

DEISE PAULA DA SILVA

**DOSES DE COBALTO VIA FOLIAR, NO DESENVOLVIMENTO E NA QUALIDADE DA
MATÉRIA PRIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Botucatu

2016

DEISE PAULA DA SILVA

**DOSES DE COBALTO VIA FOLIAR, NO DESENVOLVIMENTO E NA QUALIDADE
DA MATÉRIA PRIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre
Costa Crusciol
Coorientador: Dr. Richard M. Johnson

Botucatu

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S586d Silva, Deise Paula da, 1981-
Doses de cobalto via foliar, no desenvolvimento e na qualidade da matéria prima da cana-de-açúcar / Deise Paula da Silva. - Botucatu : [s.n.], 2017
59 p. : fots. color., grafs. color., ils., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Coorientador: Richard M. Johnson
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Cultivo. 2. Plantas - Efeitos dos metais pesados. 3. Cobalto - Absorção. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Johnson, Richard M. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

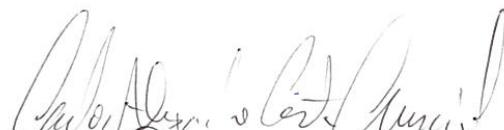
TÍTULO: "DOSES DE COBALTO, VIA FOLIAR, NO DESENVOLVIMENTO E NA QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR"

AUTORA: DEISE PAULA DA SILVA

ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

COORDENADOR: RICHARD MALCOLM JOHNSON

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Dr. MARCELO ROCHA CORRÊA
TECHFIELD ASSESSORIA E CONSULTORIA EM AGRICULTURA LTDA



Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Dr. EDUARDO NEGRIZOLI
TECHFIELD ASSESSORIA E CONSULTORIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL



Dra. GABRIELA FERRAZ DE SIQUEIRA
Pós-doutoranda - Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 03 de outubro de 2016.

A Deus

À minha mãe Maria Inês Soares da Silva e ao meu pai Aparecido da Silva, que sempre me ensinaram que vale a pena lutar pelos sonhos, mesmo quando tudo e todos são contra.

Aos meus irmãos Aparecido Luiz da Silva Junior, Maria Gabriela da Silva Bandeira, Antônio Geraldo da Silva Neto, Ana Graziela da Silva e Pedro Gabriel da Silva.

Ao meu avô (*in memoriam*) Antônio Geraldo da Silva.

“Eu tive um sonho sonhei que meus filhos fossem julgados pelo caráter e não pela cor da pele”.

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as vitórias concedidas.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol por toda ajuda em todos esses anos, por toda paciência e ensinamento.

A Dr. Richard M. Johnson por ter me recebido na USDA – Houma, LA, EUA, por toda a paciência e persistência comigo.

Ao professor Dr. Rogério Peres Soratto por toda ajuda no Mestrado.

Ao Pesquisador Dr. Jair Rosas do IAC.

Aos meus amigos Marcelo Giroto, Ana Cláudia de Lima Silva, Natália Soares, Paula Caroline, Tiara Guimarães, Maria Julia Carreiro Ferreira, Gabriela Ferraz de Siqueira, Renata Pincelli de Souza, Augusto Gabriel Claro, Franciana Francisca de Sousa Pereira, David Palomeque, Kafui Sobo e Julia, Miracema, Brenda D. Aysenne dos Santos meu eterno obrigada pelas horas que passamos juntos. Em á especial para Tiara por toda ajuda.

Aos amigos Katie Authement, Brenda King, Jeffrey Carrillo e Brenda D. Aysenne por tornar meus dias na Louisiana mais alegres.

Aos funcionarios da Biblioteca da FCA – Botucatu por todo atenção, paciência e colaboração nessa fase tão importante: Ana Lúcia de Grava Kempinas, Denise, Maísa Coelho França, Célia Regina Inoue, Solange Aparecida Paulossi Spadim, Nilson de Camargo, Airton Fioravante, Joel Di Creddo, Messias Victor Telles de Carvalho, Maria Lúcia Martins Frederico, Valdemir Ramos Domingues Célia, Maísa, Eliane Lucas Pimentel.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal. Ilanir Rosane R. Bocetto, Vera Lúcia Rossi, Dorival de Arruda Pires, Eliane Gonçalves, Valeria Cristina R. Giandoni e Amanda Bedette, por toda ajuda.

Aos funcionários da USDA da unidade de Houma: Dr. Michel Grisham, Brenda D. Aysenne, Lionel Lomax.

Á Dra. Maria José por todas as horas de incentivo e perseverança.

As minhas colegas de republica Gleize, Prinscilla, Alejandra.

Aos colegas da Pós-Graduação: Jader Nantes, José Geraldo Espinoza Véliz e Claudio Hideo Martins da Costa pela ajuda na elaboração da tese.

A Capes pelo apoio financeiro concedido através das bolsas de estudos.

Agradeço a todos os funcionários da Usina Raízen por todo ajuda na execução de

vários experimentos ao longo do meu mestrado e doutorado.

Enfim, agradeço Hamid Demdoun, meu namorado, meu amigo, parceiro, cúmplice, que me fez sorrir todas às horas que eu quis chorar. Meu muito obrigada por entender minhas horas de ausência, por todas as horas de Skype, enfim, por você existir na minha vida, meu muito **“Obrigada”**.

RESUMO

O Co é um elemento classificado como benéfico para as plantas cultivadas, podendo influenciar o potencial produtivo da cultura. Os principais estudos sobre a aplicação de cobalto em culturas agrícolas relatam a experiência em leguminosas e, nestes casos, descrevem a elevação da relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio as interferências na biossíntese de etileno e nos índices de clorofila das plantas. O presente estudo objetivou compreender a ação do cobalto no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, em experimento implantado em março de 2015 na unidade de pesquisa pertencente ao USDA - United States Department of Agriculture, Houma – LA. Utilizando-se a variedade LCP 85-384. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de quatro doses de cobalto T1: Controle (sem aplicação de cobalto), T2: 70,42 mL ha⁻¹, T3: Aplicação 140,87 mL ha⁻¹, T4: 210,08 mL ha⁻¹ e T5: 281,70 mL ha⁻¹. Os tratamentos foram aplicados aos 80 e 100 dias após o plantio e as avaliações realizadas aos 30 e 120 dias após a primeira aplicação. Foram avaliadas variáveis biométricas (altura, número de folhas, diâmetro de colmo), fisiológicas (condutância estomática, índice de SPAD), produtividade, número de colmos vaso⁻¹, peso de colmos vaso⁻¹, produtividade de colmos e açúcar vaso⁻¹ e variáveis tecnológicas (sacarose (%), pureza (%) e fibra. Nas condições em que foi realizado o presente estudo, pode-se concluir que, a falta de cobalto na cultura da cana-de-açúcar limitou o desenvolvimento das plantas e a produção de colmos e de açúcar. A aplicação de doses de 140,9 ml de cobalto ha⁻¹ proporcionou aumento na condutância estomática, o número de perfilhos, folhas e de colmos, refletindo diretamente em aumento da produção de colmos. As variáveis tecnológicas, como teor de sacarose, pureza do caldo e teor de fibra, não foram alterados pela aplicação do cobalto, porém a produção de açúcar aumentou, como reflexo da produção de colmos. O uso de doses acima de 200 ml de cobalto ha⁻¹ prejudicaram o desenvolvimento da cultura, provavelmente por toxidez.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Elementos benéficos. Metais pesados. Perfilhos.

ABSTRACT

Cobalt is an element classified as beneficial to the crop plants and can influence the productive potential of the crop. The major studies on the application cobalt crops experience reported in legumes and in these cases, describing the increase in symbiotic relationship with nitrogen-fixing bacteria and interference in the biosynthesis of ethylene in plant chlorophyll contents. This study aims to understand the action of cobalt (Co) in the vegetative development of sugarcane. The experiment was established in March 2015 in the research unit belonging to the USDA - United States Department of Agriculture, Houma - LA. The variety used was the LCP 85-384. The treatments consisted of application of four cobalt doses Control (no cobalt), T2: 70,42 mL ha⁻¹, T3: aplicação 140,87 mL ha⁻¹, T4: 210,08 mL ha⁻¹ e T5: 281,70 mL ha⁻¹. Treatments were applied at 80 and 100 days after planting and evaluations carried out at 30 and 120 days after the first application, biometric variables were evaluated (height, number of leaves, stem diameter) physiological (stomatal conductance, SPAD index), productivity, culm number pot⁻¹, stem weight pot⁻¹, weight stem (g) pot⁻¹ and technological variables (sucrose (%) purity (%) and fiber (%)). In the conditions under which the present study was carried out, it can be concluded that the lack of cobalt in the sugarcane crop limited the development of the plants and the production of stalks and sugar. The application of 140.9 ml doses of ha⁻¹ cobalt provided an increase in stomatal conductance, the number of tillers, leaves and stalks, directly reflecting an increase in stem yield. The technological variables, such as sucrose content, broth purity and fiber content, were not altered by cobalt application, but sugar production increased as The use of doses above 200 ml ha⁻¹ cobalt impaired the development of the crop, probably due to toxicity.

Keywords: *Saccharum* spp. Beneficial elements. Heavy metal. Tillers.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Rota metabólica do etileno, atuação do cobalto como inibidor. Adaptado de Medeiros, 2001.....29
- Figura 2.** Precipitação pluviométrica e temperatura máxima, média e mínima entre março e dezembro de 2015, registradas na Estação Meteorológica da USDA Sugarcane Research Unit, Houma, LA. – EUA.35
- Figura 3.** Equipamento utilizado para a aplicação dos tratamentos em plantas de cana-de-açúcar. Houma- LA, 2015.36
- Figura 4.** Plantas de cana-de-açúcar submetidas a aplicação de diferentes doses de cobalto. Houma- LA, 2015.....37
- Figura 5.** Condutância estomática (gs) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384.USDA – LA –EUA aos 30 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.41
- Figura 6.** Condutância estomática (gs) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384.USDA – LA –EUA aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.42
- Figura 7.** Índice de SPAD da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384.USDA – LA –EUA. Aos 30 (.....) e 120 (____) DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.43
- Figura 8.** Altura de plantas da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 30 (.....) e 120 (____) DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.44
- Figura 9.** Número de perfilhos da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 30 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.....45
- Figura 10.** Número de perfilhos da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.....45
- Figura 11.** Número de folhas da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 30 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.....46
- Figura 12.** Número de folhas da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.....47
- Figura 13.** Número de colmos (vaso-1), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.....47

- Figura 14.** Peso do colmo g (colmo-1) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Na ocasião da colheita em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. 48
- Figura 15.** Diâmetro de colmo (mm) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Na ocasião da colheita em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. 49
- Figura 16.** Produção de colmos (kg vaso-1), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Na ocasião da colheita em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. ... 49
- Figura 17.** Teor de sacarose (%), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. 50
- Figura 18.** Pureza do caldo (%), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. 51
- Figura 19.** Teor de fibra (%), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. 51
- Figura 20.** Produção de açúcar (gramas vaso-1), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t. 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Datas de Plantio, aplicações do Co e colheita36

Tabela 2. Análise de variância (probabilidade de F) das variáveis condutância estomática (gs), número de perfilhos, número de folhas, altura de plantas, e índice de SPAD aos 30 e 120 dias após aplicação (DAA). Número de colmos, peso médio de colmo-1, produção de colmo (kg vaso^{-1}), produção de açúcar (g vaso^{-1}), diâmetro de colmo (mm), sacarose (%), pureza (%) e fibra (%) avaliações realizadas na ocasião da colheita. Houma – LA. 2015.....40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	A cana-de-açúcar	23
2.2	O cobalto no solo	24
2.3	O cobalto nas plantas	25
2.4	Absorção e transporte de cobalto em plantas	31
2.5	Interação do cobalto com outros nutrientes	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	Localização e caracterização da área experimental	34
3.2	Dados meteorológicos	34
3.3	Delineamento experimental	35
3.4	Instalação e condução do experimento	35
3.5	Variáveis fisiológicas	37
3.6	Variáveis morfológicas	37
3.7.1	Número de colmos vaso⁻¹	38
3.7.2	Número de perfilhos por vaso⁻¹	38
3.8	Variáveis tecnológicas	38
3.8.1	Pol cana (%)	38
3.8.2	Pureza do caldo (%)	38
3.8.3	Fibra cana (%)	39
3.8.4	Produção de colmos	39
3.8.5	Produção de açúcar vaso⁻¹	39
3.9	Análises estatísticas	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Variáveis fisiológicas	41
4.2	Variáveis biométricas	43
4.3	Variáveis tecnológicas (sacarose, pureza e fibra).	49
5	CONCLUSÃO	53
6	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas mundiais, sendo o Brasil o maior produtor, com aproximadamente 8.654,2 milhões de hectares cultivados na safra 2015/2016, dos quais produziram aproximadamente 665.586,2 milhões de toneladas de colmos e com previsão de produtividade média de 76.909 kg ha⁻¹ ao final de 2016. Seu cultivo está concentrado nas regiões Sudeste, responsável por aproximadamente 63% da produção nacional (CONAB, 2016).

Além do Brasil, a cana-de-açúcar também é cultivada na Índia, Estados Unidos, União Europeia, África do Sul, Austrália e Tailândia. Em todos estes países, a cultura é emergente, devido ao impacto econômico, aumento da demanda por açúcar e/ou álcool e por se tratar de matéria prima para diversos ramos econômicos, como alimentícios, cosméticos e energéticos (MOORE et al., 2014).

