

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
LETÍCIA FERREIRA DA SILVA

PROPAGAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR: Métodos e perspectivas

CERES – GO
2023

LETÍCIA FERREIRA DA SILVA

PROPAGAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR: Métodos e perspectivas

Trabalho de Curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Cleiton Mateus Sousa.

**CERES – GO
2023**

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

S586p Silva, Leticia Ferreira da
PROPAGAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR: Métodos e
perspectivas / Leticia Ferreira da Silva; orientador
Dr. Cleiton Mateus Sousa. -- Ceres, 2023.
25 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2023.

1. Embriogênese somática. 2. encapsulamento. 3.
propagação. 4. Saccharum officinarum. I. Sousa, Dr.
Cleiton Mateus , orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Letícia Ferreira da Silva

Matrícula:

2016101200210339

Título do trabalho:

Propagação de cana-de-açúcar: Métodos e perspectivas

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 23/06/2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Letícia - GO
Local

21/06/2023
Data

Letícia Ferreira da Silva

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

elt mil son
Assinatura do(a) orientador(a)

ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) Doze dia(s) do mês de maio do ano de dois mil e vinte e três, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) LETÍCIA FERREIRA DA SILVA, do Curso de BACHARELADO EM AGRONOMIA, matrícula _____, cujo título é "PROPAGAÇÃO IN VITRO DE CANA-DE-AÇÚCAR: MÉTODOS E PERSPECTIVAS".

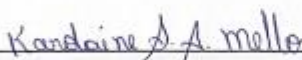
A defesa iniciou-se às 16 horas e 02 minutos, finalizando-se às 16 horas e 25 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 8,6 no trabalho escrito, média 8,6 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 8,6 de **pontos**, estando o(a) estudante APTA para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

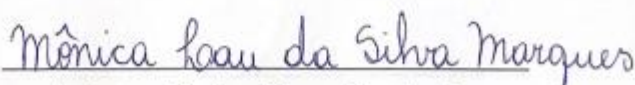
Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.



Assinatura Presidente da Banca



Assinatura Membro 1 Banca Examinadora



Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, sempre me incentivando e me dando todo o apoio necessário.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder essa oportunidade de poder concluir mais uma fase da minha vida, a minha família, ao meu pai Valdeir e minha mãe Silvania que foram minhas bases e sempre me motivou para seguir os meus sonhos e acreditaram na minha capacidade, ao meu noivo Kaio César por sempre estar ao meu lado, meus irmãos Pedro Santhyago, João Eduardo e Rafael e aos meus amigos por serem a minha rede de apoio, ao meu orientador Cleiton Mateus pela disponibilidade e dedicação comigo, a toda banca orientadora e aos suplentes que aceitaram o meu pedido.

“Descobrir consiste em olhar para o que todo mundo está vendo e pensar uma coisa diferente”.

Roger Von Oech

RESUMO

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) apresenta números impactantes dentro do cenário agrícola brasileiro, ocupando o posto de uma das principais culturas produzidas em território nacional. Mediante a isso, objetivou-se construir uma revisão da literatura para relatar o conceito, benefícios e difusão da técnica de propagação *in vitro* e do uso da tecnologia para a produção de sementes sintéticas em cana-de-açúcar, considerando o histórico e as perspectivas. Para que o profissional em agronomia e o produtor possam avaliar qual opção de propagação é a mais prática e lucrativa, ambos precisam ter conhecimento sobre as diversas opções de plantio e cultivo, dessa forma se faz interessante nos pontos de vista profissional e acadêmico. A propagação da cana-de-açúcar é feita de forma vegetativa desde a consolidação da cultura em território nacional, sendo a produção de plântulas e plantio processos muito trabalhosos. As sementes sintéticas surgem como uma alternativa à obtenção de resultados mais expressivos em campo, gerando mudas de ótima qualidade fitossanitária, maior uniformidade, redução de falhas no canavial e facilitar a operação de plantio. É bem conhecido que o setor sucroenergético, como os demais, aspira a aumentar a produtividade a custos menores, implementando inovações como a abordagem de propagação em estudo. Porém, ainda existem gargalos e aspectos a se resolver para obtenção dessa semente sintética, principalmente no estabelecimento de protocolos e técnicas de produção. Mesmo com esforços de grandiosas instituições como Syngenta e o CTC, ainda não foi lançada como uma tecnologia de fato no mercado. Conclui-se que há boas perspectivas quanto a produção de sementes sintéticas de cana-de-açúcar, mostrando-se uma tecnologia promissora, no entanto, muito ainda há de ser feito na área de pesquisa para consolidação da tecnologia.

Palavras-chave: Embriogênese somática; encapsulamento; propagação; *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

The cultivation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) presents numbers considered impactful within the Brazilian agricultural scenario, occupying the position of one of the main crops produced in the national territory. Therefore, this study aimed to build a literature review to report the concept, benefits and diffusion of the technique of propagation via synthetic seeds in sugarcane, considering the history and perspectives. For the professional in agronomy and the grower to evaluate which propagation option is the most practical and profitable, both need to have knowledge about the various options of planting and cultivation, so it is interesting in the professional and academic points of view. The propagation of sugarcane is done vegetatively since the consolidation of the culture in the national territory, and the production of explants and planting are very laborious processes. Synthetic seeds emerge as an alternative that makes it possible to obtain more expressive results in the field, generating seedlings of excellent phytosanitary quality, greater uniformity, reduction of failures in the sugarcane field, and the proposal to facilitate the planting operation. It is well known that the sugar-energy sector, like the others, aspires to increase productivity at lower costs, implementing innovations such as the propagation approach under study. However, there are still bottlenecks and aspects to be solved in order to obtain this synthetic seed, mainly in the establishment of protocols and production techniques. Even with the efforts of great institutions such as Syngenta and the CTC, it has not yet been launched as a de facto technology in the market. We conclude that there are good perspectives for the production of synthetic sugarcane seeds, showing that it is a promising technology; however, much remains to be done in the area of research for the consolidation of the technology.

Keywords: Encapsulation; plant propagation; *Saccharum officinarum*; somatic embryogenesis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produção de cana-de-açúcar por Estado federativo do Brasil. Fonte: Conab (2022).	5
Figura 2 - A) Tolete e B) Nó do tolete de cana-de-açúcar e suas partes. Fonte: Thomas (2015).	7
Figura 3 - Representação esquemática da formação de camada simples x dupla camada na formação do gel ionotrópico de alginato de cálcio. Fonte: Pedro; Luiz (2007).	111
Figura 4 - Semente sintética e suas partes. Fonte: Mondo; Cícero (2008).	12
Figura 5 - Semente sintética Plene Emerald promete simplificar o sistema de plantio da cana-de-açúcar. Fonte: CanaOnline (2019).	14
Figura 6 - Produção de sementes sintéticas pela CTC. Fonte: NovaCana (2023). ..	15

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	3
PROPAGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR	6
SEMENTES SINTÉTICAS DE CANA-DE-AÇÚCAR	9
SEMENTES SINTÉTICAS	9
PRODUÇÃO E PERSPECTIVAS DE SEMENTES SINTÉTICAS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	13
CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
REFERÊNCIAS.....	18

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea pertencente à família *Poacea*, que é amplamente cultivada no Brasil, principalmente para a produção de açúcar e etanol (WCZASSEK et al., 2022). O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China (FAO, 2023). A área colhida de cana-de-açúcar no país na safra 2021/22 foi de 8.317 mil ha, atingindo uma produção de 585.179 mil t e uma produtividade de 70.357 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

Desde o início da agricultura canavieira no Brasil, o método de propagação comercial da cana-de-açúcar tem utilizado colmos ou fragmentos de colmos para o plantio. A fim de criar campos de cana-de-açúcar uniformes e livres de doenças, é crucial aplicar tecnologias inovadoras no plantio de cana-de-açúcar. A melhoria do sistema tradicional de propagação da cana-de-açúcar e o crescimento sustentável do cultivo são os objetivos das novas técnicas que estão sendo desenvolvidas, tais como a criação de mudas pré-brotadas e a multiplicação *in vitro*.

