



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA: PRODUÇÃO VEGETAL



PAULO RICARDO APRÍGIO CLEMENTE

TESE DE DOUTORADO

**APLICAÇÃO DE ESCÓRIA SIDERÚRGICA E GESSO NO PLANTIO DE CANA-DE-
AÇÚCAR: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE EM QUATRO CICLOS**

RIO LARGO, AL

2018

PAULO RICARDO APRÍGIO CLEMENTE

**APLICAÇÃO DE ESCÓRIA SIDERÚRGICA E GESSO NO PLANTIO DE CANA-DE-
AÇÚCAR: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE EM QUATRO CICLOS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Lauricio Endres

Co-orientador: Dr. Nelson Geraldo de Oliveira

RIO LARGO, AL

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

C626a Clemente, Paulo Ricardo Aprígio

Aplicação de escórias siderúrgica e gesso no plantio de cana-de-açúcar: crescimento e produtividade em quatro ciclos. Rio Largo-AL – 2018.
63 f.; il; 33 cm

Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

Orientador(a): Prof. Dr. Laurício Endres
Co-Orientador(es): Prof. Dr. Nelson Geraldo de Oliveira

1. Cana-de-açúcar. 2. Fenologia 3. Qualidade tecnológica
Saccharum spp. 4. Silício. I. Título.

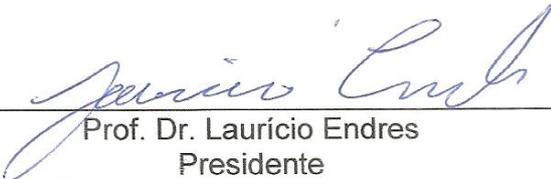
CDU: 633.61

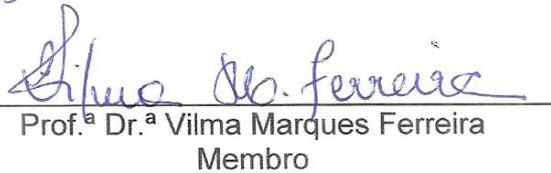
TERMO DE APROVAÇÃO

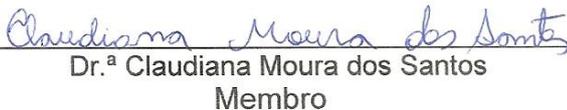
PAULO RICARDO APRÍGIO CLEMENTE
(Matrícula 15140056)

“Aplicação de escória siderúrgica e gesso no plantio de cana-de-açúcar: crescimento e produtividade em quatro ciclos de cultivo”

Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em trinta e um de julho de 2018, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.


Prof. Dr. Laurício Endres
Presidente


Prof.ª Dr.ª Vilma Marques Ferreira
Membro


Dr.ª Claudiana Moura dos Santos
Membro


Dr. Sebastião de Oliveira Maia Júnior
Membro

Rio Largo - AL
Julho-2018

Aos meus pais José Paulo Clemente e Irani Aprígio Clemente, ao meu irmão Pablo Irvyng Aprígio Clemente, a minha companheira Sacha Natalia Houly Simões Silva e a minha amada filha Sophia Houly Clemente

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela vida, por estar sempre no meu caminho, iluminando e guiando às escolhas certas.

Aos meus pais: José Paulo Clemente e Irani Aprígio Clemente, que foram à base de tudo para mim, apoiando-me nos momentos difíceis com força, confiança, amor, ensinando-me a persistir nos meus objetivos e ajudando a alcançá-los.

Ao meu irmão Pablo Irvyng Aprígio Clemente, agradeço pela companhia, carinho, conselhos e incentivos a sempre buscar com força e dedicação os meus objetivos.

A minha companheira Sacha Natália Houly Simões Silva, por seu amor, compreensão e apoio dado durante todo esse período.

Aos meus amigos e colegas de graduação em especial à: Vinicius Santos Gomes da Silva, Yolanda de Melo de Oliveira, Rivan Júnior Estrela Pinto e Luiz Eduardo Rocha e Silva.

Aos meus amigos e colegas da pós-graduação, especialmente: Vinicius, Laís, Adriano, Joelmir, Renato, Kleyton, Jonhelecio, Felipe, Gleice, Manoel, Henrique, Anderson, Erika, Sebastião e Jônatas.

Ao Centro de Ciências Agrárias, especialmente ao programa de pós-graduação em Agronomia, coordenado pelo Dr. Iêdo Teodoro, ao qual tenho grande admiração.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia do CECA/UFAL, em especial aos professores: Paulo Vanderlei, Vilma Marques, Mauro Wagner, Gilson Moura, Renan Cantalice, Stoécio Malta, Geraldo Veríssimo, José Vieira e Lauricio Endres.

A família formada no Laboratório Fisiologia Vegetal: prof. Vieira, Pós-doc Claudiana, técnica do laboratório Isabela Cardoso, Polyana, Diliiani, Sebastião, Jônatas, João, Ivanildo, Vicente, Karolyne, Julhyanne Christiny, July Moura, Andrea, André, Adenilton, Rafael, Joyce, Japa, Elenilton e Alex por toda ajuda, companheirismo e amizade.

E não poderia faltar um agradecimento mais que especial ao meu orientador, professor e amigo Dr. Lauricio Endres pelos ensinamentos, as cobranças, exigências, dinamismo, confiança e por acreditar em meu potencial.

Enfim a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o sucesso deste trabalho

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”

(Marthin Luther King)

RESUMO

A cana-de-açúcar é considerada muito importante no agronegócio brasileiro, porém suas características de crescimento e qualidade são limitadas pela precipitação pluvial irregular durante o cultivo e pela acidez do solo atrelada a concentrações altas de Al^{+3} nas principais zonas produtoras do país. A escória de siderurgia e gesso são alternativas que minimizam essas limitações do ambiente de cultivo. Dessa maneira, objetivou-se avaliar o efeito da escória de siderurgia e o gesso no plantio de cana-de-açúcar sobre a morfologia, produtividade e contribuição agrícola ao longo de quatro ciclos de cultivo. Para isso, fez-se um estudo á campo com a variedade RB92579 durante quatro ciclos de cultivo empregando delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de quatro doses de escória de siderurgia (0, 4, 8 e 16 t ha⁻¹) e quatro doses de gesso (0, 3, 6 e 12 t ha⁻¹). A parcela foi constituída de cinco linhas de 10 m de comprimento com espaçamento de 1 m entre linhas. A altura da cana-de-açúcar foi maior na interação entre a escória de siderurgia e o primeiro ciclo de cultivo. As doses de escória siderúrgica e gesso promoveram aumentos significativos no número de colmos industrializáveis. As produtividades do colmo e de açúcar aumentaram em função das doses crescentes da escória de siderurgia e gesso durante os quatro ciclos. A análise tecnológica não foi influenciada pela aplicação de escória siderúrgica e o gesso, porém os ciclos de cultivo promoveram efeito quadrático para °brix e pureza e aumentou linearmente o teor de fibra ao longo dos quatro ciclos. A escória siderúrgica e gesso elevaram a margem de contribuição agrícola, sendo esta mais expressiva nas doses máximas de 16 e 12 t ha⁻¹ com incrementos de 770,00 e 637,00 reais ha⁻¹, respectivamente. No último ano de colheita, o sistema radicular apresentou densidade de raiz ao longo do perfil mais uniforme com aplicação de gesso e combinação escória+gesso, principalmente na camada de 20-60 cm de profundidade, sendo portanto importantes insumos agrícolas a serem aplicados no momento do plantio da cana-de-açúcar, promovendo efeitos residuais.

Palavras-chave: Fenologia. Qualidade tecnológica *Saccharum* spp. Silício.

ABSTRAT

Sugarcane is considered very important in Brazilian agribusiness, but its growth and quality characteristics are limited by irregular rainfall during cultivation and soil acidity coupled with high concentrations of Al^{+3} in the main producing areas of the country. Steel and gypsum slag are alternatives that minimize these limitations of the growing environment. The objective of this study was to evaluate the effect of metallurgic slag and gypsum on sugarcane planting on morphology, productivity and agricultural contribution over four crop cycles. For this, a field study with the variety RB92579 was carried out during four crop cycles using a randomized block design in a 4x4 factorial scheme, with four replications. The treatments were composed of a combination of four doses of metallurgic slag (0, 4, 8 and 16 t ha⁻¹) and four doses of gypsum (0, 3, 6 and 12 t ha⁻¹). The plot consisted of five lines of 10 m in length with spacing of 1 m between rows. The height of the sugarcane was higher in the interaction between the metallurgic slag and the first crop cycle. The doses of steel slag and gypsum promoted significant increases in the number of industrializable stalks. High and sugar yields increased as a result of increasing doses of metallurgic slag and gypsum during the four cycles. The technological analysis was not influenced by the application of metallurgic slag and gypsum, but the cultivation cycles promoted quadratic effect for °brix and purity and linearly increased the fiber content over the four cycles. Metallurgic slag and gypsum increased the agricultural contribution margin, which was more significant at the maximum doses of 16 and 12 t ha⁻¹, with increases of 189.65 and 156.89 dollars ha⁻¹, respectively. In the last year of harvest, the root system showed root density along the more uniform profile with gypsum and slag + gypsum, mainly in the 20-60 cm layer, and therefore important agricultural inputs to be applied at the moment of sugarcane, promoting residual effects.

Keyword: Water stress. Phenology. *Saccharum* spp. Silicon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estágios fenológicos da cana-de-açúcar. Fonte: Gascho e Shih (1983).....	26
Figura 2. Precipitação pluviométrica média do período experimental (São Luís do Quitunde, AL, 2012-2016).	28
Figura 3. Aplicação dos tratamentos na área experimental, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2012	30
Figura 4. Colheita da área experimental, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2012	32
Figura 5. Altura da planta em função da interação entre a escória de siderurgia e ciclos da cana-de-açúcar.	35
Figura 6. Número de colmos industrializáveis de cana-de-açúcar em função da escória de siderurgia (A) e gesso (B) durante quatro ciclos de cultivo.....	36
Figura 7. Diâmetro do colmo (A) e Número de colmos industrializáveis (B) de cana-de-açúcar em função dos quatros ciclos de cultivo.	36
Figura 8. Densidade de raízes em função das profundidades no último ano de experimento, 2017.	38
Figura 9. Distribuição de raízes ao longo do perfil no último ano de experimento, 2017.	39
Figura 10. Produtividade de colmos em função da interação entre a escória de siderurgia e ciclos da cana-de-açúcar (A) e de gesso durante quatro ciclos de cultivo (B).	40
Figura 11. Produtividade do açúcar (TPH) em função da escória de siderurgia (A) e gesso (B).....	40
Figura 12. Produtividade do açúcar (TPH) em função do ciclo de cultivo.	41
Figura 13. Brix (A), Pureza (B) e Fibra (C) em função dos quatros ciclos de cultivo.	43
Figura 14. Açúcares totais recuperáveis (ATR) em função da interação entre a escória de siderurgia e ciclos de cultivo da cana-de-açúcar.....	44
Figura 15. Margem de contribuição agrícola (MCA) em função da escória de siderurgia (A), gesso (B) e ciclo de cultivo (C).	45
Figura 16. Margem de contribuição agrícola (MCA) em função da escória de siderurgia (A) e gesso (B).	46
Figura 17. Margem de contribuição agrícola (MCA) em função dos ciclos de cultivo.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo.	29
Tabela 2 - Caracterização química e física da escória siderúrgica. PN: poder de neutralização; RE: reatividade; PRNT: poder relativo de neutralização total.	30
Tabela 3 - Quadrados médios da análise de variância para altura da planta (ALT), diâmetro do colmo e nº de colmos industrializáveis (Nº de colmos) de cana-de-açúcar de quatro ciclos de cultivo.	34
Tabela 4 - Quadrados médios da análise de variância para Densidade de raiz da cana-de-açúcar em três profundidades após o último ciclo de cultivo ao final do quarto ciclo de cultivo, 2017.	37
Tabela 5 - Quadrados médios da análise de variância para análise tecnológica de cana-de-açúcar em quatro ciclos de cultivo, submetida a doses de escória siderúrgica e gesso.	42
Tabela 6 - Quadrados médios da análise de variância para margem de contribuição agrícola (MCA) de quatro ciclos de cana-de-açúcar.	44

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 REVISÃO DE LITERATURA	16
1.1 Breve histórico e importância socioeconômica da cana-de-açúcar	16
1.2 Principais fatores edafoclimáticos que influenciam a produtividade da cana	17
1.3 Importância de corretivos de acidez	19
1.4 Escória de siderurgia – importância e uso	20
1.5 Gesso – importância e uso	22
1.6 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar	24
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1 Localização e caracterização da área experimental	28
2.2 Delineamento do experimento	29
2.3 Variáveis avaliadas	31
2.3.1 Morfologia da cana-de-açúcar	31
2.3.2 Produtividade e Análise tecnológica	31
2.3.3 Densidade de raiz	32
2.3.4 Margem de contribuição agrícola (MCA)	32
2.4 Análise estatística	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1 Biometria da cana-de-açúcar	34
3.2 Densidade de raiz	37
3.3 Produtividade	39
3.4 Análise tecnológica	41
3.5 Margem de contribuição agrícola (MCA)	44
4 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância para o agronegócio brasileiro com mais de 8,8 milhões de hectares plantados. O Brasil é considerado o maior produtor de cana no mundo (CONAB, 2017). A canavicultura tem gerado cerca de 2% do PIB (produto interno bruto) do Brasil e gera emprego e renda em escala nacional, tornando-se uma das atividades mais relevantes na economia do país (SOARES et al., 2016).

Apesar do cenário promissor, atualmente o setor sucroenergético, especialmente no Nordeste, enfrenta uma crise agrícola e industrial, marcada por baixo rendimento dos canaviais. O estado de Alagoas, por exemplo, que é o maior produtor da região, tem uma produtividade média de colmos inferior a 60 t ha⁻¹ (CONAB, 2017), bem abaixo do potencial biológico da cultura (LANDELL; BRESSIANI, 2008). Isso se deve a diversos fatores edafoclimáticos e de manejo inadequado.

