

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Ação de reguladores de crescimento na arquitetura de plantas de dedê (*Elaeis guineenses* jacq.) em plantios comerciais

Ana Luiza Machado Gouvêa
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

ANA LUIZA MACHADO GOUVÊA

Ação de reguladores de crescimento na arquitetura de plantas de dedê (*Elaeis guineenses* jacq.) em plantios comerciais

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Marcos D. V. de Resende

Coorientadores: Gleison A. dos Santos
Genaina A. de Souza

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G719a
2024

Gouvêa, Ana Luiza Machado, 1997-
Ação de reguladores de crescimento na arquitetura de plantas de dendê (*Elaeis guineenses* Jacq.) em plantios comerciais / Ana Luiza Machado Gouvêa. – Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (64 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Marcos Deon Vilela de Resende.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.020>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Plantas - Reguladores. 2. Dendzeiro - Crescimento.
3. Folhas - Crescimento. 4. Produtividade agrícola. I. Resende,
Marcos Deon Vilela de, 1966-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 634.91614

ANA LUIZA MACHADO GOUVÊA

Ação de reguladores de crescimento na arquitetura de plantas de dedê (*Elaeis guineenses* jacq.) em plantios comerciais

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 6 de setembro de 2024.

Assentimento:

Ana Luiza Machado Gouvêa
Autora

Marcos Deon Vilela de Resende
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 04/02/2025 às 19:31:50 e pelo orientador em 26/02/2025 às 09:26:32. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **QCG9.GFAJ.KFZ8** e clique no botão 'Validar documento'.

Dedico aos meus pais e irmãos

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Deus por todas as bênçãos concedidas durante minha graduação e mestrado.

Ao meus pais, Nilo Sérgio e Maria Aparecida por toda a luta e sacrifício para me propiciar uma educação de qualidade e pelo apoio psicológico e emocional durante essa jornada. Ao meu irmão lury, por todos os conselhos, e ao meu irmão Athos por ter tido paciência para lidar com minha ausência e me receber sempre com muita alegria.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela oportunidade de realização do mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos. À EMBRAPII Fibras Florestais pelo financiamento da pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

À empresa Agropalma pelo financiamento da pesquisa e por me receber e me apoiar nas medições do experimento.

Aos professores e orientadores Dr. Marcos Deon Vila de Resende e Dr. Gleison Augusto dos Santos, pela orientação e apoio.

À minha coorientadora Dra. Genaina Aparecida de Souza, por sua orientação que foi além do auxílio com a realização da pesquisa, sempre me motivando e apoiando.

À todos os meus amigos, em especial à Juliana por estar sempre ao meu lado me apoiando durante os momentos mais desafiadores da graduação e mestrado.

RESUMO

GOUVÊA, Ana Luiza Machado, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2024.

Ação de reguladores de crescimento na arquitetura de plantas de dedê (*Elaeis guineenses jacq.*) em plantios comerciais

. Orientador: Marcos Deon Vilela de Resende. Coorientadores: Gleison Augusto dos Santos e Genaina Aparecida de Souza.

O dendezeiro, *Elaeis guineenses* Jacq., é a cultura com maior produção de óleo do mundo com um rendimento de 3 a 6 toneladas/ha (Sousa et al., 2023) e o produto principal é o óleo de palma, extraído do mesocarpo do fruto. A altura é um fator limitante na colheita dos frutos interferindo na vida econômica da planta. Dessa forma, nossa hipótese é que a aplicação do paclobutrazol e do etileno podem agir em sinergismo, o primeiro reduzindo o porte da planta e o segundo proporcionando um efeito compensatório no tamanho do cacho e dos frutos da espécie *Elaeis guineensis*. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi aumentar a vida útil e facilitar a colheita, sem reduzir a produção de frutos da espécie. O delineamento experimental usado foi o de blocos inteiramente ao acaso, com seis tratamentos e 16 repetições, em 3 parcelas com idades de plantio diferentes (3 anos, 5 anos e 10 anos). As árvores receberam diferentes doses do produto, sendo o tratamento controle (sem aplicação de hormônios), e cinco tratamentos com diferentes dosagens: 2 mL de paclobutrazol (PBZ) por centímetro de circunferência da planta; 5 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta; 10 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta; 100 mL de Ethrel; 100 mL de Ethrel com 2 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta. As doses dos reguladores de crescimento foram diluídas em 50 L de água para cada árvore. O experimento foi realizado na fazenda da empresa Agropalma S/A próximo ao município de Tailândia-PA, Brasil. Após a aplicação, foram realizadas visitas a essa área para monitorar e avaliar o crescimento e frutificação das árvores. As análises estatísticas foram realizadas com o Software R, com o pacote ExpDes. A dose de 10 mL de paclobutrazol cm⁻¹ mostrou-se mais eficiente para a redução do crescimento da planta, resultando em uma grande redução da taxa de crescimento da folha sem prejudicar a produção de frutos. Portanto, o paclobutrazol funciona como alternativa para promover uma menor taxa de crescimento de plantas da espécie *Elaeis guineensis* sem afetar a produção dos frutos, esse estudo pode viabilizar o alongamento da vida útil produtiva do dendezeiro, facilitar a colheita dos cachos de frutos tornando o trabalho menos oneroso e diminuindo a deterioração dos frutos, além de possibilitar a diminuição da densidade de plantio.

Palavras-chave: Palavras-chave: reguladores, crescimento, etileno, paclobutrazol, palma de óleo.

ABSTRACT

GOUVÊA, Ana Luiza Machado, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2024. Action of growth regulators in the architecture of oil palm (*Elaeis guineenses* jacq.) plants in commercial plantations. Adviser: Marcos Deon Vilela de Resende. Co-advisers: Gleison Augusto dos Santos and Genaina Aparecida de Souza.

The oil palm, *Elaeis guineenses* Jacq., is the crop with the highest oil production in the world, with a yield of 3 to 6 tons/ha (Sousa et al., 2023), and the main product is palm oil, extracted from the mesocarp of the fruit. Height is a limiting factor in fruit harvesting, interfering with the economic life of the plant. Thus, our hypothesis is that the application of paclobutrazol and ethylene can act synergistically, the former reducing plant size and the latter providing a compensatory effect on the size of the bunch and fruits of the species *Elaeis guineensis*. Therefore, the objective of this study was to increase the useful life and facilitate harvesting, without reducing the fruit production of the species. The experimental design used was a completely randomized block design, with six treatments and 16 replicates, in 3 plots with different planting ages (3 years, 5 years, and 10 years). The trees received different doses of the product, with the control treatment (without hormone application) and five treatments with different doses: 2 mL of paclobutrazol (PBZ) per centimeter of plant circumference; 5 mL of PBZ per centimeter of plant circumference; 10 mL of PBZ per centimeter of plant circumference; 100 mL of Ethrel; 100 mL of Ethrel with 2 mL of PBZ per centimeter of plant circumference. The doses of growth regulators were diluted in 50 L of water for each tree. The experiment was carried out on the farm of Agropalma S/A, near the city of Tailândia, Pará, Brazil. After application, visits were made to this area to monitor and evaluate the growth and fruiting of the trees. Statistical analyses were performed with the R Software, with the ExpDes package. The dose of 10 mL of paclobutrazol cm⁻¹ was more efficient in reducing plant growth, resulting in a large reduction in leaf growth rate without affecting fruit production. Therefore, paclobutrazol works as an alternative to promote a lower growth rate of plants of the species *Elaeis guineensis* without affecting fruit production. This study may enable the extension of the productive lifespan of the oil palm tree, facilitate the harvesting of fruit bunches, making the work less onerous and reducing fruit deterioration, in addition to enabling the reduction of planting density.

Keywords: Keywords: regulators, growth, ethylene, paclobutrazol, oil palm.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Figura 1: Crescimento em altura do dendezeiro.....	17
Figura 2: Comprimento médio da folha.....	18
Figura 3: Produção de cachos por planta.....	19
Figura 4: Produção média de cachos.....	20
Figura 5: Peso média de cachos por planta.....	20
Figura 6: Comprimento e largura dos frutos.....	21
Figura 7: Palmeiras após 16 meses da aplicação do tratamento 3.....	22
Figura 8: Palmeiras após 16 meses da aplicação do tratamento 3.....	23

CAPÍTULO 2

Figura 1: Largura do limbo foliar e número de células por área no pecíolo da folha.....	39
Figura 2: Contéudo de carotenóides, clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e clorofila total.....	40
Figura 3: Teor de açúcares na polpa do fruto nas idades de 3, 5 e 10 anos.....	41
Figura 4: Teor de açúcares na amêndoa do fruto nas idades de 3, 5 e 10 anos.....	42
Figura 5: Atividade das enzimas do estresse oxidativo na polpa dos frutos.....	43
Figura 6: Atividade das enzimas do estresse oxidativo na amêndoa dos frutos.....	44
Figura 7: Teor de óleo na polpa e na amêndoa dos frutos.....	45
Figura 8: Teor de ácidos graxos na idade de 3 anos.....	46
Figura 9: Teor de ácidos graxos na idade de 5 anos.....	47
Figura 10: Teor de ácidos graxos na idade de 10 anos.....	48

SUMÁRIO

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
2 REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO 1: EFEITOS DOS REGULADORES DE CRESCIMENTO, PACLOBUTRAZOL E ETILENO, NO CRESCIMENTO DE PALMA DE ÓLEO (ELAEIS GUINEENSIS Jacq.).....	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3 RESULTADOS.....	19
4 DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÃO.....	30
6 REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 2: COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO, BIOQUÍMICO E ANATÔMICO EM PALMA DE ÓLEO (ELAEIS GUINEENSIS Jacq.) COM USO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO	34
1 INTRODUÇÃO	36
2 MATERIAIS E MÉTODOS	37
2.1 Análises	37
2.2 Análises anatômicas.....	38
2.3 Análise do teor de clorofila.....	38
2.4 Determinação dos metabólitos.....	38
2.5 Determinação das enzimas.....	39
2.6 Extração do óleo	40
2.7 Determinação dos ácidos graxos	41
2.8 Processamento de dados.....	42
3 RESULTADOS.....	42
4 DISCUSSÃO	52
5 CONCLUSÃO.....	58
6 REFERÊNCIAS	59
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O dendezeiro ou palma de óleo tem a sua origem na África Ocidental tropical e subtropical, e pode ter surgido na Guiné Africana, dando origem ao nome científico *Elaeis guineensis* (Mayes, 2020). Na época do comércio de escravos o óleo de palma já era usado como parte da alimentação dos mesmos, mas foi após a Segunda Guerra Mundial que as plantações da Malásia e Indonésia aumentaram sua capacidade produtiva devido a demanda global por óleo vegetal. Atualmente, esses países dominam a produção mundial de óleo de palma (Mayes, 2020). O maior importador de óleo de palma é a União Europeia, onde praticamente não existe o cultivo do dendezeiro (Qaim et al., 2020). As regiões com clima equatorial e com alta pluviosidade são as regiões onde existem os melhores níveis de produção (Murphy et al., 2021). Desta maneira, no Brasil, o estado do Pará se tornou o maior produtor de óleo de palma no país após a década de 2000, a partir disto o cultivo do dendezeiro contribuiu de forma significativa na vida de pequenos produtores e para o PIB estadual (Santana et al., 2022).

Plantas de dendezeiro podem atingir entre 15 a 18 metros de altura (Corley & Tinker, 2015). As folhas nascem em uma espiral de um oitavo e são pinadas chegando a oito metros de comprimento (Soh et al., 2017). O comprimento da folha é uma característica crítica que determina a densidade de plantio dessas árvores (Barcelos et al., 2015). O dendezeiro é monóico, ou seja, a inflorescência masculina e feminina ocorre separadamente na mesma planta e estão localizadas na axila de cada folha. O fruto é uma drupa que se forma em cachos e se divide em exocarpo, mesocarpo, endocarpo e endosperma (Soh et al., 2017). O tipo mais comum é o nigrescens de cor violeta a preto e se torna vermelho alaranjado quando estão maduros (Gomes, 2010). O peso do cacho aumenta com a idade e o número de cachos tem seu pico entre os 6 e 10 anos e diminui após essa idade (Corley e Tinker, 2015).

O dendezeiro produz dois tipos de óleos nos frutos, o óleo de palma extraído do mesocarpo e o óleo de palmiste extraído do endosperma da semente. O óleo do mesocarpo tem cerca de 50% de ácido palmítico, 40% ácido oleico e 10% de outros ácidos graxos insaturados. Já o óleo de palmiste é formado por ácidos graxos saturados de cadeia curta, e se assemelha ao óleo de coco (Mayes, 2020). Dessa forma, o óleo de palma é mais utilizado na alimentação e o óleo de palmiste é mais usado para aplicações não comestíveis como ingrediente importante para a fabricação de sabões, detergentes e cosméticos (Murphy et al., 2021). Além disso, o óleo

de palma tornou-se procurado pela indústria automobilística como um possível substituto dos combustíveis fósseis (Nair, 2021).

Um dos desafios na produção do dendezeiro é a colheita dos frutos. Quanto maior for a altura da palmeira, mais danos são causados nos frutos durante a colheita, pois o impacto dos cachos no chão gera a ativação de enzimas lipases que interferem na qualidade do óleo (Rahman et al., 2016; Mayes, 2020). Logo, a vida econômica de um plantio de dendezeiro é determinada pela altura das palmeiras e pela dificuldade encontrada na colheita dos cachos de frutos, além do custo com mão de obra já que esses plantios não são mecanizados (Mayes, 2020).

Existem vários programas de melhoramento genético do dendezeiro com diferentes objetivos, como: aumentar o rendimento e qualidade do óleo, reduzir o incremento anual da altura, desenvolver palmeiras resistentes à certas doenças e pragas, aumentar o nível de insaturação do óleo, aumentar o teor de ácido láurico, o teor de carotenos e de vitamina E (Nair, 2021). O dendezeiro geralmente leva 12 anos para a primeira geração em um programa de melhoramento, portanto o melhoramento convencional pode ser demorado (Martín et al., 2022).

A aplicação de reguladores de crescimento vem sendo utilizada como uma estratégia de curto prazo para manipular o crescimento e desenvolvimento de plantas (Barcenas & Marie, 2023). Os reguladores de crescimento podem ser compostos naturais ou sintéticos. Esses reguladores são capazes de inibir o crescimento das plantas, melhorar os mecanismos de defesa, promover a divisão e o crescimento celular, aumentar o rendimento e a qualidade dos frutos e ainda, desempenham um papel importante nas respostas ao estresse, como déficit hídrico, altas temperaturas, salinidade e inundações (Meléndez et al., 2022).

O paclobutrazol (PBZ) é utilizado como regulador de crescimento por inibir a biossíntese de giberelinas, o hormônio responsável pelo crescimento da planta. O PBZ age inativando a enzima ent-caureno oxidase que está envolvida na principal via da biossíntese de giberelina, essa inibição resulta no acúmulo de precursores GGP (geranil geranil difosfato), favorecendo a biossíntese de ácido abscísico e a biossíntese de clorofila (Saleem et al., 2023). Dessa forma, o PBZ inibe o crescimento da planta.

Além disso, a aplicação de PBZ pode gerar floração precoce, auxiliar na defesa das plantas, aumentar o acúmulo de carboidratos e melhorar o equilíbrio fonte-dreno para maior produção e qualidade dos frutos (Shalaby et al., 2022; Kumar et al., 2021; Mog et al., 2019). O PBZ pode ainda gerar modificações morfológicas nas folhas, como poros estomáticos menores, folhas mais espessas e aumento da densidade radicular (Desta & Amare, 2021). A aplicação do PBZ pode ser via pulverização foliar ou via solo. Como o composto é pouco solúvel em água e de baixa translocação no floema, quando aplicado por pulverização sua ação fica restrita à área

de contato, logo a aplicação é mais eficaz quando aplicado no solo e absorvido pelas raízes (Desta & Amare, 2021).

O etileno (C_2H_4) é um fitohormônio gasoso que também age como regulador do crescimento e desenvolvimento de plantas. Ele pode ser fornecido via exógena através de compostos liberadores de etileno (Gautman et al., 2022). A aplicação de etileno exógeno pode interferir no florescimento e na expressão sexual das flores, no amadurecimento e abscisão de frutos, e na senescência foliar (Tian et al., 2022). Além disso, o etileno causa “resposta tripla” nas plantas, esta resposta é caracterizada pela inibição do crescimento do hipocótilo, favorecendo o inchaço radial do hipocótilo e o alongamento da raiz (Bhatla & Lal, 2023). A aplicação de etileno pode afetar processos fisiológicos da planta, melhorando o crescimento e a fotossíntese, a produção de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, e a abertura estomática sob diferentes estresses abióticos (Gautman et al., 2022).

O etileno tem efeito significativo na indução de floração e no desenvolvimento de frutos em abacaxizeiro, *Ananas comosus* (Valesser, 2023). Em estudo com pereiras (*Pyrus communis*), o etileno aumentou o número de frutos por árvore e a produtividade (Carra, 2023). Já em estudos com macieiras (*Malus domestica*), a aplicação de etileno diminuiu o crescimento, causou abscisão de frutos e aumentou a frutificação (Pasa et al., 2021).

Nesse sentido, nossa pesquisa investigou a aplicação de paclobutrazol e etrel (como fonte de etileno), na espécie *Elaeis guineensis*. Nossa hipótese é que esses compostos atuam para reduzir o porte da planta sem comprometer a produção de cachos de frutos. No primeiro capítulo, exploramos como esses reguladores podem impactar diretamente o crescimento da planta e a produção dos frutos, enquanto no segundo capítulo analisamos as alterações fisiológicas, bioquímicas e anatômicas que podem ocorrer na folha e no conteúdo do fruto em resposta à aplicação dos reguladores de crescimento.

2 REFERÊNCIAS

Barcelos, Edson, et al. "Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement." **Frontiers in plant science** 6 (2015): 190.

Barcenas, A., & Marie, L. (2023). Vegetative growth characteristics and flower sex expression of *Cucumis sativus* affected by exogenous application of plant growth regulators. **Sarhad Journal of Agriculture**, 39(4), 815-822.

Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2023). **Ethylene**. In *Plant Physiology, Development and Metabolism* (pp. 453-465). Singapore: Springer Nature Singapore.

Carra, B., Herter, F. G., Moretti Ferreira Pinto, F. A., Fontanella Brighenti, A., Pereira Pasa, C., Mello-Farias, P. C., ... & da Silveira Pasa, M. (2023). Return Bloom and Yield of 'Rocha' Pear Trees are Improved by Ethephon and Paclobutrazol. **Journal of Plant Growth Regulation**, 42(6), 3650-3661.

Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2003). The classification and morphology of the oil palm. **The Oil Palm**, 27-51.

Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A. (2013). **ExpDes.pt: Experimental Designs pacakge** (Portuguese). R package version 1.1.2.

Gautam, H., Fatma, M., Sehar, Z., Iqbal, N., Albaqami, M., & Khan, N. A. (2022). Exogenously-sourced ethylene positively modulates photosynthesis, carbohydrate metabolism, and antioxidant defense to enhance heat tolerance in rice. **International Journal of Molecular Sciences**, 23(3), 1031.

Gomes Junior, R. A. **Bases técnicas para a cultura da palma de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental (2010).

Kumar, A., Ram, S., Bist, L. D., & Singh, C. P. (2021). Paclobutrazol boost up for fruit production: A review. **Annals of the Romanian Society for Cell Biology**, 25(6), 963-980.

Martin, J. J., Yarra, R., Wei, L., & Cao, H. (2022). Oil palm breeding in the modern era: Challenges and opportunities. **Plants**, 11(11), 1395.

Mayes, S. (2020). The history and economic importance of the oil palm. **The Oil Palm Genome**, 1-8.

Mog, B., Janani, P., Nayak, M. G., Adiga, J. D., & Meena, R. (2019). Manipulation of vegetative growth and improvement of yield potential of cashew (*Anacardium occidentale* L.) by Paclobutrazol. **Scientia Horticulturae**, 257, 108748.

Murphy, D. J., Goggin, K., & Paterson, R. R. M. (2021). Oil palm in the 2020s and beyond: challenges and solutions. **CABI agriculture and bioscience**, 2, 1-22.

Nair, K. P. (2021). **Tree crops**. Harvesting Cash from the World's Important Cash Crops, 1st ed.; Springer Nature: Cham, Switzerland, 249-285.

Orozco-Meléndez, L. R., Hernández-Rodríguez, O. A., Cruz-Álvarez, O., Robles-Hernández, L., Ávila-Quezada, G. D., Chavez, E. S., ... & Ojeda-Barrios, D. L. (2022). Paclobutrazol and its use in fruit production: A review. **Phyton**, 91(1), 1.

Pasa, M. D. S., Carra, B., Brighenti, A. F., Pinto, F. A. M. F., Mello-Farias, P. C. D., & Herter, F. G. (2021). Ethephon as a potential tool to manage alternate bearing of 'Fuji' apple trees. **Revista Ceres**, 68(3), 180-184.

