

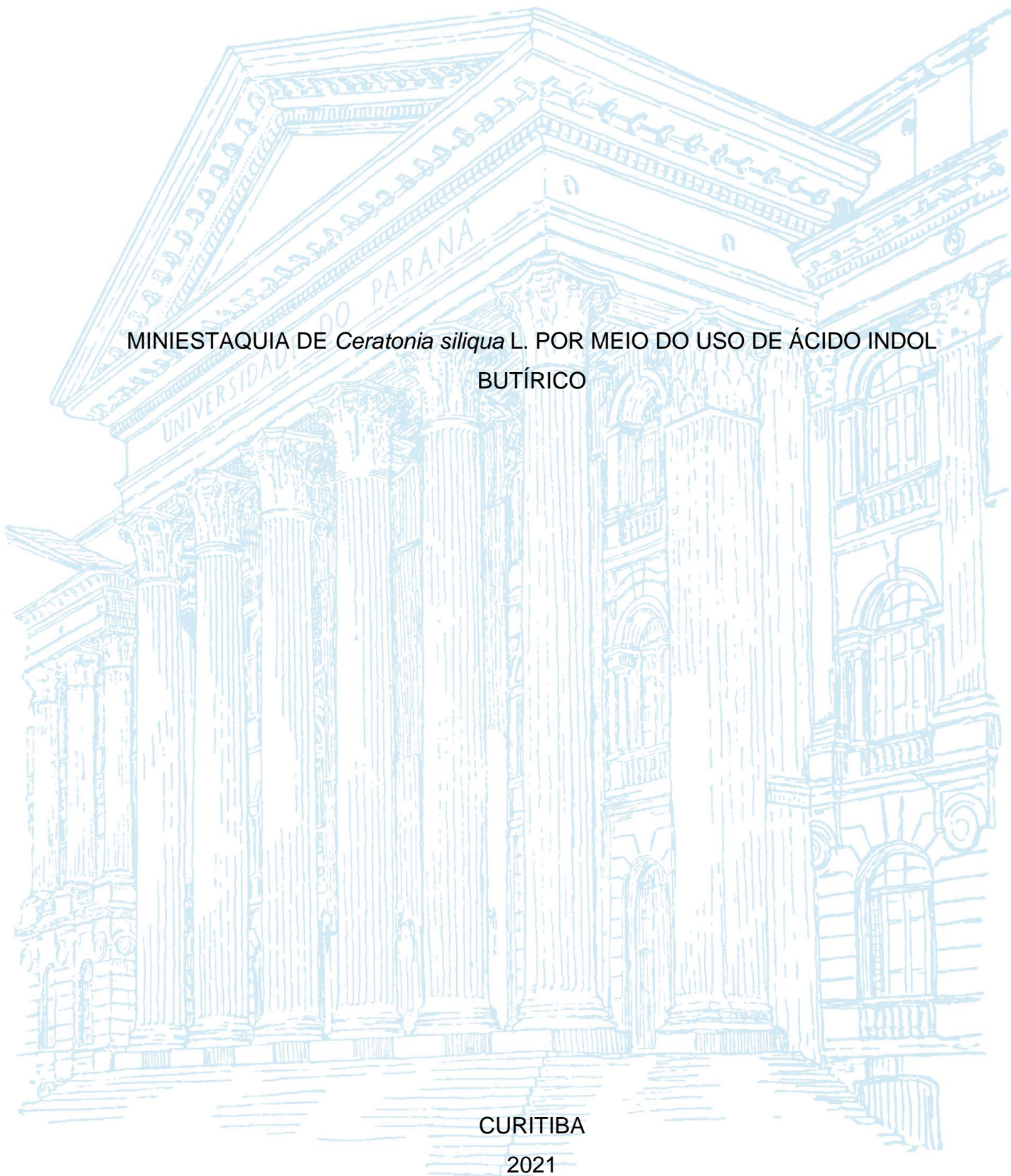
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MONIQUE ABE SCHILLER

MINIESTAQUIA DE *Ceratonia siliqua* L. POR MEIO DO USO DE ÁCIDO INDOL
BUTÍRICO

CURITIBA

2021



MONIQUE ABE SCHILLER

MINIESTAQUIA DE *Ceratonia siliqua* L. POR MEIO DO USO DE ÁCIDO INDOL
BUTÍRICO

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Ciências Biológicas, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Katia Christina Zuffellato-Ribas

Co-orientador: M. Sc. Leandro Porto Latoh

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e a família, pelo suporte em todos momentos.

Agradeço à Professora Dra. Katia Christina Zuffellato-Ribas pela orientação e incentivo, com paciência e dedicação.

Agradeço ao co-orientador M. Sc. Leandro Porto Latoh pela colaboração e ensinamentos valiosos.

Agradeço aos colegas do Grupo de Estudo e Pesquisa em Estaquia, pela disponibilidade de sempre ajudar, em especial à Sofia Foladori Inverzzini, por introduzir e ensinar com disposição o trabalho desenvolvido no Laboratório de Macropropagação Vegetal.

Agradeço também à Professora Dra. Luciana Lopes Fortes Ribas por disponibilizar equipamentos de medição no Laboratório de Micropropagação Vegetal para realização dos experimentos.

Agradeço aos professores e à Universidade Federal do Paraná pelas oportunidades fornecidas.

RESUMO

Ceratonia siliqua L. (Fabaceae), conhecida popularmente como alfarrobeira, é uma espécie de grande importância econômica para a indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética, devido aos extratos obtidos das vagens como a farinha da polpa, rica em açúcares e isenta de cafeína, e a goma da semente, que atua como aditivo natural espessante, emulsificante e estabilizante. Para sua produção comercial em larga escala, diversas técnicas de propagação vegetal são utilizadas, principalmente por meio da germinação de sementes, enxertia e estaquia. No entanto, há obstáculos em seu cultivo, pois a propagação por semente, que é recalcitrante com dormência tegumentar, impossibilita a sexagem e a seleção de genótipos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi verificar o sucesso da propagação vegetativa via miniestaquia de *C. siliqua* durante as estações de outono (experimento I) e primavera (experimento II) de 2021, utilizando quatro concentrações de ácido indol butírico (IBA) (0, 1000, 2000 e 3000 mg L⁻¹) dissolvidas em solução 50% hidroalcoólica. Os experimentos seguiram a mesma metodologia e cada ensaio foi conduzido num delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições de 20 miniestacas por unidade experimental, totalizando 320 miniestacas por estação. Decorridos 90 dias em casa de vegetação, para o experimento I, foi observado que a taxa de enraizamento variou de 1,3% (0 mg L⁻¹) para 13,8% (1000 mg L⁻¹), até o máximo de 23,8% (2000 mg L⁻¹), seguido de uma redução na concentração de 3000 mg L⁻¹ (16,3%). No experimento II, a taxa de miniestacas enraizadas não diferiu significativamente entre os tratamentos, variando de 37,5% (0 mg L⁻¹ IBA) a 42,5% em 2000 mg L⁻¹ de IBA. O maior comprimento médio das raízes para a estação do outono também ocorreu com 2000 mg L⁻¹ IBA, atingindo 7,1 cm, enquanto que para a estação da primavera, as médias não diferiram significativamente entre os tratamentos, variando de 2,95 cm à 4,16 cm. Para os dois experimentos a taxa de mortalidade se manteve abaixo de 3,4% e o maior número médio de raízes por miniestaca (3,8 e 5,3) ocorreu na concentração de 3000 mg L⁻¹ de IBA. A maior porcentagem de miniestacas com novas brotações, para o experimento I foi de 31,3% em 3000 mg L⁻¹ de IBA, enquanto que para o experimento II atingiu 62,5% em 1000 mg L⁻¹ de IBA. Em todos tratamentos de ambos os experimentos, a presença de calos foi inexistente e a taxa de miniestacas com folhas originais atingiu valores acima de 96%. Estes resultados demonstraram que a técnica de propagação vegetal por meio da miniestaquia é viável para a alfarrobeira, sendo a concentração de 2000 mg L⁻¹ IBA e a coleta de miniestacas durante a estação da primavera, mais adequadas ao desenvolvimento da rizogênese desta espécie.

Palavras-chave: Propagação vegetativa. Enraizamento. Alfarrobeira. Auxina. Rizogênese.

ABSTRACT

Ceratonia siliqua L. (Fabaceae), popularly known as carob tree, is a species of great economic importance for the food, pharmaceutical and cosmetic industries, due to extracts obtained from the pods, such as the pulp flour, rich in sugars and free of caffeine, and the seed gum, which acts as a natural thickening, emulsifying and stabilizing additive. For its commercial production on a large scale, several plant propagation techniques are used, mainly through seed germination, grafting and cuttings. However, faces obstacles in its cultivation, since the propagation by seed, which is recalcitrant with tegumentary dormancy, makes sexing and genotype selection impossible. Thus, the objective of the present work was to verify the success of vegetative propagation via mini-cutting of *C. siliqua* during the autumn (experiment I) and spring (experiment II) 2021 seasons, using four concentrations of indole butyric acid (IBA) (0, 1000, 2000 and 3000 mg L⁻¹) dissolved in 50% hydroalcoholic solution. The experiments followed the same methodology and each trial was conducted in a completely randomized design with four replications of 20 mini-cuttings per experimental unit, totaling 320 mini-cuttings in each season. After 90 days in the greenhouse, for experiment 1, it was observed that the rooting rate varied from 1.3% (0 mg L⁻¹) to 13.8% (1000 mg L⁻¹) up to a maximum of 23.8% (2000 mg L⁻¹), followed by a reduction in concentration of 3000 mg L⁻¹ (16.3%). In experiment II, the rooted mini-cutting rate did not differ significantly between treatments, ranging from 37.5% (0 mg L⁻¹ IBA) to 42.5% in 2000 mg L⁻¹ IBA. The highest average length of roots for the autumn season also occurred with 2000 mg L⁻¹ IBA, reaching 7.1 cm, while for the spring season, the averages did not differ significantly between treatments, ranging from 2.95 cm to 4.16 cm. For both experiments, the mortality rate remained below 3.4% and the highest average number of roots per mini-cutting (3.8 and 5.3) occurred at the concentration of 3000 mg L⁻¹ of IBA. The highest percentage of mini-cuttings with new sprouting, for experiment I was 31.3% in 3000 mg L⁻¹ of IBA, while for experiment II it reached 62.5% in 1000 mg L⁻¹ of IBA. In all treatments of both experiments, the presence of calluses was non-existent and the rate of mini-cuttings with original leaves reached values above 96%. These results showed that the plant propagation technique through mini-cutting is viable for carob, being the concentration of 2000 mg L⁻¹ IBA and the selection of mini-cuttings during the spring season the most suitable choices for the development of the rhizogenesis of this species.