Para cultivo comercial, a cana-de-açúcar é propagada vegetativamente e requer uma quantidade considerável de propágulos (SALOKHE, 2021). A disponibilidade de material de propagação de cana saudável é o principal requisito para aumentar a produtividade da cultura da cana, uma vez que um bom material de plantio resulta em maiores rendimentos.

A cultura de tecidos da cana-de-açúcar tem sido utilizada pelos programas de melhoramento devido à redução no tempo de multiplicação de clones e de variedades promissoras, facilitando a rápida obtenção de grandes quantidades de material propagativo do genótipo de interesse, além da eliminação de um grande número de patógenos (HENDRE et al., 1983; MORAES et al., 2017). O método que proporciona as plantas mais saudáveis e uma boa produção em larga escala, a propagação *in vitro*, também conhecida como micropropagação devido ao tamanho dos propágulos utilizados, é o que garante a cultura de tecidos mais bem sucedida (THORPE, 2012).

Técnicas de propagação *in vitro* têm sido usadas regularmente para obter a propagação de plantas de muitas cultivares de cana-de-açúcar (KAUR; SANDHU, 2015). A propagação de mudas garante os traços necessários, a utilização de áreas restritas e a presença de pessoas livres de doenças ou vírus (SANTOS, 2011). Uma estratégia alternativa eficaz para multiplicar culturas importantes como a cana-de-

açúcar é o desenvolvimento de tecnologias de geração de sementes sintéticas *in vitro*. 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). Uma das técnicas com grande potencial de aplicação é a produção de sementes sintéticas formadas a partir do encapsulamento de embriões somáticos envoltos em tegumentos artificiais que são compostos por uma camada gelificante e resultam em sementes análogas às sementes naturais (BASKARAN et al., 2015).

Com base nessa explicação, este trabalho apresenta uma revisão da literatura, destacando métodos e alternativas para produção de sementes sintéticas de cana-de-açúcar por meio de propagação *in vitro*.

CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cultura da cana-de-açúcar pertence à divisão Magnoliophyta, subdivisão Angiosperma, reino Plantae, classe Liliopsida, ordem Poales, família Poaceae, gênero *Saccharum* e espécie *Saccharum officinarum* L. (NASCIMENTO et al., 2015). A cana-de-açúcar é originária do sudeste asiático, onde o gênero *Saccharum* ocorre como duas espécies selvagens *S. spontaneum* (L.) e *S. robustum* (Brandes e Jeswiet ex Grassl) e quatro espécies cultivadas, *S. officinarum* (L.), *S. barberi* (Jeswiet), *S. sinense* (Roxb.), e *S. edule* (Hassk.) MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 2005). Mas é a *S. officinarum* a principal espécie de cana-de-açúcar cultivada, e seu cultivo se concentra em países de clima tropical, como no caso da maior parte do território brasileiro, e de clima equatorial (PENATTI, 2013).

A planta da cana-de-açúcar é conhecida principalmente por sua elevada produção de biomassa por área cultivada (ASSIS, 2018). Esta qualidade é devida à sua eficiência fotossintética, pois se trata de uma planta de ciclo C4, ou seja, é altamente eficiente em converter energia luminosa em energia química para usos da planta (HUANG; LONG; SINGH, 2016). Os fatores de solo e clima do Brasil favorecem o desenvolvimento da cultura, assim como o aprimoramento das técnicas de manejo e inovações tecnológicas associadas à cadeia sucroalcooleira (OLIVEIRA, 2016).

Entre as variações da qualidade, compreende-se que estas são influenciadas pelo clima e temperatura, bem como pela luminosidade e umidade relativa do ar e do solo, além dos fatores genéticos e fisiológicos (cultivar, idade, tamanho e sanidade das gemas) e especialmente pelos fatores fitotécnicos que abrangem as práticas agrícolas realizadas no manejo, assim como a técnica de propagação das mudas para posterior plantio em campo (SERAFIM et al., 2012).

O desenvolvimento vegetativo é favorecido por temperaturas do ar entre 25°C e 35° e a maturação (acúmulo de sacarose no colmo) ocorre com temperaturas inferiores a 18-20°C e/ou com deficiência hídrica prolongada (THOMAS, 2015). Temperaturas menores que 0°C provocam o congelamento de partes menos protegidas como folhas novas e gemas laterais do colmo, podendo levar a planta à morte (CASAGRANDE, 1991).

É uma das principais culturas agrícolas brasileiras, e extremamente versátil, tendo aplicações na fabricação de energias renováveis (etanol de primeira e segunda

geração) utilizadas como combustível, na produção do açúcar, bem como para vários outros produtos de interesse (WACLAWOSKY et al., 2010).

No Brasil a cana de açúcar é cultivada desde o século XVI e seu cultivo se expandiu pelo país, dominando a produção de açúcar e etanol, usado para consumo interno e exportação (RAMOS, 2006; FONTANETTI; BUENO, 2017). Com a criação do Plano Nacional de Produção de Álcool (Proálcool) em 1975, houve uma grande expansão do setor sucroalcooleiro, principalmente no interior paulista, colocando o Brasil como país de destaque na produção de energias renováveis (MOZAMBANI et al., 2006).

Inicialmente instalada no nordeste do Brasil, essa cultura ficou concentrada até a década de 80 nas regiões nordeste e sudeste do país, e depois com o passar do tempo, a produção se estendeu para o restante do território nacional, fazendo parte da história nacional (OLIVER, 2014).

A área destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2021/22 foi de 8.317 mil ha, atingindo uma produção de 585.179 mil t e uma produtividade de 70.357 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Ainda de acordo com a Conab, São Paulo permaneceu como o maior produtor com 51% (4.960 mil hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 11,6% (963 mil hectares), Minas Gerais com 10,2% (847 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,8% (648 mil hectares), Paraná com 6,3% (522 mil hectares), Alagoas com 3,7% (307 mil hectares) e Pernambuco com 2,6% (217 mil hectares) (Figura 1). 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).

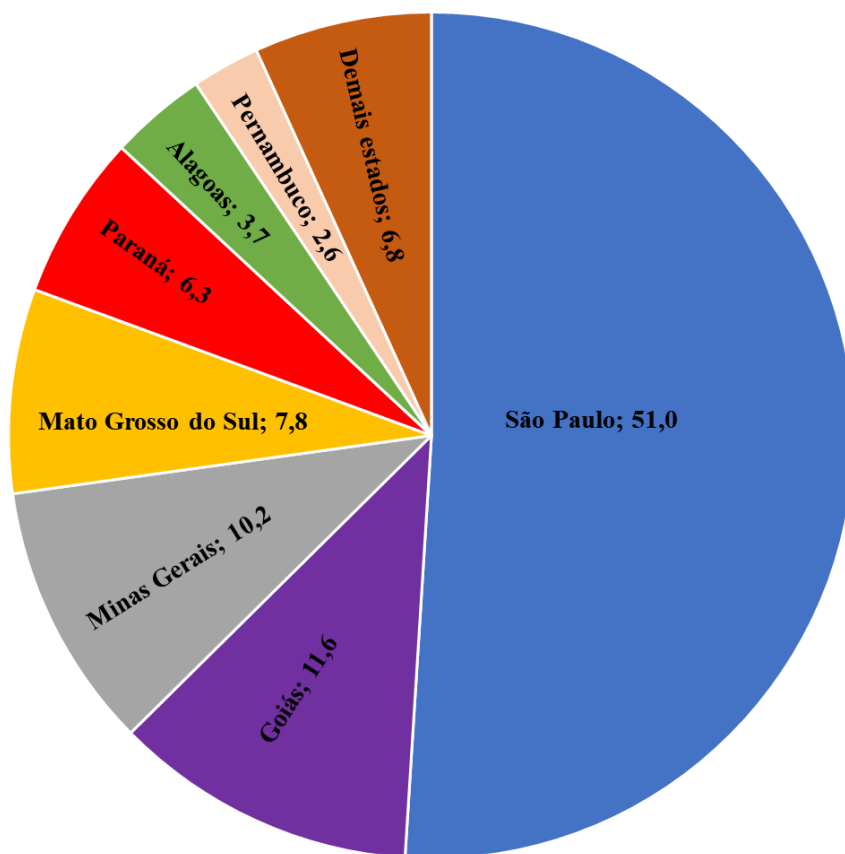


Figura 1 - Produção de cana-de-açúcar por estado federativo do Brasil em porcentagem. Fonte: Conab (2022).

