

FERNANDO LUIZ NUNES DE OLIVEIRA

**BIOFERTILIZANTE DE ROCHAS MAIS MATÉRIA ORGÂNICA
INOCULADA COM BACTÉRIA DIAZOTRÓFICA NA CANA DE AÇÚCAR**

R E C I F E – P E

JULHO 2012

FERNANDO LUIZ NUNES DE OLIVEIRA

**BIOFERTILIZANTE DE ROCHAS MAIS MATÉRIA ORGÂNICA
INOCULADA COM BACTÉRIA DIAZOTRÓFICA NA CANA DE AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de Doutor em Ciência do solo.

RECIFE – PE

JULHO 2012

Ficha Catalográfica

O48b Oliveira, Fernando Luiz Nunes de
Biofertilizante de rochas mais matéria orgânica inoculada
com bactéria diazotrófica na cana-de-açúcar Fernando Luiz
Nunes de Oliveira. -- Recife, 2012.
76 f. : il.

Orientador (a): Newton Pereira Stamford.
Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia,
Recife, 2012.
Referência.

1. Microbiologia do solo 2. *Saccharum* spp.
3. Características agroindustriais I. Stamford, Newton Pereira,
Orientador II. Título

CDD 630

**BIOFERTILIZANTE DE ROCHAS MAIS MATÉRIA ORGÂNICA INOCULADA
COM BACTÉRIA DIAZOTRÓFICA NA CANA DE AÇÚCAR**

FERNANDO LUIZ NUNES DE OLIVEIRA

Tese defendida e aprovada pela Banca Examinadora em 30 de Julho de 2012, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Doutor em Ciência do solo.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Newton Pereira Stamford

EXAMINADORES:

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto – UFRPE/EECAC

Dra. Márcia do Vale Barreto Figueiredo – IPA/SEAGRI

Dr. Fernando José Freire – UFRPE

Dra. Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos – UFRPE

A minha esposa Geíza Alves Azerêdo de Oliveira, minha companheira e cúmplice em tudo. Aos meus pais, Pedro de Oliveira (*in memoriam*) e Maria Nunes de Oliveira, meus exemplos de fé e dedicação à família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas bênçãos que sempre tem me dado durante a vida e a Nossa Senhora por sua poderosa interseção no transcorrer de toda minha caminhada. A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE *campus* Vitória de Santo Antão – PE pelo consentimento de meu afastamento das atividades docentes para a condução integral das atividades do Doutorado. A minha esposa Geíza, minha grande companheira, por sua imensa dedicação, amor e incentivo. Sem ela tudo seria mais difícil.

A meus pais, Pedro de Oliveira (*in memoriam*) e Maria Nunes de Oliveira por seu constante amor e ensinamentos, os quais levarei para todo o sempre.

A meus irmãos Janaína, Carlos Bruno, Janine e Pedro pelo constante apoio e carinho.

Ao meu Orientador, Prof^o. Newton Pereira Stanford, pelos ensinamentos, companheirismo e dedicação durante todas as etapas transcorridas.

A professora Tânia Lúcia Montenegro Stamford pelo carinho e, acima de tudo, confiança a mim dispensada.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela contribuição dada para enriquecimento de meus conhecimentos durante o curso de Doutorado.

À Usina Santa Tereza, pela concessão da área para realização da pesquisada, pelas análises tecnológicas efetuadas na cana, bem como, pelo apoio constante na realização deste trabalho.

Ao Mestre em Ciência do Solo e Engenheiro Agrônomo da Usina Santa Tereza Gledson Guedes Corrêa, grande amigo e companheiro desde o tempo de graduação. Seu apoio foi fundamental para a realização deste trabalho.

A Wagner pela substancial contribuição nas análises estatísticas.

Ao IPA pelo suporte com laboratório de Biologia do Solo na preparação do inoculante bem como por disponibilizar a casa de vegetação para condução e preparação da produção do Biofertilizante (BNPK). Em especial a pesquisadora Dr^a. Marcia do Vale Figueiredo, cuja presteza e orientações foram marcantes.

A todos que fazem o laboratório de química do solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela colaboração durante a realização de determinadas análises laboratoriais. Em especial agradeço a professora Maria Betânia por sua disponibilidade em ajudar para que algumas determinações analíticas, sobretudo em tecido vegetal, fossem realizadas.

A todos os colegas e contemporâneos de curso pelos bons momentos de convivência dentro e fora de sala de aula.

A Rosinha, aluna do IFPE *campus* Vitória de Santo Antão – PE, por sua grande ajuda principalmente no início da caminhada. Seu apoio foi muito importante para concretização deste sonho.

Aos meus amigos e amigas do Núcleo de Fixação Biológica do Nitrogênio nos Trópicos: Antonio, Wanderson, Hammady, Wagner, Augusto, Sebastião, Fabiana, e Rosangela pela harmoniosa convivência e apoio prestado na realização das atividades inerentes a esta pesquisa.

A todos, que de alguma forma tenham contribuído para a realização deste trabalho.

**BIOFERTILIZANTE DE ROCHAS E MATÉRIA ORGÂNICA COM
DIAZOTRÓFICOS NA CANA DE AÇÚCAR**

SUMÁRIO

	Pag.
LISTA DE FIGURAS-----	x
LISTA DE TABELAS -----	xi
RESUMO GERAL -----	xii
OVERALL ABSTRACT-----	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL -----	16
2. REFERÊNCIAS -----	21
 CAPÍTULO I - Produtividade e características tecnológicas da cana de açúcar com biofertilizante de rochas e matéria orgânica enriquecida em N por inoculação com bactérias diazotróficas -----	26
Resumo -----	27
Abstract -----	28
Introdução -----	29
Material e Métodos -----	30
Resultados e Discussão -----	32
Conclusões -----	38
Referências -----	39
 CAPÍTULO II - Nutrientes na cana de açúcar por biofertilizante de rochas em mistura com matéria orgânica enriquecida em N por inoculação com bactéria diazotrófica de vida livre -----	43
Resumo -----	44
Abstract -----	45

Introdução -----	46
Material e Métodos -----	47
Resultados e Discussão -----	49
Conclusões -----	59
Referências -----	59
CAPÍTULO III - Atuação de biofertilizante de rochas mais matéria orgânica com bactérias diazotróficas de vida livre sobre as características químicas do solo cultivado com cana de açúcar -----	
Resumo -----	63
Abstract -----	64
Introdução -----	65
Material e Métodos -----	66
Resultados e Discussão -----	67
Conclusões -----	69
Referências -----	73
CONCLUSÕES GERAIS -----	74
	77

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II- Nutrientes na cana de açúcar por biofertilizante de rochas em mistura com matéria orgânica enriquecida em N por inoculação com bactéria diazotrófica de vida livre

- Figura 1.** N total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro. ----- 50
- Figura 2.** P-total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro. ----- 52
- Figura 3.** K total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença e na ausência de torta de filtro. ----- 54
- Figura 4.** Ca total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro ----- 56
- Figura 5.** Mg total total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro. ----- 58

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I- Produtividade e características tecnológicas da cana-de-açúcar com biofertilizante de rochas e matéria orgânica enriquecida em N por inoculação com bactérias diazotróficas

Tabela 1 – Altura de plantas (cana de açúcar) adubada com biofertilizantes BNPK ou fertilizante comercial NPK, na presença ou ausência de torta de filtro em fundação. -----	32
Tabela 2 – Média do diâmetro do colmo de acordo com a fertilização com as diferentes fontes e níveis de adubação. -----	34
Tabela 3 - Massa seca da parte aérea de cana de açúcar adubada com biofertilizante Misto (BNPK) ou fertilizante (NPK) comercial, na presença ou ausência de torta de filtro -----	35
Tabela 4 - Produtividade de cana de açúcar adubada com BNPK ou com FNPK, na presença ou na ausência de torta de filtro.-----	35
Tabela 5 – Brix e Pol da cana de açúcar submetida aos tratamentos testados, na presença ou ausência de torta de filtro. -----	37
Tabela 6 – Pureza e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) da cana de açúcar nas áreas com e sem torta de filtro nos diferentes tratamentos avaliados.-----	38
CAPÍTULO III- Atuação de biofertilizante de rochas mais matéria orgânica com bactérias diazotróficas de vida livre sobre as características químicas do solo cultivado com cana de açúcar.	
Tabela 1- Nitrogênio total, nitrato e amônio no solo, nos tratamentos com biofertilizante e fertilizante comercial, em áreas com e sem aplicação de torta de filtro, após 15 meses de instalação do experimento.-----	69
Tabela 2 – Fósforo disponível no solo após 15 meses de instalação do experimento -----	70
Tabela 3 – Teores de potássio disponível no solo de acordo com o tratamento analisado -----	71
Tabela 4 – Valores de cálcio e magnésio disponíveis no solo de acordo com o tratamento analisado. -----	72
Tabela 5 – pH do solo de acordo com os tratamentos de fertilização. -----	73

Oliveira, Fernando Luiz Nunes de; Dr. em Ciência do Solo; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Julho de 2012; BIOFERTILIZANTE DE ROCHAS MAIS MATÉRIA ORGÂNICA INOCULADA COM BACTÉRIA DIAZOTRÓFICA NA CANA DE AÇÚCAR; Newton Pereira Stamford (Orientador); Djalma Euzébio Simões Neto (Conselheiro); Márcia do Vale Barreto Figueiredo (Conselheira); Fernando José Freire (conselheiro); Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos (conselheira).

RESUMO GERAL

A cana de açúcar (*Saccharum spp.*) atualmente é tida como uma das culturas mais importantes no cenário socioeconômico brasileiro. Em Pernambuco, a indústria da cana de açúcar ocupa uma elevada área agrícola com relevante produção de açúcar e etanol, gerando diversos empregos diretos e indiretos. Para a elevação da produtividade se faz necessário à utilização de tecnologias de manejo que favoreçam o desenvolvimento da cultura. Atualmente a produtividade das plantas tem sido garantida basicamente pela utilização de fertilizantes minerais solúveis, o que pode resultar em risco ambiental e elevação do custo de produção. Tem sido comum nas usinas de cana de açúcar a utilização de torta de filtro como forma de elevar a nutrição das plantas e conseqüentemente a produtividade da cultura. No entanto, uma alternativa para substituição da mistura NPK com fertilizantes comerciais solúveis é o biofertilizante de rochas com adição de enxofre elementar inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus* em mistura com matéria orgânica inoculado com bactéria diazotrófica de vida livre NFB 10001. O objetivo deste trabalho foi avaliar, frente ao fertilizante comercial solúvel (NPK) e mediante aplicação ou não de torta de filtro, o efeito do biofertilizante misto (BNPK), na produção e características tecnológicas da cana de açúcar, bem como na avaliação do insumo nas características químicas do solo. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições. A pesquisa foi realizada em área pertencente à Usina Santa Tereza, localizada no Município de Goiana, zona da mata norte do Estado de Pernambuco nas coordenadas geográficas 07°33' S e 35°00' W e altitude de 13 m. Foi cultivada a variedade RB 92579 de cana de açúcar em duas áreas adjacentes, uma com e outra sem torta de filtro em fundação. O biofertilizante de rochas (BPK) foi produzido pela

mistura de partes iguais de apatita e biotita na presença de *Acidithiobacillus* e enxofre, enquanto que a produção do biofertilizante misto se deu pela mistura de BNPK e húmus de minhoca inoculado com bactéria diazotrófica de vida livre na proporção de 1:3, respectivamente. A mistura dos fertilizantes solúveis (FNPK) foi realizada utilizando: sulfato de amônio (20% de N); superfosfato simples (20% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O), de acordo com a análise do solo e a recomendação para a cultura. A aplicação de torta de filtro, de maneira geral, influenciou positivamente na altura de plantas, diâmetro de colmo, matéria seca da parte aérea, produtividade e características tecnológicas da cana de açúcar, tendo o BNPK nas maiores doses apresentado os melhores resultados; o BNPK mostrou resultados semelhantes ao fertilizante comercial solúvel no fornecimento N, P, K, Ca e Mg à cana de açúcar tendo seu efeito potencializado pela aplicação de torta de filtro em fundação; o BNPK apresentou equivalência ao fertilizante comercial no fornecimento de N, P e K ao solo, como também demonstrou maior capacidade de fornecimento de Ca e Mg, tendo a torta de filtro contribuído para elevação destes nutrientes no solo em todos os tratamentos estudados.

Palavras chave: *Saccharum* spp, *Acidithiobacillus*, torta de filtro, diazotrófico de vida livre, apatita, biotita natural

Oliveira, Fernando Luiz Nunes de; Dr. em Ciência do Solo; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Julho de 2012; BIOFERTILIZANTE DE ROCHAS MAIS MATÉRIA ORGÂNICA INOCULADA COM BACTÉRIA DIAZOTRÓFICA NA CANA DE AÇÚCAR; Newton Pereira Stamford (Orientador); Djauma Euzébio Simões Neto (Conselheiro); Márcia do Vale Barreto Figueiredo (Conselheira); Fernando José Freire (conselheiro); Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos (conselheira).

OVERALL ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum* spp.) Is currently considered one of the most important crops in the Brazilian social and economic. In Pernambuco, the sugar cane industry occupies an important agricultural area with high sugar and ethanol, generating many direct and indirect jobs. For increased productivity becomes necessary the use of management technologies that foster the development of culture. Currently, the productivity of plants has been basically ensured by the use of mineral fertilizers soluble, which may result in environmental risk and high production cost. It has been common in plants using sugarcane filter cake as a way to increase the nutrition of plants, and consequently the yield. However, an alternative to replacement of the NPK fertilizer mixture is soluble commercial rock biofertilizer with addition of elemental sulfur *Acidithiobacillus* inoculated with the bacteria in admixture with organic matter inoculated with free-living bacteria diazotrophic NFB 10001. The objective of this study was to evaluate, against the commercial soluble fertilizer (NPK) and by whether or not the filter cake, the effect of biofertilizer mixed (BNPK), production and technological characteristics of sugar cane, as well as evaluation of the input chemical characteristics of soil. The experiment was a randomized block design with four replications. The survey was conducted in an area belonging to the Usina Santa Teresa, located in the city of Goiás, forest area north of the state of Pernambuco in the geographical coordinates 07 ° 33 'S and 35 ° 00' W and altitude of 13 m. It was cultivated variety RB 92579 sugarcane adjacentes in two areas, one with and one without filter cake on the foundation. The rock biofertilizer (BPK) is produced by mixing parts of apatite and biotite in the presence of *Acidithiobacillus* and sulfur, while the production of biofertilizer

mixture was made by mixing BNPK worm humus and inoculated with free living diazotrophic 1:3 ratio, respectively. The mixture of the soluble fertilizer (FNPK) was performed using ammonium sulfate (20% N), single superphosphate (20% P₂O₅) and anhydrous potassium (60% K₂O), according to the analysis of soil and the recommendation for the culture . The application of filter cake, in general, positive influence on plant height, stem diameter, shoot dry matter, yield and technological characteristics of sugar cane, and the BNPK in larger doses presented the best results, the BNPK showed results similar to commercial fertilizer in supplying soluble N, P, K, Ca and Mg of sugarcane having its effect enhanced by the application of filter cake on the foundation, the BNPK was equivalent to commercial fertilizer in the supply of N, P and K the soil, but also demonstrated a greater ability to supply Ca and Mg, and the filter cake helped to increase these nutrients in the soil in all treatments

Keywords: *Saccharum* spp, *Acidithiobacillus*, filter cake, free living diazotrophic, apatite, biotite

INTRODUÇÃO GERAL

A cana de açúcar (*Saccharum* spp.) atualmente é tida como uma das culturas mais importantes no cenário socioeconômico brasileiro, principalmente por ser matéria prima utilizada pela indústria sucroalcooleira para a produção de açúcar e álcool (BENETT et al., 2011).

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana de açúcar, cultura que tem despertado grande interesse pelo seu potencial de produção de biocombustível e de fixação de carbono, já que a cana retira mais carbono do ar do que aquele que retorna pela combustão do álcool (CONAB, 2010; FIGUEIREDO e LA SCALA JR., 2011).

A área plantada de cana de açúcar destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2010/2011 foi de 8,056 milhões de ha, com produtividade média de 77,466 t/ha, sendo o estado de São Paulo o principal produtor (CONAB, 2011).

Em Pernambuco, a agroindústria da cana de açúcar ocupa uma elevada área agrícola e uma relevante produção de açúcar e álcool, gerando diversos empregos diretos nas áreas rural e industrial proporcionando, desta forma, grande contribuição social (SIMÕES NETO et al. 2012).

Vários são os fatores envolvidos na produção da cana de açúcar para a máxima eficiência de sua exploração econômica. Considerando que a adubação e a nutrição da cana de açúcar se constituem em alguns desses fatores, é possível afirmar que a eficiência no incremento de produtividade será tanto maior quanto melhor forem os ajustes desses agentes específicos de produtividade (VITTI E MAZZA, 2002).

A cana de açúcar, por possuir grande quantidade de massa, extrai do solo e acumula na planta grande quantidade de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2007), havendo necessidade de adequada reposição, notadamente em ordem decrescente, de K, N, Ca, Mg e P (SILVA e CASAGRANDE, 1983). No entanto, vale salientar que Medeiros et al.(2010) ao analisarem as médias de extração de nutrientes entre diferentes variedades de cana-de-açúcar encontraram a seguinte ordem decrescente: N>K>P. Oliveira et al. (2010) por sua vez, estudando a extração de nutrientes por diversas variedades de cana de açúcar, chegaram a seguinte ordem decrescente: K > Ca > N > Mg > P.