Qaim, M., Sibhatu, K. T., Siregar, H., & Grass, I. (2020). **Environmental, economic, and social consequences of the oil palm boom**.

Saleem, K., Asghar, M. A., Raza, A., Pan, K., Ullah, A., Javed, H. H., ... & Riaz, A. (2023). Alleviating drought stress in strawberry plants: unraveling the role of paclobutrazol as a growth regulator and reducer of oxidative stress induced by reactive oxygen and carbonyl species. **Journal of Plant Growth Regulation**, 1-16.

Santana, C. A. M., SOUZA, G. D. S., Homma, A. K. O., Gomes, E. G., & Aragão, A. A. (2022). **40 anos de transformações na agricultura paraense: implicações para políticas públicas.**

Shalaby, T. A., Taha, N. A., Taher, D. I., Metwaly, M. M., El-Beltagi, H. S., Rezk, A. A., ... & Bayoumi, Y. A. (2022). Paclobutrazol improves the quality of tomato seedlings to be resistant to *Alternaria solani* Blight disease: Biochemical and histological perspectives. **Plants**, 11(3), 425.

Soh, A. C., Mayes, S., & Roberts, J. A. (Eds.). (2017). Oil palm breeding: genetics and genomics. **CRC Press**.

Tian, Y., Chen, Z., Jiang, Z., Huang, X., Zhang, L., Zhang, Z., & Sun, P. (2022). Effects of plant growth regulators on flower abscission and growth of tea plant *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. **Journal of Plant Growth Regulation**, 41(3), 1161-1173.

Valleser, V. C. (2023). Applications and effects of phytohormones on the flower and fruit development of pineapple (*Ananas comosus* L.). **International Journal of Horticultural Science and Technology**, 10(1), 77-86.

**CAPÍTULO 1: EFEITOS DOS REGULADORES DE CRESCIMENTO,
PACLOBUTRAZOL E ETILENO, NO CRESCIMENTO DE PALMA DE ÓLEO
(*ELAEIS GUINEENSIS* Jacq.)**

RESUMO

O dendezeiro, *Elaeis guineenses* Jacq., é a cultura com maior produção de óleo do mundo com um rendimento de 3 a 6 toneladas/ha (Sousa et al., 2023) e o produto principal é o óleo de palma, extraído do mesocarpo do fruto. A altura é um fator limitante na colheita dos frutos interferindo na vida econômica da planta. Dessa forma, nossa hipótese é que a aplicação do paclobutrazol e do etileno podem agir em sinergismo, o primeiro reduzindo o porte da planta e o segundo proporcionando um efeito compensatório no tamanho do cacho e dos frutos da espécie *Elaeis guineensis*. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi aumentar a vida útil e facilitar a colheita, sem reduzir a produção de frutos da espécie. O delineamento experimental usado foi o de blocos inteiramente ao acaso, com seis tratamentos e 16 repetições, em 3 parcelas com idades de plantio diferentes (3 anos, 5 anos e 10 anos). As árvores receberam diferentes doses do produto, sendo o tratamento controle (sem aplicação de hormônios), e cinco tratamentos com diferentes dosagens: 2 mL de paclobutrazol (PBZ) por centímetro de circunferência da planta; 5 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta; 10 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta; 100 mL de Ethrel; 100 mL de Ethrel com 2 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta. As doses dos reguladores de crescimento foram diluídas em 50 L de água para cada árvore. O experimento foi realizado na fazenda da empresa Agropalma S/A próximo ao município de Tailândia-PA, Brasil. Após a aplicação, foram realizadas visitas a essa área para monitorar e avaliar o crescimento e frutificação das árvores. As análises estatísticas foram realizadas com o Software R, com o pacote ExpDes. A dose de 10 mL de paclobutrazol cm^{-1} mostrou-se mais eficiente para a redução do crescimento da planta, resultando em uma grande redução da taxa de crescimento da folha sem prejudicar a produção de frutos. Portanto, o paclobutrazol funciona como alternativa para promover uma menor taxa de crescimento de plantas da espécie *Elaeis guineensis* sem afetar a produção dos frutos, esse estudo pode viabilizar o alongamento da vida útil produtiva do dendezeiro, facilitar a colheita dos cachos de frutos tornando o trabalho menos oneroso e diminuindo a deterioração dos frutos, além de possibilitar a diminuição da densidade de plantio.

Palavras-chave: reguladores, crescimento, etileno, paclobutrazol, palma de óleo.

1 INTRODUÇÃO

O dendezeiro, *Elaeis guineenses* Jacq., é a cultura com maior produção de óleo do mundo com um rendimento de 3 a 6 toneladas/ ha (Sousa et al., 2023) e o produto principal é o óleo de palma, extraído do mesocarpo do fruto (Conceição et al., 2021; Brazilio et al., 2012). O óleo de palma ou óleo de dendê é a matéria-prima para uso alimentício, medicinal, oleoquímico e industrial (Brazilio et al., 2012).

A altura é um fator limitante na colheita dos frutos interferindo na vida econômica da planta, isso ocorre porque a colheita envolve cortar os cachos de frutos e deixá-los cair, o que pode causar danos aos frutos e reduzir a qualidade do óleo extraído (Rahman et al., 2016). Alterar a arquitetura das árvores, como altura e comprimento de folha, pode diminuir a intensidade de trabalho e facilitar a colheita (Barcelos et al., 2015), além de possibilitar a otimização da densidade de plantio.

O melhoramento do dendezeiro se baseia nas suas principais características econômicas, como o rendimento e a composição do óleo, a resistência a pragas e doenças e a arquitetura da planta (Murphy et al., 2021). Muitos testes de melhoramento visam obter variedades genéticas de palmeiras anãs com alto rendimento de óleo (Azni et al., 2014). O uso de reguladores de crescimento pode ser uma alternativa dentro do melhoramento para reduzir o crescimento do dendezeiro.

Os compostos triazólicos são reguladores do crescimento que alteram o equilíbrio de hormônios vegetais envolvidos no crescimento incluindo ácido giberélico (GA), ácido abscísico (ABA) e citocinina (Desta & Amare, 2021). O paclobutrazol (PBZ) é um triazol que funciona como um regulador de crescimento interferindo na biossíntese de giberelina, reduzindo o alongamento e divisão celular das plantas e estimulando a fase reprodutiva (Taiz & Zinger, 2017). A aplicação de PBZ resultou em uma rápida redução na altura de mudas de dendezeiro (Rahman et al., 2016) e estimulou a floração e frutificação in vitro em explantes de dendezeiro (Nizam & Sompong, 2012), porém não há relatos do efeito do paclobutrazol sobre o crescimento e produção de flores e frutos do dendezeiro em plantios no solo.

O paclobutrazol pode reduzir a altura e induzir a floração de plantas frutíferas como, *Mangifera indica* L. (Gohel et al., 2021), *Pyrus communis* L. (Carra et al., 2023) e *Olea europea* cv. Arbosana (Ajmi et al., 2020). Há relatos na literatura do uso do paclobutrazol para reduzir a altura de tamareiras (*Phoenix dactylifera* L.) que são palmeiras que também tem a altura como fator limitante no manejo da cultura, assim como o dendezeiro (Cohen et al., 2013).

Já o etileno é outro regulador de crescimento responsável por várias respostas na planta, incluindo a germinação da semente, crescimento da plântula, a expansão e diferenciação celular, a senescência e a abscisão foliar e floral (Binder, 2020). A aplicação de etileno pode causar a redução no crescimento de plantas, como ocorre na ervilha *Pisum sativum* (Iqbal et al., 2017) e induzir a sincronização de florescimento, como o abacaxizeiro, *Ananas comosus* (Valleser, 2023).

Dessa forma, nossa hipótese é que a aplicação do paclobutrazol e do etileno podem agir em sinergismo, o primeiro reduzindo o porte da planta e o segundo proporcionando um efeito compensatório no tamanho do cacho e dos frutos da espécie *Elaeis guineensis*. Sendo assim, nossos objetivos são aumentar a vida útil e facilitar a colheita, sem reduzir a produção de frutos da espécie.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma fazenda da empresa Agropalma S/A próximo ao município de Tailândia-PA, Brasil. O clima é caracterizado como Afi, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual superior a 26 °C e precipitação anual de 2.420 mm, sendo agosto o mês mais seco quando a precipitação mensal é de cerca de 80 mm (Alvares et al., 2013).

O delineamento experimental usado foi o de blocos inteiramente ao acaso, com seis tratamentos e 16 repetições, em 3 parcelas com idades de plantio diferentes (3 anos, 5 anos e 10 anos). A fonte comercial de paclobutrazol utilizada nesse experimento foi o produto Cultar® 250SC (25% de ingrediente ativo) e a fonte comercial de etileno utilizada foi o Ethrel® 720 (24% de ingrediente ativo). As árvores receberam diferentes doses do produto que foram diluídas em 50 L de água para cada árvore, sendo seis tratamentos:

- Aplicação de 2 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta;
- Aplicação de 5 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta;
- Aplicação de 10 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta;
- Aplicação de 100 mL de Ethrel;
- Aplicação de 100 mL de Ethrel com 2 mL de PBZ por centímetro de circunferência da planta;
- Sem aplicação de regulador de crescimento (tratamento controle);

A solução foi distribuída, de forma homogênea no solo, com o auxílio de um regador em um raio de dois metros a partir da base da árvore. Essa área foi previamente limpa, retirando a mato competição, para que o produto fosse aplicado diretamente no solo e para que não houvesse competição de outras plantas com a espécie alvo pelo regulador de crescimento.

O experimento teve duração de 18 meses, a cada 3 meses foi realizado o acompanhamento das plantas por meio de medições dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento do dendezeiro, são eles: número de folhas; comprimento da folha 17; número de folíolos na folha 17; comprimento médio dos folíolos; comprimento da ráquis; comprimento do pecíolo; quantidade de cachos.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando a Análise de Variância (ANOVA) para verificar as diferenças entre os grupos. Quando necessário, o teste de Tukey foi aplicado para realizar comparações múltiplas e identificar quais grupos apresentavam diferenças significativas. Além disso, o teste de Scott-Knott foi empregado como uma alternativa para a comparação das médias. Essas análises foram realizadas no Software R (R Core Team 2023), com o pacote ExpDes (Ferreira et al.2013). O gráfico de análise da altura foi gerado pela diferença de altura da última medição pela primeira medição realizada. Enquanto a análise do crescimento e da produção de frutos foi realizada avaliando os parâmetros ao longo do tempo.

3 RESULTADOS

Os primeiros efeitos do paclobutrazol começaram a ser observados quatro meses após a aplicação, as folhas mais novas apresentaram maior proximidade entre si e uma coloração mais esverdeada. Após 18 meses da implementação do experimento, observamos diferença significativa nas plantas que tiveram aplicação dos reguladores aos três anos de idade (Figura 1A) e cinco anos da idade (Figura 1B). Aos três anos, as plantas demonstraram redução no crescimento em altura de tronco nos tratamentos 1 (2 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹) e tratamento 4 (100 mL de ethrel). Já na idade de cinco anos, o tratamento 2 (5 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹) e tratamento 5 (2 mL de PBZ cm⁻¹ + 100 mL de ethrel) apresentaram crescimento próximo ao tratamento controle. Enquanto as plantas que tiveram as aplicações aos dez anos não apresentaram diferença significativa, ainda que possamos observar a redução de crescimento no tratamento 3 (Figura 1).

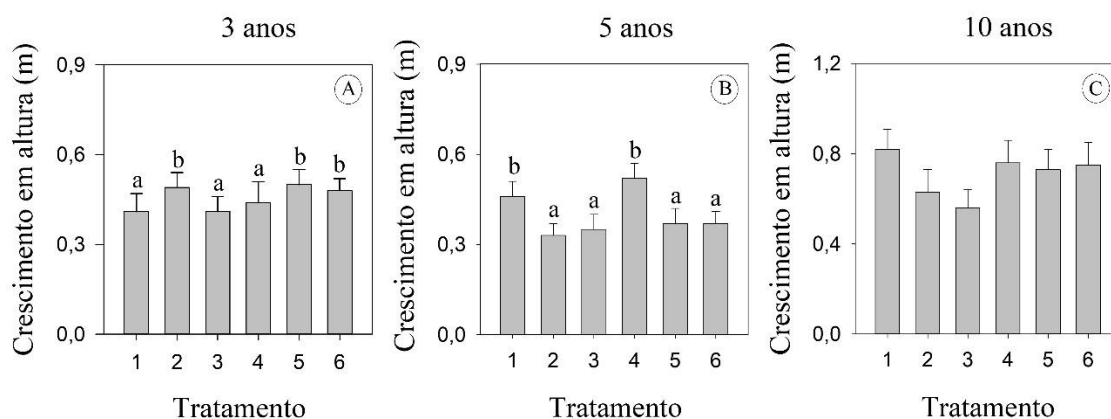


Figura 1. Crescimento em altura de plantas de dendezeiro, com três (A) cinco (B) e dez anos (C). As barras, média \pm dp, n = 16. Tratamento 1 (2 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 2 (5 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 4 (100 mL de ethrel), tratamento 5 (2 mL de PBZ cm⁻¹ + 100 mL de ethrel) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Scott-Knott, P<0.05).

O comprimento da folha também foi menor nas plantas submetidas ao tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹) em todas as idades de plantio, atingindo os menores valores após 15 meses da aplicação dos reguladores. Aos 15 meses, as plantas deste tratamento, apresentaram redução de 34%, 38% e 26% em relação ao tratamento controle nas idades de três, cinco e dez anos, respectivamente. Na última medição, observamos que o menor comprimento de folha no tratamento 3 se manteve, porém, ocorreu um pequeno aumento do comprimento, podendo indicar que o efeito do paclobutrazol pode diminuir após 18 meses da aplicação (Figura 2).

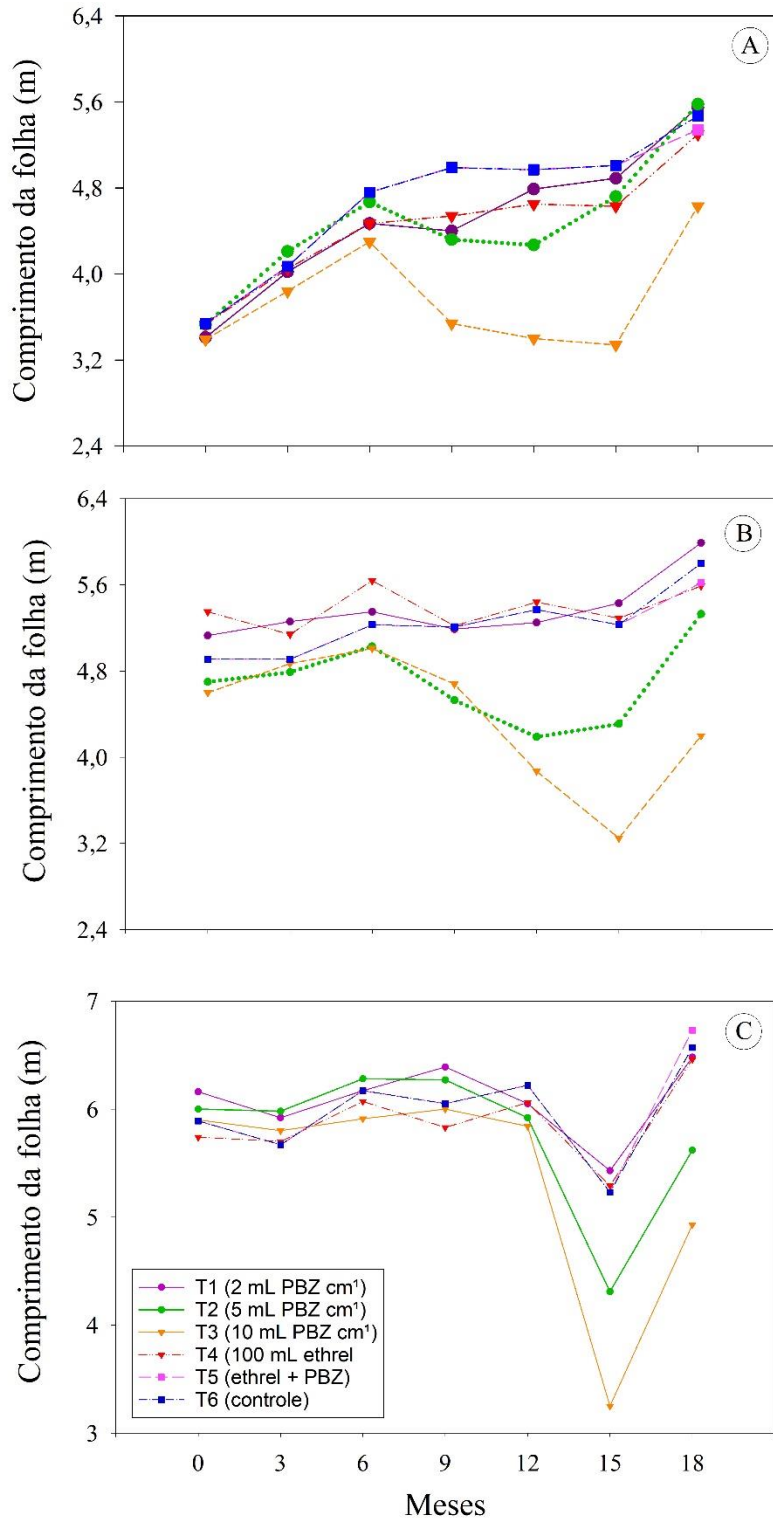


Figura 2. Comprimento médio da folha durante as medições realizadas no experimento. As medições realizadas foram: antes da aplicação dos reguladores (0), três meses após a aplicação (3), seis meses após a aplicação (6), nove meses após a aplicação (9), 12 meses após a aplicação (12), 15 meses após a aplicação (15), 18 meses após a aplicação (18). N = 16. (Tukey, $P < 0.05$).

Aos três anos (Figura 3), após 12 meses da aplicação dos reguladores de crescimento, ocorreu um pico da produção de cachos de fruto/planta no tratamento 1 (2 mL de PBZ cm⁻¹),

tratamento 2 (5 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}). Já na idade de cinco anos (Figura 3B), o pico na produção nos tratamentos 1 (2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}), ocorreu após nove meses da aplicação dos reguladores. Nas plantas de 10 anos (Figura 3C), o pico de produção ocorreu após 12 meses da aplicação dos reguladores de crescimento, ocorreu o pico da produção no tratamento 4 (100 mL de ethrel), tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}).

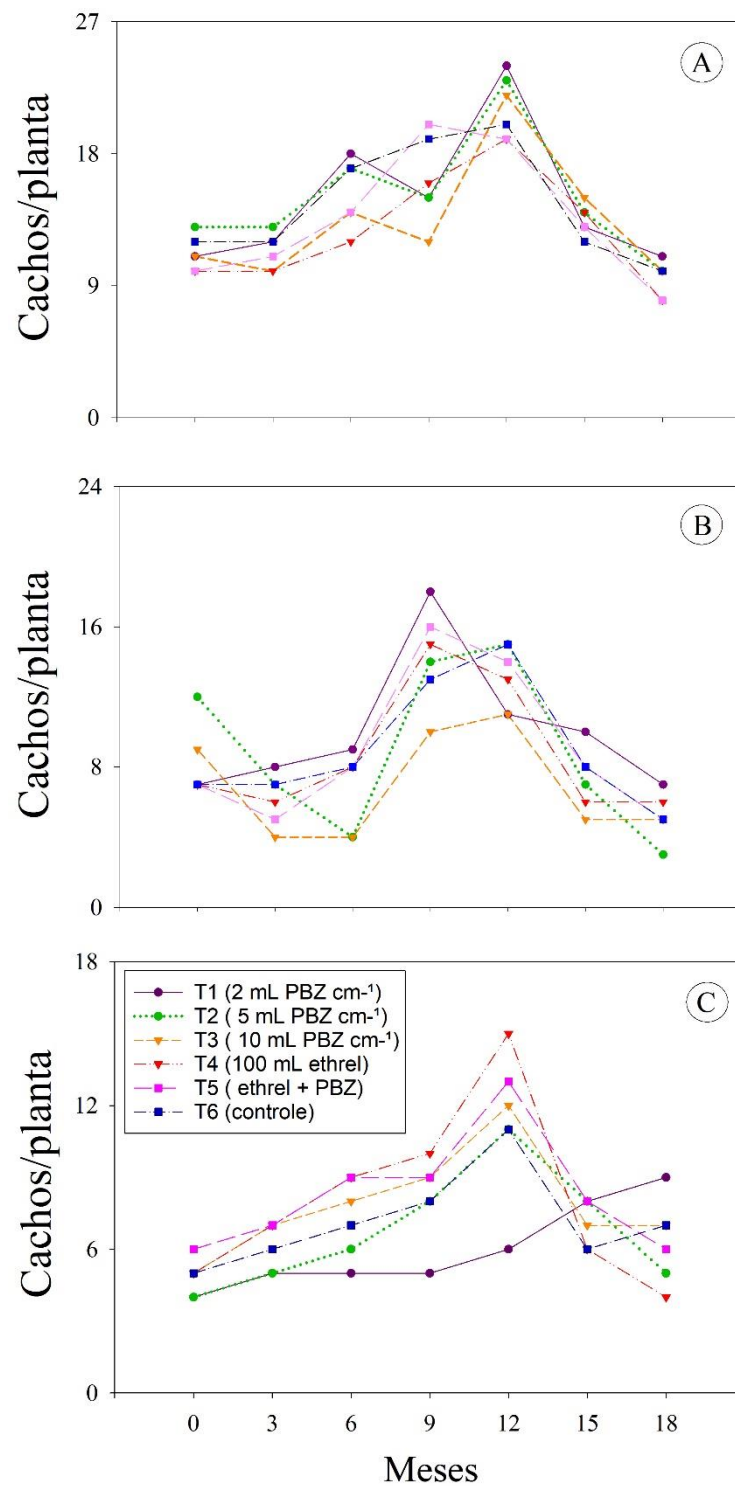


Figura 3. Produção de cachos por planta durante as medições realizadas no experimento nos dendezeiros com 3 anos (A), 5 anos (B) e 10 anos (C). As medições realizadas foram: antes da aplicação dos reguladores (0), três meses após a aplicação (3), seis meses após a aplicação (6), nove meses após a aplicação (9), 12 meses após a aplicação (12), 15 meses após a aplicação (15), 18 meses após a aplicação (18). N = 16. (Tukey, $P < 0.05$).