Dentre alguns fatores que limitam o crescimento, a produtividade e a qualidade da cana, o déficit hídrico e a acidez acentuada nos solos merecem destaque, principalmente no Nordeste quando esses fatores são intensificados ao longo dos anos, a cada ciclo da cana-de-açúcar, reduzindo ano após ano a produtividade dos canaviais. No Tabuleiros costeiros, em particular, ocorre deficiência hídrica na primavera-verão (SOUZA et al. 2004), isso resulta em falta de água em grande parte do período de crescimento da planta (CLEMENTE et al., 2017). Outro fator que corrobora para uma baixa qualidade da cultura, são os efeitos de acidez do solo ligados à presença de Al³⁺ em concentrações tóxicas, além dos baixos teores de cátions básicos, principalmente nas camadas subsuperficiais do solo (SOUZA et al. 2007).

Os corretivos de acidez como calcários, escória de siderurgia e gesso, são alternativas que minimizam essas limitações na cana-de-açúcar. O uso de calcário neutraliza a acidez na camada superficial do solo além de fornecer nutrientes essenciais como o Ca e Mg. A escória de siderurgia apresenta resultados iguais e até superiores ao uso de calcários, além de apresentar uma solubilidade mais alta e ser fonte de Silício (PRADO et al., 2001 e 2003; BRASSIOLI et al., 2009). Em estudo econômico entre a escória de siderurgia e calcário na cana-de-açúcar durante cinco ciclos, Prado et al. (2010) concluíram que a escória proporciona maior retorno econômico e aumenta para mais um ciclo o canavial tratado com esse corretivo.

Outro insumo agrícola utilizado para mitigar o efeito do estresse hídrico é o gesso, pois melhora a distribuição das raízes em profundidade e propicia às plantas o aproveitamento de maior volume de água e nutrientes, principalmente em épocas de estiagem (SOUZA et al.

2007). Estudos indicam que o gesso tem proporcionado o aprofundamento das raízes, resultando no crescimento e qualidade da cana-de-açúcar (MORELLI et al., 1992; ROCHA et al., 2008).

Com isso, a hipótese sugerida neste trabalho é que a escória de siderurgia e o gesso no plantio de cana-de-açúcar, irão reduzir os efeitos da acidez do solo em profundidade, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e aumentar o ambiente explorado pelas raízes para maior absorção de água e nutrientes, com isso irá modificar o crescimento da parte aérea e o sistema radicular da cana e melhorar a qualidade tanto da cana-planta quanto os demais ciclos. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da escória de siderurgia e o gesso no plantio de cana-de-açúcar sobre a morfologia, produtividade e contribuição agrícola ao longo de quatro ciclos de cultivo.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Breve histórico e importância socioeconômica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivada no Brasil e no mundo é uma espécie que pertence à divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, ordem *Cyperales*, família *Poaceae*, gênero *Saccharum* com diversas espécies como: *Saccharum officinarum*, *Saccharum barberi*, *Saccharum robustum*, *Saccharum spontaneum* entre outras (SCARPARI et al., 2010).

Martin Afonso de Souza foi o responsável pela introdução da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, vinda da Ilha da Madeira na primeira expedição às terras brasileiras no início do século XVI, tornando-se umas das principais culturas de importância econômica do país. Inicialmente introduzida na antiga capitania de São Vicente (atual estado de São Paulo), também foi cultivada na capitania de Pernambuco, se desenvolvendo principalmente nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Alagoas (ROSA et al., 2005).

Devido a sua capacidade de adaptação a vários ambientes edafoclimáticos a cana-de-açúcar é considerada uma cultura rústica, além de possuir grande capacidade de produção de biomassa, devido ao seu metabolismo fisiológico C4 (BARBOSA e SILVEIRA, 2007), sendo, portanto, formadora de compostos orgânicos com quatro carbonos, tendo como principal característica elevada eficiência fotossintética, sendo altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química em regiões tropicais (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A cana-de-açúcar é adaptada à alta intensidade luminosa e altas temperaturas. A cultura necessita de grandes quantidades de água para suprir suas necessidades hídricas durante seu crescimento e desenvolvimento, uma vez que somente cerca de 30% de sua massa total é representada pela matéria seca e, 70% pela água, dependendo do estágio fenológico (TAIZ e ZEIGER, 2013). Outra particularidade da cultura é a formação de vários perfilhos nos primeiros dias após a brotação. Cada perfilhamento é separado por nós e entrenós, os quais são responsáveis pelo armazenamento da sacarose nas células do parênquima e tecido vascular, sendo o colmo o principal órgão de armazenamento dos fotoassimilados, como a sacarose (OLIVEIRA et al., 2004).

O cultivo da cana-de-açúcar é considerado uma das principais atividades de importância nacional, ocupando posição de destaque na economia brasileira (BARBOSA e SILVEIRA, 2007). A canavicultura tem papel fundamental no agronegócio brasileiro uma vez que, representa cerca de 2% do PIB (produto interno bruto) do Brasil e gera emprego e renda em escala nacional (SOARES et al., 2016).

Atualmente o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com total de moagem estimada para a safra 2017/2018 de 647,6 milhões de toneladas de cana. Esta produção representa, para o setor sucroenergético, uma redução de 1,5% em relação à safra anterior. O Estado de Alagoas encontra-se em sexto lugar na produção nacional, com uma média estimada em 15,5 milhões de toneladas de cana, sendo superado pelos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Paraná com produção média de 352,3; 70,4; 65,6; 49,8,8 e 39,9 milhões de toneladas de cana, respectivamente (CONAB, 2017).

O Brasil vem se destacando mundialmente com a exportação de açúcar e com a utilização da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável (OLIVEIRA, 2004). Nos últimos anos, houve um aumento significativo na área plantada e na produção, estimulados pelo aumento das exportações e principalmente pela crescente participação dos veículos bicomustíveis na frota de automóveis brasileira, aumentando assim o interesse pela cultura (AGUIAR et al., 2009, SMEETS et al., 2009, FILOSO et al., 2015 e LOSORDO et al., 2016).

Atualmente a região sudeste é responsável por aproximadamente 62% da área plantada no Brasil, com uma produtividade média estimada na safra 2017/18 de 77,0 t ha⁻¹, enquanto a região nordeste representa 10% da área nacional, com estimativa de apenas 50,0 t ha⁻¹ (CONAB, 2017). Pode-se admitir que essas diferenças entre regiões se dá principalmente pelo déficit hídrico e acidez do solo em algumas regiões do Nordeste, em particular os tabuleiros costeiros nordestinos (CLEMENTE et al., 2017).

1.2 Principais fatores edafoclimáticos que influenciam a produtividade da cana

Nos últimos anos a agricultura no Brasil experimentou grande desenvolvimento. Entre os principais fatores responsáveis para este desenvolvimento estão o surgimento de novas variedades melhor adaptadas, o avanço na fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas, que permitiram o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes (LOPES e GUILHERME, 2007).

Para que a lavoura canavieira apresente bons níveis de produtividade, quer seja cultivada nas áreas tradicionais ou nas áreas em expansão, é de grande importância que haja a seleção e alocação das diferentes variedades de acordo com os ambientes de produção, os quais envolvem aspectos relacionados à qualidade dos solos e aos níveis esperados de produtividade (SILVEIRA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2010 e 2012; SILVA et al., 2012).

De uma maneira geral o rendimento final de uma cultura é o resultado da interação entre o genótipo e o ambiente no qual está instalada. Na cana-de-açúcar não é diferente, dessa

maneira, práticas agrícolas que melhoram o ambiente de produção contribuem para acréscimos de produtividade (BARBOSA et al., 2002; VASCONCELOS e GARCIA, 2005; OLIVEIRA et al., 2007; RAIJ, 2011). No entanto, a cana-de-açúcar produz sob condições edáficas muito diversas de uma região para outra ou até mesmo na mesma região (FREIRE, 2001).

O rendimento agrícola da cana-de-açúcar é limitado nessas áreas devido ao elevado teor de acidez em diversos solos do Brasil e no mundo (FAGERIA e BALIGAR, 2008). A acidez do solo se dá principalmente pelo processo de intemperismo, aliado ou não às alterações do ambiente provocadas pelo homem, sendo intensificados em regiões de clima tropical úmido. Esse processo químico ocorre devido a substituição de cátions básicos por íons hidrogênio e alumínio no complexo de troca. Essa substituição é resultado do uso inadequado de fertilizantes de caráter ácido, absorção de elementos básicos pelas plantas e pela percolação da água (ALVAREZ et al., 1989).

A produtividade agrícola é afetada pelos fatores ambientais do solo associados à acidez como pH, saturação por bases, acidez potencial e solubilidade de nutrientes, principalmente nas regiões de clima tropical (SANCHEZ; SALINAS, 1983). O rendimento da cultura é afetado devido à baixa fertilidade do solo dessas regiões, uma vez que são solos ácidos e estão associados, em grande parte, à níveis muito baixos de bases trocáveis e ao excesso de alumínio e manganês tóxicos (NATALE et al., 2012).

Outro fator que merece destaque e que interfere no rendimento final da cana-de-açúcar é a quantidade de água disponível durante todo o ciclo da cultura (TERAMOTO, 2003). Além das condições climáticas e da água disponível no solo, o consumo de água por parte da cana-de-açúcar varia em função do estágio fisiológico e do ciclo de cultivo, ou seja, cana-planta ou cana-soca (SCARDUA e ROSENFELD, 1987). Dependendo das condições climáticas, a quantidade de água exigida pela cultura durante o ciclo pode variar entre 1500 a 2500 mm (OMETTO, 1980).

O déficit hídrico afeta vários aspectos do crescimento vegetal; os efeitos mais óbvios do estresse hídrico se referem à redução do tamanho das plantas, de sua área foliar e da produtividade da cultura (TAIZ e ZEIGER, 2013). Alguns processos fisiológicos serão prejudicados se ocorrer estresse hídrico durante o desenvolvimento da cultura, tais como: divisão e alongamento celular, reduzindo o acúmulo de massa seca, a taxa de crescimento da cultura e o índice de área foliar (INMAN-BAMBER, 2004).

No tocante a disponibilidade de água, verifica-se que apesar da precipitação anual média na região canavieira de Alagoas ser superior a 1.300 mm, esta concentra-se em apenas três meses (cerca de 70%) no período de abril a junho (TEODORO et al., 2013; SILVA et al., 2015),

resultando em deficiência hídrica em grande parte do período de crescimento da planta (CLEMENTE et al., 2017).

Dessa maneira, a acidez do solo e deficiência hídrica são considerados um dos principais causadores para o baixo rendimento da cana principalmente na região Nordeste nos Tabuleiros Costeiros e em Alagoas especialmente (OLIVEIRA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011; ABREU et al., 2013; SILVA et al., 2015 e 2015; ALBUQUERQUE et al., 2016, CLEMENTE et al., 2017).

1.3 Importância de corretivos de acidez

A acidez do solo se dá naturalmente por apresentar em seu material de origem pobreza em elementos de caráter básico ou por reações químicas que provoquem perdas de nutrientes como potássio, cálcio e magnésio, tornando-se ácidos. Independente dos casos, a acidificação ocorre ou intensifica-se devido à remoção de bases trocáveis da superfície dos coloides, em função de vários fatores, como: água das chuvas, troca iônica das raízes, decomposição da matéria orgânica, decomposição de minerais de argila, como também da adição de fertilizantes nitrogenados, principalmente os amoniacais (NATALE et al., 2012).

Em culturas anuais, a aplicação de corretivos de acidez com incorporação homogênea no solo, normalmente é praticada pelos produtores rurais, no entanto em culturas perenes, essa prática é mais complexa, devido as características intrínsecas dessas culturas (QUAGGIO et al., 2000).

Em decorrência da reação química do material corretivo aplicado ao solo, têm-se as conhecidas alterações químicas no solo, como: aumento do pH, a neutralização do ferro e do alumínio trocável, a não solubilidade do manganês, o fornecimento de cálcio e magnésio, as modificações da capacidade de troca catiônica efetiva, alteração da disponibilidade de micronutrientes entre outros efeitos (MALAVOLTA, 1981). No Brasil, a prática da calagem faz-se presente em todos os quadrantes do país, principalmente nas áreas de maior atividade agrícola, normalmente áreas com o predomínio de Latossolos. Estes solos, em sua grande maioria, são ácidos, têm baixa saturação por bases e elevados teores de alumínio trocável além de serem muito profundos; porém, oferecem boas produções quando sua fertilidade é corrigida (PRADO, 2003).

A produtividade de uma cultura pode ser comprometida por longo tempo, se um solo não for corrigido de maneira satisfatória no início do preparo do terreno, ou seja, deve-se sempre lembrar que é necessário a incorporação uniforme do calcário no cultivo de culturas

perenes, pois a aplicação na superfície do solo atua de maneira mais lenta, principalmente em camadas mais profundas do solo (RAIJ et al., 1997).

A incorporação homogênea do corretivo ao longo do perfil do solo promove maior contato entre o calcário e as fontes de acidez, propiciando efeitos mais rápidos, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e o uso eficiente da água e de nutrientes ao longo do perfil do solo (NATALE et al., 2012). Ainda segundo os autores, a formação da parte aérea é diretamente afetada pelo desenvolvimento do sistema radicular, essa relação mostra a importância da formação de raízes, resultando no êxito da atuação de corretivos e fertilizantes depende, por sua vez, da natureza do sistema radicular, como também do volume de solo explorado pela cultura. Dessa maneira, a correção da acidez do solo ainda é o meio mais econômico e eficiente para mitigar as barreiras químicas no desenvolvimento das raízes e da parte aérea (RAIJ, 2011).

A prática da calagem é o método de maior eficiência para aumentar o pH do solo, elevar os teores de cálcio e saturação por bases e diminuir o alumínio tóxico (Al^{+3}), contudo a ação desse corretivo é limitada ao local de aplicação, não alcançando maiores profundidades, que depende da percolação de sais (CAÍRES et. al., 2004). O gesso surge como uma das alternativas mais promissoras para redução do alumínio tóxico em profundidade, devido a sua mobilidade ser mais elevada, atuando além da camada superficial, as camadas subsuperficiais (SHAINBERG et al., 1989; RITCHEY et al., 1995; SUMNER, 1995; QUAGGIO, 2000).

1.4 Escória de siderurgia – importância e uso

A escória de siderurgia é um insumo produzido geralmente através do aquecimento do calcário, minério de ferro e carvão, resultando na redução do ferro e produção de compostos indesejáveis que não foram reduzidos. A partir da combinação com cálcio e magnésio do calcário em altas temperaturas, surge a escória de siderurgia (Pereira, 1978)

Esse insumo pouco utilizado na agricultura brasileira pode ser usado como corretivo de acidez do solo ou como fornecedor de nutrientes essenciais como Ca, Mg e Si (QUAGGIO, 2000). Contrariamente no Brasil é pouco utilizado, enquanto em outros países como o Japão a escória de siderurgia é frequentemente utilizada nos cultivos agrícolas. Isto se deve provavelmente pela pesquisa incipiente na região Nordeste do Brasil, quando comparado a outros países (Prado, 2002).

