

Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a indústria de etanol⁽¹⁾.

Fred Newton da Silva Souza⁽²⁾;

Marcus Henrique Mateus e Silva⁽³⁾; Candice Colombo dos Santos⁽⁴⁾;

Aliandeson Piva de Santana⁽⁵⁾; Juliana Mariano Alves⁽⁶⁾.

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos do Projeto RockBiocom (FINEP/MCTI).

⁽²⁾Professor/Pesquisador, Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS/NUDAM, Palmas-Tocantins, fred.ns@unitins.br; ⁽³⁾Estudante, UNITINS; ⁽⁴⁾Pesquisadora, Bolsista/CNPq/UNITINS; ⁽⁵⁾Estudante, UNITINS.

⁽⁶⁾Professora/Pesquisadora, UNITINS;

RESUMO: A rochagem compreende uma técnica de remineralização do solo pela aplicação direta de rochas moídas ao solo, sobretudo daquelas pertencentes ao grupo das rochas silicáticas multinutrientes. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de um pó de rocha como fonte alternativa de nutrientes na produção da cultura da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em Palmas-TO, região central do Estado do Tocantins, em um solo considerado de baixa fertilidade natural, e os tratamentos definidos em função de duas estratégias de uso da rochagem: uma em substituição e outra em complementação à fonte convencional de potássio, o cloreto de potássio (KCl). Também foram consideradas doses crescentes de pó de rocha a fim de verificar qual a dose ótima para a cultura. Os resultados confirmam que o pó de rocha pode ser utilizado como fonte alternativa de potássio, com efeitos semelhantes à fonte convencional (KCl), e que a cultura respondeu positivamente ao aumento das doses de pó de rocha. Os resultados demonstraram ainda que a produção dos diferentes tratamentos considerados apresentaram produtividade maior que a média do Estado do Tocantins na safra 2011/2012, e com efeitos importantes sobre a qualidade da matéria-prima para a indústria de açúcar e álcool.

Termos de indexação: pó de rocha; cana-de-açúcar; qualidade da matéria-prima.

INTRODUÇÃO

A importância socioeconômica da cana-de-açúcar é destacada devido à sua múltipla utilidade, seja como forragem para alimentação animal, ou como matéria-prima para a fabricação de inúmeros produtos. Atualmente, a cana-de-açúcar constitui a principal fonte energética alternativa do Brasil.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007) a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é cultivada em todas as regiões, e em extensa área territorial do país, ocupando o terceiro lugar em área plantada,

atrás apenas da soja e do milho. Entre 1990 e 2008 a área plantada de cana-de-açúcar no Brasil cresceu 100%, e a produção 150% (AGRIANUAL, 2009). Em 2010, a área plantada de cana-de-açúcar no Estado do Tocantins foi de 10,8 mil ha, com produtividade média de 73 ton./ha, resultando em uma produção de mais de 780 mil toneladas.

Vários estudos comprovam o potencial para a expansão das lavouras canavieiras no Estado do Tocantins (Granja, 2010), especialmente devido às altas temperaturas, intensidade luminosa, e período chuvoso definido. No entanto, como bem aponta Capone et al. (2011) a fertilidade dos solos compreende o principal fator limitante à cultura.

O elemento potássio é requerido em grandes quantidades pela cana-de-açúcar, mas como sua absorção depende essencialmente das reservas do solo ou da aplicação de fertilizantes, o mesmo constitui um aspecto importante para a viabilidade da cultura da cana-de-açúcar nos solos do Cerrado. Além dos solos tropicais serem pobres em minerais contendo K, o fato dos mesmos apresentarem baixa capacidade de retenção de cátions favorece as perdas por lixiviação do K oriundo dos fertilizantes (Curi et al., 2005).

Essa situação motivou a articulação e criação da Rede AgriRocha de pesquisa sobre rochas brasileiras como fonte alternativa de nutrientes em sistemas agropecuários. No Estado do Tocantins as ações da Rede AgriRocha são coordenadas e executadas pela UNITINS/NUDAM, com resultados promissores no desenvolvimento de novas fontes e rotas tecnológicas de agrominerais para a produção de biocombustíveis líquidos.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos comparativos do pó de rocha em relação ao cloreto de potássio sobre os aspectos fisiológicos e produtivos da cultura da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias – CCA/UNITINS. O pó de rocha

utilizado consiste em um rejeito de mineração gerado pelo Garimpo de Esmeraldas de Monte Santo-TO (Biotita Xisto). Esse material apresenta em sua composição química 3% de K_2O , 9% de CaO e 15% de MgO , elementos esses presentes nos minerais Biotita, Feldspatos e Anfíbios.