Devido à busca incessante de aumento em produtividade, novos estudos envolvendo aplicação de nutrientes benéficos vêm sendo realizados (SARMA et al., 2014; SINHA et al. 2015 SMITS et al. 2009;). Os nutrientes considerados benéficos são aqueles que podem auxiliar as plantas em seu desenvolvimento, não sendo absolutamente necessários à sobrevivência vegetal, mas que interagem sinérgica ou antagonicamente com os nutrientes essenciais, alterando diversos processos metabólicos (ÖPIK et al., 2005).

O cobalto (Co) é considerado um nutriente benéfico em baixas concentrações na planta e, segundo Evans et al (1964), trata-se de um componente enzimático importante que pode estar envolvido no controle da absorção e translocação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe) (GAD et al., 2013; GAD, 2012). Apesar de ser classificado como um metal pesado, alguns autores associaram baixas dosagens de Co na planta com a elevação dos parâmetros fisiológicos (HUNTER et al., 1953), biométricos (BALAI et al. 2005) e, conseqüentemente, produtivos (KADIL, 2010).

Além de participar das atividades enzimáticas, Gad et al. (2011) acreditam que o Co interage com outros elementos para formar complexos, e estes participam de diversas reações fitoquímicas durante os estádios vegetativos. Porém, essas funções ainda não estão claras na literatura.

Balai et al. (2005), Collins et al (2011), El-Moez et al., (2002), Gad et al. (2013) e Gad (2012) em seus estudos sobre a atuação do Co em leguminosas, associaram

este nutriente com a elevação e qualidade das relações simbióticas com bactérias fixadoras de N, bem como com a interferência deste com o teor de etileno e clorofila. Estes autores, ainda foram unânimes em afirmar que trata-se de um nutriente promissor para a agricultura, e que, a escassez de estudos em outras culturas impossibilita sua aplicação prática e a obtenção dos benefícios agregados.

A atuação do Co no metabolismo e fisiologia vegetal ainda não está bem definida, bem como as suas funções e as concentrações ideais. Por já haver estudos que indicam que a aplicação deste elemento proporciona um melhor desenvolvimento vegetativo e possivelmente aumento produtivo, objetivou-se com este trabalho compreender a ação do cobalto no desenvolvimento da cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum* é originária das regiões da Indonésia e Nova Guiné. Amplamente cultivada no mundo, por se tratar de uma excelente matéria prima para a obtenção de produtos alimentícios, energéticos, fibrosos e cosméticos. O Brasil é o principal produtor mundial e segundo a Conab (2016), a produtividade média estimada para a safra 2015/16 é de 76.909 kg ha⁻¹ em área plantada de 8.654,2 mil ha.

Além do Brasil, a cana-de-açúcar também é cultivada na Índia, China, México, Estados Unidos, União Europeia, África do Sul, Austrália e Tailândia. Nos Estados Unidos a cana-de-açúcar é produzida há mais de 200 anos e as áreas de cultivo estão concentradas no Centro-Sul do país, mais especificamente nos estados da Flórida, Louisiana, Hawai e Texas. Diferentemente de outros países, a cana produzida nos Estados Unidos é direcionada somente para produção de açúcar, sendo o estado da Louisiana responsável por aproximadamente 37,3% da produção total do açúcar no país, com uma área plantada de 166.15 mil ha⁻¹, apresentando uma produtividade média para safra 2015/2016 de 75 toneladas ha⁻¹ (SALASSI et al., 2015).

Segundo Gascho e Shih (1985), a cana-de-açúcar, possui quatro estádios de desenvolvimento, conhecidos como: emergência dos brotos; perfilhamento e estabelecimento da cultura (da emergência dos brotos ao final do perfilhamento); período de grande crescimento (do final do perfilhamento ao início do acúmulo de sacarose) e maturação (intenso acúmulo de sacarose nos colmos). Dentre estes, as fases de emergência e perfilhamento são determinantes para o estabelecimento da cultura e formação de colmos industrializáveis.

Dillewijn (1952) explicou que a emergência da cana-de-açúcar tem início cerca de 40 dias após o plantio, já o pico de perfilhamento ocorrendo entre 3 e 5 meses, sob condições favoráveis e são acompanhados pelo processo de ramificação radicular que proporciona a formação da touceira.

Bonnett et al. (2014), complementou que os perfilhos são produzidos em excesso até a colheita e disputam durante este período por água, nutrientes e luminosidade. A partir do ponto máximo de perfilhamento, a competição pelos fatores de crescimento torna-se tão elevada que constata-se a redução do

perfilamento e a paralização desse processo, além de morte dos perfilhos mais novos.

Conforme o crescimento radicular, a absorção de água e nutrientes torna-se mais intensa e os tecidos aéreos tornam-se fotossintetizantes. Nesta fase, os nutrientes como Nitrogênio N, Fósforo P, Potássio K, são os nutrientes mais requisitados, requeridos abundantemente para a formação das estruturas de crescimento e atividade fotossintética, porém a aplicação de micronutrientes secundários tais como Cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e enxofre (S) e micronutrientes (Cobre (Cu), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Boro (B) e Cloro (Cl) são de extrema importância para o desenvolvimento e produtividade da cultura, sendo atualmente aplicados elementos classificados como benéficos tais como o silício.

Os elementos benéficos são classificados como não essenciais para o metabolismo das plantas, mas podem promover um maior crescimento e vigor das plantas submetidas à aplicação dos mesmos (ÖPIK; ROLFE, 2005).

Com o aumento contínuo da produção de cana-de-açúcar, a busca de alternativas que visam melhorar a produtividade da cultura são cada vez mais aceitas. Dentre esses elementos pode-se destacar o uso do cobalto, alumínio, iodo, selênio, vanádio entre outros. A aplicação de grandes quantidades desses elementos pode ocasionar toxicidade para as plantas cultivadas, porém em pequenas quantidades possuem a função de benéficos, apresentando importância significativa no vigor das plantas.

2.2 O cobalto no solo

O Co é um elemento metálico localizado na mesma linha química da tabela periódica de alguns micronutrientes (metálicos) como o ferro e níquel, sendo esse grupo de metais de vital importância para reações bioquímicas na maioria dos organismos, especialmente reações que envolvem enzimas (IPNI, 2014).

Apesar de ser um metal bastante raro, compreendendo apenas 0,001% da crosta terrestre e amplamente disperso, é comumente encontrado em associação com atividades de mineração, sendo os maiores distribuidores países como o Congo, China, Áustria e Rússia. Além de identificado nas rochas originárias, o Co pode ser encontrado no solo, devido às aplicações de sais para as plantas ou para os animais ou ainda devido a aplicação de adubos fosfatados. Segundo Smith et al.

(1998), as maiores concentrações são observadas nos horizontes com maior concentração de matéria orgânica e argila, associado a minerais como cobaltita, eritina, cobaltocalcita e skuterudita. Para Fageria et al. (2002), a concentração de Co na solução do solo é menor que um micromolar, já que, além de complexado a minerais, pode estar ligado ainda a outros compostos orgânicos.

As principais fontes comerciais de cobalto são o carbonato de cobalto, sulfato de cobalto, cloreto de cobalto, óxidos de cobalto, fosfato de cobalto silicatados e quelatos de cobalto. Em geral, as doses aplicadas são de 0,4 a 6 kg de cobalto por ha⁻¹ via foliar e, no tratamento de sementes, a aplicação é de 0,5 g kg⁻¹ (MALAVOLTA, 2006).

Em relação ao teor total no solo, existem algumas divergências. Segundo Malavolta (2004), o teor total de Co no solo varia de 0,05 a 300 mg, dependendo do conteúdo da rocha de origem. Já, de acordo com Silva (2002), os teores variam de 1 a 40 ppm, sendo a maior quantidade retida em óxidos de Mn, Fe e alumínio (Al). Coppenet et al. (1972) relatam que o teor de Co no solo é bastante influenciado pelo pH, assim como os teores de Mn e níquel (Ni). Por outro lado, Freiberg (1970) citou que a presença de húmus facilita a acumulação de Co nos solos, mas muitas vezes reduz sua absorção pelas plantas.

Faquin (1997) afirmou que há correlação inversa entre o Co e o Mn, na qual, em altas concentrações de Mn no solo, a absorção de Co é reduzida. Por esse motivo, em solos que possuem elevados teores de Mn, é importante que o cobalto seja aplicado diretamente nas folhas das plantas. Ainda de acordo com o autor, aplicações excessivas de calcário e teores elevados de Fe e Mn podem acarretar a carência desse elemento no solo. Referente à extração do cobalto, a mesma é feita com ácido acético 2,5%.

2.3 O cobalto nas plantas

O Co é conhecido como um nutriente benéfico às plantas, porém sua função específica não está bem estabelecida. Já se sabe que a aplicação deste nutriente em algumas espécies cultivadas tais como leguminosas apresenta efeitos positivos na produtividade (GAD, 2005; GAD et al., 2006, GAD, 2011; LI et al. 2005), no entanto, a concentração ideal que propicie o máximo desempenho ainda não foi elucidado.

Pettersson (1976) relatou que a concentração de Co pode ter efeito benéfico ou tóxico sendo que a concentração de 1,5 mM pode proporcionar efeitos benéficos

sem prejuízos para as plantas, porém em concentrações de 2,0 mM pode ser tóxico para as mesmas. Para Evans et al (1964), por se tratar de um componente importante de várias enzimas e coenzimas, tem influência no crescimento e no metabolismo das plantas, em diferentes graus, dependendo da concentração e da quantidade de Co na rizosfera e no solo.

Quantidades elevadas desse nutriente podem induzir a formação de espécies reativas de oxigênio e causar inibição do crescimento das plantas, estresse oxidativo, danos ao DNA celular e desordens nos processos fotossintéticos (GRANT; LOAKE, 2000). KLAUS et al (2004) complementaram a informação indicando que a atividade de algumas enzimas antioxidantes como a catalase, peroxidase, ascorbato e superóxido-dismutase pode ser suprimida quando submetidas ao excesso de Co. Ainda o aumento do teor de prolina foi também demonstrado pelo seu papel na desintoxicação de espécies ativas de oxigênio produzidas pelos tratamentos com metais. Segundo Schutzend et al. (2002), as atividades das enzimas oxidantes, em resposta ao excesso de cobalto, é sugestivo de indução ao estresse oxidativo.

De acordo com Sinha et al. (2015), em experimento realizado com plantas de cana-de-açúcar, reportaram que o excesso de Co ocasionou aumento na atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POX), aumentando também a peroxidação lipídica e acúmulo de prolina.

Gad (2012) estudou plantas de ervilha com aplicação de 8 ppm de Co no solo, e constatou que houve aumento no número de nódulos, peso, níveis de nutrientes, produção de vagens e melhora na qualidade das sementes, sólidos totais, porcentagem de proteína, bem como macronutrientes (N, P e K) e micronutrientes (Mn, Zn e Cu), em comparação com as plantas em que não se aplicou o Co. Em estudo posterior, Gad et al. (2013), explicaram que o Co é essencial para o crescimento de bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium*), pois possui papel importante como co-fator de cobalamina, que funciona como uma coenzima presente na fixação de N₂ e no crescimento dos nódulos. A cobalamina (vitamina B₁₂) é necessária para a atividade enzimática nos microrganismos fixadores de nitrogênio e na síntese de leghemoglobina. Esta por sua vez tem a função de transportar oxigênio (O₂) para o metabolismo aeróbico das bactérias. Tal informação complementa relato de Collins et al. (2011), os quais reportam que a aplicação de Co em leguminosas influencia no crescimento dos nódulos, possibilitando assim o aumento dos níveis de N fixados.

Ainda segundo Gad et al. (2013), a aplicação do Co em plantas de feijão-caupi,

resultou em efeito positivo sobre a nodulação das raízes em diferentes doses de nitrogênio quando comparadas as plantas não tratadas. A deficiência de Co mostrou redução da produção de vitamina B₁₂ e menor fixação de nitrogênio comprovando o papel vital desempenhado no aumento da atividade da enzima nitrogenase. Taiz e Zeiger (2013) corroboram a descrição dos autores citados e complementam que a deficiência de Co em leguminosas bloqueia o desenvolvimento e função dos nódulos de fixação de nitrogênio.

Segundo Balai et al. (2005), em plantas de feijão em que foi aplicado cobalto na dose de 2,0 mg kg⁻¹ de solo, observou-se maiores pesos frescos e secos de planta em comparação com o tratamento controle.

Já em estudos com amendoim, aplicando 1,0 ppm de cobalto, via semente, obteve-se um aumento no rendimento de grãos e no crescimento das plantas em comparação com o tratamento controle. Na cultura do amendoim, utilizando a dose de 0,21 mg ha⁻¹ observou-se um aumento na altura das plantas, número de ramos e folhas, índice de área foliar, massa seca de parte aérea, teor de leghemoglobina e rendimento de vagens.

Khandil (2007), aplicando no solo á dose de 12 ppm de cobalto em plantas de feijão fava, observou uma melhora nos parâmetros de crescimento do feijoeiro, número de nódulos, rendimento de sementes, atividade da nitrogenase, bem como a composição de minerais e conteúdos químicos. El-Moez e Gad (2002), em estudo com feijão-caupi, observaram um aumento dos pesos fresco e seco de caules e raízes, quando foi aplicado uma concentração de 8 ppm de cobalto.