A aplicação da escória de siderurgia corrige a acidez do solo, devido a presença do silicato de cálcio, que tem como base química SiO_3^{-2} , promovendo reações químicas no solo

semelhantes as reações promovidas pelo calcário, como por exemplo, o aumento do pH e redução de alumínio e manganês tóxicos, além do fornecimento de cálcio (PRADO e FERNANDES, 2001).

Visto que os solos tropicais e subtropicais apresentam, geralmente, baixos teores de silício prontamente disponível para as plantas, e que várias classes de solos encontrados nesta região possuem alto grau de intemperismo, baixo pH e são pobres em nutrientes, esses solos tornam-se altamente dependentes da correção química (PEREIRA et al., 2004).

A escória de siderurgia apresenta resultados iguais e até superiores ao uso de calcários, além de apresentar uma solubilidade mais alta e ser fonte de silício (PRADO et al., 2003; BRASSIOLI et al., 2009). Comparando a escória de siderurgia e calcário na cana-de-açúcar durante cinco ciclos, Prado et al. (2010) concluíram que a escória proporciona maior retorno econômico além de aumentar um ciclo do canavial.

O efeito da escória de siderurgia no solo ocorre devido a reação do ânion silicato com o a água, liberando hidroxilas para a solução do solo, neutralizando a acidez. Com isso será formado o ácido monossilícico que é a forma pelo qual a planta consegue absorver o Silício (H_4SiO_4) sendo seu transporte e distribuição relacionados com a taxa transpiratória (MYAKE e TAKAHASHI, 1983).

O silício (Si) é o segundo elemento de maior abundância na crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio. Esse elemento ainda é pouco estudado por pesquisadores, provavelmente por não fazer parte do grupo dos elementos considerados essenciais para as plantas. Porém, vários trabalhos têm demonstrado os efeitos positivos do Si nas espécies vegetais, principalmente quando as plantas sofrem estresse hídrico ou físico (FARIA, 2000; DATNOFF et al., 2001; KORNDÖRFER et al., 2002).

O silício pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico, pois quanto maior o teor de silício na planta, maior a sua capacidade em tolerar a falta de água no solo (FARIAS, 2000). Vários estudos têm demonstrado efeitos benéficos da aplicação de Si, especialmente em culturas como arroz, aveia-branca, cana-de-açúcar, cevada, feijão, milho, pastagens, sorgo, soja e trigo (MA et al., 2001; GONG et al., 2005; HATTORI et al., 2005; CASTRO et al., 2011; SORATTO et al., 2012; Crusciol et al., 2013; Toledo et al., 2013. Nos períodos de seca, a deficiência hídrica leva a uma diminuição no crescimento das plantas principalmente pela redução da fotossíntese causada pelo fechamento estomático. Na maioria das plantas, a fotossíntese e o potencial hídrico foliar são aspectos fisiológicos sensíveis às variações ambientais, principalmente altas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica (DENG et al., 2003).

1.5 Gesso – importância e uso

O gesso é originário de rochas gipsíferas, pertencente a classe dos sulfatos (ACCIOLY e SCHULZE, 2003). Normalmente ocorre na forma dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), embora os sulfatos naturais possam ser encontrados e utilizados em formas menos hidratadas como a bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) ou gesso argamassa (VILELA et al., 1995) e ainda na forma anidra (CaSO_4), a anidrita (PORTA, 1998).

O nome gipsita vem do grego *gypsos*, dado mais especificamente ao mineral calcinado. Embora o sulfato de cálcio possa ocorrer em três formas de hidratação, o gesso mineral de utilização agrícola normalmente é a gipsita (ACCIOLY e SCHULZE, 2003).

O gesso usado na agricultura é o sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que pode ser proveniente de jazidas naturais (gipsitas), conhecido como gesso mineral, ou ser um subproduto da produção do ácido fosfórico (fosfogesso), obtido na fabricação de fertilizantes fosfatados (VITTI, 2000).

A maioria das pesquisas realizadas com gesso na agricultura do Brasil referem-se, sobretudo ao gesso oriundo do processo de fabricação do ácido fosfórico (fosfogesso ou gesso agrícola) (DAL BÓ et al., 1986; MORELLI et al., 1987; MORELLI et al., 1992 SALATA e DEMATTÊ, 1995; SALDANHA et al., 2003). Assim, são raros trabalhos com o uso do gesso de origem mineral oriundo de jazidas de gipsita (BARROS et al., 2004). Entretanto, Rocha (2007) relata que o gesso mineral tem a mesma capacidade corretiva do gesso agrícola ou fosfogesso e ótimas condições para utilização na agricultura, já que ambos, possuem em sua composição, predominantemente, o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

No estado de Pernambuco na região do Polo Gesseiro de Araripina, ocorre a maior produção de gesso mineral do Brasil, com aproximadamente 2,6 milhões de toneladas por ano, o polo gesseiro representa 95% da produção nacional, no entanto cerca de menos de 1% dessa produção é utilizado na agricultura (NASCIMENTO, 2003).

Os efeitos do gesso quando aplicado em solos, tem mostrado sua eficiência, principalmente na redução dos teores de alumínio e manganês trocável (ILLERA et al., 2004), na redução da saturação por alumínio (BAKKER et al., 1999), na redução da acidez trocável em profundidade (QUAGGIO, 2000; FARINA et al., 2000; OLIVEIRA e PAVAN, 1996), na recuperação de solos salino-sódicos (BARROS et al., 2004), na diminuição da compactação do solo (BORGES et al., 1997) e no fornecimento de elementos essenciais como cálcio e enxofre (CAÍRES et al., 2002).

Em camadas subsuperficiais de alguns tipos de solo, existe toxidez por alumínio e/ou baixa disponibilidade de cálcio que são os principais fatores que impedem à maximização da produção das culturas, por limitar o crescimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (FURTINI NETO et al., 2001). O excesso de alumínio e a deficiência de cálcio são considerados os principais fatores do solo que impedem o crescimento das raízes em profundidade (SORATTO, 2005).

Devido ao ânion sulfato acompanhante, o gesso mineral possui a capacidade de deslocar cálcio para camadas mais profundas de solo. Por sua vez, pode aliviar a toxicidade de alumínio em subsuperfície, ou seja, abaixo da camada arável pela formação do precipitado sulfato de alumínio (NASCIMENTO, 2003).

As reações do gesso no solo, de forma resumida $2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} + \text{CaSO}_4^0 + 4\text{H}_2\text{O}$, iniciam-se na camada superficial, onde ocorre a dissociação do gesso, bem como a lixiviação pareada dos íons Ca^{+2} e SO_4^{-2} e do par iônico CaSO_4^0 . Depois, na camada subsuperficial, ocorrem a troca iônico do Al na superfície de troca pelo Ca e a formação do par iônico AlSO_4^+ , que não é tóxico às plantas. O Al pode, também, ser precipitado na forma de oxihidróxido (PAVAN e VOLKWEISS, 1986; SALDANHA, et. al., 2007).

O sistema radicular é afetado e reduzido com o alumínio tóxico, especialmente nas partes meristemáticas das raízes (KOCHIAN, 1995). O efeito tóxico do alumínio inicialmente torna as raízes mais curtas e espessas, além de não se ramificarem normalmente, dificultando o contato com os coloides do solo e a água, diminuindo assim a absorção de água e nutrientes em profundidade (CLARKSON, 1967; MCCORMICK e BORDEN, 1972; TANG et al., 2003).

Estudos indicam que o sistema radicular da cana-de-açúcar tem a capacidade de explorar até dois metros de profundidade, porém para que isso aconteça, não devem existir barreiras químicas e físicas que impeçam o crescimento das raízes (KOFLE, 1986). Outro fator limitante para o desenvolvimento de raízes é a baixa fertilidade dos solos. A cana-de-açúcar por exemplo, explora apenas cerca de 60 cm de profundidade quando o solo é pobre em nutrientes, principalmente o cálcio (RITCHEY et al., 1982).

A maioria das culturas sofre restrição ao crescimento de raízes quando a saturação por cálcio é inferior a 20% (QUAGGIO, 2000). Em relação ao nível de cálcio no solo, tem sido indicado um intervalo de 0,25 a 0,80 cmolc dm^{-3} como valor crítico para o crescimento do sistema radicular (ADAMS e MOORE, 1983) ou 0,1 a 0,15 cmolc dm^{-3} de cálcio já favorece o crescimento radicular (RITCHEY et al. 1982).

O gesso não altera o pH do solo, pois o íon sulfato não consegue neutralizar os prótons, como os íons bicarbonato e hidroxila, presentes na composição dos calcários (ALVAREZ e

DIAS, 1994). Porém o gesso tem efeitos positivos, principalmente na melhoria do sistema radicular em profundidade, nas mais variadas condições de solo e clima (SUMNER, 1995).

O gesso reduz a acidez trocável e aumenta os teores de cálcio nas camadas mais profundas do perfil do solo, isso já tem sido demonstrado em diversos trabalhos na literatura (RITCHEY et al., 1980; SUMNER et al., 1986; PAVAN et al., 1987; CHAVES et al., 1988; SHAINBERG et al., 1989). Como por exemplo os resultados obtidos por CAÍRES et al. (1999), que observaram redução dos teores de alumínio trocável nas camadas de 0,4 – 0,8 m em função da aplicação de gesso e que essas doses aumentaram os níveis de cálcio em todas as camadas avaliadas.

Outro aspecto do gesso que merece destaque é sua grande importância como fonte de enxofre, elemento essencial para as plantas, cuja disponibilidade no solo, pode muitas vezes, limitar a produção das culturas (ALVAREZ e DIAS, 1994).

Em relação a recomendação, OLIVEIRA et al., (2007) recomendam aplicar gesso, quando se verificar teores de Ca^{+2} menores que $0,4 \text{ cmolc/dm}^3$ e/ou saturação por alumínio maior que 20%, na camada de 20 a 40 cm. A aplicação de gesso levará à melhoria das camadas abaixo da arável, efeito que perdura por vários anos. Por esse motivo não é necessária a aplicação anual do gesso (OLIVEIRA et al., 2007).

1.6 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

A análise do crescimento da planta, em termos de produção e partição de biomassa pode ser de grande importância para o melhor entendimento dos mecanismos que proporcionam aumento na eficiência produtiva da cultura em resposta às condições ambientais. Devido ao estudo das interações entre os parâmetros de crescimento, os estádios de desenvolvimento da planta e os fatores ambientais, pode-se conhecer sua eficiência de crescimento e a habilidade de adaptação da planta ao ambiente produtivo (MARAFON, 2012).

As características inerentes a cada genótipo definem o número de colmos por planta, assim como a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciada pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas (RODRIGUES, 1995). As características varietais influenciam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além das variações climáticas que prevalecem durante todo o desenvolvimento. Ainda segundo Rodrigues (1995), a fotossíntese é correlacionada negativamente com a largura das folhas e positivamente com sua espessura. Uma maior inclinação da folha no colmo traduz-se em maior eficiência fotossintética, sobretudo

em populações de alta densidade populacional, devido à penetração mais eficiente da luz no dossel.

O estudo da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento. A folha é a estrutura responsável pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais (HERMANN e CÂMARA, 1999).

Nos estudos de área foliar tem-se usado com bastante frequência o método proposto por Hermann e Câmara (1999), uma adaptação do método de Francis et al. (1969). $AF = [C \times L \times 0,75 \times (N + 2)]$, em que:

C = comprimento da folha +3 estudada;

L = largura da folha +3 estudada;

N = nº de folhas totalmente abertas com mais 20% de área verde;

2 = fator de correção.

A morfologia da planta estuda as mudanças exteriores e as transformações que estão relacionadas ao ciclo da cultura. Representa, portanto, o estudo de como a planta se desenvolve ao longo de suas diferentes fases: germinação, emergência, crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação. Com todas as informações disponíveis sobre o ciclo da planta, é possível identificar as relações e a influência dos fatores envolvidos no processo de produção, favorecendo a previsão de problemas, o manejo e a tomada de decisão (MENEGUCCI e CREPALDI, 2016).

Para favorecer a compreensão dos estádios de desenvolvimento, existe uma escala fenológica que se constitui em um conjunto de fases apresentadas em sequência, de forma a descrever o crescimento e o desenvolvimento desde sua emergência até a maturação. Os estágios fenológicos da cana-de-açúcar são: brotação e emergência; perfilhamento; crescimento dos colmos e maturação dos colmos (CASAGRANDE, 1991).

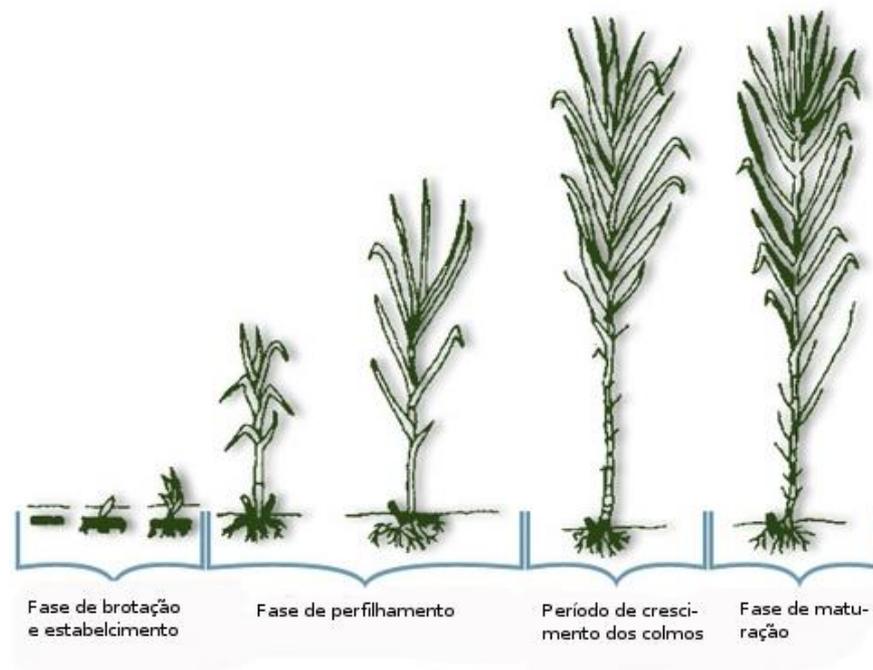


Figura 1. Estágios fenológicos da cana-de-açúcar. Fonte: Gascho e Shih (1983)

A análise quantitativa do crescimento constitui-se numa ferramenta que possibilita estimar a partição do carbono entre as partes da planta e o rendimento agrícola da cana-de-açúcar, sendo o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o desenvolvimento vegetal. Sua principal vantagem está na obtenção de informações a intervalos regulares, sem a necessidade de laboratórios e/ou equipamentos sofisticados (MARAFON, 2012).

O conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar é de grande importância, haja vista, que permite a utilização adequada das técnicas agronômicas, além de possibilitar a adequação do método de avaliação de sistema radicular, a cada condição em particular (CASAGRANDE, 1991; VASCONCELOS et al., 2003).

Como o crescimento das raízes é influenciado pelo manejo do solo, a avaliação do sistema radicular de uma cultura é importante para o desenvolvimento de práticas agrícolas (espaçamento, local de aplicação de fertilizantes, práticas de cultivo, etc.) que visam à otimização da produtividade (FANTE JÚNIOR et al., 1994).

Diversos trabalhos disponíveis na literatura citam a importância do conhecimento do sistema radicular, bem como caracterizar as raízes através de metodologias, que levam em consideração o custo, precisão e tempo de análise. Para isso, a escolha da metodologia a ser empregada em um estudo, devem ser considerados os objetivos da pesquisa e quais os parâmetros que devem ser quantificados, além da precisão do estudo (JORGE et al., 1996).

Em estudos sobre as raízes e suas interações com o solo (interface solo-raiz), a metodologia de quantificação destaca-se como principal fator limitante. Existem vários métodos que permitem investigar a distribuição do sistema radicular, entretanto, a avaliação das raízes em termos de volume explorado, massa seca e comprimento radicular é tarefa difícil e grandes limitações são encontradas em qualquer técnica, como o tempo gasto, a pouca informação obtida e a variabilidade dos resultados (SCHUURMANN e GOEDEWAAGEN, 1971; BOHM, 1979; KOPKE, 1981).

Entre os métodos de avaliação do sistema radicular está o do trado, que tem como base do levantamento, a extração de porções de solo com raízes; portanto, proporcionam uma amostragem volumétrica melhor que os métodos de perfis, os quais são baseados no levantamento de imagens de um plano único (VASCONCELOS et al., 2003).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado em condições de campo em um Nossolo Flúvico (Fluvisols) (Embrapa 2013) localizado na área experimental da Usina Santo Antônio em São Luís do Quitunde - AL, sob coordenadas geográficas 9° 42' S e 35° 56' W. O período de estudo foi de novembro de 2012 a fevereiro de 2017. De acordo com o sistema de Köppen, o clima dominante na região é o As', tropical chuvoso com verão seco, com precipitação média anual da ordem de 1760 mm. A temperatura média na região esteve na ordem de 25°C, apresentando máxima de 30 °C e mínima de 20 °C. A precipitação média acumulada durante a condução do estudo foi de 1700, 1900, 1500 e 1270 mm no primeiro, segundo, terceiro e quarto ciclo de cultivo, respectivamente (Figura 2).

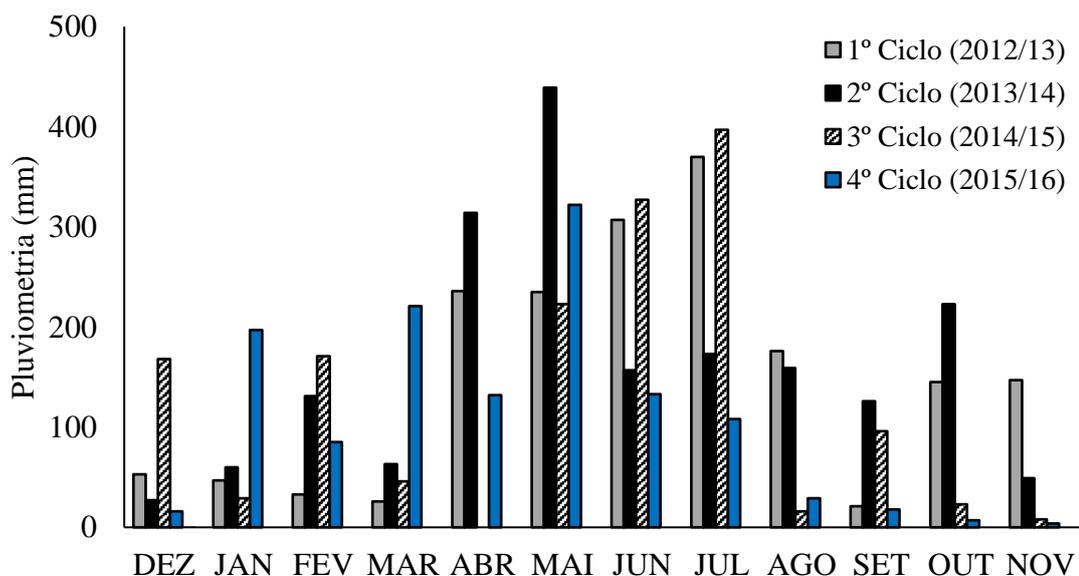


Figura 2. Precipitação pluviométrica média do período experimental (São Luís do Quitunde, AL, 2012-2016).

Antecedendo a implantação do experimento foi feita a análise química do solo em três profundidades ao longo do perfil nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, para determinação de pH em água, acidez potencial (H+Al), matéria orgânica (M.O.), Alumínio (Al), Potássio (K), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Silício (Si), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V%), Saturação por Alumínio (m%) (Tabela 1) sendo realizada de acordo com a metodologia descrita pela Embrapa (2009).

Tabela 1 - Caracterização química do solo.

Característica		Profundidade (cm)		
		0-20	20-40	40-60
pH	CaCl ₂	5,20	4,80	4,00
M.O.	g/dm ³	20,0	13,0	11,0
P _{resina}	mg/dm ³	12,0	8,00	1,00
Al ³⁺	mmolc/dm ³	1,00	2,00	10,0
H+Al	mmolc/dm ³	25,0	31,0	35,0
K	mmolc/dm ³	1,70	1,40	0,90
Ca	mmolc/dm ³	19,0	18,0	6,00
Mg	mmolc/dm ³	9,00	6,00	2,00
SB	%	29,0	26,0	9,00
CTC	%	54,0	57,0	64,0
V%	%	54,0	49,0	14,0
S	mg/dm ³	39,0	102,0	93,0
Bo	mg/dm ³	0,42	0,59	0,62
Cu	mg/dm ³	1,40	0,90	0,20
Fe	mg/dm ³	48,0	45,0	46,0
Mn	mg/dm ³	0,40	0,30	0,20
Zn	mg/dm ³	0,40	0,20	0,10
Si	mg/kg	3,00	3,00	2,00

O preparo do solo foi realizado no mês de novembro de 2012, com uma gradagem pesada, seguida de nivelamento e abertura dos sulcos de cultivo. Posteriormente foi realizada adubação química com 700 kg ha⁻¹ da fórmula 14-00-18 (Sulfato de amônio - 20% de N e Cloreto de potássio - 58% de K₂O), padrão da usina. A aplicação da escória de siderurgia e gesso foi realizado no dia 29 de novembro de 2012.

2.2 Delineamento do experimento

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 4 com quatro repetições. Cada parcela foi composta de cinco linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento e 5 m de largura, espaçadas de 1 m entre si, totalizando 50 m². A área útil de cada parcela foi constituída pelas três linhas centrais, descontando-se 1 m das extremidades, totalizando 24 m². A variedade utilizada neste estudo foi a RB92579 com densidade de semeadura de 15 gemas por metro de sulco. A escolha da variedade foi devida suas características e importância: genótipo com maior área cultivada no estado de Alagoas, possui desenvolvimento lento, colmo de aspecto manchado, pouca cera, cor roxa ao sol e amarelo verde sob a palha, entrenós de diâmetro e comprimento médios; despalha difícil, gemas pouco

salientes; folhas largas, com pontas curvas, alto perfilhamento, alta produtividade agrícola, adaptabilidade e estabilidade (RIDESA, 2010).

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro doses de escória de siderurgia (0, 4, 8 e 16 t ha⁻¹) e quatro doses de gesso (0, 3, 6 e 12 t ha⁻¹).



Figura 3. Aplicação dos tratamentos na área experimental, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2012

A fonte de escória de siderurgia adotada foi do Agro Silício, derivado da produção de aço inox. Esse produto é utilizado como padrão na maioria das pesquisas relacionadas ao Silício no Brasil devido ao seu alto grau de pureza e solubilidade (KORNDÖRFER e GASCHO, 1999).

O silício utilizado no experimento foi classificado como dolomítico e as porcentagens passantes nas peneiras ABNT 10, ABNT 20 e ABNT 50 foram 100, 99,9 e 71,4 respectivamente. A caracterização físico-química da escória de siderurgia é apresentada na Tabela 2, a qual foi realizada seguindo a metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004).

Tabela 2 - Caracterização química e física da escória siderúrgica. PN: poder de neutralização; RE: reatividade; PRNT: poder relativo de neutralização total.

Si Total	Si Solúvel	CaO	CaCO ₃	MgO	MgCO ₃	PN	RE	PRNT
%								
13,81	7,82	39,8	70,8	9,7	20,4	87,5	88,5	77,4

PN: Poder de Neutralização; RE: Reatividade; PRNT: Poder Relativo de Neutralização Total.

O gesso utilizado no experimento foi de origem mineral proveniente de jazidas de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) do polo gesseiro do Araripe em Pernambuco. A caracterização do gesso, apresentou 45,86% de CaO, 20,30% de S e 19,18% de umidade em sua composição de acordo com a metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004).

A aplicação da escória de siderurgia foi realizada de forma uniforme no sulco de plantio. O gesso, por sua vez, foi aplicado em cobertura na área total, quando os sulcos já se encontravam fechados.

2.3 Variáveis avaliadas

2.3.1 Morfologia da cana-de-açúcar

A morfologia das plantas foi avaliada na fase de maturação da cana de cada ciclo, aos 365 dias após o plantio (DAP) na safra 2012/13 (1º ciclo), aos 362 dias após a colheita (DAC) na safra 2013/14 (2º ciclo), aos 365 DAC na safra 2013/14 (3º ciclo) e aos 368 DAC (4º ciclo) na safra 2014/15. Foram selecionadas aleatoriamente 10 plantas nas três linhas centrais de cada parcela, onde foram coletados dados referentes à altura da planta, diâmetro do colmo. Com o auxílio de uma fita métrica foi mensurada a altura da planta, a partir do nível do solo até a lígula da folha +1 sendo a primeira folha de cima para baixo com lígula totalmente visível. A medição do diâmetro do colmo foi realizada no terço médio do colmo da planta, utilizando-se um paquímetro. Além dessas medições, foi quantificado o perfilhamento médio de cada linha, contando-se o número de plantas por metro de sulco, nas três linhas centrais da parcela.

2.3.2 Produtividade e Análise tecnológica

A produtividade da cana e a qualidade do caldo foram avaliados após a colheita da cana ao final de cada ciclo. A área experimental foi queimada e cortada manualmente para a determinação da produtividade em toneladas de cana por hectare (TCH). Todos os colmos colhidos em cada parcela foram pesados com auxílio de um dinamômetro com capacidade de 1000 kg e precisão de 5 kg acoplado à uma carregadeira em todas as linhas de cada parcela. Para a avaliação da qualidade do caldo foram retiradas de cada parcela, subamostras com oito colmos cortados e posteriormente, estes feixes foram encaminhados para o Laboratório de Análise de Sacaroses da Central Açucareira Santo Antônio S/A para determinação das variáveis agroindustriais: pureza da cana (PUREZA), fibra da cana (FIBRA) e açúcares totais

recuperáveis (ATR). Com base nas pesagens para determinação da tonelada por hectare (TCH) e da análise do açúcar da cana (PC), calculou-se as toneladas de pol por hectare (TPH) (CONSECANA, 2006).



Figura 4. Colheita da área experimental, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2012

2.3.3 Densidade de raiz

Após a colheita da cana e a limpeza de toda área do último ano de cultivo, coletou-se amostras de solo incluindo raízes com auxílio do trado tipo caneco (volume de $1,62 \text{ dm}^3$), em três profundidades ao longo do perfil, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm dos tratamentos: controle, escória (16 t ha^{-1}), gesso (12 t ha^{-1}) e combinação das maiores doses de escória + gesso das quatro repetições, para a avaliação da densidade de raiz da cana-de-açúcar, seguindo as recomendações metodológicas de Vasconcelos et al. (2003), com modificações. Em cada subamostra foram coletadas duas amostras de solo + raízes à 25 cm de distância de cada linha de cana-de-açúcar. As amostras de solo contendo raízes foram lavadas em peneiras com malha de 2 mm, e as raízes foram secadas em estufa com ventilação forçada a 65°C , por 96 h. Posteriormente, foram pesadas em balança semianalítica e determinou-se o peso das raízes coletadas em cada parcela.

2.3.4 Margem de contribuição agrícola (MCA)

A margem de contribuição agrícola (MCA) foi calculada de acordo com a metodologia de Fernandes (2003). Para isso foi considerado o valor médio de ATR (0,6327), para o mês de janeiro dos quatro ciclos estudados: 2014, 2015, 2016 e 2017 (SINDAÇÚCAR-AL, 2017). Os custos de CCT (corte, carregamento e transporte) foram obtidos da usina alcançando valor médio de R\$ 15,80 reais t^{-1} de cana. Dessa maneira a MCA foi calculada através das diferenças entre a receita obtida com a matéria prima entregue na indústria e os custos do CCT, mais custos da aplicação dos corretivos. Para os custos com escória de siderurgia e gesso, foi considerado o valor de R\$ 39,00 t^{-1} e R\$ 34,00 t^{-1} , respectivamente (Frete não incluso).

2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F. Os dados quantitativos foram aplicados a regressão e os resultados foram apresentados em forma de gráfico. Para a densidade de raiz as médias foram comparadas pelo teste Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Biometria da cana-de-açúcar

O crescimento da planta em altura foi influenciado pela interação entre a escória siderúrgica e os ciclos, bem como pela aplicação de doses crescentes de escória de siderurgia ao longo dos quatro ciclos de cultivo (Tabela 3).

