

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR

Autora: Janniffer Custódio da Silva
Orientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto

Rio Verde - GO
Agosto – 2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – IF GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CANA- DE-AÇÚCAR

Autora: Janniffer Custódio da Silva
Orientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA, no Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração Tecnologias Sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água

Rio Verde - GO
Agosto – 2017

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S586t SILVA, JANNIFFER CUSTÓDIO DA
TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR / JANNIFFER CUSTÓDIO DA SILVA; orientador AURÉLIO
RUBIO NETO; co-orientador EDUARDO DA COSTA
SEVERIANO. -- Rio Verde, 2017.

75 p.

Dissertação (Mestrado em MESTRADO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS - AGRONOMIA) -- Instituto Federal Goiano,
Câmpus Rio Verde, 2017.

1. Propagação. 2. Saccharum sp.. 3. reservas
nutritivas. 4. alginato de sódio. 5. ácido
indolbutírico. I. RUBIO NETO, AURÉLIO, orient. II. DA
COSTA SEVERIANO, EDUARDO, co-orient. III. Título.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS
DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

Autora: Janniffer Custódio da Silva
Orientador: Dr. Aurélio Rúbio Neto

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 28 de agosto de 2017.

Dra. Paula Fabiane Martins
Avaliadora externa
IF Goiano – Rede Arco Norte/Polo de Inovação

Prof^a. Dra. Indiamara Marasca
Avaliadora externa
UniRV – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto
Presidente da banca
IF Goiano – Rede Arco Norte/Polo de Inovação

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter iluminado os meus caminhos até aqui e por me dar forças para seguir sempre em frente.

Aos meus pais João e Edilza, que são meu braço forte, minha fonte de motivação inesgotável por sempre me apoiarem incondicionalmente, nas minhas decisões, pelo imenso amor que me oferecem, por aturarem meus dias bons e ruins e por sempre quererem me fazer sorrir. E, a minha irmã Iara, por “quebrar o galho” sempre que necessário.

Ao meu namorado Thomas Jefferson, por sua compreensão e ajuda nos momentos difíceis, por sempre me fazer rir, pela sua companhia agradável e pelos sorvetes e açaí, para refrescar a cabeça.

Ao meu orientador Aurélio Rubio Neto, por ter me proporcionado essa oportunidade de aprendizado e crescimento pessoal e profissional incrível e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao meu Coorientador Eduardo da Costa Severiano, por sempre oferecer palavras de discernimento e me auxiliar durante essa caminhada.

A professora Paula Fabiane, pela orientação, pelas risadas e pelas pizzas que tornaram o trabalho muito mais agradável.

Aos professores do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais Fabiano, Giselle e Lucas, por sempre me proporcionarem aprendizado.

Aos colegas do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais. Aqueles que estão começando na pesquisa e têm grande potencial: Diego, Ana Cristina, Érica, Luan, Vinícius, Maísa, Higor e Ana Flávia por terem

me oferecido uma mão (ou as duas), quando foi necessário. Aqueles que estão na caminha há mais tempo e já defenderam Anielle, Lidiane e Alan, aqueles que ainda vão defender Valéria, Letícia, Vanessa, Tainara e Thales. As doutoras Jú Cabral, Mariluz, Elisvane, Mariângela, Daniele e o doutor Paulo Dornelles. Aqueles que serão doutores daqui uns dias Agda, Luciana, Paula Faria, Márico Rosa e Estênio. Com os quais convivi e aprendi muito.

A equipe do Laboratório de Ecofisiologia, por me auxiliarem e orientarem durante as avaliações fisiológicas.

A usina São Martinho em Quirinópolis – Goiás, por ter disponibilizado o material vegetal utilizado neste estudo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – IF Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias – agronomia, pela oportunidade e pela infraestrutura oferecida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

Fui muito feliz em conhecer pessoas maravilhosas durante esse percurso e lhes sou grata por todos os momentos compartilhados.

BIOGRAFIA DA AUTORA

JANNIFFER CUSTÓDIO DA SILVA filha de Edilza Custódio da Silva e João Kenedy da Silva, nascida no dia 17 de julho de 1994, natural de Rio Verde, Goiás, Brasil.

Iniciou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas em fevereiro de 2011 e graduou-se em dezembro de 2014, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde.

Em setembro de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia em nível de Mestrado, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, submetendo-se à defesa da dissertação, requisito indispensável para a obtenção do título de Mestre, em agosto de 2017.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUÇÃO GERAL.....	16
REVISÃO DE LITERATURA	17
Caracterização e importância da cana-de-açúcar	17
Produção de mudas de cana-de-açúcar	20
Sistema convencional para obtenção de mudas de cana-de-açúcar	21
Sistema MEIOSI para produção de mudas de cana-de-açúcar	22
Sistema MPB para produção de mudas	22
Sementes sintéticas	23
Auxinas no enraizamento de plantas	25
CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
OBJETIVOS	33
Geral	33
Específicos.....	33
CAPÍTULO I: REDUÇÃO NO NÍVEL DE RESERVA E VIABILIDADE DO ENCAPSULAMENTO DE MINIRREBOLOS DE <i>Saccharum</i> sp.	34
RESUMO	34
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	36
Localização do ensaio e origem do material vegetal.....	36

Ensaio I: Redução no nível de reserva de minirrebolos de <i>Saccharum sp. L.</i> .	36
Ensaio II: Encapsulamento de minirrebolos de <i>Saccharum sp. L.</i>	38
Ensaio II.I: Viabilidade dos minirrebolos encapsulados com as concentrações 30, 40 e 50 g L ⁻¹ de alginato de sódio.....	39
Ensaio II.II: Avaliação dos filmes formados pelas diferentes concentrações de alginato de sódio e utilizados para realizar o encapsulamento dos minirrebolos de <i>Saccharum sp. L.</i>	39
Análises estatísticas	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
Ensaio I: Redução no nível de reserva de minirrebolos de <i>Saccharum sp. L.</i> .	41
Ensaio II: Encapsulamento de minirrebolos de <i>Saccharum sp. L.</i>	46
Ensaio II.I: Viabilidade dos minirrebolos encapsulados com as concentrações 30, 40 e 50 g L ⁻¹ de alginato de sódio.....	51
Ensaio II.II: Avaliações das cápsulas utilizadas para realizar o encapsulamento nos minirrebolos de <i>Saccharum sp. L.</i>	52
CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
CAPÍTULO II: ÁCIDO INDOLBUTÍRICO NA FORMA DE TALCO NO CRESCIMENTO DE MINIRREBOLOS DE <i>Saccharum sp.</i>	59
RESUMO	59
INTRODUÇÃO	60
MATERIAL E MÉTODOS	61
Localização do ensaio e origem do material vegetal.....	61
Preparo do AIB e tratamento dos minirrebolos	61
Avaliação de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos.....	63
Análise estatística.....	64
RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
CONCLUSÃO GERAL	76

ÍNDICE DE TABELAS

	PÁGINAS
INTRODUÇÃO GERAL	
Tabela 1: Principais subprodutos da indústria de cana-de-açúcar e seus respectivos usos	20
 CAPÍTULO I: REDUÇÃO NO NÍVEL DE RESERVA E VIABILIDADE DO ENCAPSULAMENTO DE MINIRREBOLOS DE <i>Saccharum</i> sp.	
Tabela. 1: Porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE), média de massa seca e porcentagem de massa retirada dos diferentes cortes no minirrebolo de mudas <i>Saccharum</i> sp. L., cultivar CTC 4, submetidas a redução no nível de reserva.	42
Tabela. 2: Valores médios do Número de folhas, Diâmetro de caule (DC), Comprimento da maior raiz (CMR), Comprimento da parte aérea (CPA) e Comprimento da planta (CP) de mudas de <i>Saccharum</i> sp. L., cultivar CTC 4, submetidas a redução no nível de reserva, 29 dias após o plantio.	45
Tabela. 3: Massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MStotal) de mudas de <i>Saccharum</i> sp. L., cultivar CTC 4, submetidas a redução nos níveis de reserva, 57 dias após o plantio.	45
 CAPÍTULO II: ÁCIDO INDOLBUTÍRICO NA FORMA DE TALCO NO CRESCIMENTO DE MINIRREBOLOS DE <i>Saccharum</i> sp.	
Tabela 1: Análise química do substrato Bioplant®	62

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINAS

CAPÍTULO I: REDUÇÃO NO NÍVEL DE RESERVA E VIABILIDADE DO ENCAPSULAMENTO DE MINIRREBOLOS DE *Saccharum sp.*

- Figura 1: Cortes nos minirrebolos de *Saccharum sp. L.* Minirrebolo de 3 cm (Controle) (a); Corte lateral a gema (b); Corte oposto a gema (c) e Corte entorno da gema (d). Fonte: Janniffer Custódio da Silva. Dez./2015. Barras: 2 cm..... 37
- Figura 2: Aspecto dos minirrebolos de *Saccharum sp. L.* encapsulados com diferentes concentrações de alginato de sódio e reticulados com cloreto de cálcio 300 mM. Zero (a); 10 g L⁻¹ (b); 20 g L⁻¹ (c); 30 g L⁻¹ (d); 40 g L⁻¹ (e) e 50 g L⁻¹ (f). Fonte: Janniffer Custódio da Silva. Set./2016. Barras: 2 cm. 38
- Figura 3: Aspecto dos filmes de alginato de sódio reticulados com cloreto de cálcio 300 mM. 10 g L⁻¹ (a); 20 g L⁻¹ (b); 30 g L⁻¹ (c); 40 g L⁻¹ (d) e 50 g L⁻¹ (e). Fonte: Janniffer Custódio da Silva. Set./2016. Barras: 3 cm. 40
- Figura 4: Porcentagem de emergência acumulada após o plantio de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, submetidos a redução no nível de reserva. 44
- Figura 5: Porcentagem de emergência (a) e Índice de velocidade de emergência (IVE) (b) de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, encapsuladas com diferentes concentrações de alginato de sódio..... 47
- Figura 6: Porcentagem de emergência acumulada após o plantio de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, encapsulados com diferentes concentrações de alginato de sódio. 48
- Figura 7: Análise de regressão para Número de folhas (a), Diâmetro de caule (b), Comprimento da planta (c), Comprimento da parte aérea (d) e Comprimento da maior raiz (e) de mudas de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, encapsulados com diferentes concentrações de alginato de sódio, 31 dias após o plantio..... 49
- Figura 8: Porcentagem de emergência (% de emergência) e índice de velocidade de emergência (IVE) de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4 com cápsula e após a retirada da cápsula (sem cápsula). Letras diferentes acima das colunas indicam diferenças pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. 51
- Figura 9: Análise da massa seca do filme aderido ao minirrebolo (MSFAM, a), índice de intumescimento (b), umidade (c), biodegradabilidade (d) e solubilidade (e) dos

filmes com diferentes concentrações de alginato de sódio utilizados para encapsulamento de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*..... 53

CAPÍTULO II: ÁCIDO INDOLBUTÍRICO NA FORMA DE TALCO NO CRESCIMENTO DE MINIRREBOLOS DE *Saccharum sp.*

Figura 1: Porcentagem de Emergência (% de Emergência, a) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE, b) de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco. 64

Figura 2: Taxa fotossintética (A, a), condutância estomática (gs, b), taxa transpiratória (E, c) e eficiência do uso da água (EUA, d) de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 30 dias de cultivo. 66

Figura 3: Clorofila a (a), clorofila b (b), carotenoides (c) e clorofila total (d) de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 30 dias de cultivo..... 68

Figura 4: Número de folhas (a), diâmetro do colmo (b), comprimento da parte aérea (Comprimento PA, c), área foliar (d) e área de raiz (e) de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 60 dias de cultivo..... 69

Figura 5: Massa seca da parte aérea (MSPA, a) e massa seca de raiz (MSR, b) de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*, cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 60 dias de cultivo..... 70

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolos/Siglas /Abreviações	Significado	Unidade
%	Porcentagem	-
A	Taxa fotossintética	$\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
AF	Área foliar	-
AIA	Ácido indolacético	-
AIB	Ácido indolbutírico	-
ANA	Ácido naftalenoacético	-
C4	Mecanismo de fixação de carbono	-
CaCO ₃	Carbonato de cálcio	-
cm	Centímetros	-
cm ²	Centímetro quadrados	-
cm ³	Centímetro cúbico	-
CO ₂	Dióxido de carbono	-
DAP	Dias após o plantio	-
DMSO	Dimetilsulfóxido	-
E	Taxa transpiratória	$\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
EUA	Eficiência do uso da água	$\text{mmol (CO}_2\text{) / mol (H}_2\text{O)}$
g L ⁻¹	Gramas por litro	-
g _s	Condutância estomática	$\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
H ₂ O	Água	-
ha	Hectare	-
IAC	Instituto Agronômico de Campinas	-
Ii	Índice de intumescimento	%
IRGA	Analisador de Gases no Infravermelho	-
IVE	Índice de velocidade de emergência	-
MEIOSI	Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente	-
mf	Massa final	-
mg kg ⁻¹	Miligramas por quilo	-
mg L ⁻¹	Miligramas por litro	-
mi	Massa inicial	-
mM	Milimolar	-
mm	Milímetros	-
MPB	Mudas pré-brotadas	-
MSPA	Massa seca da parte aérea	g
MSR	Massa seca da raiz	g

MStotal	Massa seca total	g
°C	Graus Celsius	-
rpm	Rotação por minuto	-
S	Ponto cardeal – Sul	-
t. ha ⁻¹	Toneladas por hectare	-
W	Ponto cardeal – Oeste	-
WL	Taxa de biodegradabilidade	%

RESUMO

SILVA, JANNIFFER CUSTÓDIO DA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – IF Goiano - Campus Rio Verde. Agosto de 2017. **Tecnologias para produção de mudas de cana-de-açúcar.** Orientador: Dr. Aurélio Rubio Neto, Coorientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano.

A cana-de-açúcar é uma cultura com potencial agrônômico para produção de biocombustíveis e alimentos. A propagação é tradicionalmente feita através dos colmos e requer grande quantidade para o plantio. O método de mudas pré-brotadas foi recentemente desenvolvido e já demonstra aumento na produtividade com redução do volume de mudas utilizadas, alta homogeneidade e sanidade. Contudo, há carência de estudos que otimizem o sistema de produção de mudas de cana-de-açúcar tendo em vista as tecnologias podem ser utilizadas para aumentar a produtividade deste sistema de plantio. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar o crescimento de minirrebolos de cana-de-açúcar submetidos a redução no nível de reserva, ao encapsulamento com alginato de sódio e ao tratamento com ácido indolbutírico na forma de talco. Para tanto foram implantados três experimentos em casa de vegetação. O primeiro experimento consistiu na redução no nível de reserva dos minirrebolos com cortes lateral, oposto e entorno da gema e como controle foi utilizado o minirrebolo de 3 cm. No outro experimento, foi realizado o encapsulamento dos minirrebolos com as concentrações de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 g L⁻¹ de alginato de sódio e complexados com 300 mM de cloreto de cálcio. No terceiro experimento, foram testadas as concentrações de 0, 500, 1000, 1500 e 2000 mg kg⁻¹ de ácido indolbutírico no crescimento das mudas. Em todos os experimentos, utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso. Foi observado que a redução no nível de reserva reduziu a qualidade fisiológica das mudas. O encapsulamento inibiu a emergência das mudas, contudo, após a retirada da cápsula os minirrebolos tiveram capacidade de gerar mudas. O ácido indolbutírico não influenciou em padrões fisiológicos do crescimento de mudas de cana-de-açúcar. Portanto, a redução no nível de reserva, o uso de alginato de sódio como agente encapsulante e o uso de até 2000 mg kg⁻¹ de ácido indolbutírico veiculado na forma de talco não aumentou parâmetros de crescimento de mudas de cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVES: Propagação, *Saccharum* sp. reservas nutritivas, alginato de sódio, ácido indolbutírico.

ABSTRACT

SILVA, JANNIFFER CUSTÓDIO DA. Goias Federal Institute of Education, Science, and Technology (IF Goiano) Campus Rio Verde. August 2017. **Technologies for the production of sugarcane seedlings**. Advisor: Dr. Aurélio Rubio Neto; Co-advisor: Dr. Eduardo da Costa Severiano.

Sugarcane is a crop with agronomic potential for biofuels and food production. The propagation is traditionally done through the stems which requires large volume for planting. The pre-sprouted seedlings method has recently been developed and already demonstrates an increase in productivity with volume reduction of seedlings used, high homogeneity and sanity. However, there is a lack of studies that optimize the system of sugarcane seedlings production since the technologies can be used to increase the productivity of this planting system. Thus, the objective of this study was to evaluate the growth of sugarcane bud chips submitted to reduction in the reserve level, encapsulation with sodium alginate and treatment with indolebutyric acid in the form of talc. For that, three experiments were conducted under greenhouse conditions. The first experiment consisted of a reduction in the reserve level of bud chip with lateral, opposite and surrounding bud, and as control the bud chip of 3 cm was used. In the other experiment, the bud chips were encapsulated with the concentrations of 0, 10, 20, 30, 40 and 50 g L⁻¹ of sodium alginate and complexed with 300 mM of calcium chloride. In the third experiment the concentrations of 0, 500, 1000, 1500 and 2000 mg kg⁻¹ of indolebutyric acid in the growth of the seedlings were tested. In all of the experiments, we used the completely randomized design. It was observed that the reduction in the reserve level reduced the physiological quality of the seedlings. The encapsulation inhibited the emergence of the seedlings, however, after removal of the capsule the bud chips were able to generate seedlings. Indolebutyric acid did not influence physiological growth patterns of sugarcane seedlings. Therefore, the reduction in the reserve level, the use of sodium alginate as the encapsulating agent and the use of up to 2000 mg kg⁻¹ of indolebutyric acid delivered as talc did not increase growth parameters of sugarcane seedlings.

KEY WORDS: Propagation, *Saccharum* sp. Nutritional reserves, sodium alginate, indolebutyric acid

INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar é uma planta cultivada mundialmente, atualmente o Brasil é o maior produtor dessa cultura e principal exportador de açúcar (CONAB, 2017). Recentemente, a produção de biocombustíveis destaca-se no mercado nacional e internacional por causa da importância de se reduzir gases de efeito estufa. Assim, o etanol de cana-de-açúcar é considerado excelente fonte de bioenergia para desenvolvimento sustentável do setor de combustíveis (GUO et al., 2015).

O método para propagação comercial de cana-de-açúcar usa os colmos ou fragmentos de colmos para o plantio, técnica que pouco mudou desde o início do cultivo da cultura no Brasil. O uso de novas tecnologias para o plantio de cana-de-açúcar torna-se importante para aumentar a produtividade através da formação de canavial homogêneo livre de doenças. O desenvolvimento de novas técnicas como a produção de mudas pré-brotadas e a multiplicação *in vitro* visa melhorar o sistema clássico de propagação de cana-de-açúcar e proporcionar rendimentos ao setor canavieiro e ao desenvolvimento sustentável da cultura.

O sistema de produção de Mudas Pré - Brotadas (MPB) foi desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 2009. O MPB usa apenas a região da gema para formar mudas que são levadas a campo. Isto garante alto padrão de sanidade e homogeneidade do canavial, além de reduzir para aproximadamente 2 t ha⁻¹ o consumo de matéria-prima para o plantio, enquanto no sistema tradicional usa de 18 a 20 t ha⁻¹ mudas (GOMES, 2013). Por ser uma técnica recente, vários estudos estão sendo desenvolvidos para viabilizar a produção de mudas com tempo reduzido e com maior vigor.

Mesmo com elevados esforços em pesquisa para aprimorar o plantio de cana-de-açúcar, ainda existem gargalos logísticos e de tempo para produção de mudas. Devido a importância de estudos para otimizar o sistema de produção de mudas de cana-de-açúcar, o presente estudo avaliou tecnologias para produção de mudas como a redução no nível de reserva para reaproveitar a biomassa na indústria, o encapsulamento visando a formação de sementes sintéticas. Também o uso de auxinas para otimizar o enraizamento e reduzir o tempo de produção da muda.

O Capítulo I aborda a viabilidade da redução nos níveis de reserva do minirrebolo para formação das mudas e o encapsulamento com uso de diferentes concentrações de alginato, composto mais utilizado para tal fim. A redução no nível de reserva do minirrebolo é uma alternativa para reduzir o consumo de matéria-prima durante o plantio e reaproveitar a biomassa na geração de energia produção de açúcar e etanol. A redução no nível de reserva pode viabilizar o encapsulamento que é uma técnica utilizada para formação de sementes sintéticas de propágulos de plantas em condições *in vitro*, que permite a sua conservação e sobrevivência durante os processos de aclimatização (HUNG; TRUEMAN, 2011).

No capítulo II do presente trabalho, são discutidos os efeitos de diferentes concentrações do Ácido Indolbutírico (AIB), auxina sintética, na produção de mudas de cana-de-açúcar. As auxinas são reguladoras de crescimento que promovem a redução no tempo de formação de raízes, sendo o enraizamento um dos fatores cruciais para garantir sobrevivência de mudas em campo. O regulador de crescimento AIB é o mais utilizado para enraizamento de mudas *ex vitro*. Ele aumenta o número de raízes adventícias através do estímulo a divisão celular, reduz o tempo de formação de raízes em mudas e aumenta a qualidade dessas raízes em concentrações adequadas (OSTERC; STAMPAR, 2011).