Gad (2012) observou que a aplicação de 50 mg kg⁻¹ de cobalto no solo, em planta de amendoim, produziu um efeito benéfico no conteúdo de açúcar, proteínas e aminoácidos das sementes, pigmentos fotossintéticos, clorofila **a e b**, teor de clorofila *total* e nos parâmetros de crescimento.

Jayakumar et al. (2008), aplicando pequenas doses de cobalto em plantas de soja com deficiência de nitrogênio, verificaram que, em quinze dias após a aplicação, as plantas apresentaram uma melhora atenuando os efeitos da falta de N.

Moreno-Caselles et al. (1997), trabalhando com concentrações crescentes de cobalto em plantas de tomate em solução nutritiva, verificaram que, com o aumento das doses houve uma redução drástica na produção de tomate, corroborando as respostas de outros estudos em plantas de arroz e algodão (DAVIS et al.; KIM et al., 1978; DAVIS et al., 1978; WALLACE, 1980).

Em cana-de-açúcar, Sinha et al. (2015) observaram que, ao aumentar as

concentrações de Co no solo, houve aumento na concentração do mesmo nas folhas adultas. Porém as folhas mais jovens apresentaram concentrações mais baixas de cobalto, sugerindo que esse nutriente seja pouco móvel nas plantas. Outra avaliação realizada pelos mesmos autores, também em cana-de-açúcar tratadas com Co, sugeriram que houve uma diminuição da concentração de Fe. A justificativa plausível segundo Mengel et al. (2001) é que estes nutrientes competem pelo mesmo sítio de ligação nos tecidos vegetais.

Ainda segundo Sinha et al. (2015), doses maiores de Co, em excesso, proporcionou redução de crescimento e desenvolvimento de características fenotípicas dessas plantas. Plantas de cana-de-açúcar tratadas com Co apresentaram um aumento da concentração de açúcar nas folhas e da concentração de sacarose e amido. Porém, quando houve aumento nas doses, observou-se redução na concentração de sacarose.

Outro efeito benéfico atribuído à aplicação de cobalto em plantas inclui o retardamento da senescência das folhas pela diminuição na formação de etileno. Este hormônio pode ser produzido em quase todas as partes dos vegetais superiores, embora a taxa de produção dependa do tipo de tecido e do estágio de desenvolvimento das plantas. É classificado como um hormônio de senescência, assim, o estresse fisiológico provocado por diversos fatores pode levar ao aumento da sua biossíntese (WANG et al., 2002).

De acordo com Atta-Aly (1998), o Co pode inibir a biossíntese de etileno, por inibição da conversão de ACC, sendo que essa inibição ocorreu apenas em concentrações acima de 1,0 ppm de cobalto.

Gad (2006) trabalhando com plantas de tomate e pepino observaram que, com o aumento da concentração de cobalto até 1,0 ppm houve inibição na conversão ACC em etileno, levando os tomates e os pepinos utilizados a uma senescência tardia.

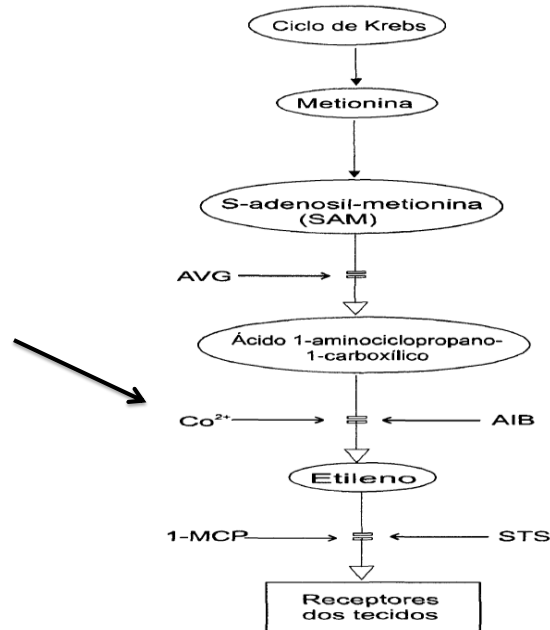
Taiz e Zeiger (2013), porém, afirmaram que alguns nutrientes podem interferir na biossíntese do etileno nas plantas. Nutrientes classificados como metais pesados podem simular a síntese de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), levando a diminuição das quantidades de etileno nas plantas. Os íons de cobalto são classificados como inibidores da rota de síntese do etileno bloqueando a conversão do ACC em etileno realizada pela ACC oxidase, a última etapa na biossíntese do etileno.

Carvalho et al. (2012), trabalhando com diferentes doses de cobalto em feijão-caupi, afim de diminuir a abscisão de flores causada pelo elevado nível de etileno,

verificaram que a aplicação de Co proporcionou maiores índices de clorofila, redução no abortamento de flores e maior número de grãos nessas plantas.

Tal afirmação corrobora com Hall (1984), que indicam que baixos níveis de íons cobalto inibem a formação do etileno pela redução da conversão do ACC a etileno (Figura 1), apresentando pequenas ou nenhuma inibição na conversão do etileno, podendo influenciar também nas atividades fotossintéticas como teor de clorofila e carotenoides.

Figura 1. Rota metabólica do etileno, atuação do cobalto como inibidor.



Fonte: Adaptado de Medeiros, 2001.

Lau et al. (1977), observaram que o Co inibiu todos os sistemas de produção de etileno nos tecidos de frutos de maçã. Essa resposta sugere que o Co pode inibir a produção de etileno por interagir com o grupo sulfídrico da enzima responsável pela oxidação de ACC em etileno (YU et al., 1979).

Segundo Cocucci et al. (1986), o Co também interfere na atividade fotossintética, porém, este processo ainda é controverso. Tais autores afirmaram que algumas respostas fisiológicas têm sido apresentadas, caracterizando alguns efeitos negativos do Co na concentração da clorofila *a* e *b* nas folhas (sendo caracterizado que clorofila *a* sempre tem maior degradação do que a clorofila *b*). Ainda segundo esses autores em estudo com plantas de milho observaram que a presença de Co nos tecidos da raiz induziu a diminuição dos carotenoides, e das clorofilas *a* e *b*. Em

experimento com plantas cultivadas *in vitro* com aplicação de cobalto, Lipskaya et al. (1973) verificaram que o mesmo exerceu influência na diminuição da quantidade de clorofila e um aumento no número de cloroplastos por unidade foliar.

De acordo com Aery et al. (1994), foi relatada uma significativa diminuição no teor de clorofila em cevada, cultivada em solos contendo 25 ppm de Co. No entanto, Aleshin et al. (1987) relataram efeito benéfico na quantidade de carotenóides e atividade da clorofila quando houve a aplicação de Co em plantas de arroz. Para Blaylock et al. (1985), a presença de Co sobre o teor de clorofila *b* parece ser maior do que em clorofila *a*, já Perez-Espinosa et al. (2002), trabalhando com plantas de tomate, verificaram que os tratamentos com diferentes doses de Co induziu uma diminuição dos carotenóides.

A presença de Co no tecido vegetal pode produzir um desequilíbrio importante nos pigmentos fotossintéticos. Isso é justificado, uma vez que a presença do Co (em altas quantidades) pode ocasionar a deficiência de Fe afetando as unidades fotossintéticas, cloroplasto e as células das folhas (TERRY, 1981).

Em relação á taxa fotossintética, Kadil (2010) verificou que a aplicação de cobalto em plantas de tomate aumentou a taxa de fotossíntese e os níveis de auxinas e giberelinas nas folhas. Liu et al. (2010), trabalhando com plantas de cebola, verificaram que aumentando as doses de Co, as plantas apresentaram maior crescimento radicular e aumento na brotação, podendo isso ser atribuído á baixa concentração de etileno, ocasionada pela aplicação do cobalto.

Mohanty et al. (1989) observaram que, em plantas de ervilhas com aplicação de Co, houve interferência na atividade do fotossistema II, por conseguinte na reação de Hill, que foi inibida pelo Co^{2+} . Tripathy et al. (1983) relataram, também, o efeito negativo do Co sobre a membrana do cloroplasto em plantas de tomate, na qual o teor total de clorofila foi afetado pelo nível de Co na solução nutritiva. Neste caso doses de 15 a 30 mg ha^{-1} de Co resultaram na diminuição significativa do conteúdo de clorofila, ocorrendo diminuição no número de folhas em cerca de 40%.

De acordo com Adriano et al (2002), a clorose que se apresenta com o excesso de Co, nas folhas é um efeito indireto causado principalmente pelas alterações na concentração dos nutrientes minerais essenciais, podendo ocasionar uma diminuição na taxa fotossintética, em consequência do fechamento dos estômatos, reduzindo, assim, os espaços intercelulares e provocando alterações dentro dos cloroplastos.

2.4 Absorção e transporte de cobalto em plantas

No solo, o Co é encontrado na forma de Co^{3+} . Porém, para ser absorvido pelas plantas, precisa sofrer oxirredução para a forma Co^{2+} . Sua absorção é controlada por diferentes mecanismos, em diferentes espécies, podendo ser absorvido na forma quelatada, a complexos com compostos orgânicos (MALAVOLTA, 2006; PÂLIT et al., 1994).

A absorção e o transporte do Co é dependente de fatores como pH e temperatura. Este nutriente possui baixa mobilidade, e seu transporte nas plantas se restringe às folhas e ao caule, seu transporte ocorre principalmente pelo fluxo de transpiração. Por este motivo, apresenta uma baixa redistribuição nos tecidos vegetais. Muitas vezes, há um acúmulo desse elemento nas pontas e margens das folhas (TERRY, 1981).

Segundo Louè (1993), quando o Co é aplicado via foliar, é praticamente imóvel ou pouco translocado. Neste caso, os teores de Co são significativamente encontrados apenas nas folhas e raízes.

Collins et al. (2010) relataram que o desempenho do Co depende diretamente de sua concentração nos tecidos vegetais. Baixos níveis podem beneficiar uma cultura, enquanto altas concentrações a podem levar a intoxicação, já que se trata de um metal pesado.

Em relação à quantidade de Co em plantas, as maiores concentrações foram encontradas em leguminosas, seguido pelas gramíneas perenes, e as menores encontradas em culturas de cereais. Essas diferenciações são justificadas por diferentes propriedades biológicas das espécies cultivadas (PLATASH et al., 1972; SCHRAUZER, 1991).

2.5 Interação do cobalto com outros nutrientes

O Co é conhecido por interferir na concentração de alguns nutrientes dentro das plantas (BLAYLOCK et al., 1985; WALLACE et al., 1989; YOUNG et al., 1984). Dentre eles, pode-se destacar o Fe, cuja deficiência pode ser induzida pelos níveis de Co, podendo acarretar em paralização da biossíntese de clorofila, lignina e dos citocromos oxidase, catalase, peroxidase e leghemoglobina (HUNTER; VEGHANO, 1953).

Blaylock et al. (1985) em estudos com plantas de soja, relataram que o excesso de Co acarretando deficiência de Fe, por influenciar no seu transporte para a parte

aérea das plantas. Wallace et al. (1989) também relataram a deficiência de Fe devido a altos níveis de Co e Zn em plantas de feijão devido a altos níveis de Co e Zn (YOUNG et al., 1984). Em estudos com plantas de cevada reportaram que o excesso de Co foi acumulado na parte aérea e nas raízes das plantas, reduzindo a absorção de Fe em plantas de feijão e sua distribuição nesses órgãos acumuladores, seguido pela indução de clorose e consequente diminuição da atividade da catalase, aumentando desta maneira, a concentração de açúcares não redutores.

Baxter et al. (2008) encontraram em plantas de *Arapidopsis*, cultivadas em solução nutritiva com reduzida concentração de Fe, um acúmulo na concentração de Co e Fe nas raízes, levando os autores a concluir que o Co pode ser transportado pelo mesmo transportador do Fe. Gad et al. (2011), verificaram efeito semelhante em canola e soja, quando a aplicação de Co resultou em redução significativa do teor de Fe nas plantas.

Outro elemento que também apresenta interação com o Co é o zinco (Zn). Estudos relatam que a aplicação conjunta destes nutrientes resultou em uma absorção competitiva no transporte (BABALAKOVA et al., 1986). Em plantas de beterraba, com a aplicação de Zn e Co foi observado que o Co reduziu o conteúdo do Zn em determinados órgãos e tecidos dessas plantas, levando ao entendimento de que há um antagonismo entre tais elementos no processo de redistribuição em certos órgãos (ANISIMOV et al., 1978).

O excesso de Co também pode provocar menor absorção de Cu, Fe, Mn ou mesmo provocar a deficiência desses nutrientes. Werner (1979), estudando a absorção do Cu em cevada, relatou um aumento das raízes quando estas foram expostas a aplicação de Co por duas horas em uma dose de 16 μM , no entanto, após mais 24 horas, verificou-se redução nos teores de Cu, indicando a influência do Co no sítio de absorção de Cu.

Em relação ao Magnésio, a interação com o Co depende da enzima glutamato sintetase, sendo que presença do Mg^{2+} inibe a captação de Co e seu transporte, sugerindo que o processo de absorção dos dois íons estão interligados (DANG et al., 1988; WHITE et al., 1986).