Keywords: Vegetative propagation. Rooting. Carob tree. Auxin. Rhizogenesis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FIGURA 1: CONFECÇÃO DE PROPÁGULO DE <i>C. siliqua</i> L. (A); EXPERIMENTO EM CONDUÇÃO (B); MINIESTACA ENRAIZADA (C), CURITIBA-PR.....	19
FIGURA 2 – FIGURA 2 : MINIESTACAS ENRAIZADAS: (A) EXPERIMENTO I (OUTONO); (B) EXPERIMENTO II (PRIMAVERA), CURITIBA- PR.....	23

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 1 – MINIESTACAS ENRAIZADAS (ME), NÚMERO DE RAÍZES (NR) E COMPRIMENTO MÉDIO DE RAÍZES (CM) DE *Ceratonía siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) EM EXPERIMENTO I, OUTONO 2021, CURITIBA-PR.....21
- GRÁFICO 2 – MINIESTACAS VIVAS (MV) E MINIESTACAS COM BROTAÇÕES (MB) DE *Ceratonía siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) EM EXPERIMENTO I, OUTONO 2021, CURITIBA-PR.....22
- GRÁFICO 3 – MINIESTACAS ENRAIZADAS (ME) DE *Ceratonía siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) em EXPERIMENTO II, PRIMAVERA 2021, CURITIBA-PR.....23
- GRÁFICO 4 – COMPARAÇÃO DE MINIESTACAS ENRAIZADAS (ME) DE *Ceratonía siliqua* L. SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) ENTRE EXPERIMENTO I (OUTONO) E EXPERIMENTO II (PRIMAVERA) ATRAVÉS DE FATORIAL DUPLO. CURITIBA-PR.....24
- GRÁFICO 5 – NÚMERO DE RAÍZES (NR) E COMPRIMENTO MÉDIO DE RAÍZES (CM) DE *Ceratonía siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) EM EXPERIMENTO II, PRIMAVERA 2021, CURITIBA-PR.....25

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

- ATP - Adenosina Trifosfato
- CM - Comprimento das três maiores raízes por miniestaca
- CV - Coeficiente de Variação
- DIC - Delineamento Inteiramente Casualizado
- EXP I - Experimento I
- EXP II - Experimento II
- GEPE - Grupo de Estudo e Pesquisa em Estaquia
- IAA - Ácido indol acético
- IBA - Ácido indol butírico
- ME - Porcentagem de miniestacas enraizadas
- NR - Número de raízes por miniestaca
- MB - Porcentagem de miniestacas com brotações
- MC - Porcentagem de miniestacas com calos
- MMF - Porcentagem de miniestacas que mantiveram suas folhas originais
- MM - Porcentagem de miniestacas mortas
- MV - Porcentagem de miniestacas vivas
- NAA - Ácido naftaleno acético
- T - Tratamento
- T1 - Tratamento 1
- T2 - Tratamento 2
- T3 - Tratamento 3
- T4 - Tratamento 4
- UFPR - Universidade Federal do Paraná
- UR - Umidade relativa do ar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 <i>Ceratonia siliqua</i>	12
2.2 MINIESTAQUIA.....	13
2.3 MINIESTAQUIA EM ALFARROBEIRA.....	15
3 METODOLOGIA	19
3 RESULTADOS	21
4.1 EXPERIMENTO I	21
4.2 EXPERIMENTO II	22
4 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30
ANEXO 1 – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EXPERIMENTOS I E II	34
ANEXO 2 – ANÁLISE ESTATÍSTICA FATORIAL DUPLO PARA COMPARAÇÃO ENTRE EXPERIMENTOS I E II	35

1 INTRODUÇÃO

A alfarrobeira (*Ceratonía siliqua* L.) pertencente à família Fabaceae, é originária do mediterrâneo, nativa em regiões próximas à Turquia, havendo evidências de seu cultivo para o uso das vagens, denominadas alfarrobas, na alimentação, além da fabricação de utensílios e lenha a partir da madeira desde o oitavo milênio a.C. (ZOHARY, 2002).

Estima-se a produção entre 350.000 à 500.000 toneladas de alfarrobas por ano mundialmente, tendo como os principais países produtores Marrocos, Espanha, Itália e Portugal, que visam a comercialização dos sub-produtos extraídos da alfarrobeira, principalmente para indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica (UNIPEKTIN, 2020; RODRÍGUEZ, 2021).

Entretanto, no Brasil ainda não há plantios comerciais e as empresas que utilizam derivados desta espécie necessitam importar a matéria-prima do exterior. O plantio nacional da *Ceratonía siliqua* L. reduziria os impostos nas importações e o custo de transporte, além da geração de renda para o mercado interno brasileiro.

Deste modo, para a implantação comercial de pomares de alfarrobeira deve ser desenvolvido um protocolo de produção de mudas otimizado. As técnicas de propagação vegetal como a germinação de sementes, enxertia e estaquia são as mais utilizadas para a espécie (GUNES, 2013; BATLLE e TOUS, 1997)

No entanto, a ausência de alfarrobeiras adultas no Brasil seria um obstáculo para a aplicação das técnicas de propagação vegetal de enxertia e estaquia, pois utilizam propágulos de matrizes já desenvolvidas (BATLLE e TOUS, 1997).

Além disso a espécie apresenta sementes recalcitrantes com dormência tegumentar, dificultando o armazenamento e germinação. Outras desvantagens da propagação vegetal via seminal incluem a impossibilidade da seleção de genótipos e da sexagem dos indivíduos, pois a alfarrobeira é dióica (BATLLE e TOUS, 1997; FOWLER e BIANCHETTI, 2000; GUNES et al., 2013).

Outras técnicas de propagação vegetal para a alfarrobeira como a micropropagação, apesar de apresentarem resultados satisfatórios de enraizamento in vitro, quando transferidas para o meio externo, a taxa de sucesso é baixa devido sua fragilidade adaptativa na rustificação das mudas (PIGNATTI e CROBEDDU, 2005; GUBBUK et al., 2011).

Portanto, a técnica de miniestaquia, considerada um ramo da estaquia convencional, se apresenta como uma alternativa para produção de mudas de alfarrobeira em relação aos outros meios de propagação mais utilizados para esta espécie, pois as miniestacas, que são provenientes de matrizes que sofrem podas periódicas, utilizam o seu potencial juvenil endógeno para o enraizamento (WENDLING, 2003; FERRIANI et al., 2010).

Em conjunto com a técnica de miniestaquia é comum também a aplicação de reguladores vegetais, sendo o ácido indol butírico (IBA) e o ácido naftaleno acético (NAA) os mais utilizados, auxiliando na velocidade e taxa de enraizamento, variando as concentrações de acordo com as espécies vegetais (HARTMANN et al., 2011).

A miniestaquia de alfarrobeira em conjunto com a aplicação de regulador vegetal ocasionaria uma redução do tempo de frutificação da muda em relação à produção via seminal natural, que pode levar em torno de sete anos, além da possibilidade da sexagem das matrizes e da manutenção de genótipos mais produtivos (HARTMANN et al., 2011; EL-DEEN et al., 2014).

A técnica de propagação vegetal via miniestaquia de *C. siliqua* também poderia contornar problemas de armazenagem das sementes recalcitrantes e de custos elevados em equipamentos e laboratórios na micropropagação.

1.1 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo avaliar em duas épocas do ano, outono e primavera, diferentes concentrações de ácido indol butírico (IBA) para a investigação da indução radicial de *Ceratonia siliqua* L. pela técnica de miniestaquia, proveniente de matrizes previamente rejuvenescidas do minijardim seminal do GEPE (Grupo de Estudo e Pesquisa em Estaquia).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Ceratonia siliqua*

A espécie *Ceratonia siliqua* pode atingir mais de dez metros de altura, formando uma copa semi-esférica, de ramos robustos, possuindo folhas pinadas, alternas, com cerca de 10 a 20 cm de comprimento, sendo produtora de frutos em forma de vagens (BATLLE e TOUS, 1997).

A alfarrobeira também possui elevada resistência ao estresse térmico, hídrico e salino, suportando clima árido (ESHGHI et al., 2018).

As vagens da alfarroba são reconhecidas pela riqueza de açúcares, como a sacarose, frutose e glucose, além dos minerais como o sódio, ferro, potássio, cobre e zinco e também por taninos, fatores que agregam o seu o valor alimentar (DUARTE, 2018).

A partir da polpa da vagem é obtida a farinha, que é frequentemente utilizada como substituta ao cacau, devido a ausência de lactose, glúten, teobromina e cafeína, compostos que são comumente encontrados em chocolates (LOULLIS e PINAKOULAKI, 2017; DUARTE, 2018).

Além disso, a alfarrobeira tem sido reportada recentemente na literatura como planta medicinal na indústria farmacêutica devido aos componentes biodegradáveis de baixa toxicidade que são extraídos das sementes (DIONÍSIO e GRENHA, 2012).

Um exemplo é o composto E-140, rico em polifenóis e galactomananas, utilizado em fármacos para o controle de colesterol e como aditivo espessante em medicamentos de refluxo gástrico infantil. Até a literatura presente, não há divulgação de efeitos adversos que o E-140 possa causar (DIONÍSIO e GRENHA, 2012).

A goma extraída da semente da alfarrobeira também é utilizada, além de espessante, como estabilizante e emulsificante em alimentos e em cosméticos, auxiliando na preservação e viscosidade do produto (BATLLE e TOUS, 1997; DUARTE, 2018).