Certo é que para a elevação da produtividade se faz necessário à utilização de tecnologias de manejo que favoreçam o desenvolvimento da cultura. Nesse sentido, como forma de assegurar uma boa produtividade da cana de açúcar é recomendado cultivá-la a partir de um adequado suprimento de nutrientes, principalmente devido ao grande acúmulo e remoção de nutrientes pela cultura, e ao fato de que a maior parte dos solos brasileiros apresenta limitação de fertilidade (MALAVOLTA, 1980; RAIJ, 1991).

Dentre as várias formas de aumentar a produção vegetal, destaca-se a importância do suprimento de nitrogênio, elemento importante na síntese de proteínas e enzimas que garantem a vida da planta (KUSS, 2006).

Sem a entrada de fertilizantes nitrogenados, estima-se que apenas cerca de metade da população mundial atual pode ser alimentada com alimentos energéticos e proteínas suficientes, isso sem levarmos em consideração o aumento previsto da população até 2050, que irá aumentar ainda mais a dependência por insumos fertilizantes (DAWSON E HILTON, 2011).

Um dos maiores entraves ao incremento e até mesmo manutenção da produtividade da cana de açúcar no Brasil é a disponibilidade em quantidades adequadas de nutrientes, destacando-se neste aspecto o nitrogênio (TRIVELIN et al., 2002).

É certo que incorreções na aplicação de adubação nitrogenada em cana-planta podem comprometer a produtividade do canavial nas safras subsequentes, mesmo quando a dose de N é aumentada nos anos seguintes. Neste sentido, o trabalho de Vitti et al. (2007), mencionam que doses mais baixas de N aplicadas nas soqueiras de cana, podem reduzir a produtividade da cana de açúcar nas safras seguintes, sendo a produtividade aumentada com o incremento da adubação, mas não chegando ao nível alcançado pelas áreas que não sofreram redução na aplicação de N.

O fósforo, entretanto, é o nutriente que as plantas requerem em menor quantidade. No entanto, apesar de seu pequeno requerimento pelos vegetais, é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros, face a sua baixa disponibilidade natural e afinidade com a fração mineral (argila) por este elemento, o que torna um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais (RAIJ, 1991).

O fósforo é responsável por funções primordiais no metabolismo da planta, particularmente na formação de proteínas, na divisão celular, na

fotossíntese, no armazenamento de energia, no desdobramento do açúcar, na respiração, no fornecimento de energia e na produção de sacarose (OLIVEIRA et al., 2005).

Nos solos cultivados com cana de açúcar em Pernambuco, a assimilação do fósforo pela planta é limitada, visto que a cultura está instalada em solos altamente intemperizados com condições propícias para elevada fixação do elemento (SIMÕES NETO et al., 2012).

O potássio (K), por sua vez, é um nutriente muito importante para a cana de açúcar, sendo o mais extraído pela cultura (MALAVOLTA 1994), principalmente pela cana-soca (KORNDÖRFER e OLIVEIRA 2005). É responsável por desempenhar várias funções, como regulação da turgidez do tecido, ativação enzimática, abertura e fechamento de estômatos, transporte de carboidratos, transpiração, resistência a geadas, seca, doenças e ao acamamento. A cana de açúcar apresenta, ainda, característica de consumo de luxo, ou seja, mesmo absorvendo o K em altas quantidades, não há prejuízo em sua produtividade (MALAVOLTA 1980).

Flores et al. (2012) observaram que doses crescentes de potássio, na forma de K_2O , tiveram efeito significativo na altura de plantas de cana de açúcar. Dantas Neto et al. (2006) e Shukla et al. (2009) constataram elevação no número de colmos, em função do aumento de doses de potássio aplicadas em soqueiras de cana de açúcar.

Vale salientar que os fertilizantes potássicos encontram-se entre os mais utilizados na agricultura brasileira e são quase que inteiramente atendidos por importações, que chegam a mais de 6 milhões de toneladas por ano, tendo o país sua produção anual limitada a apenas 650 mil toneladas (ROBERTS, 2004).

A produtividade das plantas tem sido garantida basicamente pela utilização de fertilizantes minerais solúveis. Todavia, a aplicação de fertilizantes solúveis, a maioria das vezes, pode promover substancial aumento nos custos de produção e também riscos de contaminação ambiental (ROESCH et al., 2005).

Contudo, a fertilização com NPK é um dos fatores mais importantes que afetam a produção, a nutrição e disponibilidade de nutrientes no solo, e torna-se necessário intensificar o uso de novas técnicas visando incrementar a produtividade e melhorar ao máximo o sistema de produção agrícola

(STAMFORD et al., 2008a).

Assim, tem sido comum nas unidades sucroalcooleiras a utilização de torta de filtro como forma de elevar a nutrição das plantas e conseqüentemente a produtividade da cultura. A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, sendo proveniente do processo do tratamento e clarificação do caldo da cana de açúcar (SANTOS et al., 2010).

A composição química da torta de filtro é variável em função da variedade e da maturação da cana, tipo de solo, processo de clarificação do caldo e outros (ALMEIDA JÚNIOR, et al., 2011). De acordo com Nunes Júnior (2008), sua composição química média apresenta altos teores de matéria orgânica e fósforo, possuindo também grande quantidade nitrogênio e cálcio, além de teores consideráveis de potássio, magnésio e micronutrientes.

Uma alternativa viável que deve ser considerada para a fertilização da cana de açúcar é a produção de biofertilizantes a partir de rochas moídas. A produção de biofertilizantes de rochas é um processo prático que reduz o consumo de energia, com aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, e que minimiza os impactos ambientais tendo em vista que a liberação é realizada de forma mais gradativa, possibilitando a utilização pelas plantas reduzindo a ocorrência de arraste para as camadas mais profundas do solo, o que certamente poderá causar problemas ambientais.

Pesquisas têm mostrado que biofertilizantes produzidos com rochas fosfatadas e potássicas com adição de enxofre elementar inoculado com a bactéria oxidante do enxofre *Acidithiobacillus* podem apresentar significativa contribuição para aumento da disponibilidade de nutrientes, principalmente P e Ca proveniente de fosfatos naturais, K e Mg da biotita e sulfato solúvel do ácido sulfúrico produzido (LIMA et al., 2007; LIMA, et al., 2010; STAMFORD et al., 2006; STAMFORD et al., 2008a; STAMFORD et al., 2008b; STAMFORD, et al., 2011).

Por outro lado, o nitrogênio, que representa o nutriente que mais limita a produção, não ocorre nas rochas. Além disso, devido a sua alta solubilidade com facilidade de lixiviação, bem como em função de suas inúmeras transformações, o nitrogênio normalmente encontra-se no solo em proporções abaixo dos níveis necessários para o desenvolvimento normal das plantas. Visando suprir essa deficiência, a incorporação de resíduos orgânicos tem mostrado que além de melhorar as condições físicas do solo, contribui para o

aumento da atividade biológica e o fornecimento de nutrientes para a planta (CHEPOTE, 2003). Entretanto estes materiais normalmente tem baixa concentração de nitrogênio disponível.

Diante dessas premissas, considera-se como uma alternativa, para o enriquecimento em N da matéria orgânica, a fixação biológica de nitrogênio promovida por bactérias diazotróficas de vida livre.

A fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN) é um dos processos mais importantes conhecidos na natureza, sendo realizada por bactérias diazotróficas, que podem ser simbióticas, associativas e não simbióticas ou de vida livre (REIS et al., 2006). Essas bactérias possuem um complexo enzimático denominado de nitrogenase e são capazes de quebrar a tripla ligação existente na molécula de N_2 (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

As bactérias diazotróficas associativas e simbióticas normalmente realizam maior contribuição nos ecossistemas, fixando de 20 a 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e 30 a 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, respectivamente. Entretanto, as bactérias diazotróficas de vida livre são as que apresentam maior potencial para serem utilizadas como alternativa para o enriquecimento dos resíduos orgânicos em nitrogênio. Estas bactérias abrangem microrganismos que podem ser encontrados no solo e em ambientes aquáticos e, necessariamente, não fazem parte de estruturas mutualísticas ou associativas (CASSINI, 2005).

Nos sistemas agrícolas, o potencial de algumas bactérias de vida livre tem sido demonstrado, como por exemplo, a adição de *Azotobacter* e *Beijerinckia*, por meio da inoculação de palhada ou outros resíduos ricos em carbono e sua incorporação ao solo (HILL e PATRIQUIN, 1996), resultando em razoáveis taxas de fixação de nitrogênio. Lima et al. (2010) encontraram incremento de mais de 100% de nitrogênio, após incubação de compostos orgânicos (húmus de minhoca) com bactérias diazotróficas de vida livre, o que deve representar um sensível acréscimo a resíduos orgânicos para uso na agricultura.

O nitrogênio fixado por bactérias de vida livre também é importante entre as culturas anuais, como fornecedor de N necessário para a decomposição de resíduos da colheita, que normalmente têm uma variada relação C:N (WAKELIN et al., 2010).

A fixação do N_2 por microrganismos de vida livre (bactérias diazotróficas) é um processo-chave que afeta o funcionamento dos ecossistemas edáficos

(WAKELIN et al., 2010). Os processos microbiológicos do solo apoiam a ciclagem de nutrientes e a produtividade dos ecossistemas naturais e manejados (COLEMAN E WHITMAN, 2005). Um novo desafio é estabelecer sistemas de produção baseados em gerenciar comunidades microbianas e suas atividades no solo para atingir taxas sustentáveis de produção mais elevadas (WAKELIN *et al.*, 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, frente ao fertilizante comercial solúvel (NPK) e mediante aplicação ou não de torta de filtro em fundação, o efeito do biofertilizante misto (BNPK), produzido com rocha fosfatada (fosfato de rocha-BP), rocha potássica (mineral Biotita-BK) e matéria orgânica inoculada com bactéria diazotrófica de vida livre nas características químicas do solo, na produção e nas características tecnológicas da cana de açúcar.

Referências

- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. de; NASCIMENTO, C. W. A. do; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V. da; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.10, p.1004–1013, 2011.
- BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. de P.; MAESTRELO, P. R. Produtividade e desenvolvimento da canaplanta e soca em função de doses e fontes de manganês . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1661-1668, 2011.
- CASSINI, S. T. Ciclo do nitrogênio. Livro-texto. Universidade Federal do Espírito Santo– ES, 2005. Disponível em: http://www.inf.ufes.br/~neyval/Gestao_ambiental/Tecnologias_Ambientais2005/Ecologia/CicloNPS.doc> acesso em 18 de junho de 2008.
- CHEPOTE, R.E. Efeito do composto da casca do fruto de cacau no crescimento e produção do cacauzeiro. **Agrotrópica**, n.15, v.1, p.1- 8, 2003.
- COLEMAN, D. C. e WHITMAN, W. B. Linking species richness, biodiversity and ecosystem function in soil systems. **Pedobiologia**, v.49, p. 479–497, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

CONAB, 2010. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1 de cana 10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1_de_cana_10.pdf). Acesso em 05/05/2010.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. da C.; FARIAS, C. H. de A.; AZEVEDO, H. M. de; Azevedo C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 283-288, 2006.

DAWSON, C. J. E HILTON J. Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. **Food Policy**. v.36, p. S14-S22, 2011.

FIGUEIREDO, E. B. de; LA SCALA Jr., N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, p. 77–85, 2011.

FLORES, R. A.; PRADO, R. de M.; POLITI, L. S.; ALMEIDA, T. B. F. de. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, p. 106-111, 2012.

Hill, N.M.; Patriquin, D.G. Maximizing N₂ fixation in sugarcane litter. p.59-60. In: International Symposium on Sustainable Agriculture for the Tropics - the Role of Biological Nitrogen Fixation, Programme and Abstracts. Seropédica, EMBRAPA-CNPAB, 1995. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 1996.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. p. 469-490.

Korndörfer, K. H.; Melo, S. P. de. Fontes de fósforo (fluída ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.92-97, 2009.

KUSS, A. V. **Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado**. 2006. 110f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

LIMA, F. S.; STAMFORD, N. P. ; SOUSA, C. S. ; LIRA JÚNIOR, M. A.; MALHEIROS, S. M. M. ; VAN STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in Nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 27, p. 1-7, 2010.

LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; LIRA JÚNIOR, M. A.; DIAS, S. H. Eficiência e efeito residual de biofertilizantes de rochas com PK e enxofre com *Acidithiobacillus* em alface. **Horticultura Brasileira**. 25: 402-407, 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba : Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos. São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.

MEDEIROS, M. R. F. A. de; OLIVEIRA, R. I. de; SILVA, S. A. M. da; SOUZA, R. N. de; OLIVEIRA, A. C. de; OLIVEIRA, E. C. de; FREIRE, F. J. Extração e Exportação de NPK em Diferentes Variedades de Cana-de-açúcar. **In: X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão - JEPEX 2010-UFRPE**: Recife, 18 a 22 de outubro de 2010. CD-ROM.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia do solo**. 2ed. Larva: editora UFLA, 2006. 729p.

NUNES JÚNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. da. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v.34, p.1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, M.W.; FREIRE, F.M.; MACÊDO, G.A.R. et al. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.30-43, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; DONAS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOECHER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e

desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar no Estado do Paraná: Taxas de crescimento. **Revista Ciencia Agrária**, v.6, p.85-89, 2005.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos/Ceres, 285 p.,1991.

REIS, V.M.; OLIVEIRA, A.L.M.; BALDANI, V.L.D.; OLIVARES, F.L.; BALDANI, J.I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M.S., ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, Sociedade Brasileira de ciências do Solo, 2006. p.153-172.

ROBERTS, T. Reservas de minerais potássicos e a produção de fertilizantes potássicos no mundo. *Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato*, Piracicaba. (**Informações Agronômicas 107**). p.2-3, 2004.

ROESCH, L.F.; CAMARGO, F.; SELBACH, P.; SÁ, E.S. de; PASSAGLIA, L. identificação de cultivares de milho eficientes de nitrogênio e na associação com bactérias diazotróficas. **Ciência Rural**, v.35, p. 924-927, 2005.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 454-461, 2010.

SHUKLA, S.K.; YADAV, R.L.; SINGH, P.N.; SINGH, I. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) ratoon yield. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 27-33, 2009.

SILVA, L. C. F.; CASAGRANDE, J. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Coord). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR. Cap. 4, p. 77-99 (coleção PLANALSUCAR, 2) , 1983

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C. de; ROCHA, A. T. da; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do. Características agroindustriais da cana-de-açúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernambuco. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. vol.16, p.347–354, 2012.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; SANTOS, C. E. DE R. E S. ; DIAS, S.H.L. Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and nutrient uptake in a Brazilian soil. **Geomicrobiology Journal**, Elsevier - United Kingdom, v. 23, n. 5, p. 261-265, 2006.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; LIRA JUNIOR, M. A. ; SANTOS, C. E. R. S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugar cane yield and their effects in soil chemical attributes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 2061-2066, 2008a.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; SILVA JÚNIOR, S.; LIRA JÚNIOR, M. A.; FIGUEIREDO, M. V. B. Rock biofertilizers with acidithiobacillus and rhizobia on cowpea nodulation and nutrients uptake in a tableland soil. **World Journal of microbiology and biotechnology**, v. 24, p. 1-8, 2008b.

STAMFORD, N.P., ANDRADE, I.P., SILVA JUNIOR, S., SANTOS, C. E.R.S., LIRA JÚNIOR, M.A., FREITAS, A.D.S., STRAATEN, V. P. Nutrient uptake by grape in a Brazilian soil affected by rock biofertilizer. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.11, 1 - 9, 2011.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.636-646, 2002

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.249-256, 2007.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: POTAFOS, 2002, 16p. (Encarte).

WAKELIN, S. A.; GREGG, A. L.; SIMPSON, R. J.; LI, G.D.; RILEY, I. T.; MCKAY, A. C. Pasture management directly affects soil microbial community structure and N cycling bacteria. **Pedobiologia**. v.52, p. 237-251, 2009.

WAKELIN, S. A.; GUPTA, V. V. S. R.; FORRESTER, S. T. Regional and local factors affecting diversity, abundance and activity of free-living, N₂-fixing bacteria in Australian agricultural soils. **Pedobiologia**. v.53, p.391-399, 2010.

CAPÍTULO I

Biofertilizante de rochas e matéria orgânica enriquecida em N por inoculação com bactéria diazotrófica na nutrição da cana de açúcar

Biofertilizante de rochas e matéria orgânica enriquecida em N por inoculação com bactéria diazotrófica na nutrição da cana de açúcar

A cana de açúcar é considerada uma das principais atividades econômicas do país e, para o incremento da produtividade, a aplicação de fertilizantes tem sido uma prática recorrente. Uma alternativa viável para substituição de fertilizantes solúveis é a aplicação de biofertilizantes de rochas e matéria orgânica, inoculado com bactérias diazotróficas de vida livre. O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade e algumas características tecnológicas da cana de açúcar submetida à aplicação de biofertilizante de rochas e matéria orgânica, acrescido de bactéria diazotrófica de vida livre, na presença ou ausência de aplicação de torta de filtro. Assim, foram instalados dois experimentos idênticos em área pertencente à Usina Santa Tereza, localizada no Município de Goiana, zona da mata norte de Pernambuco, sendo um com aplicação de torta e outro sem aplicação de torta de filtro. Os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados com quatro repetições, cultivando-se a variedade RB 92579 de cana de açúcar. Nas duas áreas foram usadas duas fontes de fertilização: Biofertilizante (BNPK) e Fertilizante comercial (FNPK), aplicadas em 3 doses, mais um controle (esterco de curral), totalizando 7 tratamentos. Foi determinada: a altura média das plantas, o diâmetro médio dos colmos, a produtividade agrícola dos colmos (kg ha^{-1}) e a massa seca da parte aérea. Para a avaliação das características tecnológicas determinou-se: concentração de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), sacarose aparente (Pol), pureza (PUREZA) e açúcares totais recuperáveis (ATR). A torta de filtro influenciou positivamente os tratamentos analisados e o biofertilizante apresentou efeito significativo na altura, no diâmetro de colmo e na matéria seca da parte aérea das plantas. O biofertilizante nas doses mais elevadas proporcionou melhores resultados para Brix, Pol, ATR e PUREZA, comparado com o fertilizante comercial solúvel.