O diâmetro do colmo não foi afetado pelas doses de escória de siderurgia e gesso, no entanto ocorreu influência dos ciclos da cana no diâmetro do colmo (Tabela 4). Corroborando os resultados da presente pesquisa, Clemente et al. (2017) não verificaram diferença no diâmetro do colmo ao aplicar doses de gesso mineral em variedades de cana-de-açúcar,

As doses de escória de siderurgia e de gesso bem como os ciclos avaliados influenciaram no número de colmos industrializáveis. Porém não houve interação entre os fatores (Tabela 4).

Tabela 3 - Quadrados médios da análise de variância para altura da planta (ALT), diâmetro do colmo e n° de colmos industrializáveis (N° de colmos) de cana-de-açúcar de quatro ciclos de cultivo.

	Altura	Diâmetro	N° de colmos
Escória de Siderurgia (Es)	3001,54 ***	0,035 ns	8,37 **
Gesso (G)	347,07 ns	0,046 ns	8,97 **
Interação (Es x G)	324,57 ns	0,009 ns	1,42 ns
Ciclo (C)	122979,8 ***	1,089 ***	52,46 ***
Interação (Es x C)	555,36 **	0,029 ns	1,43 ns
Interação (G x C)	159,58 ns	0,023 ns	1,17 ns
MÉDIA	263,68	2,43	11,48
CV (%)	6,37	6,73	12,54

ns: não significativo; (*), (**) e (***) significativo ao nível de 5, 1 e 0,1% respectivamente, de probabilidade de erro pelo teste de F.

A altura da planta foi maior no primeiro ciclo de cultivo, obedecendo crescimento linear em função das doses de escória de siderurgia. A dose de máxima eficiência técnica (DMET) de escória de siderurgia no quarto ciclo foi de 11,2 t ha⁻¹ obtendo-se altura de 263,9 cm. Nos ciclos seguintes, segundo e terceiro, a escória de siderurgia não influenciou a altura da planta, exceto no último ciclo promovendo um efeito quadrático com as doses crescentes de escória (Figura 5). Esse aumento na altura da cana no quarto ano de cultivo está diretamente ligado ao efeito residual da escória de siderurgia (ROSS et al. 1974, KORNDÖRFER et al., 2000; MADEIROS et al., 2008; FOLTRAN, 2008; DEMATTÊ et al., 2011). Corroborando os resultados do presente estudo, Gascho (1978) e Prado et al. (2003) também obtiveram incrementos na altura da socaria da cana-de-açúcar com a aplicação da escória de siderurgia. Prado et al. (2003)

relatam que o silicato tem efeito residual no solo, apresentando efeitos ao longo dos ciclos de cultivo.

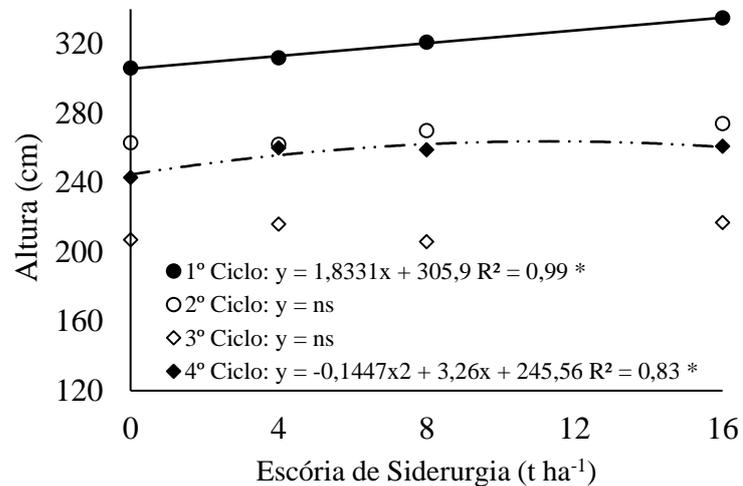


Figura 5. Altura da planta em função da interação entre a escória de siderurgia e ciclos da cana-de-açúcar.

O número de colmos industrializáveis aumentou com aplicação de escória de siderurgia (Figura 6A) e gesso (Figura 6B) ao longo dos quatro ciclos de cultivo. Nota-se que houve crescimento linear em função da aplicação dos insumos. O aumento do número de colmos industrializáveis em função da escória de siderurgia e gesso está diretamente relacionado ao melhor aproveitamento do uso da água e fornecimento de cálcio (Souza et al., 2007), presente na composição de ambos os insumos, promovendo maior retenção de água no solo e favorecendo o crescimento do sistema radicular (MORELLI et al., 1992; ROCHA et al., 2008; VITTI et al., 2008), respectivamente, propiciando umidade por mais tempo para o desenvolvimento de novos perfilhos.

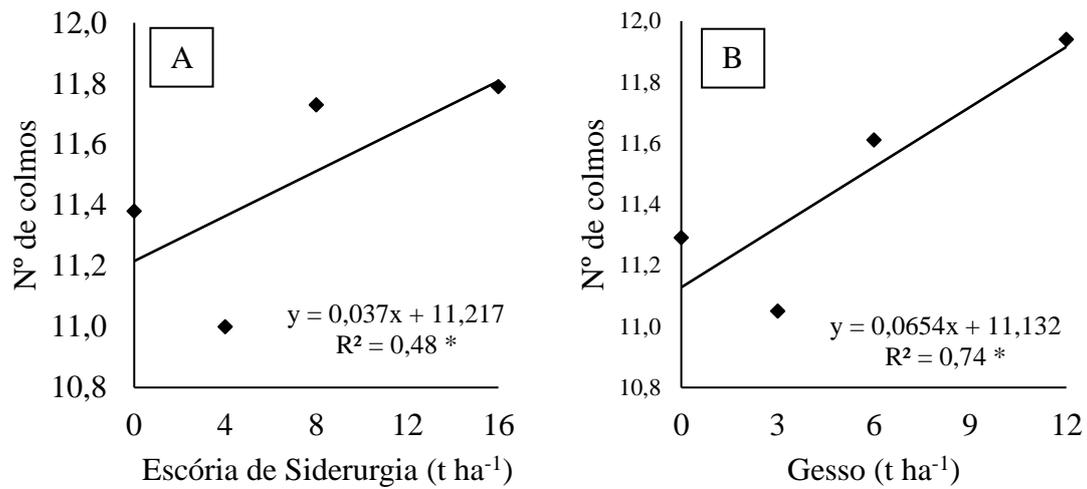


Figura 6. Número de colmos industrializáveis de cana-de-açúcar em função da escória de siderurgia (A) e gesso (B) durante quatro ciclos de cultivo.

O diâmetro do colmo e o número de colmos industrializáveis foram influenciados pelos ciclos avaliados (Figura 7). Para o diâmetro do colmo ocorreu efeito linear decrescente ao decorrer dos ciclos, ou seja, quanto mais velho o canavial menor o diâmetro do colmo (Figura 7A). Já o número de colmos ocorreu efeito quadrático ao longo dos ciclos avaliados (Figura 7B). Pode-se admitir que com o aumento do número de colmos industrializáveis ao longo dos ciclos, houve competição de fotoassimilados, água e luz entre si, reduzindo assim o diâmetro do colmo em cada ano.

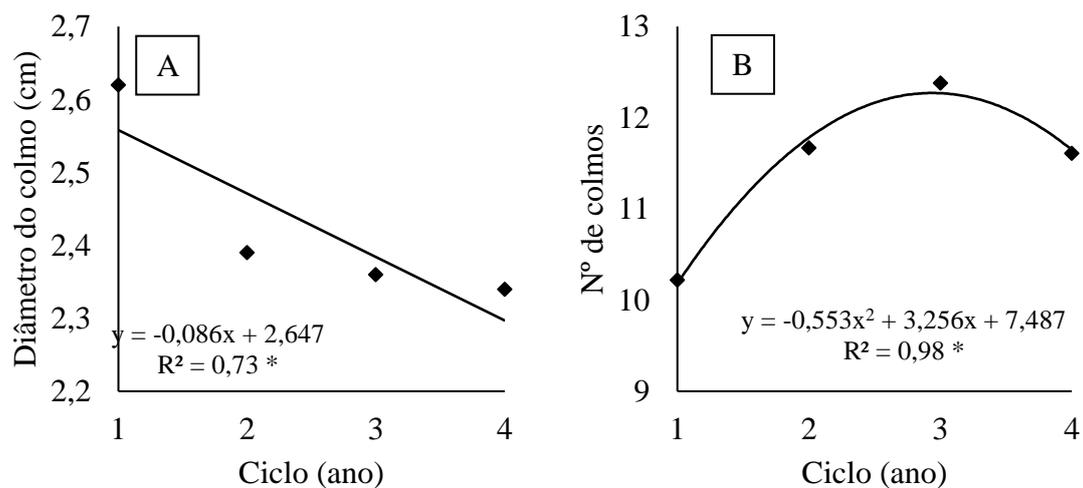


Figura 7. Diâmetro do colmo (A) e Número de colmos industrializáveis (B) de cana-de-açúcar em função dos quatro ciclos de cultivo.

3.2 Densidade de raiz

A densidade de raiz não sofreu influência pela aplicação da escória de siderurgia e do gesso, porém foi afetada pelas profundidades nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm (Tabela 6).

Tabela 4 - Quadrados médios da análise de variância para Densidade de raiz da cana-de-açúcar em três profundidades após o último ciclo de cultivo ao final do quarto ciclo de cultivo, 2017.

Causa de Variação	QM
Insumo (In)	1,74 ^{ns}
Profundidade (P)	7,93 [*]
Interação (In) x (P)	0,15 ^{ns}
MÉDIA	1,68
CV (%)	20,0

ns: não significativo; (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de F.

A densidade de raiz foi superior na camada de 0-20 cm comparado com as demais profundidades avaliadas (Figura 8). Pode-se observar incremento na ordem de 50% em relação a profundidade que obteve menor densidade de raiz (40-60 cm). Vários autores observaram que a densidade de raiz se localiza em maior quantidade nas camadas superficiais do solo, Korndörfer et al. (1989) avaliaram o crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em latossolo vermelho-amarelo (LVA) e observaram que 90% da distribuição do sistema radicular ficou concentrada na camada de 0 a 30 cm de profundidade. Sampaio et al. (1987) identificaram que 75% da massa radicular da cana-de-açúcar localizavam-se nos primeiros 20 cm da superfície do solo nas condições da região Nordeste. Lee (1926), nas Ilhas Havaianas, verificou que 65% das raízes de cana-de-açúcar encontravam-se nos 20 cm superficiais. Dessa maneira, os valores encontrados nessa pesquisa corroboram os resultados encontrados por Lee (1926), Sampaio et al. (1987) e Korndörfer et al. (1989).

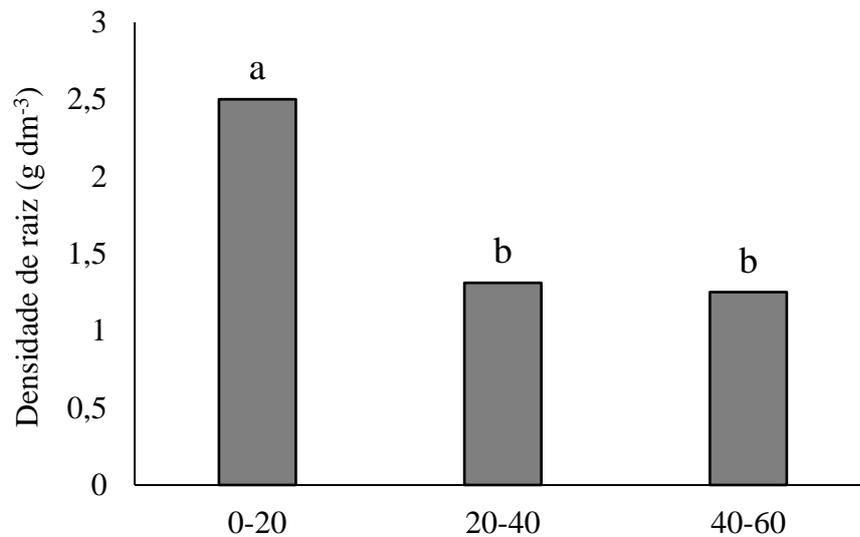


Figura 8. Densidade de raízes em função das profundidades no último ano de experimento, 2017.

Embora não tenha ocorrido efeito significativo da aplicação dos insumos na densidade de raiz, nota-se melhor distribuição do sistema radicular ao longo do perfil do solo nas plantas que receberam os insumos, em relação às plantas controle (Figura 9). As plantas que receberam doses de gesso e escória + gesso foram as que apresentaram melhor distribuição de raízes, principalmente nas camadas de 20-40 e 40-60 cm de profundidade, totalizando mais de 50% do sistema radicular em relação ao volume total de raízes das três camadas avaliadas. Houve um crescimento na ordem de 4,3% e 7,8% de densidade de raiz nos tratamentos com gesso e escória + gesso respectivamente, quando comparados com o tratamento controle. Resultados semelhantes foram verificados por Clemente et al. (2017) e Rocha et al. (2008) que concluíram que o uso de gesso melhora a distribuição do sistema radicular em profundidade. Pode-se atribuir o aumento de raízes em profundidade devido ao aumento de cálcio no solo, oriundo dos insumos escória de siderurgia e gesso que possuem em sua constituição básica o elemento cálcio (CAÍRES et al., 1999; SOUZA et al., 2007). O aumento do cálcio em profundidade favorece o crescimento do sistema radicular ao longo do perfil (CLEMENTE et al., 2017). O aumento do cálcio e conseqüentemente a redução do alumínio tóxico, possibilita maior aprofundamento do sistema radicular, refletindo em maior exploração do volume de solo e maior extração de água e nutrientes pela cana-de-açúcar (MORELLI et al., 1992).