Quanto a produção média de cachos no período avaliado (18 meses de avaliação), não observamos diferença significativa na produção de cachos. Mas houve um aumento da produção de cachos no tratamento 2 (5 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 1 (2 mL de PBZ cm^{-1}), respectivamente, quando aplicados aos três anos (Figura 4A). Quando aplicado aos cinco anos, os tratamentos 1 e 5, respectivamente, apresentaram um aumento da produção de cachos (Figura 4B). Também foi observado um aumento de cachos na idade de dez anos, nos tratamentos 5 (2 mL de PBZ cm^{-1} + 100 mL de ethrel), 4 (100 mL de ethrel) e 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), respectivamente (Figura 4C).

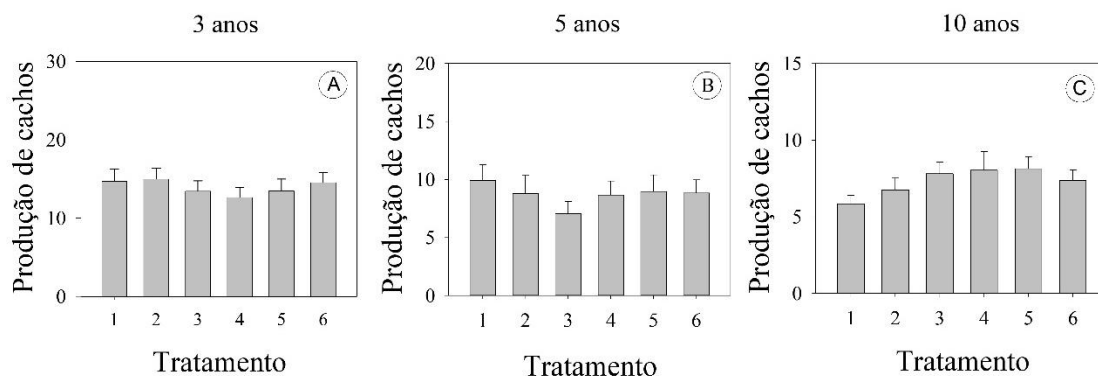


Figura 4. Produção média de cachos por planta durante as 6 medições realizadas no experimento nos dendezeiros com 3 anos (A), 5 anos (B) e 10 anos (C). Tratamento 1 (2 mL de PBZ. cm^{-1}), tratamento 2 (5 mL de PBZ. cm^{-1}), tratamento 3 (10 mL de PBZ. cm^{-1}), tratamento 4 (100 mL de ethrel), tratamento 5 (2 mL de PBZ. cm^{-1} + 100 mL de ethrel) e tratamento 6 (controle). (Tukey, $P < 0.05$).

O peso médio dos cachos/planta apresentou diferença significativa nas plantas de cinco anos (Figura 5B), observamos que o peso foi maior no tratamento 4 (100 mL de ethrel), aumentando 68,87% do peso dos cachos de fruto em relação ao tratamento controle. Nas plantas com três anos, observamos que este mesmo tratamento gerou um leve aumento no peso dos cachos.

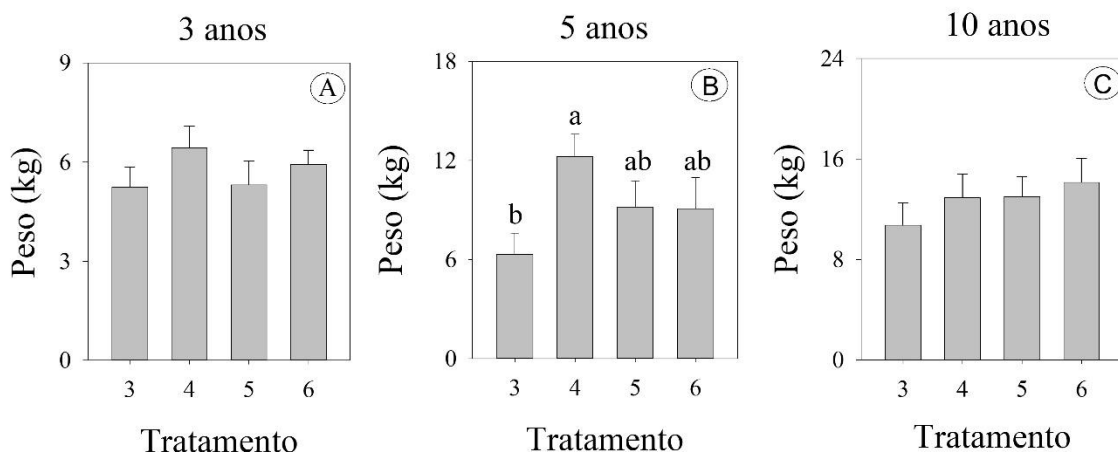


Figura 5. Peso médio dos cachos de fruto/planta nos tratamentos 3 (10 mL de PBZ.cm⁻¹), tratamento 4 (100 ml) e tratamento 5 (100 mL de PBZ.cm⁻¹ + 2 mL de PBZ.cm⁻¹). Barras = média ± DP, n = 6. As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, P<0.05).

Aos três anos (Figura 6A), o comprimento médio do fruto foi maior em todos os tratamentos em relação ao tratamento controle e a largura média do fruto foi maior no tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹). Já na idade de 5 anos de plantio, todos os tratamentos com regulador de crescimento diminuíram o comprimento e a largura dos frutos, sendo que o tratamento 3 apresentou leve diminuição do tamanho do fruto (Figura 6B). Na idade de 10 anos de plantio, o tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹) teve maior comprimento médio de frutos, enquanto a largura média dos frutos no tratamento 3 e no tratamento 4 apresentou largura média próxima ao tratamento controle (Figura 6C).

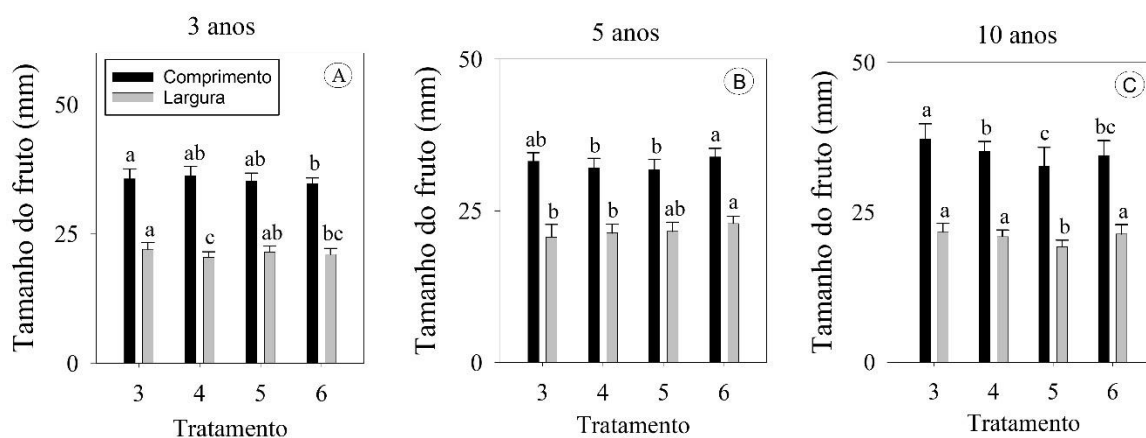


Figura 6. Comprimento e largura dos frutos na idade de 3 anos (A), 5 anos (B) e 10 anos (C). As barras, média ± dp, n = 80. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 4 (100 ml) e tratamento 5 (100 mL de PBZ cm⁻¹ + 2 mL de PBZ PBZ cm⁻¹). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, P<0.05).

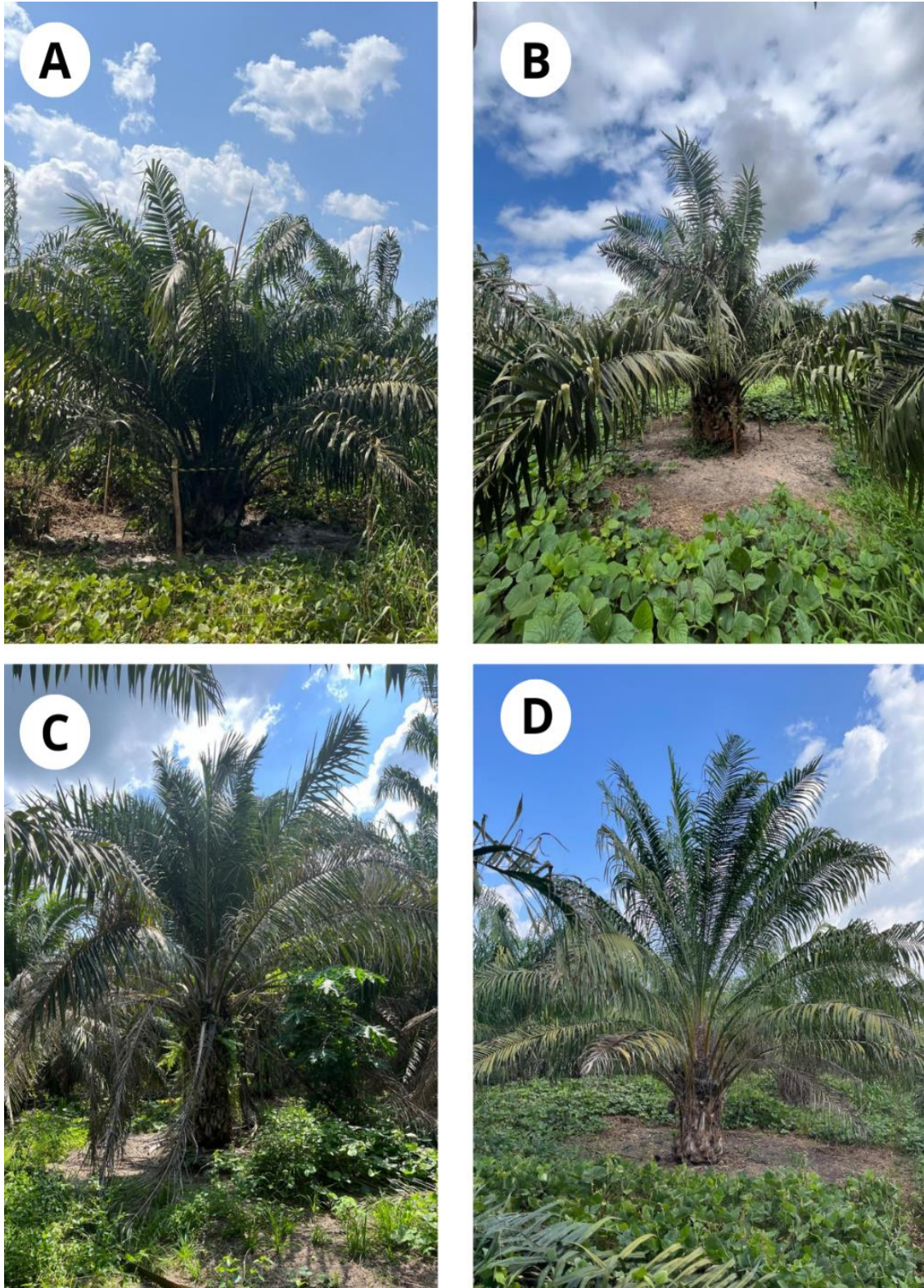


Figura 7. Palmeiras com 16 meses da aplicação de 10 mL de PBZ cm^{-1} (A-C). Palmeira com 3 anos (A). Palmeira com 5 anos (B). Palmeira com 10 anos (C). Palmeira do tratamento controle (D).

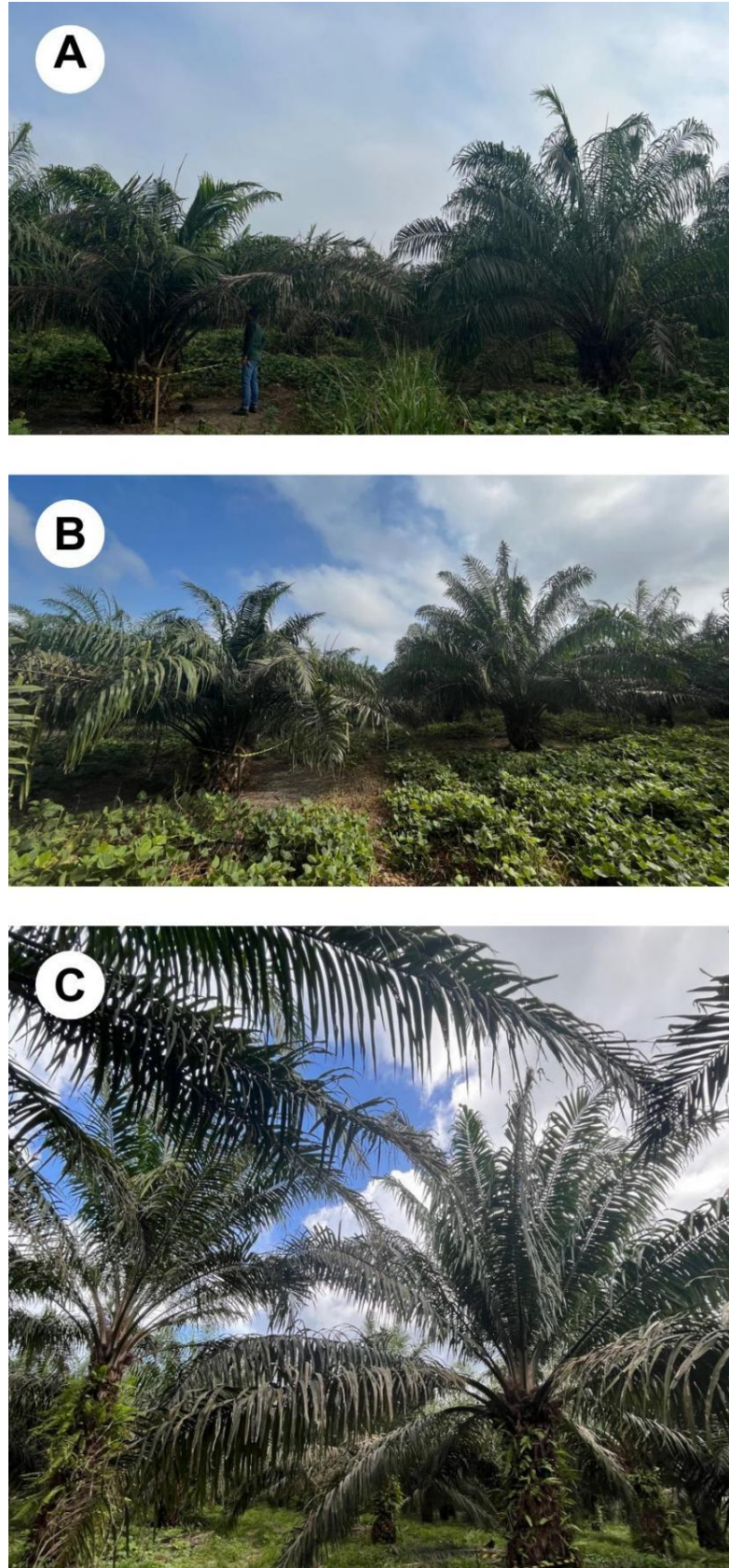


Figura 8. Palmeiras com 16 meses da aplicação do tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹). Planta à esquerda com aplicação do tratamento 3 (A). Planta á esquerda com aplicação do tratamento 3 (B). Planta à direita com aplicação do tratamento 3 (C). Observa se que as plantas com a aplicação do tratamento 3 apresentam redução da altura.

4 DISCUSSÃO

Observamos que houve efeito do PBZ nas plantas avaliadas, a redução da altura do tronco e do comprimento da folha no tratamento 3 (10 mL de PBZ.cm⁻¹) pode ser atribuída ao fato de que o PBZ funciona como inibidor do alongamento celular e dos entrenós que retarda o crescimento das plantas (Desta & Amare 2021), agindo analogamente ao ácido abscísico (ABA). Esse regulador age como antagonista na rota da ent-caureno oxidase, uma enzima que catalisa a oxidação de ent-caureno para ácido ent-caurenóico. Ou seja, atua inibindo a síntese de giberelinas (GA) levando a uma redução do crescimento das plantas. Comportamento reforçado pela sua ação no comprimento da folha (Guan et al. 2019, Xia et al. 2018).

A inibição da síntese de GA leva ao acúmulo de precursores na via dos terpenóides, o que, por sua vez, estimula a atividade de enzimas-chave, como a geranyl redutase e a fitoeno sintase. Essas enzimas são essenciais para a biossíntese de clorofila e ácido abscísico (Meléndez et al., 2022). O aumento nos níveis de ABA nas folhas resulta em diversas respostas adaptativas importantes. Primordialmente, o ABA reduz o crescimento da planta, além de desempenhar um papel crucial na regulação da perda de água. Justificando assim nossos achados quanto a redução tanto na altura das plantas quanto no comprimento das folhas (Figura 1 e 2). Esse regulador também atua promovendo o fechamento estomático, o que reduz a transpiração e ajuda na conservação da umidade.

A regulação mais eficaz da condutância estomática, mediada pela maior concentração de ABA, induzido pela aplicação de PBZ, não só ajuda a conservar água, mas também desempenha um papel importante na maturação dos frutos. Adicionalmente, a redução do crescimento e alongamento celular pode atuar como um sinal fisiológico que indica a transição da planta da fase juvenil para a fase reprodutiva. Em outras palavras, a planta se prepara para a reprodução ao manter um equilíbrio adequado de água e nutrientes, otimizando, assim, a qualidade e a quantidade dos frutos produzidos (Wei et al., 2021). Além disso, o PBZ contribui para a manutenção das moléculas de clorofila, um componente vital para a fotossíntese (Desta & Amare, 2021).

Além disso, o PBZ contribui não só para a manutenção das moléculas de clorofila nas folhas, mas também na longevidade da molécula (Guan et al., 2019). Como já mencionado, a clorofila é crucial para a fotossíntese, pois captura a luz solar e a converte em energia química. Com uma maior quantidade de clorofila, a planta aumenta a eficiência da fotossíntese, resultando em uma maior produção de fotoassimilados, como açúcares e outros compostos

orgânicos. Esses fotoassimilados são então direcionados para os órgãos de crescimento mais exigentes, como flores e frutos, promovendo o desenvolvimento e a produção de frutos de maior quantidade e qualidade (Desta & Amare, 2021). Portanto, a combinação de uma condutância estomática mais estável e a manutenção eficiente da clorofila pode proporcionar uma taxa fotossintética elevada, beneficiando diretamente o crescimento e a produtividade dos frutos.

Assim, o papel dos fotoassimilados pode ir além do abastecimento dos frutos, mas podem influenciar a mudança da fase metabólica nas plantas, através da sinalização molecular desempenhada pelos açúcares (Souza, 2018). O aumento de açúcares redutores por exemplo, são associados a fase de divisão e alongamento celular (Souza et al., 2018, Koch, 2004), enquanto o aumento da concentração de sacarose se associa ao amadurecimento de frutos e sementes.

Sendo assim, o aumento da produção de frutos observado nos tratamentos com PBZ no dendezeiro (Figura 3 e 4), pode estar relacionado à ação dos fotoassimilados, justificando ainda o aumento do tamanho dos frutos nas plantas em que foram aplicados os reguladores de crescimento aos três e aos dez anos de idade (Figura 6A e 6C).

Paralelamente, o ethrel ao atingir os tecidos internos da planta é degradado, liberando íons etileno, clorato e fosfato (Valleser, 2023) aumentando assim a concentração de etileno na planta. A inibição do crescimento pelo etileno exógeno ainda não é bem compreendida, uma suposição é que o etileno e o GA são antagônicos nas plantas (Iqbal et al. 2017).