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais importantes das regiões tropicais, gerando milhares de empregos e é considerada importante fonte de renda e desenvolvimento, sendo a principal matéria prima para a fabricação de açúcar, álcool e aguardente, além de ser utilizada como forrageira na forma in natura (DIOLA; SANTOS, 2012). 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).

Conforme dados da Conab (2022), na safra 2021/2022 estima-se o setor sucroenergético brasileiro tenha produzido cerca de 27 bilhões de litros de etanol, dos quais 15,32 bilhões consistem em etanol hidratado e 11,25 bilhões em anidro. Já a produção de açúcar no mesmo período foi estimada em cerca de 585 milhões de toneladas, sendo 26 milhões de toneladas destinadas à exportação, o que corresponde a cerca de 4,4% do montante total produzido.

PROPAGAÇÃO DA 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 e para reduzir o acúmulo de patógenos e melhorar a fertilidade do solo (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011; SILVA, 2017).

O momento do plantio da cana-de-açúcar é um momento imprescindível do seu cultivo agrícola, já que terá um impacto no estabelecimento, crescimento e produtividade da cultura durante o restante de seu ciclo, que normalmente é de cinco anos. Desta forma, cabe estudar as melhores práticas de cultivo e propagação que podem ser adotadas na cultura da cana-de-açúcar, influenciando no padrão de qualidade das plantas a serem colhidas e conseqüentemente a qualidade do produto a ser comercializado, podendo ser o etanol, açúcar, dentre outros (SEAPA, 2022).

Desde o início da agricultura canavieira no Brasil, o método de propagação comercial da cana-de-açúcar tem utilizado colmos ou fragmentos de colmos para o plantio. Os colmos utilizados para plantio em áreas de reforma de canaviais derivam de viveiros secundários, onde a qualidade fitossanitária e genética das mudas está sob controle, diferentemente de grande parte dos talhões comerciais, os quais não apresentam rigoroso controle de qualidade (LANDELL et al., 2012).

O estabelecimento tradicional de lavouras de cana-de-açúcar ocorre a partir da propagação vegetativa ou assexuada de segmentos do colmo denominados “toletes” (Figura 2A). No tolete de cana-de-açúcar temos a presença de nós (Figura 2B) e entrenós. Nos nós se encontram a gema (tecido meristemático), a zona radicular com primórdios radiculares, o anel de crescimento, a cicatriz da inserção da bainha da folha no colmo e a zona cerosa (THOMAS, 2015). A boa germinação depende de vários fatores, sendo que um dos principais é a reserva energética contida no colmo (LANDELL et al., 2012).

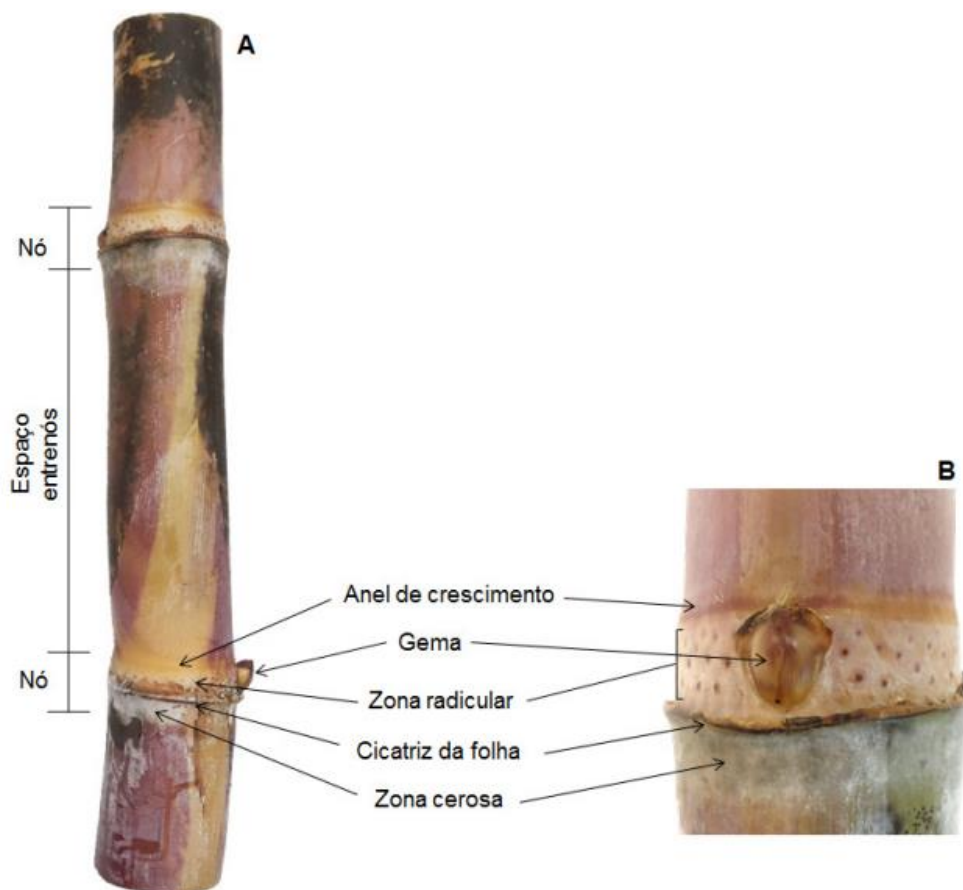


Figura 2 - A) Tolete e B) Nó do tolete de cana-de-açúcar e suas partes. Fonte: Thomas (2015).

O plantio e a propagação da cana-de-açúcar estão em constante mudança, variando desde um sistema manual, que representa um alto custo de mão de obra e a necessidade de muitos trabalhadores, por haver necessidades básicas como picar o colmo em partes menores, entre outros métodos, até um plantio mecanizado, com menos mão de obra, baixo rendimento operacional e uma maior eficiência no setor (MARTINS et al., 2016). Recentemente, foi desenvolvida a tecnologia de mudas pré-brotadas (MPB), a qual consiste em fazer o plantio de indivíduos já brotados no lugar de toletes (LUCAS et al., 2020). O sistema de MPB foi desenvolvido como objetivo de diminuir o volume de mudas e falhas, além de permitir maior controle na qualidade, tanto para controle de pragas e doenças quanto para uniformidade do canavial (LANDELL et al., 2012).