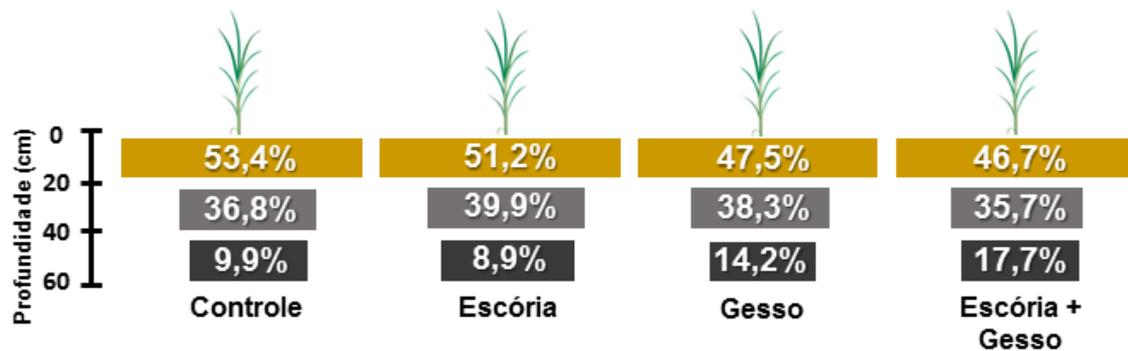


Figura 9. Distribuição de raízes ao longo do perfil no último ano de experimento, 2017.

3.3 Produtividade

A produtividade de colmos (TCH) foi influenciado pela interação entre a escória e os ciclos, como também foi influenciado pela aplicação de doses crescentes de gesso (Tabela 5). A influência da aplicação da escória de siderurgia na produtividade de colmos, provavelmente ocorreu, devido a disponibilidade de nutrientes no solo, como o Si, que faz parte da constituição química deste insumo, fato este relatado por outros autores (ANDERSON, 1991; RAID et al., 1992).

A produtividade do açúcar foi influenciada pela aplicação isolada de escória siderúrgica e gesso, bem como para os ciclos avaliados, porém não houve interação entre esses fatores (Tabela 5).

Tabela 5 - Quadrados médios da análise de variância para produtividade de colmos (TCH) e produtividade do açúcar (TPH) da cana-de-açúcar de quatro ciclos de cultivo.

Fonte de Variação	TCH	TPH
Escória de Siderurgia (Es)	1045,98 ***	32,14 **
Gesso (G)	1074,52 ***	25,89 **
Interação (Es x G)	254,23 ns	7,31 ns
Ciclo (C)	62664,07 ***	1971,40 ***
Interação (Es x C)	295,5 *	7,23 ns
Interação (G x C)	185,56 ns	5,74 ns
MÉDIA	113,94	17,06
CV (%)	10,28	13,50

ns: não significativo; (*), (**) e (***) significativo ao nível de 5, 1 e 0,1% respectivamente, de probabilidade de erro pelo teste de F.

A produtividade da cana-de-açúcar foi maior no primeiro e segundo ciclos de cultivo obedecendo crescimento linear, proporcionando incrementos da ordem de 10,9 e 13,1% respectivamente, em função das doses de escória de siderurgia. Já nos últimos ciclos, a

produtividade não foi alterada (Figura 10A). A aplicação de doses crescentes de gesso aumentou linearmente a produtividade da cana, proporcionando incremento da ordem de 7,6% durante quatro ciclos de cultivo (Figura 10B). Discordando dos resultados do presente estudo, Carvalho et al. (2013) avaliaram a produtividade da cana-soca em função do gesso e verificaram que a produtividade não foi influenciada pela aplicação do insumo.

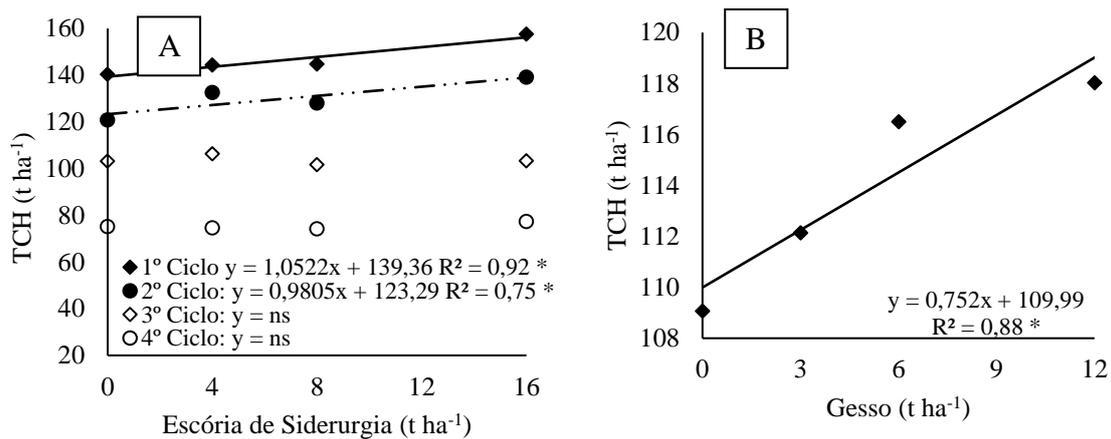


Figura 10. Produtividade de colmos em função da interação entre a escória de siderurgia e ciclos da cana-de-açúcar (A) e de gesso durante quatro ciclos de cultivo (B).

A aplicação de doses crescentes de escória siderúrgica aumentou a produtividade do açúcar durante quatro ciclos de cultivo obedecendo uma tendência linear (Figura 11A). Já com a aplicação de gesso a produtividade do açúcar teve um efeito quadrático de crescimento. A dose de máxima eficiência técnica (DMET) de gesso foi de 8,9 t ha⁻¹ obtendo-se produtividade do açúcar de 19,3 t ha⁻¹. (Figura 11B).

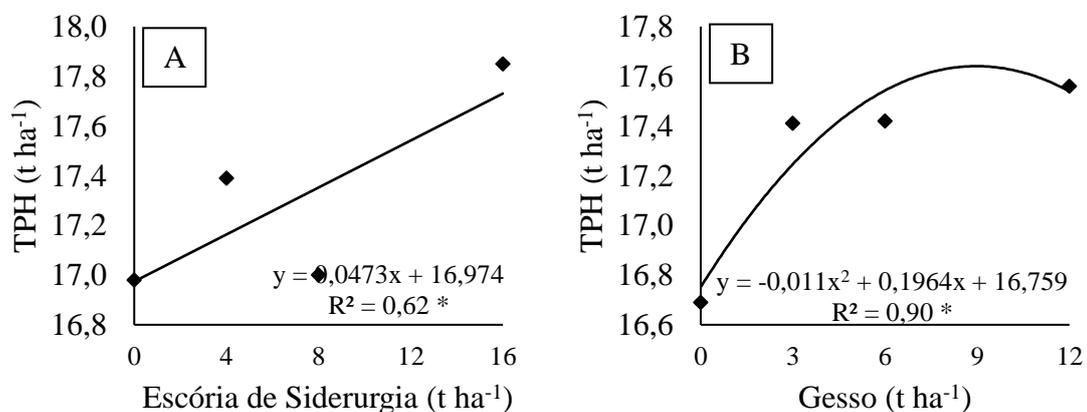


Figura 11. Produtividade do açúcar (TPH) em função da escória de siderurgia (A) e gesso (B).

Durante quatro ciclos de cultivo, a produtividade do açúcar diminuiu linearmente, perdendo ao longo dos ciclos a qualidade tecnológica da cana e apresentando produtividade menor em relação aos primeiros ciclos (Figura 12). A cada ciclo a produtividade reduz, gradativamente, provavelmente em função das características do potencial genético de cada variedade. Essa redução está diretamente relacionada com o gasto de energia para a rebrota a cada ciclo, além das condições físico-químicas do solo que são alterados (DIAS e ROSSETTO, 2006). Além disso, a produtividade de açúcar é diretamente influenciada pela produtividade de colmos (CLEMENTE et al., 2017), portanto com a diminuição da TCH ao longo dos ciclos a produtividade do açúcar também diminuiu.

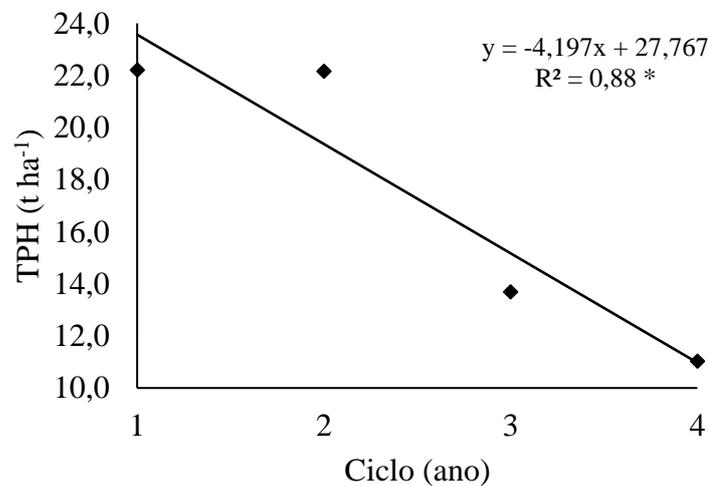


Figura 12. Produtividade do açúcar (TPH) em função do ciclo de cultivo.

3.4 Análise tecnológica

A análise tecnológica não foi influenciada pela aplicação de escória siderúrgica e gesso, porém nota-se efeito no °Brix, Pureza do caldo e Teor de fibra em função dos ciclos avaliados (Tabela 6).

O açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar foi influenciado pela interação da escória de siderurgia e os ciclos (Tabela 6).

Tabela 5 - Quadrados médios da análise de variância para análise tecnológica de cana-de-açúcar em quatro ciclos de cultivo, submetida a doses de escória siderúrgica e gesso.

	°BRIX	PUREZA	FIBRA	ATR
Escória de Siderurgia (Es)	1,31 ^{ns}	40,63 ^{ns}	18,47 ^{ns}	283,06 ^{ns}
Gesso (G)	0,35 ^{ns}	28,19 ^{ns}	16,55 ^{ns}	44,37 ^{ns}
Interação (Es x G)	0,80 ^{ns}	23,74 ^{ns}	19,19 ^{ns}	160,11 ^{ns}
Ciclo (C)	125,73 ^{***}	572,78 ^{***}	60,48 [*]	9555,97 [*]
Interação (Es x C)	1,37 ^{ns}	34,96 ^{ns}	18,53 ^{ns}	256,25 ^{**}
Interação (BGx C)	1,30 ^{ns}	48,11 ^{ns}	15,48 ^{ns}	319,44 ^{ns}
MÉDIA	20,33	86,47	13,98	145,80
CV (%)	5,64	5,89	30,61	7,71

ns: não significativo; (*), (**) e (***) significativo ao nível de 5, 1 e 0,1% respectivamente, de probabilidade de erro pelo teste de F.

Os ciclos de cultivo promoveram efeito quadrático no °Brix (%) e Pureza (%). Para o teor de Fibra ocorreu efeito linear positivo, ou seja, a cada ciclo houve aumento no teor de fibra (Figura 13).

Observa-se que no segundo ciclo de cultivo ocorreu aumento na pureza (%), seguido de decréscimo nos ciclos seguintes (Figura 13B). Tal fato se deve, provavelmente pela quantidade de chuva acumulada durante o segundo ano de cultivo, que apresentou maior precipitação pluviométrica entre as épocas avaliadas (Figura 2).

O teor de fibra foi mais acentuado no último ano de cultivo (Figura 13C), em que a diminuição de chuva nesse ciclo pode ser a responsável pelo alto teor de fibra (OLIVEIRA et al., 2011), uma vez que houve deficiência hídrica em grande parte da fase de maturação da cana nesse ano (Figura 2).

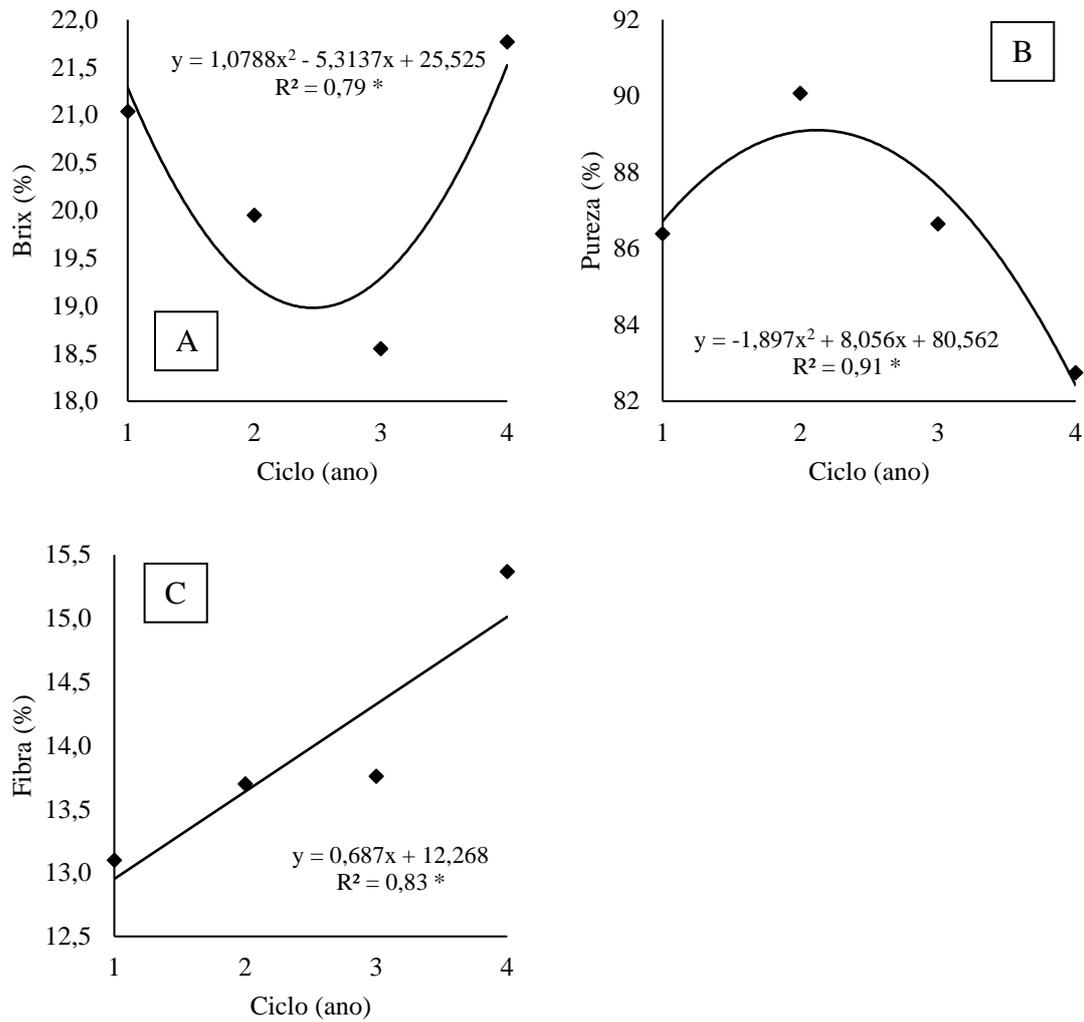


Figura 13. Brix (A), Pureza (B) e Fibra (C) em função dos quatros ciclos de cultivo.