A interação do Co com os macronutrientes tem denotado respostas importantes, tal como observadas por Gad et al. (2013), que, trabalhando com sementes de feijão-caupi, relataram efeito benéfico da aplicação de Co sobre a composição mineral (N, P, K). Em experimento com tomate, Boureto et al. (2001) verificaram que,

utilizando uma concentração de 2,5 ppm de Co, houve uma maior absorção de N, P e K pelas plantas. Em plantas de amendoim, o Co aplicado também promoveu maior concentração de N, P, K, Mn e Zn permitindo que as plantas utilizassem melhor o suplemento de N (GAD, 2012).

Outras respostas à aplicação de Co também foram observadas em relação ao fósforo (P). De acordo com Gad (2002), a aplicação de Co em milho e soja resultou em uma maior concentração de P nessas espécies. Em plantas de tomate Kadil (2010) observou que a adição de Co proporcionou melhoria nos parâmetros de crescimento das plantas de tomates com a aplicação de diferentes fertilizantes fosfatados.

Desta forma, acredita-se que o Co também interage com outros nutrientes para formar complexos com funções fotoquímicas. Porém estas interações ainda não são claras na literatura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido em área pertencente ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture-USDA), localizado na cidade de Houma, no estado da Louisiana, Estados Unidos. As coordenadas geográficas foram 90° 43'10" de longitude Leste de Greenwich e 29° 35' de Latitude Norte, com altitude de 3 metros.

De acordo com a classificação de Köeppen, o clima predominante na região é do tipo Cfa, que se caracteriza pelo clima subtropical úmido, com verões quentes e úmidos e temperatura média anual de 25⁰C. Para realização do experimento, utilizou-se um substrato comercial (Professional Growing Mix) composto por 50-60% de Turfa Canadense Sphagnum, vermiculita e calcário dolomítico.

O experimento foi conduzido com a variedade LCP 85-384, considerada, conforme o ciclo produtivo de maturação média, com altas produtividades (MILLIGAN et al., 1994).

3.2 Dados meteorológicos

Os dados diários referentes à precipitação pluvial e às temperaturas máximas e mínimas no período de realização do experimento foram coletados na Estação Meteorológica da USDA Sugarcane Research Unit, Houma, LA, pertencente ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Figura 2).

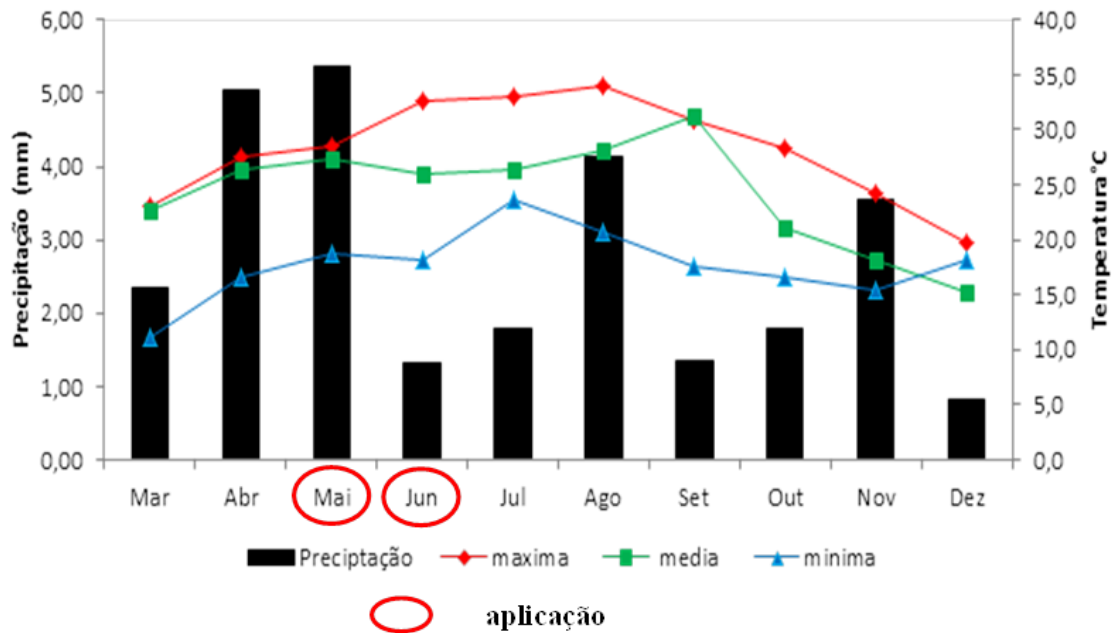


Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima, média e mínima entre março e dezembro de 2015, registradas na Estação Meteorológica da USDA Sugarcane Research Unit, Houma, LA. – EUA.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: T1: Controle (sem aplicação de cobalto), T2: 70,42 mL ha⁻¹ (produto comercial), T3: Aplicação 140,87 mL ha⁻¹ (produto comercial), T4: 210,08 mL ha⁻¹ (produto comercial) e T5: 281,70 mL ha⁻¹ (produto comercial).

O produto comercial utilizado foi o Keylate Cobalt[®] que possui 5% de cobalto e está na forma líquida. A aplicação e as dosagens do produto seguiram as especificações recomendadas pelos fabricantes.

3.4 Instalação e condução do experimento

O plantio da cultura da cana-de-açúcar foi realizado em vasos com a capacidade de 38 litros de substrato, sendo plantada uma planta por vaso. As datas de plantio, aplicação dos tratamentos e colheita do experimento estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1. Datas de Plantio, aplicações do Co e colheita

Plantio	01/03/2015
1º Aplicação de Co	20/05/2015
2º Aplicação de Co	09/06/2015
Colheita	15/12/2015

Para fertilização dos vasos, foi utilizado o fertilizante de liberação controlada 19-08-05 (NPK), (Osmocote™, Scotts-Sierra Horticultural Products Co., Marysville, OH, EUA). O controle fitossanitário e demais tratamentos culturais seguiram a rotina adotada pela USDA.

A aplicação do cobalto foi via foliar, as dosagens utilizadas nos tratamentos foram divididas para as duas aplicações, sendo realizadas, próximas seguindo a especificação do fabricante. O cálculo da dose para barra de aplicação foi realizado para 4 vasos por vez (tratamentos).

Para aplicação dos tratamentos, utilizou-se um equipamento munido de barra com dimensão de 4,7 metros, apresentando 11 pontas de pulverização modelo 8001, distância de 42 cm, de forma que proporcionasse um consumo de calda equivalente a 93,63 L ha⁻¹ (Figura 3).



Figura 3. Equipamento utilizado para a aplicação dos tratamentos em plantas de cana-de-açúcar. Houma- LA, 2015.



Figura 4. Plantas de cana-de-açúcar submetidas a aplicação de diferentes doses de cobalto. Houmala, 2015.

3.5 Variáveis fisiológicas

3.5.1 Condutância estomática

A condutância estomática (gs , $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) foi determinada por meio do porômetro (SC-1, Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA). As leituras foram tomadas na região mediana da folha +1 sendo realizada aos 30 e 120 dias após as aplicações (DAA).

3.5.2 Índice SPAD

A estimativa do conteúdo de clorofila foi obtida aos 30 e 120 DAA após a aplicação por meio do índice SPAD, empregando o clorofilômetro portátil SPAD-502 (Konica Minolta Corporation, Osaka, Japão). Esse índice foi obtido da média de três leituras realizadas em três locais da folha +1 (DILLEWIJN, 1952).

3.6 Variáveis morfológicas

3.6.1 Altura de colmos

A altura foi determinada por meio de medição, com régua graduada em metros, da distância entre o solo até a região auricular da folha +1, de acordo com a metodologia sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952).

Tais avaliações foram realizadas aos 30 e 120 DAA da primeira aplicação de cobalto nas plantas.

3.6.2 Número de folhas verdes

A contagem foi efetuada de maneira direta no colmo principal da planta.

3.6.3 Diâmetro do colmo

O diâmetro de colmos (mm) foi medido com paquímetro digital, da marca control company®, no primeiro terço do colmo, em cada um dos colmos amostrados, no período anterior a colheita.

3.7 Variável de produtividade

3.7.1 Número de colmos vaso⁻¹

A contagem do número de colmos foi realizada antes da colheita.

3.7.2 Número de perfilhos por vaso⁻¹

A contagem do número de perfilhos foi realizada de maneira direta em cada vaso. As avaliações foram realizadas aos 30 e 120 DAA da primeira aplicação de cobalto nas plantas.

3.8 Variáveis tecnológicas

3.8.1 Pol cana (%)

A Pol representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares. Para o caldo de cana madura o teor de glicose e frutose é geralmente baixo, menor do que 0,5%, comparado ao teor de sacarose, que pode estar acima de 16 %, na média da safra, fazendo com que seu valor se aproxime bastante do teor real de sacarose, sendo normalmente aceito como tal. A sacarose, um dissacarídeo, é o principal parâmetro de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar; refere-se ao açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação (LEGENDER, 1992).

Obtida através da fórmula $(Pol \times \%cana) = P = (caldo \times \%cana) \times (Pol \times \%suco)/100$. A Pol x % caldo refere-se à sacarose aparente por cento do caldo e foi determinada em sacarímetro digital automático.

3.8.2 Pureza do caldo (%)

A pureza reflete a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo

denominada “pureza real”, entretanto quando esta determinação é realizada numa solução açucarada impura, diz-se “pureza aparente”. A pureza expressa quantos por cento dos sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) são representados pela sacarose (pol) (LEGENDER, 1992).

Determinada através do emprego da fórmula, P (Pureza) = (Pol % caldo / Brix x % caldo) x 100. O Brix x % caldo refere-se aos sólidos solúveis por cento do caldo e foi determinado em refratômetro digital de leitura automática.

3.8.3 Fibra cana (%)

A fibra é a matéria insolúvel em água contida na cana. No colmo de cana, as fibras do parênquima são de estrutura mais frágil e fina, e formam as células isodiamétricas de estocagem do caldo de alto teor de sacarose (FERNANDES, 2003). A fibra é estimada através da seguinte formulação: $\text{Fibra x \% cana} = (\text{Fiber x \% residuo}) \times (\text{residuo x \% cane})/100$.

3.8.4 Produção de colmos

Na colheita do experimento, com uma balança de precisão, realizou-se a pesagem de todos os colmos em cada unidade experimental, sendo a massa determinada para cada vaso, expressa em t ha^{-1} planta⁻¹.

3.8.5 Produção de açúcar vaso⁻¹

Com base nos dados de produção de colmos e nos valores de ATR calculou-se a produção de açúcar em gramas por vaso⁻¹.

3.9 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância usando o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Para o fator dose, os dados foram ajustados a equações matemáticas a 10% de significância pelo teste F.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos dados obtidos neste estudo (Tabela 2) mostra que dentre as variáveis fisiológicas avaliadas apenas a condutância estomática revelou diferenças significativas para as diferentes doses de cobalto nas duas épocas avaliadas (30 e 120 dias após a primeira aplicação), ao passo que o índice de SPAD não foi alterado.

Quanto as variáveis biométricas analisadas aos 30 e 120 dias após a primeira aplicação, apenas o número de perfilhos e número de folhas apresentaram diferença significativa com a aplicação de doses de cobalto, e a altura de plantas permaneceu inalterada (Tabela 2). Para os parâmetros de produtividade, avaliados ao momento da colheita, observou-se diferença significativa no número de colmos por vaso e na massa de açúcar por vaso pela aplicação de cobalto, enquanto, a massa de colmos por vaso e o diâmetro de colmo permaneceram inalterados.

Para as variáveis tecnológicas como sacarose, pureza e fibra não houve diferença significativa com relação às diferentes doses de Co.

Tabela 2. Análise de variância (probabilidade de F) das variáveis condutância estomática (gs), número de perfilhos, número de folhas, altura de plantas, e índice de SPAD aos 30 e 120 dias após aplicação (DAA). Número de colmos, peso médio de colmo-1, produção de colmo (kg vaso⁻¹), produção de açúcar (g vaso⁻¹), diâmetro de colmo (mm), sacarose (%), pureza (%) e fibra (%) avaliações realizadas na ocasião da colheita. Houma – LA. 2015.

Variáveis	Probabilidade de F	
	Dose de Co ²⁺	Bloco
gs 30	<0,0001	0,8370
gs 120	<0,0001	0,1313
SPAD 30	0,8945	0,5465
SPAD 120	0,2733	0,4645
Número de perfilhos aos 30	0,0044	0,8221
Número de perfilhos aos 120	0,0143	0,1678
Número de folhas aos 30	0,0235	0,2512
Número de folhas aos 120	0,0013	0,9531
Altura (m) 30	0,3423	0,6157
Altura (m) 120	0,9032	0,7209
Número de colmos por vaso ⁻¹	0,0100	0,5973
Diâmetro de colmo (mm)	0,1514	0,9569
Sacarose (%)	0,1480	0,3766
Pureza (%)	0,1770	0,3400
Fibra (%)	0,5061	0,0226
Peso médio colmo (g vaso ⁻¹)	0,7807	0,5089
Produção de açúcar (g vaso ⁻¹)	<0,0001	0,4306

* Variedade LCP 85-384, USDA. Avaliações realizadas no experimento de diferentes doses de Cobalto em cana-de-açúcar.

4.1 Variáveis fisiológicas

A aplicação das doses de cobalto via foliar, nas plantas de cana, proporcionou maior número de estômatos abertos, e diferença significativa nas duas épocas de avaliação. Aos 30 DAA, o máximo efeito do cobalto sobre a abertura dos estômatos foi na dose 161,75 ml ha⁻¹ (Figura 5). Aos 120 DAA o máximo efeito do cobalto foi observado na dose 163 ml ha⁻¹ de cobalto, resultados demonstrados na figura 6.