Assim o estudo desses fatores para produção de uma tecnologia de baixo custo e alto vigor pode aprimorar o sistema de plantio de cana-de-açúcar, reduzir o tempo para produção de mudas, aumentar a viabilidade das mudas e garantir sobrevivência e elevado padrão de fitossanidade de mudas de cana-de-açúcar.

REVISÃO DE LITERATURA

Caracterização e importância da cana-de-açúcar

As plantas de cana-de-açúcar cultivadas atualmente são híbridas que resultaram em plantas com alto desempenho comercial e são denominadas de *Saccharum* sp.

(LANDELL; BRESSIANI, 2010). Dentre os mais de 100 países produtores de cana-de-açúcar, o Brasil se destaca atualmente, possui 9.049.200 hectares de área colhida na safra 2016/2017. Esta espécie tem importância econômica para países tropicais e subtropicais, como o Brasil, que possui condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo.

O Brasil é hoje o maior produtor desta cultura, seguido pela Índia, China, Tailândia e Paquistão (FAO, 2017). Na safra 2016/2017, o Brasil produziu 38.691.100 de tonelada de açúcar e 27.807.523,0 litros de etanol derivado de cana-de-açúcar, estes dados faz do país líder na produção e exportação de açúcar, sendo segundo colocado na produção e exportação de etanol (SPERA et al., 2017; CONAB, 2017).

O estado que mais contribui para essa alta produtividade é São Paulo, responsável por mais de 50 % da produção do país, seguido por Goiás com aproximadamente 10 % (CONAB, 2017). A atividade sucroenergética é uma das principais fontes empregadoras do estado de Goiás. Dentre os municípios do estado, a cidade de Rio Verde, também atua no setor sucroenergético. São produzidas e processadas anualmente 3,06 milhões de toneladas nas indústrias do município e movimentam 183,6 milhões de reais (IBGE, 2015).

A crescente busca por fontes de energias renováveis leva o Brasil a investir cada vez mais no aumento de áreas para cultivo de cana-de-açúcar. Espera-se que a área de cultivo desta cultura no Brasil, aumente mais de 5 milhões de hectares até 2030, principalmente, nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Pará, através da conversão de pastagens (ALKIMIM et al., 2015). As condições edafoclimáticas diversificadas em que a cana-de-açúcar é cultivada e o anseio pelo aumento da produção desta cultura leva a ocupação de diversas áreas e requer o uso de técnicas para melhor aproveitamento desses ambientes (MAULE et al., 2001).

No Brasil, o período entre 2000 e 2008 foi marcante para o crescimento do setor sucroenergético. A abertura da economia brasileira para o mercado externo na década de 1990 permitiu o crescimento do comércio do açúcar (SCHEITERLE et al., 2017). O aumento da demanda para o consumo de etanol com advento dos veículos *flex fuel* impulsionou ainda mais esse crescimento. Dessa forma, o setor sucroenergético tem efeitos socioeconômicos nas regiões produtoras de cana-de-açúcar, gerando empregos, aumentando as receitas municipais e, conseqüentemente, é fundamental para o crescimento da economia brasileira (MORAES et al., 2016).

O estado de Goiás aumentou a área produtiva a partir de 2003, com expansão de 142.000 ha para 847.000 ha em 2013. Este crescimento está embasado principalmente nas condições ambientais favoráveis do estado e foi pressionado pela demanda no aumento da produção de cana-de-açúcar e de seus produtos, sendo que a área de cultivo tende a crescer devido as movimentações do mercado e alto valor agregado dos biocombustíveis (SPERA et al., 2017; FIESP, 2013). Essa crescente demanda no mercado requer desenvolvimento científico, para tanto, são necessários investimentos em ciência e tecnologia em todo o ciclo da cana-de-açúcar (LEITE; LEAL, 2007)

O maior interesse pela cana-de-açúcar é pela alta concentração de sacarose (90%) em seu caule, além de glicose e frutose (SINDHU et al., 2016). Os principais produtos derivados desta cultura são o açúcar e o etanol. O açúcar é amplamente utilizado na alimentação humana, na conservação de alimentos e também na indústria farmacêutica. O etanol é considerado uma energia limpa e renovável para o setor de biocombustíveis com grande demanda pelo mercado nacional e internacional. Ele pode ser usado na sua forma hidratada em veículos *flex fuel* ou misturado à gasolina para reduzir a emissão de poluentes, sendo este denominado etanol anidro (CARPIO; SOUZA, 2017). Além destas mercadorias, o setor sucroalcooleiro tem buscado o uso de subprodutos como forma de reduzir custos de produção e aumentar a produtividade.

O resíduo gerado pela produção de cana-de-açúcar e seus principais produtos, tem potencial para ser utilizado como fonte de subprodutos. A cana-de-açúcar é altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química, o componente de maior interesse é a sacarose, contudo, a palha derivada da colheita, o bagaço gerado da extração do caldo, o melaço e a vinhaça, resíduos da produção de açúcar e etanol, são subprodutos com alto valor agregado (SINDHU et al., 2016; VU et al., 2006) (Tabela 1).

Tabela 1: Principais subprodutos da indústria de cana-de-açúcar e seus respectivos usos

Subproduto	Obtenção	Utilização	Referência
Vinhaça	Produção do etanol	Biogás; Fertirrigação; Etanol	Moraes et al. (2014); Souza, (2015); Silalertruksa et al., (2015)
Bagaço	Extração do caldo	Etanol de segunda geração; Bioenergia	Dias et al., (2012)
Palha	Colheita mecanizada	Bioenergia; Fibra têxtil	Leal et al. (2013); Costa et al. (2013); Carvalho et al., (2017)
Melaço	Produção de açúcar	Alimentação animal; Etanol; Construção civil	Martins et al. (2016); Oltramari et al. (2016); Khatiwada et al. (2016); Li et al. (2015)
Créditos de carbono	Cogeração de energia	Moeda de trocas entre países	Marcondes et al. (2013)
Torta de filtro	Produção de açúcar e etanol	Nutriente para plantas	Elsayedet et al. (2008)
Levedura	Processo de fermentação	Alimentação animal	Freitas et al. (2015)

É visível a importância do cultivo de cana-de-açúcar em nível mundial, contudo métodos para aumentar a produtividade e garantir utilização dos subprodutos gerados pelo setor sucroenergético precisam ser desenvolvidos e aplicados de forma eficaz para garantir a sustentabilidade do setor.

Produção de mudas de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta perene e o seu replantio é feito de três a seis safras, e, é necessário para evitar perdas de produtividade devido a compactação do solo pelo tráfego de veículos durante cultivo. Também para reduzir o acúmulo de patógenos e melhorar a fertilidade do solo (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). Este

processo de replantio é denominado de reforma do canavial. O uso de leguminosas nas áreas de reforma é adotado para viabilizar fixação de N_2 atmosférico e reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados que melhora a fertilidade do solo (PEOPLES et al., 2009; PARK et al., 2010).

Uma das grandes preocupações atuais para produção de cana-de-açúcar está pautada nas reduções dos gases de efeito estufa. O projeto de mecanização agrícola acelerou o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro e avançou em termos de produção sustentável (CAPAZ et al., 2013). É notável o avanço do uso da mecanização para plantio e colheita de cana-de-açúcar e seus reflexos no aumento da produtividade, contudo, o uso de colmos como mudas para o plantio desta cultura pouco mudou desde o início do seu cultivo no Brasil. Fato que consome muita matéria-prima que poderia ser utilizada na indústria para produção de açúcar e etanol.

O plantio de cana-de-açúcar é um momento crucial para o estabelecimento, desenvolvimento e produtividade da cultura, pois as decisões tomadas neste momento irão durar todo o ciclo de cultivo, geralmente, cinco anos. Assim, o plantio adequado pode evitar pragas, plantas invasoras e proporcionar boas características do solo que levaram consequentemente a longevidade do canavial (AMBROSANO et al., 2015). Deve-se levar em consideração para plantio de cana-de-açúcar o espaçamento entre fileiras, a profundidade do sulco, a época do plantio e a quantidade e qualidade das mudas (BARROS; MILAN, 2010).

Existem diversos métodos para produção de mudas de cana-de-açúcar que vão desde os mais clássicos que consistem na retirada de fragmentos do colmo e transplântio para o solo, aos mais desenvolvidos com sistemas de mudas pré-brotadas, para produção de mudas livres de patógenos e alta homogeneidade. O método convencional de produção de muda ainda é o mais usual nas plantações comerciais de cana-de-açúcar, contudo, as novas tecnologias para produção de mudas são necessárias e requerem investimentos em pesquisas para viabilizar alta produtividade. Os principais desafios para esses novos métodos são as condições adversas em que a cana-de-açúcar é cultivada no Brasil e no mundo.

Sistema convencional para obtenção de mudas de cana-de-açúcar

Com relação ao propágulo utilizado, o plantio de cana-de-açúcar é realizado atualmente por gemas laterais presentes no colmo. Os colmos são depositados no sulco de plantio de forma manual ou mecânica, usando fragmentos de colmos com 3 a 5

gemas com tamanhos de 30 a 50 cm. Elas devem estar livres de patógenos, ter alta capacidade de brotação e ser uma cultivar produtiva. Para garantir essas qualidades devem ser usadas mudas que estejam em crescimento vegetativo, geralmente de 8 a 10 meses. São usadas por este método de plantio de 18 a 20 t ha⁻¹ de mudas que levam ao alto custo de produção (LANDELL et al., 2012). O método de propagação é importante fator para o crescimento e desenvolvimento da cultura no campo, portanto, a escolha do propágulo ideal e sistema de plantio é fator fundamental para o sucesso da lavoura (LEWANDOWSKI, 1998).

Sistema MEIOSI para produção de mudas de cana-de-açúcar

O método intercalar rotacional ocorrendo simultaneamente, também conhecido por MEIOSI, consiste em um sistema de rotação de culturas para produção de mudas de cana-de-açúcar com alta qualidade. Ocorre o plantio de cana-de-açúcar em três linhas que irão fornecer mudas para dez linhas adjacentes. Durante o tempo em que a cana-de-açúcar das três linhas se desenvolve as demais linhas adjacentes devem ser preenchidas com culturas anuais ou adubos verdes buscando otimizar custos de produção. A principal vantagem deste método está no vigor das mudas, na eliminação do transporte, na redução dos riscos de erosão e redução de custos (EIRAS; COELHO, 2012).

Sistema MPB para produção de mudas

O sistema Mudas Pré-Brotadas (MPB) leva ao campo mudas oriundas do corte do colmo, conhecido como minirrebolos, que possuem em média três centímetros de comprimento, e está localizada a gema, responsável pela brotação. A tecnologia já vem sendo adotada por pequenos produtores e associações de Goiás e região Central de São Paulo (GOMES, 2013). O sistema MPB de cana-de-açúcar foi lançado pelo Programa Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 2009 e consiste no processo de produção rápida de mudas a partir de gemas individualizadas associado ao elevado padrão fitossanitário, vigor e uniformidade do plantio.

A técnica de MPB mostra-se usual no replantio de áreas comerciais, proporciona uniformidade na produção do canavial e redução do volume de cana-de-açúcar utilizada para o plantio. Durante os 60 dias iniciais da brotação, os níveis de reserva contido no minirrebolo são essenciais para o desenvolvimento da muda. Nesse período, por causa da quebra do domínio apical, inicia-se o crescimento e desenvolvimento dos primórdios de raízes presentes no anel de enraizamento e da parte aérea (XAVIER et al., 2014).

O processo para produção de MPB foi definido por Landell et al. (2013), inicia-se com seleção de colmos de qualidade. A técnica possui seis estágios principais i) Corte e preparo do minirrebolo; ii) Tratamento das gemas; iii) Brotação; iv) Individualização ou “repicagem”; v) Aclimatização fase 1 e vi) Aclimatização fase 2. A importância da técnica de MPB é relatada em pesquisas que vêm sendo aprimoradas a cada dia, contudo os estudos com essa técnica ainda são escassos, dessa forma seu potencial de eficiência em campo ainda não foi inteiramente compreendido. Sabe-se que os minirrebolos são partes das plantas que contêm gemas, reservas nutricionais, água e hormônios vegetais. A partir da gema que em condições favoráveis de temperatura, umidade, aeração e nutrientes do solo que a planta irá brotar (XAVIER et al., 2014).

Os trabalhos atuais com MPB avaliam a influência de herbicidas no crescimento inicial das mudas em campo e também testa microrganismos promotores do crescimento em plantas para reduzir o uso de fertilizantes. Pesquisas indicam que a toxicidade causada as mudas ao final de 60 dias de aplicação, depende do herbicida, época de aplicação e da cultivar utilizada (SABBAG et al., 2017). O uso de bactérias promotoras do crescimento leva ao aumento na velocidade de brotação e ao acúmulo de matéria seca de parte aérea e raízes, ao final de 50 dias de cultivo em viveiro. Mudas Pré-Brotadas inoculadas com bactérias promotoras do crescimento em plantas avaliadas em campo por 180 dias também apresentaram ganhos biométricos e de biomassa (GÍRIO et al., 2015).

Por ser uma técnica de plantio recém-criada, poucos estudos foram desenvolvidos para aprimorar o sistema de MPB. Assim pesquisas para reduzir o tempo de viveiro e aumentar a sobrevivência em campo são indispensáveis para o sucesso deste cultivo. Os estudos e propostas para aprimorar o sistema de produção de cana-de-açúcar estão desenvolvendo-se diariamente, tanto em empresas privadas como órgãos públicos de pesquisa.

Sementes sintéticas

A definição de semente sintética ou artificial consiste na manipulação de propágulos derivados do crescimento *in vitro* e encapsulado de forma a viabilizar o transporte, armazenamento e semeadura e ser capaz de se converter em uma planta. Esta é uma técnica promissora para propagação de plantas que não produzem sementes, que têm ciclo vegetativo longo ou produza sementes inviáveis (SHARMA et al., 2013).

A técnica de encapsulamento é associada a produção de sementes sintéticas. Algumas das aplicações das sementes sintéticas são a propagação, conservação e transporte de espécies vegetais de forma a garantir resistência e viabilidade de propágulos vegetativos. Esta ferramenta é muito usada em frutíferas topicais, plantas ornamentais e hortaliças. E consiste na proteção de um propágulo (embriões somáticos, ápices caulinares, ou gemas axilares) por cápsulas derivadas de compostos artificiais.

O composto atualmente mais utilizado para o encapsulamento é o alginato de sódio por suas propriedades geleificantes, baixo custo, facilidade de uso e ausência de toxicidade que permite a sua utilização até na conservação de frutos, seu uso só é eficaz quando combinado com cloreto de sódio que também não é prejudicial ao desenvolvimento da planta. Dessa forma, os propágulos possuem resistência para manipulação e transporte. A matriz de alginato pode ser enriquecida com substâncias nutritivas, reguladores vegetais e microrganismos promotores do crescimento que influenciam na viabilidade da planta formada. A adição desses componentes aumenta a sobrevivência e crescimento dos propágulos encapsulados (LEE; MOONEY, 2012).

O uso do alginato leva a proteção e viabilidade do propágulo, contudo, a concentração deste composto é um fator limitante para produção das sementes pela rigidez proporcionada ao crescimento da planta (MANDAL et al., 2000). Por isso, estudos que testem concentrações de alginato para produção de sementes sintéticas derivadas de diferentes propágulos são necessários.

As técnicas para produção de sementes sintéticas estão sendo estudada para cana-de-açúcar, contudo, não demonstraram viáveis até o momento. A formação de sementes sintéticas de espécies comerciais é importante para viabilizar aumento nos rendimentos, como um método de propagação alternativo e para facilitar a troca de germoplasma entre países (NYENDE et al., 2005; RAI et al., 2009). Os atuais estudos usando esta técnica estão voltados para encapsulamento de plantas que não apresentam sementes viáveis, com baixa taxa de germinação, de ciclo vegetativo longo, fato que torna a cana-de-açúcar candidata ao uso deste método de propagação.

A Syngenta lançou em 2008, uma tecnologia que compreende o plantio e cultivo de apenas uma gema de cana-de-açúcar tratado com polímero para reduzir a perda de água e adição de compostos que promovem o crescimento de plantas como fertilizantes, microrganismos promotores do crescimento e reguladores vegetais. Estas gemas podem ser armazenadas por até 2 meses em temperaturas abaixo de 15 °C (ARAMAKI et al., 2008). Contudo, esta técnica não se desenvolveu em campo e voltou para o ambiente de

pesquisa. Assim a tecnologia atualmente mais promissora para o plantio comercial de cana-de-açúcar é a produção de mudas pré-brotadas, levando para o campo uma planta já formada, livre de patógenos e com alto desempenho comercial (LANDELL et al., 2013).

Auxinas no enraizamento de plantas

Os hormônios vegetais sintéticos, também conhecidos por reguladores de crescimento vegetal, são essenciais para o crescimento e desenvolvimento natural das plantas. Pesquisas que envolvam a aplicação de reguladores em espécies cultivadas visam o controle de processos fisiológicos ligados ao aumento da produtividade vegetal. As auxinas constituem uma classe de reguladores de crescimento que podem aumentar a absorção de água e nutrientes pelas plantas mesmo sob condições ambientais adversas em concentrações adequada para cada espécie, com o aumento no comprimento de pelos radiculares, e formação de raízes adventícias (PORFÍRIO et al., 2016).

O Ácido indolacético, ácido indolbutírico e ácido naftalenoacético são as principais fontes de auxina utilizadas no enraizamento de plantas (GEHLOT et al., 2014). Atualmente, os estudos com auxinas testam seu potencial enraizador *in vitro* e *ex vitro*, assim como, sua funcionalidade na multiplicação e regeneração de plantas (ALCANTARA et al., 2014). O uso de auxinas leva a maior produção de raízes, sendo o ácido indolbutírico (AIB) um regulador de crescimento da classe das auxinas que se destaca em condições *ex vitro* (MUSTAFA; KHAN, 2016). O crescimento, desenvolvimento e sobrevivência de plantas está relacionado ao seu potencial de enraizamento, as raízes são essenciais para fixação da planta no solo e principal fonte de água e nutrientes (PACURAR et al., 2014).

Dessa forma, estudar a ação de reguladores vegetais, assim como a concentração adequada para elevar a produtividade de culturas comerciais como a cana-de-açúcar se faz necessário. A auxina é essencial para o desenvolvimento radicular, sendo na cana-de-açúcar esse fator essencial para o bom estabelecimento da cultura. Já que esta é uma planta perene e sua fixação no solo é essencial para os sucessivos ciclos de vida. Assim sendo, estudar o efeito dessa substância na produção de mudas saudáveis se faz necessário para promover a expansão e desenvolvimento sustentável da cultura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O plantio de cana-de-açúcar é feito em áreas de expansão e reforma sendo crucial para garantir produtividade e longevidade do canavial. Atualmente, o sistema tradicional para obtenção de mudas de plantio de cana-de-açúcar não é satisfatório, pois gasta elevada quantidade de mudas, que poderiam ser convertidas na indústria em açúcar e etanol e dessa forma reduzir gastos e aumentar a produtividade da cultura. Assim, novas técnicas foram desenvolvidas para produção de mudas de cana-de-açúcar como sistema MEIOSI e a formação de Mudanças Pré-Brotadas com o objetivo de reduzir custos e aumentar a produtividade.