Houve interação significativa entre a aplicação de doses de escória siderúrgica e o quarto ciclo de cultivo no ATR, no entanto nos demais ciclos não houve resposta (Figura 14).

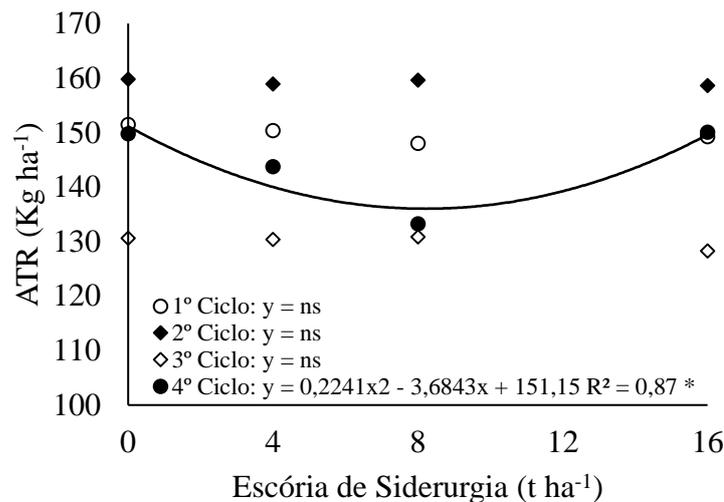


Figura 14. Açúcares totais recuperáveis (ATR) em função da interação entre a escória de siderurgia e ciclos de cultivo da cana-de-açúcar.

3.5 Margem de contribuição agrícola (MCA)

A margem de contribuição, de uma maneira geral, faz relação entre a receita bruta obtida com os produtos e os custos variáveis do sistema de produção (FERNANDES, 2003). No presente estudo, a margem de contribuição agrícola (MCA) foi alterada pela aplicação das doses de escória de siderurgia e doses de gesso, como também ao longo dos quatro ciclos de cultivo, no entanto não houve interação entre os fatores (Tabela 7).

Tabela 6 - Quadrados médios da análise de variância para margem de contribuição agrícola (MCA) de quatro ciclos de cana-de-açúcar.

	MCA
Escória de Siderurgia (Es)	6456713,9 **
Gesso (G)	6792685,53 **
Interação (Es x B)	1978373,01 ns
Ciclo (C)	652493180,22 ***
Interação (Es x C)	2494937,73 ns
Interação (G x C)	2167212,23 ns
MÉDIA	9735,76
CV (%)	12,82

ns: não significativo; (*), (**) e (***) significativo ao nível de 5, 1 e 0,1% respectivamente, de probabilidade de erro pelo teste de F.

A escória de siderurgia provocou efeito quadrático na margem de contribuição agrícola durante os quatro ciclos de cultivo. A dose de maior eficiência técnica foi de 15,75 t ha⁻¹, com

ganhos na ordem de 7,5% comparando-se com a dose 0 t ha⁻¹ de escória (Figura 15A). A margem de contribuição agrícola foi alterada pela aplicação de gesso ao longo de quatro ciclos de cultivo. Ocorreu aumento linear em função das doses crescentes de gesso (Figura 15B). Já para os ciclos de cultivo houve efeito na margem de contribuição agrícola com tendência negativa, ou seja, a margem de contribuição agrícola diminuiu linearmente a medida que o canal aumentava seus ciclos (Figura 15C).

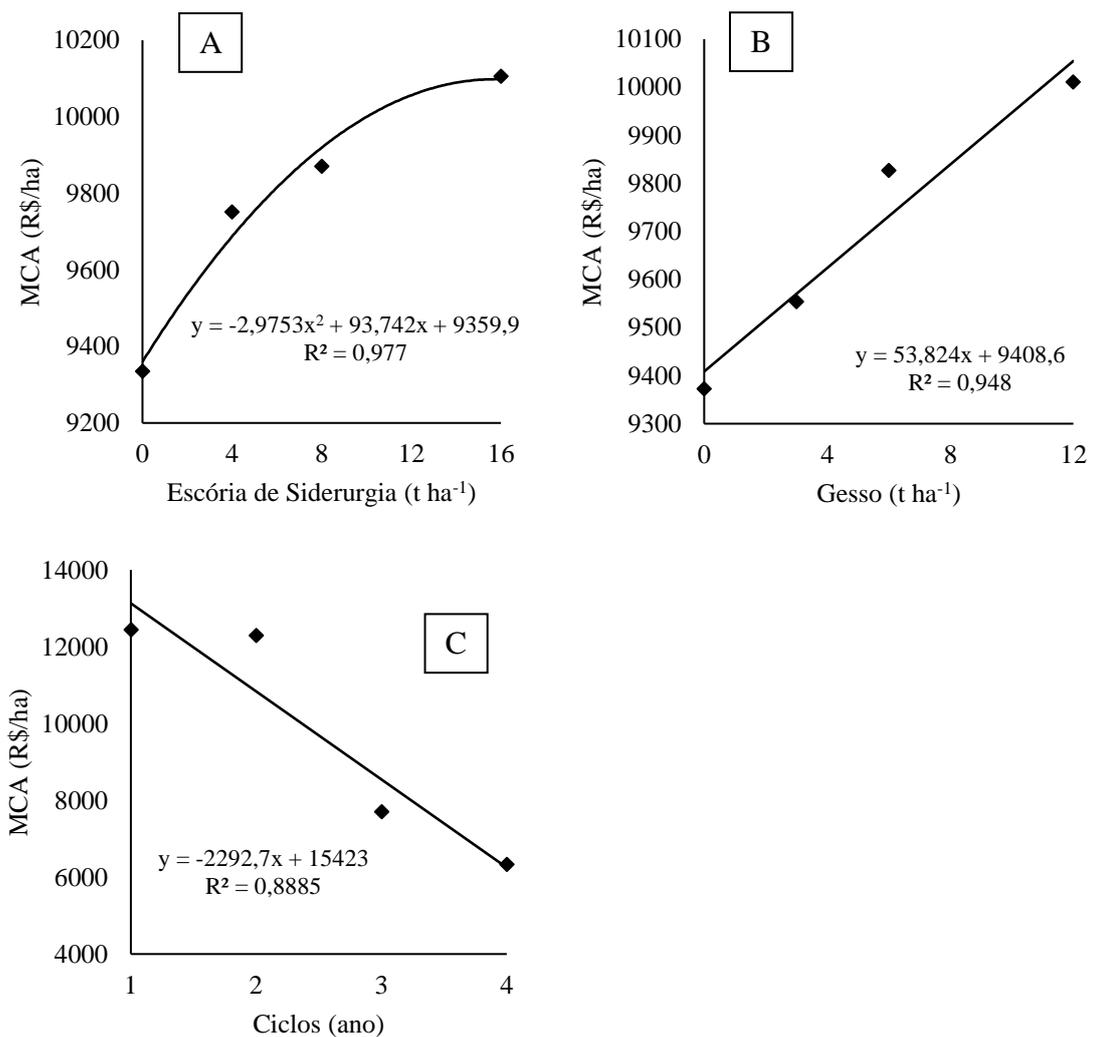


Figura 15. Margem de contribuição agrícola (MCA) em função da escória de siderurgia (A), gesso (B) e ciclo de cultivo (C).

Ao calcular a margem de contribuição agrícola com a aplicação de escória de siderurgia e gesso, foi observado efeitos positivos se comparado com os tratamentos que não receberam a aplicação dos insumos.

Pode-se observar incrementos de 416,00; 535,00 e 770,00 reais por hectare nas doses 4,0; 8,0 e 16 t ha⁻¹ respectivamente, quando comparado com a dose 0 de escória siderúrgica. A dose que obteve a maior expressão de MCA foi a dose de 16 t ha⁻¹ com valor de 10106,00 reais/hectare (Figura 16A).

O gesso proporcionou ganhos de 180,00; 453,00 e 637,00 reais por hectare nas doses 3,0; 6,0 e 12,0 t ha⁻¹ respectivamente, quando comparado com a dose 0 de gesso. A dose que obteve maior expressão foi de 12 t há⁻¹ com MCA de 10011,00 reais/hectare (Figura 16B).

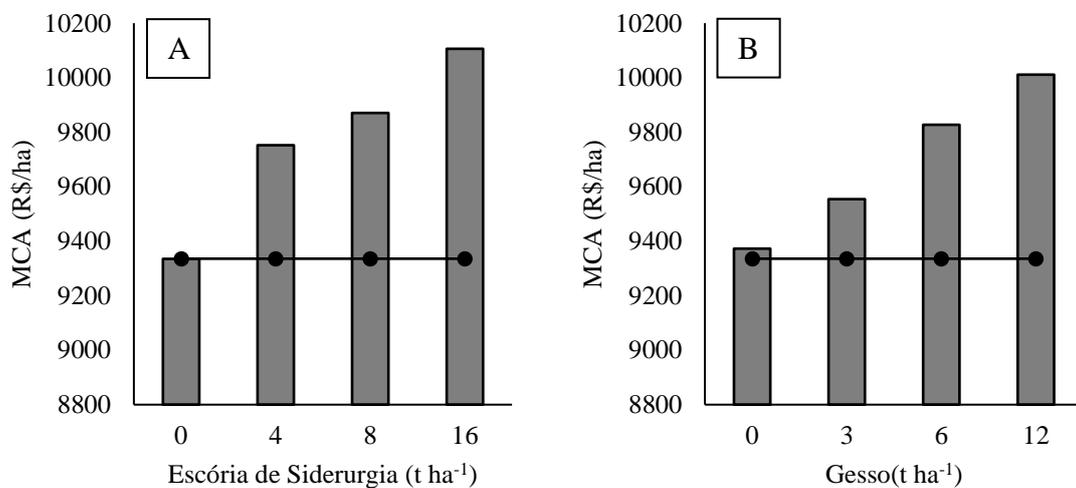


Figura 16. Margem de contribuição agrícola (MCA) em função da escória de siderurgia (A) e gesso (B).

Em relação aos ciclos de cultivo houve perdas de 151,00; 4738,00 e 6113,00 reais por hectare no segundo, terceiro e quarto ano de cultivo respectivamente, quando comparado com o primeiro ano. O primeiro ano foi quem obteve a margem de contribuição agrícola de maior expressão com 12442,00 reais/hectare (Figura 17).

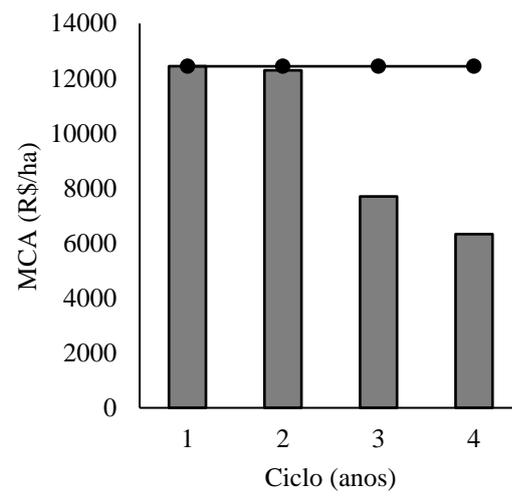


Figura 17. Margem de contribuição agrícola (MCA) em função dos ciclos de cultivo.

4 CONCLUSÕES

A escória de siderurgia é um importante insumo a ser usado no momento do plantio para efeitos residuais ao longo dos ciclos da cana-de-açúcar no crescimento da planta, principalmente no número de colmos industrializáveis.

A produtividade de cana-de-açúcar é influenciada pela aplicação de escória de siderurgia tanto no primeiro ciclo de cultivo quanto na socaria.

A escória de siderurgia e o gesso melhoram a distribuição do sistema radicular em profundidade sendo importantes insumos agrícolas a serem aplicados no momento do plantio da cana-de-açúcar, promovendo efeitos residuais.

A margem de contribuição agrícola é influenciada pela aplicação da escória de siderurgia e gesso, bem como ao longo dos ciclos estudados, tendo as maiores doses dos insumos, o capital mais significativo por hectare.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. D.; SILVA, M. D. A.; TEODORO, I.; HOLANDA, L. A.; NETO, SAMPAIO NETO, G. D. Growth and productivity of sugarcane varieties as affected by water availability in the Coastal Tablelands of the Alagoas State, Brazil. **Bragantia**, v. 72, n.3, p. 262-270, 2013.
- ACCIOLY, A.C.A.; SCHULZE, S.M.B.B. Noções de geologia e evolução da Bacia do Araripe. Recife: UFRPE/Área de Solos, 2003. 9 p. Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE.
- ADAMS, F.; MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.47, p.99-102, 1983.
- AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E. **Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola (Impresso), v. 29, n. 3, p. 440-451, 2009.
- ALBUQUERQUE, A. W.; SÁ, L. A.; RODRIGUES, W. A.; MOURA, A. B.; OLIVEIRA FILHO, M. S. Growth and yield of sugarcane as a function of phosphorus doses and forms of application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 29-35, 2016.
- ALVAREZ V.H.; DIAS, L.E. Enxofre. 1.ed. Viçosa: ABEAS/Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p
- ANDERSON, D.L.; BOWEN, J.E. Sugarcane nutrition. **Potafós**. p.40 (in Portuguese), 1992.
- BAKKER, M.R.; NYS, C.; PICARD, J.F. The effects of liming and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl) stand at La Croix-Scaille (French Ardennes) I. Site characteristics, soil chemistry and aerial biomass. **Plant and soil**. v. 206, p. 99-108, 1999.
- BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Cana-de-açúcar: variedades, estabelecimento e manejo. In: Simpósio sobre manejo estratégico de pastagem, 3, 2006, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 2006. p. 245-276.

BARBOSA, M. H. P. et al. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB 72454 no ciclo da cana planta. In: 8 CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2002. Pernambuco: STAB, Anais... Recife, 2002. p. 234-238.