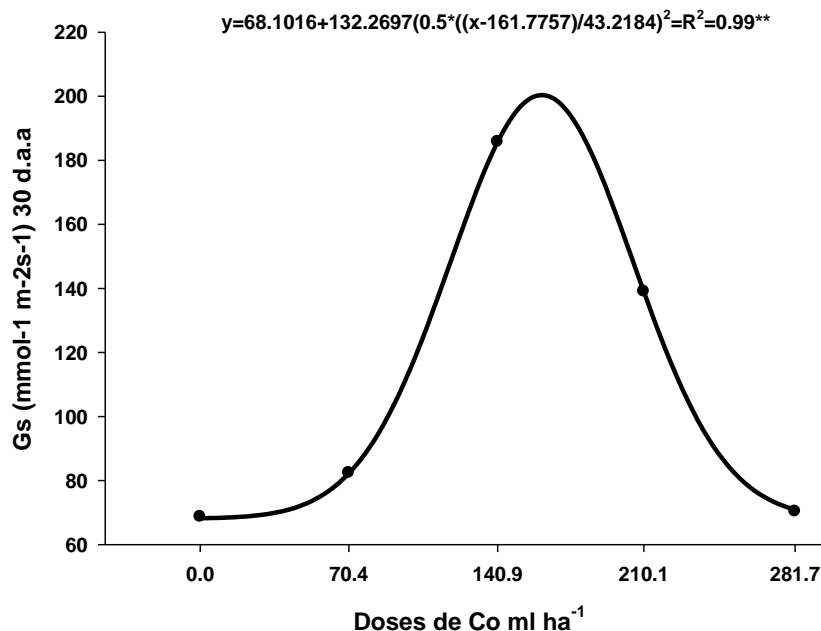


Figura 5. Condução estomática (gs) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384.USDA – LA – EUA aos 30 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

A partir destas doses observou-se redução na abertura dos mesmos. É provável que neste ponto de máxima, o cobalto estava sendo um elemento benéfico às plantas, por promover a abertura estomática, e conseqüentemente aumentando a intensidade de trocas gasosas, principalmente de CO₂.

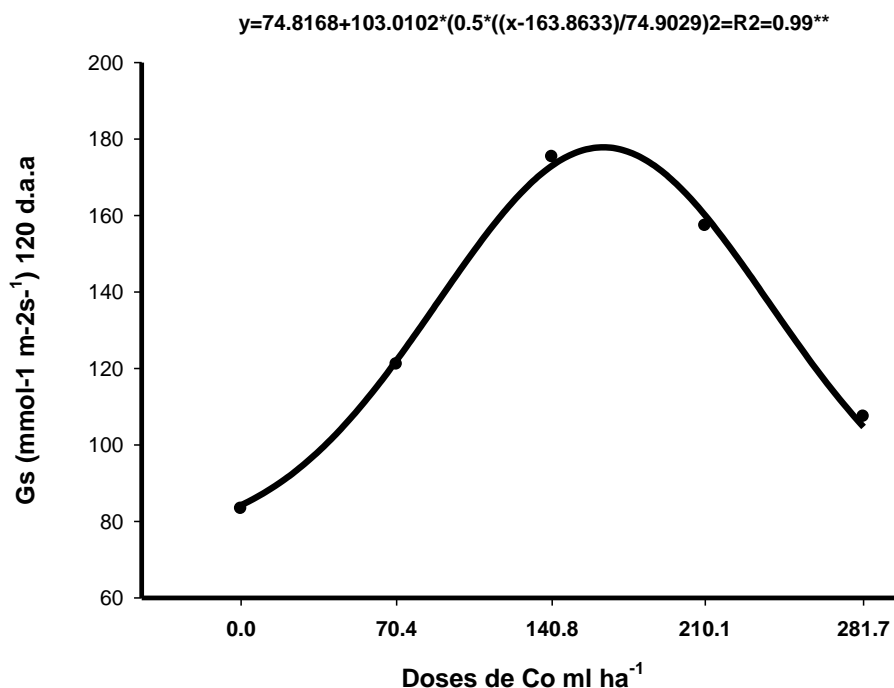


Figura 6. Condutância estomática (gs) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384.USA – LA – EUA aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Após este pico de máxima verificou-se que houve uma diminuição na abertura dos estômatos, corroborando com os resultados observados por Rauser et al (1981), na cultura do feijoeiro comum em que atribuíram o fechamento estomático ao aumento do ácido abscísico (ABA), promovendo redução da eficiência do uso água, gerando está resposta reflexo das plantas sob estresse hídrico.

O índice de SPDA é a medida indireta do teor de clorofila, sendo que essa variável não foi alterada pela aplicação das doses de cobalto, com valores próximos a 29 unidades de SPAD nas duas avaliações (Figura 7). Contudo, os resultados existentes na literatura são controversos, onde Sheudzhen et al. (2002) relataram que houve efeito benéfico na quantidade de carotenóides e atividades da clorofila quando se aplicou cobalto em plantas de arroz, enquanto que, Mysliwa-Kurdziel et al. (2004) observaram que com aplicação de cobalto, pode ocasionar a inibição na síntese de pigmentos de clorofila das plantas, obstruindo sua via de biossíntese.

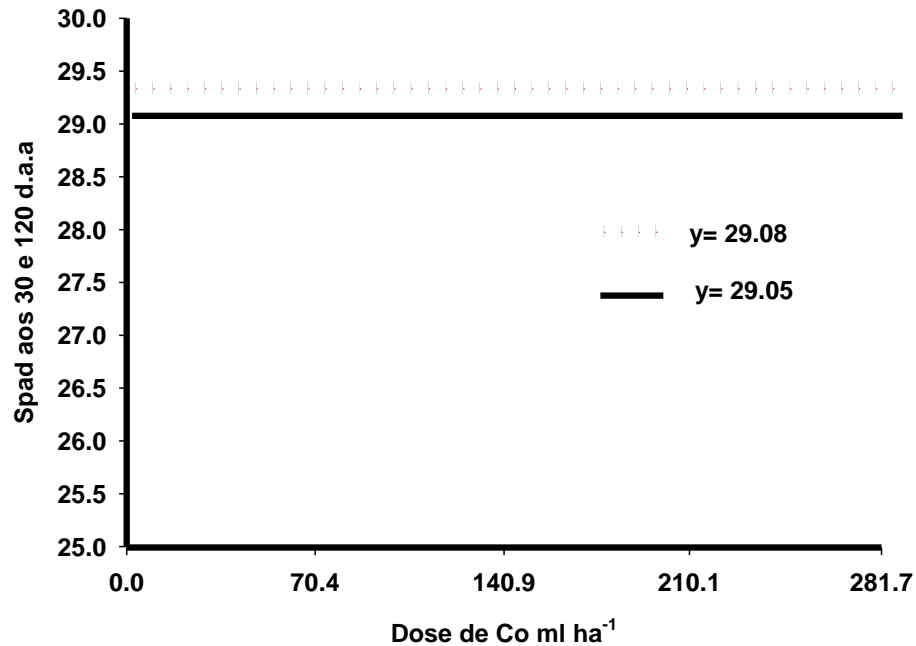


Figura 7. Índice de SPAD da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384.USA – LA –EUA. Aos 30 (.....) e 120 (—) DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

4.2 Variáveis biométricas

A altura de colmos não foi influenciada pela aplicação das doses de cobalto (Figura 8). A altura média de colmos aos 30 e 120 dias após a primeira aplicação foi de 1,84 e 2,74 m, respectivamente. Os efeitos do cobalto na altura de plantas na literatura é também controverso, com Perez-Espinosa et al. (2002) verificando redução significativa na altura de plantas de tomate quando foram aplicadas concentrações de 15 e 30 ppm de Co. Por outro lado, Sarma et al. (2014) observaram crescimento linear da parte aérea de trigo quando aplicadas concentrações de Co de até 200 ppm, corroborando os resultados obtidos por Lipskaya et al. (1974), Lipskaya (1980) e Walser et al. (1996).

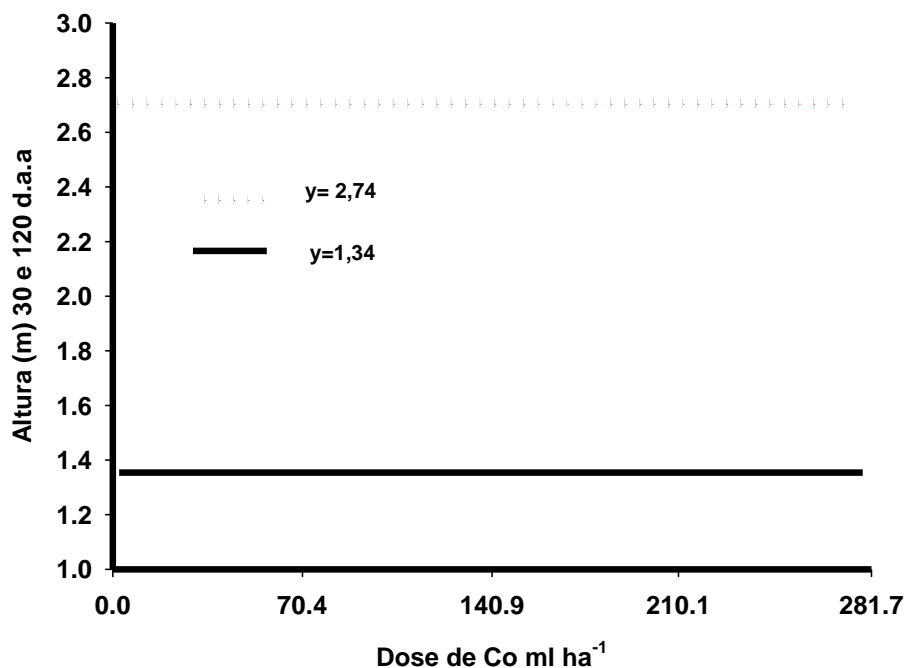


Figura 8. Altura de plantas da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 30 (.....) e 120 (___) DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

O número de perfilhos por vaso apresentou diferença significativa, quando aplicado as diferentes doses de cobalto para 30 e 120 DAA. Para avaliação realizada aos 30 DAA, o número máximo ocorreu quando a dose estava em 147,45 ml ha⁻¹, ocasionando 9,77 perfilhos por vaso⁻¹ resultados apresentados na Figura 9. Aos 120 DAA o número de perfilhos apresentados no experimento foi de 8,37 (Figura 10), sendo a dose de 126,54 ml de cobalto ha⁻¹ proporcionou essa maior quantidade.

Quando comparado os tratamentos onde ocorreu a aplicação de cobalto com o tratamento controle pode-se observar que houve um aumento significativo no número desses perfilhos. Aos 30 DAA a quantidade de perfilhos foi de 9,77 perfilhos vaso⁻¹, enquanto que o tratamento controle proporcionou um número de 7,43 perfilhos vaso⁻¹, apresentando assim um aumento de 2,33 perfilhos a mais por vaso⁻¹. Aos 120 DAA verificou-se um aumento de 1,28 perfilhos por vaso⁻¹.

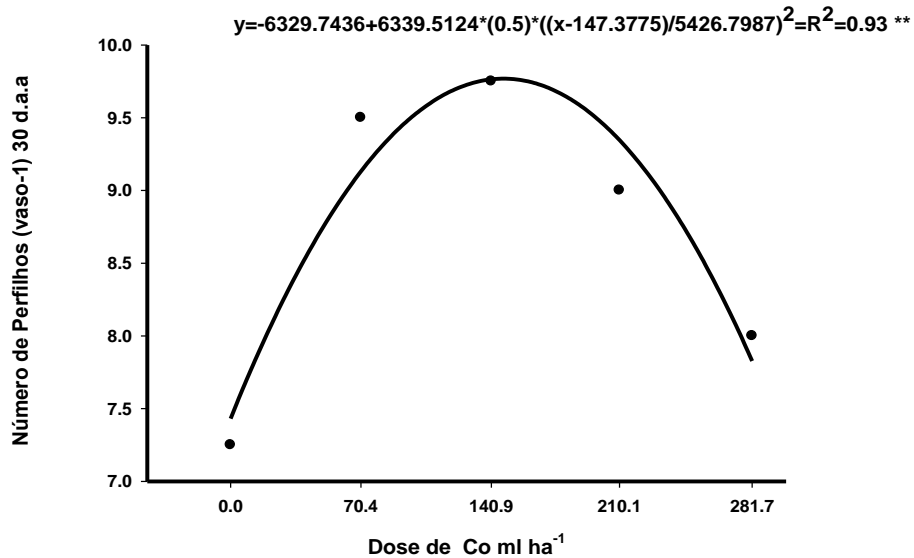


Figura 9. Número de perfilhos da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 30 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Doses maiores que as demonstradas acima ocasionaram um decréscimo no número de perfilhos. O perfilhamento é o processo da emissão de colmos por uma mesma planta (SUGUITANI, 2006), influenciado por fatores hormonais. Portanto, a possível hipótese do aumento do número de perfilhos, proporcionado pela aplicação do cobalto, pode ser justificada pelo seu efeito sobre os hormônios promotores de crescimento conforme relato de Gad (1989).