Outros extratos da alfarroba têm sido pesquisados, principalmente por apresentarem propriedades antioxidantes, anticarcinogênicas, antimutagênicas e

antimicrobianas, demonstrando a sua relevância medicinal e comercial (HSOUNA et al, 2011; ALVAREZ, 2013; RITBI et al., 2017; DUARTE, 2018).

2.2 MINIESTAQUIA

Embora existam outros meios de propagação vegetal para esta espécie, como a germinação de sementes e enxertia, uma das técnicas mais utilizadas é a estaquia, que consiste na multiplicação clonal através de propágulos da planta matriz, como caules, folhas ou raízes (HARTMANN et al., 2011).

A partir desta técnica, ao final do século XX, surgiram estudos sobre a miniestaquia, visando o aumento da produtividade de diversas espécies, por meio do rejuvenescimento de planta matrizes, com elevação da taxa de miniestacas enraizadas.

O diferencial entre estes dois métodos ocorre na origem das matrizes, pois na miniestaquia, o material vegetal é proveniente de minicepas de um minijardim clonal que sofrem podas periodicamente em seu ápice (WENDLING, 2003).

Estes propágulos coletados, por serem jovens, contribuem com a velocidade e qualidade da formação do sistema radicial, pois se comparada à estaquia convencional, podem ser encontradas em concentrações mais elevadas auxinas, carboidratos, minerais e vitaminas, além da ausência de tecido altamente lignificado, o que poderia dificultar a emissão das raízes (WENDLING, 2003).

De forma geral, a formação destas raízes novas nos fragmentos está associada ao processo de desdiferenciação e redirecionamento de células vegetais competentes para a formação de meristemas que originarão raízes adventícias (GENEVE, 1991; HARTMANN et al., 2011).

Este evento ocorre por meio de dois estádios principais, com duração de aproximadamente 4 quatro dias em cada fase. Durante o estádio inicial, as auxinas, como IAA (ácido indol acético), podem ser mobilizadas da gema lateral, da brotação terminal ou do local onde o regulador vegetal, como o IBA (ácido indol butírico), sintético, foi aplicado, para que os meristemas dos primórdios radiciais sejam formados (HARTMANN et al., 2011).

Em seguida, ocorre o estádio de inativação destes hormônios vegetais. Nesta mesma fase pode ser observada a vascularização das novas raízes, as quais se conectam ao sistema vascular caulinar em conjunto com o evento da formação

das raízes para fora do córtex. Estas raízes são denominadas de adventícias, pois são formadas em locais da planta como folhas, gemas e caules (HARTMANN et al., 2011).

Esta rizogênese pode ocorrer de duas formas, direta e indireta, sendo que os processos são dependentes da divisão celular, variando em diferentes tipos de espécies vegetais (GENEVE, 1991).

As células competentes são induzidas a se dividirem direcionadas de forma polar, formando o primórdio radicial de forma direta, enquanto que na forma indireta as divisões celulares não são direcionadas, como por exemplo, na calogênese quando ocorre uma injúria, e a partir das células do calo passam a se dividir de forma direcionada e se originam os primórdios radiciais (GENEVE, 1991).

A aplicação de auxinas sintéticas em adição às técnicas de estaquia e miniestaquia para auxiliar o enraizamento adventício é uma prática comum, sendo os reguladores vegetais, ácido indol butírico e ácido naftaleno acético (NAA) os mais utilizados (HARTMANN et al., 2011).

Além disso, o IBA possui a vantagem de ser eficaz em diversas espécies vegetais, passando a se converter em IAA por meio de β -oxidação da IBA-CoA e assim como o ácido indol acético, tem capacidade de realizar ligações reversíveis com moléculas como a alanina e glucose (EPSTEIN e LUDWIG-MILLER, 1993; HARTMANN et al., 2011; BHATLA e LAL, 2018).

Além destes fatores internos, fatores externos influenciam no sucesso da miniestaquia, como as alterações nas condições ambientais em que as matrizes e miniestacas estão expostas, tais como a umidade, atuando na regulação da pressão osmótica, a temperatura, que influencia na atividade enzimática, e a radiação, que altera o fotoperíodo e a fotossíntese (WENDLING, 2003; HARTMANN et al., 2011).

As estações do ano, outono, primavera, verão e outono também são responsáveis pela variação das condições de enraizamento, pois devido as variações na amplitude térmica, processos bioquímicos são desencadeados visando a proteção do organismo vegetal, como por exemplo, durante temperaturas baixas, em que a planta passa a armazenar carboidratos e reduzir seu metabolismo, diminuindo assim a sua atividade, concentração de co-fatores de enraizamento e gasto energético (SIEDOW e UMBACH, 1995; FERRIANI et al., 2007; LATOH, 2019).

2.3 MINIESTAQUIA EM ALFARROBEIRA

Para *C. siliqua* não há estudos reportados na literatura sobre o uso do IBA em miniestacas, sendo encontrados apenas com estaquia convencional. O sucesso destes ensaios de estaquia, utilizando IBA pode indicar a miniestaquia como uma técnica viável para a espécie, pois estes dois métodos possuem mecanismos semelhantes quanto à ação do regulador vegetal IBA como promotor da taxa de enraizamento adventício nas estacas.

Um dos primeiros trabalhos publicados sobre a propagação vegetal via estaquia de *C. siliqua*, com aplicação do regulador vegetal IBA, foi realizado por Al-Tury, em 1992. Nesta pesquisa, a auxina foi utilizada nas concentrações: 0, 2000, 4000, 6000 e 8000 mg L⁻¹.

Al-Tury (1992) relatou a habilidade de emissão de raízes de acordo com os diferentes tratamentos, havendo maior taxa de enraizamento em estacas tratadas com 8000 mg L⁻¹ de IBA, atingindo 55% de indução radicial.

Outro fator apresentado por Al-Tury (1992) foi a sazonalidade, demonstrando que os resultados apresentaram variação do potencial rizogênico com relação às diferentes estações do ano, pois as estacas coletadas em fevereiro e maio, que correspondem ao outono e primavera naquela localidade, respectivamente, tiveram maiores índices de enraizamento e número médio de raízes em comparação às que foram coletadas em outubro, correspondente ao período do outono.

Segundo Al Tury (1992), as estacas originárias de segmentos do ápice das plantas matrizes geraram melhores resultados do que estacas provenientes do segmento basal.

Em estudos mais recentes, como os de El-Deen et al. (2014), para a estaquia de *C. siliqua*, foram utilizadas as seguintes concentrações de IBA e NAA: 0 mg L⁻¹ IBA, 6000 mg L⁻¹ IBA, 8000 mg L⁻¹ IBA, 6000 mg L⁻¹ IBA + 200 mg L⁻¹ NAA, 8000 mg L⁻¹ IBA + 200 mg L⁻¹ NAA e a aplicação de somente 80% de NAA.

Dentre estes tratamentos, os valores máximos obtidos foram utilizando 8000 mg L⁻¹ IBA + 200 mg L⁻¹ NAA, seguido de 6000 mg L⁻¹ IBA + 200 mg L⁻¹ NAA para: comprimento de raiz (18,75 e 18,87 cm), número de raízes laterais (5,00 e 5,50) e

número de raízes por estaca (8,80 e 8,64), respectivamente. Todos os tratamentos tiveram respostas positivas em comparação ao controle (EL-DEEN et al., 2014).

Os testes foram realizados em duas estações do ano para a coleta das estacas durante 2011 e 2012. Em abril, período da primavera, obtiveram melhores resultados, enraizando a partir de 6000 mg L⁻¹ (11,0 e 11,75 cm) ao contrário de setembro (outono), em que somente com a combinação de 6000 mg L⁻¹ IBA + 200 mg L⁻¹ NAA (16,25 e 16,75 cm) as estacas de alfarrobeira passaram a desenvolver raiz (EL-DEEN et al., 2014).

Outras pesquisas como as de Essahibi et al. (2016), reportaram o uso de IBA na estaquia, com estacas herbáceas e semilenhosas, para duas populações de alfarrobeira, Tighdouine e Tamellalet, nas concentrações de IBA: 0 mg L⁻¹, 5000 mg L⁻¹, 6000 mg L⁻¹, 7000 mg L⁻¹, 8000 mg L⁻¹ e 9000 mg L⁻¹, durante 10, 30 e 60 segundos, sendo as estacas coletadas no mês de março, durante a primavera.

Os valores máximos foram obtidos com 7000 mg L⁻¹ de IBA (60 segundos), atingindo a taxa de enraizamento de 85,2% para material herbáceo e de 65,7% para material semilenhoso, ambos da população de alfarrobeira Tighdouine (ESSAHIBI et al., 2016).

Para população de *C. siliqua* Tamellalet, as maiores taxas de enraizamento ocorreram na concentração de 5000 mg L⁻¹ de IBA (60 segundos), gerando porcentagens de 55,6% para estacas semilenhosas e 45,7% para estacas herbáceas. Assim como no estudo de El-Deen et al. (2014), os resultados apresentados demonstraram que, com a ausência do IBA, não houve enraizamento significativo nos tratamentos (ESSAHIBI et al., 2016).

Além destes trabalhos com estaquia de alfarrobeira, também foram encontrados estudos sobre a propagação via miniestaquia com aplicação de IBA para várias espécies vegetais, apresentando resultados promissores de enraizamento.

Ferriani et al. (2010), publicaram uma revisão sobre a miniestaquia aplicada a espécies florestais, demonstrando a técnica como favorável ao aproveitamento do potencial juvenil endógeno das espécies para o enraizamento e produção de mudas,

constituindo uma técnica ambiental e economicamente viável, além de apresentar maior acessibilidade de utilização por pequenos e médios produtores.

Brondani et al. (2010) testaram a técnica de miniestaquia e a concentração de máxima eficiência de IBA em *Eucalyptus* (*E. benthamii* x *E. dunnii*), utilizando os clones H12, H19 e H20. As matrizes foram manejadas em minijardim clonal em sistema semi-hidropônico, cujas concentrações foram: 0, 2000, 4000, 6000 e 8000 mg L⁻¹ de IBA. O regulador vegetal influenciou positivamente a taxa de enraizamento, variando de 30,32 a 55,45% entre os clones até a maior concentração de IBA, exceto para o clone H20, que atingiu a maior porcentagem nas concentrações de 4000 e 6000 mg L⁻¹ de IBA.