O uso de MPB tem várias vantagens, inclusive proporcionando um perfilhamento mais intenso e homogêneo, impedindo o surgimento de perfis

irregulares de resistência superficial de camada e impedindo a interferência da profundidade da planta. Desenvolvido pelo Instituto Agronômico de Campinas, o sistema MPB permite alcançar aumento de eficiência e ganho econômico na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais, expansão e renovação de áreas plantadas de cana-de-açúcar (BRAGA et al., 2019). No entanto, o sistema ainda enfrenta alguns obstáculos que retardam sua rápida expansão em áreas comerciais desde as alterações pré-comerciais, provocadas por pequenos rebolos, limitam os negócios ao estabelecimento de viveiros primários.

Uma segunda alternativa é o uso da micropropagação que é uma técnica baseada nos princípios de cultura de tecidos e que permite a obtenção plântulas livres de doenças, as quais são utilizadas para formação de viveiros primários para produção de mudas em plantios pré-comerciais (BARBOSA, 2016). Essa técnica de propagação da cana-de-açúcar por meio de meristema apical é considerada uma alternativa vantajosa para a multiplicação, devido à economia de tempo quando comparada às técnicas convencionais (VIEIRA et al., 2009).

A propagação através do meristema apical, ou micropropagação, é estabelecida quando se busca uma estratégia mais viável e bem-sucedida para produzir material livre de patógenos, ou seja, a principal vantagem é a multiplicação rápida, com a garantia de uma saúde vegetal superior (ALI et al., 2008). Além disso, tem uma taxa de multiplicação maior e gera descendência fenotípica semelhante à planta mãe, o que a torna a melhor técnica de propagação da cultura. Várias outras vantagens são observadas, como a rápida disseminação de cultivares recém-lançadas; rejuvenescimento de velhas deterioradas; fácil transporte de material de sementes; alta produtividade de cana e rendimento de açúcar (LAL et al., 2015).

Uma das técnicas com grande potencial de aplicação é a produção de sementes sintéticas formadas a partir do encapsulamento de embriões somáticos envoltos em tegumentos artificiais que são compostos por uma camada gelificante e resultam em sementes análogas às sementes naturais (BASKARAN et al., 2015). Da mesma forma como em sementes naturais, as sintéticas podem ser germinadas tanto em cultivo *in vitro* quanto no solo de ambientes externos, facilitando a produção em grande escala de mudas comerciais com um baixo custo e ainda, promovendo a possibilidade de estender o período de viabilidade das sementes ao longo do armazenamento (GHOSH; SEN, 1994).

SEMENTES SINTÉTICAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Sementes sintéticas

A propagação de plantas a partir de embriões somáticos e não-somáticos, utilizando-se a tecnologia de sementes sintéticas ou semente artificiais, é uma promissora ferramenta no âmbito da agricultura (MONDO; CÍCERO, 2008). Uma semente sintética pode ser definida como a manipulação e encapsulação de propágulos vegetais advindos da cultura de tecidos *in vitro*, facilitando assim o transporte, armazenamento e semeadura, podendo gerar uma nova planta da mesma forma que uma semente natural.

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). Uma das facilidades permitidas pelo uso de sementes sintéticas é o de transporte desse material entre laboratórios ou indústrias em decorrência da cápsula de proteção que recobre o embrião somático encapsulado em cada semente, conferindo melhores condições de manuseio e armazenamento (GANTAIT et al., (2012).

O processo de criação de sementes sintéticas foi inicialmente criado usando embriões somáticos artificialmente enclausurados em matrizes de gel para funcionar como sementes viáveis a germinação (MURASHIGE, 1978). Dessa forma, baseando-se na totipotência das células meristemáticas vegetais, é possível induzir embriões secundários de explantes oriundos de gemas apicais, extremidade de brotos e tecidos zigóticos (RAVI; ANAND, 2012).

Com o passar do tempo o processo se tornou mais abrangente e se estendeu para propágulos vegetativos não embriogênicos, como segmentos nodais, calos organogênicos e corpos semelhantes á protocormos, dando uma ênfase maior às possibilidades quanto ao armazenamento, semeadura e produção de plântula a partir dessa técnica (SHARMA, 2013). Dessa forma, é possível englobar dentro das definições todos os tipos de propágulos, como estruturas que possam ser utilizadas de forma similar a sementes botânicas (STANDARDI; PICCIONI, 1998; MONDO; CÍCERO, 2008).

O mais importante na produção dessas sementes sintéticas é que precisam ter a capacidade de sofrer conversão em planta novamente, e assim, desenvolver-se para formar um indivíduo adulto, tanto em condições *in vitro* quanto *ex vitro* após o período de armazenamento (ARA et al., 2000). Conforme Haque; Ghosh (2017), antes da formação da semente sintética ocorre a manipulação do material propagativo vegetal em cultura de tecidos *in vitro*, que formarão explantes viáveis a serem encapsulados posteriormente.

No que diz respeito à produção de propágulos embriogênicos, a embriogênese somática é um método importante para propagação *in vitro* de plantas, em larga escala. Embriogênese somática, adventícia ou assexual são termos usualmente empregados para designar o processo pelo qual células haplóides ou somáticas desenvolvem através de diferentes estádios embriogênicos dando origem a uma planta, sem que ocorra a fusão de gametas (WILLIAMS; MAHESWARAN, 1986). É um processo pelo qual as células do tecido vegetal expressam sua totipotência, sendo capazes de se dividir e se diferenciar em novos tecidos para formação de um novo indivíduo.

A cultura de embriões é o isolamento estéril e o desenvolvimento *in vitro* de um embrião imaturo ou maturo, com o objetivo de produzir uma planta viável. Esses embriões podem ser utilizados como material propagativo na formação de sementes sintéticas. Inclusive há relatos da utilização da embriogênese somática na produção de sementes sintéticas para diversas plantas ornamentais, cereais, frutíferas, medicinais e lenhosas (GUERRA et al., 2001; NIEVES et al., 2003; WEST et al., 2006; AHMAD; ANIS, 2010; SHARMA et al., 2013; SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2015b).

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). Apesar de ser uma tecnologia promissora na propagação de plantas, a sua produção e utilização estão limitadas ao ambiente *in vitro*, à conservação a curto prazo e a criopreservação (SHARMA et al., 2013).

O encapsulamento de células e tecidos vegetais para produção de sementes sintéticas é a melhor tecnologia para fornecer multiplicação vegetal, conservação a curto prazo e troca de germoplasma (AHMAD et al., 2012; MAHFELI et al., 2022). Vários são os métodos empregados para a produção de sementes sintéticas, sendo,

o de maior aplicação a gelificação ionotrópica em alginato de sódio por íons de cálcio (SILVA et al., 2015a). O revestimento de alginato é capaz de fornecer a proteção ideal para explantes gerados *in vitro* ou *in vivo*.

Na realização do encapsulamento, os explantes ou embriões selecionados na cultura de tecido são misturados em soluções de alginato de sódio e passam por uma etapa de complexação, em que gotículas de alginato com explantes individuais são liberadas em solução cloreto de cálcio (CaCl_2). Essas gotículas são embebidas por 20 a 30 minutos na solução salina para formar cápsulas, chamadas de sementes sintéticas (MAHFELI et al., 2022). Uma variação interessante da técnica foi de cápsula dupla proposta por Patel et al. (2000), que consiste em suspender o material vegetal em solução de carboximetilcelulose e realizar a complexação em CaCl_2 sobre uma solução de alginato de sódio em agitação, que forma uma cápsula com matriz interna líquida.