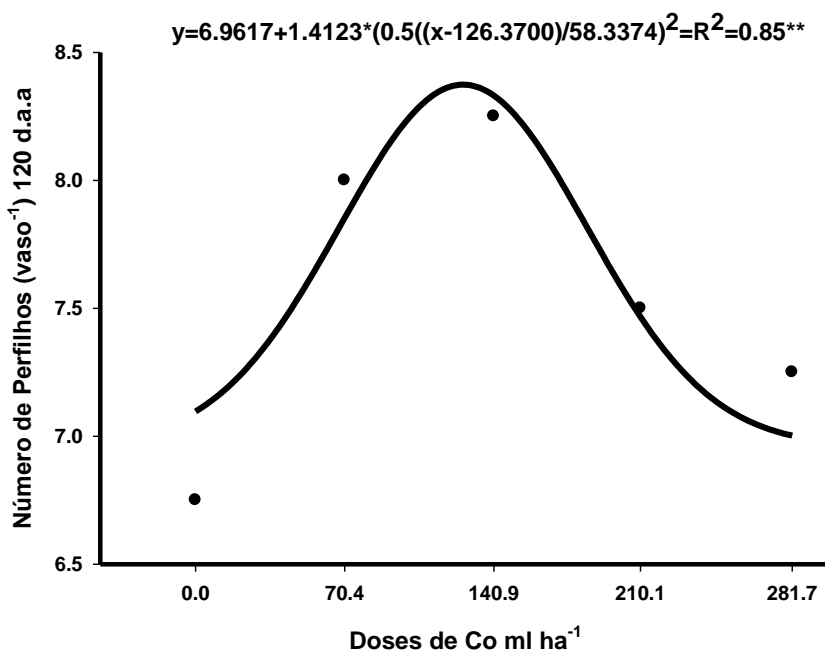


Figura 10. Número de perfilhos da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Para a variável número de folhas, constatou-se ajuste quadrático com as doses de cobalto nas duas épocas avaliadas (Figuras 11 e 12). Na primeira avaliação ocorrida aos 30 DAA foi verificado que a produção máxima de folhas foi obtida na dose calculada de 159,55 ml por ha⁻¹, sendo que aos 120 DAA, a dose que proporcionou maior número de folhas, foi à dose calculada de 173,86 ml. Aos 30 DAA o maior número de folhas apresentado foi de 11,23 folhas, para os 120 DAA esse número foi de 14 folhas. Observou-se que doses superiores a essas proporcionaram decréscimo no número de folhas da cultura.

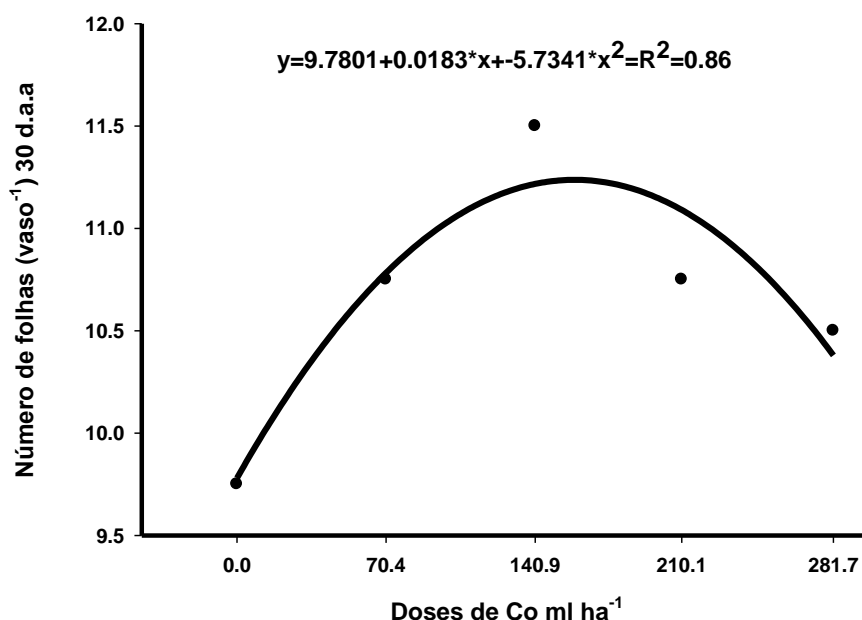


Figura 11. Número de folhas da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 30 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

De acordo com Palit et al. (1994), a aplicação do cobalto pode proporcionar retardamento na senescência das folhas, o que pode aumentar o número de folhas por manter as folhas mais velhas por mais tempo na planta. Essa constatação também foi observada em plantas de tomate, que apresentaram aumento significativo no número de folhas com a aplicação de 0,81 mg ha⁻¹ de cobalto (WALSER et al., 1996).

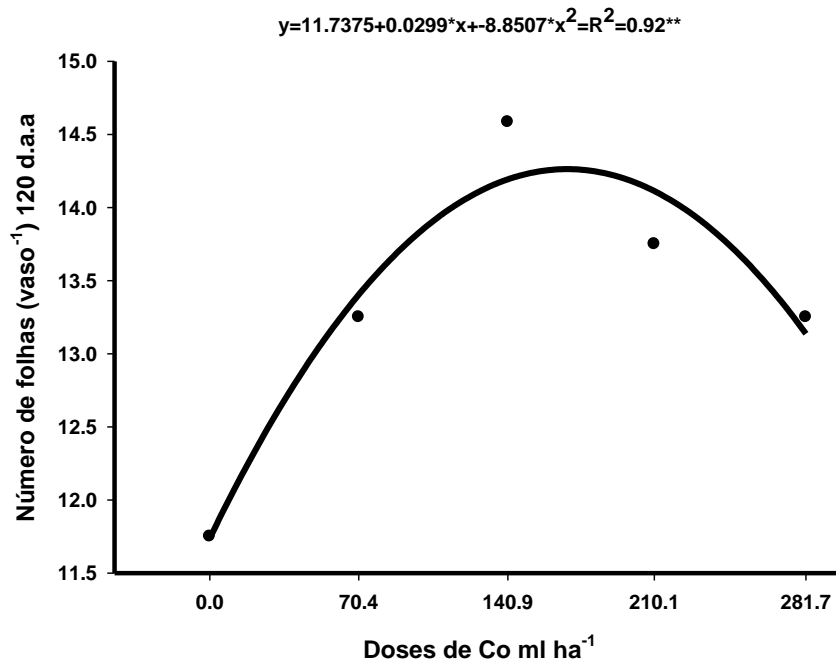


Figura 12. Número de folhas da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Os valores do número de colmos industrializáveis estão expressos na Figura 13, essa variável foi influenciada pelas doses de cobalto. A dose de cobalto de 171,68 ml proporcionou o maior número de colmos, (7,8 colmos por vaso), e observou-se decréscimo nessa variável com o aumento das doses de cobalto.

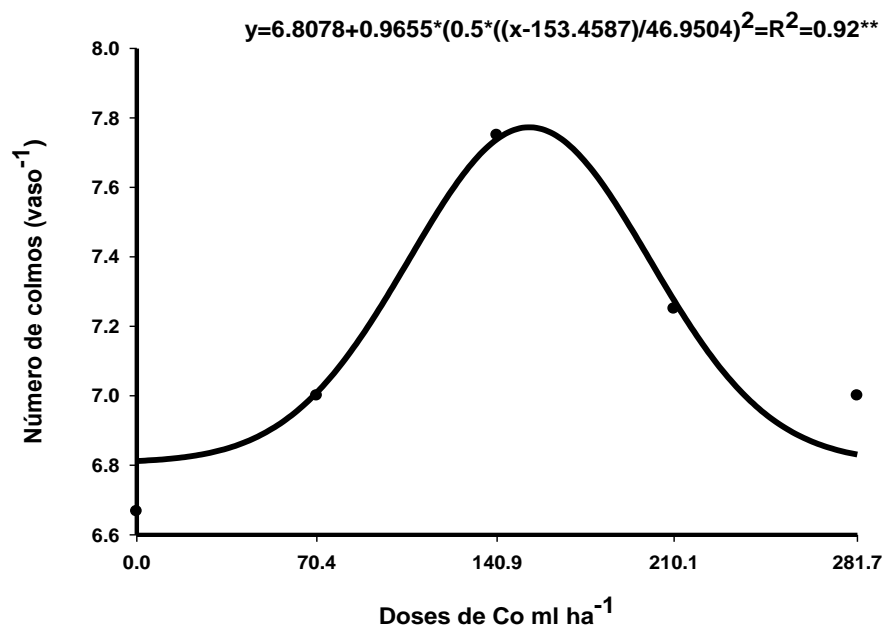


Figura 13. Número de colmos (vaso-1), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Aos 120 DAA em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Em relação ao peso médio dos colmos demonstrado na Figura 14, a aplicação de cobalto não apresentou diferenças estáticas entre os tratamentos, apresentando uma média geral de 788,24 gramas por vaso.

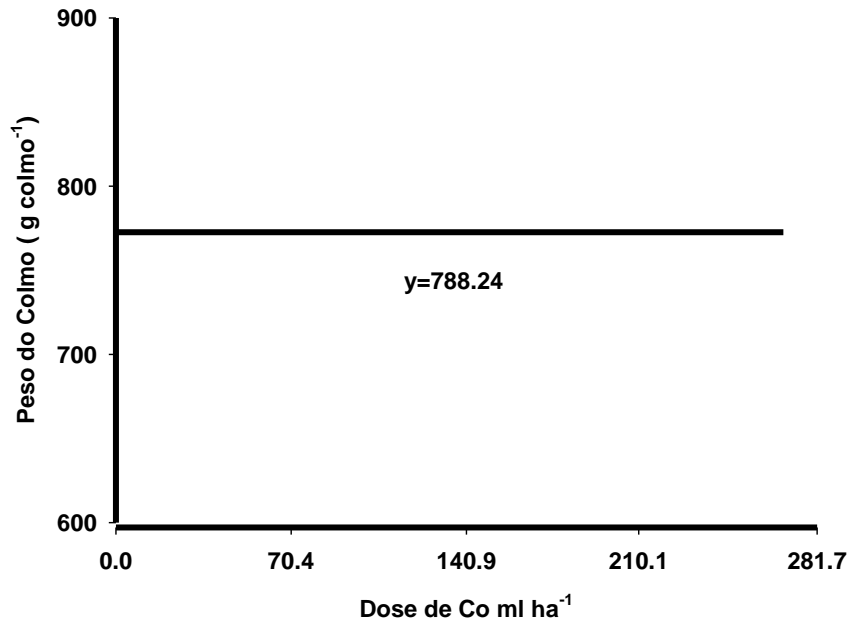


Figura 14. Peso do colmo g (colmo-1) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA – EUA. Na ocasião da colheita em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

A aplicação de diferentes doses de cobalto não alterou o diâmetro das plantas de cana, observou-se uma média de 18,8 mm (Figura 15). Outra justificativa para a média igual em todos os tratamentos é que o diâmetro é uma variável que pode ser influenciada pela característica genética da própria planta e pelas condições climáticas.

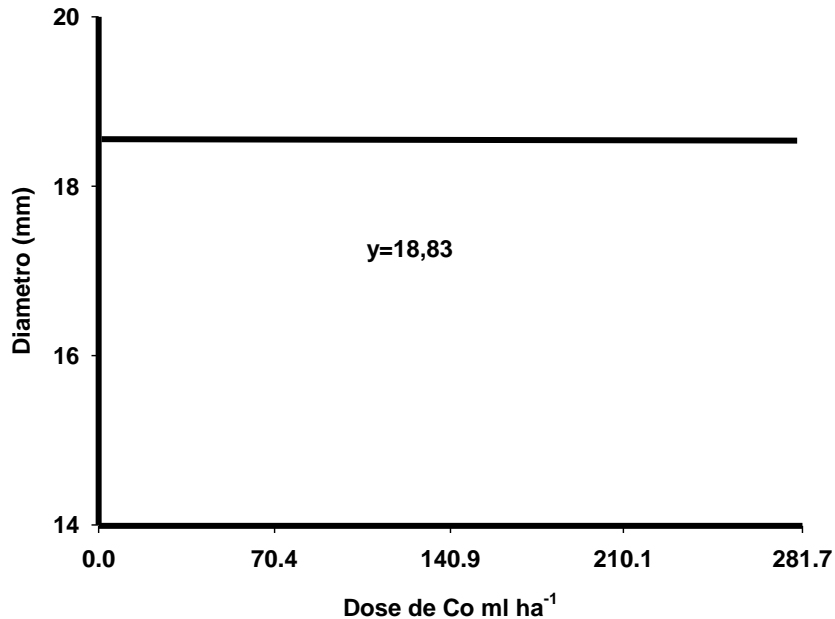


Figura 15. Diâmetro de colmo (mm) da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Na ocasião da colheita em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Na avaliação de produção de colmos realizada na ocasião da colheita, a aplicação do cobalto apresentou comportamento semelhante ao observado no número de colmos (Figura 16), indicando que este é um importante componente na definição da produção da cana-de-açúcar. Os maiores valores foram observados na dose calculada de 171,66 ml ha⁻¹ proporcionando aproximadamente 5,89 kg por vaso.