Em plantas de *Arabidopsis thaliana* que produzem excesso de etileno já foi observado redução no crescimento, pois o acúmulo nas folhas desencadeia a ativação de proteínas que inibem a progressão para a fase S na divisão celular (Dubois et al., 2018). A fase S é responsável pela replicação do DNA e pela preparação das células para a divisão, e sua inibição resulta em menor crescimento e desenvolvimento da planta (Valleser, 2023). Adicionalmente, o etileno induz a expressão de um fator de transcrição denominado ERF6, este fator induz a expressão de uma enzima inativadora do ácido giberélico, AG2-OX6, que desencadeia uma redução nos níveis de giberelina impactando o crescimento da planta (Dubois et al., 2018).

Além disso, o etileno pode alterar o padrão de crescimento, normalmente os microtúbulos se orientam transversalmente ao eixo de crescimento, facilitando o alongamento celular. Porém, em resposta ao etileno, essa orientação muda para um padrão longitudinal, o que restringe o crescimento em altura e favorece o desenvolvimento mais equatorial da planta (Taiz & Zeiger, 2017). Os efeitos inibitórios do etileno no crescimento são complexos e podem depender da espécie, da concentração e do estágio de desenvolvimento da planta (Vandenbussche & Van Der Straeten, 2012). Ou seja, o efeito do etileno pode ser diferente em

plantas jovens em comparação com plantas maduras, explicando as variações nos efeitos observados em diferentes idades (Figura 2).

Em nossos resultados, os tratamentos com ethrel (tratamento 4 e tratamento 5), se destacaram no aumento da produção de frutos em relação aos tratamentos com PBZ (Figura 3), resultado semelhante foi encontrado em pereiras (Carra et al., 2023).

O etileno participa da regulação de processos de fertilização de flores e da frutificação, porém o mecanismo exato pelo qual atua ainda é desconhecido (An et al., 2020). Sabe-se que as mudanças nos níveis de etileno podem influenciar o metabolismo celular, afetando a sinalização e regulação do período de floração (Iqbal et al., 2017). Uma hipótese é que a diminuição dos níveis de giberelina pode gerar o equilíbrio entre os hormônios envolvidos na floração e consequentemente na frutificação, esse equilíbrio hormonal pode levar a um aumento na produção de frutos e no peso dos frutos (Figura 5B), como ocorre no abacaxizeiro (Valesser, 2023).

Dessa forma, embora o modo exato de ação do etileno na fertilização e frutificação ainda não seja totalmente compreendido, a evidência sugere que ele desempenha um papel crucial na regulação hormonal e no metabolismo celular que afeta a produção e a qualidade dos frutos. Logo, a investigação desses mecanismos é fundamental para aprimorar práticas agrícolas e para manipular o crescimento das plantas de maneira mais eficaz.

O etileno também afeta os processos fisiológicos e metabólicos que podem proporcionar aumento na concentração de açúcares, reduzindo o estresse oxidativo através do aumento da atividade enzimática do estresse oxidativo, influenciando no potencial redox (Gautam et al., 2022). O etileno também tem efeito na regulação estomática, uma regulação estomática eficiente permite uma melhor gestão da troca gasosa e da transpiração, o que pode ajudar a conservar a água e otimizar a fotossíntese (Hawa et al., 2023). Esses efeitos combinados melhoram a capacidade fotossintética da planta, resultando em uma maior produção de açúcares e uma melhor qualidade dos frutos produzidos (Figura 3B e 3C). Como não existem relatos dos efeitos que o etileno gera na frutificação do dendezeiro, apenas estudos em que a aplicação de ethephon, outro indutor de etileno, aumentou a abscisão e a maturação de frutos (Low et al., 2021), nosso estudo se mostra pioneiro, sendo fonte de informação para pesquisas futuras na área.

5 CONCLUSÃO

A aplicação dos reguladores de crescimento, paclobutrazol e ethrel, podem ser utilizados para diminuir o crescimento da espécie *Elaeis guineensis* Jacq. e seus efeitos dependem da dose e da idade.

Para a redução do tamanho da folha o melhor tratamento foi o tratamento 3 (10 mL de PBZ.cm⁻¹) para todas as idades. Observamos a redução de 34%, 38% e 25% em relação ao tratamento controle nas idades de três, cinco e dez anos, respectivamente. Como quanto antes a ação de diminuição do comprimento da folha ocorrer é melhor, do ponto de vista operacional de manejo da cultura, recomenda-se em escala operacional a aplicação de 10 mL de PBZ.cm⁻¹ aos três anos de idade.

Para a redução do crescimento em altura o melhor tratamento também foi o 3 (10 mL de PBZ.cm⁻¹) para aplicação aos três, cinco anos. Observamos a redução de 15% e 5,1% da altura em relação ao tratamento controle, aos três e cinco anos, respectivamente.

Como quanto antes a ação de diminuição de altura ocorrer é melhor do ponto de vista operacional de manejo da cultura, recomenda-se em escala operacional a aplicação de 10 mL de PBZ.cm⁻¹ aos três anos de idade.

Considerando a produção média de cachos durante o período avaliado, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Conclui-se portanto que a aplicação de reguladores de crescimento não alterou a produção de cachos no período avaliado.

Para o aumento do peso dos cachos de fruto, nas idades de 3 e 10 anos não houve diferença estatística. Ou seja, conclui-se que a aplicação de reguladores de crescimento não alterou significativamente o peso dos cachos nessas idades. Na idade de 5 anos, o melhor tratamento com diferença estatística significativa foi o tratamento com ethrel (100 ml por planta).

Para o tamanho dos frutos, o melhor tratamento foi o tratamento 3 aplicado aos três e dez anos de idade. Como quanto antes a ação de diminuição de altura ocorrer é melhor, do ponto de vista operacional de manejo da cultura, recomenda-se em escala operacional a aplicação de 10 mL de PBZ.cm⁻¹ aos três anos de idade.

Resumindo todos os resultados obtidos recomenda-se a aplicação aos três anos de idade de 10 mL de paclobutrazol.cm⁻¹ para a redução do tamanho da folha e do crescimento em altura, por proporcionar uma diminuição significativa no crescimento e facilitar o manejo da cultura com a evolução da idade.

Portanto, o paclobutrazol funciona como alternativa para promover uma menor taxa de crescimento de plantas (altura e tamanho da folha) da espécie *Elaeis guineenses* e não afeta significativamente a produção de frutos. Esse estudo pode viabilizar o alongamento da vida útil produtiva do dendezeiro, facilitar a colheita dos cachos de frutos tornando o trabalho menos oneroso e diminuindo a deterioração dos frutos, além de possibilitar a diminuição da densidade de plantio.

Com a redução de 34% do tamanho da folha do dendezeiro utilizando-se o tratamento de paclobutrazol na dosagem de 10 ml, pode-se recomendar que o número de plantas por hectare da cultura manejada com esse regulador de crescimento, pode ser aumentado nessa mesma proporção, passando de 143 para 192 plantas por hectare. Com o aumento de número de plantas por hectare, a manutenção do potencial produtivo de frutos e a rentabilidade de produção em cada hectare serão maximizadas, tornando o plantio da cultura mais rentável.

6 REFERÊNCIAS

- Ajmi, A., Larbi, A., Morales, M., Fenollosa, E., Chaari, A., & Munné-Bosch, S. (2020). Foliar paclobutrazol application suppresses olive tree growth while promoting fruit set. **Journal of Plant Growth Regulation**, 39, 1638-1646.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- An, J., Almasaud, R. A., Bouzayen, M., Zouine, M., & Chervin, C. (2020). Auxin and ethylene regulation of fruit set. **Plant Science**, 292, 110381.
- Azni, I. N. A. M., et al. "Differentially expressed transcripts related to height in oil palm." **Journal of oil Palm research** 26.4 (2014): 308-316.
- Barcelos, Edson, et al. "Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement." **Frontiers in plant science** 6 (2015): 190.
- Brazilio, M., Bistachio, N. J., de Cillos Silva, V., & do Nascimento, D. D. O Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) Revisão. **Bioenergia em Revista: Diálogos** (ISSN: 2236-9171), 2(1), 27-45 (2012).
- Binder, B. M. (2020). Ethylene signaling in plants. **Journal of Biological Chemistry**, 295(22), 7710-7725.
- Carra, B., Herter, F.G., Moretti Ferreira Pinto, F.A. et al. Return Bloom and Yield of ‘Rocha’ Pear Trees are Improved by Ethephon and Paclobutrazol. **J Plant Growth Regul** 42, 3650–3661 (2023).

Conceição, V.S.; Rocha, A.M.; Silva, M.S. Indicação Geográfica para o Dendê da Bahia: uma possibilidade. **Cadernos de Prospecção** – Salvador, v. 14, n. 2, p. 648-663 (2021).

Cohen, Y., Aloni, D. D., Adur, U., Hazon, H., & Klein, J. D. (2013). Characterization of growth-retardant effects on vegetative growth of date palm seedlings. **Journal of plant growth regulation**, 32(3), 533-541.

Desta, Bizuayehu, and Getachew Amare. "Paclobutrazol as a plant growth regulator." **Chemical and Biological Technologies in Agriculture** 8.1 (2021): 1-15.

de Souza, G. A., dos Santos Dias, D. C. F., Pimenta, T. M., Almeida, A. L., de Toledo Picoli, E. A., de Pádua Alvarenga, A., & da Silva, J. C. F. (2018). Sugar metabolism and developmental stages of rubber tree (*Hevea brasiliensis* L.) seeds. **Physiologia plantarum**, 162(4), 495-505.

de Sousa, D. B. et al. Estudo comparativos das culturas de soja e dendê com foco na produção de biodiesel. **Revista Scientia Vitae**, v. 14, n. 38, p. 32-45, 2023.

Espinosa, M. E. Á., Moreira, R. O., Lima, A. A., Ságio, S. A., Barreto, H. G., Luiz, S. L. P., & Chalfun-Júnior, A. (2017). Early histological, hormonal, and molecular changes during pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) artificial flowering induction. **Journal of plant physiology**, 209, 11-19.

Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A. (2013). ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese). R package version 1.1.2.

Gautam, H., Fatma, M., Sehar, Z., Iqbal, N., Albaqami, M., & Khan, N. A. (2022). Exogenously-sourced ethylene positively modulates photosynthesis, carbohydrate metabolism, and antioxidant defense to enhance heat tolerance in rice. **International Journal of Molecular Sciences**, 23(3), 1031.

Gohel, B. C., et al. "Effect of soil applied Paclobutrazol at different time on growth and flowering of mango (*Mangifera indica* L.) CV. Kesar." (2021).

Hawa, S. M., Jong, T. K., Jong, A. C. T., Saptorio, A., & Lau, S. W. (2023). Effect of Ethrel as a Flower Induction Agent on the Growth and Quality of Fresh Golden Pineapple (MD2) in Malaysia. **Journal of Applied Science & Process Engineering**, 10(2), 143-161.

Iqbal, Noushina et al. Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 475, 2017.

Koch K (2004) Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. **Curr Opin Plant Biol** 7: 235–246

Low, J.Y.S.; Fong, P.Y.; Teh, C.K.; Ong, A.L.; Lim, C.M.; Appleton, D.R. Ethephon-Induced Abscission of Oil Palm Fruits at Optimal Bunch Ripeness and Retting Period to Improve Commercial Seed Production. **Horticulturae** 2021, 7, 380.

Mendes, G. G. C., dos Santos, G. A., de Resende, M. D. V., Martins, S. V., de Souza, G. A., Nunes, A. C. P., & Martins, T. G. V. (2020). Flowering acceleration in native Brazilian tree species for genetic conservation and breeding. **Annals of Forest Research**, 63(1), 39-52.

Nizam, Khairun, and Sompong Te-Chato. "In vitro flowering and fruit setting of oil palm *Elaeis guineensis* Jacq." **J. Agric. Technol** **8** (2012): 1079-1088.

Orozco-Meléndez, L. R., Hernández-Rodríguez, O. A., Cruz-Álvarez, O., Robles-Hernández, L., Ávila-Quezada, G. D., Chavez, E. S., ... & Ojeda-Barrios, D. L. (2022). Paclobutrazol and its use in fruit production: A review. **Phyton**, 91(1), 1.

Rahman, M.; Shaharuddin, N.; Wahab, N. A.; Wahab, P. M.; Ong-Abdullah M.; Abdullah, N. A.; Kadir, A.P.G; Roberts, J.; Ramli, Z. Impact of Paclobutrazol on the Growth and Development of Nursery Grown Clonal Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Journal of oil palm research**. 28. 404-414. 10.21894/jopr.2016.2804.02, 2016.

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.A., Murphy, A. Plant Physiology and Development. 6 ed. Porto Alegre, 858p. 2017.

Team, R. C. (2020). RA language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical. Computing.

Valleser, Vences C. Applications and Effects of Phytohormones on the Flower and Fruit Development of Pineapple (*Ananas comosus* L.). **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 77-86, 2023.

Vandenbussche, F. e Van Der Straeten, D. (2012). O papel do etileno no crescimento e desenvolvimento das plantas. **Revisões Anuais de Plantas Volume 44: O Hormônio Vegetal Etileno**, 44, 219-241.

**CAPÍTULO 2: COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO, BIOQUÍMICO E
ANATÔMICO EM PALMA DE ÓLEO (*ELAEIS GUINEENSIS* Jacq.) COM USO DE
REGULADORES DE CRESCIMENTO**

RESUMO

O dendezeiro ou palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma cultura oleaginosa pertencente à família Arecaceae com origem na África Ocidental e cultivada em regiões tropicais como América Latina e Sudeste Asiático. A produção do dendezeiro possui vários desafios, pois essas palmeiras são cultivadas comercialmente por mais de 25 anos e chegam a atingir uma altura de 15 a 18 metros, dificultando a colheita dos cachos de fruto. Nossa hipótese é que a aplicação do paclobutrazol e do etileno em palmeiras da espécie *Elaeis guineensis* auxilia na manutenção do teor de óleo sem alterar a qualidade do óleo. Portanto, o objetivo desse estudo é avaliar as alterações fisiológicas, bioquímicas e anatômicas que podem ocorrer na folha e no conteúdo do fruto após a aplicação de reguladores de crescimento, paclobutrazol e etileno. As análises de fruto, folíolo e pecíolo foram conduzidas no laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas e no laboratório de Química da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - MG. Foram realizadas análises da anatomia da folha e do pecíolo da planta, do teor de clorofila *a* (*Chl a*), clorofila *b* (*Chl b*) e clorofila total na folha, da concentração de açúcares no fruto e de enzimas do estresse oxidativo no fruto (Catalase-CAT; peroxidase – POX; peroxidase do ascorbato – APX e superóxido dismutase –SOD) e análises do teor e qualidade do óleo extraído do fruto. As análises estatísticas foram realizadas com o Software R (R Core Team 2023), com o pacote ExpDes (Ferreira et al.2013). O comportamento anatômico e fisiológico da planta, demonstra que mesmo com a redução do tamanho da folha a planta pode manter a taxa fotossintética, indicada pelo aumento no teor e qualidade do óleo. Já a aplicação de ethrel apresenta efeitos positivos na concentração de açúcares e enzimas que influenciam a qualidade dos frutos. Observamos também que o tratamento com a mistura de etileno e paclobutrazol pode contribuir para desencadear uma resposta metabólica e fisiológica mais complexa, afetando múltiplas vias envolvidas favorecendo a síntese de ácidos graxos e a produção de óleo. Dessa forma, o ethrel e o paclobutrazol demonstram ser eficazes no desenvolvimento e crescimento do dendezeiro sem diminuir a produtividade da espécie.

Palavras chaves: palma de óleo; paclobutrazol; etileno; enzimas do estresse oxidativo.

1 INTRODUÇÃO

O dendezeiro ou palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma cultura oleaginosa pertencente à família Arecaceae com origem na África Ocidental e cultivada em regiões tropicais como América Latina e Sudeste Asiático. No Brasil é produzido principalmente no estado do Pará, na Amazônia Oriental (Qaim et al., 2020). Os maiores produtores de óleo de palma são a Indonésia e a Malásia, responsáveis por cerca de 83% da produção mundial, enquanto o Brasil é responsável por apenas 0,7 % da produção (USDA, 2024).

O cultivo dessa palmeira tem aumentado devido à crescente demanda global por óleo vegetal para alimentação e biocombustíveis (Romero et al., 2021). Os frutos do dendê têm alta produtividade de óleo e estão disponíveis o ano todo, sendo importante na dieta de diversas culturas, como a africana e asiática, servindo como recurso alimentar nas sociedades tradicionais há mais de 7.000 anos (Murphy, 2021). A produção do dendezeiro possui vários desafios, pois essas palmeiras são cultivadas comercialmente por mais de 25 anos e chegam a atingir uma altura de 15 a 18 metros, dificultando a colheita dos cachos de fruto. Adicionalmente, a produção do dendezeiro depende do trabalho manual afetando a capacidade produtiva tornando a colheita laboriosa (Murphy et al., 2021; Corley & Tinker, 2003).

Alguns programas de melhoramento convencional visam alterar a arquitetura do dendezeiro para facilitar a colheita sem interferir na produção e qualidade do óleo (Rahman et al., 2016). Um exemplo de estratégia de melhoramento é o desenvolvimento de híbridos interespecíficos (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*), que apresentam uma taxa de crescimento lenta além de produzir frutos com alta qualidade de óleo. Porém, esses híbridos necessitam de polinização assistida, tornando o trabalho em campo ainda mais oneroso (Romero et al., 2021). O melhoramento convencional é promissor para a cultura, mas é um processo demorado, dessa forma a experimentação fisiológica com o uso de reguladores de crescimento pode acelerar as modificações desejadas no melhoramento do dendezeiro.

Os reguladores de crescimento estão sendo amplamente utilizados na manipulação química do crescimento e desenvolvimento de plantas (Kumar et al., 2021). O maior grupo de reguladores de crescimento são produtos antagonistas das giberelinas (Desta & Amare, 2021). O paclobutrazol (PBZ) é um triazol que funciona como um inibidor do alongamento celular e dos entrenós que retarda o crescimento das plantas pela inibição da biossíntese de giberelinas (Desta & Amare 2021), conseqüentemente os precursores da via terpenóide que seriam utilizados na biossíntese das giberelinas são acumulados induzindo a biossíntese de ácido abscísico (ABA), que por sua vez pode servir como uma molécula sinalizadora em resposta a

estresses abióticos, como salinidade, seca e frio (El-Sayed et al., 2022). Esses estresses geram espécies reativas de oxigênio que podem causar peroxidação lipídica, desnaturação de proteínas, destruição de membrana e disfunção de ácido nucleico, dessa forma o paclobutrazol aumenta a tolerância das plantas a estresses abióticos reduzindo o dano oxidativo (Ayvaci et al., 2023).

Logo, o paclobutrazol age aumentando a concentração de citocinina, melhorando a absorção de nutrientes, a síntese de carboidratos, a diferenciação do cloroplasto, evitando a degradação da clorofila e promovendo a capacidade antioxidante (Sofy et al., 2020). Em experimento com soja, a aplicação de PBZ causou redução nos danos induzidos pelo estresse salino e aumentou o rendimento de biomassa, o teor de clorofila e as enzimas antioxidantes (Dinler et al., 2022).

O etileno é um hormônio gasoso que também pode ser usado como regulador de crescimento. Esse hormônio em excesso afeta a expansão celular devido sua ação direta na orientação dos microtúbulos, desencadeando respostas triplas nas plantas interferindo no crescimento, altura e largura (Zahid et al., 2023). O etileno é o principal regulador do processo de abscisão foliar e acelera a senescência das folhas. Além disso, age induzindo o amadurecimento dos frutos ao converter amido em açúcares, influenciando no desenvolvimento de aroma e na mudança de cor dos frutos (Bhatla et al., 2023).

Dessa forma, o etileno exógeno acentua a taxa de respiração, a mobilização de carboidratos e auxilia na resposta de defesa das plantas (Bhatla et al., 2023). Existem experimentos com dendezeiro em que foi observado que o uso do etileno exógeno nos cachos aumentou a abscisão e o amadurecimento dos frutos gerando aumento no teor de óleo (Low et al., 2021; Nualwijit & Lerslerwong, 2014), porém existe uma lacuna acerca dos efeitos da aplicação do etileno na qualidade do óleo e não existem relatos utilizando o etileno para alterar o crescimento e a produção do dendezeiro.

Deste modo, nossa hipótese é que a aplicação do paclobutrazol e do etileno em palmeiras da espécie *Elaeis guineensis*, auxiliam na manutenção do teor de óleo sem alterar a qualidade do óleo. Portanto, nosso objetivo é avaliar as alterações fisiológicas, bioquímicas e anatômicas que podem ocorrer na folha e no conteúdo do fruto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Análises

As análises de fruto, folíolo e pecíolo foram conduzidas no laboratório de Crescimento e Desenvolvimento de Plantas e no laboratório de Química da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - MG. Com base em resultados preliminares, as análises foram realizadas nos tratamentos que demonstraram maiores respostas à aplicação dos reguladores de crescimento.