Dentre os sistemas de produção de mudas de cana-de-açúcar o sistema de MPB se destaca, levando para o campo mudas já formadas, livre de patógenos e com alto vigor, contudo, mesmo com as vantagens inerentes deste método para produção de mudas, ainda existe gargalos ao sistema de MPB que impedem sua utilização em larga escala. Dessa forma, estudos que testem práticas para aperfeiçoamento desta tecnologia se fazem necessários. Assim sendo, o presente trabalho estudou técnicas como o uso da tecnologia de sementes sintéticas de cana-de-açúcar e o ácido indolbutírico como enraizador visando desenvolver o sistema de produção de mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, G. B. D., DIBAX, R., OLIVEIRA, R. A. D., BESPALHOK FILHO, J. C., DAROS, E. Plant regeneration and histological study of the somatic embryogenesis of sugarcane (*Saccharum* sp.) cultivars RB855156 and RB72454. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36 n. 1, p.63-72, 2014.
- ALKIMIM, A., SPAROVEK, G., CLARKE, K. C. Converting Brazil's pastures to cropland: An alternative way to meet sugarcane demand and to spare forestlands. **Applied Geography**, v. 62, p. 75-84, 2015.
- AMBROSANO, E. J., CANTARELLA, H., AMBROSANO, G. M. B., SCHAMMAS, E. A., DIAS, F. L. F., ROSSI, F., TRIVELIN, P. C.O., MURAOKA, T., AZCÓN, R. Produtividade De Cana-De-Açúcar Em Ciclos Agrícolas Consecutivos Após Pré-Cultivo De Espécies Adubos Verdes. **Brazilian Journal Of Agriculture-Revista De Agricultura**, v. 89, n.3, p.232-251, 2015.
- ARAMAKI, J. A. L, NASCIMENTO, A. C., S., MARTINS, J. G. **A method for growing sugarcane**. EP nº WO2009000398 A2, 9 jun. 2008, 31 dez. 2008. Disponível em:

- <<https://www.google.com/patents/WO2009000398A2?cl=en>>. Acesso em: 11 jun. 2017.
- BARROS, F. F., MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 221-229, 2010.
- CAPAZ, R. S., CARVALHO, V. S. B., NOGUEIRA, L., A. H. Impact of mechanization and previous burning reduction on GHG emissions of sugarcane harvesting operations in Brazil. **Applied Energy**, v. 102, p. 220-228, 2013.
- CARPIO, L. G. T., SOUZA, F. S. Optimal allocation of sugarcane bagasse for producing bioelectricity and second generation ethanol in Brazil: Scenarios of cost reductions. **Renewable Energy**, v. 111, p. 771-780, 2017.
- CARVALHO, D. J., VEIGA, J. P. S., BIZZO, W. A. Analysis of energy consumption in three systems for collecting sugarcane straw for use in power generation. **Energy**, v. 119, p. 178-187, 2017.
- CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A., DE ABREU, H. M. C., ARRUDA, P., BESPALHOK FILHO, J. C., BURNQUIST, W. L., CRESTE, S., FÁTIMA GROSSI-DE-SÁ, M. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical plant biology**, v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_19_11_27_36_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_16-17.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- COSTA, S. M., MAZZOLA, P. G., SILVA, J. C., PAHL, R., PESSOA, A., COSTA, S. A. Use of sugar cane straw as a source of cellulose for textile fiber production. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 189-194, 2013.
- DIAS, M. O., JUNQUEIRA, T. L., JESUS, C. D., ROSSELL, C. E., MACIEL FILHO, R., BONOMI, A. Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane. **Energy**, v. 43, n. 1, p. 246-252, 2012.
- EIRAS, P. P., COELHO, F. C. Avaliação de diferentes densidades de semeadura e da poda na produtividade de sementes de *Crotalaria juncea* L., **Rev Ceres**, v. 59, n. 5, p. 668-76, 2012.
- ELSAYED, M. T., BABIKER, M. H., ABDELMALIK, M. E., MUKHTAR, O. N., MONTANGE, D. Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane

- and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents. **Bioresource technology**, v. 99, n. 10, p.4164-4168, 2008.
- FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Outlook Fiesp 2023: projeções para o agronegócio brasileiro**. São Paulo: Fiesp, 2013. 115 p. Disponível em: <https://www.novacana.com/pdf/estudos/Estudo_Fiesp_MBagro.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2017.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, **FAOSTATS**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>> Acesso em: 27 jun. 2017.
- FREITAS, D. R., CAMPOS, J. M. S., MARCONDES, M. I., VALADARES FILHO, S. C., FRANCO, M. O., MARTINS, E. C., RODRIGUES, B.M.C., OLIVEIRA, A. S. Levedura seca integral na alimentação de vacas lactantes. **Arq. bras. med. vet. zootec**, v. 67, n. 1, p. 211-220, 2015.
- GEHLOT, A., GUPTA, R. K., TRIPATHI, A., ARYA, I. D., ARYA, S. Vegetative propagation of *Azadirachta indica*: effect of auxin and rooting media on adventitious root induction in mini-cuttings. **Advances in Forestry Science**, v.1, n. 1, p. 1-9, 2014.
- GÍRIO, L. A. D. S., DIAS, F. L. F., REIS, V. M., URQUIAGA, S., SCHULTZ, N., BOLONHEZI, D., MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n.1, p. 33-43, 2015.
- GOMES, C. **Sistema muda conceito de plantio**. A Lavoura, v. 696, n. 1, p. 38-39, 2013.
- GUO, M., SONG, W., BUHAIN, J. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 712-725, 2015.
- HUNG, C. D., TRUEMAN, S. J. Encapsulation technology for short-term preservation and germplasm distribution of the African mahogany *Khaya senegalensis*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 107, n. 3, p. 397-405, 2011.
- IBGE, Produção Agrícola Municipal 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=521880&idtema=149&search=goias|rio-verde|producao-agricola-municipal-lavoura-temporaria-2014>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

- KHATIWADA, D., VENKATA, B. K., SILVEIRA, S., & JOHNSON, F. X. Energy and GHG balances of ethanol production from cane molasses in Indonesia. **Applied Energy**, v. 164, p. 756-768, 2016.
- LANDELL, M. D. A., CAMPANA, M. P., FIGUEIREDO, P., XAVIER, M. A., ANJOS, I. D., DINARDO-MIRANDA, L. L., SCARPARI, M. S., GARCIA, J. C., BIDÓIA, M. A. P., SILVA, D. N., MENDONÇA, J. R., KANTHACK, R. A. D., CAMPOS, M. F., BRANCALIÃO, S. R., PETRI, M. H., MIGUEL, P. E. M. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. **Ribeirão Preto: Instituto Agronômico de Campinas**, 2012
- LANDELL, M. D. A., CAMPANA, M., FIGUEIREDO, P., XAVIER, M., ANJOS, I. D., DINARDO-MIRANDA, L. L., MENDONÇA, J. D. Sistema de Multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Campinas: Instituto Agronômico, 16 p. 2013.
- LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A.; (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 101-156, 2010.
- LEAL, M. R. L., GALDOS, M. V., SCARPARE, F. V., SEABRA, J. E., WALTER, A., OLIVEIRA, C. O. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p.11-19, 2013.
- LEE, K. Y.; MOONEY, D. J. Alginate: properties and biomedical applications. **Progress in polymer science**, v. 37, n. 1, p. 106-126, 2012.
- LEITE, R. C. C., LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos estudos-CEBRAP**, n. 78, p. 15-21, 2007.
- LEWANDOWSKI, I. Propagation method as an important factor in the growth and development of *Miscanthus × giganteus*. **Industrial Crops and Products**, v. 8. n. 3, p. 229-245, 1998.
- LI, H., JIANG, Z., YANG, X., YU, L., ZHANG, G., WU, J., & LIU, X. Sustainable resource opportunity for cane molasses: use of cane molasses as a grinding aid in the production of Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, v. 93, p. 56-64, 2015.
- MANDAL, J., PATTNAIK, S., CHAND, P., K. Alginate encapsulation of axillary buds of *Ocimum americanum* L. (hoary basil), *O. Basilicum* L.(sweet basil), *O. Gratissimum*

- L.(shrubby basil), and *O. Sanctum*. L. (sacred basil). **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 36, n. 4, p. 287-292, 2000.
- MARCONDES, L. P., PARISOTTO, I. R. S., FARIA, S. G. S., ZUCCO, F. D., FARAH, O. E. Obtenção do crédito de carbono através de projetos de cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar em uma agroindústria sucroalcooleira da região noroeste do estado de São Paulo/Obtaining the carbon credit projects through cogeneration from. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v.3. n. 3, p116-136, 2013.
- MARTINS, P. G., MORIEL, P., VENDRAMINI, J. M., ARTHINGTON, J. D. Evaluation of 2 sugarcane molasses feeding strategies on measures of growth and reproductive performance of replacement beef heifers. **The Professional Animal Scientist**, v. 32, n. 3, p.302-308, 2016.
- MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JUNIOR, G.B. Produtividade Agrícola de Cultivares de Cana-de-Açúcar em Diferentes Solos e Épocas de Colheita. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p.295-301, 2001.
- MORAES, B. S., JUNQUEIRA, T. L., PAVANELLO, L. G., CAVALETT, O., MANTELATTO, P. E., BONOMI, A., ZAIAT, M. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense?. **Applied Energy**, v. 113, p. 825-835, 2014.
- MORAES, M. A. F. D., BACCHI, M. R. P., CALDARELLI, C. E. Accelerated growth of the sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000–2008): Effects on municipal gross domestic product per capita in the south-central region. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 116-125, 2016.
- MUSTAFA, G.; KHAN, M. S. Differential Role of Indolebutyric Acid in Sugarcane Root Development. **Sugar Tech**, v. 18, n. 1, p. 55-60, 2016.
- NYENDE, A. B., SCHITTENHELM, S., MIX-WAGNER, G., GREEF, J. M. Yield and canopy development of field grown potato plants derived from synthetic seeds. **European journal of agronomy**, v. 22, n. 2, p. 175-184, 2005.
- OLTRAMARI, C. E., NÁPOLES, G. G. O., DE PAULA, M. R., SILVA, J. T., GALLO, M. P. C., PASETTI, M. H. O., BITTAR, C. M. M. Performance and Metabolism of Calves Fed Starter Feed Containing Sugarcane Molasses or Glucose Syrup as a Replacement for Corn. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 29, n. 7, p. 971, 2016.

- OSTERC, G., ŠTAMPAR, F. Differences in endo/exogenous auxin profile in cuttings of different physiological ages. **Journal of plant physiology**, v. 168, n. 17, p. 2088-2092, 2011.
- PACURAR, D. I., PERRONE, I., BELLINI, C. Auxin is a central player in the hormone cross-talks that control adventitious rooting. **Physiologia plantarum**, v. 151, n. 1, p. 83-96, 2014.
- PARK, S. E., WEBSTER, T. J., HORAN, H. L., JAMES, A. T., THORBURN, P. J. A legume rotation crop lessens the need for nitrogen fertiliser throughout the sugarcane cropping cycle. **Field crops research**, v. 119, n. 2, p.331-341, 2010.
- PEOPLES, M. B., BROCKWELL, J., HERRIDGE, D. F., ROCHESTER, I. J., ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S., BODDEY, R. M., DAKORA, F. D., BHATTARAI, S., MASKEY, S. L., SAMPET, C., RERKASEM, B., KHAN, D. F., HAUGGAARD-NIELSEN, H., JENSEN, E. S. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. **Symbiosis**, v. 48, p.1-17, 2009.
- PORFÍRIO, S., SILVA, M. D. G., PEIXE, A., CABRITA, M. J., AZADI, P. Current analytical methods for plant auxin quantification—A review. **Analytica chimica acta**, v. 902, p. 8-21, 2016.
- RAI, M. K., ASTHANA, P., SINGH, S. K., JAISWAL, V. S., JAISWAL, U. The encapsulation technology in fruit plants—a review. **Biotechnology advances**, v. 27, n. 6, p. 671-679, 2009.
- SABBAG, R. S., MONQUERO, P. A., HIRATA, A. C. S., DOS SANTOS, P. H. V. Crescimento inicial de mudas pré brotadas de cana-de-açúcar submetidas a aplicação de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 1, p. 38-49, 2017.
- SCHEITERLE, L., ULMER, A., BIRNER, R., PYKA, A. From Commodity-Based Value Chains to Biomass-Based Value Webs: The Case of Sugarcane in Brazil's Bioeconomy. **Journal of Cleaner Production**, 2017
- SHARMA, S., SHAHZAD, A., SILVA, J. A. Teixeira. Synseed technology—a complete synthesis. **Biotechnology advances**, v. 31, n. 2, p. 186-207, 2013.
- SILALERTRUKSA, T., GHEEWALA, S. H., PONGPAT, P. Sustainability assessment of sugarcane biorefinery and molasses ethanol production in Thailand using eco-efficiency indicator. **Applied Energy**, v. 160, p. 603-609, 2015.

- SINDHU, R., GNANSOUNOU, E., BINOD, P., PANDEY, A. Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products—An overview. **Renewable Energy**, v. 98, p. 203-215, 2016.
- SOUZA, J. K. C., MESQUITA, F. O., NETO, J. D., SOUZA, M. M. A., FARIAS, C. H. A., MENDES, H. C., NUNES, R. M. A. Fertirrigação Com Vinhaça Na Produção De Cana-de-Açúcar. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n.2, p. 7-12, 2015.
- SPERA, S., VANWEY, L., MUSTARD, J. The drivers of sugarcane expansion in Goiás, Brazil. **Land Use Policy**, v. 66, p. 111-119, 2017.
- VU, J. C. V., ALLEN, L. H., GESCH, R. W. Up-regulation of photosynthesis and sucrose metabolism enzymes in young expanding leaves of sugarcane under elevated growth CO 2. **Plant Science**, v. 171, n. 1, p. 123-131, 2006.
- WERNER, F., DEGASPARI, N., AZENHA, A. C., TEIXEIRA, C. S. C., QUEIROZ, P. C., TAVARES-RODRIGUES, M. A. **Method for cultivating sugar cane**. AS n° US 9615503 B2, 21 set. 2012, 11 abr. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com/patents/US9615503>>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- XAVIER, M. A., LANDELL, M. G. A., CAMPANA, M. P., FIGUEIREDO, P., MENDONÇA, J.R., DINARDO-MIRANDA, L. L., SCARPARI, M. S., GARCIA, J. C., ANJOS, I. A., AZANHA. C. A. M., BRANCALIÃO, S. R., KANTHACK, R. A. D., AFERRI, G., SILVA, D. N., BIDÓIA, M. A. P., CAMPOS, M. F., PERRUCCO, D., MATSUO, R. S., NEVES, J. C. T., CASSANELI JUNIOR, J. R., PERRUCCO, L., PETRI, R. H., SILVA, T. N., SILVA, V. H. P., THOMAZINHO JUNIOR, J. R., MIGUEL, P. E. N., LOREZANTO, C. M. **Fatores de desuniformidade e kit de pré-brotação IAC para sistema de multiplicação de cana-de-açúcar – mudas pré-brotadas (MPB)**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014. 22 p; (Documentos IAC, n 113).

OBJETIVOS

Geral

Avaliar o crescimento de minirrebolos de cana-de-açúcar submetidos a redução no nível de reserva, ao encapsulamento com alginato de sódio e ao tratamento com ácido indolbutírico na forma de talco.

Específicos

- Quantificar o crescimento de mudas de cana-de-açúcar com redução no nível de reserva;
- Verificar diferentes concentrações de alginato de sódio para o encapsulamento minirrebolos de cana-de-açúcar e
- Analisar concentrações de ácido indolbutírico no crescimento de mudas de cana-de-açúcar.

CAPÍTULO I

(Revista: Sugar Tech)

REDUÇÃO NO NÍVEL DE RESERVA E VIABILIDADE DO ENCAPSULAMENTO DE MINIRREBOLOS DE *Saccharum* sp. L.

RESUMO

O plantio de cana-de-açúcar pouco mudou desde seu desenvolvimento, necessitando de tecnologias que aumentem o potencial produtivo da cultura. Objetivou-se com este estudo, avaliar a redução no nível de reserva e o encapsulamento de minirrebolos de cana-de-açúcar no crescimento inicial de mudas. Para tanto, dois ensaios foram executados em delineamento inteiramente ao acaso, o primeiro avaliando a redução nos níveis de reserva do lado lateral, oposto e entorno da gema, emergidos em bandejas e mantidos em casa de vegetação. No segundo, ensaio foram testadas seis concentrações de alginato de sódio (0, 10, 20, 30, 40, 50 g L⁻¹), complexados com 300 mM de cloreto de cálcio e mantidos nas mesmas condições supracitadas. Os cortes lateral e oposto a gema não diferiram do controle para porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência e biometria. O corte entorno da gema teve seu crescimento inicial prejudicado. A redução no nível de reserva dos minirrebolos prejudicou o crescimento inicial de mudas. Emergência acima de 70 % foi obtida nas concentrações de 0, 10 e 20 g L⁻¹ de alginato de sódio. O encapsulamento inibe a emergência, contudo, apresenta potencial para conservação dos minirrebolos. O estudo de novas cápsulas e métodos de encapsulamento pode viabilizar a produção de semente sintética de cana-de-açúcar *ex vitro*.

Palavras-chave: Propagação, cana-de-açúcar, alginato de sódio.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) é uma cultura perene, tradicionalmente propagada por meio de suas gemas axilares com gasto de 18 a 20 t ha⁻¹ de colmos para seu cultivo. No sistema convencional de plantio o gasto com colmos tem deficiências fitossanitárias, e acarretou no desenvolvimento do sistema de Mudanças Pré-Brotadas (MPB) pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (LANDELL et al., 2013). O MPB utiliza apenas a região da gema com três centímetros de comprimento de reservas, denominado minirrebolo, para obter mudas que serão levadas a campo. Isto garante sanidade e homogeneidade do canavial, além de reduzir para aproximadamente 2 t ha⁻¹ o consumo de matéria-prima para o plantio (GOMES, 2013). Por ser uma técnica atual vários estudos estão sendo desenvolvidos para viabilizar a produção de mudas com tempo reduzido e maior vigor.

A técnica de sementes sintéticas é tradicionalmente aplicada a propágulos menores que 1 cm *in vitro* e após o processo de aclimatização são direcionadas para o campo. Estudos para formação de sementes sintéticas de cana-de-açúcar estão sendo desenvolvidos e visam otimizar o sistema de plantio dessa cultura (PASSARIN et al., 2014). A redução no nível de reserva do minirrebolo para formação das mudas é uma alternativa para reduzir o consumo de matéria-prima durante o plantio e reaproveitar essa biomassa na geração de energia e produção de etanol e açúcar. Além disso, o corte no minirrebolo pode ser útil para criação de uma semente sintética de cana-de-açúcar no ambiente *ex vitro*.

O encapsulamento é uma técnica utilizada para formação de sementes sintéticas de propágulos de plantas em condições *in vitro*, que visa aumentar a viabilidade e resistência do propágulo as condições adversas do ambiente (HUNG; TRUEMAN, 2011). Atualmente, o alginato de sódio reticulado com cloreto de cálcio é mais utilizado para formação de sementes sintéticas e a concentração ideal destes produtos varia de acordo com a espécie em estudo. Apesar de ser uma tecnologia promissora na propagação de plantas, a sua utilização está limitada ao ambiente *in vitro*, a conservação a curto prazo e a criopreservação (SHARMA et al., 2013).

Assim, o estudo da redução no nível de reserva e encapsulamento de minirrebolos de cana-de-açúcar podem esclarecer processos para formação *ex vitro* de uma semente sintética de cana-de-açúcar, reduzir o tempo para produção de muda, aumentar a viabilidade das mudas levadas a campo e garantir maior sobrevivência. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar a redução no nível de reserva e

encapsulamento com diferentes concentrações de alginato de sódio no crescimento inicial de mudas de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do ensaio e origem do material vegetal

O trabalho foi desenvolvido na casa de vegetação do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (17° 48' 17.137" S 50° 54' 21.693" W), sendo implantado dois ensaios. O sistema de multiplicação de cana-de-açúcar foi adaptado de Landell et al. (2013). A cultivar CTC 04 foi utilizada por ser uma das mais plantadas no Brasil, está adaptada as condições de Goiás, mantém a produtividade ao longo dos cortes, tolerante a seca e com alto perfilhamento (BRAGA JUNIOR et al., 2017). A mesma foi fornecida pela usina São Martinho, localizada em Quirinópolis, Goiás.

Ensaio I: Redução no nível de reserva de minirrebolos de *Saccharum* sp. L.

Os diferentes tamanhos dos minirrebolos foram obtidos eliminando partes do volume utilizado por Landell et al. (2013), no lado lateral a gema (Figura 1b) e no lado oposto a gema (Figura 1c) com auxílio de podão e martelo; e entorno da gema (Figura 1d) com cortador circular. Como controle (Figura 1a) foi utilizado o minirrebolo de 3 cm. A massa seca restante do minirrebolo foi determinada em porcentagem de massa seca restante, de quatro minirrebolos por tratamento, em relação à massa seca do controle.

O controle químico com fungicida comercial Frowncide® 0,25 % foi realizado por 1 minuto, seguido do plantio em bandejas de isopor com substrato comercial Bioplant®. Estas foram mantidas em casa de vegetação, com 10 mm de irrigação diariamente, divididos em quatro turnos até estabilizar a emergência, que foi determinada após três dias do último minirrebolo emergido, sendo 29 dias após o plantio (DAP).

Para explicar o comportamento biológico da porcentagem de emergência em função dos dias após o plantio, utilizou-se modelos de regressão não linear com três parâmetros descrito pela seguinte equação:

$$Y = \frac{a}{1 + \exp - \left(\frac{X - X_0}{b}\right)}$$

Em que:

a= Ponto máximo da curva (Emergência 100%)

b= Parâmetro de ajuste

X_0 = Ponto em “x” em que a emergência atingiu 50%

Posteriormente foi feita a individualização das mudas para tubetes de 290 cm³ com poda para evitar perdas de água por evapotranspiração e estimular o crescimento de raízes. A aclimatização foi feita conforme sugerido por Landell et al. (2013).

Durante o período do experimento (08-dez-2015 a 04-fev-2016) a temperatura máxima média foi de 35,5 °C e teve a média mínima de 22,1 °C com umidade 78,8 %, sendo esses dados monitorados com termo-higrômetro (INCOTERM-7663).