Palavras chave: *Saccharum* spp, características agroindustriais, adubação.

Rock biofertilizers plus organic matter enrich in N by inoculation with diazotrophic bacteria in nutrition of sugarcane

Abstract – Sugarcane is known as one of the first economic activity in Brazil and to increment yield the application of soluble fertilizer is a recurrent practice. A viable alternative for replacement of soluble fertilizers may be considered the use of biofertilizers produced from PK rocks mixed with organic matter inoculated with free living diazotrophic bacteria. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of biofertilizer from PK rocks plus organic matter enriched in N by inoculation with free living diazotrophic bacteria on yield and technological characteristics of sugarcane, with and without application of filter mud cake from sugarcane industry. Thus, two experiments were identical to the plant in an area of the Santa Teresa sugarcane industry located in the district of Goiana, North Forest Zone of Pernambuco, Brazil, being an application with cake and the other without filter cake. The experiments were conducted in a randomized block design with four replications, cultivating the variety RB 92579. In both areas were used two fertilizers sources: Biofertilizer (NPKB) and commercial fertilizer (NPKF) applied in three rates (50; 100 and 150 % recommended rate – RR) plus a control (manure), totaling seven treatments. In plants were determined: average height; stem diameter; stem yield (kg ha^{-1}) and shoot biomass and determined the technological characteristics: concentrations of soluble solids (Brix), apparent sucrose (Pol), purity (PURITY) and total recover sugars (TRS). Application of sugarcane filter mud cake affected positively the analyzed parameters, with significant response of biofertilizer (NPKB) applied in higher rates on plant height, stem diameter, shoot biomass, and promoted the best results in Brix^o, Pol, ATR and PURITY, compared with the commercial soluble fertilizer (NPKF).

Key words: *Saccharum* spp, sugarcane characteristics, fertilization.

Introdução

O cultivo da cana de açúcar é considerado uma das primeiras atividades econômicas do país sendo introduzida no Brasil no início do século XVI, por Martin Afonso de Souza (ROSA, 2005).

Estima-se que no Brasil serão processadas 602,2 milhões de toneladas de cana de açúcar na safra 2012/2013, alcançando-se médias de produtividade da ordem de 68 t ha^{-1} , permitindo uma produção de 39,9 milhões de toneladas de açúcar, 9 bilhões de litros de etanol anidro e 13 bilhões de litros de etanol hidratado. Pernambuco foi o sexto maior produtor nacional apresentando uma produção total de 18,4 milhões de toneladas de cana e produtividade média de $56,5 \text{ t ha}^{-1}$ (CONAB, 2012).

Para o incremento da produtividade, a aplicação maciça de fertilizantes tem sido prática recorrente no cultivo da cana de açúcar. No entanto, é conhecido que a produção de fertilizantes apresenta custo bastante elevado e produz grande dispêndio de energia, fazendo com que os processos de produção sejam desenvolvidos por grandes empresas.

Neste contexto, uma alternativa viável que deve ser considerada é a utilização de biofertilizantes a partir de rochas moídas e matéria orgânica, inoculado com bactérias diazotróficas de vida livre. A produção deste biofertilizante é um processo prático que reduz o consumo de energia, com aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, e minimiza os impactos ambientais tendo em vista que a liberação e utilização pelas plantas são realizadas de forma mais gradativa, reduzindo a possibilidade de arraste para as camadas mais profundas do solo e para o lençol freático, o que certamente causaria problemas ambientais.

Em alguns estudos têm sido comprovado a eficiência de biofertilizantes de rochas na disponibilização de fósforo e potássio às plantas (LIMA et al., 2007; MOURA et al., 2007; STAMFORD et al., 2008; STAMFORD et al., 2011;). Por outro lado, estudos anteriores também demonstraram o potencial de incremento de nitrogênio na matéria orgânica a partir da utilização de bactérias diazotróficas de vida livre (Döbereiner, 1961; Lima et al., 2010).

Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar a produtividade da cana de açúcar e suas características tecnológicas mediante aplicação de biofertilizante de rochas e matéria orgânica, acrescido de bactérias

diazotróficas de vida livre, na presença ou ausência de aplicação de torta de filtro em fundação.

Material e métodos

O Experimento foi instalado no Engenho Terra Rica, Usina Santa Tereza – Companhia Agroindustrial de Goiana, localizada no município de Goiana, Zona da Mata Norte, Estado de Pernambuco nas coordenadas geográficas 07°33' S e 35°00' W e altitude de 13 m. Foi cultivada, por 15 meses, de agosto de 2010 a novembro de 2011, a variedade RB 92579 de cana de açúcar utilizada pela Usina e recomendada pela Estação Experimental de Cana de açúcar de Carpina (EECAC/UFRPE) em uma área com aplicação de torta de filtro na fundação (60t ha^{-1}) e outra sem aplicação de torta de filtro, sendo estas áreas situadas uma ao lado da outra, possuindo as mesmas características de relevo e solo. A torta de filtro foi aplicada em área total sendo incorporada ao solo através de gradagem leve.

O solo das áreas com e sem torta de filtro foi classificado como Espodossolo Humilúvico Órtico (EMBRAPA, 2006) e a análise química e física do solo, de acordo com a metodologia da Embrapa (2009), na camada de 0 a 30 cm, antes da aplicação da torta e da instalação do experimento forneceu os seguintes resultados para a análise química: pH em água (1:2,5) = 6,0; Al = $0,1(\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$; N total = $0,3 (\text{g kg}^{-1})$; P disponível = $12 (\text{mg dm}^{-3})$; cations trocáveis ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) - K = 0,05; Ca = 2,54; Mg = 0,94; CTC = $3,63 (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})$; e para a análise física: Densidade real = $2,65 \text{ g kg}^{-1}$; análise granulométrica (g kg^{-1}); areia grossa = 740; areia fina = 210; silte = 10; argila = 40. Classe textural Areia.

Os dois experimentos, um na área com torta e outro na área sem torta foram conduzidos em blocos casualizados, com quatro repetições. Para a análise dos dados utilizou-se o programa estatístico SAS. Nas duas áreas adjacentes (com e sem torta de filtro), foram usadas duas fontes de adubação: (1) Biofertilizante (BNPK) e (2) Fertilizante comercial (FNPk), aplicadas em 3 doses: BNPK no nível 1 (5000 kg ha^{-1}); BNPK no nível 2 (7500 kg ha^{-1}); BNPK no nível 3 (10000 kg ha^{-1}); FNPk no nível 1 (500 kg ha^{-1}); FNPk no nível 2 (750 kg ha^{-1}); FNPk no nível 3 (1000 kg ha^{-1}). Foi adicionado um tratamento controle com esterco de curral (20 T ha^{-1}), totalizando 7 tratamentos em cada área

estudada. Cada parcela foi composta por três sulcos espaçados em 1 (um) metro com 10 (dez) metros de comprimento, com área útil de 10m².

O BNPK utilizado foi obtido a partir do biofertilizante de rochas (BPK) produzido com rocha fosfatada e com rocha potássica com adição de enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*, seguindo a metodologia descrita por Stamford et al. (2008). A produção da matéria orgânica enriquecida com N pela inoculação com bactéria diazotrófica de vida livre (NFB 10001) foi feita conforme a metodologia descrita por Lima et al. (2010). Após a obtenção do biofertilizante de rochas com P e K (BPK) e da matéria orgânica enriquecida em N foi feita a mistura obedecendo a proporção MO: BPK de 3:1. A análise do produto final (BNPK) foi a seguinte: pH – 6.0, N total - 20 (g kg⁻¹); P disponível (Mehlich 1) – 15 (g kg⁻¹); K disponível (Mehlich 1) 19 (g kg⁻¹).

Para a produção do fertilizante comercial (FNPK) foi utilizado na mistura: sulfato de amônio (20% de N); superfosfato simples (20% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O). A quantidade a aplicar foi calculada de acordo com a análise do solo e a recomendação para cana de açúcar no estado de Pernambuco (IPA, 2008).

A altura média das plantas (cm) foi aferida com o auxílio de trena, medindo-se do nível do solo até a interseção da bainha com o limbo da folha +1 (colarinho), procedimento que foi realizado em 10 plantas por parcela, totalizando 40 plantas por tratamento, em cada área estudada (com e sem torta de filtro). O diâmetro médio dos colmos (mm) foi medido com auxílio de paquímetro digital na base da planta, rente ao solo, sendo este procedimento realizado também em 10 plantas por parcela, em cada área de estudo (com e sem torta de filtro). Para obtenção da produtividade agrícola em quilograma de colmo hectare⁻¹ pesou-se, com auxílio de dinamômetro após a colheita, todas as plantas na faixa central de dez metros de cada tratamento. Para a obtenção da massa seca da parte aérea, pesou-se folha, colmo e ponteiro para obtenção da massa verde total. Depois, triturou-se em forrageira subamostras da parte aérea da planta para obtenção da massa úmida. As subamostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante, para obtenção da massa seca. Levando em consideração a massa verde da planta e a umidade existente nas diferentes partes da planta, quantificou-se a produção de massa seca da parte aérea.

A avaliação das características tecnológicas foi realizada tomando-se por base as determinações de concentração de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix), sacarose aparente (Pol), pureza (PUREZA) e açúcares totais recuperáveis (ATR). As análises das características tecnológicas da cana foram realizadas em laboratório próprio da Usina Santa Tereza, seguindo método descrito por CONSECANA (2006).

Resultados e Discussão

Na tabela 1 encontram-se os valores de altura de plantas, para os tratamentos analisados, nas áreas com aplicação e sem aplicação de torta de filtro em fundação.

Tabela 1 – Altura de plantas (cana-de-açúcar) adubada com biofertilizantes BNPK ou fertilizante comercial NPK, na presença ou ausência de torta de filtro em fundação¹.

Tratamento de Fertilização (% da dose recomendada) ²	Altura das plantas (cm)	
	Sem torta	Com torta
Controle (com estrume)	104,50±0,58 ^{Ca}	113,25±0,5 ^{Ca}
BNPK 50%	149,00±0,82 ^{Ab}	207,63±19,5 ^{Aa}
BNPK 100%	154,00±1,63 ^{Ab}	211,50±1,9 ^{Aa}
BNPK 150%	162,75±3,77 ^{Ab}	225,25±0,96 ^{Aa}
FNPK 50%	128,25±5,68 ^{BCb}	164,00±20,74 ^{Ba}
FNPK 100%	148,00±22,52 ^{Aa}	152,50±0,58 ^{Ba}
FNPK 150%	151,50±0,58 ^{Aa}	153,50±17,94 ^{Ba}

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula na horizontal e maiúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. C.V. % = 6,94; ² Com base na recomendação para cana de açúcar no estado de Pernambuco (IPA, 2008).

A partir dos dados apresentados na tabela 1, pode-se afirmar que a aplicação da torta de filtro teve efeito positivo nos tratamentos que receberam biofertilizante nas doses 50, 100 e 150% da recomendação, fazendo com que as plantas destes tratamentos tivessem média de altura estatisticamente superior em relação àquelas da área sem torta de filtro que receberam o mesmo tratamento.

Estes dados deve-se possivelmente a melhoria da disponibilização de nutrientes à cana a partir da utilização da torta de filtro. Dario et al., (2003) afirmam que resíduos da cana de açúcar, como a torta de filtro, tem apresentado eficiência na elevação do rendimento da cultura.

De acordo com Kaur et al. (2005), a utilização de torta de filtro em combinação com fertilizantes têm resultado na melhoria dos níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e carbono orgânico do solo. Elsayed et al. (2008), também encontraram efeito positivo da torta de filtro no aumento do carbono orgânico, matéria orgânica, fósforo disponível e nitrogênio total do solo.

Em experimento de campo, analisando o efeito da torta de filtro na cultura do algodoeiro, Pereira et al. (2005) também observaram efeito positivo da torta de filtro na altura e no diâmetro médio de caule das plantas.

Ainda com base na tabela 1, constata-se que, para altura de plantas, na área sem torta de filtro, não houve diferença significativa entre o biofertilizante e o fertilizante comercial nas doses 100 e 150% do recomendado. Com relação à área com torta de filtro, nota-se que os tratamentos com biofertilizante apresentaram maior altura de plantas, diferindo estatisticamente do fertilizante comercial em todas as doses avaliadas. Este resultado demonstra o potencial de aplicação do biofertilizante na cultura da cana de açúcar.

Estudos anteriores realizados por Stamford et al. (2008) já demonstraram a eficiência do biofertilizante de rocha inoculado com *Acidithiobacillus* frente ao fertilizante comercial na cultura da cana de açúcar.

O resultado da análise das médias de diâmetro do colmo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para os tratamentos com BNPK e FNPk de maneira geral, estão apresentados na tabela 2.

Analisando-se os dados contidos na tabela 2, verifica-se que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, para as áreas com e sem aplicação de torta de filtro em todos os tratamentos analisados, mesmo com a reconhecida eficiência da torta de filtro na melhoria das características químicas do solo, sobretudo na disponibilização de fósforo. Caione, et al. (2011) também não encontraram diferença significativa para diâmetro de colmos em função da elevação de doses de fósforo na cultura da cana de açúcar. Evidencia-se ainda que biofertilizante e o fertilizante comercial nas doses mais elevadas (100 e 150% da dose recomendada), nas duas áreas

estudadas, não apresentaram diferença significativa para diâmetro de colmos da cana de açúcar.

Tabela 2 – Média do diâmetro do colmo de acordo com a fertilização com as diferentes fontes e níveis de adubação.

Tratamento	Diâmetro de colmo (mm)	
	Com torta	Sem Torta
Controle (com estrume)	17,45 ^{Cns}	17,39 ^{Cns}
BNPK 50%	18,39 ^{BCns}	18,27 ^{BCns}
BNPK 100%	22,17 ^{Ans}	22,00 ^{Ans}
BNPK 150%	22,30 ^{Ans}	22,20 ^{Ans}
FNPK 50%	19,63 ^{Bns}	19,00 ^{Bns}
FNPK 100%	21,95 ^{Ans}	21,70 ^{Ans}
FNPK 150%	22,38 ^{Ans}	22,25 ^{Ans}

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; ns = diferença não significativa C.V.% = 6,72.

A tabela 3 apresenta os dados referentes à matéria seca da parte aérea nas áreas com e sem torta de filtro para todos os tratamentos utilizados.

Verifica-se que, de uma maneira geral, a área com torta apresentou melhores resultados, com diferença significativa em todos os tratamentos analisados. O resultado observado, provavelmente, deve ter ocorrido devido à melhoria de algumas características do solo promovida pela adição da torta de filtro, como já comentado anteriormente.

Pode ser verificado que o BNPK (150% da dose recomendada) também apresentou melhores resultados para a matéria seca da parte aérea quando comparados os tratamentos de fertilização na área sem torta. Stamford et al. (2008), comparando a atuação biofertilizante P e K com *Acidithiobacillus* com o fertilizante comercial NPK na cultura da cana de açúcar, também constatou maior eficiência do biofertilizante na produção de matéria seca da parte aérea.

Tabela 3 - Massa seca da parte aérea de cana-de-açúcar adubada com biofertilizantes BNPK ou fertilizante NPK comercial, na presença ou ausência de torta de filtro em fundação.

Tratamento de Fertilização (% da dose recomendada) ²	Massa seca da parte aérea (g kg ⁻¹)	
	Sem torta	Com torta
Controle (com estrume)	289,69±1,17 ^{Gb}	309,21±1,12 ^{Ea}
BNPK 50%	462,81±0,80 ^{Db}	597,88±0,80 ^{Db}
BNPK 100%	470,23±1,89 ^{Cb}	600,74±0,65 ^{Ba}
BNPK 150%	497,82±0,99 ^{Ab}	661,57±1,20 ^{Aa}
FNPK 50%	313,66±0,55 ^{Fb}	450,29±3,70 ^{Da}
FNPK 100%	454,32±9,76 ^{Eb}	530,22±0,65 ^{Ca}
FNPK 150%	484,87±1,03 ^{Bb}	535,33±0,38 ^{Ca}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na horizontal e maiúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. C.V. % = 6,94; ² Com base na recomendação para cana de açúcar no estado de Pernambuco (IPA, 2008)

Os dados de produtividade da cultura nas áreas e tratamentos analisados encontram-se na tabela 4.

Tabela 4. Produtividade de cana-de-açúcar adubada com Biofertilizante misto (BNPK) ou com fertilizante comercial solúvel (FNPK), na presença ou na ausência de torta de filtro.

Tratamento de Fertilização (% da dose recomendada) ²	Produtividade da cana de açúcar (t ha ⁻¹)	
	Sem torta	Com torta
Controle (com estrume)	49,27±2,81 ^{Gb}	53,57±2,86 ^{Fa}
BNPK 50%	59,19±2,76 ^{Eb}	79,78±5,30 ^{Ca}
BNPK 100%	62,90±2,70 ^{Cb}	80,76±0,77 ^{Ba}
BNPK 150%	70,91±1,56 ^{Ab}	86,59±0,85 ^{Aa}
FNPK 50%	57,84±1,21 ^{Fb}	65,89±1,61 ^{Ea}
FNPK 100%	61,86±0,62 ^{Db}	67,62±2,66 ^{Da}
FNPK 150%	64,50±1,00 ^{Bb}	67,75±5,80 ^{Da}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na horizontal e maiúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. C.V. % = 4,2; ² Com base na recomendação para cana de açúcar no estado de Pernambuco (IPA, 2008).

