

SAMUEL DE MELO GOULART

**COLHEITA E PÓS-COLHEITA DE MACAÚBA: QUALIDADE DO ÓLEO
DA POLPA PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA E APROVEITAMENTO DA
TORTA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G294c
2018
Goulart, Samuel de Melo, 1983-
Colheita e pós-colheita de macaúba : qualidade do óleo da
polpa para alimentação humana e aproveitamento da torta na
alimentação animal / Samuel de Melo Goulart. – Viçosa, MG,
2018.

xvii, 111 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Acrocomia aculeata*. 2. Azeite - Armazenamento.
3. Azeite. 4. Caprinos. 5. Rações. 6. Alimentação dos animais.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.851

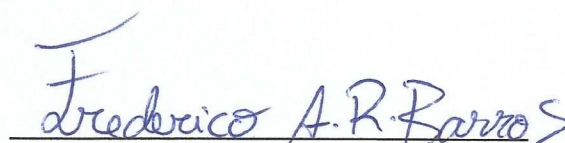
SAMUEL DE MELO GOULART

**COLHEITA E PÓS-COLHEITA DE MACAÚBA: QUALIDADE DO ÓLEO
DA POLPA PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA E APROVEITAMENTO DA
TORTA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**

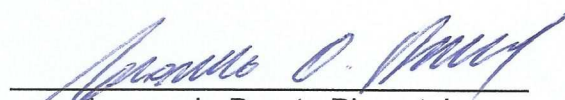
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

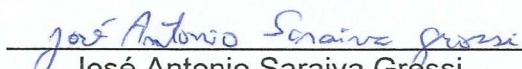
APROVADA: 02 de agosto de 2018.


Gutierrez Nelson Silva


Frederico Augusto R. de Barros


Osdinéia Pereira Lopes


Leonardo Duarte Pimentel
(Coorientador)


José Antonio Saraiva Grossi
(Orientador)

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém
ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer

Aos meus pais, José de Arimathea e Sônia
À minha esposa Priscila
A toda minha família
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo pela sua presença constante, por me amparar nos momentos de fraqueza e mostrar que Seu amor é maior que tudo.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitotecnia (DFT), pela oportunidade e condições de realização do trabalho.

À Petrobras S.A e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelos recursos financeiros e pela bolsa concedida.

Ao professor Dr. José Antonio Saraiva Grossi, pela orientação, confiança, motivação, paciência e amizade.

Ao professor Dr. Leonardo Duarte Pimentel, pela colaboração, dedicação e amizade.

À professora Dr^a. Ana Vlândia Moreira Bandeira, pela colaboração e amizade.

Ao professor Sérgio Yoshimitsu Motoike e sua esposa Kacilda Naomi Kuki, pelo apoio e colaboração.

Às fazendas Capela (Acaiaca-MG) e São Miguel (Piranga-MG) e seus proprietários, Sr. João e Sr. Geraldo, pelo apoio imprescindível para a realização dos trabalhos.

Aos meus pais, José de Arimathea Melo e Sônia Lázara Goulart Melo, pelo amor e dedicação incondicionais que permitiram que eu chegasse até aqui.

Aos meus irmãos Marcos e André pelo companheirismo e amizade.

A minha esposa Priscila, pelo amor, compreensão e apoio sempre que precisei e a toda sua família, especialmente minha sogra Valéria e minha cunhada Camila.

Aos amigos de laboratório, com os quais tive o prazer de conviver nesses anos de pós-graduação, em especial Gutierrez, Néia, Érica, Tila, Anderson e Adalvan, pelos conhecimentos e agradáveis momentos compartilhados e pelo valioso auxílio na execução dos trabalhos.

Às estagiárias Larissa, Maiana, Thamyres, Fernanda e Karollyne, pela colaboração e dedicação aos trabalhos.

A todos os meus amigos, pelo companheirismo, apoio e motivação, mesmo não estando fisicamente próximos.

A todos os funcionários do Departamento de Fitotecnia, pelos serviços prestados e aprendizado compartilhado.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero muito obrigado!

BIBLIOGRAFIA

SAMUEL DE MELO GOULART, filho de José de Arimathea Melo e Sônia Lázara Goulart Melo, nasceu em Capitólio, Minas Gerais, em 02 de outubro de 1983.

Em março de 2003 ingressou na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se Engenheiro Agrônomo em julho de 2008. Em agosto de 2011 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na mesma universidade, obtendo o título de Mestre em Fitotecnia em fevereiro de 2014.

Em março de 2014 iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 02 de agosto de 2018.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
Capítulo 1 - ÉPOCA DE COLHEITA E ARMAZENAMENTO INFLUENCIAM A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DA POLPA DE MACAÚBA PARA FINS ALIMENTÍCIOS.....	7
RESUMO	8
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1 Local de colheita, identificação da floração, colheita e armazenamento dos frutos.....	15
2.2 Extração do óleo	15
2.3 Avaliações	16
2.3.1 Teor de óleo	16
2.3.2 Estabilidade oxidativa.....	16
2.3.3 Índice de acidez	16
2.3.4 Índice de peróxidos.....	17
2.3.5 Carotenoides totais.....	17
2.3.6 Capacidade antioxidante pelo sequestro do radical DPPH.....	17
2.4 Análise estatística	18
3. RESULTADOS.....	18
3.1 Teor de óleo na polpa e índice de acidez.....	18
3.2 Índice de peróxidos e estabilidade oxidativa.....	20
3.3 Carotenoides totais e atividade antioxidante	21

4. DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÃO	29
Referências Bibliográficas	30
Capítulo 2 - APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA DE INIBIDORES DE ETILENO EM FRUTOS DE MACAÚBA: EFEITOS FISIOLÓGICOS E NA QUALIDADE DO ÓLEO DURANTE O ARMAZENAMENTO	37
RESUMO	38
ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1 Local de colheita	41
2.2 Identificação da floração, colheita e armazenamento dos frutos	42
2.3 Tratamentos.....	42
2.3.1 AVG 42	
2.3.2 1-MCP	42
2.4 Armazenamento	43
2.5 Extração do óleo	43
2.6 Avaliações	43
2.6.1 Respiração e evolução de etileno	43
2.6.2 Teor de óleo na polpa.....	44
2.6.3 Estabilidade oxidativa	45
2.6.4 Índice de acidez	45
2.6.5 Teor de água no óleo	45
2.7 Delineamento experimental e análise estatística	46
3. RESULTADOS.....	46
3.1 Evolução de CO ₂ e etileno	46
3.2 Teor de óleo e índice de acidez	47
3.3 Estabilidade oxidativa e teor de água no óleo	49
4. DISCUSSÃO	50

5. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
Capítulo 3 - TRATAMENTOS PÓS-COLHEITA E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DA POLPA DE MACAÚBA PARA USO ALIMENTÍCIO	60
RESUMO	61
ABSTRACT	63
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAL E MÉTODOS	67
2.1 Localização das plantas, identificação da floração, colheita e armazenamento dos frutos	67
2.2 Tratamentos.....	67
2.2.1 Secagem.....	67
2.2.2 Refrigeração	68
2.2.3 Aplicação de 1-MCP	68
2.2.4 Ozonização.....	68
2.3 Controle.....	69
2.4 Armazenamento pós tratamentos	69
2.5 Extração do óleo	70
2.6 Avaliações	70
2.6.1 Teor de óleo no mesocarpo	70
2.6.2 Estabilidade oxidativa	70
2.6.3 Ácidos graxos livres.....	71
2.6.4 Índice de peróxidos.....	71
2.6.5 Carotenoides totais no óleo	71
2.6.6 Capacidade antioxidante pelo sequestro do radical DPPH.....	72
2.7 Análise estatística	72
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.1 Aspecto visual dos frutos	73
3.2 Teor de óleo no mesocarpo e ácidos graxos livres	74
3.3 Índice de peróxidos e estabilidade oxidativa.....	75

3.4	Capacidade antioxidante e carotenoides totais	77
4.	DISCUSSÃO	78
5.	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	Capítulo 4 - INCLUSÃO DA TORTA DA POLPA DE MACAÚBA NA DIETA DE CABRAS LEITEIRAS EM FINAL DE LACTAÇÃO	90
	RESUMO	91
	ABSTRACT	92
1.	INTRODUÇÃO	93
2.	MATERIAL E MÉTODOS	94
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
3.1	Consumo da dieta.....	97
3.2	Desempenho dos animais.....	99
3.3	Composição do leite	102
3.4	Viabilidade econômica.....	104
4.	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	CONCLUSÃO GERAL	111

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.1** - Perfil de ácidos graxos de espécies oleaginosas de importância mundial e do óleo da polpa de macaúba. 13
- Figura 1.2** - (A) Teor de óleo na polpa (b.s.) e (B) índice de acidez (% ácido oleico) no óleo da polpa de frutos colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA) e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias a $24,0 \pm 1,5$ °C. 19
- Figura 1.3** - (A) Índice de peróxidos (meq.kg^{-1}) e (B) estabilidade oxidativa (h) do óleo da polpa de frutos colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA) e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias a $24,0 \pm 1,5$ °C. Pontos representam valores médios \pm erro padrão da média. 20
- Figura 1.4** - (A) Capacidade antioxidante (% R-DPPH) e (B) Carotenoides totais (mg.kg^{-1}) no óleo da polpa de frutos colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA) e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias a $24,0 \pm 1,5$ °C. Pontos representam valores médios \pm erro padrão da média. 22

CAPÍTULO 2

- Figura 2.1** – Valores médios (\pm EPM) da evolução de CO_2 (A) e etileno (B) de frutos tratados com AVG ou 1- MCP, ao longo do armazenamento. 47
- Figura 2.2** - Teor de óleo na polpa (% b.s) (A) e acidez do óleo da polpa (% ácido oleico) (B) de frutos controle, tratados com AVG ou 1-MCP, ao longo do armazenamento. Pontos representam valores médios \pm erro padrão da média. 48
- Figura 2.3** - Estabilidade oxidativa (h) (A) e teor de água no óleo da polpa (%) (B) de frutos controle, tratados com AVG ou 1-MCP, ao longo do armazenamento. Pontos representam valores médios \pm erro padrão da média. 49

