflorescência | Colmo | Folha | Grão |
| CZ | 10,01D | 8,10D | 71,22AB | 92,62A | 44,72 | 22,76 | 32,51 | 42,07 | 33,08 | 24,85 |
| K ₂ SO ₄ | 12,91A | 9,68B | 47,16C | 70,77B | 39,84 | 29,97 | 30,19 | 43,51 | 28,36 | 28,13 |
| CO | 12,12B | 8,91C | 53,64C | 70,99B | 37,88 | 25,69 | 36,44 | 42,16 | 30,69 | 27,16 |
| K ₂ SO ₄ + PR | 11,66BC | 9,58B | 65,24B | 68,16B | 36,76 | 27,13 | 36,11 | 41,06 | 32,38 | 26,57 |
| PR+ CZ | 11,37C | 10,46A | 38,83A | 61,63C | 29,82 | 27,27 | 42,91 | 41,79 | 31,29 | 26,92 |
| PR | 10,27D | 10,14A | 73,52A | 59,90C | 36,32 | 27,67 | 36,01 | 33,30 | 37,83 | 28,87 |
| CV% | 2,09 | 1,67 | 5,70 | 3,88 | | | | | | |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. VT: estágio de inflorescência; R3: estágio de grão leitoso. TK_a – teor de K na fase de VT; TK_{R3} – teor de K na fase R3; AC_a – acúmulo de K na fase VT; AC_{R3} – acúmulo de K na fase R3.

3.3. Índices de Eficiências nos tratamentos com adubação alternativa

Os índices de eficiências dos tratamentos com adubação potássica do milho foram calculados com o intuito de identificar os processos que podem ser representativos na aquisição e distribuição do potássio a partir da adubação com o uso de fontes alternativas. Nas avaliações dos índices de eficiências os tratamentos diferiram estatisticamente entre si (Tabela 5).

A eficiência agrônômica (EA), que é a relação entre a produção de matéria seca obtida por unidade de nutriente aplicado, mostrou que os tratamentos nas duas épocas (EA_a – eficiência agrônômica na antese (fase VT) e EA_{R3} – eficiência agrônômica na fase de grão leitoso) diferiram entre si: a maior EA_a para o tratamento com sulfato de potássio e pó de rochas (K₂SO₄ + Pó de rochas), e as maior EA_{R3} para o tratamento com cinza de madeira (Tabela 5).

O índice de eficiência fisiológica (EF), que representa a produção de biomassa obtida por unidade de nutriente na planta, evidenciou a diferença entre os tratamentos nas duas épocas de análise (EF_a – eficiência fisiológica na antese (VT) e EF_{R3} – eficiência fisiológica

na fase de grão leitoso). A E_FA foi maior no tratamento com pó de rochas e a E_FR₃ teve o melhor índice no tratamento adubado com cinza de madeira (Tabela 5).

O índice de eficiência de recuperação (ER), estimado pelo razão entre o acúmulo de K e a quantidade de K aplicada, diferiu nos tratamentos nos dois períodos de avaliação (E_RA – eficiência recuperação na antese (VT) e E_RR₃ – eficiência recuperação na fase de grão leitoso). Para E_RA o maior índice foi observado no tratamento adubado com pó de rochas e para a E_RR₃ no tratamento com cinza de madeira (Tabela 5).

Por meio da eficiência na produção de grãos (EG), que é a produção de grãos obtida por unidade de nutriente acumulado, verificou-se que os tratamentos diferiram entre si com um melhor desempenho na produção média de espigas no tratamento adubado com pó de rochas, indicando um metabolismo mais eficiente na assimilação e conversão do K para os grãos (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios das eficiências agrônômicas e fisiológicas do K nos tratamentos submetidos as fontes alternativas de K, na antese e grão leitoso.