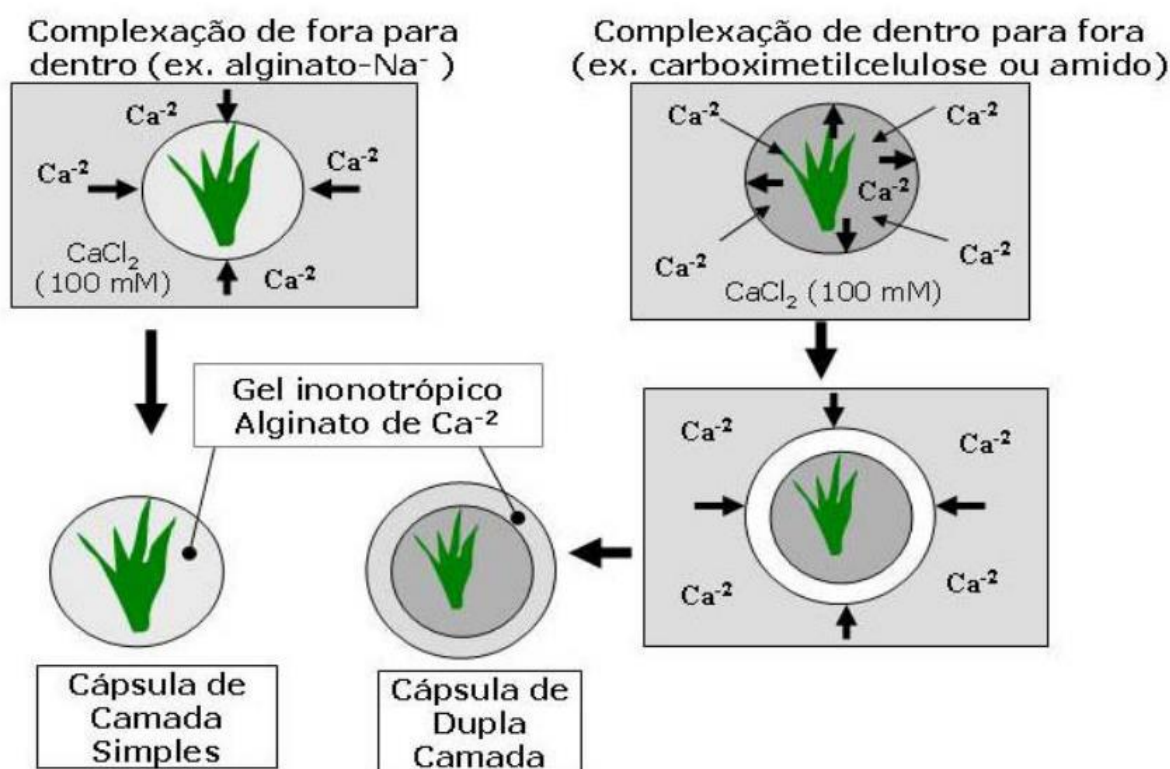


Figura 3 - Representação esquemática da formação de camada simples x dupla camada na formação do gel ionotrópico de alginato de cálcio. Fonte: Luiz (2007).

A matriz de alginato pode ser enriquecida com substâncias nutritivas e reguladores vegetais, com intuito de melhorar a germinação e reservas das sementes sintéticas, servindo como uma espécie de endosperma artificial (Figura 4). 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). Assim, é necessário realizar pesquisas que comparem as concentrações de alginato para a geração de sementes sintéticas viáveis nas mais diversas culturas existentes.

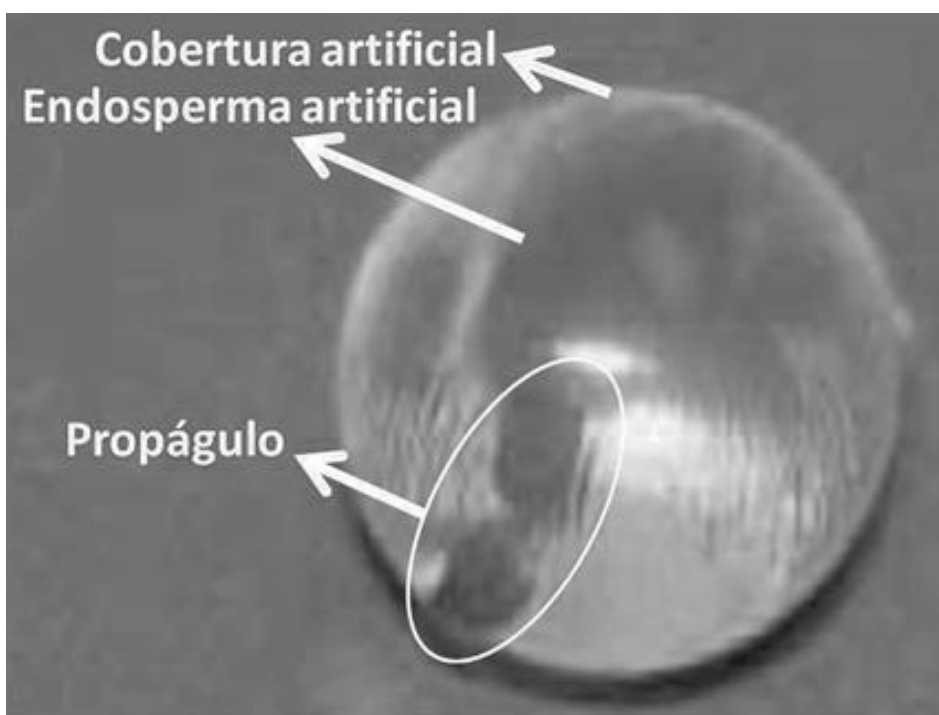


Figura 4 - Semente sintética e suas partes. Fonte: Mondo; Cícero (2008).

O processo de conversão da semente sintética em plântula está intrinsecamente relacionado à composição da matriz de encapsulamento que outrora abrigava a semente sintética, influenciando no sucesso da formação dos brotos e raízes do embrião somático (PRAKASH et al., 2018), além é claro do tamanho do embrião somático, pois esta característica irá implicar no desenvolvimento das mudas e plantas (IQBAL; MÖLLERS, 2019).

Produção e perspectivas de sementes sintéticas de cana-de-açúcar

A embriogênese somática para cana-de-açúcar é um processo bem descrito e foi primeiramente relatado há mais de 37 anos (AHLOOWALIA; MARETZKI, 1983; HO; VASIL, 1983). O fato da embriogênese somática ser um processo viável na cultura da cana-de-açúcar, dentro da tecnologia de cultivo *in vitro*, que já são documentados em diversos trabalhos de pesquisa da cultura (SUPRASANNA et al., 2011; REIS et al., 2016; HERINGER et al., 2017; PASSAMANI et al., 2018; EFFERTH, 2019; PASSAMANI et al., 2020), dão um horizonte a sonhar para o desenvolvimento e otimização de protocolos para criação de sementes sintéticas de cana-de-açúcar.

Estão sendo estudadas técnicas para produção de sementes sintéticas para cana-de-açúcar, mas até o momento, a maioria dos estudos não demonstraram viabilidade do processo. 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). Apesar disso, há otimismo na busca pela solução desse problema, ainda mais pelo fato da cana-de-açúcar ser uma grande candidata para desenvolvimento dessas técnicas. Principalmente pelo fato de ser uma cultura que não apresenta sementes viáveis, por conta de sua baixa taxa de germinação e apresenta também um ciclo vegetativo longo, se encaixando entre as culturas de interesse da técnica.

Um dos esforços observados em tirar do papel essa tecnologia e levá-la para o campo, foi anunciado em 2008 pela Syngenta, com a ideia de chegar ao mercado no início do ano de 2010, conhecida como Plene®. A fim de implementar este método, era cultivada uma única gema de cana-de-açúcar, revestida com polímeros de crescimento como fertilizantes, micróbios e reguladores de plantas (ARAMAKI et al., 2017). Essa tecnologia prometia aumentar a produtividade entre 5 e 10%, porém um ano depois, a empresa precisou retirar o produto do mercado por falhas na produção industrial em grandes volumes, acarretando um prejuízo de milhões de dólares (VALOR, 2014; HASNER et al., 2016).