Carvalho (2012), relatou sobre a propagação de mudas clonadas de pitangueira preta, *Eugenia uniflora* L., oriundas da técnica de miniestaquia, com o uso de IBA (0, 1000, 2000 mg L⁻¹), associado a dois tipos de material (miniestacas herbáceas e lenhosas). Foi observada a influência positiva do regulador vegetal no enraizamento das miniestacas, considerando-se a concentração de 2000 mg L⁻¹ a mais eficiente com o material herbáceo, atingindo 62,5%.

Fragoso et al. (2015) demonstraram o sucesso de enraizamento de miniestacas de cerejeira ornamental, *Prunus serrulata*, com o uso de 2000 mg L⁻¹ de IBA, atingindo a porcentagem de 86,25%. Os autores utilizaram as concentrações 0, 1000, 2000 e 4000 mg L⁻¹, com as miniestacas permanecendo durante 60 dias em casa de vegetação.

Em revisão bibliográfica realizada por Wendling, Stuepp e Zanette (2017) foi constatada que a miniestaquia pode ser uma técnica viável para *Araucaria angustifolia*, sendo recomendadas concentrações de IBA de até 2.000 mg L⁻¹. Quanto à aplicação de reguladores vegetais promotores de enraizamento, é necessário avaliar, para cada clone, a concentração ideal de auxina, pois esta é uma variável proporcional à condição climática e manejo nutricional das minicepas.

Sá et al. (2018) testaram em miniestacas de erva-mate, *Ilex paraguariensis*, o efeito de IBA aplicado durante 10 segundos em diferentes soluções hidroalcoólicas (0, 2000, 4000, 6000 e 8000 mg L⁻¹). As amostras foram coletadas em quatro épocas do ano (de julho/2014 a maio/2015). Após 90 dias, os resultados apontaram que a

primavera foi a época mais promissora, atingindo 70% de enraizamento, o maior comprimento (4,3 cm) e número de raízes (9,1) utilizando 8000 mg L⁻¹ de IBA.

Estes estudos demonstraram a efetividade de enraizamento quanto à técnica de propagação vegetativa via miniestaquia associada ao regulador vegetal IBA, sendo apresentada como uma ferramenta útil para espécies de difícil enraizamento, podendo ser utilizada em cultivares comerciais e também para a preservação genética.

3 METODOLOGIA

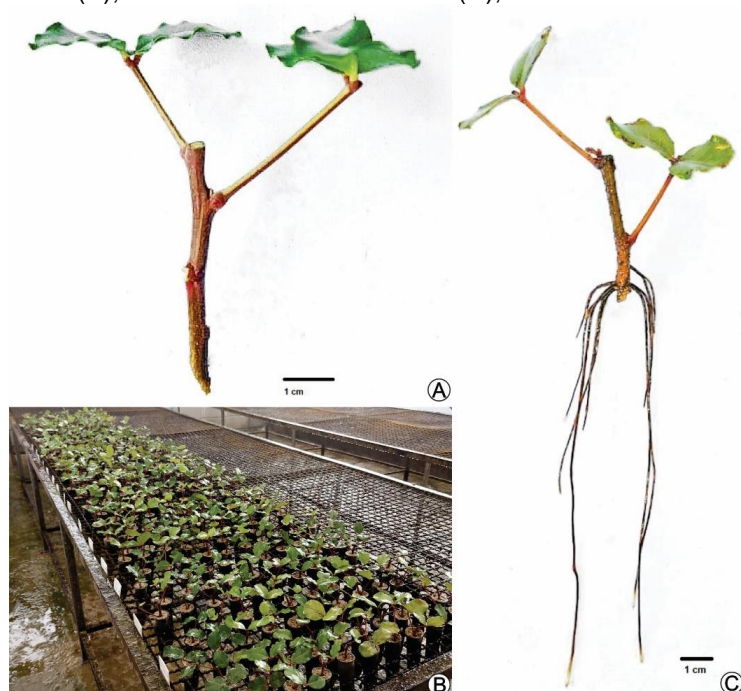
Os experimentos I e II foram conduzidos em casa de vegetação climatizada localizada no Setor de Ciências Biológicas, com temperatura média de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar $\text{UR} = 85\%$, no Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba-PR.

O processo de propagação de miniestacas de alfarrobeira teve início durante a estação do outono (2021) para o experimento I e durante a estação da primavera (2021) para o experimento II, quando foram coletados propágulos do ápice dos ramos de plantas matrizes do minijardim clonal do GEPE.

As matrizes de *C. siliqua* foram produzidas por via seminal e possuíam cerca de três anos de idade, sofrendo podas periódicas e fertirrigação quinzenal com as seguintes concentrações: $0,8 \text{ g L}^{-1}$ de uréia, $0,6 \text{ g L}^{-1}$ de yoorin ou super fosfato simples, $0,05 \text{ g L}^{-1}$ de FTE BR 10 e $0,6 \text{ g L}^{-1}$ de nitrato de potássio ou cloreto de potássio.

Para a confecção das miniestacas, foram selecionados ramos saudáveis, a partir dos quais foram preparadas com aproximadamente cinco centímetros de comprimento, corte reto no ápice e em bisel na base, sendo mantidos quatro folíolos na porção superior (FIGURA 1).

FIGURA 1: CONFECÇÃO DE PROPÁGULO DE *C. siliqua* L. (A); EXPERIMENTO EM CONDUÇÃO (B); MINIESTACA ENRAIZADA (C), CURITIBA-PR.



FONTE: O autor (2021).

As bases dos propágulos dos experimentos I e II foram submetidas aos tratamentos (T), com diferentes concentrações de IBA em solução hidroalcoólica 50% por 10 segundos de imersão, conforme segue:

- T1: 0 mg L⁻¹ IBA;
- T2: 1000 mg L⁻¹ IBA;
- T3: 2000 mg L⁻¹ IBA;
- T4: 3000 mg L⁻¹ IBA;

O plantio de 1/3 da base das miniestacas foi realizado em tubetes de polipropileno (53 cm³) preenchidos com vermiculita de granulometria fina previamente umedecida, acondicionados em casa de vegetação climatizada. A avaliação ocorreu após 90 dias de permanência em casa de vegetação. As variáveis analisadas foram:

- Porcentagem de miniestacas enraizadas (ME): miniestacas com raízes de ao menos 1 mm de comprimento;
- Número de raízes por miniestaca (NR);
- Comprimento das três maiores raízes por miniestaca (CM);
- Porcentagem de miniestacas vivas (MV): miniestacas vivas, sem a presença de raízes ou calos;
- Porcentagem de miniestacas com calos (MC): miniestacas vivas, sem raízes, com massa de células indiferenciada na base;
- Porcentagem de miniestacas mortas (MM): miniestacas com tecidos necrosados;
- Porcentagem de miniestacas com brotações (MB);
- Porcentagem de miniestacas que mantiveram suas folhas originais (MMF).

Os experimentos I e II foram conduzidos separadamente, num delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos, sendo cada tratamento constituído de quatro repetições de 20 miniestacas cada, totalizando 320 miniestacas para cada experimento.

Os resultados das variáveis de cada estação, outono e primavera, foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com o software R Biométrico. Foi realizado fatorial duplo para comparação dos resultados entre os experimentos I e II através do software R Biométrico.

3 RESULTADOS

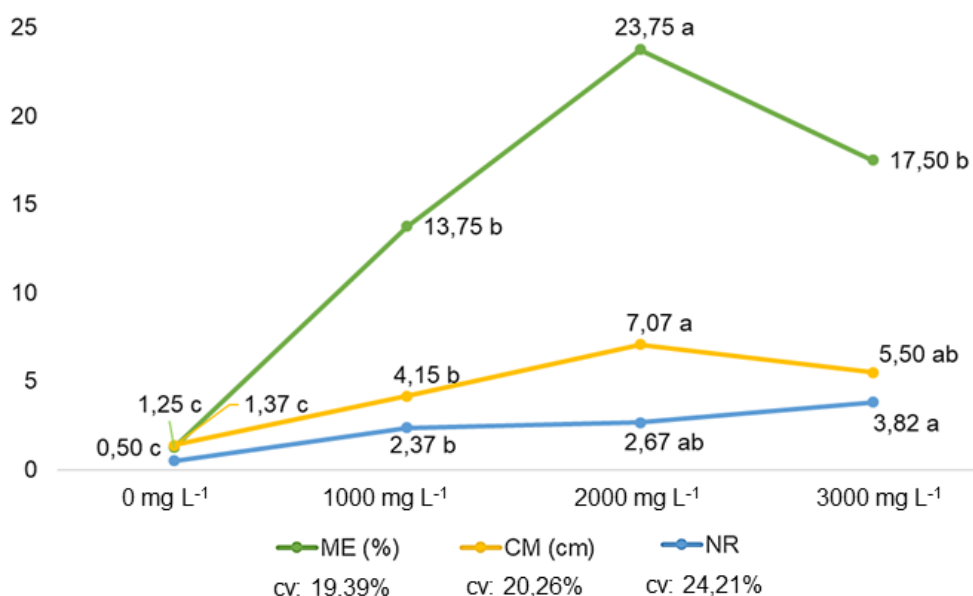
4.1 EXPERIMENTO I

O enraizamento adventício de *C. siliqua* durante o outono apresentou superioridade com uso com 2000 mg L⁻¹ de IBA, em comparação ao 1,25% do controle, atingindo 23,75% de enraizamento, passando a reduzir 6,25% em 3000 mg L⁻¹ (GRÁFICO 1).

Em termos de comprimento radicial, a concentração de 2000 mg L⁻¹ de IBA apresentou a maior média com 7,07 cm de raízes, quando comparada com o tratamento controle de 1,37 cm, havendo uma redução numérica de 1,6 cm com o uso de 3000 mg L⁻¹ de IBA (GRÁFICO 1).