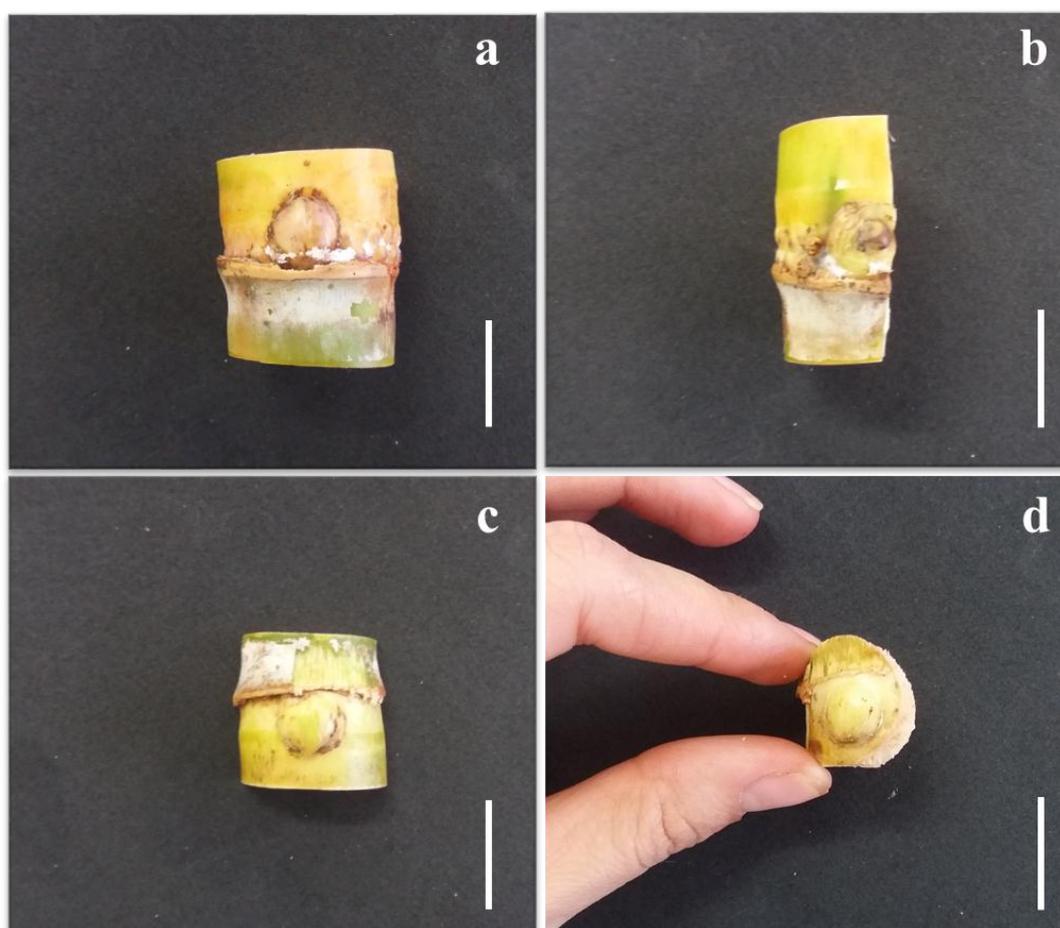


Figura 1: Cortes nos minirrebolos de *Saccharum* sp. L. Minirrebolo de 3 cm (Controle) (a); Corte lateral a gema (b); Corte oposto a gema (c) e Corte entorno da gema (d). Fonte: Janniffer Custódio da Silva. Dez./2015. Barras: 2 cm.

Durante o experimento foram avaliados a porcentagem de emergência e o índice de velocidade emergência (IVE), diariamente. O IVE foi calculado de acordo com a fórmula de Maguire (1962). Foram realizadas análises biométricas no momento do transplante para acompanhamento do crescimento inicial, as variáveis analisadas foram

o número de folhas, diâmetro do caule, comprimento da maior raiz, comprimento da parte aérea e comprimento da planta com auxílio de trena.

Ao final do cultivo as plantas foram coletadas e separadas do minirrebolo para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MStotal), que foi obtida pela soma da MSPA e MSR. Em seguida foram secas a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar até atingir massa constante.

Ensaio II: Encapsulamento de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*

Minirrebolos de 3 cm foram imersos em concentrações de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 g L⁻¹ de solução de alginato de sódio, seguido de reticulação com 300 mM (definido em testes anteriores) de cloreto de cálcio por 5 minutos sob agitação a 90 rpm e enxaguados por 3 vezes em água (HUNG; TRUEMAN, 2011) (Figura 2). Posteriormente foram plantados em bandejas de isopor e mantidos em casa de vegetação nas mesmas condições do Ensaio I.

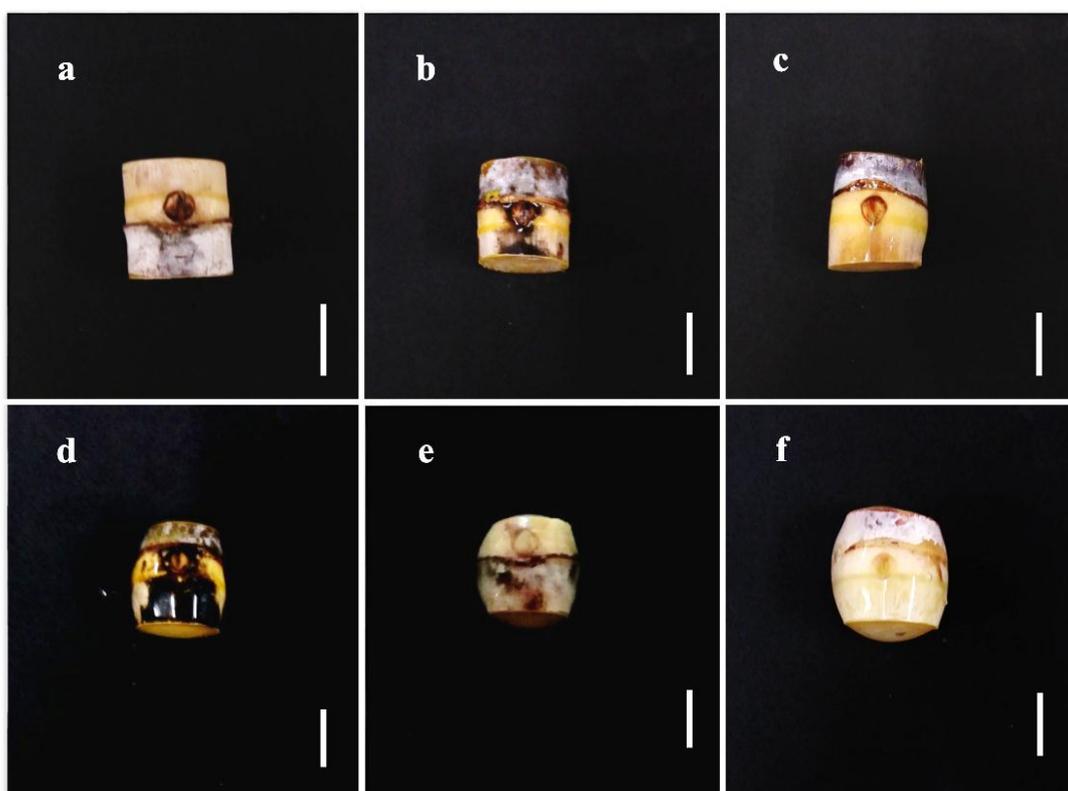


Figura 2: Aspecto dos minirrebolos de *Saccharum sp. L.* encapsulados com diferentes concentrações de alginato de sódio e reticulados com cloreto de cálcio 300 mM. Zero (a); 10 g L⁻¹ (b); 20 g L⁻¹ (c); 30 g L⁻¹ (d); 40 g L⁻¹ (e) e 50 g L⁻¹ (f). Fonte: Janniffer Custódio da Silva. Set./2016. Barras: 2 cm.

Após a estabilização da emergência, 31 DAP, os minirrebolos que produziram mudas viáveis, derivados das concentrações 0, 10 e 20 g L⁻¹, que tiveram emergência maior que 70 %, foram transplantados e aclimatizados, conforme supracitado. Os minirrebolos que não emergiram nas concentrações 30, 40 e 50 g L⁻¹ foram submetidos ao teste de viabilidade.

Durante o período do experimento (15-set-2016 a 13-nov-2016) a temperatura máxima média foi de 38,6 °C e teve a média mínima de 18,0 °C com umidade 59,7 %, sendo esses dados monitorados com termo-higrômetro (INCOTERM-7663).

Ensaio II.I: Viabilidade dos minirrebolos encapsulados com as concentrações 30, 40 e 50 g L⁻¹ de alginato de sódio.

Por não apresentarem capacidade de crescimento quando encapsulados os minirrebolos derivados das concentrações 30, 40 e 50 g L⁻¹ de alginato de sódio que não emergiram foram submetidos a retirada manual da cápsula, replantados em bandejas de isopor e mantidos nas mesmas condições do ensaio I.

Além das avaliações realizadas no ensaio I, para o ensaio II e II.I também foi realizada análise de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total com clorofilômetro (ClorofiLOG – Falker CFL 1030).

Durante o período do experimento (15-set-2016 a 18-jan-2017) a média da temperatura máxima foi de 38,9 °C e teve a média mínima de 19,5 °C com umidade 68,0 %, sendo esses dados monitorados com termo-higrômetro (INCOTERM-7663).

Ensaio II.II: Avaliações das cápsulas utilizadas para realizar o encapsulamento nos minirrebolos de *Saccharum* sp. L.

Paralelamente ao ensaio II os filmes produzidos pelas diferentes concentrações de alginato de sódio foram avaliados quanto a sua capacidade de aderir ao minirrebolo, com aferição da massa seca do filme. Para isto, foram mantidos em temperatura ambiente por 16 horas para secagem inicial, posteriormente com auxílio de pinça e bisturi o filme aderido foi retirado e seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante.

Para caracterização dos filmes, foi feita análise de umidade, índice de intumescimento, biodegradabilidade em substrato e solubilidade em água. Para tanto 10 mL das soluções de alginato de sódio foram depositados em placas de Petri de poliestileno com auxílio de uma seringa, e em seguida reticuladas com 10 mL de uma solução de cloreto de cálcio a 300 mM, mantidos sob agitação de 90 rpm e enxaguados

três vezes em água destilada. Após a formação dos filmes, os mesmos foram para estufa a 35 °C por 16 horas e mantidas em dessecador por 72 horas (Figura 3).

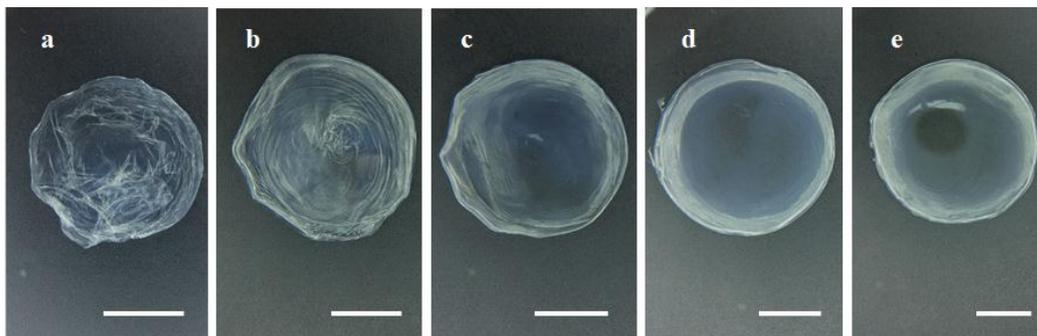


Figura 3: Aspecto dos filmes de alginato de sódio reticulados com cloreto de cálcio 300 mM. 10 g L⁻¹ (a); 20 g L⁻¹ (b); 30 g L⁻¹ (c); 40 g L⁻¹ (d) e 50 g L⁻¹ (e). Fonte: Janniffer Custódio da Silva. Set./2016. Barras: 3 cm.

A determinação da umidade do biofilme foi realizada em amostras circulares de filme de 4 cm² por tratamento, previamente pesadas e inseridas em estufa a 105 °C por 24 horas (RHIM et al., 2002).

O índice de intumescimento foi realizado a partir de adaptações na metodologia proposta por Almeida et al. (2013). Amostras circulares de 2,7 cm² dos filmes foi retirada, posteriormente secas em estufa a 65 °C até massa constante. Em seguida as amostras foram imersas em erlenmeyer contendo 50 mL de água destilada por 40 minutos. Após este período, as amostras foram removidas utilizando pinças e depositados entre papel filtro por 1 minuto para absorção do excesso de água. Os filmes hidratados foram repesados. O índice de intumescimento (*I_i*) foi calculado de acordo com a equação:

$$I_i = (mf - mi) / mf \times 100$$

Em que, *mf* é a massa final do filme hidratado e *mi* a massa inicial do filme seco.

A avaliação da biodegradabilidade dos filmes seguiu a metodologia proposta por Martucci; Ruseckaite (2009) com adaptações. Os filmes foram cortados em círculos com área de 4 cm², desidratados em estufa a 65 °C até massa constante (*mi*) e acondicionados em compressa de gaze com 9 fios por cm², em seguida as amostras de filmes em gaze foram colocadas a profundidade de 2 cm em vasos com substrato Bioplant[®], que serviu como meio de degradação, mantidos em casa de vegetação, nas mesmas condições dos ensaios anteriores, por 15 dias. Ao final desse período as malhas contendo filme foram retiradas das caixas com auxílio de uma pinça e lavadas com água corrente. Em seguida, as amostras foram submetidas a secagem em estufa a 65 °C até

massa constante. O percentual de biodegradabilidade dos filmes foi determinado pela equação:

$$WL (\%) = (mf - mi) / mi \times 100$$

Em que mi é a massa inicial da amostra seca de filme e mf é a massa seca remanescente ao final dos 15 dias de biodegradação.

A determinação da solubilidade foi realizada de acordo com adaptações da técnica utilizada por Almeida et al. (2013). Para tanto, a massa inicial de uma amostra circular de 2,7 cm² dos filmes foi aferido em balança analítica, após secagem em estufa a 65 °C até massa constante. A amostra pesada e seca (mi), foi inserida em erlenmeyers com 50 mL de água sob agitação magnética a 130 rpm e temperatura ambiente por 24 horas. A suspensão obtida foi filtrada e o resíduo colocado em estufa a 105 °C por 24 horas para obtenção da massa final (mf). A solubilidade do filme foi expressa em percentagem de massa solubilizada em relação a massa seca.

Análises estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso. No ensaio I, testou-se quatro cortes no minirrebolo com seis repetições de 15 plantas cada. No ensaio II, foram testadas seis concentrações de alginato de sódio com seis repetições de 10 plantas cada. E no ensaio II.II foram testadas cinco concentrações de alginato de sódio com quatro repetições.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Quando normais e qualitativos a análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % probabilidade pelo programa Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011). Quando quantitativos foi realizada análise de regressão com software SigmaPlot 11.0. Dados da massa seca do minirrebolo, índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência foram submetidos a análise de correlação de Pearson pelo software SigmaPlot 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio I: Redução no nível de reserva de minirrebolos de *Saccharum* sp. L.

A porcentagem de emergência e o índice de velocidade de emergência não são afetados pela redução de até 36 % na massa do minirrebolo (cortes lateral e oposto a gema), contudo, a redução de mais de 50 % no nível de reserva (corte entorno da gema) reduz essas variáveis. O minirrebolo de 3 cm (87,77 %, 1,56) não diferiu dos cortes

oposto (82,22 %, 1,43) e lateral (82,22 %, 1,44) a gema para porcentagem de emergência e IVE, respectivamente. O corte entorno da gema teve menor porcentagem de emergência (47,78 %) e IVE (0,67) demonstrando que este corte não foi indicado para produção de mudas, perdendo a qualidade fisiológica de crescimento (Tabela 1).

Tabela. 1: Porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE), média de massa seca e porcentagem de massa retirada dos diferentes cortes no minirrebolo de mudas *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, submetidas a redução no nível de reserva.

Cortes	Porcentagem de Emergência*	IVE*
Minirrebolo 3 cm	87,78±3,18 a	1,56±0,06a
Corte lateral a gema	82,22±5,88a	1,43±0,11a
Corte oposto a gema	82,22±5,62a	1,44±0,12a
Corte entorno da gema	47,78±5,28b	0,67±0,12b

Cortes	Massa seca (g)*	Porcentagem de massa retirada
Minirrebolo 3 cm	5,05±0,49a	0,00±9,75a
Corte lateral a gema	3,69±0,11a	26,94±2,16b
Corte oposto a gema	3,23±0,15a	36,01±3,05bc
Corte entorno da gema	2,37±0,08b	52,97±1,62c

*Médias ± erro padrão seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A massa seca do minirrebolo de 3 cm não diferiu do corte lateral e oposto a gema com média de 3,99 gramas (Tabela 1). Contudo, a massa seca do minirrebolo foi correlacionada com a porcentagem de emergência ($r = 0,681$, $p < 0,01$) e índice de velocidade de emergência ($r = 0,749$, $p < 0,01$). Essa correlação pode ser explicada pela importância das reservas para o crescimento inicial das plantas, minirrebolos com maior nível de reserva leva maior porcentagem de emergência e IVE.

O IVE mede a emergência média diária das plantas em função dos dias após plantio, sendo uma variável importante para a produção de mudas, identificando os tratamentos que têm a capacidade de romper a barreira do substrato mais rapidamente e iniciar a fotossíntese. Além disso, a menor velocidade de brotação pode originar plantas com tamanho reduzido e com menor chance de competição por nutrientes (PANDITA et al., 2014).

No presente trabalho, os cortes lateral e oposto a gema não diferiram do controle representado pelo minirrebolo de 3 cm e apresentaram as maiores médias para as

variáveis de porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência. Estudos dos efeitos da inoculação de microrganismos diazotróficos em minirrebolos de cana-de-açúcar com diferentes níveis de reserva demonstraram que maior IVE foi obtido em minirrebolos com massa de 4,5 gramas (GÍRIO et al., 2015). Estes dados corroboram com o presente trabalho e demonstram a importância da reserva no crescimento inicial das mudas de cana.

Minirrebolos de cana-de-açúcar iniciam sua emergência com temperatura e umidade adequadas, tendo como principal fonte de nutrientes suas reservas. A escolha de plantas bem nutridas para o plantio pode garantir maior crescimento inicial das plantas e sucesso produtivo. A utilização de propágulos menores é vantajosa para indústria canavieira, reduzindo o consumo de matéria-prima para o plantio e redireciona para produção de açúcar e álcool. Contudo, a reserva orgânica tem importância no crescimento inicial e no ciclo de cana-planta, em que o nitrogênio do propágulo é fonte principal deste nutriente, para crescimento de mudas derivadas de gemas individualizadas (CARNEIRO, et al., 1995). Sabendo que o corte e o tamanho dos minirrebolos são fundamentais para produção de mudas, ressalta-se a importância de se ter atenção e padronização durante os cortes e seleção dos minirrebolos para produção de mudas em larga escala.

Para o uso de gemas individualizadas para propagação de cana-de-açúcar definiu como viáveis propágulos contendo uma gema e reservas do entrenó com 3 cm de comprimento para produção de mudas pré-brotadas. Para extração, os colmos são colhidos no campo com equipamento apropriado, corta-se os fragmentos, denominados minirrebolos. Contudo, a maior redução no nível de reserva é interessante para formação de semente sintética, que utiliza propágulos menores que 1 cm na micropropagação (SHARMA et al., 2013). Esse processo de redução de reserva em minirrebolos de cana-de-açúcar também pode gerar subprodutos que poderão ser utilizados no setor sucroalcooleiro, e possibilitar o uso de equipamentos com tamanho reduzido na coleta de propágulos viáveis para produção de mudas.

Vinte e nove dias após o plantio o minirrebolo teve a maior emergência acumulada (85,95%) e o corte entorno da gema teve a menor (46,76%). Pode-se observar que no minirrebolo, o corte lateral e oposto a gema leva em média 8 dias para que 50% das gemas tenham emergido e o corte entorno da gema gasta 10 dias. O maior período utilizado para verificar a emergência foi por causa da redução no volume original do minirrebolo, contudo, as gemas viáveis emergem até o décimo quinto dia

após o plantio. A emergência após esse período, é mínima, do total emergido, apenas 3,37% ocorreu após o décimo quinto dia, mesmo com redução no nível de reserva (Figura 4).

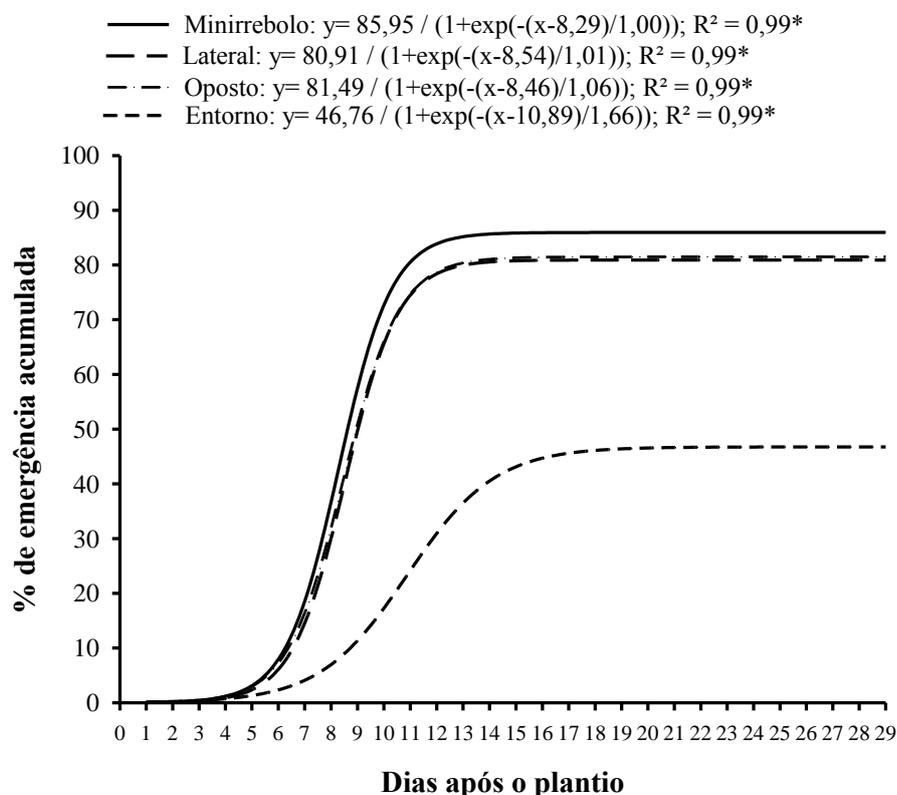


Figura 4: Porcentagem de emergência acumulada após o plantio de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, submetidos a redução no nível de reserva.