Em 2014 a Syngenta firmou um acordo de licenciamento com a canadense New Energy Farms para produzir gemas encapsuladas de cana-de-açúcar para plantio no Brasil, uma tecnologia denominada CEEDS, que pretendia ser lançado na safra de

2016/2017 (HASNER et al., 2016), o que até o presente momento ainda não ocorreu oficialmente. Após repaginar o projeto, em 2019 a Syngenta apresentou a tecnologia Plene Emerald (Figura 5). Conforme (CORASSARI, 2019), esta tecnologia consiste em uma semente artificial de cana-de-açúcar constituída por cápsulas que, em seu interior, apresentam alguns propágulos vegetativos protegidos de danos físicos e de perda de umidade.



Figura 5 - Semente sintética Plene Emerald promete simplificar o sistema de plantio da cana-de-açúcar. Fonte: CanaOnline (2019).

A tecnologia foi apresentada após um teste com o plantio de 45 implantados em 2018 e que em 2019, em sua primeira colheita, apresentaram produtividade da cana de 14 meses que era de 123 t ha^{-1} , mas atingiu a marca de 152 t ha^{-1} (CANAONLINE, 2019). Outro fato animador foi a possibilidade da realização do plantio de cana-de-açúcar tal qual o de grãos. Novos testes seguem em andamento e a empresa planeja para o ano de 2023, a consolidação da tecnologia e produção em larga escala.

Outra instituição que vêm se dedicando ao desenvolvimento de sementes sintéticas de cana-de-açúcar é Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), que iniciou em 2011 o projeto de desenvolvimento do produto, mas “ganhou corpo” há cerca de quatro anos, quando houve uma validação da parte biológica (NOVACANA, 2023). O

CTC trabalha no desenvolvimento dessa nova tecnologia de plantio, baseado no uso de sementes de cana, obtidas por técnicas de clonagem *in vitro*, onde células da variedade selecionada de cana-de-açúcar são estimuladas a se multiplicarem e posteriormente encapsuladas em endosperma sintético (Figura 6) (CTC, 2023).

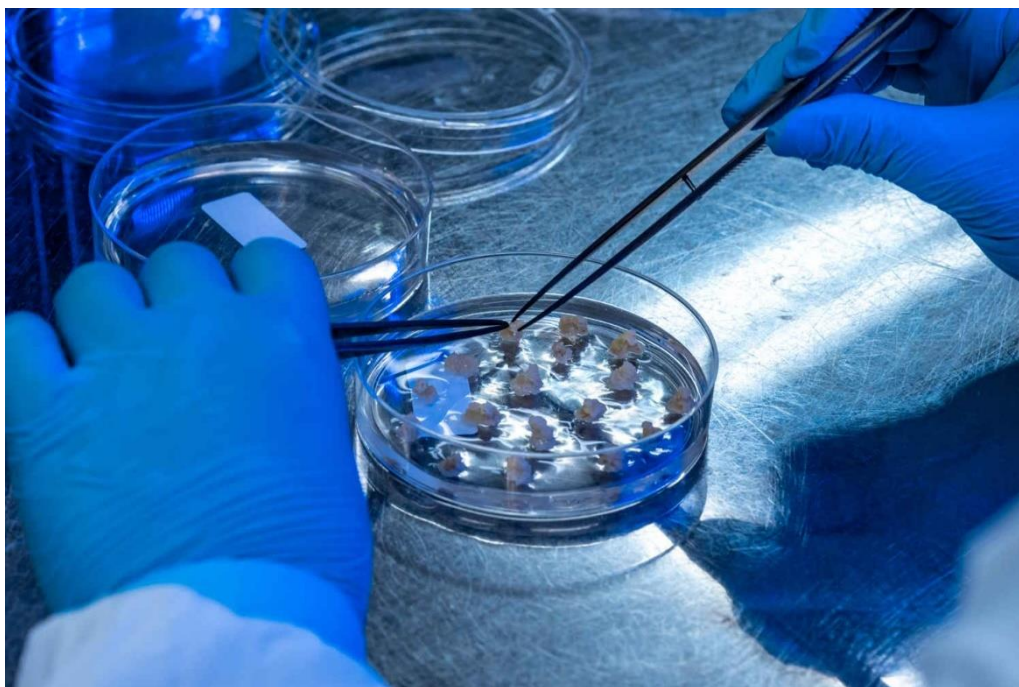


Figura 6 - Produção de sementes sintéticas pela CTC. Fonte: NovaCana (2023).

Espera-se que o projeto saia do papel em um período muito breve e conta com otimismo na otimização do plantio da cultura, principalmente reduzindo o volume de material propagativo a ser levado a campo, sendo semeado similarmente a uma semente comum. Esta tecnologia proporcionará diversos benefícios, como elevadas taxas de multiplicação, diminuição de custos de produção, sanidade do material genético, simplificação operacional, aumento da eficiência de plantio e liberação da área de viveiros para plantio comercial (CTC, 2023).

Os principais problemas por trás da demora para desenvolvimento dessa tecnologia podem estar ligada diretamente ao desenvolvimento endosperma sintético para encapsulamento, ao qual ainda não se encontrou as características físicas e químicas ideais para promover uma boa germinação, tal qual ocorre com as sementes naturais vigorosas. Este aspecto é importante, pois em alguns casos, a dureza excessiva da cápsula impede ou dificulta a conversão dos embriões em plantas, assim como a ausência de nutrientes ou substâncias necessárias a indução da germinação

no endosperma sintético (MONGO; CÍCERO, 2008). O endosperma de uma semente é composto de nutrientes inorgânicos e orgânicos, agentes protetores e outros componentes que podem ser analisados qualitativa e quantitativamente para produzir sementes artificiais, simulando de forma precisa as condições ideais de uma semente natural vigorosa.

As sementes sintéticas são criadas encapsulando embriões somáticos, gemas, ápices de caule ou qualquer outro tecido meristemático que tenha a capacidade de imitar uma semente e se desenvolver em uma planta típica em um ambiente *in vitro* ou *ex vitro*. A cápsula é a responsável pela proteção e a disponibilização de nutrientes para o explante, facilitando o crescimento e sobrevivência do material e possibilitando sua germinação (SINGH et al., 2010). A composição utilizada para criar a cápsula tem um impacto significativo no sucesso da micropropagação utilizando sementes sintéticas.

A busca pela obtenção de sementes sintéticas possui alguns gargalos e com a cana-de-açúcar não é diferente. A variação somaclonal em alguns métodos de propagação em massa precisa ser amplamente estudada e superada, a fim de obter resultados próximos a 100% de monomorfismo entre os clones (GANTAIT et al., 2022). Sobre fatores genéticos, o aparecimento de plântulas mutantes também é relatado na literatura (SILVA et al, 2015a).

Outro problema é que partindo do pressuposto da utilização da embriogênese somática, deve-se levar em conta que esse processo também possui problemas comuns na produção de sementes sintéticas. A germinação prematura é um problema em embriogênese somática, resultando na conservação e a germinação de embriões somáticos pouco controláveis (MONDO; CÍCERO, 2008). Em cápsulas de hidrogel de alginato contendo embriões somáticos, alguns desses problemas, ligados ao período de armazenamento longo ocorrem por causa da germinação indesejada durante a conservação (Gray et al., 1987).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de sementes sintéticas de cana-de-açúcar mostra-se uma tecnologia promissora no que diz respeito a melhorar taxas de multiplicação de propágulos, diminuição de custos de produção, sanidade do material genético, simplificação operacional, aumento da eficiência de plantio e liberação da área de viveiros para plantio comercial. Porém apesar das boas perspectivas e características favoráveis da planta ao processo, essa tecnologia ainda não se encontra presente no mercado.