2.2 Análises anatômicas

As folhas e os pecíolos de todos os tratamentos foram fixados em FAA50 (Johansen, 1940) por 48 h e armazenadas em etanol aquoso a 70% (v:v) com diferentes tempos de priming (0, 6, 12 e 24h). Posteriormente foram embebidas em metacrilato de acordo com as recomendações do fabricante (Leica Microsystems Nussloch, Heidelberg, Alemanha), seccionadas em seções de 5 µm de espessura usando um micrótomo rotativo de avanço automático (Leica RM2155, Leica Microsystems Inc., Derfeld, EUA), coradas com azul de toluidina (O'Brien et al. 1964), e montadas em resina sintética (Permout®). Cortes transversais foram realizados para verificação de alterações devido a aplicação dos reguladores de crescimento. As lâminas foram fotografadas em microscópio de luz (AX70 TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão) acoplado a uma câmera digital (Zeis AxioCan HRc, Göttinger, Alemanha) e um microcomputador com o programa de captura de imagem Axio Vision. Em seguida foram feitas as análises de número de células por área no pecíolo e espessura do limbo foliar.

2.3 Análise do teor de clorofila

Todo o material vegetal coletado foi congelado em nitrogênio líquido e, posteriormente, armazenado a -80°C até o momento da análise. As amostras foram liofilizadas a -48°C e, em seguida, trituradas em um disruptor celular com o auxílio de esferas metálicas de 3,2 mm (mini-Bead beaer-96, Bio Spec Products, Bartlesville, OK, EUA). Após isso, foi realizada a extração metanólica a quente, conforme descrito por Lisec et al. (2006), com a adição do padrão ribitol. A quantificação das clorofilas a e b foi feita de acordo com o método descrito por Wellburn (1994).

2.4 Determinação dos metabólitos

Na determinação dos metabólitos, os frutos coletados foram congelados em nitrogênio líquido e armazenado a -80°C , até o momento da análise. As amostras foram niofilizadas a -48°C e maceradas em um disruptor celular com auxílio de esferas de metal de 3,2 mm (mini-Bead beaer-96, Bio Spec Products, Bartlesville, OK, EUA). Essas amostras são submetidas à extração metanólica a quente (Lisec et al.,2006). Os conteúdos de proteínas solúveis totais e de aminoácidos totais foram determinados segundo Bradford (1976) e Yemm & Ocking (1955), respectivamente. Os teores de açúcares solúveis (glicose, frutose e sacarose) serão determinados conforme descrito por Fernie et al. (2001).

2.5 Determinação das enzimas

Para determinação da atividade das enzimas dismutase do superóxido (SOD, EC 1.15.1.1), catalase (CAT, EC 1.11.1.6) e peroxidase (POX, EC 1.11.1.7) foram maceradas amostras de 0,3 g do fruto, polpa e da amêndoa, em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 2 mL de um meio de extração constituído de tampão de fosfato de potássio 0,1 M, pH 6,8, contendo ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 0,1 mM, fluoreto de fenilmetilsulfonil (PMSF) 1 mM e polivinilpirrolidona (PVPP) 1% (p/v) (Peixoto et al., 1999). O homogeneizado foi centrifugado a 12.000 g por 15 min, a 4°C , e o sobrenadante utilizado como extrato enzimático sendo atividades determinadas pela adição dos meios de reação:

- Tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8, contendo metionina 13 mM, azul de p-nitrotetrazólio (NBT) 75 μM , EDTA 0,1 mM e riboflavina 2 μM , para SOD (Giannopolitis e Ries, 1977);
- Tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0 e H_2O_2 12,5 mM, para CAT (Havir e Mchale, 1987);
- Tampão fosfato de potássio 25 mM, pH 6,8, H_2O_2 20 mM e pirogalol 20 mM para POX (Kar e Mishra, 1976).

A atividade da SOD foi conduzida a 25°C , em câmara de reação sob iluminação durante 5 min e medida a 560 nm. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a fotorredução do NBT e os resultados foram expressos em U $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína (Beauchamp e Fridovich, 1971). A atividade CAT foi determinada medindo-se o decréscimo na absorvância, no primeiro minuto de reação, a 240 nm, a 30°C e esta foi calculada utilizando-se o coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Anderson et al.,1995) e os resultados expressos em μmol de H_2O_2 $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteína. Para a atividade da POX foi medido o incremento da absorvância durante o primeiro minuto de reação a 420 nm,

a 25 °C, sendo a atividade calculada utilizando-se o coeficiente de extinção molar de 2,47 mM⁻¹ cm¹ (Chance e Maehley, 1955) e os resultados expressos em μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína.

Para a determinação da atividade da peroxidase do ascorbato (APx, EC 1.11.1.11), amostras de 0,3 g de fruto, polpa e amendôa, foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 2 mL de meio de extração constituído de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, contendo EDTA 1 mM e ácido ascórbico 1 mM. O homogeneizado foi centrifugado a 15.000 xg, por 15 min, a 4 °C, e o sobrenadante utilizado como extrato enzimático (Nakano e Asada, 1981).

A atividade da enzima foi determinada pela adição de 10 μL do extrato enzimático a 185 μL do meio de reação constituído de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, contendo ácido ascórbico 0,5 mM, e incubado por 3 min, a 25 °C, seguido da adição de 5 μL de H₂O₂ 5 mM. O decréscimo na absorvância, no primeiro minuto de reação, foi medido a 290 nm, a 25 °C. A atividade enzimática é calculada utilizando-se o coeficiente de extinção molar de 2,8 mM⁻¹ cm⁻¹ (Nakano e Asada, 1981; Murshed et al., 2008) e os resultados expressos em μmol de AsA min⁻¹ mg⁻¹ proteína.

2.6 Extração do óleo

As amostras de fruto coletadas em campo foram levadas para o laboratório e acondicionadas em freezer com temperatura abaixo de 0°C. As amostras são retiradas do freezer e os frutos despolpados, utilizando faca de aço inoxidável afim de separar polpa e amêndoas. Ao fim do despolpamento as amostras foram pesadas e levadas à estufa por 48h em placa de petri.

Depois desse período, as polpas são retiradas da estufa e após atingirem a temperatura ambiente, são pesadas novamente para determinar o teor de umidade. Em seguida, utilizando nitrogênio líquido, almofariz e pistilo, a polpa foi triturada até virar uma farinha e novamente acondicionada em freezer. Finalizado esse procedimento, foi pesado cerca de 10g dessa farinha de polpa dentro do cartucho de papel de filtro em um extrator de soxhlet, a extração foi realizada com hexano (C₆H₁₄) por 4 horas. Após esfriar foi adicionado o sulfato de sódio anidro e realizada a filtragem a vácuo. O filtrado é levado ao evaporador rotativo em balão devidamente tarado, até retirar todo o hexano. O balão com o extrato, depois de esfriar, é pesado novamente e assim determinado o teor de óleo, em massa úmida e seca. Depois de pesado, o óleo será transferido para frasco e acondicionado em freezer para a determinação dos ácidos graxos.

2.7 Determinação dos ácidos graxos

Foi colocado em um balão de extração 100 mg do óleo, esse balão é conectado no condensador e adicionado 10 mL de KOH 0,5 mol/L em metanol. O aquecimento de 100 °C ocorrerá feito sob agitação magnética, e em seguida foi feita uma passagem de água fria para refluxar, permanecendo no aquecimento por 1 hora. Após esse período é adicionado 4,0 mL de HCl (36%) em metanol (4:1 V/V) mantendo novamente por um período de 1 hora em aquecimento, após esse tempo desliga se o aquecimento. Quando esfriar é adicionado 20 mL de água destilada. A extração do óleo derivatizado foi realizada utilizando se 3 porções de 10 mL de hexano vertendo para funil de decantação.

Esse procedimento é repetido outra vez, uma vez que o hexano é menos denso que a fase aquosa, portanto a fase aquosa será retirada e novamente vertida para o funil de decantação. Em um erlemmeyer é adicionado o sulfato de sódio (Na₂SO₄) e posteriormente é realizada a filtração a vácuo. Esse filtrado foi levado ao evaporador rotativo em um balão tarado, a fim de fazer a retirada do hexano. Após esfriar, o balão é pesado e o óleo derivatizado é transferido para frasco e acondicionado novamente no freezer. Para a extração dos triacilglicerídeos das amêndoas, inicialmente elas foram envoltas em papel tolha e posteriormente quebradas com o auxílio de um martelo de ferro para a remoção das cascas. Todo o restante do procedimento até a obtenção dos ésteres metílicos foi similar aos reportados anteriormente.

Para a identificação e quantificação dos ésteres metílicos por cromatografia a gás acoplada a espectrometria de massas (Equipamento CG-EM QP2010 – Shimadzu) foram transferidas para um vial de 1 mL, aproximadamente 5 mg da mistura de ésteres metílicos e adicionado 1 mL de hexano, sendo injetados 1 mL.

As condições de análise são: coluna (coluna SPB-5 de 25 metros de comprimento, com 0,25 mm de diâmetros e partículas de 0,25 µm de espessura) foi aquecida a 160°C por 2,0 min, com uma taxa de 4°C/ min até 210 por 5 min, com uma taxa de 2 °C/min aqueceu até 237 °C por 2 min. Temperatura do injetor (280 °C); temperatura da fonte de íons (280 °C); temperatura da interface (280 °C); fluxo na coluna (0,8 mL/ min); razão de split (1:15); pressão (75,3 Kpa); tempo de corte (10 min); a razão massa/carga variou de 50 a 700 Daltons.

Para identificação dos ésteres metílicos foram empregados a mistura de padrões e os bancos de dados das bibliotecas NIST 11 e NIST 14.

2.8 Processamento de dados

As análises estatísticas foram realizadas com o Software R (R Core Team 2023), com o pacote ExpDes (Ferreira et al.2013).

3 RESULTADOS

A análise da anatomia celular dos folíolos mostrou que o tratamento com 100 mL de ethrel proporcionou aumento da largura do limbo foliar, enquanto o paclobutrazol causou a redução nas plantas em que foram aplicados os reguladores aos três (Figura 1A) e cinco anos (Figura 1B). Para as palmeiras com 10 anos de plantio, observou-se redução na largura do limbo foliar em todos os tratamentos com reguladores de crescimento em comparação ao tratamento controle. Na análise anatômica do pecíolo das folhas a quantidade de células por área aumentou no tratamento com paclobutrazol em todas as idades, porém o tamanho dessas células diminuiu.

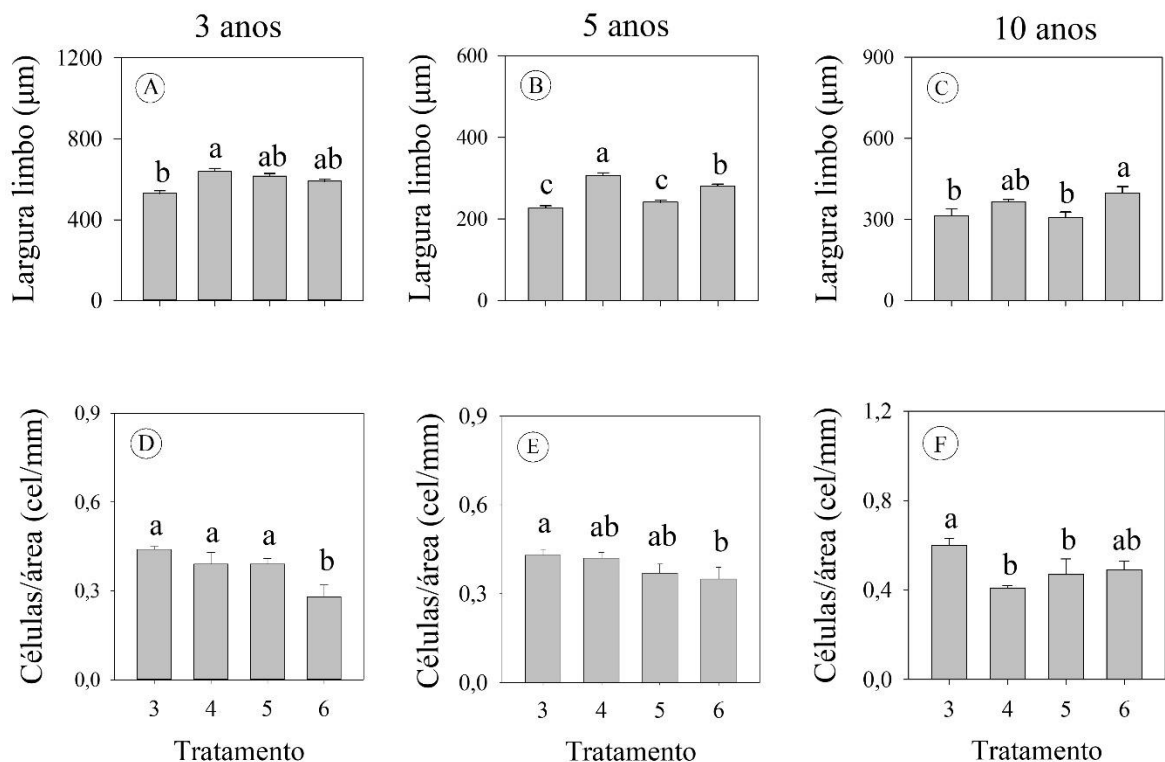


Figura 1. Largura do limbo foliar na idade de 3 anos (A), 5 anos (B) e 10 anos (C). Número de células por área no pecíolo da folha na idade de 3 anos (D), 5 anos (E) e 10 anos (F). As barras representam a média \pm dp, n = 5. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 ml de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Na idade de 10 anos, o teor de clorofila *a* (*Chl a*), clorofila *b* (*Chl b*), clorofila total e o teor de carotenóides aumentaram no tratamento com 10 mL de PBZ cm^{-1} (Figura 2).

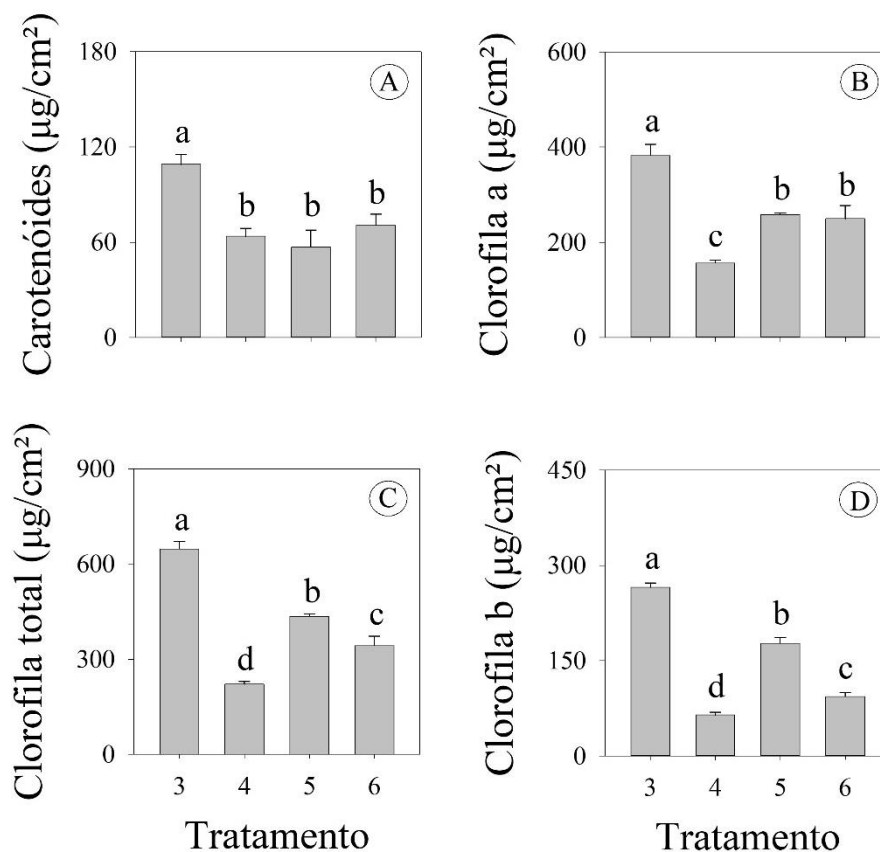


Figura 2. Conteúdo de carotenóides (A), clorofila *a* (B), clorofila total (C) e clorofila *b* (D) nos dendezeiros com 10 anos de idade. As barras representam a média \pm dp, $n = 5$. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 mL de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Os dados das análises realizadas na polpa do fruto indicam que na idade de 3 anos e 5 anos, as concentrações de açúcares aumentaram no tratamento 4 (100 mL ethrel) e tratamento 5 (ethrel + paclobutrazol). Na idade de 10 anos, a concentração de glicose (Figura 3G) e sacarose (Figura 3H) foram maiores nos tratamentos com ethrel, no entanto a concentração de frutose (Figura 3I), foi mais elevada no tratamento 4 (100 mL de ethrel) e no tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}).

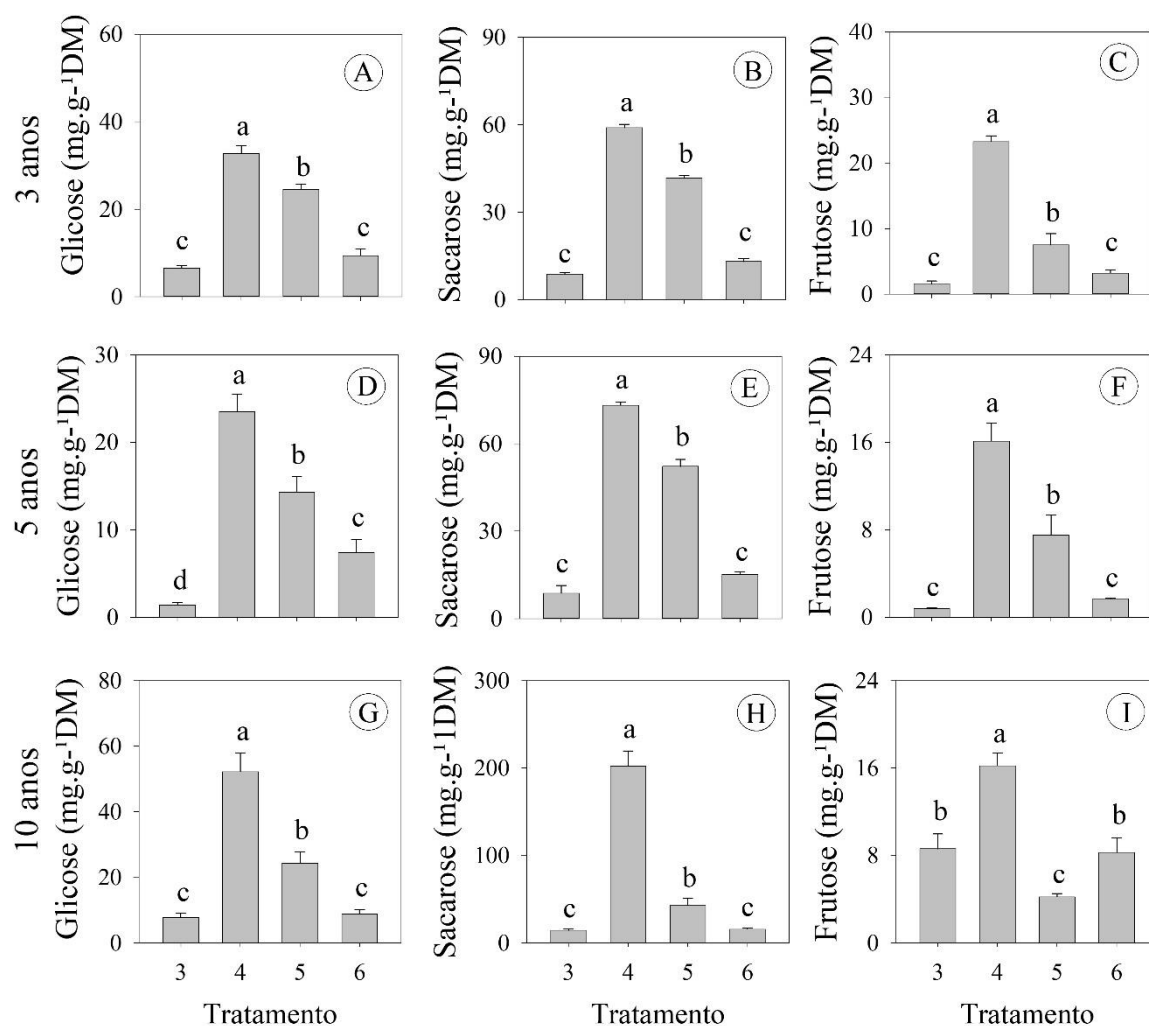


Figura 3. Teor de açúcares na polpa dos frutos em dendezeiros com 3 anos de idade (A-C). Teor de açúcares na polpa dos frutos em dendezeiros de 5 anos de idade (D-F). Teor de açúcares na polpa dos frutos em dendezeiros de 10 anos de idade (G-I). As barras representam a média \pm dp, n = 5. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 mL de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Em relação às análises realizadas na amêndoa do fruto, na idade de três anos os tratamentos com ethrel causaram o aumento da concentração dos açúcares, sendo que a concentração de frutose (Figura 4C) foi mais alta no tratamento 4 (100 mL de ethrel) e no tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}). O tratamento 4 (100 mL de ethrel) e tratamento 5 (ethrel + paclobutrazol) também causaram o aumento da concentração de glicose, sacarose e frutose nos dendezeiros de 5 e 10 anos.