Na área onde foi conduzido o experimento havia antes uma pastagem degradada plantada a 10 anos (*Andropogon gayanus* Kunth). O solo classificado como Neossolo Quartzarênico, apresenta teor de argila menor que 16%. A **Tabela-1** resume a análise do solo, o qual apresenta moderada acidez e baixo teor de potássio. O desenho experimental em faixa é constituído por uma variedade, cinco tratamentos e três repetições. As parcelas com dimensões de 16 x 7m, apresentam área útil (AUP) de 74 m². O espaçamento de plantio seguiu o padrão da região, ou seja, 1 m entre linhas com 12 a 15 gemas/metro.

No presente trabalho priorizou-se tratamentos que representam: i) o manejo tradicional da adubação com fontes convencionais para a cultura na região (controle positivo); ii) a combinação das fontes convencionais com a fonte alternativa; e iii) a variação de doses da fonte alternativa. A **Tabela-2** resume a composição dos tratamentos, onde todos os tratamentos receberam calagem (2 Mg.ha⁻¹ na forma de calcário filler para elevar a saturação de bases para $V = 60\%$, além de adubação com nitrogênio (150 kg.ha⁻¹ na forma de sulfato de amônio), fósforo (90 kg.ha⁻¹ na forma de superfosfato simples), e micronutrientes (150 kg.ha⁻¹ na forma de FTE-BR12).

O pó de rocha foi aplicado no sulco de plantio em quantidades correspondentes as doses de 30, 60, 120 e 240 kg.ha⁻¹ de K_2O (1, 2, 4 e 8 Kg.m⁻¹), as quais correspondem a 01, 02, 04 e 08 t.ha⁻¹. Após a aplicação dos tratamentos, o plantio da cana-de-açúcar (variedade RB83-5486) foi realizado no dia 17/12/2010.

Durante o ciclo de desenvolvimento da cana-planta foram realizadas duas adubações de cobertura, aos 45 e 90 dias após o plantio, totalizando 60 Kg.ha⁻¹ de N (sulfato de amônio), e 30 Kg.ha⁻¹ de K_2O (KCl-Testemunha e Pó de Rocha demais tratamentos). Na ocasião realizou-se capina mecânica nas entre-linhas.

Após a colheita da cana-planta em 26/10/2011, no início do segundo ciclo de cultivo (cana-soca) foi realizada adubação de manutenção em cobertura: 100 kg.ha⁻¹ de N (sulfato de amônia); 50 Kg.ha⁻¹ de P_2O_5 (superfosfato simples); 150 kg.ha⁻¹ de micronutrientes (FTE BR-12); 150 kg.ha⁻¹ de K_2O (KCl, $\frac{1}{2}KCl + \frac{1}{2}PR$ e PR). O KCl no tratamento-testemunha foi fracionado em duas aplicações com intervalo de 30 dias. A colheita da cana-soca foi realizada em 30/10/2012.

Parâmetros avaliados

As avaliações de ambos os ciclos (cana-planta e cana-soca) envolveram os mesmos aspectos, de maneira a possibilitar a comparação dos mesmos e, conseqüentemente, inferências quanto aos efeitos imediatos e residuais do pó de rocha. A seguir são descritos os aspectos avaliados:

a) aspectos fisiológicos: realizado mensalmente durante o período chuvoso, e ao final do ciclo produtivo. A partir da amostragem de 05 segmentos de 1 m de linha, num total de 05 amostras por repetição e 15 por tratamento, foram obtidos dados de diâmetro do colmo (DC), perfilhamento (PF) e altura da planta (AP).

b) aspectos produtivos: as colheitas foram realizadas depois de completados os ciclos produtivos, a cana-planta com 315 dias, e a cana-soca com 370 dias. A pesagem considerou apenas os colmos na avaliação da produção de cada repetição/tratamento.

c) aspectos qualitativos da matéria-prima: a partir de 03 amostras por repetição/tratamento, a análise da qualidade da matéria-prima envolveu os seguintes parâmetros: teor de sacarose aparente (POL); porcentagem de fibra na cana (FIBRA); pureza da cana (PZA); açúcares redutores (AR); e açúcares redutores totais (ATR).

Análise estatística

Todos os resultados obtidos foram analisados estatisticamente, e envolveram análise de variância e teste de médias (Tukey, 5%) realizadas com o auxílio do Software SISVAR. Adicionalmente, foi definida a equação de resposta produtiva (t.ha⁻¹) em função da dose (Kg.ha⁻¹ de K_2O).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao aspecto fisiológico de desenvolvimento das plantas para os respectivos tratamentos e anos de cultivo são apresentados na **Tabela-3**. Nota-se que para altura de plantas (AP) apenas o tratamento com adubação convencional (testemunha-KCl) resultou estatisticamente diferente dos demais. Importante mencionar que no primeiro ciclo de cultivo (cana-planta) a altura das plantas foi obtida da base até a inserção da primeira folha, enquanto que na cana-soca considerou-se a altura total. O perfilhamento (PF) apresentou diferenças estatísticas significativas apenas no primeiro ciclo de cultivo, onde os tratamentos com pó de rocha em doses mais elevadas (120 e 240 Kg.ha⁻¹ de K_2O) diferiu dos demais tratamentos. Quanto ao diâmetro do colmo (DC) não houve diferença entre tratamentos e cultivos.