Essa tecnologia promete revolucionar a cadeia sucroalcooleira, oferecendo maior facilidade e logística ao processo de plantio, além da redução de custos. Estudos futuros se fazem necessários para avaliação da consolidação ou não dessa tecnologia no mercado.

REFERÊNCIAS

AHLOOWALIA, B.; MARETZKI, A. Plant regeneration via somatic embryogenesis in sugarcane. **Plant Cell Reports**, v. 2, n. 1, p. 21-25, 1983.

AHMAD, N.; FAISAL, M.; FATIMA, N.; ANIS, M. Encapsulation of microcuttings for propagation and short-term preservation in *Ruta graveolens* L.: a plant with high medicinal value. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 2303-2310, 2012.

AHMAD, N.; ANIS, M. Direct plant regeneration from encapsulated nodal segments of *Vitex negundo*. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v.54, n.4, p.748-752, 2010.

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.

ARA, H.; JAISWAL, U.; JAISWAL, V. S. Synthetic seed: prospects and limitations. **Current science**, p. 1438-1444, 2000.

BARBOSA, V. F. A de M. Plantio de cana-de-açúcar. In: SANTOS, F., BORÉM, A. **Cana-de-açúcar do plantio a colheita**. Viçosa. UFV, 2016. 290 p.

BRAGA, N. C.; SEVERIANO, E. C.; SANTOS, L. S.; RÚBIO NETO, A.; RODRIGUES, T. M.; LIMA, J. D. P. Production of sugarcane seedlings pre-sprouted in commercial and alternative substrates with byproducts of the sugarcane industry. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1., p. 33-48, 2019.

CANAONLINE. Semente artificial de cana Plene Emerald já foi plantada em 45 hectares e em janeiro de 2020 terá seu lançamento pré-comercial. 2019. Disponível em: < <http://www.canaonline.com.br/conteudo/semente-artificial-de-cana-plene-emerald-ja-foi-plantada-em-45-hectares-e-em-janeiro-de-2020-tera-seu-lancamento-pre-comercial.html>>. Acesso em: 09 de mar de 2023.

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

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, v. 8 – Safra 2021/22, n. 4- Quarto levantamento, 2022.

CORASSARI. **Syngenta lança tecnologia que promete revolucionar o sistema**. 2019. Disponível em: <<http://www.gtacc.com.br/revista/62a-edicao/syngenta-lanca-tecnologia-que-promete-revolucionar-o-sistema#:~:text=Trata%2Dse%20do%20Plene%20Emerald,e%20de%20perda%20de%20umidade>>. Acesso em: 09 de mar de 2023.

CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. **Sementes de cana**. 2023. Disponível em: <<https://ctc.com.br/sementes-de-cana/>>. Acesso em: 22 de fev de 2023.

DAS, M. C.; DEVI, S. D.; KUMARIA, S.; REED, B. M. Looking for a way forward for the cryopreservation of orchid diversity. **Cryobiology**, v. 102, p. 1-14, 2021.

DIOLA, V.; SANTOS, F. **Fisiologia**. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed). Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas. Viçosa-MG. ed. 2. p. 25-49, 2012.

EFFERTH, T. **Biotechnology applications of plant callus cultures**. Engineering 5: 50–59 p. 2019.

FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - Divisão de Estatística). **Dados de produção e colheita**. 2023. Disponível: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>> Acesso: agosto, 2021.

FONTANETTI, C.S.; BUENO, O.C. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, 2017.

GANTAIT, S.; BUSTAM, S.; SINNI AH, U. R. Alginate-encapsulation, short-term storage and plant regeneration from protocorm-like bodies of Aranda Wan Chark Kuan 'Blue'× Vanda coerulea Griff. ex. Lindl.(Orchidaceae). **Plant Growth Regulation**, v. 68, n. 2, p. 303-311, 2012.

GANTAIT, S.; SUBRAHMANYESWARI, T.; SINNI AH, U. R. Leaf-based induction of protocorm-like bodies, their encapsulation, storage and post-storage germination with

genetic fidelity in Mokara Sayanx Ascocenda Wangsa gold. **South African Journal of Botany**, v. 150, p. 893-902, 2022.

GUERRA, M.P.; DAL VESCO, L.; DUCROQUET J. P.H.J.; NODARI, R.O.; REIS, M.S. Somatic embryogenesis in goiabeira serrana: genotype response, auxinic shock and synthetic seeds. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v.13, n.2,p.117-128, 2001.

HAQUE, S. M.; GHOSH, B. Regeneration of cytologically stable plants through dedifferentiation, redifferentiation, and artificial seeds in *Spathoglottis plicata* Blume.(Orchidaceae). **Horticultural Plant Journal**, v. 3, n. 5, p. 199-208, 2017.

HASNER, C.; WINTER, E.; RODRIGUES, R. C. Estudo sistematizado para seleção de termos de busca para propagação vegetativa de cana-de-açúcar. **Cadernos de Prospecção**, v. 9, n. 4, p. 452, 2016.

HENDRE, R.R.; IVER, R.S.; KOTWAL, M.; KHUSPE, S.S.; MASCARENHAS, A.F. Rapid multiplication of sugarcane by tissue culture. **Sugar Cane**, v.1, p.5-8, 1983.

HERINGER, A. S.; REIS, R. S.; PASSAMANI, L. Z.; DE SOUZA-FILHO, G. A.; SANTA-CATARINA, C.; SILVEIRA, V. Comparative proteomics analysis of the effect of combined red and blue lights on sugarcane somatic embryogenesis. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 2, p. 52, 2017.

HO, W.-J.; VASIL, I. K. Somatic embryogenesis in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) I. The morphology and physiology of callus formation and the ontogeny of somatic embryos. **Protoplasma**, v. 118, n. 3, p. 169-180, 1983.

HUANG, H.B.; LONG, S.; SINGH, V. Techno-economic analysis of biodiesel and ethanol co-production from lipid-producing sugarcane. **Biofuels Bioproducts & Biorefining**, Hoboken, v. 10, p. 299-315, 2016.

IQBAL, M. C. M.; MÖLLERS, C. Towards artificial seeds from microspore derived embryos of *Brassica napus*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 139, n. 2, p. 207225, 2019.

KAUR, A.; SANDHU, J.S. High throughput *in vitro* micropropagation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) from spindle leaf roll segments: Cost analysis for agribusiness industry. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.120, n.1, p.339-350, 2015.

LAL, M., TIWARI, A. K., GUPTA, G. N. Commercial scale micropropagation of sugarcane: constraints and remedies. **Sugar Tech**, v. 17, n. 4, p. 339-347, 2015.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. V. A.; 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. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, v. 17, 2012.

LEE, K. Y.; MOONEY, D. J. Alginate: properties and biomedical applications. **Progress in polymer science**, v. 37, n. 1, p. 106-126, 2012.

LUCAS, L. S.; PEREIRA, J. C. S.; ALVES, D. F.; SILVA, M. M.; XAVIER, E. G. Crescimento de minirrebolos de cana-de-açúcar sob doses de ácido indolbutírico e ácido giberélico. **Científic@ Multidisciplinary Journal**, v. 8, n. 2, p. 1-12, 2020.

MAHFELI, M.; MINAEI, S.; FADAVI, A.; DAYLAMI, S. D. Precision measurement of physical properties of orchid synthetic seeds produced under various encapsulation conditions using Image J platform. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 187, p. 115364, nov. 2022.

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* 30 L.(shrubby basil), and *O. Sanctum*. L. (sacred basil). **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 36, n. 4, p. 287-292, 2000.