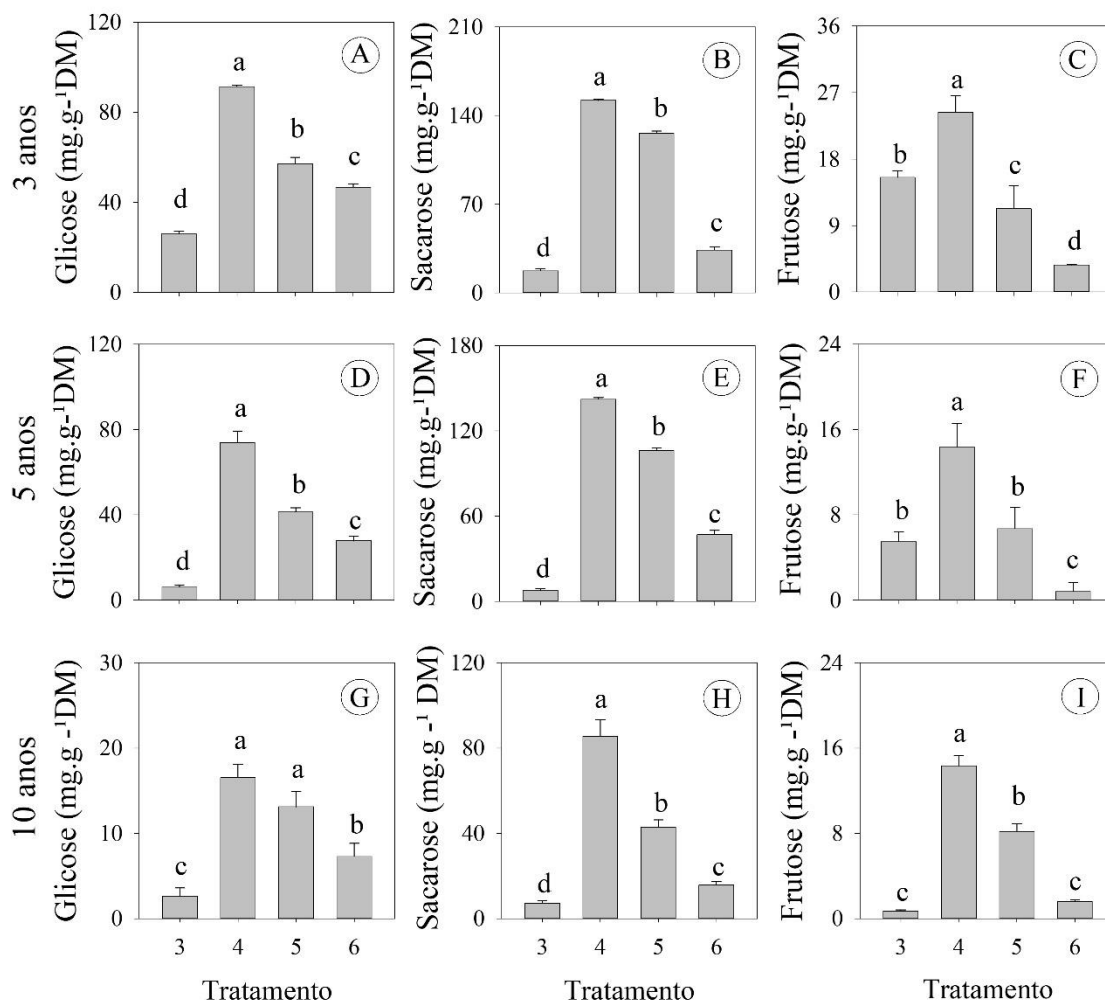


Figura 4. Teor de açúcares na amêndoa dos frutos em dendezeiros de 3 anos de idade (A-C). Teor de açúcares na amêndoa dos frutos em dendezeiros de 5 anos de idade (D-F). Teor de açúcares na amêndoa dos frutos em dendezeiros de 10 anos de idade (G-I). As barras representam a média \pm dp, n = 5. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 4 (100 ml de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm⁻¹) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, P < 0.05).

As análises realizadas na polpa do fruto revelam que, os frutos colhidos dos dendezeiros com três (Figura 5A-D) e cinco anos de idade (Figura 5E-H) apresentaram maior atividade de enzimas antioxidantes no tratamento 4 (100 mL ethrel) e tratamento 5 (ethrel + paclobutrazol). No entanto, nos frutos colhidos dos denzeiros com 5 anos, a enzima POX apresentou maior atividade (Figura 5H) no tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹). Nos frutos das palmeiras de 10 anos, a concentração de enzimas antioxidantes permaneceu elevada nos tratamentos com ethrel, mas a enzima catalase (Figura 5K) também apresentou aumento na sua atividade no tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹).

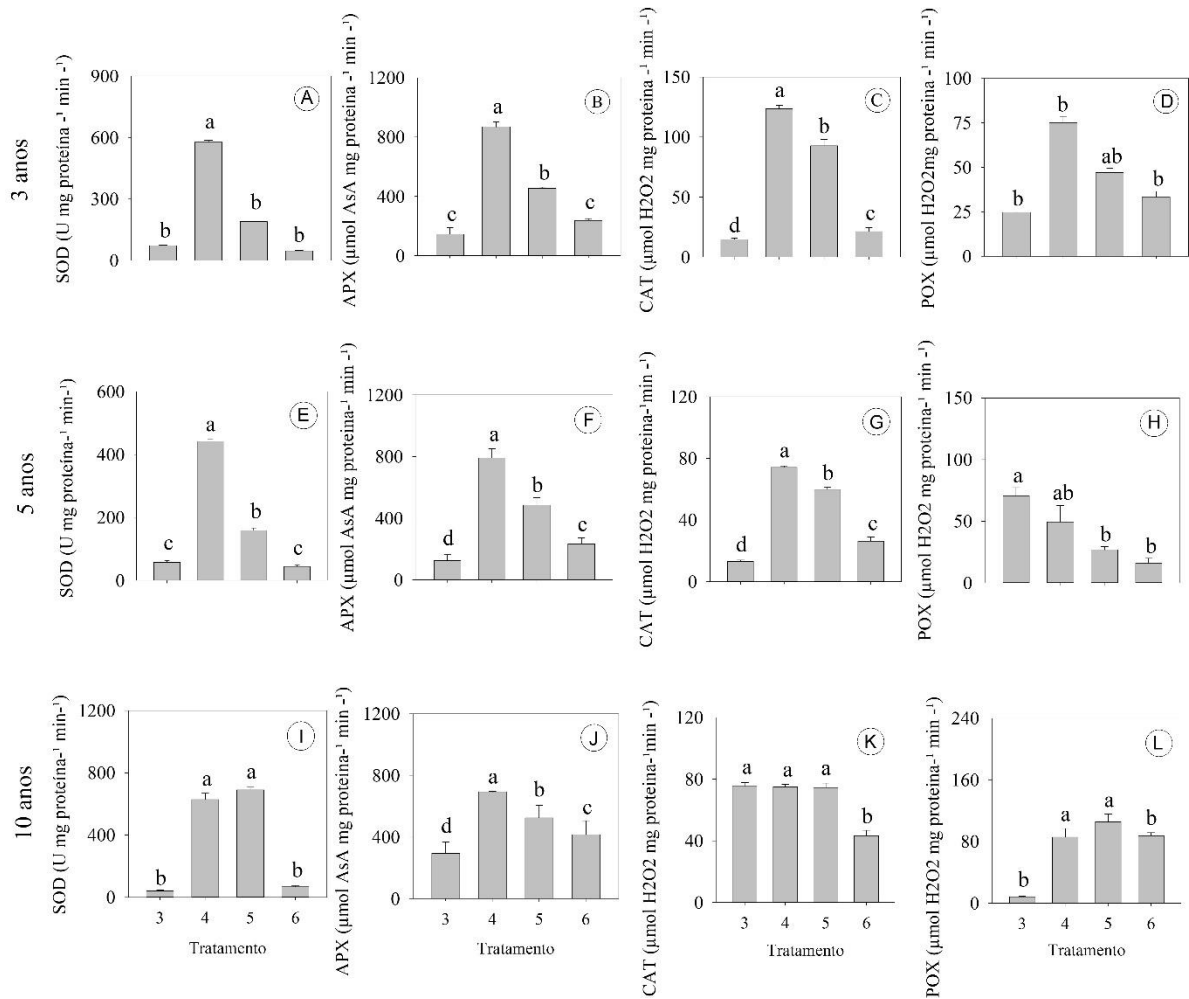


Figura 5. Atividade das enzimas do estresse oxidativo na polpa dos frutos em dendezeiros de 3 anos de idade (A-D); 5 anos de idade (E-H); 10 anos de idade (I-L). As barras representam a média \pm dp, n = 5. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm⁻¹), tratamento 4 (100 mL de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm⁻¹) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, P < 0.05).

Em relação a amêndoa do fruto houve aumento da atividade das enzimas antioxidantes nos tratamentos com ethrel em todas as idades (Figura 6). Com exceção para a atividade da enzima POX, pois os frutos colhidos dos dendezeiros com 5 anos (Figura 6H) apresentaram maior atividade dessa enzima apenas no tratamento 4 (100 mL de ethrel).

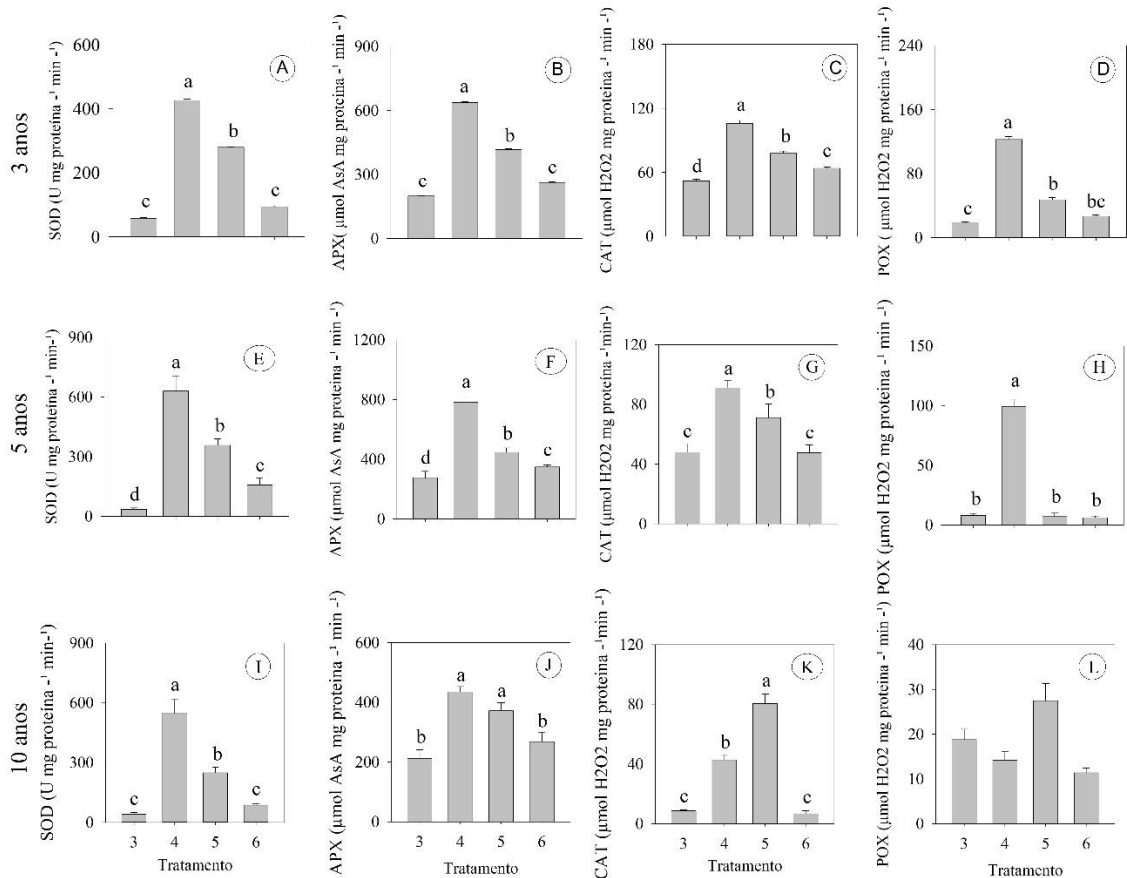


Figura 6. Atividade das enzimas do estresse oxidativo na amêndoa dos frutos em dendezeiros de 3 anos de idade (A-D); 5 anos de idade (E-H); 10 anos de idade (I-L). As barras representam a média \pm dp, $n = 5$. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 mL de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0,05$).

Quanto ao teor de óleo na polpa, todos os tratamentos que receberam os reguladores de crescimento apresentaram maior teor de óleo na idade de três anos e cinco anos, o tratamento com a mistura de 100 mL de ethrel e 2 mL de PBZ cm^{-1} (Figura 7A e 7B) proporcionou aumento no teor de óleo nas palmeiras com essas idades. Já na idade de 10 anos, o tratamento com paclobutrazol (10 mL de PBZ cm^{-1}) proporcionou maior teor de óleo seguido pelo tratamento proporcionado pela mistura de 100 mL de ethrel e 2 mL de PBZ cm^{-1} (Figura 7C).

Já o teor de óleo na amêndoa, na idade de três anos (Figura 7D) e cinco anos (Figura 7E) foi maior no tratamento 5 (ethrel + paclobutrazol). Enquanto na idade de 10 anos, podemos observar que o tratamento com paclobutrazol (Figura 7F) aumentou o teor de óleo na amêndoa.

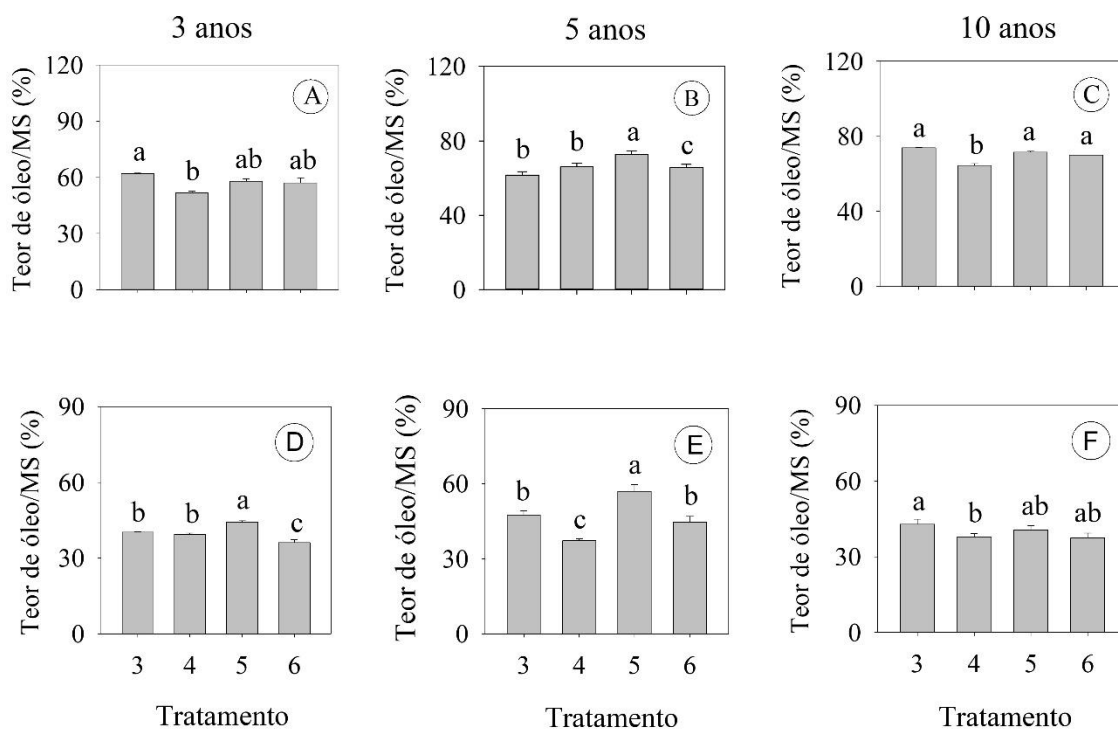


Figura 7. Teor de óleo presente na polpa do fruto em dendezeiros com 3 anos (A), 5 anos (B) e 10 anos (C). Teor de óleo na amêndoa do fruto em dendezeiros com 3 anos (D), 5 anos (E) e 10 anos (F). As barras representam a média \pm dp, n = 3. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 ml de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Na polpa dos frutos das plantas em que foram aplicados os reguladores aos três anos, o teor de ácido palmítico (Figura 8A) aumentou no tratamento 4 (100 mL de ethrel). Enquanto o teor de ácido oleico (Z) (Figura 8E) aumentou no tratamento 3 (10 ml de PBZ cm^{-1}). Além disso, o teor de ácido linoleico teve um aumento considerável no tratamento com paclobutrazol e no tratamento com a mistura de ethrel e paclobutrazol (Figura 8D). Na amêndoa, o teor de ácido palmítico (Figura 8G) e de ácido oleico Z (Figura 8K) foram maiores no tratamento 4 (100 mL de ethrel), nos demais ácidos graxos não observamos diferença significativa.

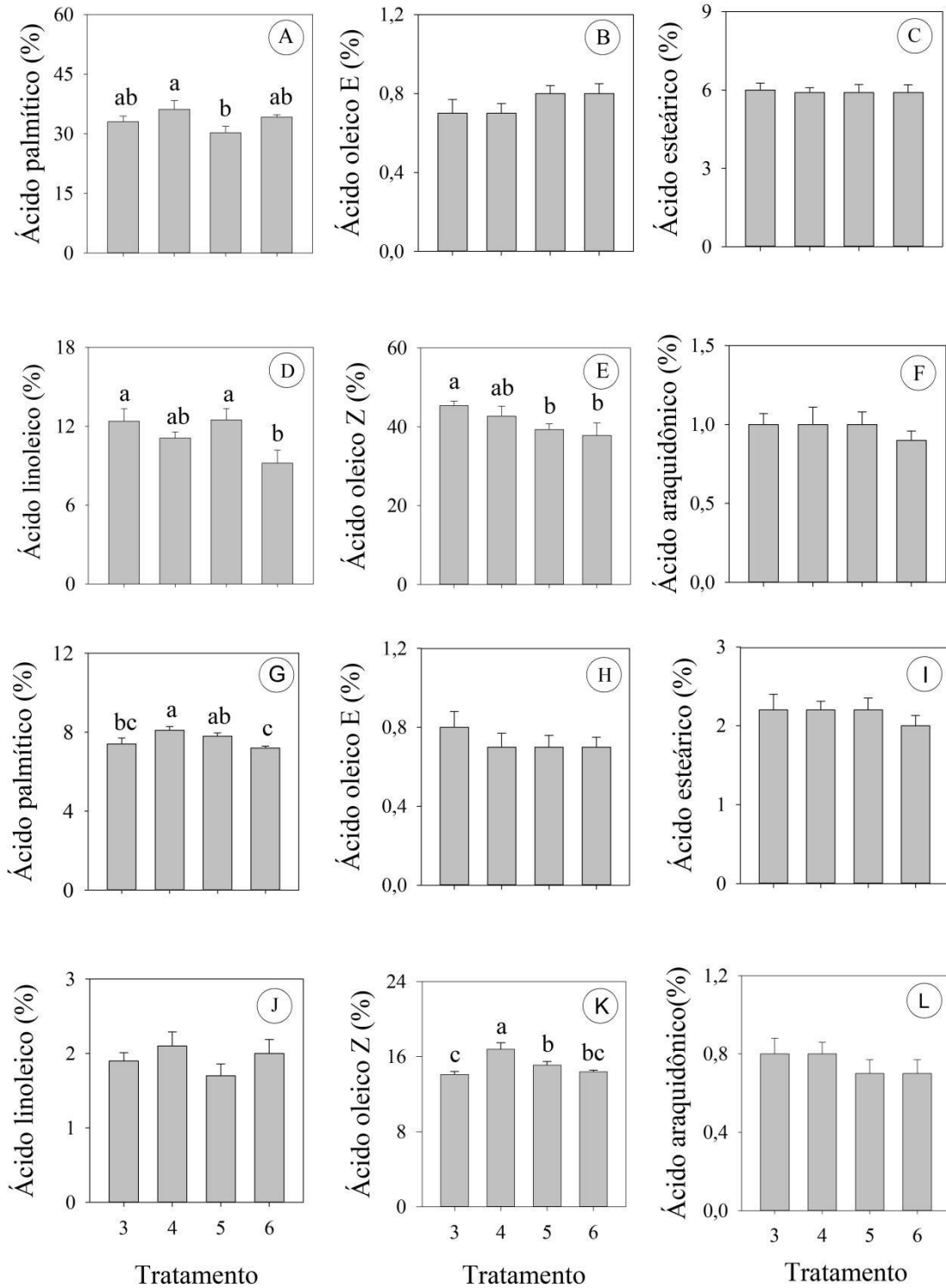


Figura 8. Teores de ácidos graxos presentes na polpa do fruto na idade de 3 anos de plantio. Ácido palmítico (A), ácido oleico E (B), ácido esteárico (C), ácido linoleico (D), ácido oleico Z (E) e ácido araquidônico (F). Teores de ácidos graxos na amêndoa de dendezeiros com 3 anos de idade. Ácido palmítico (G), ácido oleico E (H), ácido esteárico (I), ácido linoleico (J), ácido oleico Z (K) e ácido araquidônico (L). As barras representam a média \pm dp, n = 3. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 mL de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Nas palmeiras com 5 anos de plantio, o teor de ácido esteárico, linoleico, oleico (Z) e oleico (E) da polpa apresentaram diferença significativa, observamos um aumento no teor de ácido oleico (E) no tratamento com a mistura de paclobutrazol e ethrel (Figura 9B) e no teor de ácido linoleico no tratamento 3, com paclobutrazol (Figura 9D). Sendo que este tratamento apresentou teores próximos ao tratamento controle de ácido esteárico e ácido oleico (Z) (Figura 9B e 9E). Na amêndoa, observamos diferença significativa apenas nos teores de ácido linoleico e ácido oleico (Z), visto que o teor de ácido linoleico (Figura 9J) e o teor de ácido oleico (Z) (Figura 9K) aumentaram no tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ.cm⁻¹).