Já para o número de raízes, o melhor tratamento foi com uso de 3000 mg L⁻¹ de IBA com 3,82 raízes por miniestaca, sendo superior ao do controle (0,5) e do obtido com 1000 mg L⁻¹ (2,37). Durante o período de pesquisa, não foi observada mortalidade significativa entre os tratamentos utilizados. O mesmo ocorreu para a presença de calos (GRÁFICO 1).

GRÁFICO 1. MINIESTACAS ENRAIZADAS (ME), NÚMERO DE RAÍZES (NR) E COMPRIMENTO MÉDIO DE RAÍZES (CM) DE *Ceratonia siliqua* L. SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA), OUTONO 2021, CURITIBA-PR.



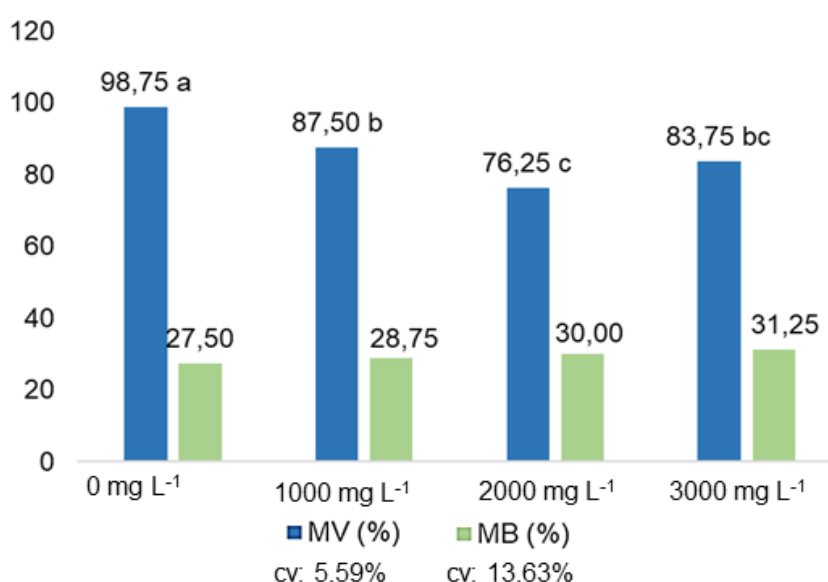
Médias que apresentam letras iguais para cada variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
cv: coeficiente de variância.

FONTE: O autor (2021).

A maior sobrevivência foi encontrada no tratamento controle, com mais de 98% de sobrevivência e a menor média com uso de 2000 mg L⁻¹ de IBA. Estes valores ocorreram devido ao enraizamento, uma vez que a sobrevivência e o enraizamento são conceitos distintos, ou seja, propágulos vivos são aqueles que não apresentaram raízes, calos e que não estão mortos (GRÁFICO 2).

As brotações das miniestacas não apresentaram diferença estatística significativa, com taxas variando de 27,5% até 31,25%, respectivamente (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 2. MINIESTACAS VIVAS (MV) E MINIESTACAS COM BROTAÇÕES (MB) DE *Ceratonia siliqua* SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA), OUTONO 2021, CURITIBA-PR.



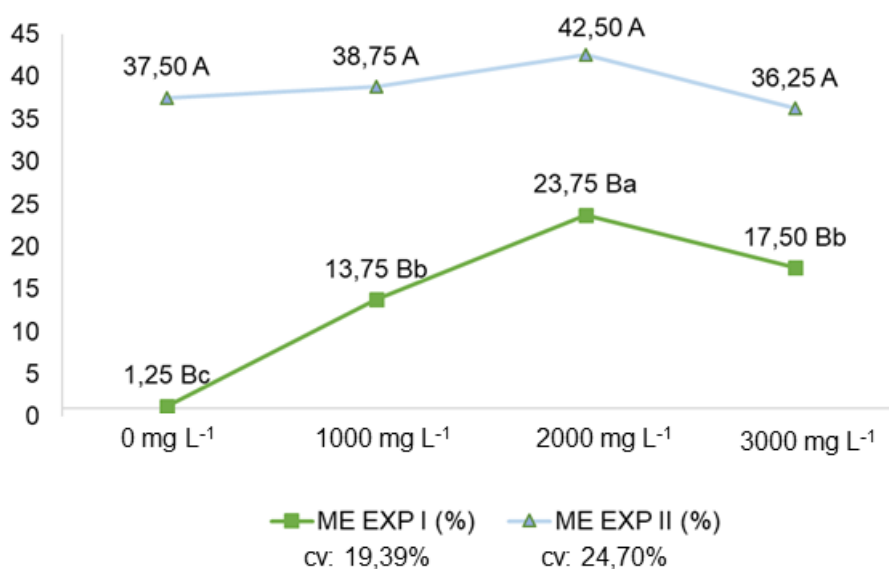
Médias não seguidas de letras para cada variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
cv: coeficiente de variância.

FONTE: O autor (2021).

4.2 EXPERIMENTO II

Durante a estação primavera, os resultados obtidos para a taxa de enraizamento de *C. siliqua* demonstraram maior porcentagem com a aplicação de 2000 mg L⁻¹ de IBA, atingindo valor acima de 42% de enraizamento neste tratamento. A distribuição desta variável quanto aos tratamentos com IBA ocorreu de forma crescente de T1 a T3, reduzindo em T4, porém sem diferirem de forma significativa quanto as médias obtidas de miniestacas enraizadas, ao contrário do que ocorreu no experimento I (outono), em que o enraizamento foi menor (GRÁFICO 3, FIGURA 2).

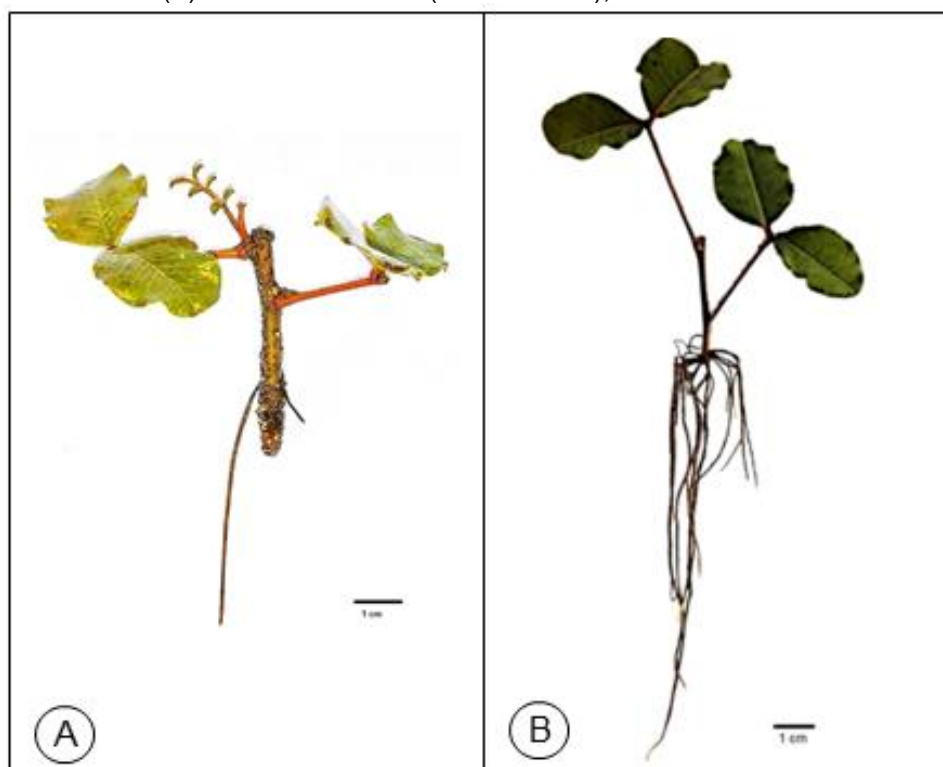
GRÁFICO 3 . COMPARAÇÃO DE MINIESTACAS ENRAIZADAS (ME) DE *Ceratonia siliqua* L. SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) ENTRE EXPERIMENTO I (OUTONO) E EXPERIMENTO II (PRIMAVERA) ATRAVÉS DE FATORIAL DUPLO. CURITIBA-PR.



Médias que apresentam letras iguais para cada variável e que apresentam letras maiúsculas iguais para cada experimento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
cv: coeficiente de variância.

FONTE: O autor (2021).

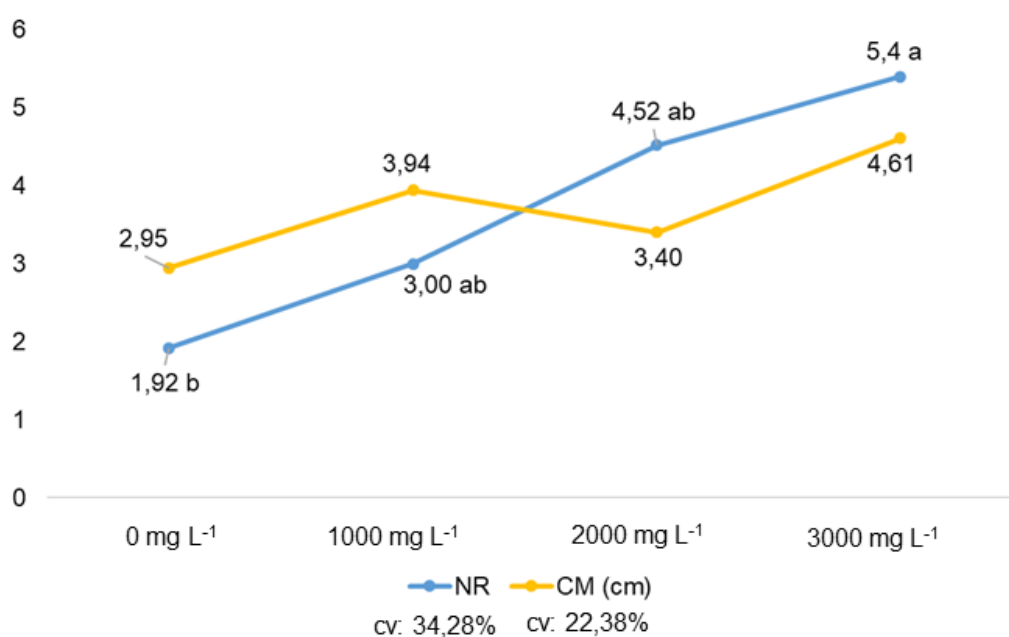
FIGURA 2 : MINIESTACAS ENRAIZADAS DE *Ceratonia siliqua* : (A) EXPERIMENTO I (OUTONO); (B) EXPERIMENTO II (PRIMAVERA), CURITIBA-PR.