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 - Aspecto visual da polpa de frutos de macaúba em função do tratamento (controle, secagem, refrigeração, 1-MCP e ozonização) durante o armazenamento (0, 10, 20 e 30 dias).	73
Figura 3.2 - (A) Teor de óleo na polpa (b.s.) e (B) ácidos graxos livres (% ácido oleico) no óleo da polpa de frutos tratados e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias.	74
Figura 3.3 - (A) Índice de peróxidos (meq.kg ⁻¹) e (B) estabilidade oxidativa (h) do óleo da polpa de frutos tratados e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias.	76
Figura 3.4 - (A) Capacidade antioxidante (% R-DPPH) e (B) Carotenoides totais (mg.kg ⁻¹) no óleo da polpa de frutos tratados e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias.	77

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Consumo de volumoso e concentrado de dietas utilizando ou não a torta da polpa de macaúba na dieta. Grupo 1: concentrado composto por farelos de milho e soja e, Grupo 2: concentrado composto por farelos de milho, soja e torta da polpa de macaúba.	98
---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis teor de óleo e índice de acidez do óleo.	19
Tabela 1.2 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis índice de peróxidos e período de indução do óleo.....	21
Tabela 1.3 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis capacidade antioxidante e carotenoides totais do óleo.	22

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis teor de óleo e acidez livre no óleo.	75
Tabela 3.2 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis índice de peróxidos e estabilidade oxidativa do óleo.....	76
Tabela 3.3 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis capacidade antioxidante e carotenoides totais do óleo.	78

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 - Composição e porcentagem dos alimentos na dieta.	95
Tabela 4.2 - Composição química da torta da polpa de macaúba.....	96

Tabela 4.3 - Produção de leite e ganho médio diário de cabras alimentadas ou não com a torta de macaúba no concentrado.....	100
Tabela 4.4 - Composição do leite.	102
Tabela 4.5 - Composição do custo da alimentação e margem obtida com a venda do leite por animal.....	105

RESUMO

GOULART, Samuel de Melo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2018. **Colheita e pós-colheita de macaúba: qualidade do óleo da polpa para alimentação humana e aproveitamento da torta na alimentação animal.** Orientador: José Antonio Saraiva Grossi. Coorientadores: Leonardo Duarte Pimentel e Ana Vlândia Moreira Bandeira.

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem despertando interesse crescente da indústria de óleos devido à qualidade de seus óleos, especialmente o da polpa que apresenta ampla gama de usos, desde a fabricação de biodiesel até a alimentação humana. A sazonalidade na produção desta espécie leva à concentração da colheita, um problema para a indústria processadora que torna imprescindível o desenvolvimento de técnicas de conservação pós-colheita a fim de ampliar o período de processamento industrial dos frutos. Entretanto, estudos acerca da colheita e pós-colheita da macaúba, essenciais para o desenvolvimento de tais técnicas, são escassos na literatura, dificultando a exploração racional da espécie. A torta da polpa, resultante do processo de extração de óleo, devido à sua composição, apresenta enorme potencial para uso na alimentação animal. Desta forma, este trabalho divide-se em 4 capítulos. No primeiro, avaliaram-se os efeitos da aplicação de inibidores da síntese, *Aminoetoxivinilglicina* (AVG), e ação do etileno, *1-Metilciclopropeno* (1-MCP), na evolução de CO₂ e etileno, e na qualidade do óleo em pós-colheita. Os frutos foram tratados logo após a colheita e armazenados por 30 dias. A aplicação de AVG não promoveu alterações nos padrões de evolução de gases ou de qualidade do óleo, ao passo que a aplicação de 1-MCP reduziu a evolução de etileno e a acidez do óleo ao final do armazenamento, embora esta já se encontrasse fora das especificações normativas. No segundo capítulo realizou-se um estudo com o objetivo de definir o ponto ideal de colheita dos frutos, com base no rendimento e qualidade do óleo em diferentes épocas de colheita e durante o armazenamento. Frutos foram colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA) e armazenados por até 30 dias, com avaliações da qualidade do óleo feitas a cada 10 dias. No momento da colheita, frutos colhidos aos 430 DAA apresentaram maior teor de óleo na polpa e melhor qualidade de óleo. Durante

o armazenamento, o óleo de frutos com maior idade mostrou-se mais resistente à degradação. O terceiro capítulo foi dedicado a avaliar os efeitos de técnicas de conservação pós-colheita na qualidade do óleo de frutos armazenados. Frutos foram colhidos aos 430 DAA e submetidos a (1) secagem a 100 °C por 3 h; (2) armazenamento refrigerado a 11,0 ± 1,0 °C; (3) aplicação de 1-MCP ou (4) ozonização, sendo então armazenados por até 30 dias, com avaliações feitas a cada 10 dias. O armazenamento refrigerado apresentou vantagem sobre os demais tratamentos na manutenção da acidez e índice de peróxidos do óleo dentro dos limites estabelecidos por norma para sua classificação como “extra virgem” por maior período, ao passo que secagem e aplicação de 1-MCP mostraram-se prejudiciais à maioria dos parâmetros. Por fim, o quarto capítulo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da inclusão da torta da polpa na alimentação de cabras em lactação. O desempenho dos animais, bem como a composição do leite não foram alterados com o fornecimento da torta da polpa da macaúba. A inclusão da torta resultou em menor custo com alimentação. O uso da torta da polpa mostrou-se técnica e economicamente viável para alimentação de caprinos em fase final de lactação.

ABSTRACT

GOULART, Samuel de Melo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2018. **Harvest and post-harvest of macauba: pulp oil quality for human consumption and utilization of the cake in animal feed.** Adviser: José Antonio Saraiva Grossi. Co-advisers: Leonardo Duarte Pimentel and Ana Vlândia Moreira Bandeira.

Macauba (*Acrocomia aculeata*) has aroused growing interest in the oil industry due to the quality of its oils, especially the pulp oil that has a wide range of uses, ranging from the production of biodiesel to human feed. Seasonality in the production of this species leads to harvest concentration, an industrial problem that makes fundamental the development of post-harvest conservation techniques in order to extend the period of industrial processing of the fruits. However, studies on the harvesting and post-harvesting of macaúba, essentials for the development of such techniques, are scarce in the literature, hindering the rational exploitation of the species. In addition, the pulp cake, resulting from the oil extraction process, is not yet destined, although its composition indicates potential for use in animal feed. In this way, this work is divided in 4 chapters. In the first one, effects of the application of ethylene synthesis and action inhibitors Aminoxyvinylglycine (AVG) and 1-Methylcyclopropene (1 MCP) on the evolution of CO₂ and ethylene and on the oil quality in post-harvest were evaluated. The fruits were treated immediately after harvest and stored for 30 days. The application of AVG did not promote changes in the gases evolution patterns or on oil quality, while the application of 1-MCP reduced the evolution of ethylene and the acidity of the oil at the end of the storage, although it did not meet the specifications. The second one aimed to define the ideal harvest point of the fruits, based on the yield and quality of the oil in different harvest times and during the storage. Fruits were harvested at 400, 415 and 430 days after anthesis (DAA) (3) and stored for up to 30 days, with oil quality evaluations done every 10 days. At the harvest, fruits with 430 DAA presented higher oil content in the pulp and better oil quality. During storage, older fruits produced better quality oil, more resistant to degradation. The third chapter was devoted to evaluating the effects of post-harvest conservation techniques on stored fruit oil quality. Fruits were

harvested at 430 DAA and submitted to (1) drying at 100 °C for 3 h; (2) refrigerated storage at 11.0 ± 1.0 °C; (3) application of 1-MCP or (4) ozonization, and then stored for up to 30 days, with evaluations done every 10 days. The refrigerated storage had an advantage over the other treatments in the maintenance of the acidity and oil peroxide value within the limits established by standard for its classification as "extra virgin" for a longer period, while drying and application of 1-MCP were harmful to most parameters. Finally, the fourth chapter aimed to evaluate the technical and economic feasibility of inclusion of pulp cake in lactating goats feeding. The performance of the animals as well as the composition of the milk were not altered with the supply of the macauba pulp cake. The inclusion of the cake resulted in lower feed costs. The use of pulp cake was technically and economically feasible to feed goats at the final stage of lactation.

INTRODUÇÃO GERAL

Uma grande diversidade de espécies vegetais oleaginosas é utilizada na obtenção de óleos com fins alimentícios, dentre as quais se destacam a soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), girassol (*Helianthus annuus*), canola (*Brassica napus*) e palma (*Elaeis guineensis*) (Murugesan et al., 2009; Mathiyazhagan et al., 2011; Pires et al., 2013). Entretanto, nenhuma é capaz de atingir a produtividade da palma, fonte do óleo mais consumido no mundo, ou fornecer um óleo que reproduza as mesmas qualidades nutricionais e organolépticas do azeite de oliva (*Olea europaea*).

As tendências mundiais do mercado atual e futuro de alimentos vêm se modificando e a indústria brasileira indica a incorporação destas novas tendências nos hábitos alimentares da população, inclusive no que diz respeito ao consumo de óleos e azeites (Barbosa et al., 2010). O perfil graxo do óleo da polpa da macaúba é similar ao do azeite de oliva (*Olea europaea* L.) (Goulart, 2014), o que, juntamente com a inexistência de fatores antinutricionais e à sua já relatada atividade antioxidante e anti-inflamatória (Traesel et al., 2014; Lescano et al., 2015; Silva et al., 2018), sugere seu uso *in natura* na alimentação humana em atendimento a estas novas demandas.

A palmeira macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] possui adaptabilidade a condições edafoclimáticas diversas, uma vez que maciços naturais são encontrados desde regiões de clima equatorial até subtropical (Henderson et al., 1997; Pimentel et al., 2011). Seu fruto é uma drupa comestível globosa de formato esférico, ligeiramente achatado, constituído por casca (epicarpo) tenaz e fibrosa, polpa (mesocarpo) fibrosa e

com alto teor de óleo, endocarpo duro e denso, e semente (amêndoa) com alto teor de óleo e proteínas. Dos frutos são obtidos dois tipos de óleo de composição distinta: da amêndoa, predominantemente saturado (Amaral et al., 2011), e da polpa, onde predominam ácidos graxos monoinsaturados (Goulart, 2014).