| TRATAMENTOS | ANTESE (VT) | | | | GRÃO LEITOSO (R3) | | | | COMPONENTES DE PRODUÇÃO | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------|
| | E _A A | E _F A | E _R A | E _U A | E _A R ₃ | E _F R ₃ | E _R R ₃ | E _U R ₃ | EG | EW |
| CZ | 8,88B | 71,22AB | 0,84B | 64,07A | 9,38A | 92,62A | 1,16A | 107,24A | 50,32D | 21,40A |
| K ₂ SO ₄ | 7,61C | 47,16C | 0,59E | 27,83BC | 8,57B | 71,02BC | 0,89B | 62,62BC | 59,51C | 23,62A |
| CO | 8,12C | 53,64C | 0,67D | 35,98B | 7,91BC | 72,24B | 0,89B | 65,59B | 57,21CD | 17,35A |
| K ₂ SO ₄ + PR | 9,51A | 65,24B | 0,81C | 53,21A | 8,17BC | 68,91C | 0,85B | 65,59B | 73,94AB | 12,92B |
| PR+ CZ | 5,51D | 38,83D | 0,58E | 18,85C | 8,06BC | 63,38D | 0,87B | 57,80C | 67,76B | 22,81A |
| PR | 9,44AB | 73,52A | 0,92 A | 67,58A | 7,59C | 60,90D | 0,85B | 44,86D | 76,03A | ----- |
| CV% | 3,33 | 5,70 | 1,44 | 14,09 | 4,04 | 1,57 | 2,02 | 3,32 | 5,06 | 29,04 |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. K₂SO₄: sulfato de potássio; a. Fase de desenvolvimento de antese, estágio de inflorescências (VT); R3. Fase de desenvolvimento de grão leitoso, estágio R3. EA: eficiência agrônômica; EF: eficiência fisiológica; ER: eficiência de recuperação; EG: eficiência de produção de grãos; EU: eficiência de utilização; EW: eficiência de remobilização. Tratamentos – CZ: cinza de madeira; K₂SO₄: sulfato de potássio; CO: composto orgânico; PR: pó de rochas.

Para a eficiência de utilização de K (EUK), que corresponde ao produto da eficiência fisiológica pela eficiência da recuperação, os tratamentos diferiram quanto aos índices avaliados nas duas épocas (E_UA – eficiência utilização na antese (VT) e E_UR₃ – eficiência utilização na fase de grão leitoso). Os tratamento adubados com as fontes alternativas cinza de madeira e pó de rochas obtiveram os melhores índices de E_UA e o tratamento com cinza de madeira foi o que apresentou uma melhor E_UR₃ (Tabela 5).

Quando avaliada a eficiência de remobilização (EW), que é a relação de uso na EF_{R3} menos a EF_a , somente o tratamento com sulfato de potássio e pó de rochas ($K_2SO_4 + PR$) foi diferente dos demais tratamentos com a menor eficiência na remobilização de K na planta (Tabela 5).

4. DISCUSSÃO

4.1. Produção agrônômica do milho adubado com fontes alternativas de K

A produção de biomassa apresentou altos níveis para todos os tratamentos avaliados. Pires et al. (2003) observaram que quando a concentração de nutrientes é maior na camada superficial dos solos, entre 0 e 10 cm de profundidade de acordo com a adubação realizada, associada a uma fonte hídrica regular poderá ocorrer a máxima de produtividade da cultura. É provável que as plantas adubadas com pó de rochas, sulfato de potássio com pó de rochas e cinza de madeira tenham tido maiores disponibilidades de K no solo que se traduziram em maiores produções de matéria seca de folhas, colmos, inflorescências e grãos.

A disponibilidade de K como elemento de “arranque” pode ter sido alta mesmo que a fonte usada apresente lenta liberação de nutrientes, como o pó de rochas, já que o K é um elemento de fácil mobilização (HARLEY e GILKES, 2000; COELHO et al., 2011)). Essas afirmações podem explicar a produção acentuada de biomassa (folhas e colmo de milho na fase VT) dos tratamentos contendo pó de rochas.