BARROS, M.F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ V, V.H.; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. V.8, n.1, p. 59-64, 2004.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. Berlin, Springer- Verlag, 1979. 188p.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊIA, G.F.; COSTA, L.M. Misturas de gesso e matéria orgânica alternado atributos físicas de um latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.125 – 130, 1997.

BRASSIOLI, F. B.; PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Avaliação agronômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Bragantia**, v.68, p.381-387, 2009.

CAIRES, E.F. E ROSOLEM, C.A. **Root growth of peanut cultivars and soil acidity**. In: WRIGHT, R.S.; BALIGAR, V.C.; MURRMANN, R.P., (Ed.). Plant-soil interactions at low pH. Dordrecht: Kluwer, 1991. p. 239-244

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:161-169, 2002.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E.F., FONSECA, A.F., MENDES, J., CHUEIRI, W.A. & MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.23, p.315–327, 1999.

CARVALHO, J.M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, SALATIÉR.; CARVALHO, M.P. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, p.1-9, 2013.

CASAGRANDE, A. A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CASTRO, G.S.A.; CALONEGO, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1690-1698, 2011.

CHAVES, J.C.D., PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M., Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.23, p.469 -476. 1988.

CLARKSON, D.T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces cell wall material. **Plant Soil, Dordrecht**, v.27, p.347-355, 1967.

CLEMENTE, P.R.A.; BEZERRA, B.K.L.; SILVA, V.S.G.; SANTOS, J.C.M.; ENDRES, L. Root growth and yield of sugarcane as a function of increasing gypsum doses. **Pequisa Agropecuária Tropical**, v.47, p.110-117, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Terceiro Levantamento, dezembro/2017.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.

CRUSCIOL, C.A.C.; CASTRO, G.S.A.; SORATTO, R.P.; COSTA, C.H.M.; FERRARI NETO, J. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.404-410, 2013.

DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIÉBAUT, J.T.L.; NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar: I. Movimentação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.195-198, 1986.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. Silicon in agriculture. studies in plant science. Amsterdam: **Elsevier**, 2001. 403 p.

DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In SEGATTO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Universidade Moura Lacerda: Ribeirão preto, 2006. P.107-171.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa 2009.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v.99, p.345-399, 2008.

FANTE JÚNIOR, L. et al. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I. Comparação de metodologias. **Scientia Agricola**, v.51, p.513-518, 1994.

FARIA, R. J. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FARINA, M.P.W., CHANNON, P.; THIBAUD, G.R. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity. II. Long-term soil effects. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.652-658. 2000.

FERNANDES, A.C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. Piracicaba: **STAB**: Açúcar, Álcool e subprodutos, 2003. 240p.

FERNANDES, A.C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. **STAB** – Soc. Técn. Açúcar. Alcool. Bras., 2001. 193p.

FILOSO, S.; CARMO, J. B.; MARDEGAN, S. F.; LINS, S. R. M.; GOMES, T. F.; MARTINELLI, L. A. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.52, p. 1847-1856, 2015.

FREIRE, F.J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de fertilizantes e corretivos para cana-de-açúcar**. 2001. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GASCHO, G.J. Response of sugarcane to calcium silicate slag. I. Mechanisms of response in Florida. *Soil & Crop Science Society of Florida*, v.37, p.55-58, 1978.

GASCHO, GJ; SHIH, SF Cana de Açúcar. Em: Teare ID e Peet MM (Eds.). *Relações lavoura-água*. 1. ed. Nova Iorque: Wiley-Interscience, 1983. p.445-479.

GONG H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. ***Plant Science***, v.169, p.313-321, 2005.

HATTORI T.; INANAGA S.; ARAKI H.; PING A.; MORITA S.; LUXOVA M.; LUX A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. ***Physiologia Plantarum***, v.123, p.459-466, 2005.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. ***Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos***, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.

ILLERA, V.; GARRIDO, F.; VIZCAYNO, C.; GARCIA-GONZALEZ M. T. Field application of industrial by-products as Al toxicity amendments: chemical and mineralogical implications ***European Journal of Soil Science***, v.55, p.681-692. 2004.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. ***Field Crops Research***, v. 89, p. 107-122, 2004.

JORGE, L.A.C., coord. *Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS*. São Carlos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, 1996. 57p. (Circular Técnica, 1/96)

KOFFLER, N. F.; LIMA, J.F.W.F.; LACERDA, M.F.; SANTANA, J.F.; SILVA, M.A. ***Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil***. 1ª ed. Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR. 1986. 78p.

KORNDÖRFER, G.H.; BENEDINI, M.; PAULA, F.B.; CHAGAS, R.C.S. Cimento como fonte de silício para a cana-de-açúcar. ***Revista STAB***, v.19, p.30-33, 2000.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. ***Silicato de cálcio e magnésio na agricultura***. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2002.

- LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. **Melhoramento genético e manejo varietal**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). Cana-de-Açúcar. 1 ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, v. 1, p. 101-156, 2008.
- LEE, H. A. The distribution of the roots of sugar cane in the soil in the Hawaiian Islands. **Plant Physiology**, v.1, p.363-378, 1926.
- LEITE, G.M.V.; ANDRADE, L.A.B.; GARCIA, J.C., ANJOS, I.A. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar SP80-1816. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.1120-1125, 2008.
- LOPES, A. S.; GUILHERME L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, F.R. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.
- LOSORDO, Z.; MCBRIDE, J.; ROOYEN, J. V.; WENGER, K.; WILLIES, D.; FROEHLICH, A.; LYND, L. Cost competitive second-generation ethanol production from hemicellulose in a Brazilian sugarcane biorefinery. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v.10, n.5, p. 589-602, 2016.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.
- KOFFLER, N.F., A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas o Cerrado. Piracicaba, **POTAFÓS**, 1986. 12p. (Informações Agronômicas, 33).
- KOPKE, U. Methods for studying root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRAZILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. Proceedings. Londrina: IAPAR, 1981. p.303-318.
- MADEIROS L.B.; VIEIRA, A.O.; NETO, J.D.; BELTRÃO, N.E.M.; AQUINO, B.F. Influência da escória siderúrgica sobre a produtividade e crescimento da cana-de-açúcar irrigada. **Engenharia Ambiental**, v.5, p.192-202, 2008.
- MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants, In: DATNOFLF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Eds). Silicon in Agriculture. **The Netherland, Elsevier Science**, p.17-39. 2001.

MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. In: MANUAL DE QUÍMICA AGRÍCOLA: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MARAFON, A.C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

MENEGUCCI, N.C.; CREPALDI, B.H. Estudo fenológico de espécies arbóreas dados preliminares. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.29, 2016.

McCORMICK, L.H.; BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.36, p.799-807, 1972.

MORELLI, J.L.; DALBEN, A.E.; ALMEIDA, J.O.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana de açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.187-194, 1992.

MORELLI, J.L.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas dos solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, n.6, p.24-3, 1987.

MYAKE, Y. & TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 29, p. 71-83, 1983.

NASCIMENTO, C.W.A. Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes. Recife: UFRPE/Área de Solos, 2003. 9 p. Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE.

NATALE, W.; ROZANE, D.E.; PARENT, L.E.; PARENT, S.É. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal – Sp. v.34, p.1294–1306, 2012.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, A.C.D.; SIMÕES NETO, D.E.; ROCHA, A.T; CARVALHO, L.A. (2011). Productivity, water use efficiency, and technological quality of sugarcane subjected to different water regimes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.S.; NETO, D.E.S.; SILVA, S.A.M. Extração de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.34, n.4, p.1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, F. L. N.; STAMFORD, N. P.; SIMÕES NETO, D. E., OLIVEIRA, E. C.A.; OLIVEIRA, W.S.; SANTOS, C. E. R. S. Effects of biofertilizers produced from rocks and organic matter, enriched by diazotrophic bacteria inoculation on growth and yield of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, v.9, n.6, p. 504-508, 2015.

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

OLIVEIRA, R.A; SANTOS, R.; RIBEIRO, A.; ZOLNIER, S.; BARBOSA, M. H. P. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais usando o método ZAE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.549-557, 2012.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBOM, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná. **Scientia agraria**, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

OMETTO, J. C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 19 p.

PAVAN, M.; VOLKWEISS, S. J. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: princípios. In: SEMINÁRIOS SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1. Brasília, 1985. Anais. Brasília, 1986. p.107-118.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PERYEA, F.J, Influence of calcium and magnesium salts on acid soil chemistry and calcium nutrition of apple. **Soil Science Society of America Journal**, v.51, p.1526-1530. 1987.

- PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.
- PEREIRA, J. E. Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno. 1978. 84 f. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1978.
- PORTA, J. Methodologies for the analysis e characterization of gypsum in soils: A review. **Geoderma**, v.87. p.31-46, 1998.
- PRADO, F. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.539-546, 2002.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 201-209, 2001.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Aspecto econômico do uso da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Revista Terra Latinoamericana**, v.28, p.273-279, 2010.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALIE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.27, p.287-296, 2003.
- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Instituto Agrônômico, Campinas, Brasil. 111 p. 2000.
- RAID, R.N.; ANDERSON, D.L.; ULLOA, M.F.; Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugarcane. **Crop Protection**, v.11, p.84–88, 1992.
- RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RIDESA – Rede Universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo nacional de variedades RB de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. 136p.

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, p.40-42, 1980.

RITCHEY, K.D.; FELDHAKÉ, C.M.; CLARK, R.B.; SOUSA, D.M.G. Improved water and nutrient uptake from subsurface layers of gypsum-amended soils. In Agricultural utilization of urban and industrial by-products. Madison: **ASA Publishers**. 1995. p. 157–181.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. **Soil Science**, v.133, p.378- 382, 1982.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista-UNESP, Botucatu, 75p, 1995.

ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, A.C.; RODRIGUES, A.N.; LIRA JÚNIOR, M.A.; FREIRE, F.J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, p.307-312, 2008.

ROCHA, A. T. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial**. Recife - PE. Tese de Doutorado em Ciência do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.

ROSOLEM, C.A.; BICUDO, S.J.; MARUBAYASHI, O.M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: DATE, R.A. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p.543-547.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, p.259-266, 1994.

ROSA, G. R. (coord.) **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar 2005**. 1ª.ed. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136p.

SALATA, J.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Ação do calcário e gesso em solos de baixa fertilidade e na recuperação de soqueiras de cana de açúcar. **Stab: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.14, n.1, p. 19-22, 1995.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do gesso mineral em latossolo cultivado com cana de açúcar. **Caatinga**, v.20, n.1, 2007.

SALDANHA, E. C. M. et al. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento e acúmulo de N em variedades de cana-de-açúcar. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, ribeirão Preto, SP. 2003. CDRom.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. **Suelos acidos: estrategias para su manejo con bajos insumos em America Tropical**. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1983. 93p.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. **Irrigação da cana-de-açúcar** In: PARANHOS, S. B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p. 373-431, 1987.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. de. **Anatomia e botânica**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. 882p.

SHAINBERG, R.; SUMNER, M.E., MILLER, W.P., FARINA, M.P.W., PAVAN, M.A.; FEY, M.W. Use of gypsum on soils: A review. In: B.A. Stewart (Editor), **Advances in Soil Science**, 9. Springer, 1989.

SCHUURMANN, J.J.; GOEDEWAAGEN, M.A.J. Methods for the examination of root systems and roots. 2.ed. Wageningen: Pudoc, 1971. 86p.

SILVA, S.; NETO, J. D.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, M. A. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.9, p.849-856, 2015.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana irrigada no submédio do vale do São Francisco. **Ciência Agrônômica**. 2012, 48, 500-509.

SILVEIRA, L. C. I.; BARBOSA, M. H. P.; CHAVES, J. M. P. Variedades melhoradas de cana-de-açúcar para Minas Gerais. Informe Agropecuário, 2007, 28, 25-29.

SMEETS, E. M. W.; BOUWMANW, L. F.; STEHFEST, E. VAN VUUREN, D. P.; POSTHUMA, A. Contribution of N₂O to the greenhouse gas balance of first generation biofuels. **Global Change Biology**, v. 15, p.1–23, 2009.

SOARES, P. M.; KONISHI, F.; SILVA, M. S.; ROCHA, A. M. Do Proálcool ao bicomustível: a saga de um setor. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia-RIPE**, v. 2, n.1, p.1-11, 2016.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto**. 2005. 173 f. (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; CASTRO, G.S.A.; COSTA, C.H.M.; FERRARI NETO, J. Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1538-1544, 2012.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Cap.5, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, Brasil. p.205-274, 2007.

SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, T.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. R.; CARDIM, A. H.; AMORIM, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 131-141, 2004.

SINDAÇÚCAR-AL. O açúcar e o álcool desenvolvendo Alagoas. Disponível em: <<http://www.sindacucar-al.com.br/consecana/>>. Acesso em: 12 novembro 2017.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A. Importância do enxofre na agricultura brasileira. *Informações Agrônômicas*, n.129, p.14-20, 2010. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/\\$FILE/Page14-20-129.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/$FILE/Page14-20-129.pdf)>. Acesso em: 21 de mar. 2017.

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N. S. & STEWART, B.A. eds. **Subsoil management techniques**. Athens, Lewis Publishers, 1995. p. 147 – 185.

SUMNER, M.E.; SHAHADNDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1254-1258, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TANG, C; ZENGEL, Z; DIATLOFF, E; GAZEY, C. Responses of wheat end barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field and crops research**. v.80, p.235-244. 2003.

TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; BRITO, K. S.; SÁ, L. de A.; SANTOS, M. A. L.; SARMENTO, P. L. V. S. Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v. 18, n.3, p. 387-401, 2013.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (Saccharum spp), baseados em parâmetros do solo e clima**. 2003. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

VASCONCELOS, A. C. M; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Piracicaba 2005 (**Encarte Técnico**).

VASCONCELOS, A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana de açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.849-858, 2003.

VILELA, L; RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. Respostas da soja e do milho ao enxofre num latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado no distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 19, p. 281 - 285. 1995.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E. **Uso de gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba – SP, GAPE, 2008. 104p.

VITTI, G.C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária**. Piracicaba: ESALQ, 2000. 30p.

APÊNDICES



Apêndice 1. Execução do plantio na área experimental, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2012.



Apêndice 2. Vista parcial da área experimental aos 90 dias após o plantio do experimento, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2013.



Apêndice 3. Vista de dentro do canavial aos 465 dias após o plantio do experimento, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2013.



Apêndice 4. Colheita manual da área experimental, Usina Santo Antônio, São Luís do Quitunde, AL, 2013.