De acordo com dados do *International Olive Oil Council*, no ano de 2017 o Brasil era o segundo maior importador de azeite de oliva e o quinto maior consumidor mundial. Sua produção, no entanto, é inexpressiva. Este cenário se deve principalmente ao fato de que o país possui condições climáticas apenas marginais para o desenvolvimento da oliveira (Wrege et al., 2015). Dadas as mudanças no mercado de alimentos, aliadas ao grande potencial competitivo que o cultivo de uma espécie nativa altamente produtiva poderia trazer, o óleo da polpa da macaúba poderia suprir parte desta demanda, sendo comercializado na forma de um azeite tropical.

Apesar do grande potencial de uso a princípio apresentado pela macaúba (Aquino et al., 2008; Evaristo et al., 2016; Falasca et al., 2017), estudos acerca da pós-colheita de seus frutos são escassos na literatura, fato que se converte em um gargalo à exploração racional da espécie. Sua exploração se dá basicamente de forma extrativista, onde a coleta de frutos caídos não preconiza a qualidade dos mesmos, resultando em óleo de baixa qualidade que não se presta ao uso alimentício ou mesmo à produção de biodiesel.

O conhecimento da fisiologia pós-colheita se faz necessário para entender como esse fenômeno é regulado, possibilitando manipulá-lo visando à manutenção da qualidade e a redução de perdas pós-colheita (Vilas Boas,

2002). Em geral, mudanças físico-químicas em frutos climatéricos como a macaúba, durante a maturação, sofrem grande influência do etileno e do padrão respiratório dos mesmos.

Tratamentos pós-colheita têm o objetivo de manter os atributos de qualidade de frutos pelo maior tempo possível (Wills e Golding, 2016). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a vida útil pós-colheita de um fruto é maximizada quando a qualidade inicial, por ocasião da colheita, é elevada. Entretanto, a definição do ponto de colheita, um dos passos fundamentais para o estabelecimento da exploração racional da macaúba, ainda não foi dado. Seus efeitos na qualidade do óleo durante o armazenamento são, desta forma, desconhecidos.

Por fim, a extração do óleo da polpa dos frutos de macaúba gera um volume considerável de resíduos, dentre os quais destaca-se a torta da polpa (Altino et al., 2017). O aproveitamento integral destes resíduos pode tornar o complexo industrial da macaúba mais eficiente, competitivo e sustentável (Teixeira et al., 2014). A utilização da torta da polpa na substituição de alimentos tradicionalmente utilizados na alimentação animal tem sido avaliada como positiva, especialmente para ruminantes, como forma de reduzir os custos de produção (Rigueira et al., 2017).

Levando em conta que o fruto da macaúba é climatérico, este trabalho buscou respostas para as seguintes questões fundamentais para o seu manejo pós-colheita e utilização dos resíduos da extração do óleo:

- O uso de inibidores de etileno é efetivo em prolongar a vida pós-colheita dos frutos, garantindo a qualidade do óleo?

- Qual a melhor época de colheita? A qualidade e o teor do óleo de frutos armazenados são influenciados por ela?
- Tratamentos pós-colheita são efetivos na manutenção da qualidade do óleo durante o armazenamento dos frutos?
- A torta gerada pela extração do óleo da polpa pode ser utilizada na alimentação de cabras em lactação?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTINO, H. O.; COSTA, B. E.; DA CUNHA, R. N. Biosorption optimization of Ni (II) ions on Macauba (*Acrocomia aculeata*) oil extraction residue using fixed-bed column. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 5, n. 5, p. 4895-4905, 2017. ISSN 2213-3437.

AMARAL, F. P. D.; BROETTO, F.; BATISTELA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amêndoas de frutos de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart] coletada na região de Botucatu-SP. **Energia na Agricultura**, p. 12-20, 2011. ISSN 1808-8759.

AQUINO, F. D. G.; SILVA, M. R. D.; RATTER, J. A.; FELIPE, J. **Distribuição geográfica das espécies *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. e *Caryocar brasiliensis* Cambess. no bioma Cerrado. IX Simpósio Nacional Cerrado**. Brasília, DF 2008.

BARBOSA, L.; MADI, L.; TOLEDO, M. A.; REGO, R. As tendências da alimentação. **Brasil food trends**, v. 2020, p. 39-47, 2010.

CHITARRA, M.; CHITARRA, A. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada. **Lavras: Universidade Federal de Lavras**, v. 785, 2005.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CARNEIRO, A. D. C. O.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 85, p. 18-24, 2016. ISSN 0961-9534.

FALASCA, S.; ULBERICH, A.; PITTA-ALVAREZ, S. Development of agroclimatic zoning model to delimit the potential growing areas for macaw palm (*Acrocomia aculeata*). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1321-1333, 2017. ISSN 0177-798X.

GOULART, S. D. M. Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. 2014. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HENDERSON, A.; GALEANO-GARCES, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas**. Princeton University Press, 1997. ISBN 0691016003.

LESCANO, C. H.; IWAMOTO, R. D.; SANJINEZ-ARGANDONA, E. J.; KASSUYA, C. A. L. Diuretic and anti-inflammatory activities of the microencapsulated *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) oil on Wistar rats. **Journal of medicinal food**, v. 18, n. 6, p. 656-662, 2015. ISSN 1096-620X.

MATHIYAZHAGAN, M.; GANAPATHI, A.; JAGANATH, B.; RENGANAYAKI, N.; SASIREKA, N. Production of biodiesel from non-edible plant oils having high FFA

content. **International Journal of Chemical and Environmental Engineering**, v. 2, n. 2, 2011.

MURUGESAN, A.; UMARANI, C.; CHINNUSAMY, T.; KRISHNAN, M.; SUBRAMANIAN, R.; NEDUZCHEZHAIN, N. Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 825-834, 2009. ISSN 1364-0321.

PIMENTEL, L.; DIAS, L. D. S.; PAES, J.; SATO, A.; MOTOIKE, S. Diversity in the genus *Acrocomia* and proposed subdivision of the species *Acrocomia aculeata*. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 81-87, 2011. ISSN 0100-3364.

PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013. ISSN 0926-6690.

RIGUEIRA, J. P. S.; MONÇÃO, F. P.; DE SALES, E. C. J.; DOS REIS, S. T.; ALVES, D. D.; DE AGUIAR, A. C. R.; JÚNIOR, V. R. R.; CHAMONE, J. A. Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba. **Unimontes Científica**, v. 19, n. 2, p. 62-72, 2017. ISSN 2236-5257.

SILVA, P. V.; RAMIRO, M. M.; IRIGUCHI, E. K.; CORRÊA, W. A.; LOWE, J.; CARDOSO, C. A.; ARENA, A. C.; KASSUYA, C. A.; MUZZI, R. M. Antidiabetic, cytotoxic and antioxidant activities of oil extracted from *Acrocomia aculeata* pulp. **Natural product research**, p. 1-4, 2018. ISSN 1478-6419.

TEIXEIRA, U. H. G.; SIMIONI, T. A.; SANTOS PINA, D.; GOMES, F. J.; DE PAULA, D. C.; BOTINI, L. A. Potencial de utilização de co-produtos agroindustriais para suplementos. **Nutritime**, v. 11, 2014.

TRAESEL, G. K.; DE SOUZA, J. C.; DE BARROS, A. L.; SOUZA, M. A.; SCHMITZ, W. O.; MUZZI, R. M.; OESTERREICH, S. A.; ARENA, A. C. Acute and subacute (28 days) oral toxicity assessment of the oil extracted from *Acrocomia aculeata* pulp in rats. **Food and chemical toxicology**, v. 74, p. 320-325, 2014. ISSN 0278-6915.

VILAS BOAS, E. Frutos climatéricos e não climatéricos: implicações na póscolheita. **SIMPÓSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS**, v. 2, p. 9-23, 2002.

WILLS, R.; GOLDING, J. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables**. UNSW press, 2016. ISBN 1742247857.

WREGG, M. S.; COUTINHO, E. F.; JORGE, R. D. O.; FRITZSONS, E.; PANTANO, A. P. Regiões de clima homogêneo no Brasil para produção comercial de oliveiras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015. ISSN 2237-8642.

**CAPÍTULO 1 - ÉPOCA DE COLHEITA E ARMAZENAMENTO
INFLUENCIAM A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DA POLPA DE
MACAÚBA PARA FINS ALIMENTÍCIOS**

RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é considerada a palmeira de maior dispersão no território brasileiro. Possui grande potencial agrônômico devido à sua alta produtividade, rusticidade e adaptabilidade a ambientes variados. Apresenta-se como uma fonte de óleos brutos que dispensam processos adicionais para consumo humano, tal qual a oliveira. Sua exploração se dá basicamente de forma extrativista, através da coleta de frutos caídos, resultando em óleo de baixa para consumo humano. Assim, a definição do momento ideal para a colheita, bem como a avaliação da qualidade do óleo de frutos armazenados são fundamentais para a obtenção de óleo com qualidade nutricional. Para isso, frutos de macaúba foram colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese e armazenados por até 30 dias, com amostras retiradas após 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento a $24,0 \pm 1,5$ °C e 80% de umidade relativa. Após extração do óleo da polpa, foram avaliados alguns dos principais parâmetros de qualidade utilizados para o azeite de oliva: índice de acidez e de peróxidos, além de análises complementares como: teor de óleo, estabilidade oxidativa, carotenoides totais e capacidade antioxidante. A colheita tardia proporcionou maior rendimento em óleo. Houve acúmulo de óleo nos frutos durante o armazenamento em todas as épocas de colheita. O armazenamento por 20 dias foi benéfico para a estabilidade oxidativa do óleo e para o teor de carotenoides totais durante todo o período considerado. Aos 10 dias de armazenamento, frutos de todas as épocas de colheita ainda apresentavam índice de acidez do óleo dentro do limite máximo para serem classificados como produtores de azeite extra virgem. O índice de peróxidos, embora tenha se elevado durante o

armazenamento para todas as épocas de colheita, manteve-se sempre abaixo do limite máximo para este parâmetro. Os resultados indicam que a colheita tardia associada a armazenamento por até 10 dias é benéfica à qualidade do óleo da polpa de frutos de macaúba.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata*; azeite tropical; óleo; pós-colheita; qualidade