A cinza de madeira possui altos teores de K, que é o elemento químico mais exigido pela planta na sua fase inicial de desenvolvimento (RAIJ, 1991; FARIA et al., 2012), durante a fase VT, a inflorescência produziu uma maior quantidade de matéria seca na parte aérea para todos os tratamentos. Para Prado et al. (2002), a disponibilidade de K e dos demais nutrientes contidos na cinza de madeira, favorecem maior rendimento de biomassa que reflete um bom desenvolvimento da planta e uma inflorescência mais eficiente para reprodução. Essas fontes alternativas associadas ao sulfato de potássio, que é uma fonte solúvel de K, forneceu uma quantidade de K suficiente para a planta alcançar maior velocidade de influxo líquido de potássio.

Na fase de grão leitoso (R3) houve diferenças quanto ao uso de fontes potássicas alternativas na produção de biomassa. Essa diferença pode ter ocorrido devido ao fornecimento inicial de K ter sido insuficiente e os teores de K no solo estarem baixos (ALVAREZ et al., 1999). Os valores diferiram entre si de maneira que a cinza de madeira e o sulfato de potássio foram os que produziram maior biomassa aérea (folha e colmo e grãos), já que o K nessas fontes possivelmente estava em maior disponibilidade comparada aos demais tratamentos.

A ausência de variação estatística para os parâmetros relacionados à produtividade: o diâmetro e comprimento de espigas pode ter ocorrido pela alta eficiência do híbrido utilizado neste experimento (AG 1051). No trabalho desenvolvido por Albuquerque et al. (2008) esse híbrido AG 1051 apresentou um metabolismo eficiente e uma boa assimilação e conversão de nutrientes. No entanto a produção de espigas por hectare foi superior no tratamento com sulfato de potássio e pó de rochas.

4.2. Teores de K na planta de milho adubada com fontes alternativas

Segundo Brunetto et al. (2005), a resposta à adubação potássica do milho pode ocorrer, principalmente em sua fase germinativa, de acordo com quantidade de K aplicado ao solo. A insuficiência no fornecimento de K_2O na fase inicial de desenvolvimento pode ocasionar perdas na produção final (ROSSATO, 2004). Como a aplicação de adubos potássicos foi realizado a fim de fornecer K_2O a mesma dosagem nos tratamentos e considerando a baixa fertilidade natural do solo, os teores de K encontrados nas frações da planta de milho foram diferentes entre os tratamentos.

Os teores de K nas folhas, nos colmos e nas inflorescências na fase de VT foram maiores nos tratamentos adubados com sulfato de potássio, evidenciando que o fornecimento de K na fase inicial de desenvolvimento resulta em uma maior absorção desse nutriente, corroborando com a afirmação de Melo et al. (2004), que aponta a necessidade de uma adubação potássica eficiente no fornecimento de K_2O disponível para absorção.

No estágio R3, os teores de K nas folhas, nos colmos e nos grão apresentarem diferenças entre os tratamentos. As fontes de fornecimento de K podem ter fornecido quantidades diferentes devido às diferenças nas velocidades de liberação dos nutrientes após a adubação (ROSOLEM et al., 2006).

As fontes alternativas resultaram em baixos teores de K nas diferentes partes das plantas analisadas, isso pode ter ocorrido devido à perda K no processo de lixiviação no solo. A disponibilidade de K durante todo período de desenvolvimento da planta, depende da aplicação e da fonte utilizada (WERLE et al., 2008).

Além disso, McLean e Watson (1985) e Nachtingall e Vall (1991) descreveram que a disponibilidade de K presente na planta de milho e a quantidade armazenada em cada parte, depende da ciclagem desse nutriente realizada pelas plantas e os fatores bióticos e abióticos contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo.

Os teores de K nas plantas de milho adubados com fontes alternativas foram inferiores aos teores encontrados nos tratamentos adubados com sulfato de potássio. Mesmo considerando as perdas de K por processos químicos e físicos (NOVAIS et al., 2007), os teores nas plantas poderiam variar, mas não de maneira brusca, mesmo que ocorresse o comprometimento do metabolismo do vegetal (LEIGH e WYN JONES, 1984; KAYSER e ISSELSTEIN, 2005).