Para a produtividade, pode-se verificar melhores resultados na área onde ocorreu aplicação de torta de filtro em fundação. Estes dados estão de acordo com Santos et al. (2010) que também encontraram correlação positiva entre elevação da produtividade e a aplicação de torta de filtro. De acordo Rossetto et al. (2008), o uso da torta de filtro, em canaviais, propicia a elevação da produtividade da cultura, por fornecer matéria orgânica, fósforo e cálcio, entre outros nutrientes.

Vale ressaltar que houve melhores resultados de produtividade no tratamento com biofertilizante na dose 150% da recomendação, o qual diferiu estatisticamente dos tratamentos com fertilizante comercial independentemente da área estudada (com ou sem torta), estando a produtividade destes tratamentos 53,2 e 25,5% (respectivamente, para as área com e sem torta de filtro) acima da média estimada para o estado de Pernambuco que é de 56,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2012).

Estes resultados corroboram com os obtidos por Stamford et al. (2008), que observaram efeito significativo do biofertilizante PK com *Acidithiobacillus* na produção de cana de açúcar. Lima et al. (2007), consideram os biofertilizantes de rochas com fósforo e com potássio além de enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*, em mistura com vermicomposto de minhoca, capazes de serem utilizados como fonte alternativa em substituição a fertilizantes minerais solúveis sem comprometimento da produtividade da cultura.

Os resultados da análise de sólidos solúveis totais (Brix) e sacarose aparente (Pol) da cana de açúcar de acordo com os tratamentos e áreas (com e sem torta de filtro) estudadas estão apresentados na tabela 5.

Pode-se notar que tanto para Brix quanto para POL houve tendência de melhores resultados na área com aplicação de torta de filtro. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Santos et al. (2011) que também encontraram valores mais elevados de Brix e Pol na cana de açúcar adubada com torta de filtro.

Também co relação ao Brix se evidencia que o biofertilizante nas doses 100 e 150% apresentaram resultados mais expressivos, na área com torta de filtro, enquanto que na área sem torta de filtro estes tratamentos não apresentaram diferença significativa para o fertilizante comercial solúvel na dose 150% do recomendado. Para Pol, o biofertilizante na dose 150%

apresentou maiores valores na área sem torta, enquanto que na área com torta os tratamentos com biofertilizante nas doses 100 e 150% não apresentaram diferença significativa para o FNPk na dose 150%.

Tabela 5 – Sólidos solúveis totais (Brix) e sacarose aparente (Pol) da cana de açúcar submetida aos tratamentos testados, na presença ou ausência de torta de filtro.

Tratamento	BRIX (%)		POL (%)	
	Sem torta	Com torta	Sem torta	Com torta
Controle	13,59±0,59 ^{Cb}	15,06±0,01 ^{Da}	9,32±0,11 ^{Eb}	11,58±0,55 ^{Ca}
BNPK 50%	14,22±0,42 ^{Bb}	16,61±0,06 ^{Aa}	11,17±0,15 ^{Cb}	13,01±0,59 ^{Ba}
BNPK 100%	15,47±0,38 ^{Ab}	16,84±0,13 ^{Aa}	12,35±0,51 ^{Bb}	13,82±0,42 ^{Aa}
BNPK 150%	15,87±0,39 ^{Ab}	16,95±0,19 ^{Aa}	13,47±0,35 ^{Ab}	14,15±0,43 ^{Aa}
FNPk 50%	14,39±0,02 ^{Ba}	15,25±0,26 ^{Ca}	10,11±0,18 ^{Db}	12,14±0,32 ^{Ca}
FNPk 100%	14,43±0,04 ^{Bb}	15,31±0,08 ^{BCa}	11,96±0,03 ^{Ba}	12,40±0,28 ^{Ca}
FNPk 150%	15,41±0,01 ^{Ab}	16,48±0,04 ^{Ba}	12,94±0,06 ^{Ab}	13,70±0,10 ^{Aa}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na horizontal e maiúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. C.V. (BRIX) % = 3,42 C.V. (POL) % = 4,15; ² Percentual da dose recomendação para cana de açúcar no estado de Pernambuco (IPA, 2008)

Estes dados de Brix e Pol deve-se, possivelmente, a eficiência do biofertilizante em liberar, gradativamente, fósforo ao solo o que oportuniza melhor nutrição da planta em relação a este nutriente.

Santos et al. (2011), investigando a influência da aplicação de torta de filtro e fosfato na cana de açúcar, também obtiveram valores mais expressivos de Brix e Pol nos tratamentos com doses mais elevadas de fosfato. Stamford et al. (2009) verificaram efeito significativo do biofertilizante de rochas em comparação com o fertilizante mineral e o controle na cultura do melão. Lima et al. (2007) avaliando a eficiência de biofertilizantes produzidos com rochas (fosfatada e potássica mais enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*) em mistura com húmus de minhoca, observaram efeito residual do biofertilizante com P e K, na cultura do alface na região do Cariri. Stamford et al (2008), verificaram melhores resultados na produção da cana de açúcar adubada com biofertilizante de rocha PK.

Na tabela 6 estão os dados de pureza e ATR da cana de açúcar, com e sem aplicação de torta de filtro, nos diferentes tratamentos avaliados.

Para os dados de PUREZA e açúcares totais recuperáveis (ATR) constata-se que houve tendência de maiores valores na área com torta de filtro. Santos et al. (2011) também obtiveram elevação nos valores de PUREZA e ATR a partir da utilização de torta de filtro em fundação.

O tratamento BNPK 150% superou os demais, tanto na área com torta quanto naquela sem torta de filtro, nas variáveis PUREZA e ATR. Estes resultados evidenciam o potencial de utilização do biofertilizante na cultura da cana de açúcar e corroboram com Lima et al. (2007), que consideram o biofertilizante de rochas (fosfatada e potássica mais enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*) em mistura com húmus de minhoca como uma alternativa viável frente aos fertilizantes comerciais solúveis.

Tabela 6 – Pureza e açúcares totais recuperáveis (ATR) da cana de açúcar nas áreas com e sem torta de filtro nos diferentes tratamentos avaliados.

Tratamento	PUREZA (%)		ATR (kg t ⁻¹)	
	Sem torta	Com torta	Sem torta	Com torta
Controle	68,57±0,18 ^{Fb}	76,89±0,69 ^{Ea}	90,71±0,28 ^{Fb}	102,96±0,34 ^{Ga}
BNPK 50%	78,55±0,58 ^{Da}	79,32±0,37 ^{Da}	98,68±0,58 ^{Db}	109,95±0,60 ^{Da}
BNPK 100%	79,83±0,13 ^{Cb}	82,06±0,58 ^{Ca}	109,07±0,69 ^{Bb}	116,94±0,65 ^{Ba}
BNPK 150%	84,87±0,10 ^{Aa}	83,48±0,30 ^{Aa}	116,24±0,78 ^{Ab}	120,04±0,58 ^{Aa}
FNPK 50%	70,25±0,04 ^{Eb}	79,60±0,57 ^{Da}	92,18±0,59 ^{Eb}	105,69±0,58 ^{Fa}
FNPK 100%	82,88±0,06 ^{CDb}	80,99±0,24 ^{Ca}	98,95±0,18 ^{Db}	108,46±0,14 ^{Ea}
FNPK 150%	83,97±0,54 ^{Bb}	83,13±0,71 ^{Ba}	104,36±0,28 ^{Cb}	112,63±0,20 ^{Ca}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na horizontal e maiúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. C.V. (PUREZA) % = 2,7 C.V. (ATR) % = 4,1; ² Percentual da dose recomenda para cana de açúcar no estado de Pernambuco (IPA, 2008)

Conclusões

- A aplicação de torta de filtro, de maneira geral, influenciou positivamente na altura de plantas, diâmetro de colmo, matéria seca da parte aérea, produtividade e características tecnológicas da cana de açúcar.

- O biofertilizante, nas doses 100 e 150% da recomendação apresentou, na presença de torta de filtro, melhores resultados para altura de plantas que o fertilizante comercial;
- O biofertilizante na dose 150% apresentou melhores resultados que o fertilizante comercial para matéria seca da parte aérea e produtividade da cultura, independente da área estudada (com ou sem torta de filtro);
- A aplicação de BNPK na doses 150% resultou em efeito significativo nos valores de BRIX, PUREZA e ATR tanto na área com torta como na área sem torta de filtro;
- O biofertilizante estudado demonstrou ser uma alternativa para a redução na aplicação de fertilizantes comerciais solúveis na cultura da cana de açúcar.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Usina Santa Tereza pela disponibilização da área experimental e pela realização das análises tecnológicas, e à Biotech – tratamento ambiental LTDA - pela disponibilização da matéria orgânica para produção do biofertilizante. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE) e à Coordenação do Programa de Pós Graduação em Agronomia (Ciência do solo) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (PPGCS/UFRPE), pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

Referências

- CAIONE, G.; TEIXEIRA, M. T. R.; LANGE, A.; SILVA, A. F. da; FERNANDES E. F. M. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em latossolo vermelhoamarelo. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.9, p.1- 11, 2011
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Segundo Levantamento da Safra brasileira 2011/2012 de Cana-de-Açúcar e sua

Destinação (açúcar, álcool e outros). Boletim técnico, disponível em <http://www.conab.gov.br/canabweb/download/safra/BoletimCanajaneiro2011-12.pdf> Acesso em 03 de jan 2012.

CONSECANA – Conselho de Produtores de cana de açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. 5ª ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.

DARIO, F. R.; DE VINCENZO, M. C. V.; CARDELLI, R.; MIKLOS, A. A. D.; LEVI-MINZI, R.; KAEMMERER, M. Application of compost elaborated with sugar-cane (*Saccharum officinarum* L.) crop residues. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 12, n. 11, p. 1379-1383, 2003.

DÖBEREINER, J. Nitrogen-fixing bacteria of the genus *Beijerinckia* Derx in the rhizosphere of sugarcane. **Plant and Soil**, v.15, p.211-217, 1961.

ELSAYED, M.T.; BABIKER, M.H.; ABDELMALIK, M.E.; MUKHTAR, O.N.; MONTANGE, D. Impact of filter mud application on the germination of sugarcane and small seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents. **Bioresource Technology**, v.99, p. 181-186, 2008.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (2ª aproximação)**. 2.ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2008. 198p.

KAUR, K.; KAPOOR, K.K; GUPTA, A.P. Impact of organic manures with and without mineral fertilizers on soil chemical and biological properties under tropical conditions. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p. 117-122, 2005.

LIMA, F. S.; STAMFORD, N. P. ; SOUSA, C. S. ; LIRA JÚNIOR, M. A.; MALHEIROS, S. M. M. ; VAN STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in Nitrogen by inoculation with free living diazotrophic

bacteria. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 27, p. 1-7, 2010.

LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; LIRA JÚNIOR, M. A.; DIAS, S. H. Eficiência e efeito residual de biofertilizantes de rochas com PK e enxofre com *Acidithiobacillus* em alface. **Horticultura Brasileira**. 25: 402-407, 2007.

MOURA, P. M.; STAMFORD, N. P.; DUENHAS, L. H.; SANTOS, C. E. R. S.; NUNES, G. H. de S. Eficiência de biofertilizantes de rochas com *Acidithiobacillus* em melão, no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias Recife**, v.2, n.1, p.1-7, 2007.

ROSA, G. R. (coord.) **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar 2005**. 1ª. ed. Santa Cruz do Sul: **Gazeta Santa Cruz**, 2005.136p.

PEREIRA, J.R.; FERREIRA, G.B.; GONDIM, T. M. de S.; SANTOS, J. W. dos; VALE, D. G. Adubação orgânica com torta de filtro de cana-de-açúcar no algodoeiro semiperene BRS 200 no Cariri Cearense. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2005, Campina Grande. **Anais de periódicos...** 2005.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Problemas nutricionais dos solos nas novas fronteiras canavieiras. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 94, p. 78-90, 2008.

SAS INSTITUTE. The SAS 9.2 software. **System for Windows**. CD – ROM for Windows. 2011.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. de A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F.R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.5, p.443–449, 2011.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; LIRA JUNIOR, M. A. ; SANTOS, C. E. R. S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugar

cane yield and their effects in soil chemical attributes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 2061-2066, 2008.

STAMFORD, N. P.; MOURA, P. M.; LIRA JÚNIOR, M. A.; SANTOS, C. E. R. S.; DUENHAS, L. H.; GAVA, C. A. T. Chemical attributes of an Argisolo of the Vale do São Francisco after melon growth with phosphate and potash rocks biofertilizers. **Horticultura Brasileira**. 27: 447- 452, 2009.

STAMFORD, N. P., ANDRADE, I. P., SILVA JUNIOR, S., SANTOS, C. E. R. S., LIRA JÚNIOR, M.A., FREITAS, A. D. S., STRAATEN, V. P. Nutrient uptake by grape in a Brazilian soil affected by rock biofertilizer. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.11, 79 - 88, 2011.

CAPÍTULO II

**Nutrientes na cana de açúcar adubada com biofertilizante de rochas e
matéria orgânica enriquecida em N por bactéria diazotrófica**

Nutrientes na cana de açúcar adubada com biofertilizante de rochas e matéria orgânica enriquecida em N por bactéria diazotrófica

Resumo

Para assegurar boa produtividade da cana de açúcar é recomendado adequado suprimento de nutrientes. Uma alternativa para substituição de fertilizantes comerciais solúveis é o biofertilizante de rochas com adição de enxofre elementar inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus* em mistura com matéria orgânica inoculado com bactérias diazotróficas de vida livre. O trabalho teve por objetivo avaliar os nutrientes presentes nas diferentes partes da cana de açúcar adubada com biofertilizante de rocha mais matéria orgânica, inoculada com bactéria diazotrófica de vida livre (NFB 10001), em comparação com a aplicação de fertilizantes comerciais solúveis (NPK). Foram conduzidos, em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições, dois experimentos em áreas adjacentes com as mesmas características de relevo e solo, sendo um com aplicação de torta de filtro em área total (60 t ha^{-1}) e outra sem aplicação de torta de filtro. A pesquisa foi realizada em área pertencente à Usina Santa Tereza, localizada no Município de Goiana, zona da mata norte do Estado de Pernambuco, nas coordenadas geográficas $07^{\circ}33' \text{ S}$ e $35^{\circ}00' \text{ W}$ a 13 m altitude, cultivando-se a variedade RB 92579. O biofertilizante de rochas (BPK) foi produzido, seguindo a metodologia descrita por Stamford et al. (2008) e a produção do biofertilizante misto BNPK foi de acordo com a metodologia descrita por Lima et al. (2010). A mistura dos fertilizantes solúveis (FNPK) foi realizada utilizando: sulfato de amônio (20% de N); superfosfato simples (20% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% K_2O), de acordo com a análise do solo e a recomendação para a cultura. Após 15 meses de cultivo foram determinados os teores de nutrientes na planta. O biofertilizante estudado mostrou resultados semelhantes ao fertilizante comercial solúvel no fornecimento N, P, K, Ca e Mg à cana de açúcar tendo seu efeito potencializado pela aplicação de torta de filtro. Assim, pode ser concluído que o biofertilizante misto (BNPK) pode ser aplicado em substituição a fertilizantes solúveis (FNPK) na cana de açúcar.

Palavras chave: *Saccharum* spp, biofertilizante misto, adubação.

Nutrient in sugarcane fertilized with rock biofertilizer and organic matter enriched in N by diazotrophic bacteria

Abstract

In order to improve sugarcane yield is recommended to supply nutrients in adequate quantity. A viable alternative for substitution of NPK soluble mineral fertilizer is the use of rock biofertilizers plus sulfur with *Acidithiobacillus* bacteria mixed with organic matter inoculated with free living diazotrophic bacteria. The main aim of the study is evaluate the effectiveness of biofertilizer from PK rocks plus organic matter enriched in N by inoculation with free living diazotrophic bacteria on yield and technological characteristics of sugarcane, with and without application of filter mud cake from sugarcane industry in planting date. Were conducted in randomized blocks with seven treatments and four replications, two experiments in adjacent areas with similar characteristics of topography and soil, and with application of a filter cake on the total area (60 t ha⁻¹) and another without application filter cake. The study was conducted in an area of the Santa Teresa sugarcane industry located in the district of Goiana, North Forest Zone of Pernambuco, Brazil, the geographical coordinates 07 ° 33 'S and 35 ° 00' W to 13 m altitude, cultivating the variety RB 92579. The biofertilizer of rocks (BPK) was produced following the methodology described by Stamford et al. (2008) and production of biofertilizer BNPK was mixed according to the method described by Lima et al. (2010). The mixture of the soluble fertilizer (FNPK) was performed using ammonium sulfate (20% N), single superphosphate (20% P₂O₅), and potassium chloride (60% K₂O), according to the analysis of soil and the recommendation culture. After 15 months of cultivation were determined the levels of nutrients in the plant. The biofertilizer study showed results similar to commercial fertilizer in supplying soluble N, P, K, Ca and Mg of sugarcane having its effect enhanced by the application of filter cake. Thus, it can be concluded that the biofertilizer mixed (BNPK) can be applied in lieu of chemical fertilizers (FNPK) in sugarcane.

Key words: *Saccharum* spp, biofertilizer mixed, fertilization.

Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A safra de cana de açúcar estimada para a safra 2011/2012 no país será de 742.923.303 toneladas, representando um aumento de 3,9% em relação à safra anterior (IBGE, 2012).

Para a elevação da produtividade se faz necessário à utilização de tecnologias de manejo que favoreçam o desenvolvimento da cultura. Nesse sentido, como forma de assegurar boa produtividade da cana de açúcar é recomendado cultivá-la a partir de um adequado suprimento de nutrientes, principalmente devido ao grande acúmulo e remoção de nutrientes pela cultura, e ao fato de que a maior parte dos solos brasileiros apresenta limitação de fertilidade (MALAVOLTA, 1980; RAIJ, 1991).

A produtividade das plantas tem sido garantida pela utilização de fertilizantes minerais solúveis. Todavia, a aplicação de fertilizantes solúveis, na maioria das vezes, pode promover substancial aumento nos custos de produção e também riscos de contaminação ambiental (ROESCH et al., 2005). A utilização direta de rochas moídas seria economicamente viável, porém seu emprego é restrito, devido à sua baixa solubilidade, sendo mais usadas em cultivos perenes em mistura com fertilizantes solúveis (STAMFORD et al. 2006).

Muito embora haja esses inconvenientes, a produção de biofertilizantes a partir de rochas moídas não deve ser descartada, por se tratar de um processo prático, que reduz o consumo de energia e promove aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas. Vale salientar, por outro lado, que o nitrogênio, que representa o nutriente que mais limita a produção, não ocorre normalmente nas rochas em quantidade para suprir as necessidades das plantas.

Resíduos orgânicos que não apresentam possibilidades de promover problemas ambientais são denominados como matéria orgânica de nova geração. Neste grupo podem ser considerados materiais orgânicos como: restos culturais, torta de mamona, torta de cana de açúcar, húmus de minhoca, entre outros, os quais podem ser utilizados para aporte de N e podem, inclusive, serem utilizados na agricultura orgânica.

Uma alternativa para substituição de mistura NPK com fertilizantes comerciais solúveis é o biofertilizante de rochas com adição de enxofre elementar inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus* em mistura com matéria orgânica inoculado com bactérias diazotróficas de vida livre, visando o enriquecimento em nitrogênio, como demonstrado por Lima et al. (2010).

Não obstante, tem sido objeto de estudos o conhecimento e avaliação do total de nutrientes removidos na colheita pelas culturas, o que pode ser uma estratégia para um manejo mais eficiente nos ciclos subsequentes (SEDIYAMA et al., 2009). No entanto, apesar de serem necessárias para a compreensão dos mecanismos que afetam a produtividade da cana em diferentes ambientes, ainda são limitadas as pesquisas que avaliam a quantificação e a alocação de nutrientes nos diferentes compartimentos da parte aérea da cana de açúcar (COLETI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2011).

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo avaliar o teor de nutrientes presentes nas diferentes partes da cana de açúcar adubada com biofertilizantes de rocha e matéria orgânica, inoculado com bactérias diazotróficas de vida livre, em comparação com a aplicação de mistura NPK com fertilizantes comerciais solúveis.

Materiais e Métodos

Produção do biofertilizante misto

Inicialmente foi obtido o biofertilizante de rochas (BPK) produzido com rocha fosfatada e com rocha potássica (na mesma proporção), com adição de enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus*, seguindo a metodologia descrita por Stamford et al. (2008). A seguir foi realizada a produção do biofertilizante misto visando o enriquecimento em N pela inoculação com bactéria diazotrófica de vida livre (NFB 10001) de acordo com a metodologia descrita por Lima et al. (2010). A mistura foi feita obedecendo a proporção MO:BPK de 3:1. A análise do produto final (BNPK) apresentou os seguintes resultados: pH = 6.0, N total = 20 (g kg⁻¹); P (Mehlich 1) = 15 (g kg⁻¹) e K disponível (Mehlich 1) = 19 (g kg⁻¹), respectivamente.

Localização da área, solo utilizado e condução do experimento em campo

O experimento foi realizado em área pertencente à Usina Santa Tereza (Companhia agroindustrial de Goiana), localizada no Município de Goiana, zona da mata norte do Estado de Pernambuco, nas coordenadas geográficas 07°33' S e 35°00' W a 13 m altitude. Foi cultivada a variedade RB 92579 de cana de açúcar utilizada pela Usina e recomendada pela Estação Experimental de Cana de açúcar do Carpina (EECAC/UFRPE).

Utilizou-se uma área com aplicação de torta de filtro na fundação (60 t ha⁻¹) e outra sem aplicação de torta de filtro, estando as duas áreas lado a lado, com as mesmas características de relevo e solo. O solo das duas áreas foi classificado como Espodosolo Humilúvico Órtico (EMBRAPA, 2006). A análise química e física do solo, de acordo com a metodologia da Embrapa (2009), na camada de 0 a 30 cm, antes da aplicação da torta e da instalação do experimento forneceu os seguintes resultados para a análise química: pH em água (1:2,5) = 6,0; Al = 0,1 (cmol_c dm⁻³); N total = 0,3 (g kg⁻¹); P disponível = 12 mg dm⁻³; cations trocáveis (cmol_c dm⁻³) - K = 0,05; Ca = 2,54; Mg = 0,94; CTC = 3,63 (cmol_c dm⁻³) e para a análise física: Densidade real = 2,65 g kg⁻¹; análise granulométrica (g kg⁻¹); areia grossa = 740; areia fina = 210; silte = 10; argila = 40. Classe textural Areia.

Tratamentos e delineamento experimental

Os experimentos nas áreas com e sem aplicação de torta de filtro foram conduzidos em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições. Cada parcela constou de três sulcos espaçados em 1 (um) metro com 10 (dez) metros de comprimento totalizando área de 30m² em cada parcela, sendo considerada como área útil os 10m² pertencente ao sulco central de cada parcela. Nas duas áreas (com e sem torta de filtro), foram usadas duas fontes (Biofertilizante - BNPK e Fertilizante comercial - FNPK), aplicadas em 3 doses - 50%, 100% e 150% da dose recomendada para o estado de Pernambuco (IPA, 2008), sendo para BNPK correspondente a 5000, 7500 e 10000 kg ha⁻¹; e para FNPK equivalente a 500, 750 e 1000 kg ha⁻¹. Foi adicionado um tratamento controle com adição de estrume (20 t ha⁻¹). A mistura dos fertilizantes solúveis (FNPK) foi realizada utilizando: sulfato de amônio (20% de N); superfosfato

simples (20% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O), de acordo com a análise do solo e a recomendação para cana de açúcar irrigada para o estado de Pernambuco (IPA, 2008). No cálculo das quantidades usadas para as duas fontes foi considerado o sulfato de amônio com 200 mg kg^{-1} , e o BNPK com 20 mg kg^{-1} , conforme análise dos insumos.

Determinações na planta

Após 15 meses de cultivo, foram colhidas 10 canas na área útil de cada parcela experimental (com e sem torta de filtro). As plantas foram separadas em folhas, ponteiros e colmos. Os colmos foram passados em máquina forrageira e, juntamente com as folhas e os ponteiros, conduzidos para estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante. Após secagem, a parte aérea da cana (folha, ponteiro e colmo) foi triturada em moinho tipo Willey (malha 20), realizando-se no ponteiro, na folha e no colmo a determinação de N-total, P, K, Ca e Mg, por digestão nitroperclórica. O N foi analisado pelo método Kjeldhal (semimicro), em analisador automático Kjeltex (modelo 1030); P por colorimetria, K por fotometria de chama; e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2009).

Resultados e discussão

Os resultados para o conteúdo de N no ponteiro, nas folhas e no colmo da cana de açúcar, nas duas áreas estudadas (com torta e sem torta de filtro) podem ser visualizados na figura 1 (gráficos A, B e C).

Pelos resultados apresentados na figura 1A, verifica-se que houve incremento significativo no N total na área que recebeu aplicação de torta de filtro em fundação, quando comparado com a área sem torta de filtro, independente do tratamento de fertilização aplicado.

Os resultados do presente trabalho contrastam com os obtidos por Almeida Júnior et al. (2011), que encontraram efeito significativo da torta de filtro na disponibilidade de N no solo, mas não constataram aumento no valor de N na parte aérea da planta. Oliveira et al. (2011), estudando a absorção de nutrientes em cana de açúcar, encontraram valores de N na parte aérea da

planta superiores ao total de N aplicado via fertilizante, indicando que a matéria orgânica promove incrementos na absorção de N pela cultura.

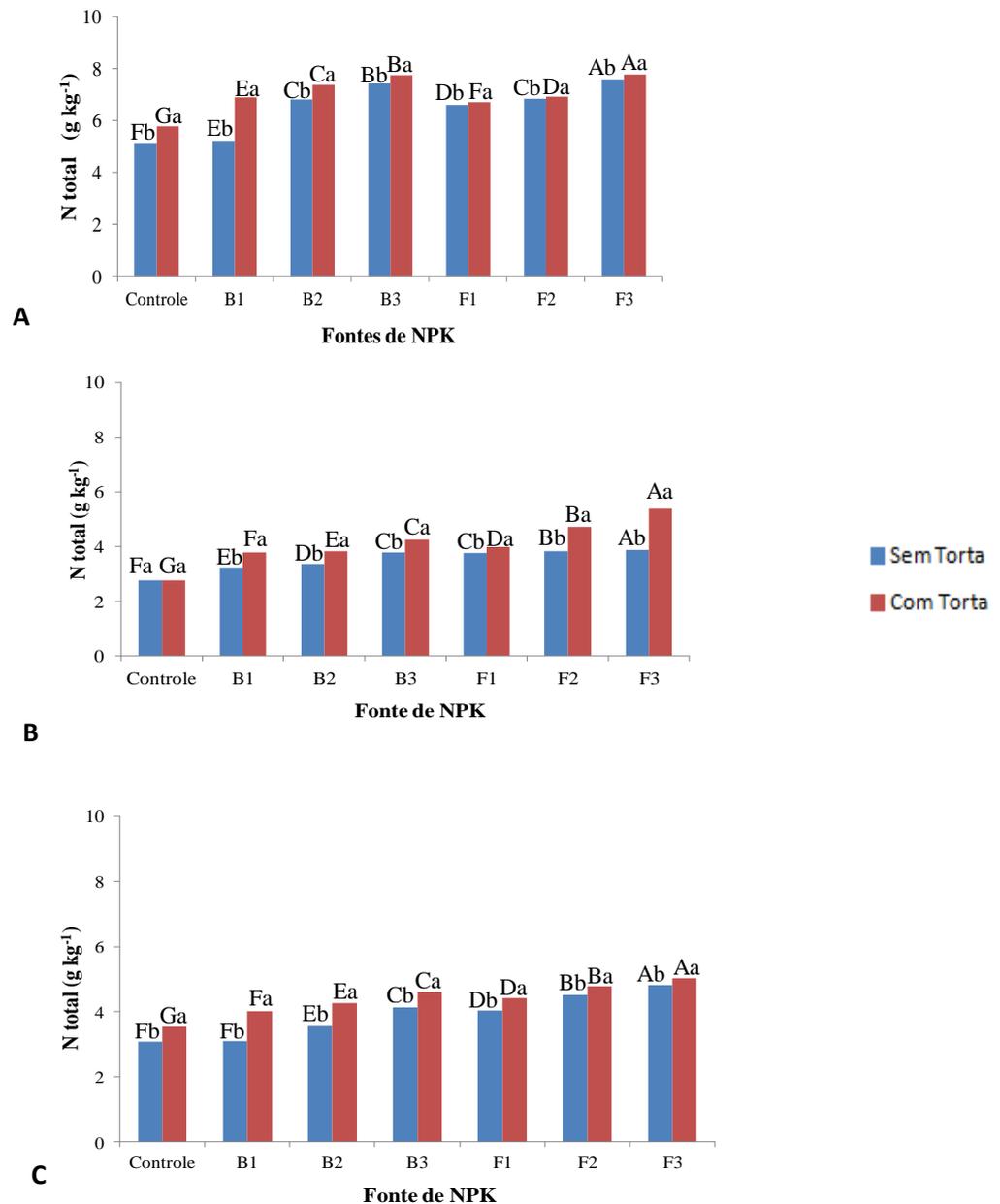


Figura 1. N total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro. Médias com a mesma letra não diferem entre si, com maiúsculas comparando os tratamentos de fertilização, e minúsculas as áreas com e sem torta no mesmo tratamento ($p \leq 0.05$), pelo teste de Tukey.

Analisando-se os dados da figura 1A, verifica-se também que as plantas adubadas com biofertilizante no nível equivalente a 100% da dose

recomendada, na presença de torta de filtro, apresentaram maior teor de N que as adubadas com fertilizante comercial solúvel na mesma dose (100% da recomendação). Os resultados indicam que o biofertilizante BNPK fornece mais N à cana de açúcar do que o fertilizante solúvel convencional, o que está de acordo com as conclusões descritas por Lima et al. (2007) que consideraram o BNPK como uma alternativa viável em substituição aos fertilizantes comerciais solúveis.

Com relação ao N nas folhas (Figura 1B) pode-se afirmar que o fertilizante comercial na dose 100% do recomendado apresentou valores de N mais elevados que biofertilizante na mesma dose, na presença ou na ausência de torta de filtro.

Deve ser observado, entretanto, que na área sem torta, não houve diferença significativa entre as duas fontes em relação aos dados obtidos no ponteiro (Figura 1A). Evidencia-se também tendência de obtenção de melhores resultados na presença de torta de filtro o que está de acordo com Nunes Júnior (2005) que afirmam que a torta de filtro apresenta altos teores de matéria orgânica e nitrogênio.

Para o nitrogênio no colmo (figura 1C), verifica-se também que foram obtidos maiores valores na área com aplicação de torta de filtro. Porém com resultados mais expressivos nos tratamentos com aplicação de fertilizante comercial solúvel, o que também ocorreu para os dados deste nutriente nas folhas. O maior teor de N no colmo e nas folhas das plantas submetidas a adubação com fertilizante comercial deve-se, possivelmente, ao efeito de maior concentração do nutriente na planta, tendo em vista que foi verificado que a produtividade com fertilizante comercial solúvel foi inferior ao biofertilizante BNPK. Almeida Júnior et al. (2011) também encontraram nas folhas de cana de açúcar maiores concentrações de N em tratamentos com menor produtividade de material vegetal, fato também devido ao efeito de concentração, apenas para o nitrogênio como foi verificado no presente trabalho.

Os resultados para P no ponteiro, nas folhas e no colmo da cana de açúcar estão apresentados na figura 2 (gráficos A, B e C). Observa-se que no ponteiro (figura 2A) o biofertilizante apresentou melhores resultados que o fertilizante comercial em todas as doses avaliadas. Também se obtiveram valores mais elevados de P na área em que houve aplicação de torta de filtro. Estes dados estão de acordo com Stamford et al. (2008) que encontraram

efeito significativo do biofertilizante de rochas inoculado com *Acidithiobacillus* no fornecimento de P na cultura da cana de açúcar. Almeida júnior et al. (2011) encontraram efeito significativo da torta de filtro nos teores de P da parte aérea, mesmo quando não houve aplicação de fertilizante fosfatado.

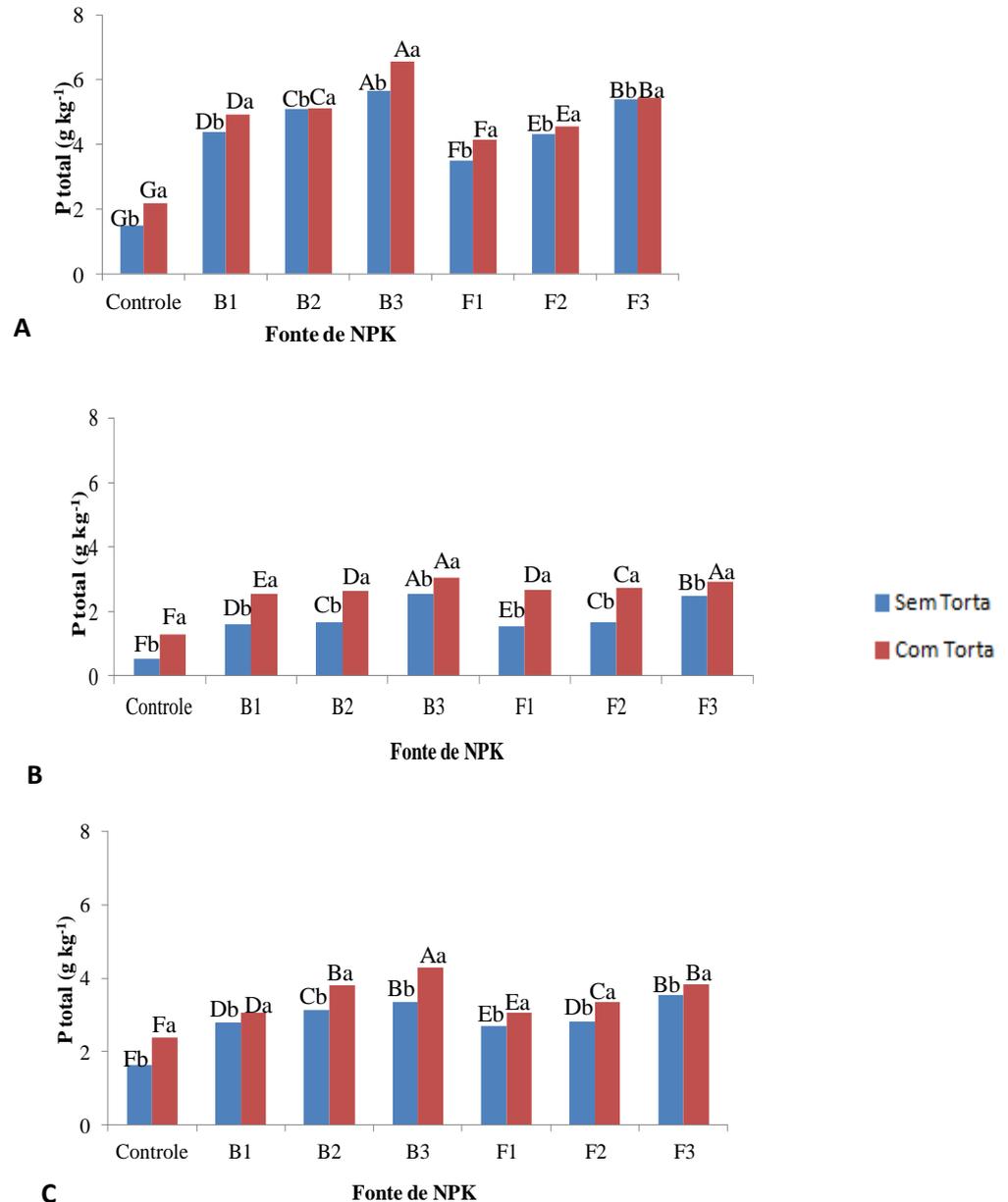


Figura 2. P-total ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro. Médias com a mesma letra não diferem entre si, com maiúsculas comparando os tratamentos de fertilização, e minúsculas as áreas com e sem torta no mesmo tratamento ($p \leq 0.05$), pelo teste de Tukey.