ABSTRACT

Macauba (*Acrocomia aculeata*) is considered the palm of greater dispersion in the national territory. It has great agronomic potential due to its high productivity, rusticity and adaptability to varied environments. It is presented as a source of crude oils that do not require additional processes for human consumption, such as the olive tree. This amplifies the interest in its exploration with the objective of obtaining low processed oils that adhere to new niches of market, with nutritional components preserved. Its exploitation basically takes place in an extractive way, where the collection of fallen fruits does not look upon the quality, resulting in oil of low quality not indicated for human consumption. In this sense, studies about the post-harvest of fruits are scarce in the literature, a fact that becomes a barrier to the rational exploitation of the species. Thus, the definition of the ideal moment for harvesting, as well as the evaluation of the quality of the stored fruits oil are fundamental for the obtaining of oil with nutritional quality. For this, macauba fruits were harvested at 400, 415 and 430 days after anthesis and stored for up to 30 days, with samples collected after 0, 10, 20 and 30 days of storage at $24,0 \pm 1,5$ °C and 80% relative humidity. Some of the main quality parameters used for olive oil were evaluated: acidity index, peroxide value and oxidative stability, as well as complementary analyzes such as oil content, total carotenoids and antioxidant capacity. Late harvest provided higher oil yield. There was accumulation of oil in the fruits during storage at all harvesting periods. Storage for 20 days was beneficial for the oxidative stability of the oil and for the total carotenoid content throughout the period considered. At 10 days of storage, fruits of all harvest periods still had oil acidity index within the maximum limit to be

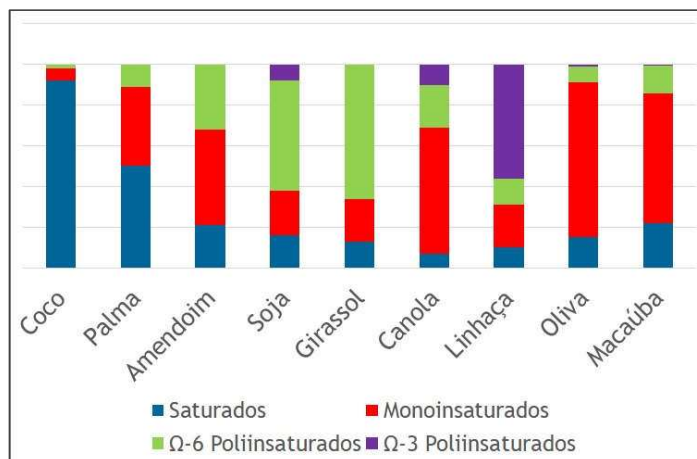
classified as producers of extra virgin olive oil. The peroxide value, although elevated during storage for all harvest periods, was always below the maximum limit for this parameter. The results show that the late harvest associated with storage for up to 10 days is beneficial to the quality of the oil of the macauba fruit pulp.

Keywords: *Acrocomia aculeata*; olive oil; tropical oil; postharvest;

1. INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira nativa das regiões tropicais das Américas (Poetsch et al., 2012; Plath et al., 2016) sendo considerada a de maior dispersão na América latina (Crocomo e Melo, 1996; Henderson et al., 1997; Moura et al., 2009) e também no Brasil (Ratter et al., 2003; Aquino, 2008). Apresenta grande potencial agronômico devido à sua alta produtividade, rusticidade e adaptabilidade a ambientes variados (Moura et al., 2010; Pimentel et al., 2011a; Pimentel et al., 2011b).

Embora exista uma grande diversidade de espécies vegetais oleaginosas utilizadas na obtenção de óleos com fins alimentícios, dentre as quais se destacam a soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), girassol (*Helianthus annuus*), canola (*Brassica napus*) e palma (*Elaeis guineensis*). (Murugesan et al., 2009; Mathiyazhagan et al., 2011; Pires et al., 2013), nenhuma é capaz de atingir a produtividade da palma ou fornecer um óleo que reproduza as mesmas qualidades nutricionais e sensoriais do azeite de oliva (*Olea europeaea*) (Figura 2.1).



Fonte: Adaptado de (Eufic, 2014; Goulart, 2014)

Figura 1.1 - Perfil de ácidos graxos de espécies oleaginosas de importância mundial e do óleo da polpa de macaúba.

A macaúba por sua vez, apresenta-se como uma fonte de óleos brutos que dispensam processos adicionais para consumo humano, tal qual a oliveira, o que aumenta o interesse em sua exploração para a obtenção de óleos pouco processados e que aderem a novos nichos de mercado, com componentes nutricionais preservados (Farias, 2010; Pimenta, 2010), além de apresentar produtividade próxima à da palma ainda sem ter passado por nenhum processo de melhoramento genético. Diferentemente da oliveira ou da palma, a macaúba pode ser cultivada em praticamente todo território brasileiro, haja vista sua adaptabilidade a várias condições ambientais (Pires et al., 2013).

O óleo da polpa (mesocarpo) de macaúba possui características nutricionais comparáveis às do azeite de oliva, o que justifica interesse ainda maior na sua exploração como produto especial para fins alimentícios (Nepa, 2011). Freitas et al. (2009) demonstram também a relevância da elaboração de blends oleicos alimentícios, atreláveis também aos óleos dos frutos da macaúba.

Ainda, trabalhos recentes tem comprovado a presença de compostos antioxidantes como carotenoides, fenólicos e tocoferóis, além da inexistência de fatores antinutricionais no óleo da macaúba (Aragão, 2014; Traesel et al., 2014; Callegari et al., 2015), o que abre a possibilidade de sua utilização na alimentação humana na forma de azeite. Além disso, a lei Federal 11.097/2005, que dispõe sobre a introdução de óleos na matriz energética brasileira, também abre portas para a exploração de culturas oleaginosas com características de alegação funcional e apelos nutricionais, como a macaúba.

Embora o potencial econômico da macaúba seja enfatizado desde o início do século XVIII, sua exploração ainda se dá de forma rudimentar, tradicionalmente atrelada ao extrativismo comunitário. Pesquisas são portanto necessárias ao desenvolvimento de processos e produtos com valor agregado para que o potencial de aproveitamento de seus óleos possa se expressar, permitindo sua introdução no cenário do agronegócio nacional (Andrade et al., 2006; Pimenta, 2010). Não existem na literatura trabalhos que indiquem o ponto de colheita do fruto de macaúba e sua relação com atributos de qualidade do óleo. Desta forma, os objetivos principais deste trabalho foram avaliar os efeitos da época de colheita e do armazenamento dos frutos da macaúba na taxa de extração e na qualidade do óleo da polpa, visando à maximização do rendimento e a obtenção de óleo bruto com qualidade alimentícia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE COLHEITA, IDENTIFICAÇÃO DA FLORAÇÃO, COLHEITA E ARMAZENAMENTO DOS FRUTOS

Foram selecionadas plantas adultas de uma população nativa em fragmento de mata atlântica no município de Piranga, MG, Brasil (20°39'35" S e 43°17'58" O). A área possui altitude de 720 m e clima (Cwa) (Köppen e Geiger, 1928) caracterizado por verão úmido e inverno seco.

As plantas selecionadas tiveram todas as espátas marcadas no momento da antese. Foram realizadas 3 colheitas em intervalos de 15 dias; 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA). Os frutos foram transportados em caixas plásticas e armazenados em laboratório sob temperatura controlada ($24,0 \pm 1,5$ °C) até o momento das análises, realizadas aos 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento.

2.2 EXTRAÇÃO DO ÓLEO

Os frutos foram despoldados manualmente com o auxílio de facas. A polpa foi seca em estufa com circulação e renovação do ar por 16 h a 65 °C, a fim de possibilitar a prensagem mecânica, realizada com o uso de prensa hidráulica (Tecnal, Brasil). O óleo extraído foi centrifugado a 4.000 rpm por 20 min. O sobrenadante foi acondicionado em frasco âmbar e armazenado em freezer a -20 °C até o momento da análise.

2.3 AVALIAÇÕES

2.3.1 TEOR DE ÓLEO

O teor de óleo na polpa foi determinado por ressonância magnética nuclear (RMN), utilizando-se aparelho MQC NMR Analyser (Oxford, Reino Unido), de acordo com o método ISO 10565 (ISO, 1999). Os frutos foram despulpados com o uso de facas e a polpa foi seca a 65 °C em estufa com circulação e renovação de ar por 24 h. A equivalência com a extração via solvente químico por Soxhlet foi verificada de acordo com Evaristo et al. (2016), estes da escolha do método.

2.3.2 ESTABILIDADE OXIDATIVA

A estabilidade oxidativa, dada pelo período de indução (h), foi obtida de acordo com metodologia proposta pela American Oil Chemistry Society (AOCS) (Firestone, 2009), utilizando-se o equipamento 873 Biodiesel Rancimat ® (Metrohm, Suíça). Foram utilizados $2,50 \pm 0,01$ g de óleo, fluxo de ar de $10 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ e temperatura de 110 °C.

2.3.3 ÍNDICE DE ACIDEZ

A determinação do índice de acidez foi feita segundo o método Ca 5a-40, proposto pela AOCS (Firestone, 2009). Foram utilizados $2,00 \pm 0,10$ g de óleo, solubilizado em 25,0 mL de solução neutra de éter etílico-álcool (2:1). Utilizou-se como indicador solução de fenolftaleína 0,4% e solução padronizada de NaOH $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ como titulante. O índice de acidez (%) foi expresso como acidez em ácido oleico.

2.3.4 ÍNDICE DE PERÓXIDOS

O índice de peróxidos foi determinado de acordo com método proposto por Zenebon et al. (2008), com adaptações. Foram utilizados $2,00 \pm 0,05$ g de óleo, solubilizados em 25 mL de solução de ácido acético/clorofórmio (3:2). Foram adicionados 0,5 mL de solução saturada de KI, deixando a amostra em repouso ao abrigo da luz por cinco minutos. Em seguida, foram acrescentados 25,0 mL de água deionizada e 0,5 mL de solução de amido (1%) e realizada a titulação com solução de tiosulfato de sódio $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ até o desaparecimento da coloração azul.

2.3.5 CAROTENOIDES TOTAIS

A quantificação de carotenoides totais foi feita segundo método proposto por Rodriguez-Amaya (2001). Foram utilizados 0,2 g de óleo, solubilizados em éter de petróleo em balão volumétrico de 10 mL. Utilizou-se espectrofotômetro UVmini-1240 (Shimadzu, Japão). As leituras foram feitas em $\lambda = 450 \text{ nm}$. Foi considerado o coeficiente de absorvidade de 2592 e os resultados foram expressos como equivalentes ao β -caroteno.