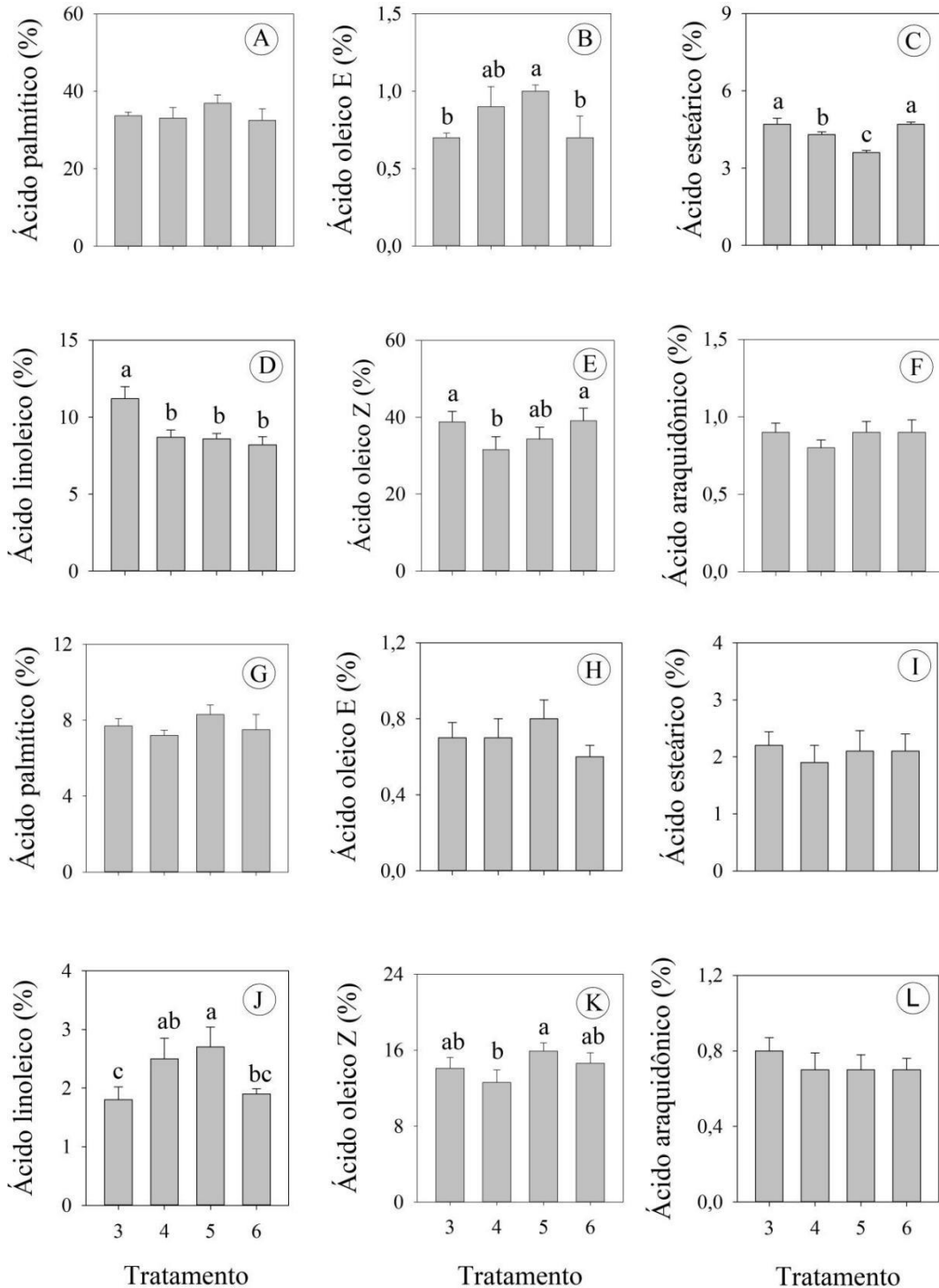


Figura 9. Teores de ácidos graxos presentes na polpa nos dendezeiros com 5 anos de idade (A - F). Ácido palmítico (A), ácido oleico E (B), ácido esteárico (C), ácido linoleico (D), ácido oleico Z (E) e ácido araquidônico (F). Teores de ácidos graxos presentes na amêndoa em dendezeiros com 5 anos de idade (G - L). Ácido palmítico (G), ácido oleico E (H), ácido esteárico (I), ácido linoleico (J), ácido oleico Z (K), ácido araquidônico (L). As barras representam a média \pm dp, n = 3. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 ml de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

Na idade de 10 anos, o tratamento 5 (ethrel + PBZ) gerou aumento no teor de ácido palmítico (Figura 10A), linoleico (Figura 10D), oleico Z (Figura 10E) e araquidônico (Figura

10F) da polpa. Na amêndoa, o tratamento 4 (ethrel) aumentou o teor de ácido palmítico. O teor de ácido oleico (Figura 10J) e teor de ácido oleico Z (Figura 10K) aumentou em todos os tratamentos com reguladores de crescimento.

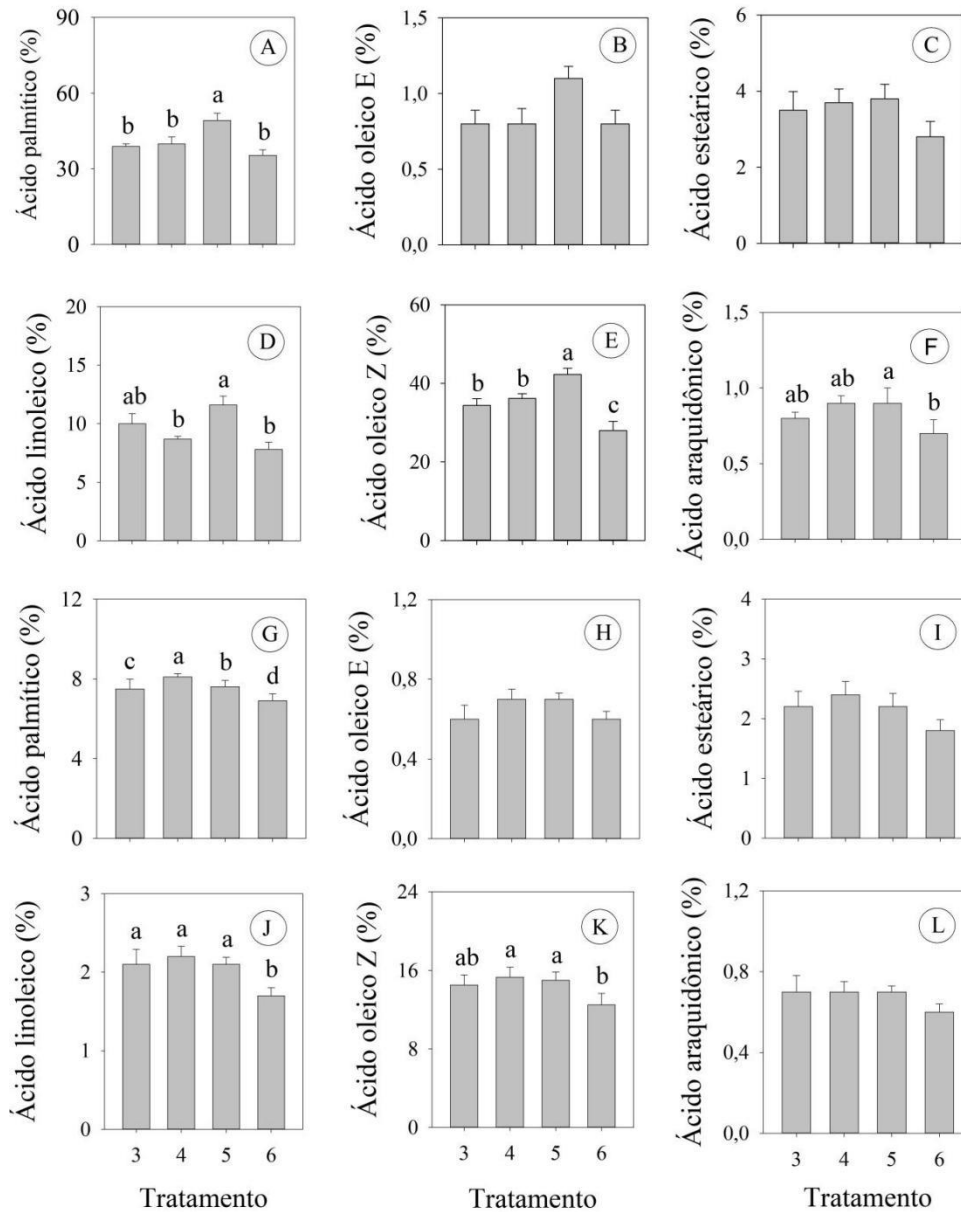


Figura 10. Teores de ácidos graxos presentes na polpa em dendzeiros com 10 anos de idade (A-F). Ácido palmítico (A), ácido oleico E (B), ácido esteárico (C), ácido linoleico (D), ácido oleico Z (E), ácido araquidônico (F). Teores de ácidos graxos presentes na amêndoa em dendzeiros com 10 anos de idade (G-L). Ácido palmítico (G), ácido oleico E (H), ácido esteárico (I), ácido linoleico (J), ácido oleico Z (K) ácido araquidônico (L). As barras representam a média \pm dp, n = 3. Tratamento 3 (10 mL de PBZ cm^{-1}), tratamento 4 (100 ml de ethrel) e tratamento 5 (100 mL de ethrel + 2 mL de PBZ cm^{-1}) e tratamento 6 (controle). As letras representam os valores estatisticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$).

4 DISCUSSÃO

De modo geral, nossos achados demonstram que os reguladores utilizados afetam o crescimento e o desenvolvimento de plantas de palma de óleo. Observamos pela análise anatômica das folhas aumento da largura do limbo foliar no tratamento 4 (100 mL de ethrel) nas palmeiras de três anos (Figura 1A) e cinco anos (Figura 1B). Esse efeito pode ser atribuído a resposta tripla causada pelo etileno (Zhao et al., 2021). A resposta tripla do etileno pode ser observada, pela mudança no alinhamento dos microtúbulos do plano transversal para o longitudinal, provocando a expansão lateral em vez da extensão longitudinal alterando a direção do crescimento celular favorecendo a expansão radial das células em vez do alongamento longitudinal, resultando em um aumento da largura do limbo foliar (Bhatla & Lal, 2023). Resultado semelhante ao observado em nosso estudo (Figura 1 A-C). Esses ajustes morfológicos são parte da resposta adaptativa das plantas ao etileno, que pode impactar na arquitetura das folhas e a forma geral da planta.

Com base nos resultados obtidos na análise anatômica do pecíolo da folha (Figura 1 D-F), observamos que o tratamento com PBZ causou um aumento do número de células por área no pecíolo, funcionando como uma evidência de que há redução do tamanho das células, conseqüentemente, redução do comprimento das folhas, pois as células diminuíram e se encontram mais compactadas quando comparadas com o tratamento controle (Figura 1 D-F). Neste tratamento também foi observado maior concentração de clorofila (Figura 2) e uma coloração mais esverdeada nas folhas, esse fato se deve a ação do PBZ que age como concentrador de clorofila, pois contribui na redução da área foliar, como já foi citado acima, concentrando o conteúdo de clorofila em uma área menor refletindo na coloração das folhas (Siqueira et al., 2018).

O PBZ não só favorece a diferenciação e a manutenção dos cloroplastos, mas também inibe a degradação da clorofila. Esse efeito é devido à competição dos precursores normalmente destinados à síntese de giberelinas, que são redirecionados para a produção de fitol, um componente crucial da molécula de clorofila. A disponibilidade adicional de fitol gera o aumento do conteúdo de clorofila (Kumar et al. 2021; Davari et al. 2022). Diversos estudos também mostraram um aumento no conteúdo de clorofila em plantas tratadas com PBZ, como manjeriço (Santos et al., 2022), milho (Kamran et al., 2020) e arroz (Sharma et al., 2023).

O tratamento com paclobutrazol também causou o acúmulo de carotenóides (Figura 2A), os carotenóides são pigmentos que desempenham papéis cruciais na proteção da planta contra excesso de luz e estresses abióticos, minimizando os danos oxidativos e neutralizando espécies reativas de oxigênio (Shareef et al., 2020). Os carotenóides absorvem a luz excessiva que pode causar estresse, dissipando-a como calor e reduzindo o risco de danos aos

componentes fotossintéticos, como a clorofila. Esse mecanismo de proteção é essencial para a manutenção da saúde das folhas e da eficiência fotossintética, especialmente sob condições de estresse (Sarkar, 2023). Dessa forma, o acúmulo de carotenóides pode proteger as plantas sem interferir negativamente na fotossíntese. O efeito positivo do PBZ sobre os carotenóides já foi observado em estudos anteriores, como em folhas de girassol, onde o tratamento com PBZ também levou a um aumento na concentração desses pigmentos (Sarkar, 2023).

Este papel do PBZ na proteção das plantas ao excesso de estresse oxidativo, pode ser relacionada também aos triazóis, constituintes do PBZ, que ao inibir a síntese de giberelinas, redirecionam os precursores metabólicos para a produção de ácido abscísico (ABA) e citocininas (Cit). O ABA e as Cit são hormônios que desempenham papéis importantes na regulação do crescimento e no desenvolvimento das plantas. O ABA contribui para a manutenção da integridade celular e a resposta ao estresse, enquanto as Cit promovem a diferenciação dos cloroplastos, organelas responsáveis pela fotossíntese, e a biossíntese de clorofila (Nuraini et al., 2021). Justificando nossos resultados de concentração de clorofilas, carotenóides e atividade enzimática (Figura 2C, Figura 2A, Figura 5 e Figura 6).

Já os tratamentos com ethrel afetaram positivamente a concentração de glicose e sacarose na polpa e na amêndoa dos frutos (Figura 3 e Figura 4). Os açúcares atuam na geração de energia necessária para a produção de vários compostos que contribuem no desenvolvimento dos frutos (Durán-Soria et al., 2020). Além disso, a floração é influenciada pela disponibilidade e transporte de carboidratos no floema (Wingler & Henriques, 2022). A sacarose é um dos principais produtos da fotossíntese nas folhas e é transportada pelo floema para todas as partes da planta, exercendo o papel de transportador de carbono entre os tecidos fonte e dreno, influenciando na produção de flores e frutos (Jeandet et al., 2022).

Os açúcares são responsáveis por fornecer a energia necessária para a produção de compostos orgânicos essenciais. A sacarose, produzida nas folhas durante a fotossíntese, é transportada através do floema para outras partes da planta, onde é utilizada como fonte de energia e carbono (Mishra, et al., 2022). A sinalização do açúcar pode afetar os processos de senescência das plantas, pois os açúcares se acumulam nas folhas senescentes onde podem induzir a mobilização de nitrogênio das folhas senescentes para as inflorescências, influenciando na formação das inflorescências da planta (Wingler & Henriques, 2022). A maior concentração de açúcares nos tratamentos com ethrel (Figura 3 e 4), pode ser relacionada a maturação dos frutos, associada a atividade do etileno, podendo assim, explicar o comportamento dos nossos resultados.

Ainda, os açúcares têm um papel importante na regulação dos hormônios vegetais, interferindo no equilíbrio hormonal da planta, influenciando a síntese e a ação de hormônios como as auxinas e as giberelinas (Wingler & Henriques, 2022). Os açúcares, principalmente a sacarose, também regulam a biossíntese de metabolitos secundários, como as antocianinas e os carotenóides, afetando diretamente a qualidade e a resistência das folhas e frutos (Durán-Soria et al., 2020).

Adicionalmente observamos que tanto a concentração de açúcares quanto a atividade enzimática foram maiores nos tratamentos com ethrel (Figura 3 e 4). O que pode ser relacionado ao papel dos açúcares na sinalização celular já citada. Os açúcares facilitam a osmoproteção por toda a planta e a maior concentração de açúcares melhora a atividade de enzimas eliminadoras de ROS (Kaur et al., 2021), como o que encontramos em nossos resultados.

As EROs são moléculas altamente reativas geradas normalmente no metabolismo celular, porém, em excesso quando as plantas enfrentam estresses abióticos, como seca, salinidade, ou temperaturas extremas são extremamente danosas. Essas moléculas podem causar danos oxidativos a componentes celulares, como proteínas, ácidos nucleicos e lipídios. Esses danos podem alterar a estrutura e função dessas biomoléculas, afetando negativamente uma variedade de processos bioquímicos e fisiológicos na planta, incluindo a integridade das membranas celulares, a replicação do DNA e a atividade enzimática (Jan et al., 2020). Assim, a maior atividade das enzimas antioxidantes observadas nos tratamentos que receberam ethrel podem mitigar a ação ligada a eventos que levam a maturação e senescência dos frutos destes tratamentos (Figura 5 e 6), podendo auxiliar na manutenção dos processos biológicos das plantas, contribuindo para a desintoxicação de ROS (Sabagh et al., 2021).

Essas enzimas agem neutralizando as EROs e promovendo a desintoxicação. Entre as principais enzimas antioxidantes estão a enzima superóxido dismutase (SOD), que é responsável pela conversão do superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), e a enzima catalase (CAT), que decompõe o H_2O_2 em água e oxigênio. As enzimas ascorbato peroxidase (APX) e peroxidase (POX), também participam em conjunto com CAT e SOD na desintoxicação de H_2O_2 , auxiliando na defesa da planta na eliminação dos radicais livres como forma de prevenção a danos celulares mais severos (Kaklewski, et al., 2008; Araujo et al., 2023). Essas enzimas podem exercer um papel importante no controle de ROS no dendezeiro, influenciando na proteção a estresses abióticos, principalmente à deficiência hídrica (Neto et al., 2018).

Logo, a sinalização do etileno nas plantas colabora para reduzir o estresse oxidativo e aumentar a termo tolerância, preservando a concentração de clorofila (Gautman et al., 2022).

Esse comportamento foi reforçado neste estudo, já que o tratamento com ethrel aumentou significativamente as atividades das enzimas antioxidantes (Figura 5 e Figura 6), contribuindo para o metabolismo das plantas o que pode refletir na melhoria da qualidade dos frutos. O tratamento com glicose exógena em mudas de *Arabidopsis* também causou o aumento da resposta de tolerância a estresses (Sharma et al., 2019).

Quanto ao teor de óleo na polpa e na amêndoa dos frutos, o tratamento com a mistura de PBZ e ethrel aumentou o teor de óleo em todas as idades (Figura 7). Esse efeito positivo pode ser atribuído à interação entre os dois reguladores de crescimento e seus impactos no metabolismo dos frutos. Os açúcares, como a sacarose, são essenciais para a produção de energia e para a biossíntese de lipídios, enquanto as enzimas antioxidantes que observamos aumento em sua atividade (Figura 5 e 6) protegem os lipídios contra o estresse oxidativo (Zaid et al., 2020). Adicionalmente, o PBZ, ao inibir a síntese de giberelinas e promover a acumulação de precursores metabólicos, contribui para um aumento nos níveis de carotenóides. Os carotenóides, por sua vez ajudam a preservar a integridade dos lipídios na polpa e na amêndoa dos frutos, evitando a degradação oxidativa (Jan et al., 2020).