Nas folhas da cana de açúcar (Figura 2B) nota-se que a área com torta continua apresentando resultados mais expressivos de P e que o biofertilizante

na dose 150% da recomendação, não diferiu significativamente do fertilizante comercial solúvel aplicado na mesma dose na área com torta. Na área em que não houve aplicação de torta de filtro, as folhas das plantas adubadas com biofertilizante na dose 150% da recomendação apresentaram maior conteúdo de P em comparação com o fertilizante comercial solúvel aplicado na mesma dose.

Resultados semelhantes foram obtidos por Stamford et al. (2006) quando comparam biofertilizantes fosfatados com fertilizantes minerais e rocha fosfatada natural, em cana de açúcar em tabuleiro costeiro.

Com referência ao teor de fósforo (P) no colmo (Figura 2C), pode-se afirmar que na área com torta de filtro o biofertilizante na dose 150% da recomendação apresentou melhor resultado diferindo significativamente dos demais tratamentos de fertilização. Na área sem aplicação de torta de filtro o biofertilizante na dose 100% da recomendação apresentou melhores resultados que o fertilizante comercial na mesma dose.

Stamford et al. (2006) em solo de tabuleiro de Pernambuco com baixo P e K disponível, também verificaram efeito positivo de biofertilizantes com BP e BK, em comparação com fertilizantes minerais (SFT+KCl) e com rochas fosfatadas e potássicas moídas, na cultura da cana de açúcar. Resultados mais elevados no teor de P no colmo, também foram obtidos com aplicação tanto de biofertilizante quanto do fertilizante comercial solúvel, quando se aplicou torta de filtro. Os resultados estão de acordo com os obtidos por Almeida júnior et al. (2011) que também constataram maiores teores de P com aplicação de torta de filtro que proporcionou maior acúmulo de P na parte aérea de cana de açúcar em solo da Zona da Mata de Pernambuco.

Os resultados obtidos para potássio (K) no ponteiro, nas folhas e no colmo da cana de açúcar, com aplicação dos diferentes tratamentos de fertilização, com e sem aplicação de torta de filtro, podem ser visualizados na figura 3 (gráficos A, B e C).

Constata-se que o teor de K no ponteiro com aplicação de biofertilizante nas doses 100 e 150%, na área com torta de filtro, foram significativamente superiores ao fertilizante comercial nas mesmas doses (Figura 3A). Na presença de torta de filtro, o biofertilizante nas doses 100 e 150% apresentaram os melhores resultados de K no ponteiro da cana de açúcar. Na área sem torta de filtro também foram obtidos resultados mais expressivos do

biofertilizante na dose recomendada em comparação com o fertilizante comercial solúvel aplicado na mesma dose.

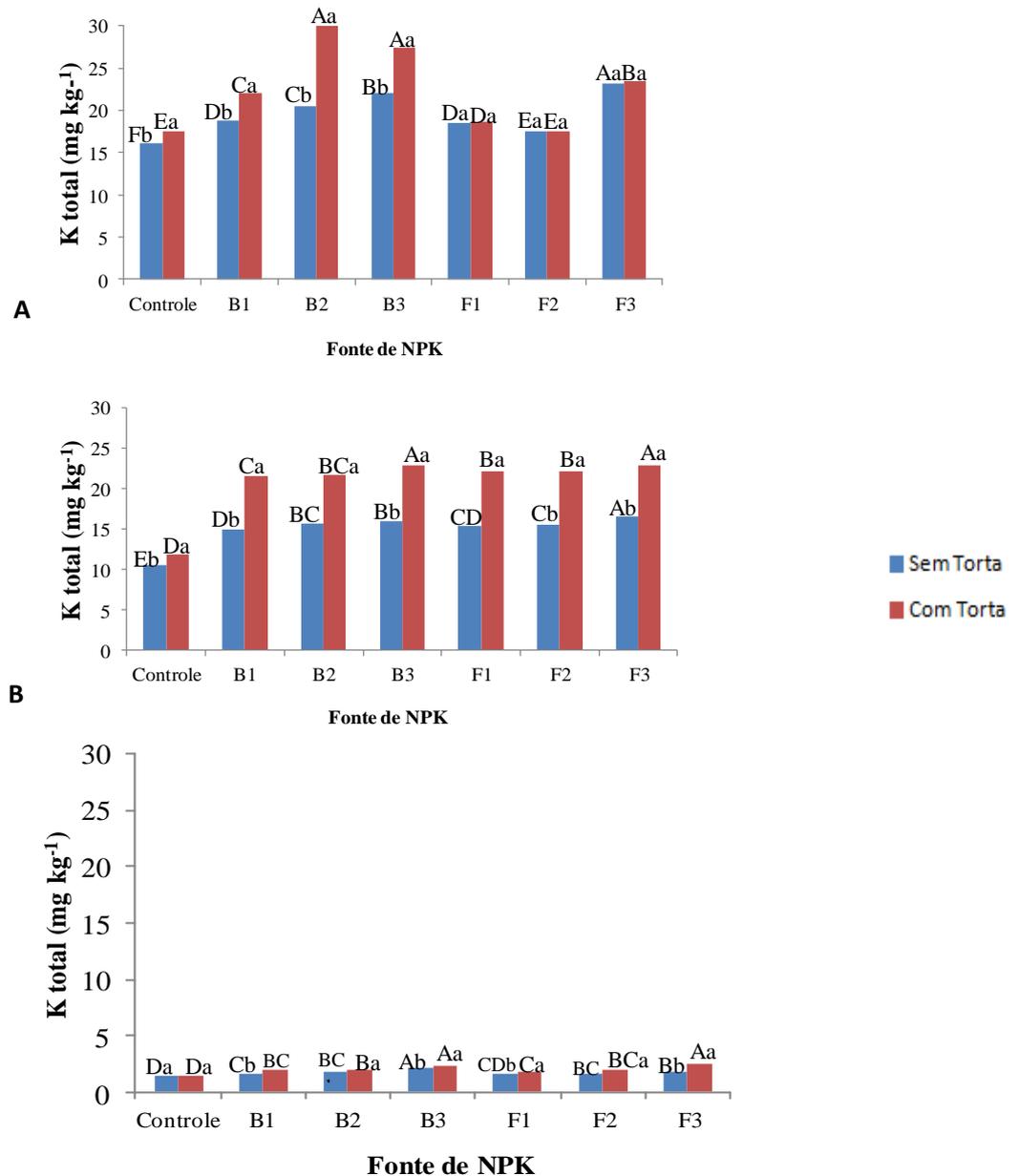


Figura 3. K total no ponteiro, nas folhas e colmos da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença e na ausência de torta de filtro. Médias com a mesma letra não diferem entre si, com maiúsculas comparando os tratamentos de fertilização, e minúsculas as áreas com e sem torta no mesmo tratamento ($p \leq 0.05$), pelo teste de Tukey

Resultados similares, constatando a eficiência do biofertilizante no fornecimento de K em comparação com o fertilizante comercial, foram obtidos por Stamford et al., (2006) em cana-de-açúcar, por Moura et al. (2007) em

melão e por Lima et al. (2007) em dois cultivos consecutivos com alface aplicando biofertilizante de rochas com P e K em condições de campo.

O teor de K nas folhas, quando aplicados biofertilizante e fertilizante comercial solúvel na dose 150% da recomendação, não diferiu entre si ($p \leq 0.05$) na área com torta de filtro (Figura 3B). Na área sem torta de filtro o teor de K nas folhas com aplicação do biofertilizante na dose recomendada foi superior ao fertilizante comercial quando usada a mesma dose. Moura et al. (2007) também encontraram maiores teores de K na parte aérea da planta quando aplicado biofertilizante de rochas em comparação com fertilizante comercial solúvel.

Resultados semelhantes quanto a eficiência do biofertilizante na disponibilização de K foram obtidos em outros experimentos de campo conduzidos por Stamford et al. (2011) com uva no vale do São Francisco. Stamford et al. (2006) também constataram maiores teores de K em cana de açúcar adubada com biofertilizantes de rochas em solos de tabuleiros costeiros da Zona da Mata de Pernambuco. Cultivando melão em solo do Vale do São Francisco Oliveira et al. (2011) também obtiveram resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho comparando a aplicação de biofertilizante de rochas com P e K e fertilizante comercial solúvel.

Com relação ao efeito da fertilização no teor de K no colmo da cana de açúcar (Figura 3C), verifica-se que na área com torta o biofertilizante e o fertilizante comercial solúvel na dose 150% do recomendado não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0.05$). Por outro lado, verifica-se que na área sem torta o biofertilizante na dose 150% do recomendado apresentou resultados mais expressivos comparando com os demais tratamentos. No colmo foram obtidos valores mais elevados no teor de K, na área com torta de filtro. Almeida júnior et al. (2011) também encontraram efeito positivo da torta de filtro na concentração de K na parte aérea da cana de açúcar.

Os resultados para teores de cálcio (Ca) no ponteiro, nas folhas e no colmo encontram-se na figura 4 (gráficos A, B e C).

No ponteiro houve resultados mais expressivos de Ca no tratamento com biofertilizante na dose 150% do recomendado, na área com aplicação de torta de filtro (Figura 4A).

Para os teores de Ca nas folhas, pode-se constatar que os tratamentos com biofertilizante nos níveis 100 e 150% da dose recomendada, apresentaram

os melhores resultados na área com torta de filtro (Figura 4B). Nas áreas com torta e sem torta de filtro, os tratamentos com biofertilizantes apresentaram valores superiores no teor de Ca, com tendência de melhores resultados na presença de torta de filtro.

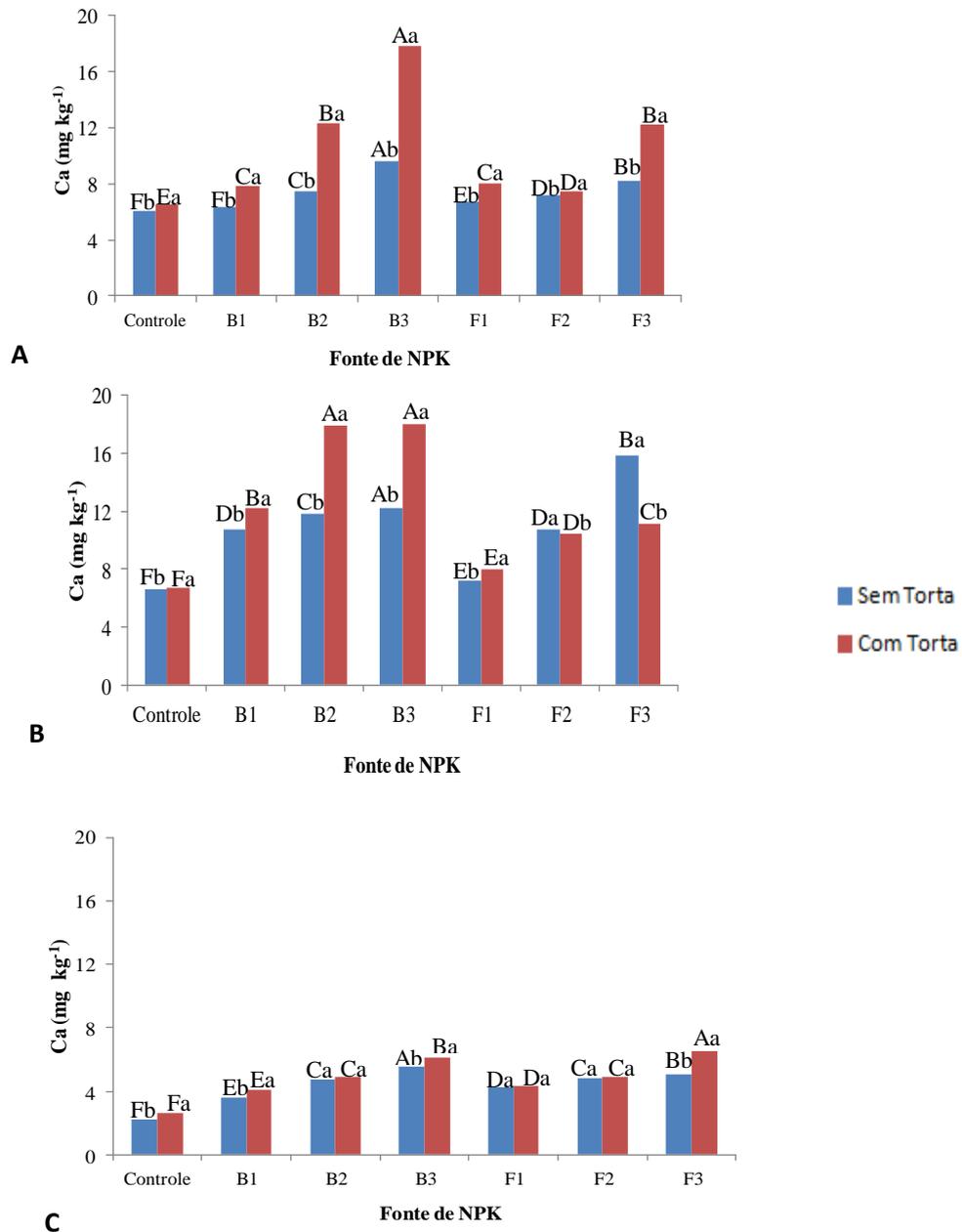


Figura 4. Ca total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro. Médias com a mesma letra não diferem entre si, com maiúsculas comparando os tratamentos de fertilização, e minúsculas as áreas com e sem torta no mesmo tratamento ($p \leq 0.05$), pelo teste de Tukey

O efeito com incremento do teor de Ca^{+2} provavelmente foi devido à disponibilização do elemento, por atuação da bactéria do gênero

Acidithiobacillus no fosfato natural utilizado na elaboração do biofertilizante de rochas. Resultados semelhantes foram encontrados por Moura (2007), Stamford et al. (2006) e Stamford et al. (2011) utilizando o mesmo biofertilizante em diferentes culturas. Nardin (2007) encontraram efeito significativo da torta de filtro na elevação dos níveis de Ca disponível no solo.

Na área sem torta de filtro, verifica-se que o biofertilizante na dose recomendada apresentou melhor resultado que o fertilizante comercial neste mesmo nível. Os dados indicam maior eficiência do biofertilizante frente ao fertilizante comercial solúvel em disponibilizar Ca para a cultura. Resultados similares foram encontrados por Stamford et al. (2006) avaliando o efeito da aplicação de biofertilizantes na cana de açúcar cultivada em solos de tabuleiros costeiros da Zona da Mata de Pernambuco.

No colmo, o biofertilizante na dose recomendada, nas duas áreas estudadas, apresentou resultado semelhante ao fertilizante comercial neste mesmo nível. Na área sem torta o biofertilizante na dose 150% do recomendado resultou em maior conteúdo de Ca no colmo (Figura 4C). Esses resultados possivelmente se devem ao potencial de fornecimento de Ca do biofertilizante, como mencionado anteriormente.

Os dados referentes aos teores de magnésio (Mg) presente no ponteiro, folhas e colmos da cana de açúcar com diferentes fontes e níveis de adubação, encontram-se na figura 5 (gráficos A, B e C).

No ponteiro a maior concentração de magnésio foi constatada na dose 100% do recomendado, na área com torta de filtro. Nas folhas, para área com torta de filtro, os maiores valores encontrados foram com aplicação do biofertilizante na dose 150% de recomendação, sendo obtidos teores mais elevados na área com aplicação de torta de filtro (Figura 5B). De acordo com Nunes Júnior (2008) a torta de filtro apresenta teores consideráveis de Mg, dentre outros nutrientes.

Quanto aos valores de Mg no colmo, pode-se afirmar que, para área sem aplicação de torta de filtro, o tratamento com biofertilizante no nível 2 (100% da dose recomendada) não diferiu do tratamento com fertilizante comercial solúvel (Figura 5C). Houve tendência de maiores valores de Mg no colmo na área com torta de filtro. Estes resultados estão de acordo com Nogueira et al. (2007) que também verificaram correlação positiva entre a aplicação de resíduos orgânicos e a maior concentração de Mg no colmo da

cana de açúcar. Costa e Beltrão (2010) também obtiveram aumentos significativos na concentração de magnésio disponível no solo, com adição do adubo orgânico.