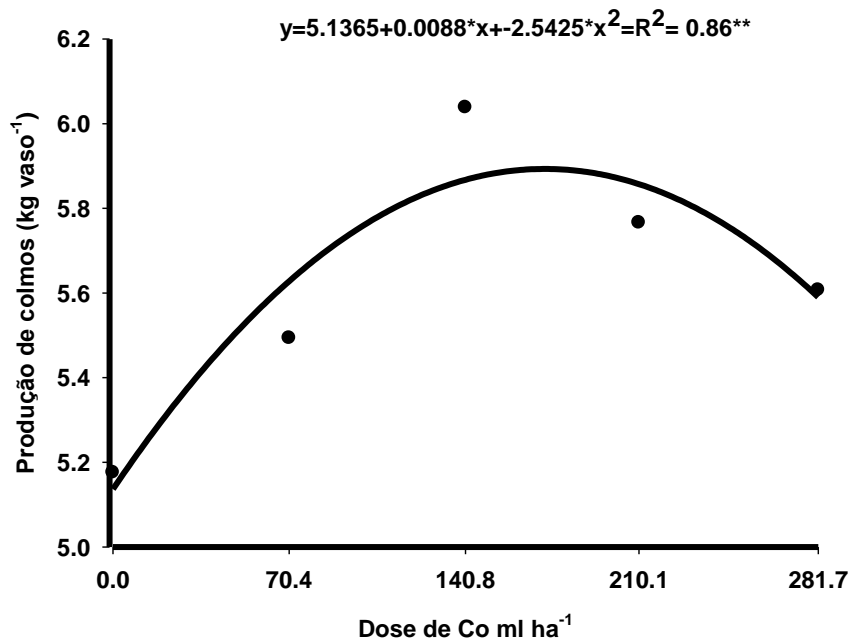


Figura 16. Produção de colmos (kg vaso⁻¹), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Na ocasião da colheita em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

4.3 Variáveis tecnológicas (sacarose, pureza e fibra).

O teor de sacarose (pol) não foi alterado pela aplicação das doses de cobalto (Figura 17). Cabe ressaltar que a cana-de-açúcar já se encontrava madura, visto que, o valor médio de 14,6%, encontrado neste estudo, estava acima do valor de 13%, valor considerado para cana-de-açúcar madura.

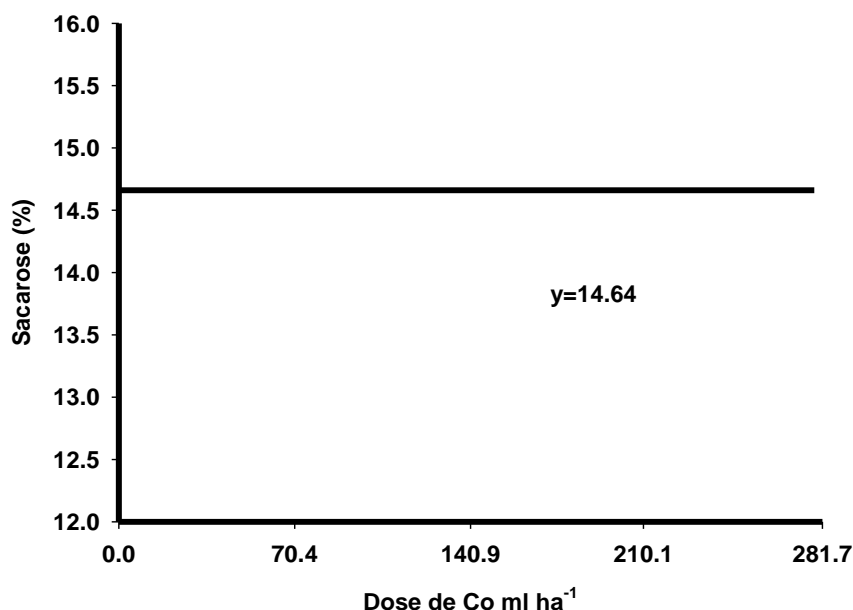


Figura 17. Teor de sacarose (%), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Assim como para sacarose, a pureza do caldo e porcentagem de fibras não foram alteradas pela aplicação do cobalto (Figuras 18 e 19). Os valores médios encontrados foram de 91,4% e 17,2%, respectivamente. Esses resultados das variáveis tecnológicas contrastam com os obtidos por Sinha et al. (2015), que observaram aumento nas concentrações de açúcares e amido nas folhas de cana-de-açúcar, e atribuíram este efeito à redução no metabolismo de carboidratos na fonte ou pela baixa demanda no dreno.

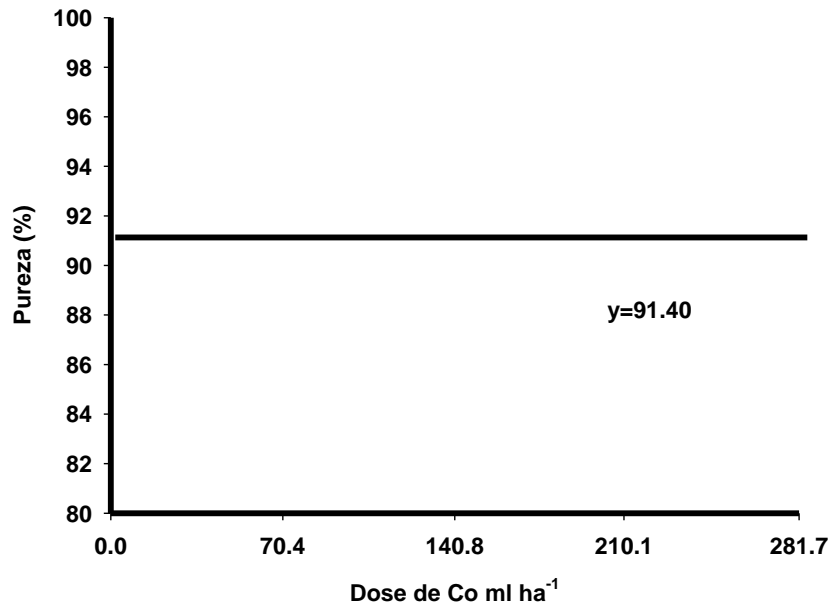


Figura 18. Pureza do caldo (%), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Cabe ressaltar que, os autores observaram este efeito em plantas jovens, sendo prováveis que, com a maturidade da planta, essas concentrações sejam semelhantes em virtude de possíveis efeitos de diluição, semelhantes aos resultados aos observado no presente estudo.

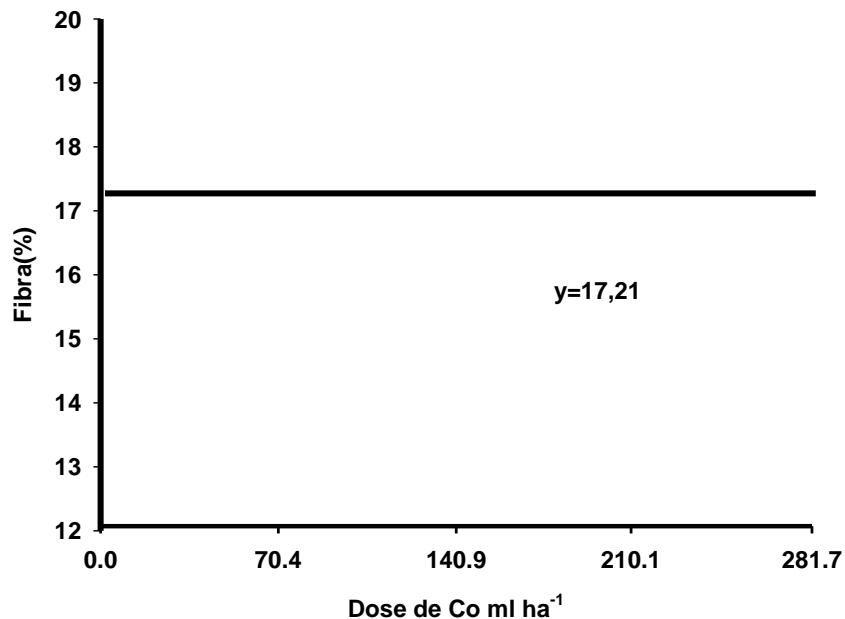


Figura 19. Teor de fibra (%), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

Os tratamentos influenciaram no teor de açúcar total recuperável (ATR), expressado no presente trabalho por produção de açúcar em gramas por vaso⁻¹. (Figura 20). A maior quantidade açúcar foi observada na dose calculada de 157,35 ml ha⁻¹ correspondendo a 651,9 g açúcar por vaso⁻¹, com posterior decréscimo com aumento das doses de cobalto utilizadas.

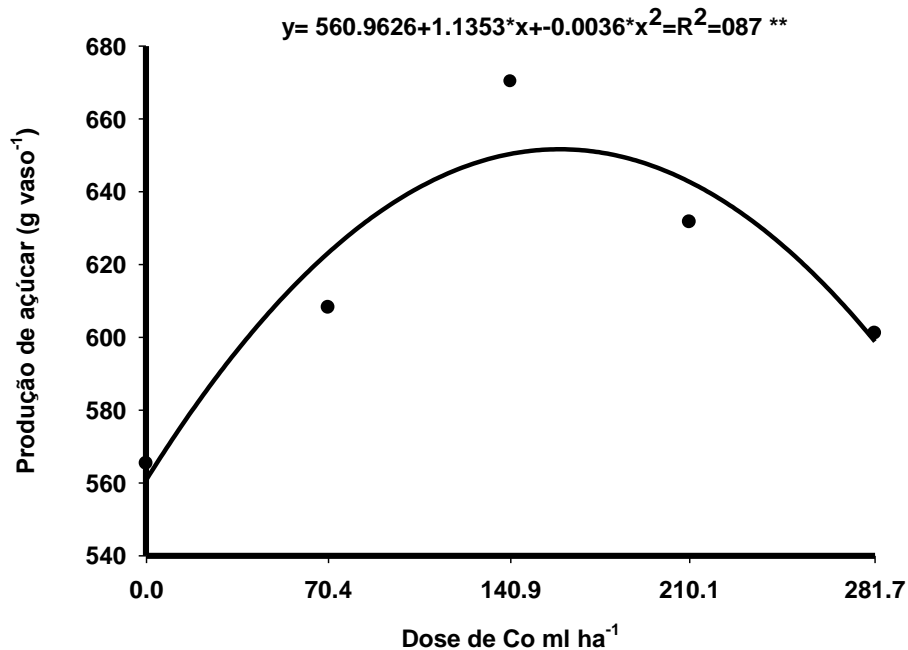


Figura 20. Produção de açúcar (gramas vaso⁻¹), da variedade de cana-de-açúcar LCP 85-384. USDA – LA –EUA. Em função da aplicação de diferentes doses de cobalto ** é significativo a 10% de probabilidade pelo teste t.

5 CONCLUSÃO

Nas condições em que foi realizado o presente estudo, pode-se concluir que, a falta de cobalto na cultura da cana-de-açúcar limitou o desenvolvimento das plantas e a produção de colmos e de açúcar.

A aplicação de doses de 140,9 ml de cobalto ha^{-1} proporcionou aumento na condutância estomática, número de perfilhos, folhas e de colmos, refletindo diretamente em aumento da produção de colmos.

As variáveis tecnológicas, como teor de sacarose, pureza do caldo e teor de fibra, não foram alteradas pela aplicação do cobalto, porém a produção de açúcar aumentou, como reflexo da produção de colmos.

O uso de doses acima de 200 ml de cobalto ha^{-1} prejudicaram o desenvolvimento da cultura, provavelmente por toxidez.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, D.C.; BOLAN, N.S.; KOO.; BOM-JUN.; NAIDU, R.; LELIE, D.; VAN DER.; VANGRONVELD J.; WENZEL, W.W. **Natural remediation processes: bioavailability interactions in contaminated soils.** WCSS, 14-21, Thailand Symposium n°. 42. Paper n°. 501. August, 2002.

AERY, N.C.; SARKAR, S.; JAGETIYA, B.K.; JAIN, G.S. **Cadmium zinc tolerance in soybean and fenugreek.** Journal Ecotoxicology & Environmental Monitoring, v 4 (1), p.39- 44,1994.

ALESHIN, E.P.; SHEUDZHEN, A.K.; DOSEEVA, O.A.; RYMAR, V.T. **Photosynthetic and respiratory activity in rice leaves as a function of cobalt supply to the plants.** Dokl. Akad. Nauk SSSR, v. 261, p.15-17, 1987.

ANISIMOV, A.A.; GANICHEVA, O.P. Possible interchangeability between cobalt and zinc in plants. **Fiziologiya Biokhimiya Kul'turnykh Rastenii**, v. 10: 613-617,1978.

KLAUS, A; HERIBERT, H. **REACTIVE OXYGEN SPECIES: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction.** Annual Review of Plant Biology, v.55, p.373-399, 2004.

ATTA- ALY, M.A. **Soaking summer squash seeds in low concentrations of cobalt solution before sowing increased plant growth, femaleness and fruit yield via increasing plant ethylene level.** Journal of Plant Growth Regulation, v. 17, p.25-32,1998.

BABALAKOVA, N.; KUDREV, T.; PETROV, I. Copper, cadmium, zinc and cobalt interactions in their absorption by pea plants. **Fizioloski Rastvor**, v. 12, p.67-73, 1986.

BALAI, C.M.; MAJUMDAR, S.P. **Metabolites content and water relations of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp as influenced by different levels of compaction, potassium and cobalt.** Current Agriculture, v.31 (1-2), p. 47-53, 2005.

BLAYLOCK, A.D.; JOLLEY, V.D.; BROWN, J.C.; DAVIS, T.D.; WALSER, R.H. **Iron-stress response mechanism and iron uptake in iron-efficient and inefficient tomatoes and soybeans treated with cobalt.** Journal of Plant Nutrition, v.8 (1),1-14, 1985.