2.3.6 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE PELO SEQUESTRO DO RADICAL DPPH

A capacidade antioxidante do óleo da polpa foi avaliada pelo método do DPPH, segundo modificação proposta por Lee et al. (2007). Um volume de 100 μL de óleo foi acondicionado em tubo de ensaio com rosca, envolto em papel alumínio e adicionado de 1,5mL da solução de DPPH. O tubo foi agitado por 1

min em vórtex seguido de repouso no escuro por 21 min. A leitura da absorbância a 515 nm foi feita em espectrofotômetro UVmini-1240 (Shimadzu, Japão).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por 20 frutos. Os dados foram submetidos à análise de variância (5% de significância) e de regressão. Para fatores qualitativos, as médias foram comparadas, utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para fatores quantitativos, os modelos basearam-se na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico.

3. RESULTADOS

3.1 TEOR DE ÓLEO NA POLPA E ÍNDICE DE ACIDEZ

O teor de óleo logo após a colheita foi significativamente afetado pela época de colheita ($p < 0,05$), sendo maior quanto maior a idade dos frutos, variando entre 35,7% e 47,3% (b.s) entre frutos colhidos aos 400 e 430 DAA. O teor de óleo na polpa elevou-se durante todo o armazenamento, independentemente da época de colheita dos frutos (Fig. 2.2 A). Frutos colhidos aos 400 DAA apresentaram o maior incremento durante o armazenamento. Após 30 dias de armazenamento, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no teor de óleo entre frutos 415 e 430 DAA.

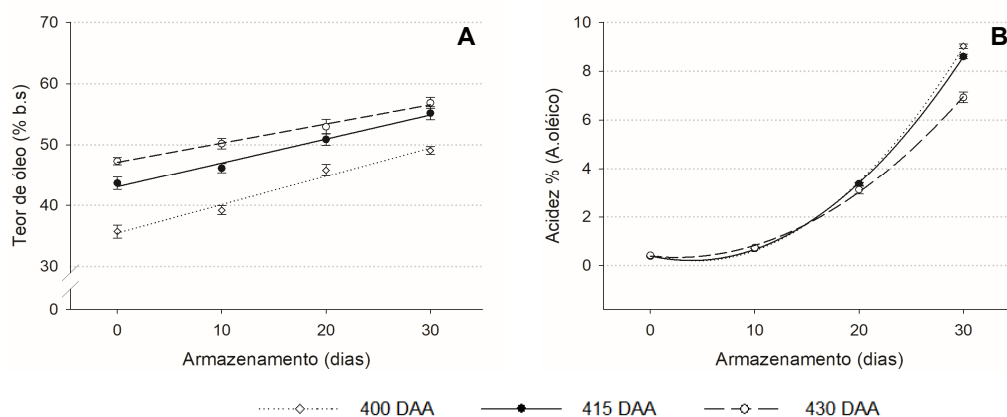


Figura 1.2 - (A) Teor de óleo na polpa (b.s.) e (B) índice de acidez (% ácido oleico) no óleo da polpa de frutos colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA) e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias a $24,0 \pm 1,5$ °C.

Tabela 1.1 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis teor de óleo e índice de acidez do óleo.

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R ^{2*}	P ^{**}
Teor de óleo	400 DAA	$\hat{y} = 35.4526 + 0.4673x$	0.98	0.01
	415 DAA	$\hat{y} = 43.0631 + 0.3940x$	0.98	0.01
	430 DAA	$\hat{y} = 46.9391 + 0.3438x$	0.97	0.01
Acidez	400 DAA	$\hat{y} = 0.4618 - 0.1200x + 0.0135x^2$	0.99	0.05
	415 DAA	$\hat{y} = 0.3973 - 0.0968x + 0.0123x^2$	0.99	0.05
	430 DAA	$\hat{y} = 0.3884 + 0.0435x - 0.0087x^2$	0.99	0.05

*Coeficiente de determinação. **Probabilidade pelo teste "t".

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no índice de acidez do óleo após a colheita entre as três épocas avaliadas. A acidez elevou-se durante o armazenamento de forma semelhante nas três épocas de colheita avaliadas. Durante os primeiros 10 dias de armazenamento a acidez do óleo permaneceu abaixo do limite máximo para que o óleo possa ser classificado com azeite extra virgem (0,8%) nas três épocas de colheita (Fig. 2.2 B). Após este período, observou-se rápido aumento na acidez, sendo que aos 20 dias de armazenamento os óleos obtidos de frutos das 3 épocas de colheita

encontravam-se acima do limite para que fossem classificados como extra virgem. Após 30 dias de armazenamento, o óleo de frutos colhidos aos 430 DAA apresentou índice de acidez menor ($p < 0,05$) que os de frutos colhidos aos 400 e 415 DAA, embora também elevado.

3.2 ÍNDICE DE PERÓXIDOS E ESTABILIDADE OXIDATIVA

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) quanto ao índice de peróxidos do óleo de frutos recém colhidos, assim como durante o armazenamento, nas três épocas de colheita. Durante o armazenamento, observou-se rápida elevação do índice de peróxidos para as três épocas de colheita avaliadas (Fig. 2.3 A), porém o limite máximo de 20 meq.kg^{-1} estabelecido por norma para óleos alimentícios não foi ultrapassado em nenhum momento.

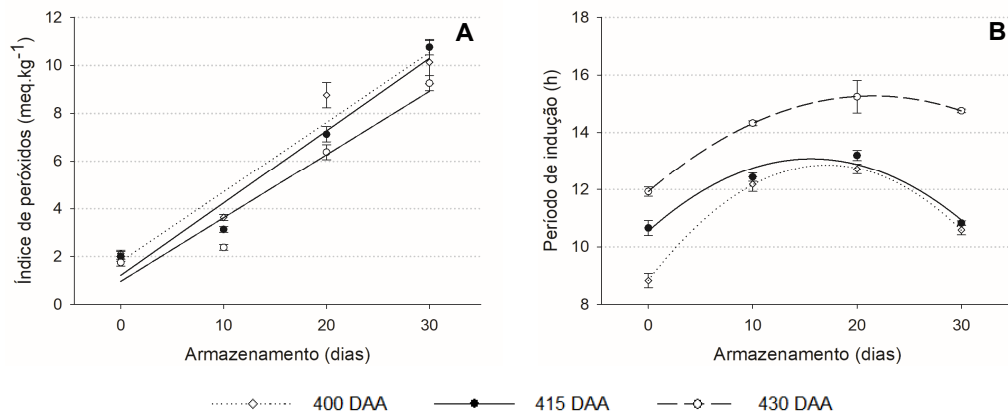


Figura 1.3 - (A) Índice de peróxidos (meq.kg^{-1}) e **(B)** estabilidade oxidativa (h) do óleo da polpa de frutos colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA) e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias a $24,0 \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Pontos representam valores médios \pm erro padrão da média.

Tabela 1.2 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis índice de peróxidos e período de indução do óleo.

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R ^{2*}	P ^{**}
Índice de peróxidos	400 DAA	$\hat{y} = 1.7894 + 0.2915x$	0.94	0.05
	415 DAA	$\hat{y} = 1.2136 + 0.3028x$	0.95	0.05
	430 DAA	$\hat{y} = 0.9633 + 0.2653x$	0.93	0.05
Período de indução	400 DAA	$\hat{y} = 8.8401 + 0.4696x - 0.0137x^2$	0.99	0.01
	415 DAA	$\hat{y} = 10.5510 + 0.3241x - 0.0104x^2$	0.95	0.10
	430 DAA	$\hat{y} = 11.9314 + 0.3110x - 0.0072x^2$	0.99	0.01

*Coeficiente de determinação. **Probabilidade pelo teste "t".

A estabilidade oxidativa do óleo foi significativamente afetada pela época de colheita ($p < 0,05$), sendo maior no óleo de frutos colhidos aos 430 DAA e menor aos 400 DAA. Em todas as 3 épocas de colheita foi observado aumento na estabilidade oxidativa do óleo até o 20º dia de armazenamento, a partir de quando se observou redução na estabilidade, sendo esta redução mais acentuada em colheitas realizadas aos 400 e 415 DAA (Fig. 3B).

3.3 CAROTENOIDES TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A capacidade antioxidante do óleo da polpa no momento da colheita foi maior quanto maior foi a idade dos frutos. Observou-se também a elevação da capacidade antioxidante durante os primeiros 10 dias de armazenamento, com maior intensidade em frutos 400 DAA (Fig. 4A). Após 20 dias de armazenamento houve queda significativa na capacidade antioxidante do óleo de frutos das três épocas de colheita.

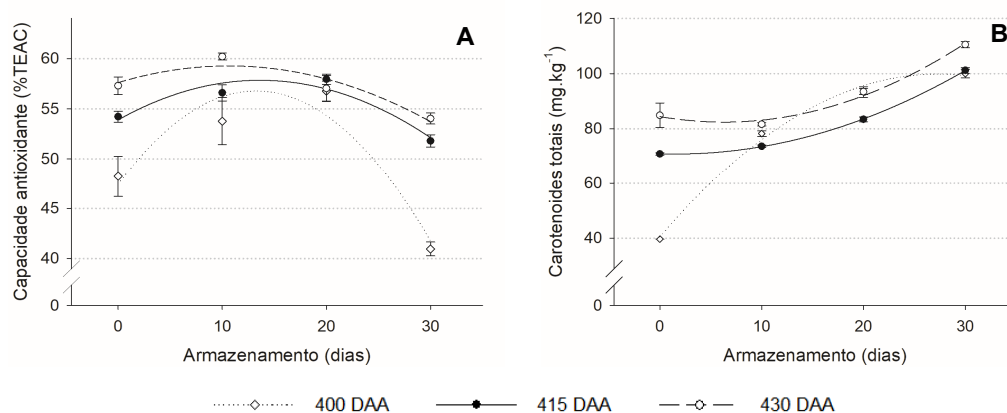


Figura 1.4 - (A) Capacidade antioxidante (% R-DPPH) e (B) Carotenoides totais (mg.kg⁻¹) no óleo da polpa de frutos colhidos aos 400, 415 e 430 dias após a antese (DAA) e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias a 24,0 ± 1,5 °C. Pontos representam valores médios ± erro padrão da média.