O aumento combinado de açúcares, atividade enzimática e carotenóides proporcionados pelo tratamento com PBZ e ethrel pode ter contribuído para o maior teor de óleo observado nos frutos (Figura 7). Esses fatores não só promovem a síntese e a acumulação de lipídios, mas também protegem os lipídios existentes da degradação, especialmente sob condições adversas do ambiente. Assim, o tratamento com a mistura desses reguladores de crescimento parece ter um efeito sinérgico positivo na qualidade e na composição dos frutos do dendezeiro (Jan et al., 2020).

Observamos ainda, que o tratamento com PBZ (10 mL de PBZ.cm⁻¹) gerou uma leve redução do teor de óleo na polpa na idade de três e cinco anos, enquanto o teor de óleo na amêndoa aumentou na idade de três e dez anos (Figura 7D e 7F), em comparação ao tratamento controle. Essa diferença do efeito na polpa e na amêndoa, pode ser devido a relação fonte e dreno, pois os fotoassimilados são direcionados para os principais sumidouros os frutos e as sementes, sendo que a semente é o dreno preferencial por ser um organismo de descendência (Falchi et al., 2020), ou seja, os fotoassimilados são mais acumulados nas sementes do que na polpa do fruto.

Além disso, o aumento relativo nos níveis de clorofila causado observados em nossos resultados, o pode ter desempenhado um papel significativo no incremento do teor de óleo observado nos frutos. Uma vez que, a fotossíntese é fundamental para a produção de óleo,

especialmente em plantas como o dendezeiro, onde a taxa fotossintética está diretamente correlacionada com a produção de óleo (Neto et al., 2018).

Em estudos com o uso de reguladores de crescimento em plantas de girassol, constatou-se que os reguladores causam alteração no teor e qualidade do óleo, além de afetar a fotossíntese e a defesa antioxidante (Sabagh et al., 2021). Essas alterações podem afetar a eficiência da produção de óleo, mostrando a importância dos reguladores no ajuste dos processos metabólicos e na defesa antioxidante da planta. Já em estudos com microalgas, *Chlorella vulgaris*, também observou-se que os tratamentos com reguladores de crescimento aumentam significativamente o conteúdo lipídico em comparação com o tratamento controle (Lin et al., 2018). Portanto, é possível que os reguladores de crescimento, ao melhorar a eficiência fotossintética e a proteção antioxidante, contribuam para o aumento do teor de óleo, ao potencializar a produção de lipídios e preservar a integridade dos componentes celulares envolvidos na biossíntese de óleo.

O papel das enzimas do estresse oxidativo nessa cultura pode afetar o óleo de palma bruto que é suscetível à oxidação lipídica, especialmente durante o processo de colheita, pois durante a colheita dos cachos, os frutos frequentemente sofrem lesões que resultam na ruptura das membranas dos corpúsculos oleosos. Esta ruptura expõe o óleo interno às enzimas lipases presentes nas células, levando à degradação dos triacilgliceróis em ácidos graxos livres (Chew et al., 2021). O aumento no nível de ácidos graxos livres devido a essa degradação não apenas reduz a qualidade do óleo, como também compromete sua durabilidade e estabilidade, tornando-o mais propenso à oxidação. Dessa forma, os tratamentos com maior atividade dessas enzimas podem apresentar menor degradação do óleo.

Os ácidos graxos insaturados, como os ácidos oleico, linoléico e α -linolênico, desempenham um papel importante na defesa contra estresses bióticos e abióticos. Esses ácidos graxos, conhecidos como ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), funcionam como antioxidantes intrínsecos dentro das células da planta (He & Ding, 2020). Eles têm a capacidade de neutralizar espécies reativas de oxigênio (ROS), reduzindo assim o estresse oxidativo e protegendo os lipídios de danos adicionais. Além disso, os PUFAs são incorporados aos triacilgliceróis e armazenados em gotículas lipídicas. Essas gotículas atuam como reservas de carbono e energia, essenciais para o desenvolvimento e a maturação dos frutos (He & Ding, 2020).

De maneira geral, os resultados deste estudo mostraram que o teor de ácidos graxos insaturados foi superior ao de ácidos graxos saturados nos frutos tratados com reguladores de crescimento (Figura 8-10). Entre os ácidos graxos insaturados, o ácido oleico foi o mais

prevalente, especialmente em palmeiras de três (Figura 8E) e cinco anos (Figura 9E), com um destaque notável para os tratamentos que incluíram paclobutrazol (PBZ). O aumento no teor de ácido oleico é particularmente significativo, pois este ácido graxo, juntamente com o ácido linoléico, constitui aproximadamente 80% do total de ácidos graxos no óleo de palma, conferindo diversos benefícios à saúde, como a melhoria do perfil lipídico e redução do risco de doenças cardiovasculares (Qureshi et al., 2024). Há relatos de que o paclobutrazol também causa o aumento de ácido oleico em óleo de gergelim (Qureshi et al., 2024). Já em dendezeiros, foi relatado que o etileno pode melhorar a qualidade do óleo de palma reduzindo o nível de ácidos graxos livres (Chew et al., 2021). Portanto, enquanto o PBZ contribui para o aumento dos ácidos graxos insaturados benéficos, o etileno atua na manutenção da qualidade do óleo ao minimizar a formação de ácidos graxos livres.

5 CONCLUSÃO

O comportamento anatômico e fisiológico da planta demonstra que no tratamento com paclobutrazol (10 mL de PBZ.cm⁻¹) comprova a redução do crescimento da folha, evidenciando os resultados encontrados no Capítulo 1.

Quanto aos teores de açúcares e enzimas antioxidantes que interferem no teor de óleo, o tratamento 4 (100 mL de ethrel) foi o mais eficiente.

Para o aumento do teor de óleo da polpa na idade de 3 anos, o melhor tratamento foi o tratamento 5 (2 mL de PBZ.cm⁻¹ + 100 mL de ethrel), porém o tratamento 3 (10 mL de paclobutrazol) aumentou a produção do teor de óleo da amêndoa em relação ao controle.

Para o aumento da qualidade do óleo da polpa, o melhor tratamento foi o 3 (10 mL de PBZ.cm⁻¹) aplicado aos três anos de idade. Dado que a diminuição precoce da altura é vantajosa para o manejo operacional da cultura, recomenda-se a aplicação de 10 mL de PBZ.cm⁻¹ aos três anos.

Para o óleo de palmiste a aplicação de 10 mL de paclobutrazol aos 3 anos de idade aumentou a produção desse tipo de óleo em relação ao controle em 17,2% por hectare.

Para o óleo da polpa a aplicação de 10 mL de paclobutrazol aos 3 anos de idade reduziu a produção desse tipo de óleo em relação ao controle em 18,2% por hectare.

Dessa forma, visando atingir uma maior redução de altura, maior teor de óleo de palmiste e melhor qualidade do óleo de palma, recomenda-se a aplicação em escala operacional do tratamento 3 (10 mL de PBZ.cm⁻¹) aos três anos de idade.

6 REFERÊNCIAS

- Anderson MD, Prasad TK, Stewart CR. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotylus of maize seedlings. **Plant Physiol** 109 (1995): 1247-1257.
- Ayvaci, U., Koc, F. N., Cetinkaya, H., & Seckin Dinler, B. (2023). Treatment with auxin and paclobutrazol mediates ROS regulation, antioxidant defence system and cell wall response in salt treated soybean. **Brazilian Journal of Botany**, 1-24.
- Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2023). **Ethylene**. In Plant Physiology, Development and Metabolism (pp. 453-465). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, 72(1-2), 248-254.
- Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Anal Biochem** 44 (1971): 276–287.
- Chance B, Maehley AC. Assay of catalase and peroxidase. **Met in Enzymo** 2 (1955): 755-764.
- Chew, C. L., Tan, B. A., Low, J. Y. S., Mohd Hakimi, N. I. N., Kua, S. F., & Lim, C. M. (2021). Exogenous ethylene application on postharvest oil palm fruit bunches improves crude palm oil quality. **Food Science & Nutrition**, 9(10), 5335-5343.
- Davari, K., Rokhzadi, A., Mohammadi, K., & Pasari, B. (2022). Paclobutrazol e bioestimulante à base de aminoácidos como compostos benéficos no alívio dos efeitos do estresse hídrico no cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). **Jornal de Ciência do Solo e Nutrição de Plantas**, 1-17.
- de Araujo, M. A., de Melo, A. A. R., Silva, V. M., & Dos Reis, A. R. (2023). Selenium enhances ROS scavenging systems and sugar metabolism increasing growth of sugarcane plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, 201, 107798.
- Dinler, B. S., Cetinkaya, H., Sergiev, I., Shopova, E., & Todorova, D. (2021). Paclobutrazol induced non-enzymatic antioxidants and polyamine levels in soybean plants grown under salinity stress. **Botanica**, 27, 149-159.
- Du, H., Ren, J., Li, Z., Zhang, H., Wang, K., Lin, B., ... & Gao, Z. (2020). Plant growth regulators affect biomass, protein, carotenoid, and lipid production in *Botryococcus braunii*. **Aquaculture International**, 28, 1319-1340.
- Durán-Soria, S., Pott, D. M., Osorio, S., & Vallarino, J. G. (2020). Sugar signaling during fruit ripening. **Frontiers in Plant Science**, 11, 564917.
- El-Sayed, S. M., Hassan, K. M., Abdelhamid, A. N., Yousef, E. E., Abdellatif, Y. M., Abu-Hussien, S. H., ... & Ibrahim, M. F. (2022). Exogenous paclobutrazol reinforces the antioxidant and antimicrobial properties of lavender (*Lavandula officinalis* L.) oil through modulating its composition of oxygenated terpenes. **Plants**, 11(12), 1607.

Falchi, R., Bonghi, C., Drincovich, M. F., Famiani, F., Lara, M. V., Walker, R. P., & Vizzotto, G. (2020). Sugar metabolism in stone fruit: Source-sink relationships and environmental and agronomical effects. **Frontiers in plant science**, *11*, 573982.

Fernie, A. R., et al. "Fructose 2, 6-bisphosphate activates pyrophosphate: fructose-6-phosphate 1-phosphotransferase and increases triose phosphate to hexose phosphate cycling in heterotrophic cells." **Plants** 212 (2001): 250-263.

Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA (2013) **ExpDes: experimentais designs package** in: R Package Version 1.1.2.

Gautam, H., Fatma, M., Sehar, Z., Iqbal, N., Albaqami, M., & Khan, N. A. (2022). Exogenously-sourced ethylene positively modulates photosynthesis, carbohydrate metabolism, and antioxidant defense to enhance heat tolerance in rice. **International Journal of Molecular Sciences**, *23*(3), 1031.

Giannopolitis C.N., Ries S.K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiol** 59: 309–14.

Havir E.A., McHale N.A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiol** 84(1987): 450–455.

He, M., & Ding, N. Z. (2020). Plant unsaturated fatty acids: multiple roles in stress response. **Frontiers in plant science**, *11*, 562785.

Jan, S., Singh, R., Bhardwaj, R., Ahmad, P., & Kapoor, D. (2020). Plant growth regulators: a sustainable approach to combat pesticide toxicity. **3 Biotech**, *10*(11), 466.

Jeandet, P., Formela-Luboińska, M., Labudda, M., & Morkunas, I. (2022). The role of sugars in plant responses to stress and their regulatory function during development. **International journal of molecular sciences**, *23*(9), 5161.

Kąklewski, K., Nowak, J., & Ligocki, M. (2008). Effects of selenium content in green parts of plants on the amount of ATP and ascorbate–glutathione cycle enzyme activity at various growth stages of wheat and oilseed rape. **Journal of plant physiology**, *165*(10), 1011-1022.

Kamran, M., Ahmad, S., Ahmad, I., Hussain, I., Meng, X., Zhang, X., ... & Han, Q. (2020). Paclobutrazol application favors yield improvement of maize under semiarid regions by delaying leaf senescence and regulating photosynthetic capacity and antioxidant system during grain-filling stage. **Agronomy**, *10*(2), 187.

Kar M., Mishra D. Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase Activities during RiceLeaf Senescence. **Plant Physiol** 57(1976): 315–319.

Kaur, H., Manna, M., Thakur, T., Gautam, V., & Salvi, P. (2021). Imperative role of sugar signaling and transport during drought stress responses in plants. **Physiologia plantarum**, *171*(4), 833-848.

Kumar, A., Ram, S., Bist, L. D., & Singh, C. P. (2021). Paclobutrazol boost up for fruit production: A review. **Annals of the Romanian Society for Cell Biology**, 25(6), 963-980.

Lin, B., Ahmed, F., Du, H., Li, Z., Yan, Y., Huang, Y., ... & Gao, Z. (2018). Plant growth regulators promote lipid and carotenoid accumulation in *Chlorella vulgaris*. **Journal of Applied Phycology**, 30, 1549-1561.

Lisec, Jan, et al. "Gas chromatography mass spectrometry–based metabolite profiling in plants." **Nature protocols** 1.1 (2006): 387-396.

Low, J.Y.S.; Fong, P.Y.; Teh, C.K.; Ong, A.L.; Lim, C.M.; Appleton, D.R. Ethephon-Induced Abscission of Oil Palm Fruits at Optimal Bunch Ripeness and Retting Period to Improve Commercial Seed Production. **Horticulturae** 2021, 7, 380.

Murphy, D. J., Goggin, K., & Paterson, R. R. M. (2021). Oil palm in the 2020s and beyond: challenges and solutions. **CABI agriculture and bioscience**, 2, 1-22.

Murshed R., Lopez-Lauri F., Sallanon H. Microplate quantification of enzymes of the plant ascorbate-glutathione cycle. **Anal Biochem** 383(2008): 320–322.

Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiol** 22(1981): 867–880.

Neto, C. O., Rocha, M. E., Abade, M. T., Nogueira, G. A., Nascimento, V. R., Cardoso, K. P., & Okumura, R. S. (2018). Antioxidant enzymes activity in the *Elaeis guineensis* Jacq. submitted to drought. **J Agric Sci**, 8, 245-252.

Nualwijit, N., & Lerslerwong, L. (2014). Post harvest ripening of oil palm fruit is accelerated by application of exogenous ethylene. **Songklanakarinn J. Sci. Technol**, 36, 255-259.

Nuraini, A., Nugroho, P. S., Sutari, W., Mubarak, S., & Hamdani, J. S. (2021). Effects of cytokinin and paclobutrazol application time on growth and yield of G2 potato (*Solanum tuberosum* L.) medians cultivar at medium altitude in Indonesia. **Agr. Nat. Resour.** 55 (2021) 171–176

O'Brien, T.P., Feder, N. e McCull, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma** 59(1964):. 368-373

Pérez-Gálvez, A., Viera, I., & Roca, M. (2020). Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. **Antioxidants**, 9(6), 505.

Qaim, M., Sibhatu, K. T., Siregar, H., & Grass, I. (2020). **Environmental, economic, and social consequences of the oil palm boom.**

Qureshi, M., Kordrostami, M., Uzun, B., & Yol, E. (2024). Modulating Growth and Oil Profile of Sesame (*Sesamum indicum* L.): Paclobutrazol and Mepiquat Chloride Impacts. **Journal of Plant Growth Regulation**, 1-17.

R Core Team (2023). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Romero, H. M., Daza, E., Ayala-Díaz, I., & Ruiz-Romero, R. (2021). High-Oleic Palm Oil (HOPO) production from parthenocarpic fruits in oil palm interspecific hybrids using naphthalene acetic acid. *Agronomy*, 11(2), 290.

Sabagh, A. E., Hossain, A., Islam, M. S., Iqbal, M. A., Amanet, K., Mubeen, M., ... & Erman, M. (2021). Prospective role of plant growth regulators for tolerance to abiotic stresses. **Plant growth regulators: signalling under stress conditions**, 1-38.

Santos Filho, F. B., Silva, T. I., Dias, M. G., Alves, A. C. L., & Grossi, J. A. S. (2022). Paclobutrazol reduces growth and increases chlorophyll indices and gas exchanges of basil (*Ocimum basilicum*). *Brazilian Journal of Biology*, 82, e262364.

Sarkar, J. (2023). Efeito do paclobutrazol na fisiologia, crescimento e produtividade do girassol (*Helianthus annuus* L.). *Relatórios de Fisiologia Vegetal*, 28 (2), 231-237.

Shareef, H. J., Abdi, G., & Fahad, S. (2020). Change in photosynthetic pigments of Date palm offshoots under abiotic stress factors. *Folia oecologica*, 47(1), 45-51.

Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S. K., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., ... & Zheng, B. (2019). Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*, 9(7), 285.

Sharma, M., Gupta, I., Tisarum, R., Batish, D. R., Cha-um, S., & Singh, H. P. (2023). Paclobutrazol Improves the Chlorophyll Content and Antioxidant Activities of Red Rice in Response to Alkaline Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(4), 6429-6444.

Sofy, M. R., Elhindi, K. M., Farouk, S., & Alotaibi, M. A. (2020). Zinc and paclobutrazol mediated regulation of growth, upregulating antioxidant aptitude and plant productivity of pea plants under salinity. *Plants*, 9(9), 1197.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora.

USDA. Palm Oil. USDA Foreign Agricultural Service. Disponível em: <<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/4243000>>. Acessado em: 01/07/2024.

Wingler, A., & Henriques, R. (2022). Sugars and the speed of life—Metabolic signals that determine plant growth, development and death. *Physiologia Plantarum*, 174(2), e13656.

Wellburn, A. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, v. 144, p. 307–313, 1994.

Yemm, E. W., E. C. Cocking, and R. E. Ricketts. "The determination of amino-acids with ninhydrin." *Analyst* 80.948 (1955): 209-214.

Zahid, G., Iftikhar, S., Shimira, F., Ahmad, H. M., & Kaçar, Y. A. (2023). An overview and recent progress of plant growth regulators (PGRs) in the mitigation of abiotic stresses in fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 309, 111621.

Zaid, A., Mohammad, F., & Fariduddin, Q. (2020). Plant growth regulators improve growth, photosynthesis, mineral nutrient and antioxidant system under cadmium stress in menthol mint (*Mentha arvensis* L.). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, 26, 25-39.

Zhao, H., Yin, C. C., Ma, B., Chen, S. Y., & Zhang, J. S. (2021). Ethylene signaling in rice and Arabidopsis: new regulators and mechanisms. **Journal of Integrative Plant Biology**, 63(1), 102-125.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como citado no capítulo 1, o dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma fonte de óleo vegetal de grande importância mundial sendo utilizado para fins alimentícios, medicinais e oleoquímicos. No Brasil, o estado do Pará é o maior produtor de óleo de palma, contribuindo significativamente para a economia local e para a vida dos pequenos produtores. No entanto, a altura das palmeiras limita a colheita, danificando os frutos e comprometendo a qualidade do óleo. Melhorar a arquitetura da planta, como ajustar sua altura e o comprimento das folhas, pode facilitar o manejo e a colheita, além de otimizar a densidade de plantio.

Portanto, este estudo investigou o impacto dos reguladores de crescimento, paclobutrazol (PBZ) e ethrel, no crescimento da planta, na produção de frutos, na qualidade do óleo de palma e na fisiologia do dendê.

Os resultados revelaram que o tratamento com PBZ na dosagem de 10 ml por cm de circunferência pode possibilitar a redução do crescimento em altura e causar a redução do tamanho da folha da espécie *Elaeis guineensis* Jacq como citado no Capítulo 1. O Capítulo 2 evidencia esse efeito do PBZ, através dos resultados da análise anatômica comprovando que a folha reduz o tamanho. Além disso, observamos que o PBZ pode gerar a otimização da capacidade fotossintética do dendezeiro devido ao aumento do conteúdo de clorofila observado. Adicionalmente, o conteúdo de carotenóides também aumentou. Esses fatores podem ter influenciado positivamente na qualidade do óleo de palma.

Vale ressaltar também, que o tratamento na dosagem de 10 ml por cm de circunferência gerou aumento da quantidade de ácidos graxos insaturados, a elevação dos ácidos graxos insaturados pode melhorar consideravelmente a qualidade do óleo de palma. O aumento dos ácidos graxos insaturados pode tornar o óleo mais saudável e menos prejudicial à saúde, atendendo assim à crescente demanda por produtos com melhores qualidades nutricionais.

Dessa forma, recomenda-se o manejo da cultura do Dendê com a aplicação aos três anos de idade do tratamento 3 (10 mL de PBZ.cm⁻¹), dado que a diminuição precoce da altura e do comprimento das folhas é vantajosa para o manejo operacional da cultura.

Essa estratégia pode permitir o aumento da vida útil produtiva das palmeiras, além de possibilitar a redução do espaçamento entre plantas, resultando em um número maior de plantas por hectare, promovendo práticas agrícolas mais eficientes na cultura do dendezeiro.