FONTE: O autor (2021).

Em relação ao comprimento radicial, a concentração de 3000 mg L⁻¹ de IBA apresentou a melhor média com 4,61 cm de raízes por miniestaca, apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos (GRÁFICO 4, Teste de Tukey, P≤0,05).

GRÁFICO 4. NÚMERO DE RAÍZES (NR) E COMPRIMENTO MÉDIO DE RAÍZES (CM) DE *Ceratonia siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) EM EXPERIMENTO II, PRIMAVERA 2021, CURITIBA-PR.



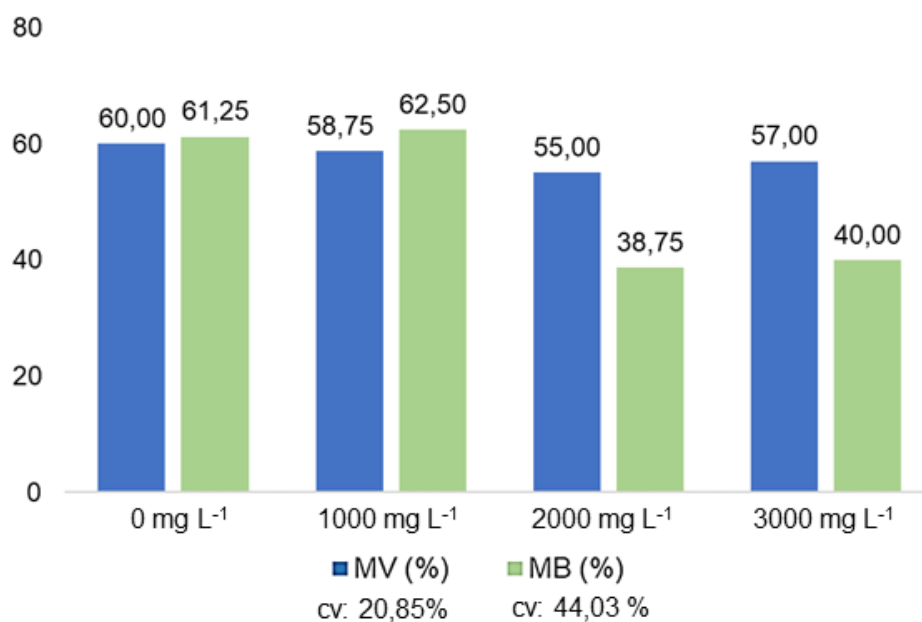
Médias que apresentam letras iguais para cada variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
cv: coeficiente de variância.

FONTE: O autor (2021).

Para a variável número de raízes por miniestaca, o melhor tratamento foi com uso de 3000 mg L⁻¹ de IBA com 5,40 raízes por miniestaca, sendo superior ao do controle (2,95). Não foi observado mortalidade significativa entre os tratamentos utilizados e a presença de calos se manteve nula em todas as concentrações testadas, assim como no experimento I.

A maior porcentagem de miniestacas vivas foi encontrada no tratamento com 0 mg L⁻¹ IBA, não havendo variação significativa entre as médias obtidas nos tratamentos. Para a taxa de brotações das miniestacas o menor valor ocorreu na concentração de 2000 mg L⁻¹ IBA, 38,75%, não apresentando também diferença estatística significativa entre as médias, variando de 38,75% a 61,25% (GRÁFICO 5).

GRÁFICO 5. MINIESTACAS VIVAS (MV) E MINIESTACAS COM BROTAÇÕES (MB) DE *Ceratonia siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA) EM EXPERIMENTO II, PRIMAVERA 2021, CURITIBA-PR.



Médias não seguidas de letras para cada variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
cv: coeficiente de variância.

FONTE: O autor (2021).

5 DISCUSSÃO

Para a alfarrobeira, estes resultados no tratamento com 2000 mg L⁻¹ de IBA, sugeriram que esta seja a concentração ideal para indução radicial, pois no experimento II também foi obtida a maior porcentagem de enraizamento nesta mesma concentração de IBA. Em comparação ao experimento I, em que o máximo de enraizamento foi de 23,75%, o experimento II atingiu 42,5%, ambos para a concentração de 2000 mg L⁻¹ de IBA, demonstrando maior taxa de miniestacas enraizadas.

Dentre os resultados apresentados no experimento I, todas as concentrações, exceto o controle, apresentaram enraizamento significativo devido ao mecanismo de atuação do IBA na miniestaca, pois este regulador vegetal influencia o enraizamento por meio da indução do aumento de IBA livre interno, podendo modificar a ação do IAA ou alterar a síntese endógena de IAA. O IBA também aumenta a sensibilidade entre o tecido e IAA, auxiliando na formação de regiões meristemáticas. Além disso, pela técnica utilizada por meio de imersão rápida da base caulinar em solução hidroalcolica, o solvente auxilia a locomoção da auxina IBA pela superfície e epiderme do corte (HARTMANN et al., 2011).

A variação da concentração de IBA pode afetar estes mecanismos endógenos, pois há um equilíbrio bioquímico e hormonal específico em cada espécie vegetal para que haja enraizamento eficiente.

No entanto, as médias de enraizamento no experimento II, após teste estatístico F, não diferiram significamente entre si, demonstrando que, além da influência do regulador vegetal IBA aplicado, a estação da primavera foi determinante quanto à promoção da emissão das raízes adventícias, atingindo 37,5% de enraizamento no tratamento controle, sem a aplicação do regulador vegetal.

Este resultado pode ser explicado pela maior amplitude térmica da primavera em relação à estação do outono, que elevou a taxa metabólica, não só das matrizes, mas também das miniestacas, alterando os processos bioquímicos envolvidos no processo de enraizamento, como a síntese de adenosina trifosfato (ATP) e de hormônios. Durante a estação do ano com menores temperaturas, como o outono, o

metabolismo do vegetal diminui para a proteção dos seus meristemas, passando a armazenar carboidratos e proteínas, o que leva à redução do transporte das auxinas, uma vez que essas são transportadas de forma conjugada ao açúcar e em consequência deste momento de retenção, a emissão das raízes também ocorre com menor frequência (SIEDOW e UMBACH, 1995; FERRIANI et al., 2007; HARTMANN et al., 2011; LATOH, 2019).

No tratamento 4, com 3000 mg L⁻¹ de IBA, nos experimentos I e II, foram atingidos os maiores comprimentos médios das raízes por miniestaca, 3,82 cm e 4,61 cm, respectivamente, demonstrando que o regulador vegetal aplicado em conjunto com as condições morfofisiológicas da miniestaca tiveram capacidade de elevar o desenvolvimento da multiplicação celular da área meristemática radicial. Raízes mais compridas atingem profundidades maiores no substrato, explorando mais recursos e se fixando melhor no solo (HARTMANN et al., 2011; MAGGIONI, 2017).

Em relação ao número de raízes por miniestaca, a concentração de 3000 mg L⁻¹ de IBA foi a que apresentou melhores resultados para os dois experimentos, indicando que, com o aumento da concentração, há a geração de novas regiões meristemáticas onde ocorre o apontamento de novas raízes, mas somente para algumas miniestacas, pois a porcentagem de indivíduos enraizados neste tratamento foi menor em comparação à taxa de enraizamento de 2000 mg L⁻¹ de IBA. Um número maior de raízes pode significar uma melhor absorção de água e nutrientes do solo, tornando a planta mais capaz de suportar condições ambientais adversas (HARTMANN et al., 2011).

Estes resultados também demonstraram que o IBA não sofreu alterações durante o preparo do experimento, por ser um composto relativamente estável, podendo ser armazenado por mais de seis meses em condições de refrigeração e proteção à luminosidade (PESCADOR 2007; HARTMANN et al., 2011).

Os resultados obtidos sobre a taxa de mortalidade das miniestacas, que permaneceu abaixo de 3,4%, demonstraram que com as concentrações testadas, a auxina IBA não apresentou fitotoxicidade. O IBA é utilizado principalmente por não ser tóxico para as plantas, mesmo em altas dosagens (HARTMANN et al., 2011;

ABDEL-RAHMAN, 2020). Esta baixa mortalidade demonstrou também a boa adaptação da espécie às condições da casa de vegetação.

A maior taxa de miniestacas vivas no experimento I (outono) em relação ao experimento II (primavera) pode ser explicada pelo menor número de miniestacas enraizadas durante o experimento no outono, pois as miniestacas vivas variam de acordo com a porcentagem de enraizamento e de miniestacas mortas, refletindo a sobrevivência total.

Além disso, a espécie em questão possui características fisiológicas e morfológicas que são relevantes para a sobrevivência das miniestacas, pois 96% permaneceram com folhas originais, ou seja, manteve-se equilíbrio entre a auxina e o etileno, que ocasiona abscisão da folha, fornecendo reserva nutritiva e hormonal, sendo estas transportadas de forma polar dos folíolos para a base caulinar, auxiliando a formação da raiz (TAIZ e ZEIGER, 2009; HARTMANN et al., 2011).

Outro fator que influenciou os resultados foi o fato de que o folíolo da alfarrobeira apresenta nanoestruturas na camada abaxial, formando um sofisticado sistema de gerenciamento de água, refletindo a luz solar para reduzir a temperatura, em conjunto com a superfície hidrofóbica que se mantém seca, atuando na redução da perda de água e mantendo os eventos de fotossíntese, respiração e evapotranspiração de forma eficiente (RODRÍGUEZ et al., 2021).