Tabela 1.3 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis capacidade antioxidante e carotenoides totais do óleo.

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R ² *	P**
Capacidade antioxidante	400 DAA	$\hat{y} = 47.4108 + 1.4143x - 0.0534x^2$	0.90	0.10
	415 DAA	$\hat{y} = 53.9039 + 0.5793x - 0.0213x^2$	0.90	0.10
	430 DAA	$\hat{y} = 57.6127 + 0.3129x - 0.0148x^2$	0.89	0.10
Carotenoides totais	400 DAA	$\hat{y} = 40.4491 + 4.3536x - 0.0798x^2$	0.99	0.10
	415 DAA	$\hat{y} = 70.9619 - 0.6336x + 0.0507x^2$	0.99	0.05
	430 DAA	$\hat{y} = 84.4203 + 0.3110x - 0.0072x^2$	0.99	0.10

*Coeficiente de determinação. **Probabilidade pelo teste "t".

O teor de carotenoides no óleo no momento da colheita foi maior à medida que esta foi retardada, de modo que no óleo de frutos 430 DAA o teor de carotenoides mais que dobrou em comparação com frutos 400 DAA (Fig. 4B). Observou-se elevação no teor de carotenoides totais no óleo da polpa ao longo do armazenamento nas 3 épocas de colheita.

4. DISCUSSÃO

Lipídios são as principais substâncias de reserva presentes no fruto maduro de macaúba, acumulando-se, porém, de forma significativa na polpa, apenas em momento próximo à abscisão dos frutos (Mazzottini-Dos-Santos et al., 2015; Montoya et al., 2016). A síntese e o acúmulo de óleo nos tecidos de reserva estão intimamente vinculados à disponibilidade de reservas na forma de polissacarídeos, como o amido (Salas et al., 2000). De acordo com Montoya et al. (2016) a conversão do amido, acumulado na fase inicial do desenvolvimento da polpa, em óleo, inicia-se por volta de 250 dias após a antese e prossegue até o momento da abscisão. No entanto, Lopes (2016) relata que frutos de macaúba colhidos aos 415 dias após a antese ainda apresentam cerca de 18% de amido na polpa. Este amido remanescente aparentemente continua sendo convertido em óleo mesmo após a colheita, indicando que a conversão de reservas e o completo amadurecimento do fruto da macaúba apenas se dá após a abscisão, comportamento comumente observado em frutos climatéricos (Monselise, 1986; Chitarra e Chitarra, 2005). De acordo com Goulart (2014), o aumento do teor de óleo na polpa durante o armazenamento dos frutos ocorre como consequência do comportamento climatérico dos frutos da macaúba. Desta forma, maior rendimento em óleo pode ser garantido por colheitas tardias associadas ao armazenamento dos frutos.

O índice de acidez é um dos mais importantes parâmetros de qualidade na produção de óleo vegetal, uma vez que indica o nível de degradação do produto. O aumento da acidez do óleo se deve à hidrólise dos triglicerídeos e a liberação de ácidos graxos livres. Os valores de acidez apresentados no

momento da colheita e até o 10º dia de armazenamento encontram-se abaixo do limite máximo para classificação de um azeite como extra virgem (0,8%) estabelecido pelo *Codex Alimentarius* (Codex, 2009).

Comportamento semelhante ao da macaúba foi observado em híbridos de palma, onde não houve influência da época de colheita na acidez do óleo (Rincón et al., 2013). Por outro lado comportamento diferente foi observado na oliveira, onde a acidez do óleo se eleva à medida que a colheita dos frutos é retardada (Gutiérrez et al., 1999; Salvador et al., 2001); melhor qualidade de azeite é obtida quando os frutos são colhidos imediatamente antes do amadurecimento (Garcia et al., 1996; Salvador et al., 2001; Dag et al., 2011). Segundo Salvador et al. (2001) o avanço da maturação dos frutos da oliveira os torna mais suscetíveis a danos mecânicos e à infecção por patógenos, promovendo a elevação da acidez.

Nos frutos da macaúba, a presença de epicarpo mais rígido e espesso (Silva et al., 2017) que nos frutos da oliveira e da palma possivelmente lhes garante maior proteção, haja vista que a elevação da acidez do óleo de macaúba ao longo do armazenamento se dá de forma menos pronunciada que nestes frutos (García et al., 1996; Tagoe et al., 2012; Zu et al., 2012; Ali et al., 2014). Tal fato constitui uma vantagem industrial da macaúba em relação a estas culturas por permitir breve armazenamento dos frutos antes do processamento, promovendo aumento do rendimento em óleo e o escalonamento da produção.

Segundo Hayma (2003) as lipases, já presentes em frutos, tem sua produção aumentada quando estes são atacados por microrganismos. A colonização por microrganismos em frutos de macaúba que não passam por nenhum tratamento pós-colheita, como foi o caso, é intensa durante o

armazenamento (Evaristo et al., 2016). O alto teor de água nos frutos de macaúba no momento da colheita (>40%), favorece o crescimento de microrganismo durante o armazenamento (Silva et al., 2017). Além disso, alto teor de água nos frutos contribui com o aumento dos ácidos graxos livres ao longo do armazenamento (Souza, 2013), uma vez que a interação água-lipídios promove hidrólise de ligações ésteres (Puzzi e De Andrade, 2000). De acordo com Amaral (2007), há grande variação no teor de água no fruto de macaúba de acordo com seu estágio de maturação, sendo que em frutos verdes o teor de água é significativamente maior que em frutos maduros.

Diferentes trabalhos relatam resultados muito variáveis para acidez do óleo da polpa de macaúba no momento da colheita, como 59,9% (Amaral, 2007), 9,43% (Coimbra e Jorge, 2011) e 1,97% (Silva, 2009). Tais valores, já elevados no momento da colheita, não justificariam o armazenamento dos frutos. Por outro lado, Rettore e Martins (1983) encontraram valores de 0,4% em frutos recém-colhidos, 13,1 e 30,4% após 16 e 30 dias de armazenamento. Estes resultados, todos acima dos relatados neste trabalho, evidenciam a grande influência das formas de colheita/coleta e de armazenamento/processamento dos frutos na qualidade do óleo obtido.

O índice de peróxidos e a estabilidade oxidativa são ambos indicadores de degradação oxidativa do óleo. A avaliação do índice de peróxidos se dá através da quantificação de produtos primários de oxidação, expressando a diferença entre a formação e a decomposição de peróxidos (Silva et al., 1999; Gotoh e Wada, 2006). Por sua vez, a estabilidade oxidativa, medida pelo Rancimat, é dada pela análise do teor de ácidos voláteis, produtos secundários

de oxidação, obtidos durante oxidação forçada da amostra (Coupland e McClements, 1996). A estabilidade à oxidação de um óleo é afetada pelo seu perfil de ácidos graxos, presença e atividade de pro e antioxidantes, pressão parcial de oxigênio, natureza da superfície exposta ao oxigênio e condições de armazenamento (Belitz et al., 1997; Choe e Min, 2006). O perfil de ácidos graxos do óleo de macaúba se assemelha ao do óleo de oliva, que reconhecidamente apresenta alta estabilidade à oxidação, com predominância de ácidos graxos monoinsaturados (Kiritsakis e Markakis, 1988; Goulart, 2014).

Ácidos graxos livres são mais sujeitos à oxidação que ácidos graxos esterificados ao glicerol (Choe e Min, 2006) e agem como pró-oxidantes em óleos comestíveis (Miyashita e Takagi, 1986; Mistry e Min, 1987). Desta forma, a elevação da acidez pode ter contribuído para o aumento do índice de peróxidos ao longo do armazenamento e redução da estabilidade oxidativa após 20 dias de armazenamento. O efeito oxidante dado por pigmentos, como a clorofila, na presença de luz é minimizado, se não anulado, pela presença do epicarpo lignificado e espesso do fruto da macaúba, o qual impede o contato da polpa com a luz ambiente. Por outro lado, com o prolongamento do armazenamento, o início da senescência dos frutos traz a desestruturação celular com consequente liberação de solutos que contribuem para a oxidação do óleo, como metais e fosfolipídios, contribuindo para a redução da estabilidade oxidativa de frutos armazenados por 30 dias.

Amaral (2007) reportou índice de peróxidos de 27,28 meq.kg⁻¹ no óleo da polpa, associando o valor elevado a tratamento inadequado dado aos frutos após a colheita. Em contraste, Pimenta et al., (2012) Hiane et al. (2005) e Coimbra e

Jorge (2011) encontraram valores de 3,83; 2,09 e 0,56 meq.kg⁻¹, respectivamente, o que segundo os autores caracteriza um óleo de boa qualidade. De acordo com Villalta e Monferrer (1993), o índice de peróxidos pode ser um indicativo para o descarte do óleo quando ultrapassa 15 meq.kg⁻¹, sendo que acima de 20 meq.kg⁻¹, limite máximo para o índice de peróxidos em óleos comestíveis estabelecido no *Codex Alimentarius* (Codex, 2009), ocorre o surgimento do gosto de ranço, característico de óleos oxidados. Tal limite não foi alcançado em nenhuma época de colheita, mesmo após 30 dias de armazenamento.

Substâncias antioxidantes são capazes, mesmo em pequenas quantidades, de interferir nos processos de oxidação de lipídios (Ramalho e Jorge, 2006). A polpa de macaúba é rica em carotenoides e tocoferóis, compostos que apresentam atividade antioxidante e atuam na proteção dos ácidos graxos insaturados contra a oxidação (Rodriguez-Amaya et al., 2008; Aoqui, 2012). A síntese de carotenoides é uma dentre as várias reações de síntese que ocorrem durante o amadurecimento de frutos (Biale e Young, 1962; Wills et al., 2007). O aumento no teor de carotenoides e, possivelmente, outras substâncias antioxidantes durante o amadurecimento pós-colheita, pode estar relacionado ao aumento da estabilidade oxidativa do óleo da polpa até o 20º dia de armazenamento, indicando que um breve período de armazenamento pode, além de promover maior acúmulo de óleo na polpa, garantir-lhe maior estabilidade à oxidação.