Na **Tabela-4** são apresentados os resultados de produção da cana-de-açúcar em ambos os cultivos. No primeiro ciclo os resultados de produção ($t \cdot ha^{-1}$) foram estatisticamente diferentes, e de certa forma influenciados pelos aspectos fisiológicos de desenvolvimento da cultura. Os tratamentos que envolveram doses mais elevadas de pó de rocha (120 e $240 \text{ Kg} \cdot ha^{-1}$ de K_2O) diferiram positivamente dos demais com produção em torno de $106 \text{ t} \cdot ha^{-1}$. A produção do tratamento que envolve a combinação de fontes convencionais com a fonte alternativa (KCl+PR-I) foi cerca de 20% e 10% superior aos tratamentos com doses correspondentes ($60 \text{ Kg} \cdot ha^{-1}$ de K_2O), nos respectivos ciclos de cultivo. No segundo ciclo de cultivo os resultados de produção dos tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas, apesar da produção ter sido cerca de 20-40% maior que a cana-planta.

A análise de regressão mostrou que os resultados de produção em função das doses de pó de rocha aplicadas (60 , 120 e $240 \text{ Kg} \cdot ha^{-1}$ de K_2O) de ambos os cultivos ajustaram-se melhor à equação de 2º grau, com elevada correlação (r), conforme descrito a seguir:

Ano 1: $y = -0,0021x^2 + 0,7682x + 45,235$ ($r = 0,97$); e

Ano 2: $y = -0,0018x^2 + 0,6431x + 76,077$ ($r = 0,95$).

As curvas de respostas descritas pelas equações acima apontam que a dose ótima é de $120 \text{ Kg} \cdot ha^{-1}$ de K_2O , obtida com a aplicação de $4 \text{ t} \cdot ha^{-1}$ do pó de rocha, resultando na produção de 107 e $127 \text{ t} \cdot ha^{-1}$ nos respectivos cultivos.

Os resultados de qualidade da matéria-prima são apresentados na **Tabela-5**, os quais foram praticamente iguais em todos os tratamentos, e com baixo coeficiente de variação (2,8 a 10,2%). O único parâmetro que resultou estatisticamente diferente foi o percentual de fibra na cana, onde o tratamento testemunha-KCl com 13,6% de fibras diferiu dos demais. Conforme recomendado por Ripoli e Ripoli (2004) todos os resultados, a exceção do percentual de fibra da cana no tratamento Testemunha-KCl, apresentaram valores que caracterizam uma boa qualidade da matéria-prima para a indústria: POL (>14%); FIBRA (11 a 13%); PZA (> 85%); AR (<0,8%); e ATR (> 15%).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados de desenvolvimento fisiológico das plantas é possível afirmar que, para todos os parâmetros avaliados, o pó-de-rocha teve efeito igual ou superior ao KCl.

Os resultados de produção dos respectivos cultivos e tratamentos permitem afirmar que o pó de rocha têm efeito como fonte de nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar.

O tratamento KCl+PR-I mostra que o pó de rocha pode ser considerado um condicionador de solo uma vez que potencializou o efeito da fonte convencional de nutriente.

Os resultados de produção dos diferentes tratamentos e ciclos de cultivo foram superiores à produtividade média da cultura no Estado do Tocantins ($92 \text{ t} \cdot ha^{-1}$) na safra 2011/2012.

A produção da cana-soca demonstra que o pó de rocha tem efeito residual considerável sobre o cultivo da cana-de-açúcar.

O pó de rocha apresentou ainda efeito positivo sobre a qualidade da matéria-prima, como o menor teor de fibras e maior pureza, aspectos que influenciam diretamente a eficiência da extração da moenda e a recuperação do açúcar pela indústria.

Operacionalmente, a aplicação do pó de rocha no sulco de plantio compreende um procedimento simples e de custo reduzido.

Por fim, pode-se afirmar seguramente que o pó de rocha avaliado representa uma importante fonte alternativa de nutrientes para o cultivo da cana-de-açúcar na região central do Estado do Tocantins.

AGRADECIMENTOS

A equipe do Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação de Desempenho Ambiental – NUDAM, da Fundação Universidade do Tocantins - UNITINS.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL - Anuário da Agricultura Brasileira. AGRA FNP Ltda. São Paulo, 2009.