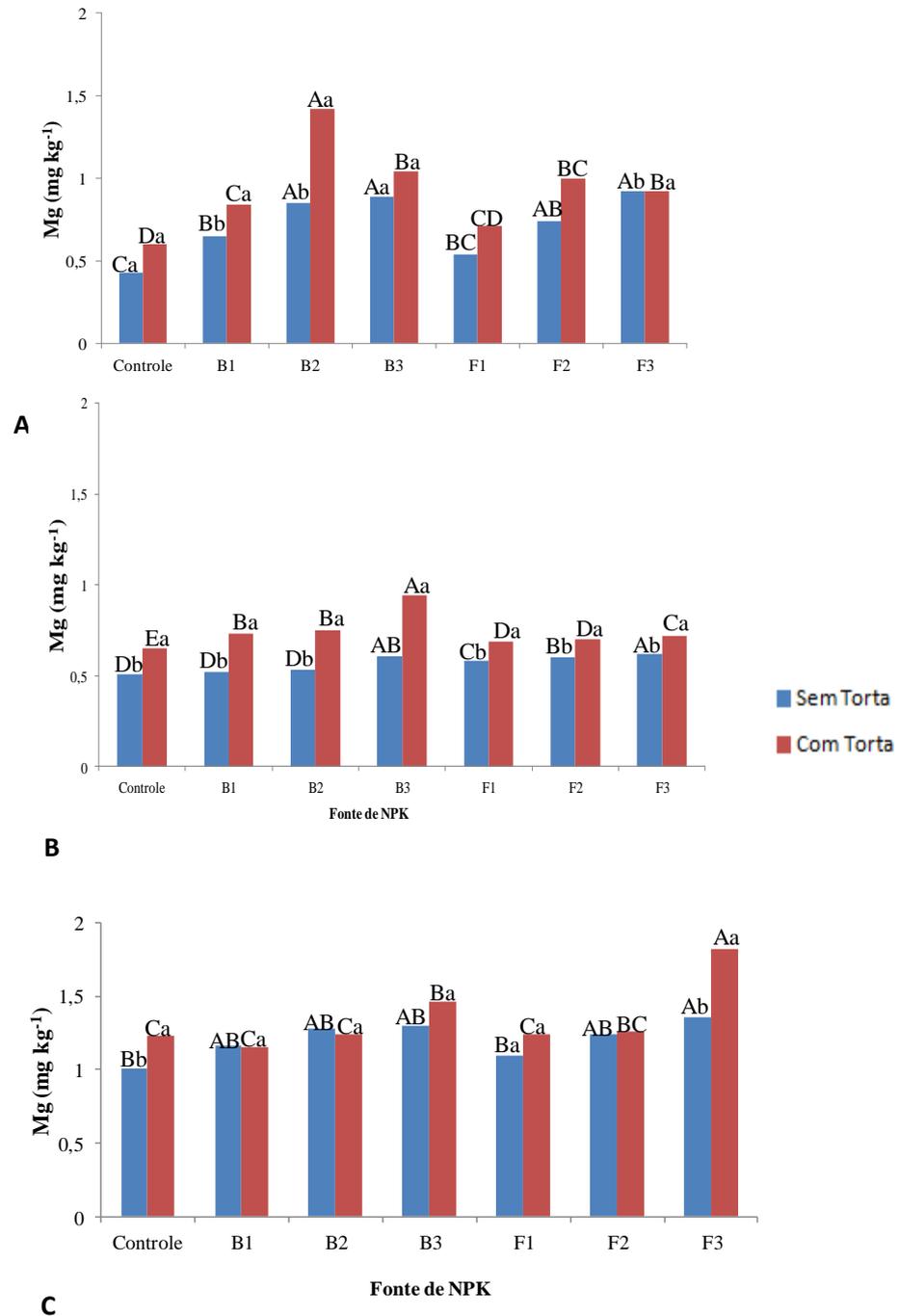


Figura 5. Mg total total no ponteiro (A), na folha (B) e no colmo (C) da cana de açúcar sob diferentes fontes de adubação, na presença ou ausência de torta de filtro. Médias com a mesma letra não diferem entre si, com maiúsculas comparando os tratamentos de fertilização, e minúsculas as áreas com e sem torta no mesmo tratamento ($p \leq 0.05$), pelo teste de Tukey

Conclusões

- A torta de filtro tem efeito significativo na disponibilidade N, P, K Ca e Mg para a cultura da cana de açúcar;
- O biofertilizante BNPK, de maneira geral, tem seu efeito potencializado pela aplicação de torta de filtro;
- O biofertilizante estudado mostrou resultados semelhantes ao fertilizante comercial solúvel no fornecimento N, P, K, Ca e Mg à cana de açúcar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE) e à Coordenação do Programa de Pós Graduação em Agronomia (Ciência do solo) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (PPGCS/UFRPE), pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

Referências

- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. de; NASCIMENTO, C. W. A. do; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V. da; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.10, p.1004–1013, 2011.
- COLETI, J. T.; CASA GRANDE, J. C.;STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA G.R. Remoção de macronutrientes pela cana planta e cana soca, em argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **Revista STAB**, v. 24, n. 05, p. 32-36, 2006.
- COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. de M. Avaliação do solo submetido a adubação com lixo orgânico e torta de mamona com a fenologia da mamoneira. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 4, p. 191-200, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes**/editor

técnico, Fábio Cesar da Silva. 2ª ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009, 627p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Estatística da produção agrícola. Disponível em:

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201203.pdf, acesso em 28 de maio de 2012.

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (2ª aproximação). 2.ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2008. 198p.

LIMA, F. S.; STAMFORD, N. P. ; SOUSA, C. S. ; LIRA JÚNIOR, M. A.; MALHEIROS, S. M. M. ; VAN STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in Nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 27, p. 1-7, 2010.

LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; LIRA JÚNIOR, M. A.; DIAS, S. H. Eficiência e efeito residual de biofertilizantes de rochas com PK e enxofre com *Acidithiobacillus* em alface. **Horticultura Brasileira**. 25: 402-407, 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980, 251p.

MALAVOLTA. E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p., 1997.

MOURA, P. M.; STAMFORD, N. P.; DUENHAS, L. H.; SANTOS, C. E. R. S.; NUNES, G. H. de S. Eficiência de biofertilizantes de rochas com *Acidithiobacillus* em melão, no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** Recife, v.2, n.1, p.1-7, 2007.

NARDIN, R. R. Torta de filtro aplicada em Argissolo e seus efeitos agronômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 39p. Dissertação Mestrado.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FONSECA, I. M.; FERREIRA, C. S.; SANTOS, S. E.; FERREIRA, L. C.; GOMES, E.; FERNANDES, L. A. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 331-338, 2007.

NUNES JÚNIOR, D. O insumo torta de filtro. **IDEA News**, Ribeirão Preto, 2005.

NUNES JÚNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, EMÍDIO CANTÍDIO ALMEIDA DE; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I. DE; ALEXANDRE; OLIVEIRA, C. DE; FREIRE, M. B. G. DOS S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agonômica Ceres, 1991, 343p.

SAS INSTITUTE. The SAS 9.2 software. **System for Windows**. CD – ROM for Windows. 2011.

ROESCH, L.F.; CAMARGO, F.; SELBACH, P.; SÁ, E.S.DE; PASSAGLIA, L. Identificação de cultivares de milho eficientes de nitrogênio e na associação com bactérias diazotróficas. *Ciência Rural*, v.35, p. 924-927, 2005.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS M. R.; SALGADO, L.T.; PUIATTI, M; VIDIGAL, S. M. Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 04, n. 04, p. 421-425, 2009.

STAMFORD, N. P. ; LIMA, R. A.; SANTOS, C. E. DE R. E S. ; DIAS, S.H.L. Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and nutrient uptake in a Brazilian soil. **Geomicrobiology Journal**, Elsevier - United Kingdom, v. 23, n. 5, p. 261-265, 2006.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; LIRA JUNIOR, M. A. ; SANTOS, C. E. R. S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugar

cane yield and their effects in soil chemical attributes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 2061-2066, 2008.

STAMFORD, N.P., ANDRADE, I.P., SILVA JUNIOR, S., SANTOS, C. E.R.S., LIRA JÚNIOR, M.A., FREITAS, A.D.S., STRAATEN, V. P. Nutrient uptake by grape in a Brazilian soil affected by rock biofertilizer. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.11, 1 - 9, 2011.

CAPÍTULO III

Biofertilizante misto com bactérias diazotróficas de vida livre em características químicas do solo cultivado com cana de açúcar

Biofertilizante misto com bactérias diazotróficas de vida livre em características químicas do solo cultivado com cana de açúcar

Resumo

A produtividade da cana de açúcar é incrementada pela utilização de fertilizantes solúveis, entretanto, o uso destes fertilizantes aumenta o custo de produção. Visando o aproveitamento de novas tecnologias, pesquisas para utilização de minerais de rochas na produção de biofertilizantes fosfatados e potássicos vêm mostrando comprovada eficiência em diferentes culturas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da aplicação de biofertilizante de rochas e matéria orgânica (húmus de minhoca) inoculada com bactéria diazotrófica de vida livre, nas características químicas de um solo cultivado com cana de açúcar. O experimento foi conduzido em duas áreas (com e sem torta de filtro) e em blocos casualizados, com quatro repetições. O trabalho foi realizado em área pertencente à Usina Santa Tereza, localizada no Município de Goiana, zona da mata norte de Pernambuco, nas coordenadas geográficas 07°33' S e 35°00' W a 13 m de altitude. Foi cultivada a variedade RB 92579 sendo usadas duas fontes de fertilização: (1) biofertilizante (BNPK) e (2) fertilizante comercial (FNPk), aplicadas em 3 doses (50, 100 e 150% da recomendação). O biofertilizante analisado apresentou equivalência com o fertilizante comercial no fornecimento de N, P e K ao mesmo tempo em que demonstrou maior capacidade de fornecimento de Ca e Mg ao solo, tendo a torta de filtro contribuído para elevação destes nutrientes em todos os tratamentos estudados.

Palavras chave: *Acidithiobacillus*, *Saccharum* spp, adubação, torta de filtro.

Biofertilizer mixed with free-living diazotrophs in soil chemical properties cultivated with sugar cane

Abstract

The sugarcane yield is increased by soluble fertilizers; however, their use increases the cost of production. In order to take advantage of new technologies studies with mineral rocks to produce P and K biofertilizers were undertaken and promote effectiveness in different cultures. The aim of this study was to evaluate the effects of biofertilizer produced with PK rocks and organic matter (earthworm compound) inoculated with free-living diazotrophic bacteria in some chemical characteristics of the soil after sugar cane cultivation. The experiment was conducted in two areas (with and without filter cake) and a randomized block design with four replications. The study was conducted in an area of the Santa Teresa sugarcane industry located in the district of Goiana, North Forest Zone of Pernambuco, Brazil, at the geographical coordinates 07 ° 33 'S and 35 ° 00' W to 13 m altitude. The sugarcane variety RB 92579 being used two sources of fertilization: Biofertilizer (NPKB) and Mineral Soluble Fertilizers (NPKF), applied in three rates (50; 100 and 150 % recommended rate – RR). The biofertilizer present similar results compared with the mineral soluble fertilizer to release N, P and K to the soil and at the same time demonstrate greater capability do furnish Ca e Mg to the soil. Besides, the filter cake contributed to increase the nutrient content in the soil especially when applied the biofertilizer.

Keywords: *Acidithiobacillus*, *Saccharum* spp, fertilization, filter cake.

Biofertilizante misto com bactérias diazotróficas de vida livre em características químicas do solo cultivado com cana de açúcar

Introdução

Estimativas realizadas pela União da Indústria de Cana de açúcar – UNICA apontam que apenas na região centro-sul do país serão processadas cerca de 509.000 toneladas de cana na safra 2012/2013 (UNICA, 2012).

Dentre os vários fatores envolvidos na produção da cana de açúcar que contribuem para a máxima eficiência de sua exploração econômica, encontram-se a adubação e a nutrição. A eficiência no incremento de produtividade será tanto maior quanto melhor os ajustes com relação a esses fatores específicos (VITTI E MAZZA, 2002).

A cana de açúcar, por possuir elevado conteúdo de massa, extrai do solo e acumula na planta grande quantidade de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2007), o que gera a necessidade de uma adequada reposição no solo, notadamente em ordem decrescente, dos seguintes elementos: $K > Ca > N > Mg > P$, de acordo com experimentos conduzidos por Oliveira al. (2010), que analisaram a extração de nutrientes em diferentes variedades de cana de açúcar.

A produtividade nos plantios de cana de açúcar atualmente ainda é incrementada pela utilização de fertilizantes solúveis, que, na maioria das vezes aumenta o custo de produção, e também pode promover riscos de contaminação ambiental (ROESCH et al., 2005). Na produção da cana de açúcar, os fertilizantes participam como um dos itens de maior elevação dos custos de produção, e, portanto, é de fundamental importância a realização de pesquisas visando a obtenção de fertilizantes alternativos, procurando manter a produtividade da cultura.

Visando o aproveitamento de novas tecnologias para obtenção de fertilizantes biológicos, aqui denominados de biofertilizantes, intensificaram-se as pesquisas para utilização de minerais de rochas na produção de biofertilizantes fosfatados e potássicos, que vem mostrando comprovada eficiência em diferentes culturas (MOURA et al., 2007; LIMA et al., 2007, STAMFORD et al., 2008; STAMFORD et al. 2011).

Nos sistemas agrícolas o potencial de algumas bactérias de vida livre tem sido demonstrado com adição de *Azotobacter* e *Beijerinckia*, por meio da inoculação de palhada ou outros resíduos ricos em carbono, incorporados ao solo, com obtenção de razoáveis taxas de fixação de nitrogênio (HILL e PATRIQUIN, 1996). Incremento superior a 100% no N total, após incubação de compostos orgânicos (húmus de minhoca) inoculados com bactérias diazotróficas de vida livre, foram obtidos por Lima et al. (2010), o que representa um significativo acréscimo do nutriente em resíduos orgânicos para uso na agricultura.

A pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de biofertilizante de rochas e matéria orgânica (húmus de minhoca) inoculada com bactéria diazotrófica de vida livre, nas características químicas de um Espodossolo Humilúvico Órtico com baixo nível de nutrientes, cultivado com cana de açúcar.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido em área pertencente à Usina Santa Tereza (Companhia agroindustrial de Goiana), localizada no Município de Goiana, zona da mata norte do Estado de Pernambuco, nas coordenadas geográficas 07°33' S e 35°00' W a 13 m de altitude. Foi cultivada a variedade RB 92579 de cana de açúcar utilizada pela Usina e recomendada pela Estação Experimental de Cana de açúcar do Carpina (EECAC/UFRPE).

Foi utilizada uma área com aplicação de torta de filtro em área total (60 t ha⁻¹) e outra sem aplicação de torta de filtro, estando estas áreas lado a lado e possuindo mesmas características de relevo e solo. O solo das duas áreas foi classificado como Espodossolo Humilúvico Órtico (EMBRAPA, 2006). A análise química e física do solo, de acordo com a metodologia da Embrapa (2009), na camada de 0 a 30 cm, antes da aplicação da torta e da instalação do experimento forneceu os seguintes resultados para a análise química: pH em água (1:2,5) = 6,0; Al = 0,1 (cmol_c dm⁻³); N total = 0,3 (g kg⁻¹); P disponível = 12 mg dm⁻³; cations trocáveis (cmol_c dm⁻³) - K = 0,05; Ca = 2,54; Mg = 0,94; CTC = 3,63 (cmol_c dm⁻³) e para a análise física: Densidade real = 2,65 g kg⁻¹; análise

granulométrica (g kg^{-1}); areia grossa = 740; areia fina = 210; silte = 10; argila = 40. Classe textural Areia.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições. Nas duas áreas (com e sem torta de filtro), foram usadas duas fontes: (1) Biofertilizante (BNPK) e (2) Fertilizante comercial (FNPK), aplicadas em 3 doses: BNPK no nível 1 (5000 kg ha^{-1}); BNPK no nível 2 (7500 kg ha^{-1}); BNPK no nível 3 (10000 kg ha^{-1}); FNPK no nível 1 (500 kg ha^{-1}); FNPK no nível 2 (750 kg ha^{-1}); FNPK no nível 3 (1000 kg ha^{-1}). Foi adicionado um tratamento controle com esterco de curral (20 t ha^{-1}), sem adicionar BNPK e FNPK.

O BNPK utilizado foi obtido a partir do biofertilizante de rochas (BPK) produzido com rocha fosfatada e com rocha potássica com adição de enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*, seguindo a metodologia descrita por Stamford et al. (2008). A produção da matéria orgânica enriquecida com em N pela inoculação com bactéria diazotrófica de vida livre (NFB 10001) seguindo a metodologia descrita por Lima et al. (2010). Após a obtenção do biofertilizante de rochas com P e K (BPK) e da matéria orgânica enriquecida em N foi feita a mistura obedecendo a proporção MO:BPK de 3:1. A análise do produto final (BNPK) foi a seguinte: pH – 6,0, N total - $20 \text{ (g kg}^{-1}\text{)}$; P disponível (Mehlich 1) – $15 \text{ (g kg}^{-1}\text{)}$; K disponível (Mehlich 1) $19 \text{ (g kg}^{-1}\text{)}$.

Para a produção do fertilizante comercial (FNPK) foi utilizado na mistura: sulfato de amônio (20% de N); superfosfato simples (20% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O). A quantidade a aplicar foi calculada de acordo com a análise do solo e a recomendação para cana de açúcar no estado de Pernambuco (IPA, 2008).