Os dados obtidos de novas brotações das miniestacas não apresentaram diferença estatística significativa entre as médias de cada experimento, porém entre as duas estações analisadas, a taxa foi mais alta durante a estação primavera. Este processo pode ser explicado pela maior amplitude térmica, que aumentou a taxa de transpiração e metabolismo, desencadeando processos bioquímicos como a degradação das reservas de carboidratos, auxiliando na formação dos brotamentos (TORRES, 2003; MAGGIONI, 2017).

Neste experimento observou-se também a ausência de calos nas miniestacas, assim como no estudo de Goulart et al. (2014) para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, indicando que a alfarrobeira apresenta rizogênese direta, ou seja, não necessita formar calosidades para a emissão da raiz, pois a calogênese pode ocorrer de forma independente, seja para a cicatrização de uma injúria ou para a construção do tecido meristemático da raiz, evento que pode variar nas espécies vegetais (GENEVE, 1991; HARTMANN et al., 2011).

4 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo demonstraram que a aplicação do regulador vegetal IBA na promoção radicial de alfarrobeira por meio da miniestaquia, apresenta resultados promissores na concentração de 2000 mg L⁻¹ de IBA.

Os dados obtidos também apontaram a baixa porcentagem de mortalidade nos dois experimentos, indicando que a *C. siliqua* possui características morfofisiológicas necessárias, como a manutenção de folhas originais, para ser utilizada na técnica de miniestaquia. A estação da primavera foi a mais indicada para a realização da coleta dos propágulos, atingindo uma maior porcentagem de enraizamento em comparação à estação do outono, mesmo sem a aplicação de IBA.

No entanto, ainda são necessários mais experimentos para a consolidação de um protocolo de propagação da espécie, como a análise de dados da variação da taxa de enraizamento quanto às diferentes épocas do ano e estudos morfoanatômicos para elucidadação do processo de emissão de raízes adventícias em miniestacas, visto que existe uma lacuna de dados em pesquisas relacionadas ao tema da macropropagação e miniestaquia para a alfarrobeira.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, S. S. A. Influence of rooting media and indole-3-butyric acid (IBA) concentration on rooting and growth of different types of *Conocarpus Erectus* L. stem cuttings. **Egypt Scientific J. Flowers & Ornamental Plants**, Ornamental Plants and Landscape Gardening Dept., Fac. Agric., Assiut Univ., v.7, p.199-219, 2020.
- AL-TURY, M. H.; OMARI, A. M.; QUAOUD, A. H. Studies on the Propagation of Carob *Ceratonia siliqua* by Stem Cuttings. **Dirasat: Agricultural Sciences**, University of Jordan, Jordan, p. 161, 1997.
- ALVAREZ, S. P. L. **A Alfarroba como Fonte de Ingredientes Bioativos: Fibra Alimentar, Polifenóis e Ciclitóis**. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêutica), Instituto Superior de Ciências da Saúde Egas Moniz, p. 1-64, 2013.
- AVALLONE, R.; PLESSI, M.; BARALDI, M.; MONZANI, A. Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua*): Protein, Fat, Carbohydrates, and Tannins. **Journal of food composition and analysis**, v. 10, p. 166-172, 1997.
- BATLLE, I.; TOUS, J. **Carob tree: *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, v. 17, p. 7-69, 1997.
- BHATLA, C. S.; LAL, A. M. Plant Physiology, Development and Metabolism. **Springer Nature Singapore Pte Ltd**, v.1, p. 578, 2018.
- BRONDANI, E. G.; WENDLING, G. F.; DUTRA, F. L.; ARAUJO, A. M. Aplicação de IBA para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Produção Vegetal Acta Sci.**, p.1-8, 2010.
- CARVALHO, G. L. **Propagação de pitangueira via miniestaquia**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Fruticultura de Clima Temperado), Universidade Federal de Pelotas, p. 1-66, 2012.
- DIAS, P. C.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A.; WENDLING, I. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, p. 1-10, 2012.
- DIONÍSIO, M.; GREHA, A. Locust bean gum: exploring its potential for biopharmaceutical applications. **J Pharm Bioallied Sci.**, v. 4, n. 3, p. 75-85, 2012.
- DUARTE, A. C. I. **Avaliação do potencial bioativo de produtos de alfarrobeira, *Ceratonia siliqua* L.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, p. 1-67, 2018.
- EL-DEEN, E. M. Z.; EL-SAYED, O. M.; EL-SAYED, A. E. I.; HEGAZI, G. A. E. Studies on Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Propagation. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)**, n.5, v. 7, p. 31-40, 2014.

- ESSAHIBI, A.; BENHIBA, L.; FOUAD, M. O.; BABRAM, M. A.; GHOULAM, C.; QADDOURY, A. Initial nutritional status and exogenous IBA enhanced the rooting capacity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) cuttings under mist system. **J. Mater. Environ. Sci.**, Cadi Ayyad University, Marrakesh, Morocco, v. 7, p. 4144-4150, 2016.
- ESHGHI, S.; ROSTAMI, A.; JAMALI, B. Carob tree: a suitable species for the future. **Acta Horticulturae**, p. 67–70, 2018.
- EPSTEIN, E.; LUDWIG-MULLER, J. Indole-3-butyric acid in plants: occurrence, synthesis, metabolism and transport. **Physiologia Plantarum**, v. 8, p. 382-389, 1993.
- FERRIANI, A. P., BORGES, M., ZUFFELLATO-RIBAS, K. C., CARPANEZZI, A., KOEHLER, H. S. Influência da época do ano e das diferentes formas de aplicação de ácido naftaleno acético (ANA) no enraizamento de *Mikania micrantha* Kunth. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 9, p. 102-107, 2007.
- FERRIANI, A. P.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I. Miniestaquia aplicada a espécies florestais. **Revista Agro@ambiente On-line**, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 102-109, 2010.
- FOWLER, A.J.P.; BIANCHETTI, A. Dormência em sementes florestais. **Embrapa Florestas Colombo: Documentos**, n.40, p. 1-27, 2000.
- FRAGOSO, R. O.; WITT, N. G. P. M.; OBRZUT, V. V.; VALÉRIO, S.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; STUEPP, C. A. Maintenance of leaves and indolebutyric acid in rooting of juvenile Japanese Flowering Cherry cuttings. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, UFRPE, v.10, n.1, p.97-101, 2015.
- GENEVE L. R. Patterns of Adventitious Root Formation in English Ivy Plant. **Journal of Plant Growth Regulation**. University of Kentucky, USA, v.10, p.215-220, 1991.
- GOULART, B. P.; XAVIER, A.; IAREMA, L.; OTONI, C. W. Morfoanatomia da rizogênese adventícia em miniestacas de *Eucalyptus Grandis* X *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, n. 3, v. 24, p. 521-532, 2014.
- GUBBUK, H.; GULER, S.; BALKIC, R. Investigation on carob (*Ceratonia siliqua* L.) propagation by cutting. **Acta Hort.** 1280. XXX IHC – Proc. Int. Symposium on Carob: a Neglected Species with Genetic Resources for Multifunctional Uses, p. 263-268, 2020.
- GUBBUK, H.; GUNES, E.; AYALA-SILVA, T.; ERCISLI, S. Rapid vegetative propagation method for Carob. **Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.**, v. 39, n. 1, p. 251-254, 2011.
- GUGLIUZZO, A.; MAZZEO, G.; MANSOUR, R.; TROPEA, G. G. Carob pests in the Mediterranean region: bio-ecology, natural enemies and management options. **Phytoparasitica**, p. 1-24, 2019.

GUNES, E.; GUBBUK, H.; AYALA-SILVA, T.; GOZLEKCI, S.; ERCISL, S. Effects of Various Treatments on Seed Germination and Growth of Carob (*Ceratonia Siliqua* L.). **Pak. J. Bot.**, n. 4, v. 45, p. 1173-1177, 2013.

HARTMANN, T. H.; KESTER, E. D.; DAVIES, T. F.; GENEVE, L. R. **Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices**, Eighth Edition, Pearson Education Limited, p. 293 - 347, 2011.

HSOUNA, A. B.; TRIGUI, M.; MANSOUR, R. B.; JARRAYA, R. M.; DAMAK, M.; JAOUA, S. Chemical composition, cytotoxicity effect and antimicrobial activity of *Ceratonia siliqua* essential oil with preservative effects against *Listeria* inoculated in minced beef meat. **International Journal of Food Microbiology**, v. 148, p. 66–72, 2011.

LATOH P. L. **Aspectos Morfo-Fisiológicos e Metabolômicos no Enraizamento de quatro Espécies de Tibouchina**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), p. 1-155, 2019.

LOULLIS, A.; PINAKOULAKI, E. Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications. **European Food Research and Technology**, v. 244, p. 959–977, 2017.

MAGGIONI A. D. R. **Drimys brasiliensis Miers: Miniestaquia, teor e composição do óleo essencial de folhas e cascas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), p.1-84, 2017.

MONTANARI, R. M.; SOUSA, L. A.; LEITE, M. N.; COELHO, A. D.; VICINI, L. F.; STEFANINI, M. B. Plasticidade Fenotípica da Morfologia Externa de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. ex Britt. & Wilson (Verbenaceae) em Resposta a Níveis de Luminosidade e Adubação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, n.3, v.6, p.96-101, 2004.

PESCADOR, R.; VOLTONI, C. A.; GIRARDI, G. C.; ROSA, F. A. F. Estaquia de Pariparoba-Do-Rio Grande do Sul sob efeito do Ácidoindol-Butírico em dois substratos. **Scientia Agraria**, Curitiba, n.4, v.8, p.391-398, 2007.

PIGNATTI, G.; CROBEDDU, S. Effects of rejuvenation on cutting propagation of Mediterranean shrub species. **Forest@**, p. 290-295, 2005.

WENDLING, I. Propagação Vegetativa. I Semana do Estudante Universitário - Florestas e Meio Ambiente, Embrapa Florestas, p. 1-6, 2003.

RITBI K.; SELMI S.; GRAMI D.; AMRI M.; ETO B.; EL-BENNA J.; SEBAI H.; MARZOUKI L. Chemical constituents and pharmacological actions of carob pods and leaves (*Ceratonia siliqua* L.) on the gastrointestinal tract: A review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 93, p. 522-528, 2017.