Na fase de VT os tratamentos foram diferentes entre si, mas os valores foram próximos corroborando a afirmação de Leigh e Wyn Jones (1984) e Kayser e Isselstein (2005), quanto aos teores na planta. As afirmações deles servem para explicar as diferenças nos teores na fase R3, onde as fontes alternativas foram melhores fornecedoras de K, já que houve uma queda significativa nos teores de K na planta entre os períodos avaliados.

As diferenças nas quantidades de acúmulo e concentrações de K nos tecidos pode ser uma vantagem na nutrição da planta (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Quando avaliado o acúmulo de K nos tratamentos e nas épocas de análise, obtiveram-se bons valores com uso de fontes alternativas em ambas as épocas de desenvolvimento da cultura. Esse acúmulo de K pode ter afetado diretamente o rendimento e a qualidade dos produtos colhidos (DALIPARTHY et al., 1994). O uso de fontes alternativas pode favorecer acúmulos de K durante todas as fases de desenvolvimento da planta, refletindo em níveis altos de produtividade.

4.3. Eficiências e acúmulo de K na cultura de milho adubada com fontes alternativas

O índice de eficiência agrônômica foi maior no tratamento contendo sulfato de potássio para VT e cinza de madeira para R3. Algumas pesquisas afirmam que os tratamentos culturais e rotação entre culturas podem reduzir as perdas e aumentar a eficiência do uso de fertilizantes, aumentando o armazenamento de nutrientes no sistema solo-planta (SOUSA e LOBATO, 2004), e poderá promover a reciclagem de nutrientes (FOLONI e ROSOLEM, 2008; FOLONI et al., 2008; GARCIA et al., 2008).

Isso mostra que o uso de fontes alternativas associadas ao manejo orgânico podem ser promissoras para o fornecimento de K, viabilizando melhores índices de eficiências agrônômicas e fisiológicas durante todo o ciclo da planta de milho.

Com os dados de eficiências de recuperação, de produção de grãos e da eficiência de remobilização obtidos neste trabalho pôde-se inferir que as fontes alternativas apresentaram

variações. De acordo com Marriel et al. (2000), Pavinato e Rosolem (2008), Carvalho et al. (2011), as eficiências de reutilização e remobilização podem afetar a eficiência na produção de grãos, já que a disponibilidade de K no solo é alterada durante o desenvolvimento da planta devido a mobilização e lixiviação, e a perda desse nutriente no ambiente depende de fatores como a fonte usada e o manejo na área adubada visando reduzir as perdas de nutrientes. Daí a importância em fornecer fontes alternativas que possam otimizar o K no solo sem mudanças bruscas no balanço de nutrientes no sistema (FRANCHINI et al.,1999).

CONCLUSÃO

As fontes alternativas de potássio usadas para a produção de milho verde apresentaram características distintas quanto aos teores de K nas plantas e nos índices de eficiência nutricional e de produtividade, as quais resultaram em maiores produtividades e um alto índice de eficiência quanto ao uso de K, evidenciando que o uso dessas fontes é viável na agricultura orgânica.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA), pelo suporte financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo. À empresa Alimentum Ltda, pela concessão da área para instalação e condução do experimento.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; SOUZA FILHO, A. X.; FIORINI, I. V. A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32.3, p.768-775. 2008.

ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO AC; GUIMARÃES PTG; ALVAREZ VVHA. (eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG. p. 25-32. 1999.

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; SANTOS, D. R.; SAGGIN, A., KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolosob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 561-571, 2005.

CARPIM, L. K.; ASSIS, R. L.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R.; PEREIRA, V. C.; GOMES, G. V.; SILVA, A. G. Liberação de nutrientes pela palhada de milheto em diferentes estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2813–2819, 2008.

CARVALHO, E. V.; AFFÉRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; LEÃO, F. F.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 27, n. 3, p. 392-403, 2011.

COELHO, M. A.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. (2011). Cultivo do milho: fertilidade de solos. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/feraduba.htm. Acesso em: 10 mar 2014.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 2005. p. 610-658.