Na análise do solo, o nitrogênio total (N total) foi determinado por digestão sulfúrica utilizando-se o método Kjeldhal (semimicro); O pH em água foi aferido utilizando potenciômetro (modelo DM – 22); o fósforo (P) e o potássio (K) disponível foram extraídos por Mehlich-1, sendo o P determinado por colorimetria (espectrofotômetro digital Spectronic Genesys 2), e o K por fotometria de chama (Analyser, Modelo 910 MS); cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram analisados por titulometria. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia da Embrapa (2009).

Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SAS versão 9.2 do SAS Institute (2011). A ANOVA foi realizada por comparação das médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

Na tabela 1 estão dispostos os resultados de nitrogênio total, nitrato e amônio no solo, após 15 meses de cultivo com cana-de-açúcar, nas áreas com e sem aplicação de torta de filtro.

Tabela 1- Nitrogênio total, nitrato e amônio no solo, nos tratamentos com biofertilizante e fertilizante comercial, em áreas com e sem aplicação de torta de filtro, após 15 meses de instalação do experimento.

	Controle	B1	B2	B3	F1	F2	F3
N total (g kg⁻¹)							
Sem	0,65±0,01 ^{Ba}	0,81±0,03 ^{Bb}	0,94±0,02 ^{ABb}	1,05±0,01 ^{Ab}	0,84±0,02 ^{Bb}	1,05±0,03 ^{Aa}	1,09±0,05 ^{Aa}
Com	0,74±0,03 ^{Ca}	1,13±0,11 ^{Ba}	1,28±0,01 ^{ABa}	1,31±0,07 ^{Aa}	1,18±0,05 ^{ABa}	1,18±0,08 ^{ABa}	1,22±0,03 ^{ABa}
Nitrato disponível no solo (mg kg⁻¹)							
Sem	4,48±0,5 ^{Bb}	5,92±0,1 ^{Aa}	5,96±0,1 ^{Ab}	6,03±0,04 ^{Ab}	5,98±0,1 ^{Aa}	6,05±0,3 ^{Ab}	6,55±0,5 ^{Ab}
Com	5,41±0,4 ^{Da}	6,44±0,5 ^{Ca}	7,68±0,4 ^{ABa}	8,32±0,1 ^{ABa}	6,72±0,4 ^{BCa}	7,47±0,4 ^{Ba}	8,55±0,5 ^{Aa}
Amônio disponível no solo (mg kg⁻¹)							
Sem	9,68±0,4 ^{Da}	10,80±0,4 ^{Cb}	13,61±0,5 ^{Aa}	14,07±0,7 ^{Ab}	11,70±0,3 ^{BCb}	12,12±0,1 ^{Bb}	12,47±0,6 ^{Bb}
Com	10,38±0,3 ^{Da}	12,92±0,7 ^{Ca}	14,28±0,4 ^{Ba}	16,50±0,4 ^{Aa}	14,45±0,3 ^{Ba}	14,68±0,3 ^{Ba}	15,84±0,5 ^{Aa}

¹B1-Biofertilizante (50 DR); B2-Biofertilizante (100 DR); B-3 Biofertilizante (150 DR); F1-Fertilizante (50 DR); F2- Fertilizante (100 DR); F3- Fertilizante (150 DR).

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No que diz respeito ao N-total, observa-se que os valores aumentaram consideravelmente em relação ao valor inicialmente encontrado no solo, antes da instalação do experimento. Nota-se ainda que quanto ao N-total, os valores diferiram estatisticamente, entre as áreas com e sem torta, havendo tendência de maiores os valores na área com torta independente da adubação aplicada (biofertilizante ou fertilizante comercial), estando este resultado de acordo com Santos et al. (2010) que afirmam que a torta e filtro é um composto orgânico rico em nitrogênio, dentre outros nutrientes. Nunes Júnior (2008), também relatam que a torta de filtro apresenta em sua composição química altos teores de matéria orgânica e fósforo, sendo, também, rica em nitrogênio e cálcio.

Os teores de fósforo (P) encontrados no solo após 15 meses de instalação do experimento encontram-se dispostos na tabela 2.

Tabela 2 – Fósforo disponível no solo após 15 meses de instalação do experimento.

	Controle	B1	B2	B3	F1	F2	F3
	P-disponível (mg.kg⁻¹)						
Sem	31,40±0,4 ^{Db}	40,52±0,2 ^{Bb}	47,40±0,6 ^{Ab}	47,55±0,4 ^{Ab}	38,77±0,5 ^{Cb}	47,32±0,3 ^{Ab}	47,97±0,3 ^{Ab}
Com	34,47±0,4 ^{Da}	49,80±0,5 ^{Ca}	59,55±0,5 ^{Ba}	60,27±0,7 ^{ABa}	58,77±0,9 ^{Ba}	58,97±0,6 ^{Ba}	60,98±0,6 ^{Aa}

B1-Biofertilizante (50 DR); B2-Biofertilizante (100 DR); B3 Biofertilizante (150 DR); F1-Fertilizante (50 DR); F2- Fertilizante (100 DR); F3- Fertilizante (150 DR). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para os teores de fósforo disponível no solo observa-se que os valores, de maneira geral, foram estatisticamente superiores na área em que houve aplicação de torta de filtro. Este resultado está de acordo com Nunes Júnior (2008), que afirma que a torta de filtro é um composto altamente rico em fósforo, sendo de origem orgânica o fósforo presente neste material, o que faz com que o nutriente seja liberado de forma gradativa por mineralização e ataque de micro-organismos.

Ainda, com base na tabela 3, pode-se afirmar que não houve diferença estatística entre o biofertilizante no nível 150% da dose recomendada e o fertilizante comercial no nível 100 e 150% da dose recomendada para área sem aplicação de torta de filtro. Isto demonstra que mesmo na ausência da torta de filtro, o biofertilizante torna-se equivalente ao fertilizante comercial no fornecimento de fósforo a cultura. Na área com torta de filtro os teores de fósforo disponível no tratamento com biofertilizante no nível 100% da dose recomendada foi estatisticamente semelhante ao fertilizante comercial neste mesmo nível.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Lima et al. (2007) que afirmam que o biofertilizante de rochas com *Acidithiobacillus*, em mistura com vermicomposto de minhoca, podem ser aplicados como fonte alternativa

para fornecimento de fósforo em substituição a fertilizantes minerais solúveis.

Na tabela 3 encontram-se os valores de potássio disponível no solo para as áreas com e sem torta de filtro e de acordo com os tratamentos analisados.

Tabela 3 – Teores de potássio disponível no solo de acordo com o tratamento analisado

	Controle	B1	B2	B3	F1	F2	F3
K disponível no solo (cmol_c dm⁻³)							
Sem	0,44±0,01 ^{Eb}	0,48±0,01 ^{DEb}	0,50±0,01 ^{Db}	0,53±0,01 ^{Cb}	0,46±0,01 ^{Eb}	0,56±0,01 ^{Bb}	0,64±0,01 ^{Ab}
Com	0,62±0,01 ^{Da}	0,66±0,01 ^{Ca}	0,67±0,01 ^{BCa}	0,72±0,004 ^{Aa}	0,65±0,01 ^{Ca}	0,66±0,02 ^{BCa}	0,67±0,01 ^{Ba}

B1-Biofertilizante (50 DR); B2-Biofertilizante (100 DR); B3-Biofertilizante (150 DR); F1-Fertilizante (50 DR); F2- Fertilizante (100 DR); F3- Fertilizante (150 DR).

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Quanto ao potássio disponível no solo, com base nos dados contidos na tabela 4, constata-se tendência de valores mais elevados na área com torta de filtro. De acordo com Santos et al. (2010) a torta de filtro é um composto orgânico também rico em potássio, variando sua composição de acordo com a variedade da cana e sua maturação. Também se observa que, na área com aplicação de torta de filtro, o tratamento com biofertilizante na dose 150% da dose recomendada apresentou teores de potássio disponíveis estatisticamente superiores ao tratamento com fertilizante comercial nesta mesma dose. O melhor desempenho do biofertilizante em relação ao fertilizante comercial no fornecimento de potássio na confirmam os resultados obtidos por Stamford et al. (2011), que sugeriram que o biofertilizante de rocha com *Acidithiobacillus* pode ser utilizado para fornecer potássio em níveis satisfatórios.

No que se refere aos teores de cálcio e magnésio disponíveis no solo, com base na tabela 4, pode-se constatar que houve tendência, para os dois nutrientes, de maiores valores na área em que ocorreu aplicação de torta de filtro. Este resultado é perfeitamente compreensível, visto que, segundo Ferreira et al. (1986) a torta de filtro apresenta, em porcentagem da matéria seca, cerca de 5,46 de CaO e 0,15 a 0,56 de MgO.

Tabela 4 – Valores de cálcio e magnésio disponíveis no solo de acordo com o tratamento analisado

	Controle	B1	B2	B3	F1	F2	F3
Ca no solo (cmol_c dm⁻³)							
Sem	1,07±0,1 ^{Db}	1,37±0,1 ^{BCb}	1,57±0,2 ^{ABb}	1,62±0,1 ^{Ab}	1,27±0,1 ^{Cb}	1,47±0,1 ^{Bb}	1,50±0 ^{ABb}
Com	1,42±0,1 ^{Ca}	1,75±0,1 ^{ABa}	1,77±0,1 ^{ABa}	1,87±0,1 ^{Aa}	1,57±0,1 ^{Ba}	1,62±0,1 ^{Ba}	1,65±0,1 ^{Ba}
Mg no solo (cmol_c dm⁻³)							
Sem	0,55±0,1 ^{Db}	0,95±0,1 ^{ABb}	1,00±0 ^{ABb}	1,05±0,1 ^{Ab}	0,77±0,1 ^{Cb}	0,72±0,1 ^{Cb}	0,90±0 ^{Bb}
Com	0,67±0,1 ^{Ea}	1,27±0,1 ^{Ca}	1,72±0,1 ^{ABa}	1,82±0,1 ^{Aa}	0,92±0,1 ^{Da}	1,67±0,1 ^{Ba}	1,77±0,1 ^{ABa}

B1-Biofertilizante (50 DR); B2-Biofertilizante (100 DR); B3- Biofertilizante (150 DR); F1- Fertilizante (50 DR); F2- Fertilizante (100 DR); F3- Fertilizante (150 DR).

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Verifica-se que, para cálcio e magnésio, os tratamentos com biofertilizantes apresentaram valores superiores ao tratamento com fertilizante comercial na dose recomendada, diferindo estatisticamente em relação aos dois elementos, tanto na área com torta quanto na área sem aplicação de torta de filtro. Estes resultados estão de acordo com Stamford et al. (2011) que também obtiveram altas taxas de liberação de cálcio e magnésio quando aplicaram o biofertilizante de rochas com *Acidithiobacillus* no solo.

O pH do solo, de acordo com o tratamento aplicado, pode ser visualizado na tabela 5, na qual se pode verificar uma tendência de maiores valores na área com aplicação de torta de filtro em relação a área sem torta de filtro, havendo inclusive diferença estatística entre os valores apresentados para estas áreas quando aplicou-se o biofertilizante.

Os resultados obtidos no presente estudo estão de acordo com os obtidos por Pires et al. (2008), que pesquisando a aplicação de adubos alternativos nas características químicas e físicas do solo, verificaram que os tratamentos com torta de filtro apresentaram valores mais elevados de pH. Vale salientar, também, que houve pouca variação de pH entre os valores apresentados após a instalação do experimento e àqueles apresentados pelo solo antes da instalação do experimento. Isto corrobora com Lima et al. (2007), que afirmam que os biofertilizantes de rochas com fósforo e com potássio além

de enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*, em mistura com vermicomposto de minhoca, podem ser aplicados como fonte alternativa em substituição a fertilizantes minerais solúveis, sem afetar o pH do solo e a produtividade da cultura.

Tabela 5 – pH do solo de acordo com os tratamentos de fertilização

	Controle	B1	B2	B3	F1	F2	F3
	pH (H₂O)						
Sem	6,21±0,01 ^{ABa}	5,95±0,1 ^{Bb}	5,90±0,4 ^{Bb}	5,89±0,1 ^{Bb}	6,31±0,03 ^{Aa}	6,15±0,04 ^{ABa}	6,08±0,1 ^{ABa}
Com	6,44±0,04 ^{ABa}	6,60±0,1 ^{Aa}	6,38±0,03 ^{ABa}	6,24±0,1 ^{BCa}	6,43±0,01 ^{ABa}	6,27±0,03 ^{Ba}	5,98±0,1 ^{Ca}

¹B1-Biofertilizante (50 DR); B2-Biofertilizante (100 DR); B-3 Biofertilizante (150 DR); F1-Fertilizante (50 DR); F2- Fertilizante (100 DR); F3- Fertilizante (150 DR).

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. C.V. (%) = 1,75.

Conclusões

- O biofertilizante de rochas inoculado com *Acidithiobacillus* em mistura com vermicomposto de minhoca e bactéria diazotrófica de vida livre mostrou equivalência ao fertilizante comercial no que se refere ao fornecimento nitrogênio, fósforo e potássio ao solo nas condições experimentais testadas;
- A torta de filtro contribuiu para a elevação dos níveis de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nos tratamentos com biofertilizante e fertilizante comercial;
- A aplicação do biofertilizante testado não se configurou em alterações significativas sobre o pH do solo;
- O biofertilizante apresentou maior capacidade de fornecimento de cálcio e magnésio ao solo.
- O biofertilizante testado demonstrou ser uma alternativa promissora na redução da aplicação de fertilizantes comerciais solúveis na cultura de cana-de-açúcar.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Usina Santa Tereza pela disponibilização da área de estudo e à Coordenação do Programa de Pós Graduação em Agronomia (Ciência do solo) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (PPGCS/UFRPE), pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

Referências Bibliográficas

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. **Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar**. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1986, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 321-331.

HILL, N.M.; PATRIQUIN, D.G. Maximizing N₂ fixation in sugarcane litter. p.59-60. In: International Symposium on Sustainable Agriculture for the Tropics - the Role of Biological Nitrogen Fixation, Programme and Abstracts. Seropédica, EMBRAPACNPAB, 1995.

IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (2ª aproximação)**. 2.ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2008. 198p.

LIMA, F. S.; STAMFORD, N. P.; SOUSA, C. S.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MALHEIROS, S. M. M.; VAN STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in Nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, p. 1-7, 2010.

LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; LIRA JÚNIOR, M. A.; DIAS, S. H. Eficiência e efeito residual de biofertilizantes de rochas com PK e enxofre com *Acidithiobacillus* em alface. **Horticultura Brasileira**. 25: 402-407, 2007.

MOURA, P. M.; STAMFORD, N. P.; DUENHAS, L. H.; SANTOS, C. E. R. S.; NUNES, G. H. de S. Eficiência de biofertilizantes de rochas com *Acidithiobacillus* em melão, no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias Recife**, v.2, n.1, p.1-7, 2007.

NUNES JÚNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I. de; FREIRE, M. B. G. dos S.; SIMÕES NETO, D. E.; Silva, S. A. M. da. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana de açúcar. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.30-43, 2007.

PIRES, A. A.; MONNERAT, P. H.; MARCIANO, C. R.; PINHO, L. G. da R.; ZAMPIROLI, P. D.; ROSA, R. C. C.; MUNIZ, R. A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1997-2005, 2008.

ROESCH, L. F.; CAMARGO, F.; SELBACH, P.; SÁ, E. S. DE; PASSAGLIA, L.; Identificação de cultivares de milho eficientes na absorção de nitrogênio e na associação com bactérias diazotróficas. **Ciência Rural**, v35, n.4, p.924-927, 2005.

SAS INSTITUTE. The SAS 9.2 software. **System for Windows**. CD – ROM for Windows. 2011.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.454-461, 2010.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; LIRA JUNIOR, M. A. ; SANTOS, C. E. R. S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugar

cane yield and their effects in soil chemical attributes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 2061-2066, 2008.

STAMFORD, N. P., ANDRADE, I. P., SILVA JUNIOR, S., SANTOS, C. E. R. S., LIRA JÚNIOR, M.A., FREITAS, A. D. S., STRAATEN, V. P. Nutrient uptake by grape in a Brazilian soil affected by rock biofertilizer. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.11, 79 - 88, 2011.

UNICA – União das indústrias de cana de açúcar. Notícias. Disponível em: www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=72 acesso em 03/08/2012.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, n. 97, 2002. 16 p. (POTAFOS. Encarte Técnico).

Conclusões Gerais

- A aplicação da torta de filtro em fundação resulta em melhores resultados para altura de plantas, diâmetro de colmo, matéria seca da parte aérea, produtividade e características tecnológicas da cana de açúcar.
- A torta de filtro possibilitou maior disponibilidade de N, P, K Ca e Mg para a cultura da cana de açúcar, além de potencializar o efeito do Biofertilizante analisado;
- O Biofertilizante (BNPK) não alterou as condições de pH do solo, bem como, mostrou equivalência ao fertilizante comercial no que se refere ao fornecimento nitrogênio, fósforo e potássio ao solo nas condições experimentais testadas;
- Constatou-se níveis de N, P, K, Ca e Mg semelhantes entre as plantas de cana de açúcar adubadas com o biofertilizante misto e aquelas que receberam fertilizante comercial solúvel;
- O biofertilizante misto obtido de rocha fosfatada e de rocha potássica em mistura com matéria orgânica e bactéria diazotrófica de vida livre (BNPK) pode ser usado como alternativa aos fertilizantes comerciais solúveis na adubação da cana de açúcar;