Condições ideais de temperatura e umidade iniciam processos bioquímicos que propiciam a divisão, diferenciação e crescimento celular, que é favorecido pela maior disponibilidade de reservas nutricionais e levam ao crescimento da planta. Para mudas de cana-de-açúcar a temperatura média ideal para a emergência é de 32 °C e umidade de 85 % (XAVIER et al., 2014). Quanto mais rápida for a emergência de brotos maior será sua capacidade de absorver energia luminosa para manter seu crescimento.

O minirrebolo de 3 cm obteve as maiores médias para as variáveis biométricas analisadas aos 29 dias após o plantio e se diferenciou do corte entorno da gema que teve as menores médias (Tabela 2). Embora, os cortes no minirrebolo não tenham afetado o comprimento da maior raiz, reduziu a MSR 57 dias após o plantio. Os cortes oposto e entorno da gema não diferiram entre si e acumularam em média 0,28 gramas de massa seca nas raízes, também tiveram as menores médias para MSPA (0,52) e MStotal (0,81). As maiores médias para a MSPA (1,43), MSR (1,22) e MStotal (1,67) foram obtidas no

minirrebolo de 3 cm (Tabela 3). Assim, a redução do nível de reserva, reduz o acúmulo de massa seca nas mudas, indicando que as reservas internas do minirrebolo são essenciais para crescimento inicial de mudas de cana-de-açúcar.

Tabela. 2: Valores médios do Número de folhas, Diâmetro de caule (DC), Comprimento da maior raiz (CMR), Comprimento da parte aérea (CPA) e Comprimento da planta (CP) de mudas de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, submetidas a redução no nível de reserva, 29 dias após o plantio.

Cortes	Nº de folhas*	DC (mm)*	CMR (cm)*	CPA (cm)*	CP (cm)*
Minirrebolo 3 cm	5,76±0,14a	9,62±0,37a	27,46±2,33a	40,02±1,44a	66,38±1,72a
Corte lateral a gema	5,00±0,29ab	8,39±0,27b	27,42±1,81a	32,00±1,45b	58,95±1,73a
Corte oposto a gema	5,52±0,21a	8,82±0,19ab	27,76±1,60a	35,03±1,72ab	61,92±2,57a
Corte entorno da gema	4,50±0,30b	6,47±0,10c	19,52±2,82a	23,86±1,30c	42,04±2,57b

*Médias ± erro padrão seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A produção de massa seca de parte aérea, raiz e total também foram influenciadas quando o nível de reserva dos minirrebolos foi reduzido para 1,5 e 3,0 gramas de massa seca. As maiores médias para essas variáveis foram obtidas com minirrebolos de 4,5 gramas de massa seca, exceto para MSR em que gemas de 1,5 e 3,0 gramas não diferiram entre si (GÍRIO, et al., 2015). Um ensaio utilizando gemas individualizadas com diferentes comprimentos de reserva, evidenciou que aquelas que continham 16 cm de reserva entorno da gema apresentaram as melhores médias para a MSR, em detrimento de gemas com 0, 4, 8 e 12 cm de reservas. Houve também aumento linear da MSPA quando foram utilizadas gemas maiores (CIVIEIRO et al., 2014). Estes resultados demonstram a importância das reservas para o acúmulo de massa seca e crescimento inicial de plantas de cana-de-açúcar.

Tabela. 3: Massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MStotal) de mudas de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, submetidas a redução nos níveis de reserva, 57 dias após o plantio.

Cortes	MSPA (g)*	MSR (g) *	MStotal (g) *
Minirrebolo 3 cm	0,89±0,11a	0,49±0,04a	1,38±0,14a
Corte lateral a gema	0,63±0,06ab	0,39±0,05ab	1,02±0,10ab
Corte oposto a gema	0,57±0,05b	0,33±0,02b	0,90±0,05b
Corte entorno da gema	0,48±0,08b	0,25±0,05b	0,72±0,12b

*Médias ± erro padrão seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Pesquisas relacionadas a mobilização e uso de reservas do minirrebolo de plantio para o broto são escassas e desatualizadas. Um estudo avaliou a mobilização de açúcares do minirrebolo para o broto por 21 dias e verificou que a sacarose é o principal substrato utilizado durante o estabelecimento do broto, de 7 a 14 dias, sendo quebrado em hexoses e mobilizado para formação da planta. A partir do estabelecimento do broto o acúmulo de sacarose no broto ocorre devido a fotossíntese (VERMA et al., 2013)

Uma pesquisa demonstrou que a reserva orgânica e de nitrogênio do minirrebolo foi fundamental para o crescimento inicial de mudas de cana. No período entre 50 e 60 dias após o plantio ocorre as maiores taxas de exportação de nitrogênio do minirrebolo para o broto, sendo as reservas orgânicas intensamente degradadas entre 60 e 70 dias após o plantio (CARNEIRO et al., 1995). Assim sendo, é possível afirmar que a redução no nível de reserva afeta a porcentagem de emergência, o índice de velocidade de emergência e o crescimento inicial de mudas de cana-de-açúcar, cultivar CTC 4.

Ensaio II: Encapsulamento de minirrebolos de *Saccharum sp. L.*

Houve um efeito linear negativo das concentrações de alginato de sódio sobre a porcentagem de emergência e o índice de velocidade de emergência de minirrebolos de cana-de-açúcar. Estes resultados sugerem que as cápsulas de alginato de sódio promovem redução no crescimento inicial das plantas, pois funciona como barreira para emergência e não é viável para produção de mudas de cana-de-açúcar (Figura 5). O encapsulamento é uma técnica de micropropagação muito utilizada para formação de sementes sintéticas e também pode ser utilizada para conservação de propágulos vegetais (RAI et al., 2009). Contudo, a aplicação desta técnica em campo ainda é pouco explorada. Este é o primeiro relato de encapsulamento de minirrebolos de cana-de-açúcar com alginato de sódio no ambiente *ex vitro*.

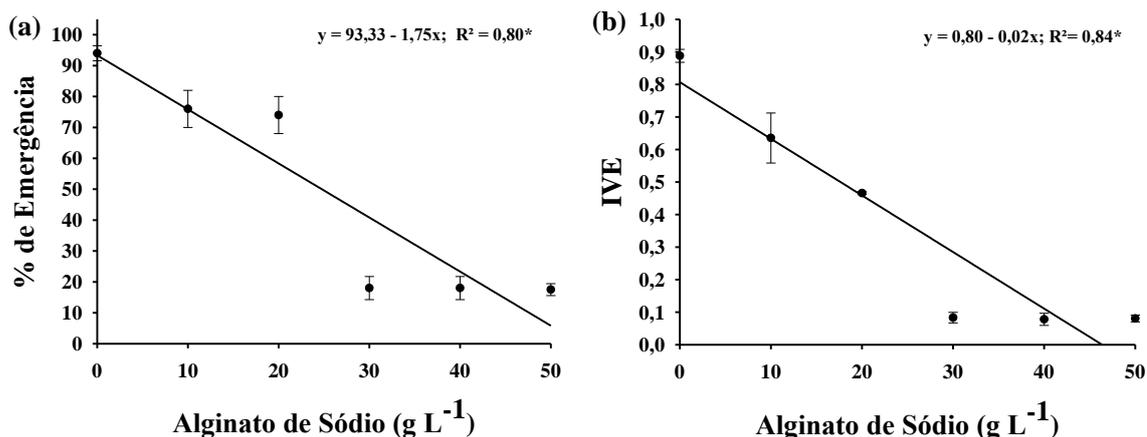


Figura 5: Porcentagem de emergência (a) e Índice de velocidade de emergência (IVE) (b) de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, encapsuladas com diferentes concentrações de alginato de sódio.

A emergência das concentrações zero e 10 g L⁻¹ iniciou com oito dias e estabilizou com dezesseis dias após o plantio. Os minirrebolos encapsulados com a concentração de 50 g L⁻¹ de alginato começaram a emergir com dezesseis dias e estabilizou a emergência com trinta um dias, após o plantio (Figura 6). O alginato de sódio atuou como barreira física e reduziu, a emergência das mudas de cana-de-açúcar.

O efeito das concentrações de alginato sobre a emergência de sementes sintéticas de *Rauvolfia serpentina* L. Benth. micropropagadas também foi relatado e está associado a rigidez que altas concentrações de alginato de sódio proporcionam as sementes sintéticas (GANTAIT et al., 2017). A cápsula formada pelo alginato de sódio nas concentrações 30,40 e 50 g L⁻¹ complexado com cloreto de cálcio pode ter tido o efeito de tegumento impedindo a absorção de água pelo minirrebolo e proporcionando resistência mecânica ao crescimento das raízes e broto (MÜLLER et al., 2017).

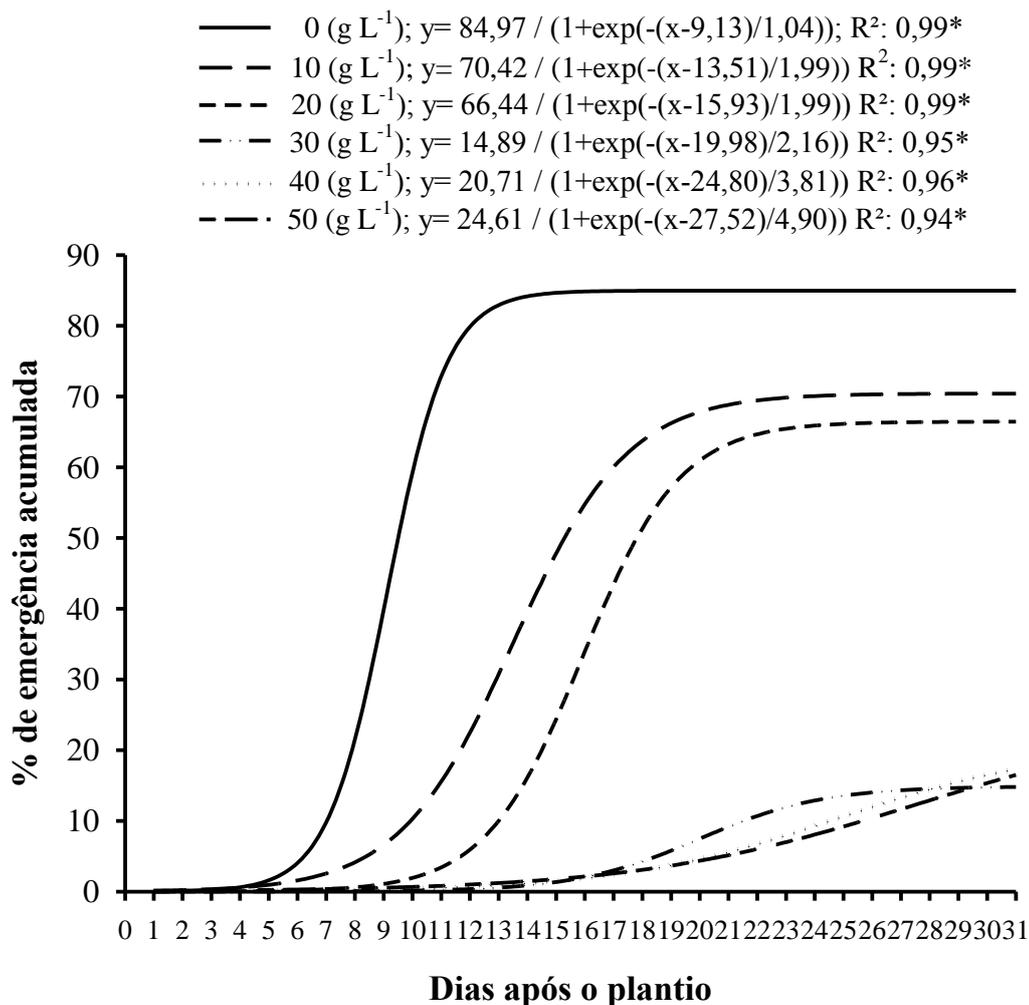


Figura 6: Porcentagem de emergência acumulada após o plantio de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, encapsulados com diferentes concentrações de alginato de sódio.

Para análise biométrica houve comportamento linear negativo das concentrações de alginato de sódio sobre o número de folhas, diâmetro do caule, comprimento da planta e comprimento da parte aérea (Figura 7). Para o comprimento da maior raiz o comportamento foi quadrático, indicando que as raízes que brotaram da concentração de 50 g L⁻¹ tenderam a crescer mais como forma de captar mais nutrientes.

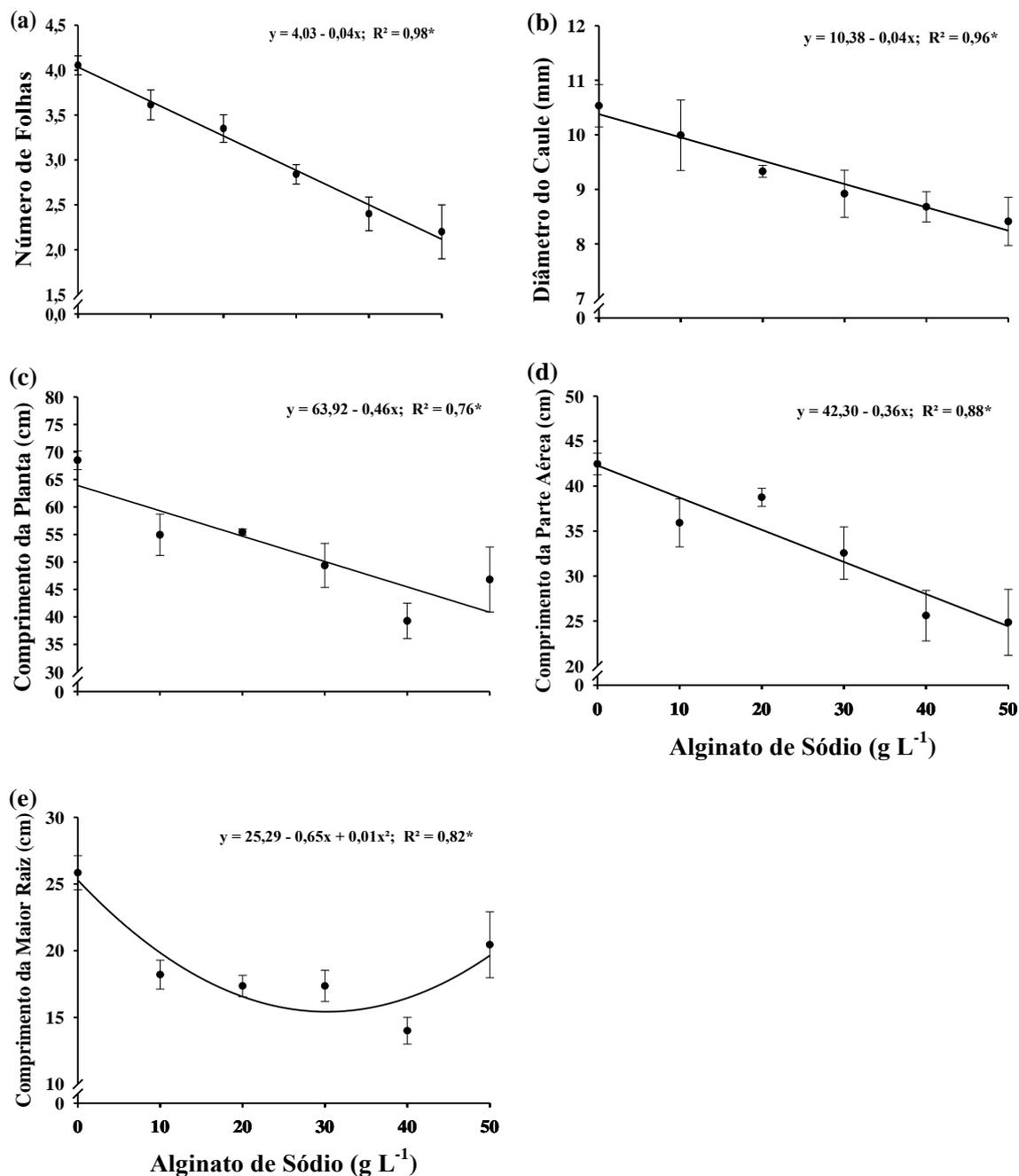


Figura 7: Análise de regressão para Número de folhas (a), Diâmetro de caule (b), Comprimento da planta (c), Comprimento da parte aérea (d) e Comprimento da maior raiz (e) de mudas de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, encapsuladas com diferentes concentrações de alginato de sódio, 31 dias após o plantio.

As plantas de cana-de-açúcar encapsuladas com 30, 40 e 50 g L⁻¹ de alginato de sódio e emergidas não tiveram qualidade fisiológica para produção de mudas e não houve diferença para a MSPA, MSR e MStotal com 0,34; 0,10; 0,44 gramas, respectivamente, avaliados 31 dias após a emergência. Ao final de 59 dias de plantio as concentrações 0, 10 e 20 g L⁻¹ não diferiram entre si para as variáveis de clorofila *a*

(27,21), clorofila *b* (4,85), clorofila total (32,07), massa seca de parte aérea (1,17), massa seca de raiz (0,62) e massa seca total (1,80). Nas concentrações de 0, 10 e 20 g L⁻¹, independentemente do uso de alginato de sódio o crescimento foi o mesmo.

A conversão de sementes sintéticas em plantas *in vitro* é influenciada pela composição da solução de alginato de sódio e também pela formulação do meio de semeadura que podem ser adicionados nutrientes, reguladores de crescimento e agentes protetores (FARIA et al., 2014; VERMA et al., 2010). Outro fator fundamental para conversão de sementes sintéticas em plantas é o uso de diferentes concentrações de alginato de sódio.

Em condições *in vitro* o declínio na conversão de sementes sintéticas em plantas é atribuído a concentrações extremas de alginato de sódio e cloreto de cálcio. O uso atual para diversas espécies é de 30 g L⁻¹ de alginato de sódio e 75 mM de cloreto de cálcio (GANTAIT et al., 2017; ALATAR et al., 2017). Por ser uma barreira física a cápsula obtida com maiores concentrações de alginato de sódio acarreta em um obstáculo para as raízes brotarem, embora o alginato de sódio exerça proteção sobre o propágulo a cápsula também impede o crescimento dos mesmos (LAMBARDI et al., 2006).

A semeadura direta de sementes sintéticas e a sua formação em condições não assépticas é importante para propagação de espécies comerciais amplamente cultivadas. Esta técnica reduz o processo de aclimatização necessário para culturas *in vitro*, possibilita o manuseio e transporte de propágulos. Contudo, os estudos para formação de sementes sintéticas não estéreis e sua semeadura direta precisam ser adequados a cada espécie. Para o sucesso das sementes sintéticas em larga escala a semeadura deve ser feita em condições não assépticas, que reduz processos de aclimatização, e os compostos orgânicos devem ser retirados tanto da matriz de encapsulamento como da fertirrigação do substrato para evitar contaminações (HUNG; DUNG, 2015).

O uso de sementes sintéticas para propagação comercial de espécies vegetais é pouco usado. O trabalho de Nyende et al., (2005) discute que o pré-cultivo de sementes sintéticas de batata *in vitro* é necessário para o sucesso em campo, pois a semeadura direta em campo obteve menos de 18 % de emergência. O uso de sementes sintéticas de cana-de-açúcar, pré-cultivadas, em campo comparadas com propágulos contendo três gemas e gemas individuais pré-brotadas, verificou que não houve diferença ao final de doze meses de cultivo com relação ao rendimento de açúcar (NIEVES et al., 2003). Estes resultados demonstram que o pré-cultivo é uma alternativa para produção de

mudas com bom desempenho em campo e que as soluções nutritivas adicionadas ao meio de cultivo estimulam o crescimento inicial da planta.

Ensaio II.I: Viabilidade dos minirrebolos encapsulados com as concentrações 30, 40 e 50 g L⁻¹ de alginato de sódio.

A viabilidade, avaliada após a retirada da cápsula e replantio dos minirrebolos não emergidos das concentrações 30, 40 e 50 g L⁻¹, demonstrou que não houve diferença entre estas concentrações para porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência com valores médios de 59,71 % e 0,55, respectivamente. As plantas emergidas com cápsula tiveram porcentagem de emergência de 17,83 e IVE de 0,08 (Figura 8). Isso demonstra que a cápsula preserva a capacidade de crescimento das plantas após ser retirada.

Para as variáveis biométricas analisadas não houve diferença entre as concentrações 30, 40 e 50 g L⁻¹ com média de 1,94 folhas, 4,74 mm de diâmetro do caule, 12,65 cm de comprimento da maior raiz, 27,15 cm de comprimento da parte aérea e 39,00 cm de comprimento da planta. Estas concentrações também não influenciaram nas variáveis de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz e massa seca total com valores médios de 24,99; 4,17; 29,03; 0,72; 0,54 e 1,25, respectivamente.