RODRÍGUEZ, S.; ROCHA, J.; FERNANDES, M.; RAVISHANKAR, A. P.; STEINBRÜCK, N.; CRUZ, R.; BACELAR, E.; KICKELBICK, G.; ANAND, S.; CRESPI,

A. L.; CASAL, S.; DE ZEA BERMUDEZ, V. The Surfaces of the *Ceratonia siliqua* L. (Carob) Leaflet: Insights from Physics and Chemistry. **Langmuir, American Chemical Society**, v. 37, p. 1-18, 2021.

SÁ, F. P.; PORTES, C. D.; WENDLING, I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Miniestaqueia de Erva-Mate em quatro épocas do ano. **Ciência Florestal, Santa Maria**, n. 4, v. 28, p. 1431-1442, 2018.

SIEDOW, J. N.; UMBACH, A. L. Plant Mitochondrial Electron Transfer and Molecular Biology. **The Plant Cell**, v. 7, p. 821-831, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TORRES, A. G. M. **Relação entre sazonalidade, desrama e carboidratos no crescimento de eucalipto na propagação vegetativa por miniestaqueia**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 1-79, 2003.

UNIPEKTIN. Disponível em: LBG-Market-update-JAN-2020-v2.pdf (unipektin.ch). Acesso em: 20 out. 2021.

WENDLING, I.; STUEPP, A. C.; ZANETTE, F. Araucária, particularidades, propagação e manejo de plantios. **Capítulo 3 - Produção de mudas de araucária por estaqueia e miniestaqueia**. Embrapa Florestas, Brasília, p. 65-106, 2017.

ZOHARY, D. Domestication of the carob (*Ceratonia siliqua* L.). **Israel Journal of Plant Sciences**, p. 141–145, 2002.

ZOTTELE, L.; AOYAMA, E. M.; ELIAS, L.; FALQUETO, R.A. Influência dos diferentes tipos de estacas caulinares no enraizamento e morfoanatomia de *Aphelandra nitida* Ness & Mart. (Acanthaceae). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, n.7, v.6, p. 49290-49309, 2020.

ANEXO 1 – ANÁLISE ESTATÍSTICA: EXPERIMENTOS I E II

TABELA 1. MINIESTACAS ENRAIZADAS (ME), NÚMERO DE RAÍZES (NR), COMPRIMENTO MÉDIO DE RAÍZES (CM), MINIESTACAS VIVAS (MV) E MINIESTACAS BROTADAS (MB) DE *Ceratonia siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA), OUTONO 2021, CURITIBA-PR.

IBA (mg L⁻¹)	ME (%)	NR -	CM (cm)	MV (%)	MB (%)
cv:	19,39%	24,21%	20,26%	5,59%	13,63%
0	1,25 c	0,5 c	1,37 c	98,75 a	27,5 a
1000	13,75 b	2,37 b	4,15 b	87,5 b	28,75 a
2000	23,75 a	2,67 ab	7,07 ab	76,25 c	30 a
3000	17,5 b	3,82 a	5,5 a	83,75 bc	31,25 a

cv: coeficiente de variância.

Médias que apresentam letras iguais dentro da mesma variável não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

TABELA 2. MINIESTACAS ENRAIZADAS (ME), NÚMERO DE RAÍZES (NR), COMPRIMENTO MÉDIO DE RAÍZES (CM), MINIESTACAS VIVAS (MV) E MINIESTACAS BROTADAS (MB) DE *Ceratonia siliqua* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOL BUTÍRICO (IBA), PRIMAVERA 2021, CURITIBA-PR.

IBA (mg L⁻¹)	ME (%)	NR -	CM (cm)	MV (%)	MB (%)
cv:	4,7%	34,28%	22,38%	20,85%	44,03%
0	37,5 a	1,92 b	2,95 c	60 a	61,25 b
1000	38,75 a	3 ab	3,94 c	58,75 a	62,5 b
2000	42,5 a	4,52 ab	3,4 c	55 a	38,75 b
3000	36,25 a	5,4 a	4,61 c	57,5 a	40 b

cv: coeficiente de variância.

Médias que apresentam letras iguais dentro da mesma variável não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

ANEXO 2 – ANÁLISE ESTATÍSTICA FATORIAL DUPLO PARA COMPARAÇÃO ENTRE EXPERIMENTOS I E II

SOFTWARE Rbio - BIOMETRIA NO R
 Procedimento: ANOVA - FATORIAL AxB
 Laboratorio de Biometria www.biometria.ufv.br
 Autor: BHERING, L.L.
 Data: 09/2016

 Variavel = 1 ME

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
IBA	3	756.3	3	3.433	0.032972
ESTACAO	1	5000.0	4	68.085	0.000000
IBA*ESTACAO	3	381.3	2	1.730	0.187485
Residuals	24	1762.5	5		
Total	31	7900.0	1		

 CV = 32.65 %

Shapiro-Wilk normality test

p-value: 0.3062115

According to Shapiro-Wilk normality test at 5% of significance, residuals can be considered normal.

 No significant interaction: analyzing the simple effect

IBA

Tukey's test

Groups Treatments Means

a	3	33.125
ab	2	26.25
ab	4	26.25
b	1	19.375

 ESTACAO

Tukey's test

Groups Treatments Means

a	2	38.75
b	1	13.75

Variavel = 2 NR

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
IBA	3	50.103	4 7.4001	0.00112	
ESTACAO	1	14.988	3 6.6411	0.01654	
IBA*ESTACAO	3	1.667	2 0.2461	0.86324	
Residuals	24	54.164	5		
Total	31	120.921	1		

CV = 49.6 %

Shapiro-Wilk normality test

p-value: 0.08353895

According to Shapiro-Wilk normality test at 5% of significance, residuals can be considered normal.

No significant interaction: analyzing the simple effect

IBA

Tukey's test

Groups Treatments Means

a	4	4.6175
a	3	3.5975
ab	2	2.6875
b	1	1.2125

ESTACAO

Tukey's test

Groups Treatments Means

a	2	3.713125
b	1	2.344375

Variavel = 3 CM

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
IBA	3	47.714	2 5.2284	0.006403	
ESTACAO	1	5.120	4 1.6831	0.206846	
IBA*ESTACAO	3	28.539	5 3.1273	0.044455	
Residuals	24	73.008	3		
Total	31	154.382	1		

CV = 42.26 %

Shapiro-Wilk normality test

p-value: 0.07096992

According to Shapiro-Wilk normality test at 5% of significance, residuals can be considered normal.

Significant interaction: analyzing the interaction

Analyzing IBA inside of each level of ESTACAO

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr.Fc
ESTACAO	1	5.12000	5.12	1.6831	0.2068
IBA:ESTACAO 1	3	70.06685	23.35562	7.6777	9e-04
IBA:ESTACAO 2	3	6.18690	2.0623	0.6779	0.5741
Residuals	24	73.00805	3.042		
Total	31	154.38180			

IBA inside of the level 1 of ESTACAO

Tukey's test

Groups Treatments Means

a	3	7.0775
a	4	5.4975
ab	2	4.16
b	1	1.375

IBA inside of the level 2 of ESTACAO

According to the F test, the means of this factor are statistical equal.

	Levels	Means
1	1	2.950
2	2	3.945
3	3	3.400
4	4	4.615

Analyzing ESTACAO inside of each level of IBA

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr.Fc
IBA	3	47.71443	15.90481	5.2284	0.0064
ESTACAO:IBA 1	1	4.96125	4.96125	1.6309	0.2138
ESTACAO:IBA 2	1	0.09245	0.09245	0.0304	0.8631
ESTACAO:IBA 3	1	27.04801	27.04801	8.8915	0.0065
ESTACAO:IBA 4	1	1.55761	1.55761	0.512	0.4812
Residuals	24	73.00805	3.042		
Total	31	154.38180			

ESTACAO inside of the level 1 of IBA

According to the F test, the means of this factor are statistical equal.

	Levels	Means
1	1	1.375
2	2	2.950

ESTACAO inside of the level 2 of IBA

According to the F test, the means of this factor are statistical equal.

	Levels	Means
1	1	4.160
2	2	3.945

ESTACAO inside of the level 3 of IBA

Tukey's test

 Groups Treatments Means

a	1	7.0775
b	2	3.4

ESTACAO inside of the level 4 of IBA

According to the F test, the means of this factor are statistical equal.

 Levels Means
 1 1 5.4975
 2 2 4.6150

 Variavel = 4 MV

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
IBA	3	784.4	3	2.642	0.07235
ESTACAO	1	6612.5	4	66.821	0.00000
IBA*ESTACAO	3	325.0	2	1.095	0.37047
Residuals	24	2375.0	5		
Total	31	10096.9	1		

CV = 13.78 %

 Shapiro-Wilk normality test

p-value: 0.0848863

According to Shapiro-Wilk normality test at 5% of significance, residuals can be considered normal.

 No significant interaction: analyzing the simple effect

IBA

According to the F test, the means of this factor are statistical equal.

 Levels Means
 1 1 79.375
 2 2 73.125
 3 3 65.625
 4 4 70.625

ESTACAO
Tukey's test

Groups Treatments Means

a 1 86.5625

b 2 57.8125

Variavel = 5 MB

Analysis of Variance Table

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
IBA	3	1952.3	5	2.2056	0.11351
ESTACAO	1	3719.5	4	12.6064	0.00163
IBA*ESTACAO	3	721.1	2	0.8147	0.49837
Residuals	24	7081.2	3		
Total	31	13474.2	1		

CV = 43.11 %

Shapiro-Wilk normality test

p-value: 0.8094499

According to Shapiro-Wilk normality test at 5% of significance, residuals can be considered normal.

No significant interaction: analyzing the simple effect

IBA

According to the F test, the means of this factor are statistical equal.

Levels Means

1 1 44.375

2 2 50.000

3 3 35.000

4 4 30.000

ESTACAO
Tukey's test

Groups Treatments Means

a 2 50.625

b 1 29.0625