A presença do epicarpo relativamente denso e impermeável reduz o contato direto do óleo da polpa com o oxigênio, constituindo uma grande

vantagem da macaúba em relação aos frutos da palma e da oliveira, estes muito suscetíveis a danos mecânicos durante a colheita e a pós-colheita e de limitado potencial de armazenamento. Segundo Silva (2017), a aplicação de ozônio, um poderoso agente oxidante, em frutos de macaúba com epicarpo, não foi capaz de afetar a estabilidade oxidativa do óleo da polpa, em contraste com a aplicação de ozônio em frutos sem epicarpo, onde a estabilidade oxidativa foi drasticamente reduzida.

O amadurecimento de frutos geralmente é acompanhado de carotenogênese (Gross, 1991; Rodriguez-Amaya, 2001). O comportamento climatérico da macaúba sugere que este processo pode continuar ocorrendo mesmo após a colheita do fruto. Segundo Tilahun (2015), o aumento no teor de carotenoides em frutos de macaúba após a colheita está relacionado à síntese de óleo. Em sua forma natural, carotenoides são esterificados em ácidos graxos e são bastante estáveis dentro de células vegetais intactas, mas tornam-se muito mais instáveis quando frutos são submetidos a manejo pós-colheita e ao processamento (Damodaran et al., 2009). De acordo com Souza (2013), há uma queda nos carotenoides totais na polpa do fruto da macaúba; 835 mg.kg⁻¹ para aproximadamente 50 mg.kg⁻¹, após 30 dias de permanência dos frutos em coletor no campo. Tal resultado pode indicar que os frutos se encontram em ambiente estressante, no qual substâncias antioxidantes são rapidamente consumidas ou ainda que os frutos que caíram nos coletores já se encontravam degradados, ressaltando a importância da colheita dos frutos ainda na planta e do seu correto armazenamento para manutenção da qualidade do óleo.

Não se pode descartar que outras moléculas com atividade antioxidante estejam atuando contra a peroxidação lipídica no óleo da polpa da macaúba, que reconhecidamente é rico em tocoferóis, tocotrienóis e ácido ascórbico, compostos que possuem forte capacidade antioxidante (Sambanthamurthi et al., 2000; Sanjinez-Argandoña e Chuba, 2011; Siles et al., 2013). De acordo com Niki (1991) estes compostos possuem ainda efeito sinérgico na prevenção da oxidação. A queda na capacidade antioxidante e na estabilidade oxidativa do óleo em um momento em que o teor de carotenoides ainda se mantém elevado pode então resultar do consumo preferencial destes outros compostos antioxidantes, em detrimento dos carotenoides.

5. CONCLUSÃO

A colheita tardia do fruto da macaúba, 430 DAA, mostrou-se a mais adequada para a obtenção de óleo de melhor qualidade e em maior volume.

O armazenamento dos frutos por até 10 dias em temperatura ambiente permite manter os parâmetros de qualidade do óleo dentro dos limites estabelecidos para enquadrá-lo como “azeite extra virgem de macaúba” e promove maior acúmulo de óleo na polpa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, F. S.; SHAMSUDIN, R.; YUNUS, R. The effect of storage time of chopped oil palm fruit bunches on the palm oil quality. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 165-172, 2014. ISSN 2210-7843.

AMARAL, F. P. D. Estudo das características físico-químicas dos óleos da amêndoa e polpa da macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart]. 2007. Dissertação de mestrado. UNESP, Botucatu.

ANDRADE, M. H.; VIEIRA, A. S.; AGUIAR, H.; CHAVES, J. F.; NEVES, R.; MIRANDA, T. L.; SALUM, A. Óleo do fruto da palmeira macaúba parte I: uma aplicação potencial para indústrias de alimentos, fármacos e cosméticos. **Anais do II ENBTEQ-Encontro Brasileiro sobre Tecnologia na Indústria Química**, p. 17-19, 2006.

AOQUI, M. Caracterização do Óleo da Polpa de Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) e Azeite de Oliva (*Olea europaea* L.) Virgem Extra e Seus Efeitos Sobre Dislipidemia e Outros Parâmetros Sanguíneos, Tecido Hepático e Mutagênese Em Ratos Wistar. 2012. 122 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande.

AQUINO, F. G. **Distribuição geográfica das espécies *Acrocomia aculeata* (Jacq.) lodd. ex Mart. e *Caryocar brasiliense* cambess. no bioma Cerrado. IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais**. Brasília: Embrapa Cerrados 2008.

ARAGÃO, T. F. D. **Macaúba (*Acrocomia aculeata*): caracterização centesimal, potencial antioxidante e compostos fenólicos da polpa e amêndoa**. 2014. 51 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W.; BUESA, M. O. L. **Química de los alimentos**. 2 nd ed. Zaragoza: Acribia Editorial S.A., 1997.

BIALE, J. B.; YOUNG, R. E. Bioquímica de la maduración de los frutos. **Endeavour**, Oxford, v. 21, p. 164-174, 1962.

CALLEGARI, F.; CREN, E.; ANDRADE, M. Perspectivas da utilização dos óleos da macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex. Mart) no desenvolvimento de cosméticos. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 7666-7673, 2015. ISSN 2359-1757.

CHITARRA, M.; CHITARRA, A. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada. **Lavras: Universidade Federal de Lavras**, v. 785, 2005.

CHOE, E.; MIN, D. B. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 5, n. 4, p. 169-186, 2006. ISSN 1541-4337.

CODEX, S. **STAN 33-1981**. Codex standard for olive oils and olive pomace oils 2009.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Characterization of the pulp and kernel oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of food science**, v. 76, n. 8, p. C1156-C1161, 2011. ISSN 1750-3841.

COUPLAND, J. N.; MCCLEMENTS, D. J. Lipid oxidation in food emulsions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n. 3, p. 83-91, 1996. ISSN 0924-2244.

CROCOMO, O.; MELO, M. *Acrocomia* species (Macauba palm). In: (Ed.). **Trees IV**: Springer, 1996. p.3-17.

DAG, A.; KEREM, Z.; YOGEV, N.; ZIPORI, I.; LAVEE, S.; BEN-DAVID, E. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 358-366, 2011. ISSN 0304-4238.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed Editora, 2009. ISBN 8536323345.

EUFIC. The European Food Information Council Food today 91. How to choose your culinary oil. 2014. Disponível em: < <http://www.eufic.org/en/whats-in-food/article/how-to-choose-your-culinary-oil> >. Acesso em: 26/03/2018.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; PIMENTEL, L. D.; DE MELO GOULART, S.; MARTINS, A. D.; DOS SANTOS, V. L.; MOTOIKE, S. Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 63-73, 2016. ISSN 0926-6690.

FARIAS, T. M. **Biometria e processamento dos frutos da macaúba (*Acrocomia* ssp) para a produção de óleos**. 2010. Dissertação de mestrado. UFMG, Belo Horizonte.

FIRESTONE, D. **Official methods and recommended practices of the AOCS**. AOCS, 2009. ISBN 189399774X.

FREITAS, L. R.; ROCHA, H.; SOUZA, A.; ALVEZ, S. Caracterização físico-química e toxicológica do óleo de soja, do óleo composto (soja+ algodão). **Cientec**, v. 1, n. 1, p. 25-37, 2009.

GARCÍA, J. M.; GUTIÉRREZ, F.; BARRERA, M. J.; ALBI, M. A. Storage of mill olives on an industrial scale. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 2, p. 590-593, 1996. ISSN 0021-8561.

GARCIA, J. M.; SELLER, S.; PEREZ-CAMINO, M. C. Influence of fruit ripening on olive oil quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 11, p. 3516-3520, 1996. ISSN 0021-8561.

GOTOH, N.; WADA, S. The importance of peroxide value in assessing food quality and food safety. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 83, n. 5, p. 473-474, 2006. ISSN 0003-021X.

GOULART, S. D. M. Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GROSS, J. Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids Van Nostrand Reinhold. **New York**, 1991.

GUTIÉRREZ, F.; JIMENEZ, B.; RUIZ, A.; ALBI, M. Effect of olive ripeness on the oxidative stability of virgin olive oil extracted from the varieties Picual and Hojiblanca and on the different components involved. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 1, p. 121-127, 1999. ISSN 0021-8561.

HAYMA, J. **AD31E The storage of tropical agricultural products**. Agromisa Foundation, 2003. ISBN 9077073604.

HENDERSON, A.; GALEANO-GARCES, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas**. Princeton University Press, 1997. ISBN 0691016003.

HIANE, P.; RAMOS FILHO, M.; RAMOS, M.; MACEDO, M. Bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 3, p. 256-259, 2005.

ISO. **International Organization for Standardization. Oilseeds - Simultaneous Determination of Oil and Moisture Contents - Method Using Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry**. Geneva, Switzerland 1999.

KIRITSAKIS, A.; MARKAKIS, P. Olive oil: a review. **Advances in food Research**, v. 31, p. 453-482, 1988. ISSN 0065-2628.

KÖPPEN, W. P.; GEIGER, R. **Die Klimate der Erde : Grundriss der Klimakunde**. Berlin, Leipzig: Waltr de Gruyter, 1928.

LEE, J.; CHUNG, H.; CHANG, P.-S.; LEE, J. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). **Food Chemistry**, v. 103, n. 2, p. 662-669, 2007. ISSN 0308-8146.

LOPES, O. P. Caracterização do amadurecimento e uso de inibidores do etileno na conservação pós-colheita de macaúba. 2016. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MATHIYAZHAGAN, M.; GANAPATHI, A.; JAGANATH, B.; RENGANAYAKI, N.; SASIREKA, N. Production of biodiesel from non-edible plant oils having high FFA content. **International Journal of Chemical and Environmental Engineering**, v. 2, n. 2, 2011.

MAZZOTTINI-DOS-SANTOS, H. C.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F. Ontogenesis of the pseudomonomerous fruits of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): a new approach to the development of pyrenarium fruits. **Trees**, v. 29, n. 1, p. 199-214, 2015. ISSN 0931-1890.

MISTRY, B. S.; MIN, D. B. Effects of fatty acids on the oxidative stability of soybean oil. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 3, p. 831-832, 1987. ISSN 1750-3841.

MIYASHITA, K.; TAKAGI, T. Study on the oxidative rate and prooxidant activity of free fatty acids. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 63, n. 10, p. 1380-1384, 1986. ISSN 0003-021X.