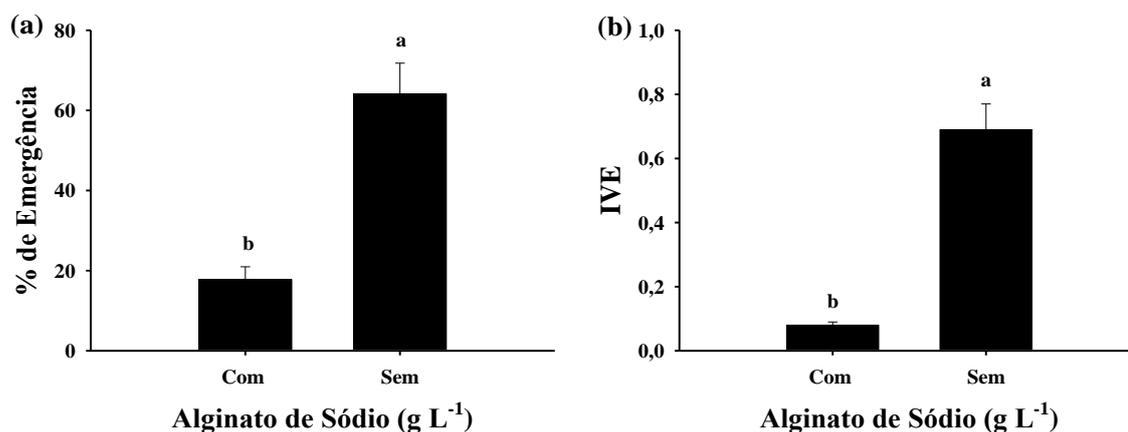


Figura 8: Porcentagem de emergência (% de emergência) e índice de velocidade de emergência (IVE) de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4 com cápsula e após a retirada da cápsula (sem cápsula). Letras diferentes acima das colunas indicam diferenças pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Tendo em vista que o plantio de propágulos de cana-de-açúcar após o corte em campo deve ser imediato para evitar a deterioração do material (JAIN et al., 2010), o encapsulamento possibilitou uma taxa considerável de emergência, após a retirada da cápsula e replantio. Isto demonstra que o encapsulamento também é viável para o armazenamento a curto prazo de cana-de-açúcar (JAVED et al., 2017), pois mesmo em condições da casa de vegetação ele preservou 59% dos minirrebolos, após 59 dias enterrados em substrato. O encapsulamento com alginato de sódio reduz atividade de microrganismos nos propágulos, a respiração e transpiração do material vegetal e por isso, pode ser usado para conservação, e pode possibilitar processos logísticos para troca de germoplasma de cana-de-açúcar (MANNOZZI et al., 2016).

Ensaio II.II: Avaliações das cápsulas utilizadas para realizar o encapsulamento nos minirrebolos de *Saccharum sp. L.*

As variáveis MSFAM e Índice de Intumescimento tiveram comportamento linear crescente entre as concentrações de alginato de sódio. A cápsula formada com 10 g L⁻¹ de alginato de sódio teve a menor (0,034 g) massa seca de filme aderido ao minirrebolo e com 50 g L⁻¹ obteve-se a maior (0,656 g) massa seca de filme aderido ao minirrebolo. O aumento na massa seca de filme aderido ao minirrebolo demonstra sua atuação como barreira mecânica para o crescimento de raízes (Figura 9).

O índice de intumescimento foi menor para a concentração de 10 e 20 g L⁻¹ e maior para a concentração de 50 g L⁻¹ e é importante para avaliar a capacidade de absorção de água pelo filme. O maior índice de intumescimento em filmes com maiores concentrações de alginato pode ser devido ao processo de reticulação ser menos intenso em concentrações elevadas levando ao maior número de moléculas disponíveis a interagir com a água (ALMEIDA et al., 2013). O processo de reticulação é muito importante para a formação de sementes sintéticas, concentrações abaixo de 3 % alginato de sódio em contato com cloreto de cálcio não são viáveis para as sementes sintéticas, permitindo que o cloreto se difunda pela cápsula e seja tóxico ao propágulo, além de não proporcionar a forma esférica as sementes sintéticas (JAVED et al., 2017).

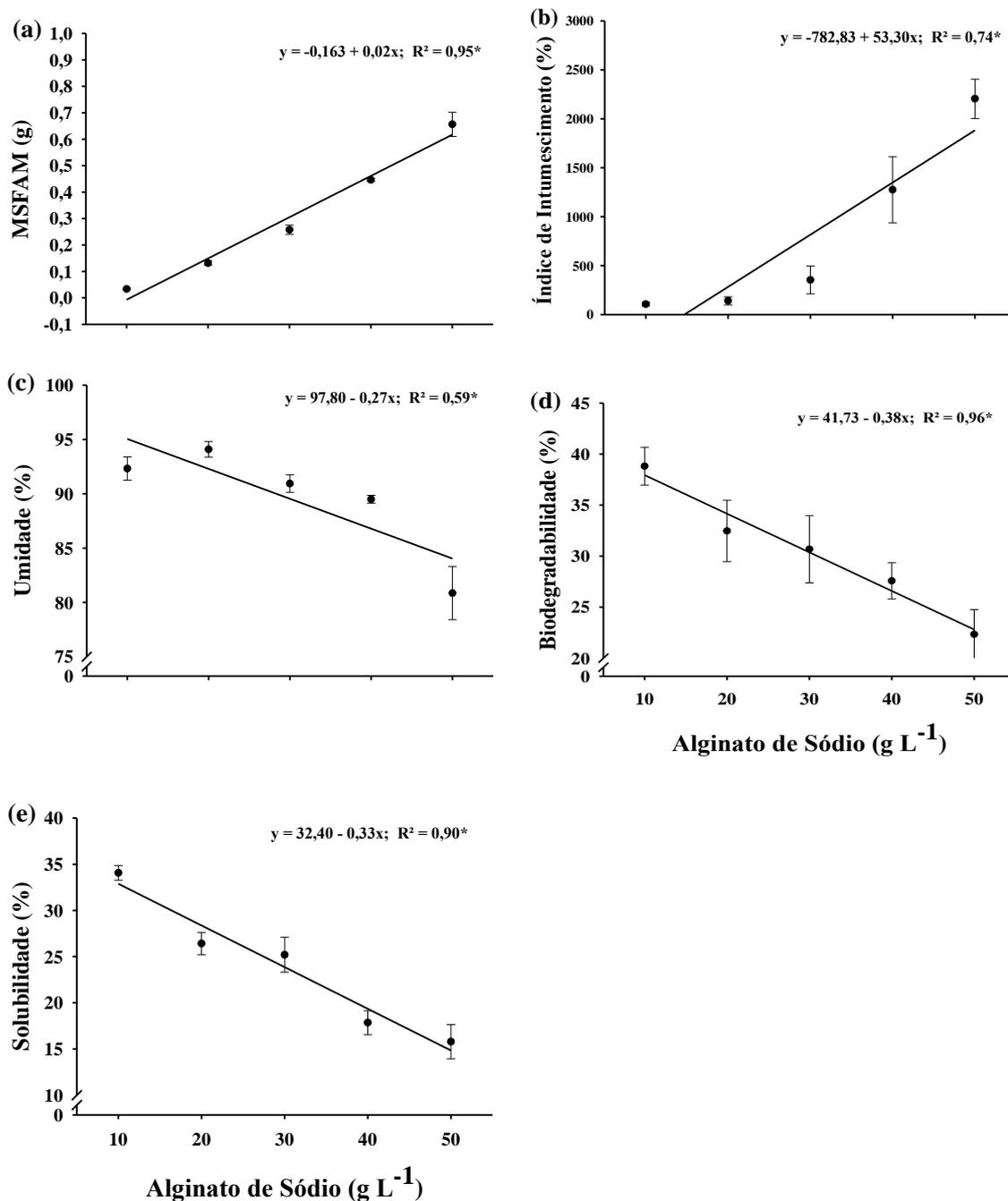


Figura 9: Análise da massa seca do filme aderido ao minirrebolo (MSFAM, a), índice de intumescimento (b), umidade (c), biodegradabilidade (d) e solubilidade (e) dos filmes com diferentes concentrações de alginato de sódio utilizados para encapsulamento de minirrebolos de *Saccharum* sp. L.

Para as variáveis umidade, biodegradabilidade e solubilidade o comportamento foi linear decrescente. A umidade reduziu com aumento da concentração de alginato e as concentrações de 10 e 20 g L⁻¹ tiveram em média 93,21 % de umidade, a concentração de 50 g L⁻¹ teve a menor umidade 80,86 %. Isso ocorre, pois, a maior

concentração de moléculas de alginato reduz o conteúdo de água disponível (JARAMILLO et al., 2015). A umidade é fator essencial para o crescimento de plantas, pois viabiliza a expansão celular e conseqüentemente o crescimento da planta.

A biodegradabilidade foi maior para as concentrações 10 e 20 g L⁻¹ e menor para a concentração de 50 g L⁻¹. O processo de biodegradação é influenciado pela interação do biofilme de alginato de sódio com a água, pelo tamanho e a forma do filme (LAYCOCK et al., 2017). Devido a maior concentração de alginato de sódio surge forte interação entre as moléculas e a biodegradabilidade é reduzida (EMADIAN et al., 2017; DEEPA et al., 2016).

A solubilidade média entre as diferentes concentrações de alginato de sódio foi de 22,61 %. Este parâmetro é importante, pois influencia na biodegradabilidade dos filmes e está diretamente ligado com a capacidade do filme em interagir com a água. A baixa solubilidade de filmes de alginato de sódio está relacionada a reticulação com cloreto de cálcio, assim esses filmes apresentam baixa solubilidade em água quando comparado com filmes de hidroxipropilmetilcelulose (ROTTA et al., 2009). O filme ideal para formação de sementes sintéticas deve apresentar alta solubilidade em água o que permite a biodegradabilidade dos mesmos e conseqüente crescimento da planta.

Por ser um trabalho pioneiro este estudo prediz que a formação de sementes sintéticas com diferentes concentrações de alginato não é viável, contudo o estudo de novos agentes encapsulantes e técnicas para formação de uma semente sintética de cana-de-açúcar é interessante, como método inovador de plantio que pode trazer benefícios a indústria canavieira, visto que existem diversos produtos para encapsulamento e conseqüente formação de sementes sintéticas. Além disso, o uso de alginato para revestimento de minirrebolos pode ser uma alternativa para conservação a curto prazo, viabilidade de processos logísticos e posterior plantio dos propágulos.

CONCLUSÃO

O minirrebolo de 3 cm apresentou a melhor viabilidade para produção de mudas juntamente com a concentração zero de alginato de sódio. A não viabilidade do encapsulamento para formação de sementes sintéticas de cana-de-açúcar pode ser devido a características das cápsulas formadas por alginato de sódio. Novos estudos que avaliem cápsulas com alto índice de intumescimento, umidade, biodegradabilidade e solubilidade devem ser realizados. Estas cápsulas também devem ser estudadas para viabilizar armazenamento a curto prazo e processos logísticos com cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALATAR, A. A., AHMAD, N., JAVED, S. B., ABDEL-SALAM, E. M., BASAHI, R., FAISAL, M. Two-way germination system of encapsulated clonal propagules of *Vitex trifolia* L.: an important medicinal plant. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 92, n. 2, p. 175-182, 2017.
- ALMEIDA, D. M., WOICIECHOWSKI, A. L., WOSIACKI, G., PRESTES, R. A., PINHEIRO, L.A. Propriedades físicas, químicas e de barreira em filmes formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 23, n. 4, p. 538-546, 2013.
- BRAGA JUNIOR, R.L. C., LANDELL, M. G. A., SILVA, D. N., BIDÓIA, M. A P., SILVA, T. N., THOMAZINHO JÚNIOR, J. R., SILVA, V. H. P. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil – Safra 2016/17**. Campinas: **Instituto Agrônômico (IAC)**, 2017.
- CARNEIRO, A. E. V., TRIVELIN, P. C. O., VICTORIA, R. L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 2, p. 199-209, 1995
- CIVIERO, J. C., DAROS, E., MELO, L. J., WEBER, H., MÓGOR, Á. F., FIGUEIREDO, G. G. Aplicação de substância húmica e do aminoácido L-glutâmico em diferentes comprimentos da reserva nutricional de tolete de uma gema de cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 340-347, 2014.
- DEEPA, B., ABRAHAM, E., POTHAN, L. A., CORDEIRO, N., FARIA, M., & THOMAS, S. Biodegradable nanocomposite films based on sodium alginate and cellulose nanofibrils. **Materials**, v. 9, n.1, p. 50, 2016.
- EMADIAN, S. M., ONAY, T. T., DEMIREL, B. Biodegradation of bioplastics in natural environments. **Waste Management**, v. 59, p. 526-536, 2017.
- FARIA, R. A. N., COSTA, A. M., LONDE, L. N., SILVA, J. F., RIBEIRO, E. B. Influence of the composition of encapsulation matrix of microshoots of banana (*Musa* sp.) cv. Prata-Anã Gorutuba clone. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 472-478, 2014.
- FERREIRA, D., F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFPA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

- GANTAIT, S., KUNDU, S., YEASMIN, L., ALI, M. N. Impact of differential levels of sodium alginate, calcium chloride and basal media on germination frequency of genetically true artificial seeds of *Rauvolfia serpentina* (L.) Benth. ex Kurz. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 4, p. 75-81, 2017.
- GANTAIT, S., VIJAYAN, J., MAJEE, A. Artificial Seed Production of *Tylophora indica* for Interim Storing and Swapping of Germplasm. **Horticultural Plant Journal**, v. 3 n. 1, p. 41-46, 2017.
- GÍRIO, L. A. D. S., DIAS, F. L. F., REIS, V. M., URQUIAGA, S., SCHULTZ, N., BOLONHEZI, D., MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015.
- GOMES, C. Sistema muda conceito de plantio. **A Lavoura**, v. 696, n. 1, p. 38-39, 2013.
- HUNG, C. D., DUNG, C. D. Production of chrysanthemum synthetic seeds under non-aseptic conditions for direct transfer to commercial greenhouses. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 122, n. 3, p. 639-648, 2015.
- HUNG, C. D., TRUEMAN, S. J. Encapsulation technology for short-term preservation and germplasm distribution of the African mahogany *Khaya senegalensis*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 107, n. 3, p. 397-405, 2011.
- JAIN, R., SOLOMON, S., SHRIVASTAVA, A. K., CHANDRA, A. Sugarcane bud chips: A promising seed material. **Sugar Tech**, v. 12, n. 1, p. 67-69, 2010.
- JARAMILLO, C. M., GONZÁLEZ SELIGRA, P., GOYANES, S., BERNAL, C., FAMÁ, L. Biofilms based on cassava starch containing extract of yerba mate as antioxidant and plasticizer. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 9-10, p. 780-789, 2015.
- JAVED, S. B., ALATAR, A. A., ANIS, M., FAISAL, M. Synthetic seeds production and germination studies, for short term storage and long distance transport of *Erythrina variegata* L.: A multipurpose tree legume. **Industrial Crops and Products**, v. 105, p. 41-46, 2017.
- LAMBARDI, M., BENELLI, C., OZUDOGRU, E. A., OZDEN-TOKATLI, Y. Synthetic seed technology in ornamental plants. **Floriculture, ornamental and plant biotechnology: advances and topical issues**, v. 2, p. 347-354, 2006.
- LANDELL, M. D. A., CAMPANA, M., FIGUEIREDO, P., XAVIER, M., ANJOS, I. D., DINARDO-MIRANDA, L. L., MENDONÇA, J. D. Sistema de

- Multiplicação de cana-de-açúcar-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. **Campinas: Instituto Agronômico**, 16 p. 2013.
- LAYCOCK, B., NIKOLIĆ, M., COLWELL, J. M., GAUTHIER, E., HALLEY, P., BOTTLE, S., & GEORGE, G. Lifetime prediction of biodegradable polymers. **Progress in Polymer Science**, v. 71, p. 144-189, 2017.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177. 1962.
- MANNOZZI, C., CECCHINI, J. P., TYLEWICZ, U., SIROLI, L., PATRIGNANI, F., LANCIOTTI, R., .ROCCULI, P., ROSA, M. D., ROMANI, S. Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits during shelf-life. **LWT-Food Science and Technology**, 2016.
- MARTUCCI, J. F., RUSECKAITE, R. A. Tensile properties, barrier properties, and biodegradation in soil of compression—Molded gelatin-dialdehyde starch films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 112, n. 4, p. 2166-2178, 2009.
- MÜLLER, E. M., GIBBERT, P., BINOTTO, T., KAISER, D. K., BORTOLINI, M. F. Maturação e dormência em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. de diferentes árvores matrizes. **Iheringia. Série Botânica**, v. 71, n. 3, p. 222-229, 2017.
- NIEVES, N., ZAMBRANO, Y., TAPIA, R., CID, M., PINA, D., CASTILLO, R. Field performance of artificial seed-derived sugarcane plants. **Plant cell, tissue and organ culture**, v. 75, n. 3, p. 279-282, 2003.
- NYENDE, A. B., SCHITTENHELM, S., MIX-WAGNER, G., GREEF, J. M. Yield and canopy development of field grown potato plants derived from synthetic seeds. **European journal of agronomy**, v. 22, n. 2, p. 175-184, 2005.
- PANDITA, V. K., PATIL, P., TOMAR, B. S., SETH, R. Controlled deterioration and paper-piercing tests predict seedling emergence potential in okra seed lots. **Scientia Horticulturae**, v. 179, p. 21-24, 2014.
- PASSARIN, D. M. M., FERNANDES, R. Z., PERTICARRARI, G. **Método para obtenção de propágulos vegetais para micropropagação de cana-de-açúcar, para produção de semente sintética de cana-de-açúcar, para armazenamento de semente sintética, para produção de mudas, propágulos viáveis, e, semente sintética de cana-de-açúcar**. BR n° WO2014153630 A1, 14 mar. 2014, 02 out. 2014. Disponível em:

- <<https://www.google.com/patents/WO2014153630A1?cl=pt>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- RAI, M. K., ASTHANA, P., SINGH, S. K., JAISWAL, V. S., JAISWAL, U. (2009). The encapsulation technology in fruit plants—a review. **Biotechnology advances**, v. 27, n. 6, p. 671-679, 2014.
- RHIM, J. W.; GENNADIOS, A.; WELLER, C. L.; HANNA, M. A. Sodium dodecyl sulfate treatment improves properties of cast films from soy protein isolate. **Industrial Crops and Products, Oxford**, v. 15, n. 2, p.199-205, 2002.
- ROTTA, J., OZÓRIO, R. Á., KEHRWALD, A. M., DE OLIVEIRA BARRA, G. M., AMBONI, R. D. D. M. C., BARRETO, P. L. M. Parameters of color, transparency, water solubility, wettability and surface free energy of chitosan/hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) films plasticized with sorbitol. **Materials Science and Engineering: C**, v. 29, n. 2, p. 619-623, 2009.
- SHARMA, S., SHAHZAD, A., SILVA, J. A. Teixeira. Synseed technology—a complete synthesis. **Biotechnology advances**, v. 31, n. 2, p. 186-207, 2013.
- VERMA, A. K., AGARWAL, A. K., DUBEY, R. S., SOLOMON, S., SINGH, S. B. Sugar partitioning in sprouting lateral bud and shoot development of sugarcane. **Plant physiology and biochemistry**, v. 62, p. 111-115, 2013.
- VERMA, S. K., RAI, M. K., ASTHANA, P., JAISWAL, V. S., JAISWAL, U. In vitro plantlets from alginate-encapsulated shoot tips of *Solanum nigrum* L. **Scientia horticulturae**, v. 124, n. 4, p. 517-521, 2010.
- XAVIER, M. A., LANDELL, M. G. A., CAMPANA, M. P., FIGUEIREDO, P., MENDONÇA, J.R., DINARDO-MIRANDA, L. L., SCARPARI, M. S., GARCIA, J. C., ANJOS, I. A., AZANHA. C. A. M., BRANCALIÃO, S. R., KANTHACK, R. A. D., AFERRI, G., SILVA, D. N., BIDÓIA, M. A. P., CAMPOS, M. F., PERRUCCO, D., MATSUO, R. S., NEVES, J. C. T., CASSANELI JUNIOR, J. R., PERRUCCO, L., PETRI, R. H., SILVA, T. N., SILVA, V. H. P., THOMAZINHO JUNIOR, J. R., MIGUEL, P. E. N., LOREZANTO, C. M. **Fatores de desuniformidade e kit de pré-brotação IAC para sistema de multiplicação de cana-de-açúcar – mudas pré-brotadas (MPB)**. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 22 p; (Documentos IAC, n 113).

CAPÍTULO II

(Revista: Sugar Tech)

ÁCIDO INDOLBUTÍRICO NA FORMA DE TALCO NO CRESCIMENTO DE MINIRREBOLOS DE *Saccharum* sp.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma espécie comercialmente importante para produção de açúcar e biocombustíveis e por causa da alta demanda por material vegetal, novos meios de propagação estão sendo desenvolvidos e requerem melhorias. A partir disso, objetivou-se com o presente estudo avaliar diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB) veiculado na forma de talco no crescimento inicial e emergência de minirrebolos de cana-de-açúcar utilizados para o sistema de mudas pré-brotadas (MPB). Para tanto os minirrebolos foram tratados com as concentrações de 0, 500, 1000, 1500 e 2000 mg kg⁻¹ de AIB na forma de talco e avaliados quanto as características de emergência e crescimento inicial das plantas. Não houve diferença entre as concentrações de AIB para as variáveis fisiológicas, biométricas e de massa seca analisadas. As mudas de cana-de-açúcar formadas tiveram emergência acima de 70 %, aparato fotossintético funcional e dados biométricos e de massa seca regular para fase de muda. Neste estudo não foi observado efeitos para as concentrações testadas nos minirrebolos de cana-de-açúcar. Isso prediz que há mecanismos de conjugação e/ou degradação da auxina exógena que impedem a ação no crescimento inicial de cana-de-açúcar. Assim, concentrações de até 2000 mg kg⁻¹ de AIB aplicado na forma de talco em minirrebolos de cana-de-açúcar não tiveram efeito sobre o crescimento inicial das plantas.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, propagação, AIB, regulador de crescimento, enraizamento.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem se mostrado uma cultura de interesse mundial pela sua capacidade para produção de bioenergia (GUO et al., 2015). O açúcar é outro produto que se destaca dentre os derivados de cana-de-açúcar, ele é consumido mundialmente e sua demanda aumenta a cada dia. (CONAB, 2017). O processamento da cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar também gera diversos subprodutos que podem ser utilizados como fertilizantes, fibra têxtil, bioenergia, alimentação animal, dentre outros (SINDHU et al., 2016). Assim, fica clara a importância de se otimizar a produtividade da cultura de forma a atender as demandas que pode ser alcançado com o manejo adequado da cultura.