DALIPARTHY, J.; BARKER, A. V.; MONDAL, S. S. Potassium fractions with other nutrients in crops: a review focusing on the tropics. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.17, n.11, p.1859-1886, 1994.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos / Humberto Gonçalves dos Santos ...** [et al.]. – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ª ed. Londrina: Planta, 393 p. 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ª ed. Londrina: Planta, 2006. p. 393.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FARIA, A. F., ÁLVAREZ, V. V. H., MATTIELLO, E. M., NEVES, J. L., DE BARROS, N. F.; DE PAIVA, H. N. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1549–1561, 2008.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C.S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milho, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1147–1155, 2008.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2267–2276, 1999.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn–brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.579–585, 2008.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 01, p. 11-36, 2000.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 11-36. 2000.

HORTA, C.; LUPI, S.; ANJOS, O.; ALMEIDA, J. Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Revista de Ciências Agrárias**, v.33, p147-159, 2010.

KARLEN, D. L., FLANNERY, R. A.; SADLER, E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v. 80, n. 2, p. 232-242. 1988.

KAYSER, M.; ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. **Grass and Forage Science**. v.60, p.213-224. 2005.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres. 492 p. 1985.

LEIGH, R. A.; WYN JONES, R. G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. **The New Phytologist** 97: 1-13. 1984.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 6 DE OUTUBRO DE 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres. 638p. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, C. G.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p

MARRIEL, I. E.; FRANÇA, G. E.; VASCONCELLOS, C. A.; GAMA, E. E. G.; SANTOS, M. X.; OLIVEIRA, A. C. Eficiência de absorção de nitrogênio e produtividade de grãos em populações de milho cultivadas sob estresse In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **A inovação tecnológica e a competitividade no contexto dos mercados globalizados**: resumos expandidos. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlandia, 2000. CD-ROM.

MCLEAN, E. D.; WATSON, M. E. Soil measurement of plant available potassium. In: MUNSON, R. D., ed. Potassium in agriculture. Madison, **American Society of Agronomy**, 1985. p.277-308.

MELO, G. W.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.28: p.597-603, 2004.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562- 564, 1982.

MOURA, E. G.; SERPA, S. S.; DOS SANTOS, J. G. D.; SOBRINHO, J. R. S. C.; AGUIAR, A. D. C. F. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, v.35, p.363–371, 2010.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15: p.37-42, 1991.
NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.), Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, 2007.

OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; MOREIRA, A.; SILVA, L. S. Efeito residual da adubação com rochas brasileiras como fontes de potássio para a cultura da soja. **Espaço & Geografia**, v.9, p.247-262, 2006.

PAIVA JUNIOR, M. C.; PINHO, R. G.; PINHO, E.V.R.; RESENDE, S.G. Desempenho de cultivares para a produção de milho verde em diferentes épocas e densidades de semeadura em Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, v. 25, p. 1235-1247, 2001.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911–920, 2008.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; QUEIROZ, D. M.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 121-131. 2003.

PRADO, R.M.; CORRÊA, M.C.M.; NATALE, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1.493-1.500, 2002.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Ceres, Piracicaba, 1991. p. 343.

ROBERTS T. Reservas de minerais potássicos e a produção de fertilizantes potássicos do mundo. **Potafos: Informações agronômicas**, v. 107, p. 2-3. 2004.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41. p. 1033-1040, 2006.

SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. T. Yamada, S.R.S. Abdalla (Eds.), Fósforo na agricultura brasileira, Potafós, Piracicaba, 2004.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEM, H.; VOLKWEIS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. (Boletim Técnico) 2 ed. Porto Alegre. Departamento de Solos, UFRGS, 174 p. 1995.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n.4, 721-730, 2006.

VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; SILVA, J.E. Adubação potássica. In; SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p. 169 – 183. 2002.

WERLE R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32: p. 2297-2305, 2008.

YAMADA, T., ROBERTS, T. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: **Potafós**. 2005.