CAPONE, A.; LUI, J.J.; SILVA, T.R.; DIAS, M.A.R.; MELO, A.V. Avaliação do comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na Região Sul do Tocantins. J. Biotec. Biodivers. v. 2, N.3: pp. 70-78, Agosto, 2011.

CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e Formas de Potássio em Solos Brasileiros. IN: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (ED.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 91-122.

GRANJA, J.R.M. Expansão da Atividade Canavieira em Goiás e Tocantins: condicionantes e componentes principais. Universidade Federal do Tocantins - UFT. Palmas, 2010. Dissertação de Mestrado.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Balanço nacional da cultura da cana-de-açúcar e agroenergia. Secretaria de Produção e Agroenergia – SPAE. Brasília, 2007.

RIPOLI, T.C.C. & RIPOLI, M.L.C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302p.

Tabela 1. Laudo analítico da composição química do solo.

| pH | P | K | Al | Ca+MG | Ca ⁺⁺ | H+Al | MO |
|-------------------|--------------------------------|------|------------------------|-------|------------------|------|------|
| CaCl ₂ | mg/dm ³ | | m.e./100cc | | | | % |
| 4,60 | 0,30 | 12,0 | 0,20 | 1,80 | 1,20 | 2,20 | 0,90 |

Tabela 2. Descrição dos tratamentos que compõem o experimento.

| Tratamento | Fonte de K | Dose (kg.ha ⁻¹ K ₂ O) | Outros nutrientes |
|---------------------|-----------------|---|-------------------|
| 1. Testemunha - KCl | KCl | 60 | + |
| 2. KCl+PR-I | KCl+Pó de Rocha | 60 | + |
| 3. PR-I | Pó de rocha | 60 | + |
| 4. PR-II | Pó de rocha | 120 | + |
| 5. PR-III | Pó de rocha | 240 | + |

Tabela 3. Resultados de altura da planta (AP), número de perfilhos (PF) e diâmetro do colmo (DC) para os respectivos tratamentos.

| Tratamento | AP (cm) | | PF (nº) | | DC (mm) | |
|------------------|---------|---------|---------|-------|---------|--------|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 1 | Ano 2 | Ano 1 | Ano 2 |
| Testemunha - KCl | 181,3 b | 274,3 b | 7,0 b | 8,3 a | 31,3 a | 30,7 a |
| KCl+PR-I | 203,8 a | 323,6 a | 8,9 b | 8,0 a | 31,5 a | 30,4 a |
| PR-I | 202,3 a | 325,0 a | 8,9 b | 7,9 a | 30,7 a | 30,7 a |
| PR-II | 207,7 a | 322,0 a | 10,9 a | 7,3 a | 32,5 a | 31,0 a |
| PR-III | 214,7 a | 327,7 a | 10,5 a | 7,0 a | 31,3 a | 33,4 a |
| C.V. (%) | 16,7 | 17,1 | 39,8 | 17,5 | 5,2 | 8,8 |

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Tabela 4. Resultados de produção da cana-de-açúcar para os respectivos tratamentos.

| Tratamento | Produção (t.ha ⁻¹) | |
|------------------|--------------------------------|---------|
| | Ano 1 | Ano 2 |
| Testemunha - KCl | 79,1 b | 110,1 a |
| KCl+PR-I | 94,9 ab | 122,3 a |
| PR-I | 83,6 b | 108,2 a |
| PR-II | 106,6 a | 127,4 a |
| PR-III | 106,4 a | 127,0 a |
| C.V. (%) | 11,3 | 10,7 |

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Tabela 5. Resultados de teor de sólidos solúveis (Brix), sacarose aparente (POL), pureza do caldo (PZA), açúcares redutores (AR) e açúcar total recuperável (ATR) para os respectivos tratamentos.

| Tratamento | Ano 2 | | | | | |
|----------------|----------|--------|-----------|--------|-------|--------|
| | Brix (º) | POL | Fibra (%) | PZA | AR | ATR |
| Testemunha-KCl | 22,9 a | 19,7 a | 13,6 b | 85,9 a | 0,6 a | 15,9 a |
| KCl+PR-I | 23,1 a | 20,0 a | 12,8 a | 86,3 a | 0,6 a | 16,3 a |
| PR-I | 23,1 a | 20,1 a | 12,5 a | 86,7 a | 0,6 a | 16,5 a |
| PR-II | 23,8 a | 21,0 a | 12,5 a | 88,3 a | 0,5 a | 17,2 a |
| PR-III | 23,7 a | 20,7 a | 12,3 a | 87,0 a | 0,6 a | 17,1 a |
| C.V. (%) | 3,9 | 6,7 | 10,2 | 2,8 | 8,0 | 7,8 |

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.