O sistema de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar é uma nova técnica de plantio que propõe formação de mudas saudáveis que serão levadas a campo com alto padrão de sanidade e homogeneidade (LANDELL et al., 2013). A técnica propõe o uso de minirrebolos, região do colmo com uma gema de aproximadamente 3 cm de comprimento, para formação das mudas. E é viável, pois leva a redução do material de plantio de em média 20 t ha⁻¹ para 2 t ha⁻¹ e contempla a uniformidade e o uso de máquinas menores para realização do plantio (DINARDO-MIRANDA et al., 2012). Por ser uma técnica recente poucos estudos foram desenvolvidos para aprimorar este sistema de produção de mudas, sendo necessárias pesquisas que visem reduzir o tempo de viveiro e otimização desta técnica.

As auxinas são um grupo de fitormônios responsáveis por diversos processos de crescimento das plantas (FINET; JAILLAIS, 2012). Podem ser veiculadas na forma de pó em diferentes concentrações, imersão por aproximadamente 5 segundos em solução concentrada (200 a 10000 mg L⁻¹) ou imersão por aproximadamente 24 horas em solução diluída (20 a 200 mg L⁻¹). O ácido indolbutírico (AIB) é considerado mais eficiente para o processo de estaquia por ser mais estável a ação da luz e resistente a ação de enzimas. Ao ser veiculado na forma de talco tende a sobressair à veiculação na forma líquida, pois o talco adere facilmente ao propágulo é de fácil identificação nas estacas tratadas, o período de exposição da estaca ao regulador é mais prolongado e a solução é mais durável (FACHINELLO et al., 2005; YAMAMOTO et al., 2010). Para enraizamento de minirrebolos de cana-de-açúcar ainda não existem trabalhos com uso de auxinas, assim o uso de AIB na forma de talco pode acelerar o tempo de produção das mudas.

Cultivares de cana-de-açúcar possuem características genéticas que apresentam alto enraizamento, além disso, o uso de técnicas agrícolas como a adubação com vinhaça, rica em nitrogênio, já demonstraram favorecer o crescimento radicular de cana-de-açúcar na camada superficial do solo (OTTO et al., 2009). A capacidade de enraizamento das plantas é um fator crucial que garante a obtenção de água e nutrientes e sua consequente sobrevivência e desempenho em campo.

Para produção de mudas o enraizamento pode ocorrer de maneira mais rápida se for aplicado auxina exógena para estimular o crescimento das raízes, método bastante utilizado na propagação via estaquia (KESARI et al., 2009). Concentrações ideais devem ser estudadas para cada espécie já que os níveis endógenos deste regulador de crescimento são variáveis (LJUNG, 2013.). Assim otimizar o crescimento do sistema radicular de mudas de cana-de-açúcar pode levar a redução no tempo para produção das mudas e garantir sua sobrevivência e crescimento em campo.

Embora estudos estejam sendo realizados para aumentar a produtividade do sistema MPB, nenhum estudo abordou o uso de reguladores de crescimento como a auxina para melhorar o crescimento das mudas. Assim o uso do ácido indolbutírico pode levar ao maior enraizamento, aumentando a produção das mudas. A partir disso, objetivou com o presente trabalho avaliar o uso de diferentes concentrações de AIB veiculado na forma de talco no crescimento de mudas de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do ensaio e origem do material vegetal

O trabalho foi desenvolvido na casa de vegetação do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, Brasil (17° 48' 17.137" S 50° 54' 21.693" W). O sistema de multiplicação de cana-de-açúcar foi adaptado de Landell et al. (2013). A cultivar CTC 04 foi utilizada por ser uma das mais plantadas no Brasil, está adaptada as condições edafoclimáticas de Goiás, mantém a produtividade ao longo dos cortes é tolerante a seca e tem alto perfilhamento (BRAGA JUNIOR et al., 2017). A mesma foi fornecida pela usina São Martinho, localizada em Quirinópolis, Goiás.

Preparo do AIB e tratamento dos minirrebolos

As soluções de AIB nas concentrações de 500, 1000, 1500 e 2000 mg kg⁻¹ foram obtidas após dissolução em 100 mL de álcool 50 % e posteriormente misturada

em uma matriz de 100 gramas de talco inerte e colocado em estufa para evaporação do solvente a 35 °C por 24 horas com a porta semiaberta. Como controle, usou-se apenas álcool 50 % misturado ao talco. Os minirrebolos após serem lavados passaram por tratamento antifúngico com fungicida comercial Frowncide® 0,25 % por 5 minutos, em seguida foram colocados sobre papel toalha por 5 minutos para retirar o excesso de umidade. Os minirrebolos foram cobertos com talco e plantados em tubetes de 290 cm³ com substrato comercial Bioplant® (Tabela 1). Estes foram mantidos em casa de vegetação, com 10 mm de irrigação diariamente, divididos em quatro turnos por 30 dias. Aos 30 dias foi feita avaliação de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos. Posteriormente as plantas foram podadas para evitar perdas por evapotranspiração e levadas para bancadas a pleno sol com irrigação conforme descrito anteriormente.

Tabela 1: Análise química do substrato Bioplant®.

Substrato	Características Químicas											
	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
g kg ⁻¹mg kg ⁻¹					
Bioplant®	5,0	5,5	4,5	2,0	8,6	5,4	8,3	22	20	18212	291	60

Durante o experimento (17-fev-2017 a 18-abr-2017) foi avaliado diariamente porcentagem de emergência e o índice de velocidade emergência (IVE). O IVE foi calculado de acordo com a fórmula de Maguire (1962). Foram realizadas análises biométricas 60 dias após o plantio, para acompanhamento do crescimento inicial. As variáveis analisadas foram o número de folhas, diâmetro do caule, comprimento da parte aérea, área foliar e área de raiz. O diâmetro do caule foi aferido com auxílio de um paquímetro, o comprimento da parte aérea com uma trena da superfície do substrato até a inserção da folha + 1 (sistema de numeração de Kuijper), a área foliar foi calculada através das medidas de comprimento e largura pela fórmula:

$$AF = C \times L \times 0,75 \times N$$

Em que C é o comprimento da folha em cm, L é a largura da região central da folha em cm, 0,75 é o fator de correção usado para cana-de-açúcar (HERMANN; CÂMARA, 1999) e N é o número de folhas com no mínimo 20% de área verde. Para cálculo da área de raiz as mesmas foram lavadas, cortadas do minirrebolo, separadas e alongadas em um fundo preto. Foram retiradas fotografias das raízes com as

identificações e uma escala, em seguida a área foi calculada pelo processamento no *software* SAFIRA (JORGE; RODRIGUES, 2008).

Ao final de 60 dias após o plantio as plantas também foram coletadas e separadas para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Em seguida foram secas a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar até atingir massa constante. A temperatura máxima média durante o experimento foi de 38,2 °C e teve a média mínima de 19,0 °C com umidade 58,2 %, sendo esses dados monitorados com termo-higrômetro (INCOTERM-7663).

Avaliação de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas após 30 dias do plantio. As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro da taxa fotossintética [A , $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], da condutância estomática [g_s , $\text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], taxa transpiratória [E , $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], e a eficiência do uso da água foi obtida pela fórmula:

$$\text{EUA} = A/E$$

Em que A é a taxa fotossintética e E é a taxa transpiratória.

Estas avaliações foram realizadas utilizando um analisador de gases no infravermelho portátil (IRGA) modelo LI6400 (Li-Cor, Nebraska, EUA), com densidade de fluxo de fótons a $1500 \mu\text{mol} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no horário entre 08h e 12h, na folha + 1.

A concentração de pigmentos fotossintéticos foi determinada por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO). Foram coletados, de cada repetição, três discos foliares utilizando furador de metal de 5 mm de diâmetro. Os discos foram incubados em frascos âmbar de 10 mL, contendo 5 mL de DMSO saturado com 50 g L^{-1} de carbonato de cálcio (CaCO_3) por período de 48 horas. As amostras foram aquecidas a 65 °C em banho-maria por 24 horas. Após atingir a temperatura ambiente, foram realizadas as leituras das amostras em espectrofotômetro UV-VIS, modelo Evolution 60S (Thermo Fisher Scientific, Madison – USA). Os comprimentos de onda, as equações e os cálculos para a determinação do conteúdo de clorofilas a , b , total e carotenoides foram realizadas conforme metodologia descrita por Wellburn, (1994). Para as avaliações de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos foram utilizadas 5 repetições por tratamento.

Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições de 15 plantas cada. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e em seguida a análise de variância e regressão com os programas Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011) e SigmaPlot 11.0 a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença entre as concentrações de AIB para porcentagem de emergência e IVE e tiveram a média de 89,9 % e 1,4, respectivamente (Figura 1). O trabalho de Gírio et al. (2015) com bactérias promotoras do crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de mudas de cana-de-açúcar teve valores de 100 % para porcentagem de emergência e IVE médio de 1,17. As auxinas sintéticas têm sido muito utilizadas para propagação de plantas por estaquia. Após a aplicação ela penetra pelo corte e na célula pode sofrer alterações como degradação que inativa irreversivelmente essas moléculas ou podem ser conjugados com outras moléculas o que as inativam temporariamente. Como as auxinas agem em baixas concentrações, geralmente o conteúdo de auxina restante é suficiente para garantir o seu efeito no crescimento de plantas (LUDWIG-MÜLLER, 2011).

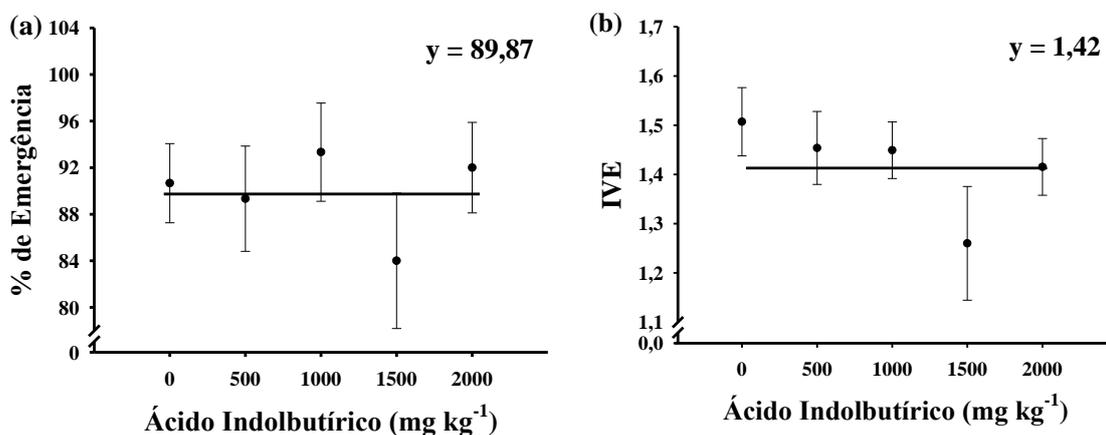


Figura 1: Porcentagem de Emergência (% de Emergência, a) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE, b) de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco.

A porcentagem de emergência avalia o potencial dos propágulos em formar plantas e o IVE mede a emergência média diária em função dos dias após o plantio e são importantes para verificação do crescimento inicial das plantas (GUEDES et al.,

2013). O AIB ao estimular o crescimento de raízes laterais e adventícias pode levar ao aumento destes parâmetros (KUMARI et al., 2010). Contudo, este regulador de crescimento é comumente utilizado em estacas em que apenas a base é enterrada no solo, diferentemente do presente trabalho em que os minirrebolos foram totalmente enterrados, sendo avaliação do IVE importante para inferir a capacidade da planta em emergir e iniciar processos fotossintéticos necessários ao seu crescimento. A porcentagem de emergência neste trabalho está relacionada ao porcentual de enraizamento, pois todas as plantas emergidas apresentaram raízes.

Os efeitos do AIB para melhorar o enraizamento de plantas são amplamente estudados (SALVADOR et al., 2014; KESARI et al., 2009; NETO et al., 2017). Contudo, o uso de ácido indolbutírico veiculado na forma de talco no enraizamento de minirrebolos de cana-de-açúcar ainda não foi relatado na literatura. Tesfa et al. (2016) ao estudar o enraizamento *ex vitro* de plantas de cana-de-açúcar derivadas da micropropagação observou que o tratamento dos brotos, com a solução com 20 mg L⁻¹ de ANA por 24 horas aumentou em 40 % o enraizamento quando comparado ao controle sem regulador.

Não houve diferença para as avaliações de taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), taxa transpiratória (E) e eficiência do uso da água (EUA) com médias de 23,41 μmol m⁻² s⁻¹, 0,164 mol m⁻² s⁻¹, 2,28 mmol m⁻² s⁻¹ e 10,38 mmolCO₂/molH₂O, respectivamente (Figura 2). Por ter metabolismo C4 a cana-de-açúcar tem altas taxas fotossintéticas com intensidade luminosa a partir de 1500 μmol m⁻² s⁻¹, concentração de CO₂ e temperatura ambiente. As taxas fotossintéticas variam entre 16 e 61 μmol m⁻² s⁻¹, de acordo com a cultivar, as condições ambientais, o tempo de cultivo e o estado nutricional da planta (MOORE; BOTHA, 2013).

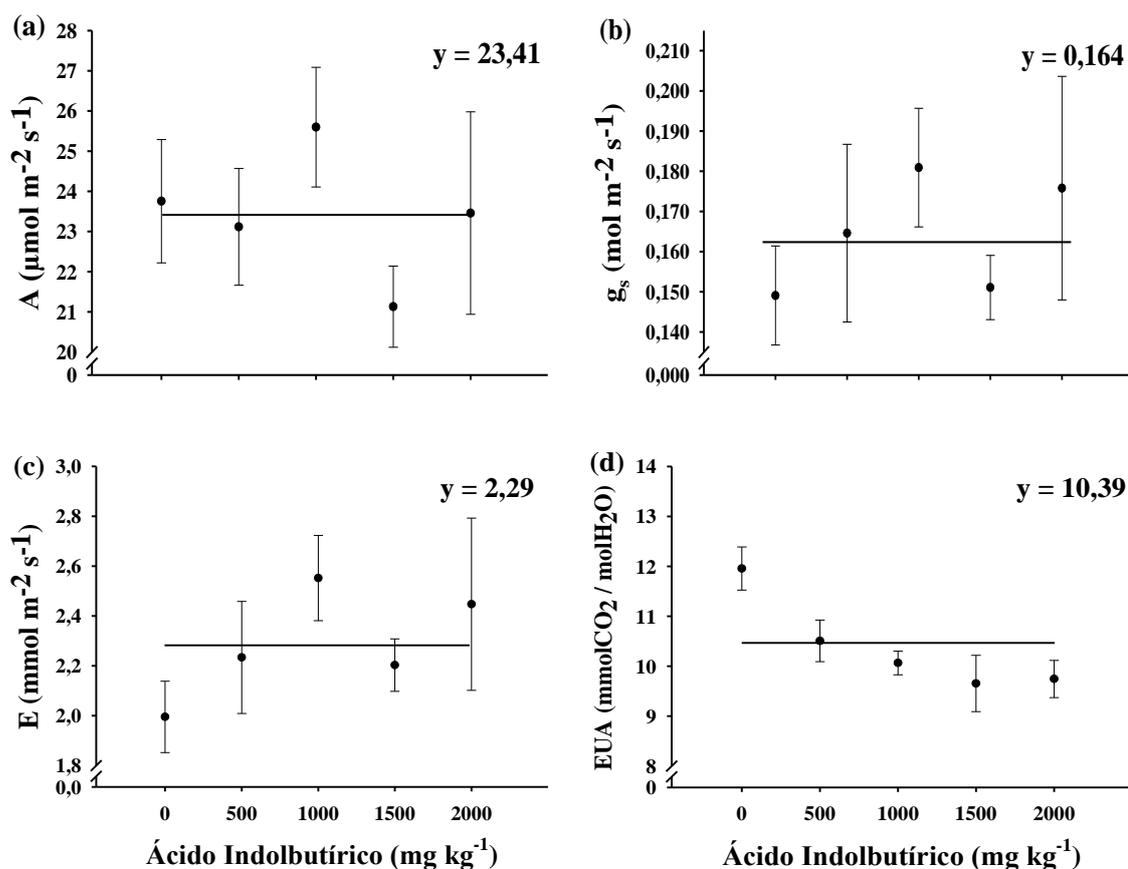


Figura 2: Taxa fotossintética (A, a), condutância estomática (g_s , b), taxa transpiratória (E, c) e eficiência do uso da água (EUA, d) de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 30 dias de cultivo.

O AIB é um regulador de crescimento que atua no crescimento de raízes, conseqüentemente sua ação está relacionada a absorção de água e nutrientes. A abertura estomática ocorre com a mudança osmótica no interior das células-guarda e leva a absorção de água e com a pressão de turgescência o ostíolo abre. Assim o estado hídrico das plantas está diretamente relacionado com processos fotossintéticos (SILVA, et al., 2015).

Não existem na literatura dados de avaliações fisiológicas para mudas de cana-de-açúcar com 30 dias após o plantio. Estas avaliações são importantes para verificar o desempenho da assimilação de CO_2 e reflete diretamente no crescimento das plantas. De acordo com os dados obtido neste estudo, as mudas de cana-de-de açúcar apresentaram aparato fotossintético funcional, pois estes valores são coerentes com as trocas gasosas para plantas saudáveis de cana-de-açúcar (MARCHIORI et al., 2014). Stokes et al. (2016) ao trabalhar com os efeitos do CO_2 no crescimento de cana-de-açúcar

encontraram resultados semelhantes com taxa fotossintética igual a $25,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e condutância estomática de $0,179 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em plantas controle com 9 meses de idade. Souza et al. (2008) ao trabalhar com concentração elevada de CO_2 em cana-de-açúcar verificou a taxa fotossintética de $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e condutância estomática de $0,260 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas com 4 meses de idade. Esses dados corroboram com o presente trabalho no que tange a taxa fotossintética e condutância estomática de plantas saudáveis de cana-de-açúcar. Isto confirma que as mudas de cana-de-açúcar produzidas possuíam aparato fotossintético funcional.

A taxa transpiratória (E) mede a perda de água através dos estômatos. Izquierdo-Hernández et al. (2016) ao trabalhar com a resposta fisiológica de diferentes cultivares de cana-de-açúcar com três doses distintas de nitrogênio verificou que após cinco meses de plantio obteve taxa transpiratória variável das cultivares entre 5,05 e $7,37 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Barbosa et al. (2015) encontrou valores entre 1,8 e $2,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em plantas de cana-de-açúcar em diferentes estágios de desenvolvimento foliar. A eficiência do uso da água (EUA) é caracterizada como a quantidade de água perdida por transpiração, enquanto certa quantidade de CO_2 é absorvido para a acumulação de massa seca. A eficiência do uso da água está diretamente associada a taxa fotossintética, bem como a condutância estomática e a taxa transpiratória, pois ao mesmo tempo que a planta absorve CO_2 ela perde moléculas de H_2O para a atmosfera (GALON et al., 2013). Assim, pode-se perceber que o AIB não teve efeito no crescimento dos minirrebolos de cana-de-açúcar e todas as plantas tiveram aparato fotossintético funcional.

Não foi possível ajustar um modelo de regressão que explicasse o comportamento dos pigmentos fotossintéticos com a aplicação das diferentes concentrações de AIB utilizadas (Figura 3). Foi observado valores médios de $16,24 \mu\text{g cm}^{-2}$ de clorofila *a*, $4,20 \mu\text{g cm}^{-2}$ de clorofila *b*, $3,97 \mu\text{g cm}^{-2}$ de carotenoides e $20,45 \mu\text{g cm}^{-2}$ de clorofila total. Clorofilas e carotenoides são grupos de pigmentos fotossintéticos que atuam na captura de luz e indução de processos fotossintéticos, sendo de modo direto ou indireto ferramenta usual para diagnóstico nutricional e fotossintético (PRIORI et al., 2003). A produção destes pigmentos pode ser estimulada com sistema radicular mais vigoroso responsável por capturar nutrientes constituintes destas moléculas (BALDOTTO et al., 2009).