BAXTER, I.R.; VITEK, O.; LAHNER, B.; MUTHUKUMAR, B.; BORGHI, M.; MORRISSEY, J.; GUERINOT, M.L.; SALT D.E. **The leaf ionome as a multivariable system to detect a plant's physiological status.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.105, p.12081-12086, 2008.

BONNETT, G.; KUSHNER, J.; SALTONSTALL, K. The reproductive biology of *Saccharum spontaneum* L.: implications for management of this invasive weed in panama. **Neo Biota**, v. 20, p. 61–79, 2014.

BOURETO, A.E.; CASTRO, M.C.; KAGAWA, J.W. Journal of Plant Nutrition, v. 8: 823-838. **Effect of cobalt on tomato growth and minerals content.** Revista

Brasileira- Sementes, p.18: 36-40, 2001.

COCUCCI, S.M.; MORGUTTI, S. Stimulation of proton extrusion by potassium ion and divalent cations (nickel, cobalt, zinc) in maize (*zea mays* cultivar Dekalab XL85) root segments. **Physiology**.p.497-501,1986.

COLLINS, R. N. E.; BAKKAUS, M.; CARRIEFIRE, H.; KHODJA, O.; PROUX, J. L.; MOREL, G.B. **Uptake, localization, and speciation of cobalt in *Triticum aestivum* L. (wheat) and *Lycopersicon esculentum* M. (tomato).** *Environmental Science and Technology*, v. 44, p.2904–2910, 2010.

COLLINS, R.; KINSELA, A. **Pedogenic Factors and Measurements of the Plant Uptake of Cobalt.** *Plant of soil*, 339, p.499-512, 2011.

COPPENET, M.; MORE, E.; CORRE, L.L.; MAO, M.L. Variations in ryegrass cobalt content: Investigating enriching methods. **Annals of Agronomy**, v. 23, p.165-192. 1972.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Cana-de-açúcar - Terceiro Levantamento**, Brasília: p. 1-20, setembro, 2016.

DANG, W.; WEI, Z.M. **High frequency plant regeneration from the cotyledonary node of common bean.** *Biology of Plants*, v. 53 (2), p.312-316,1988.

DAVIS, R.D.; BECKETT, P.H.T.; OLLEN E. **Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley.** *Plants of Soil* 49, p. 395-408, 1978.

DILLEWIJN, C. V. **Botany of sugar cane. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.**

EL-MOEZ, A.M.R.; GAD, N. **Effect of organic cotton compost and cobalt application on cowpea plants growth and mineral composition.** *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, v.17, p.426-440, 2002.

EVANS, H.J.; KLIWER M. **Vitamin B₁₂ compounds in relation to the requirements of cobalt for higher plants and nitrogen fixing organisms.** *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.112, Art., 2: p.732-755,1964.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez., 2011.

FREIBERG, G.Y. Absorption of trace elements Cu and Co by some Field cultivars in relation to the content of organic matter in soil. **Izv Akad Nauk Latvijk SSR**, v. 2, p.116-12, 1970.

GAD, N.; MHANA, A.; MOHAMME, D.; BEKBAYEVA, L. K. **Role of Cobalt on Cowpea Growth and Yield under Different levels of Nitrogen.** *World Application Science Journal*, v. 22 (4),p. 470-478, 2013.

GAD, N. Physiological and chemical response of groundnut (*Arachis hypogaca*) to cobalt nutrition. **World Application Science Journal**, v. 20, p.359-36. 2012.

- GAD, N.; AZIZ, E. E. Physiological and Chemical Response of Lemongrass (*Cymbopogon Citratus L.*) to **Cobalt Nutrition, B-Endogenous hormones, chemical and nutritional contents**. Journal Application Science Research, v. 7 (12), p.1778-1784. 2011.
- GAD, N.; KANDIL, H. Influence of cobalt on phosphorus uptake, growth and yield of tomato. **Agriculture and Biology Journal of North America**, Egypt, v.1(5), p.1069-1075, 2010.
- GAD N. **Increasing the efficiency of water consumption through cobalt application in the newly reclaimed soils**. Journal Application Science Research, v. 2 (11), p.1081-1091, 2006.
- GAD, N. **Interactive effect of cobalt and salinity on tomato plants I- Growth and mineral composition as affected by cobalt and salinity**. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences Pakistan, p.261-269, 2005.
- GAD, N. **Uptake of Cobalt and some other trace elements as affected by phosphorous levels and Mycorrhizae inoculation**. Egypt Journal of Soil Science, v. 42, (3), p.609-623, 2002.
- GAD, N. **Effect of cobalt on growth and mineral composition of plant**. M.Sci. Thesis, Faculty Agriculture Ain Shams University of Egypt. 1989.
- GASCHO, G.J. Water-sugarcane relationships. **Sugar Journal**, v.48, p.11-17, 1985.
- HALL, J. **Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance**. Journal Experimental Botany, v.53, p.1-11, 1984.
- HUNTER, J.G.; VERGHANO, O. **Trace-element toxicities in oat plants**. Annals of Applied Biology, v.40, p.761-777. 1953.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). Georgia. Disponível em: PDF: <<http://www.ipni.net/nutrifacts>> Acessado em 10/08/2016.
- JAYAKUMAR, K. P.; VIJAYARENGAN.; CHANG, X.; JALEEL,C.A. **Soil applied cobalt alters the nodulation, leg-haemoglobin content and antioxidant status of *Glycine max (L.) Merr.*** Colloids and Surfaces. B: Biointerfaces, v.67, p.272, 2008.
- KIM, B.Y.; KIM, K.S.; KIM, B.J.; HAN, K.H. **Uptake and yield of the rice plant related to the concentration of heavy metals (Cu, Ni, Cr, Co, Mn)**. Research Report to Rural Development, v.20, p.1-10,1978.
- KHANDIL, H. **Effect of Cobalt Fertilizer**. Method of analysis Association of Growth, Yield and Nutrients Status of Faba Bean Official Agriculture Chemists.16 Ed. Washington, (*Vicia faba L.*) Plants. Journal of Applied Sciences D.C.USA. Research, v.3 (9), p.867-872, 2007.
- LAU, O.L.; JOHN, W.W.; YANG, S.F. **Effect of different cytokinins on ethylene production by mungbean hypocotyls in the presence of indole-3-acetic acid or calcium ion**. Physiology Plants, p.1-3, 1977.

LEGENDER, B. L. **The Core/Press Method for Predicting the Sugar Yield from Cane for Use in Cane Payment.** Sugarcane Research Unit .Agricultural Research Service U.S. Department of .Agriculture P.O. Box 470, Houma, Louisiana.1992.

LIPSKAYA, G. A.; MATVYEYENTSAVA, V. S.; CHARKASKAYA, S. K. **Effect of Various Combination of Cobalt with Other Trace Elements on the Change of Activity of the Hill Reaction,** Vysti.Akad.Nauk.B.SSR Syer Biyal Nevuk. p.32- 36, 1973.

LIPSKAYA, G. A. **Effect of Cobalt and Heteroauxin on the Morphology and Structure of a Barley Leaf.** Vysti.Akad.Nauk.B.SSR Syer. Biyal.Nevuk, No.2, p.121-123, 1974.

LIPSKAYA, G.A. **Structural organization of photosynthetic apparatus of leaves of potato supplied with different cobalt rates.** Batanika (Issledovaniya), USSR, v.22, p.203-212, 1980.

LIU, X.M.; KIM, K.E.; KIM, K.C.; NGUYEN, X.C.; HAN, H.J.; JUNG, M.S, et al. **Cadmium activates *Arabidopsis* MPK3 and MPK6 via accumulation of reactive oxygen species.** *Phytochemistry*, 71(5–6),p.614–618,2010.

MEDEIROS, S. A. "**Moduladores da biossíntese e do mecanismo de ação do etileno sobre o crescimento *in vitro* do porta-enxerto de macieira marubakaido**". 2001. 59f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of Plant Nutrition.** Netherlands. Kluwer Academic Publishers, p.849, 2001.

MYSLIVA-KURDZIEL, B.; PRASAD, M.N.V.; STRZALKA, K. **Photosynthesis in heavy metal stressed plants.** In: Prasad MNV, editor. Heavy metal stress in plants: From biomolecules to ecosystems. Berlin: Springer-Verlag, p. 146-181, 2004.

MOHANTY, N.; VASS, I.; DEMETER, S. **Impairment of photosystem 2 activity at the level of secondary quinone electron acceptor in chloroplasts treated with cobalt, nickel and zinc ions.** *Physiology Plants*, 76, p.386-390, 1989.

MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-ESPINOSA, A.; PÉREZ-MURCIA, M.D.; MORAL, R.; GOMEZ I. **Effect of increased cobalt treatments on cobalt concentration and growth of tomato plants.** *Journal of Plants Nutrition*. v.20, p.805–811, 1997.

MOORE, P. H.; PATERSON, A. H.; TEW, T. **Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication.** In: MOORE, P. H.; BOTHA, F. C. (Ed.). **Sugarcane:** physiology, Biochemistry, and Functional Biology. Ames: John Wiley & Sons, p.01-07, 2014.

ÖPIK, H.; ROLFE, S. "**The Physiology of Flowering Plants**" Cambridge University Press, UK, 2005.

PALIT, S.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. **The effect of cobalt on plants.** *The Botanic Review*.60, p.149–18,1994.

PLATASH, I.T.; DYERYUHINA, L.I.; ART'OMCHENKO, V.S. **Astragalus microelement**. Farm Zhurn. v.27, p. 64-65, 1972.

PETTERSSON, O. **Heavy metal ion uptake by plants from nutrient solutions with metal ion**, plant species and growth period variations. Plant and soil, v.45, 445-459, 1976.

PEREZ- ESPINOSA, A.; MORENO-CASELLES, J.; MORAL, R.; PEREZ-MURCIA, M. D.; GOMEZ, I. Effect of cobalt on chlorophyll and carotenoid contents in tomato plants. New York. **Journal of plant nutrition**, v.25 (9), p.1933–1940, 2002.

PRASAD, M. N. V. **Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems**. Department of Sciences, University of Hyderabad., India. p.462, 2004.

RAUSER, W.E.; DUMBROFF, E.B. Effects of excess cobalto, nickel and zinco on the water relations of phaseolus vulgaris. **Environmental and Experimental Botany**, v.21, p. 249-255, 1981.

SALASSI, M. A.; DELIBERTO, J.W.; GRAVOIS K. Economic importance of Louisiana sugarcane production in 2015. **Informativo sugarcane**.

SCHRAUZER, G.N. **Cobalt**, p.879-892 in E. Merian (ed.), Metals and their compounds in the environment, 1991.

SCHUTZEND; UBEL, A; POLLE, A. **Plant responses to abiotic stresses: heavy metals-induced oxidative stress and protection by mycorrhization**. Journal Experiment Botanic, 53, 1351–1365. 2002.

SMITH, S.; MACNAIR, M. **Hypostatic modifiers cause variation in degree of copper tolerance in *Mimulus guttatus***. Heredity, 80, p.760-768, 1998.

SINHA, P.; CHATTERJEE, C. **Disturbance in growth, yield, sucrose concentration and antioxidative defense system by excess cobalt in surgacane**. Journal of Plant Nutrition, v. 38, p.541-550, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 848p.

TERRY, N. Physiology of trace element toxicity and its relation to iron stress. **Journal Plant Nutrition**, v.3, p.561-578, 1981.

TRIPATHY, B.C.; BHATIA, B.; MOHANTY, P. **Cobalt ions inhibit electron-transport activity of photosystem II without affecting photosystem I**. Biochim Biophys Acta, 722, p.88-93, 1983.

WALLACE, A.; ABOU-ZAMZAM, A.M. **Low levels, but excesses, of five different trace elements, singly and in combination, on interactions in bush beans grown in solution culture**. Soil Science, v. 147, n. 6, p. 439-4, 1989.

WALLACE, A. **Effect of chelating agents on uptake of trace metals when chelating agents are applied to soil in contrast to when they are applied to solutions cultures**. Journal of Plant Nutrition, v. 2, p. 171-175

WANG, K.L.C.; LI, H.; ECKER., JR. Ethylene biosynthesis and signaling networks. ***The Plant Cell***, vol. 14, n. suppl. 1, p. S131-S151. 2002.

WALSER, R.H.; JOLLEY, V.D.; DAVIS, T.D. **Effect of cobalt application on structural organization of photosynthetic apparatus of tomato leaves.** *Journal Plant Nutrition*, v. 19, p.358-368,1996.

WERNER, V. **Effect of nickel, cadmium and cobalt on the uptake of copper by intact barley (*Hordeum distichon*) roots.** *Z. Pflanzenphysiol*, v.93, p.1-10, 1979.

WHITE, C.; GADD, G.M. Uptake and cellular distribution of copper, cobalt and cadmium in strains of *Saccharomyces cerevisiae* cultured on elevated concentrations of these metals. ***FEMS Microbiology Ecology***. 38, p.277-284, 1986.

YANG S.F.; HOFFMAN, N.E. **Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants.** *Annual Review of Plant Physiology.*, 35(1), p.155-189,1984.

YU, Y.B.; ADAMS, D.O.; YANG, S.F. I-Aminocyclopropanecarboxylate synthase, a key enzyme in ethylene biosynthesis. ***Arch Biochem Biophys***. 1979.