MARTINS, M. T. B.; SOUZA, W. R.; CUNHA, B. A. D. B.; BASSO, M. F.; OLIVEIRA, N. G.; VINECKY, F.; MARTINS, P. K.; OLIVEIRA, P. A.; ARENQUE-MUSA, B. C.; SOUZA, A. P.. Characterization of sugarcane (*Saccharum* spp.) leaf senescence:

implications for biofuel production. **Biotechnology For Biofuels**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-17, 22 jul. 2016.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A.A.F.; ARIZONO, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora da UFV, 2005. p. 225-274.

MONDO, V. H. V.; CICERO, S. M. Aspectos sobre a tecnologia de sementes sintéticas. **Informativo Abrates**, v. 18, n. 3, p. 23-29, 2008.

MORAES, E. R.; AGUILAR, A. S.; MACHADO, D. L. M.; CAMPOS, A. M. D.; ASMAR, S. A.; LUZ, J. M. Q.. Micropropagação da cana-de-açúcar. **Colloquium Agrariae**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 322-338, 1 jun. 2017.

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.

NASCIMENTO, T. R. do; NASCIMENTO, R. de C.; OLIVEIRA, K. G. de; ESCOBAR, I. E. C.; SIMOES, W. L.; FERNANDES JUNIOR, P. I.. **Caracterização fenotípica de bactérias Diazotróficas Endofíticas isoladas da cana-de-açúcar cultivada em Juazeiro, BA**. In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro, 4., 2015, Petrolina. Experiências e oportunidades para o desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015.

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**, Dordrecht, v.75, n. 3, p.279-282, 2003.

NOCELLI, R. C. F.; ZAMBOM, V.; SILVA, O. G. M.; MORINI, M. S. C. **Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica**. Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica, p. 13, 2017.

NOVACANA. **Semente sintética é aposta do CTC para revolucionar o setor de cana-de-açúcar**. 2023. Disponível em: <

<https://www.novacana.com/noticias/semente-sintetica-aposta-ctc-revolucionar-setor-cana-de-acucar-190123>>. Acesso em: 22 de fev de 2023.

OLIVER, R. **Interação entre bactérias diazotróficas e doses de n-fertilizante na cultura da cana-de-açúcar**. 2014. 61 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2014.

PASSAMANI, L. Z.; BERTOLAZI, A. A.; RAMOS, A. C.; SANTA-CATARINA, C.; THELEN, J. J.; SILVEIRA, V. Embryogenic Competence Acquisition in Sugar Cane Callus Is Associated with Differential H⁺-Pump Abundance and Activity. **Journal of Proteome Research**, v. 17, n. 8, p. 2767-2779, 2018.

PASSAMANI, L. Z.; REIS, R. S.; VALE, E. M.; SOUSA, K. R.; ARAGÃO, V. P. M.; SANTA-CATARINA, C.; SILVEIRA, V. Long-term culture with 2,4dichlorophenoxyacetic acid affects embryogenic competence in sugarcane callus via changes in starch, polyamine and protein profiles. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 140, n. 2, p. 415-429, 2020.

PRAKASH, A. V.; NAIR, D. S.; ALEX, S.; SONI, K. B.; VIJI, M. M.; REGHUNATH, B. R. Calcium alginate encapsulated synthetic seed production in *Plumbago rosea* L. for germplasm exchange and distribution. **Physiology and molecular biology of plants**, v. 24, n. 5, p. 963971, 2018.

RAMOS, E. A. P. **Comportamento da cana de açúcar, cultivar SP79-1 011, submetida a diferentes épocas de plantio em duas condições edafoclimáticas**. 2006. 63 f. Dissertação de (Mestrado) - Areia: PB, 2017.

RAVI, D.; ANAND, P. Production and applications of artificial seeds: a review. **International Research Journal Biology and Science**, v. 1, n. 5, p. 74-78, 2012.

REIS, R. S.; DE MOURA, V. E.; HERINGER, A. S.; SANTA-CATARINA, C.; SILVEIRA, V. Putrescine induces somatic embryo development and proteomic changes in embryogenic callus of sugarcane. **Journal of proteomics**, v. 130, p. 170-179, 2016.

SANTOS, T.C. **Propagação e conservação *in vitro* de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty)**. 2011. 59f. TCC (Bacharel em Ciências Biológicas) –, Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2011.

SHARMA, S., SHAHZAD, A., SILVA, J. A. Teixeira. Synseed technology—a complete synthesis. **Biotechnology advances**, v. 31, n. 2, p. 186-207, 2013.

SILVA, J. A. T.; CARDOSO, J. C.; DOBRÁNSZKI, J.; ZENG, S. Dendrobium micropropagation: a review. **Plant cell reports**, v. 34, n. 5, p. 671-704, 2015a.

SILVA, J.A.; ZENG, S.; GALDIANO JÚNIOR, R.F.; DOBRÁNSZKI, J.; CARDOSO, J.C.; VENDRAME, W.A. *In vitro* conservation of Dendrobium germplasm. **Plant Cell Reports**, Berlin, v.33, n.9, p.1413-1423, 2014.

SILVA, M. L.; PINTO, D. L. P.; GUERRA, M. P.; LANII, E. G.; CARVALHO, I. F.; ROSSI, A. A. B.; OTONI, W. C. Produção de sementes sintéticas de maracujazeiro silvestre com potencial ornamental. **Ornamental Horticulture**, v. 21, n. 3, p. 331-338, 2015b.

SINGH, S. K.; RAI, M. K.; ASTHANA, P.; SAHOO, L. Alginate-encapsulation of nodal segments for propagation short-term conservation and germoplasma exchange and distribution of *Eclipta alba* (L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, v.32, p.607-610, 2010.

SOARES, A. C. S. **Encapsulamento de plantas: sementes sintéticas em orquídeas**, 2022. 59f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia/ Núcleo em Pós-Graduação em Biotecnologia) –, São Cristóvão, Sergipe. 2022. 34 f.

SUPRASANNA, P.; PATADE, V.; DESAI, N.; DEVARUMATH, R.; KAWAR, P.; PAGARIYA, M.; GANAPATHI, A.; MANICKAVASAGAM, M.; BABU, K. Biotechnological developments in sugarcane improvement: an overview. **Sugar Tech**, v. 13, n. 4, p. 322-335, 2011.

THOMAS, A. L. **Desenvolvimento das plantas de batata, mandioca, fumo e cana-de-açúcar**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 54-76.

THORPE, T. History of plant tissue culture. **Methods in Molecular Biology**, Totowa, v.877, p.9-27, 2012.

VALOR. **Novas tecnologias buscam modernizar o plantio de cana**. 2014. Disponível em: <<http://alfonsin.com.br/novas-tecnologias-buscam-modernizar-o-plantio-de-cana/>> Acesso em: 22 de fev 2023.

VIEIRA, R. A.; SILVA, C. M.; SOUTO, E. R.; HATA, F. T.; MACHADO, M. F. P. S.; MARCUZ, F. S. Diferentes concentrações de 6-Benzilaminopurina e cinetina na micropropagação *in vitro* de variedades RB867515 e RB855156 de cana-de-açúcar. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 4, n. 1, p. 122-126, 2009.

WCZASSEK, L. R.; CARLIN, S. D.; LANDELL, M. G. A.; GAMBERINI, M. T. Dopaminergic, cholinergic and nitrinergic pathways implicated in blood pressure lowering effects of *Saccharum officinarum* L. (Sugarcane) on rats. **Phytomedicine Plus**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 100238, 2022.

WEST, T. P.; RAVINDRA, M. B.; PREECE, J.E. Encapsulation, cold storage, and growth of *Hibiscus moscheutos* nodal segments. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 87, n. 3, p. 223-231, 2006.