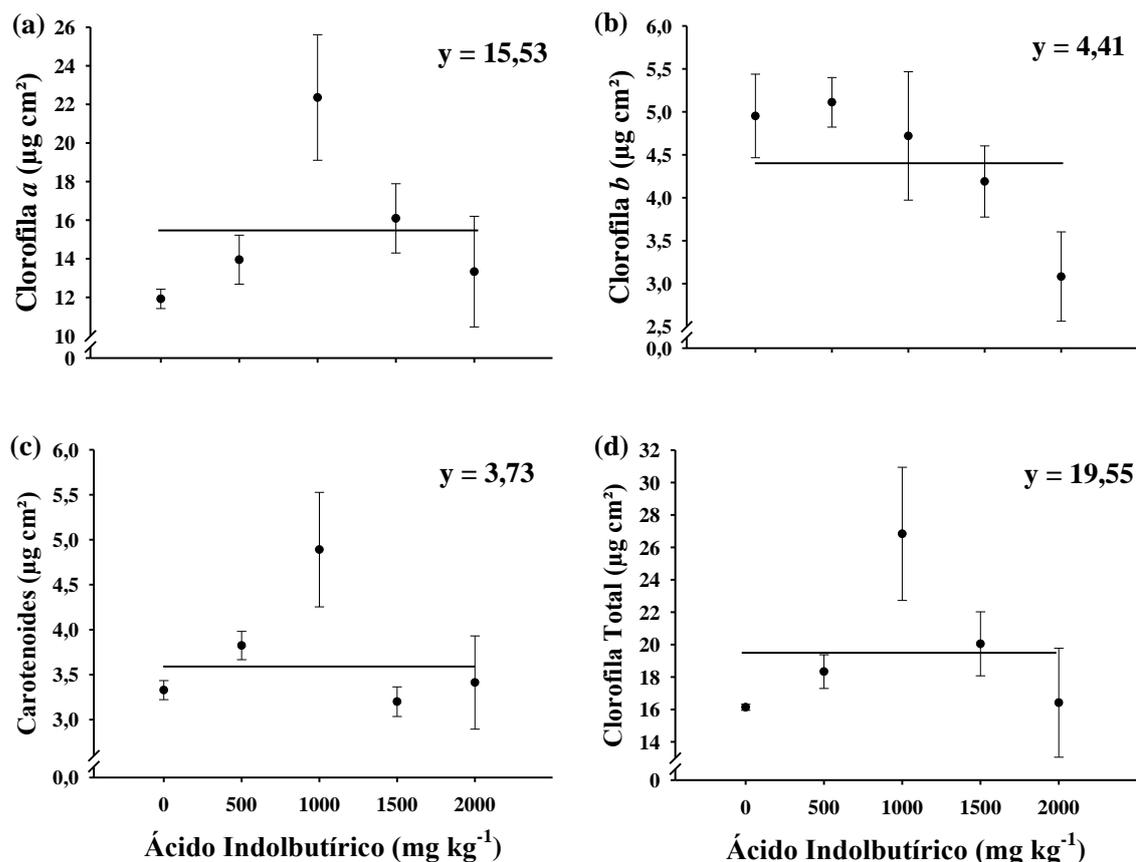


Figura 3: Clorofila *a* (a), clorofila *b* (b), carotenoides (c) e clorofila total (d) de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 30 dias de cultivo.

Os parâmetros biométricos e de massa seca avaliados não tiveram diferenças entre as concentrações de AIB utilizadas (Figura 4 e 5). As mudas de cana-de-açúcar com 60 dias após o plantio tiveram em média 4,4 folhas, 11,90 mm de diâmetro de colmo, 12,18 cm de parte aérea, área foliar de 108,81 cm^2 e área de raiz de 142,17 cm^2 . Para as variáveis de MSPA e MSR teve 2,27 e 1,20 gramas, respectivamente. O AIB é regulador de crescimento que desempenha papel fundamental no enraizamento de plantas. Por ser um precursor do ácido indolacético (AIA) influencia em vários processos como divisão, diferenciação e alongamento celular e assim atua como indutor rápido de raízes. Contudo, em altas concentrações as auxinas podem inibir o crescimento das raízes, com a produção de etileno (MUDAY et al., 2012).

As raízes derivadas da propagação de cana-de-açúcar são inicialmente oriundas de primórdios de raiz localizados na estrutura denominada nó. A partir desses primórdios, em temperatura e umidade adequados, a raiz cresce. Essas raízes são funcionais para ancoragem e absorção de água e nutrientes até que a parte aérea se desenvolva o suficiente para produzir raízes permanentes (MOORE; BOTHA, 2013). O

bom desenvolvimento de raízes determina o potencial da planta para absorver água e nutrientes e afeta o crescimento e desenvolvimento da cultura (AZEVEDO et al., 2011; MATSUOKA; GARCIA, 2011).

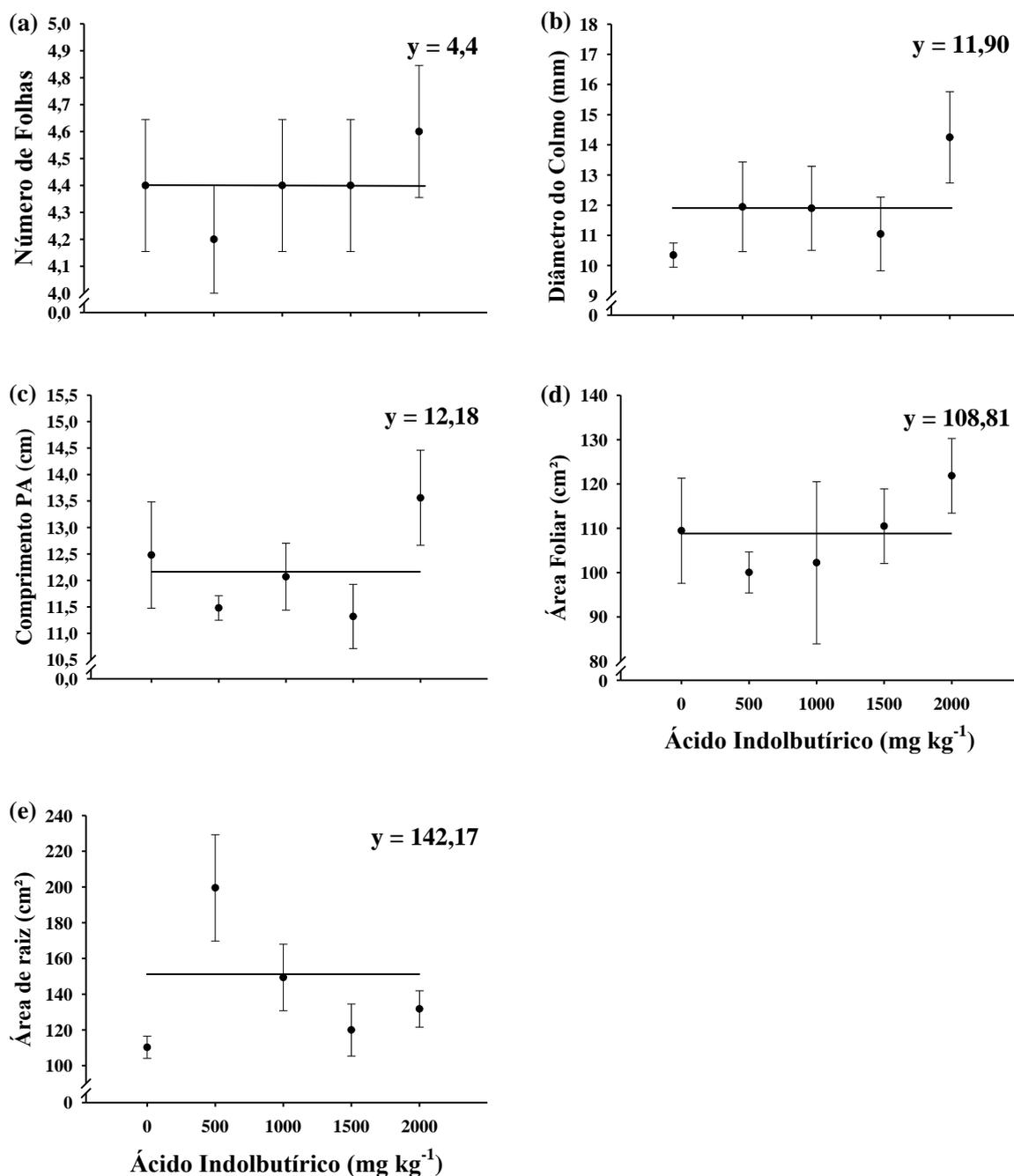


Figura 4: Número de folhas (a), diâmetro do colmo (b), comprimento da parte aérea (Comprimento PA, c), área foliar (d) e área de raiz (e) de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 60 dias de cultivo.

Mustafa; Khan, (2016) ao trabalhar com a propagação *in vitro* e *in vivo* de cana-de-açúcar verificou que embora na ausência de AIB as plantas micropropagadas produzam raízes, esse efeito é aumentado em concentrações crescentes até 5 mg L⁻¹. Neto et al., (2017) verificou que estacas de bambu tem seu enraizamento otimizado com o uso de 500 mg L⁻¹ de AIA. O ácido indolbutírico em talco já se demonstrou viável para enraizamento e produção de diversas espécies através do método de estaquia (BORTOLINI et al., 2008; KAREEM et al., 2013). Dentre as vantagens de se utilizar o talco está a praticidade, maior aderência e maior confiabilidade no tratamento do material (YAMAMOTO et al., 2010).

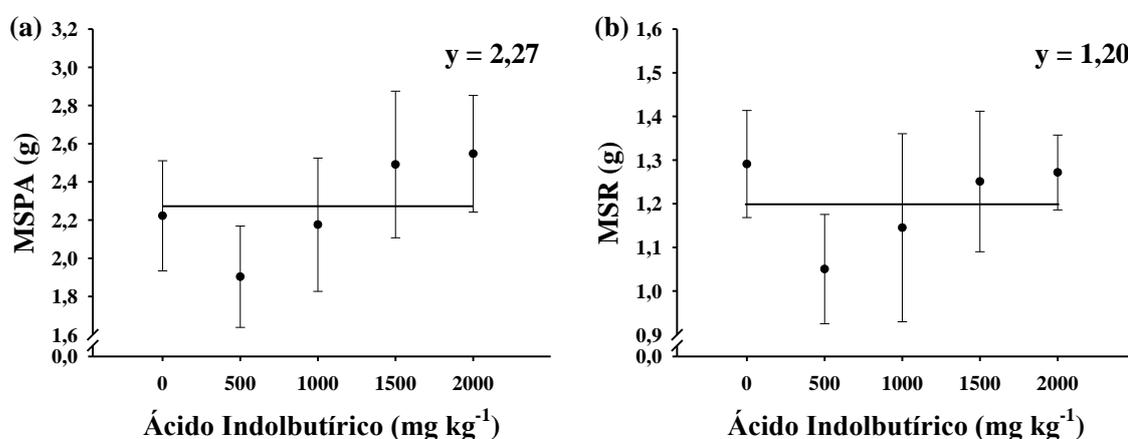


Figura 5: Massa seca da parte aérea (MSPA, a) e massa seca de raiz (MSR, b) de minirrebolos de *Saccharum* sp. L., cultivar CTC 4, tratados com diferentes concentrações de Ácido Indolbutírico na forma de talco, após 60 dias de cultivo.

O uso de AIB ainda não foi relatado para otimizar o crescimento de raízes de cana-de-açúcar. Contudo, os resultados deste estudo indicam que os níveis internos de auxinas presentes em minirrebolos de cana-de-açúcar garantem o crescimento das mudas sem que seja necessária a aplicação de reguladores exógenos até 2000 mg kg⁻¹ o que leva a economia para produção das mudas. Contudo, novas tecnologias devem ser testadas para otimizar o tempo de produção de mudas e aumentar sua qualidade e vigor.

Os aspectos morfológicos dos minirrebolos de cana-de-açúcar representam barreira para absorção do AIB. O caule ceroso pode impedir a permeabilidade da auxina, assim a absorção do AIB seria prejudicada. E isso pode ser impedimento para que o AIB chegue no seu sítio de ação. Além disso, quando a auxina exógena é absorvida pelas células ela passa por processos de degradação e conjugação que reduz a concentração do regulador exógeno (SIMON; PETRÁŠEK, 2011). A resposta das plantas a aplicação de reguladores de crescimento é dependente do genótipo e leva a

inferir que este genótipo de cana-de-açúcar também não responda a aplicação de auxinas exógenas (FERREIRA et al., 2017).

Assim, investigar diferentes genótipos de cana-de-açúcar e sua resposta ao AIB se faz necessário para esclarecer esses processos. As formas de aplicação também devem ser testadas, pois o enraizamento de cana-de-açúcar *in vitro* já foi relatado com sucesso. Talvez no ambiente *ex vitro* seja necessário o crescimento inicial das raízes para posterior aplicação da auxina que permitiria uma via apropriada para absorção e ação deste regulador.

CONCLUSÃO

Não houve efeito das concentrações de 500, 1000, 1500 e 2000 mg kg⁻¹ de AIB na forma de talco aplicado nos minirrebolos no crescimento de mudas de cana-de-açúcar, assim sendo, os níveis endógenos deste regulador de crescimento presente nos minirrebolos são suficientes para suprir o crescimento das mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, A., NAZ, S., SIDDIQUI, F. A., IQBAL, J. An efficient protocol for large scale production of sugarcane through micropropagation. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 1, p. 139-149, 2008.
- AZEVEDO, M. C. B. D., CHOPART, J. L., MEDINA, C. D. C. Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 94-101, 2011.
- BALDOTTO, L. E. B., ALTOÉ BALDOTTO, M., BAZONI GIRO, V., PASQUALOTO CANELLAS, L., LOPES OLIVARES, F., BRESSAN-SMITH, R. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 979-990, 2009.
- BARBOSA, A. M., GUIDORIZI, K. A., CATUCHI, T. A., MARQUES, T. A., RIBEIRO, R. V., SOUZA, G. M. Biomass and bioenergy partitioning of sugarcane plants under water deficit. **Acta physiologiae plantarum**, v. 37, n. 8, p. 1-8, 2015.
- BORTOLINI, M. F., ZUFFELLATO-RIBAS, K. C., SOARES KOEHLER, H., CARPANEZZI, A. A., DESCHAMPS, C., OLIVEIRA, M. D. C., BONA, C., MAYER, J. L. S. *Tibouchina sellowiana* (Cham.) Cogn.: enraizamento,

- anatomia e análises bioquímicas nas quatro estações do ano. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 2, p. 159-171, 2008.
- BRAGA JUNIOR, R.L. C., LANDELL, M. G. A., SILVA, D. N., BIDÓIA, M. A P., SILVA, T. N., THOMAZINHO JÚNIOR, J. R., SILVA, V. H. P. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil – Safra 2016/17**. Campinas: **Instituto Agrônômico (IAC)**, 2017.
- CONAB. (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_19_11_27_36_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_16-17.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- DINARDO-MIRANDA, L.L.; SCARPARI, M.S.; GARCIA, J.C.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, D.N.; MENDONÇA, J.R.; KANTHACK, R.A.D.; CAMPOS, M.F.; BRANCALÃO, S.R.; PETRI, R.H.; MIGUEL P.E.M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônômico de Campinas, 2012. 17 p. (Documentos IAC, 109).
- FERREIRA, D., F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, L. T., DE ARAÚJO SILVA, M. M., ULISSES, C., CAMARA, T. R., WILLADINO, L. Using LED lighting in somatic embryogenesis and micropropagation of an elite sugarcane variety and its effect on redox metabolism during acclimatization. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 128, n. 1, p. 211-221, 2017.
- FINET C, JAILLAIS Y. Auxology: when auxin meets plant evo–devo. **Dev Biol**, v. 369, n. 1, p. 19–31, 2012.
- GALON, L., CONCENÇO, G., FERREIRA, E. A., ASPIAZU, I., DA SILVA, A. F., GIACOBBO, C. L., ANDRES, A. Influence of biotic and abiotic stress factors on physiological traits of sugarcane varieties. **In Photosynthesis. InTech**, 2013.
- GIRIO, L. A. D. S., FERREIRA DIAS, F. L., REIS, V. M., URQUIAGA, S., SCHULTZ, N., BOLONHEZI, D., MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-

- açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015.
- GUEDES, R. S., ALVES, E. U., COSTA, E. M. T., DA SILVA SANTOS-MOURA, S., DA SILVA, R. D. S., SILVA CRUZ, F. R. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 859-866, 2013.
- GUO, M., SONG, W., BUHAIN, J. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 712-725, 2015.
- HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil - STAB**, v.17, p.32-34, 1999.
- IZQUIERDO-HERNÁNDEZ, J., SALGADO-GARCÍA, S., LAGUNES-ESPINOZA, L. D. C., PALMA-LÓPEZ, D. J., ORTIZ-LAUREL, H., CORDOVA-SÁNCHEZ, S., CASTELÁN-ESTRADA, M. Nutritional and Physiological Response of Sugarcane Varieties to Nitrogen Fertilization in a Haplic Cambisol. **Sugar Tech**, v. 18, n. 5, p. 493-499, 2016.
- JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, A. F. O. Safira: sistema de análise de fibras e raízes. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Instrumentação Agropecuária**, São Carlos, n. 24, 2008. 21 p.
- KAREEM, A., JASKANI, M. J., FATIMA, B., SADIA, B. Clonal multiplication of guava through softwood cuttings under mist conditions. **Pak. J. Agric. Sci**, v. 50, p. 23-27, 2013.
- KESARI, V., KRISHNAMACHARI, A., RANGAN, L. Effect of auxins on adventitious rooting from stem cuttings of candidate plus tree *Pongamia pinnata* (L.), a potential biodiesel plant. **Trees**, v. 23, n. 3, p. 597-604, 2009.
- KUMARI, M., PATADE, V. Y., ARIF, M., AHMED, Z. Effect of IBA on Seed Germination, sprouting and rooting in cuttings for mass propagation of *Jatropha curcus* L Strain DARL-2. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 6, n. 6, p. 691-696, 2010.
- LANDELL, M.G.A.et al. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. 2. ed. Campinas: **Instituto Agrônômico (IAC)**, 2013. 16 p.

- LJUNG, K. Auxin metabolism and homeostasis during plant development. **Development**, v. 140, n. 5, p. 943-950, 2013.
- LUDWIG-MÜLLER, J. Auxin conjugates: their role for plant development and in the evolution of land plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 6, p. 1757-1773, 2011.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177. 1962.
- MARCHIORI, P. E., MACHADO, E. C., RIBEIRO, R. V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. **Field Crops Research**, v. 155, p. 30-37, 2014.
- MATSUOKA, S., GARCIA, A. A. F. Sugarcane underground organs: going deep for sustainable production. **Tropical Plant Biology**, v. 4, n. 1, p. 22-30, 2011.
- MOORE, P. H., BOTHA, F. C. (Ed.). **Sugarcane: physiology, biochemistry and functional biology**. John Wiley & Sons, 2013.
- MUDAY, G. K., RAHMAN, A., BINDER, B. M. Auxin and ethylene: collaborators or competitors?. **Trends in plant science**, v. 17, n. 4, p.181-195, 2012.
- MUSTAFA, G., KHAN, M. S. Differential role of indolebutyric acid in sugarcane root development. **Sugar Tech**, v. 18, n. 1, p. 55-60, 2016.
- NETO, M. C. L., RIBEIRO, J. S., NETO, E. B. Enraizamento de estacas de bambu com o uso de auxinas. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 7, n. 2, 2017.
- OTTO, R., TRIVELIN, P. C. O., FRANCO, H. C. J., FARONI, C. E., VITTI, A. C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 601-611, 2009.
- PRIORI, L.D., EAMUS, D., BOWNAN, D. M. J. S. Leaf attributes in the seasonally dry tropics: a comparison of four habitats in northern Austrian. **Functional ecology**, v. 1, n. 17, p. 504-515, 2003.
- SALVADOR, T. D. L., SALVADOR, T. D. L., LEMOS, E. E. P. D., BARROS, P. G., CAMPOS, R. D. S. Rooting cuttings of sugar apple (*Annona squamosa* L.) with indolebutyric acid. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. spe 1 p. 310-314, 2014.

- SILVA, F. G., DUTRA, W. F., DUTRA, A. F., DE OLIVEIRA, I. M., FILGUEIRAS, L., DE MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.
- SIMON, S., & PETRÁŠEK, J. Why plants need more than one type of auxin. **Plant Science**, v.180, n. 3, p. 454-460, 2011.
- SINDHU, R., GNANSOUNOU, E., BINOD, P., PANDEY, A. Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products—An overview. **Renewable Energy**, v. 98, p. 203-215, 2016.
- SOUZA, A. P., GASPAR, M., SILVA, E. A., ULIAN, E. C., WACLAWOVSKY, A. J., NISHIYAMA JUNIOR, M. Y., SANTOS, R. V., TEIXEIRA, M. M. SOUZA, G. M., BUCKERIDGE, M. S. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. **Plant, cell & environment**, v. 31, n. 8, p. 1116-1127, 2008.
- STOKES, C. J., INMAN-BAMBER, N. G., EVERINGHAM, Y. L., SEXTON, J. Measuring and modelling CO₂ effects on sugarcane. **Environmental Modelling & Software**, v. 78, p. 68-78, 2016.
- TESFA, M., ADMASSU, B., BANTTE, K. Ex Vitro Rooting of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Plantlets Derived from Tissue Culture. **Advances in Crop Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 1-4, 2016.
- WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **J. Plant Physiol.**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994
- YAMAMOTO, L. Y., BORGES, R. D. S., SORACE, M., RACHID, B. F., RUAS, J. M. F., SATO, O., ASSIS, A. M., ROBERTO, S. R. Enraizamento de estacas de *Psidium guajava* L.'Século XXI'tratadas com ácido indolbutírico veiculado em talco e álcool. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1037-1042, 2010.

CONCLUSÃO GERAL

A redução no nível de reserva, o encapsulamento com alginato de sódio e o uso de até 2000 mg kg⁻¹ de ácido indolbutírico não levou ao maior crescimento de mudas de cana-de-açúcar. Portanto, futuros estudos para o desenvolvimento da técnica de produção de mudas são necessários, como o uso de outros agentes encapsulantes e reguladores de crescimento, assim como concentrações de reguladores mais elevadas e diferentes formas de aplicação.