MONSELISE, S. P. **CRC handbook of fruit set and development**. 1986. ISBN 0849332605.

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, n. 4, p. 927-938, 2016. ISSN 0032-0935.

MOURA, E. F.; MOTOIKE, S. Y.; VENTRELLA, M. C.; DE SÁ JÚNIOR, A. Q.; CARVALHO, M. Somatic embryogenesis in macaw palm (*Acrocomia aculeata*) from zygotic embryos. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 447-454, 2009. ISSN 0304-4238.

MOURA, E. F.; VENTRELLA, M. C.; MOTOIKE, S. Y. Anatomy, histochemistry and ultrastructure of seed and somatic embryo of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). **Scientia Agricola**, v. 67, n. 4, p. 399-407, 2010. ISSN 0103-9016.

MURUGESAN, A.; UMARANI, C.; CHINNUSAMY, T.; KRISHNAN, M.; SUBRAMANIAN, R.; NEDUZCHEZHAIN, N. Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 825-834, 2009. ISSN 1364-0321.

NEPA. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação/Universidade Estadual de Campinas. **4ª Edição Revisada e Ampliada. Disponível em: URL: http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf**, 2011.

NIKI, E. Action of ascorbic acid as a scavenger of active and stable oxygen radicals. **The American journal of clinical nutrition**, v. 54, n. 6, p. 1119S-1124S, 1991. ISSN 0002-9165.

PIMENTA, T.; ANDRADE, M. C.; ANTONIASSI, R. Extração, neutralização e caracterização dos óleos do fruto da macaúba (*Acrocomia aculeata*). XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Búzios, Rio de Janeiro, 2012. p.4031-4040.

PIMENTA, T. V. **Metodologias de obtenção e caracterização dos óleos do fruto da Macaúba com qualidade alimentícia: da coleta à utilização.** 2010. 122p. **Belo Horizonte**. 2010. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PIMENTEL, L.; BRUNCKER, C.; MARTINEZ, H.; TEIXEIRA, C.; MOTOIKE, S.; PEDROSO NETO, J. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1a aproximação. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 32, n. 265, p. 20-31, 2011a.

PIMENTEL, L.; MANFIO, C.; MOTOIKE, S.; PAES, J.; BRUCKNER, C. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 61-69, 2011b.

PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013. ISSN 0926-6690.

PLATH, M.; MOSER, C.; BAILIS, R.; BRANDT, P.; HIRSCH, H.; KLEIN, A.-M.; WALMSLEY, D.; VON WEHRDEN, H. A novel bioenergy feedstock in Latin America? Cultivation potential of *Acrocomia aculeata* under current and future climate conditions. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 186-195, 2016. ISSN 0961-9534.

POETSCH, J.; HAUPENTHAL, D.; LEWANDOWSKI, I.; OBERLÄNDER, D.; HILGER, T. *Acrocomia aculeata*—a sustainable oil crop. **Rural**, v. 21, n. 3, p. 41-4, 2012.

PUZZI, D.; DE ANDRADE, A. N. **Abastecimento e armazenagem de grãos.** Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. ISBN 8571210136.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh journal of botany**, v. 60, n. 01, p. 57-109, 2003. ISSN 1474-0036.

RETTORE, R. P.; MARTINS, H. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. **Projeto da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais—CETEC**, 1983.

RINCÓN, S. M.; HORMAZA, P. A.; MORENO, L. P.; PRADA, F.; PORTILLO, D. J.; GARCÍA, J. A.; ROMERO, H. M. Use of phenological stages of the fruits and phytochemical characteristics of the oil to determine the optimal harvest time of oil

palm interspecific OxG hybrid fruits. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 204-210, 2013. ISSN 0926-6690.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. ILSI press Washington, DC, 2001. ISBN 1578810728.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes brasileiras de carotenóides: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos**. Brasília: MMA/SBF, 2008. 100 p.

SALAS, J. N. J.; SÁNCHEZ, J.; RAMLI, U. S.; MANAF, A. M.; WILLIAMS, M.; HARWOOD, J. L. Biochemistry of lipid metabolism in olive and other oil fruits. **Progress in lipid research**, v. 39, n. 2, p. 151-180, 2000. ISSN 0163-7827.

SALVADOR, M.; ARANDA, F.; FREGAPANE, G. Influence of fruit ripening on 'Cornicabra' virgin olive oil quality A study of four successive crop seasons. **Food Chemistry**, v. 73, n. 1, p. 45-53, 2001. ISSN 0308-8146.

SAMBANTHAMURTHI, R.; SUNDRAM, K.; TAN, Y.-A. Chemistry and biochemistry of palm oil. **Progress in lipid research**, v. 39, n. 6, p. 507-558, 2000. ISSN 0163-7827.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CHUBA, C. A. M. Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 1023-1028, 2011.

SILES, L.; CELA, J.; MUNNÉ-BOSCH, S. Vitamin E analyses in seeds reveal a dominant presence of tocotrienols over tocopherols in the Arecaceae family. **Phytochemistry**, v. 95, p. 207-214, 2013. ISSN 0031-9422.

SILVA, F. A.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, G. N. Uso da secagem e ozonização na conservação pós-colheita de frutos de macaúba. 2017. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, G. N.; EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CAMPOS, L. S.; CARVALHO, M. S.; PIMENTEL, L. D. Drying of macaw palm fruits and its influence on oil quality. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 5, p. 3019-3030, 2017. ISSN 1679-0359.

SILVA, I. C. C. Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba, 2009. 99p. 2009. Dissertação Dissertação de mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

SOUZA, C. F. T. Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (*Acrocomia aculeata*) 2013. 75 p. Dissertação de mestrado. Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande.

TAGOE, S.; DICKINSON, M.; APETORGBOR, M. Factors influencing quality of palm oil produced at the cottage industry level in Ghana. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 1, 2012. ISSN 1985-4668.

TILAHUN, W. W. Postharvest treatments of macaúba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit: storage period, gamma radiation and drying temperature. 2015. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.k

TRAESEL, G. K.; DE SOUZA, J. C.; DE BARROS, A. L.; SOUZA, M. A.; SCHMITZ, W. O.; MUZZI, R. M.; OESTERREICH, S. A.; ARENA, A. C. Acute and subacute (28 days) oral toxicity assessment of the oil extracted from *Acrocomia aculeata* pulp in rats. **Food and chemical toxicology**, v. 74, p. 320-325, 2014. ISSN 0278-6915.

VILLALTA, J.; MONFERRER, A. La fritura desde un punto de vista práctico (I). **Alimentación, equipos y tecnología**, v. 12, n. 3, p. 87-91, 1993. ISSN 0212-1689.

WILLS, R. B. H.; MCGLASSON, W. B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. C. **Postharvest**. 5th ed. Sydney: UNSW, 2007. 227p.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **São Paulo: Instituto Adolfo Lutz**, p. 1020, 2008.

ZU, K.; ADJEI-NSIAH, S.; BANI, R. Effect of processing equipment and duration of storage of palm fruits on palm oil yield and quality in the Kwaebibrem District, Ghana. **Agric. Res. Rev**, v. 1, n. 1, p. 18-25, 2012.

**CAPÍTULO 2 - APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA DE INIBIDORES DE ETILENO
EM FRUTOS DE MACAÚBA: EFEITOS FISIOLÓGICOS E NA QUALIDADE
DO ÓLEO DURANTE O ARMAZENAMENTO**

RESUMO

O uso de inibidores de síntese e ação de etileno é frequente em pós-colheita de frutos climatéricos como forma de prolongar seu armazenamento. Porém não há relatos na literatura a respeito dos efeitos fisiológicos destes inibidores na pós-colheita dos frutos de macaúba ou na qualidade do óleo da polpa. Para avaliar estes efeitos, frutos de macaúba colhidos aos 400 dias após a antese foram tratados com AVG ou 1-MCP e armazenados por até 30 dias a $24,0 \pm 1,5$ °C. Amostras foram coletadas a cada 10 dias. Avaliaram-se, ao longo do armazenamento, parâmetros fisiológicos dos frutos: evolução de etileno e CO₂, e parâmetros de qualidade do óleo: índice de acidez, estabilidade oxidativa e teor de água no óleo além do teor de óleo na polpa. A aplicação de AVG ou 1-MCP não foi capaz de alterar os padrões de respiração e evolução de etileno dos frutos. A aplicação de AVG não alterou os parâmetros de qualidade do óleo avaliados, ao passo que a aplicação de 1-MCP resultou em acidez e teor de óleo menores ao final do armazenamento e em menor teor de água no óleo no início do armazenamento.

PALAVRAS-CHAVE: *Acrocomia aculeata*; amadurecimento; qualidade; AVG; 1-MCP; respiração

ABSTRACT

The use of ethylene synthesis and action inhibitors is frequent in climacteric fruits postharvest as a way of prolonging their storage. However, there are no reports about the physiological effects of these inhibitors on the macauba fruits postharvest or on the quality of its pulp oil. To evaluate these effects, macauba fruits harvested at 400 days after anthesis were treated with AVG or 1-MCP and stored for up to 30 days at $24,0 \pm 1,5$ °C. Samples were collected every 10 days. Oil quality parameters were evaluated: free fatty acids, oxidative stability and water content in the oil in addition to the oil content in the pulp, as well as physiological parameters: ethylene and CO₂ evolution during the storage. The use of AVG or 1-MCP was not able to modify the respiration and ethylene evolution patterns of the fruits. The use of AVG did not change the quality parameters of the oil while the use of 1-MCP resulted in lower acidity and oil content at the end of storage and lower water content in the oil at the beginning.

KEYWORDS: *Acrocomia aculeata*; ripening; quality; AVG; 1-MCP; respiration

1. INTRODUÇÃO

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] é uma palmeira nativa das regiões tropicais das Américas (Poetsch et al., 2012; Plath et al., 2016) sendo considerada a de maior dispersão na América latina (Crocomo e Melo, 1996; Henderson et al., 1997; Moura et al., 2009) e também no Brasil (Ratter et al., 2003; Aquino, 2008). Apresenta grande potencial agrônômico devido à sua alta produtividade, rusticidade e adaptabilidade a ambientes variados (Moura et al., 2010; Pimentel et al., 2011a; Pimentel et al., 2011b). A espécie tem despertando grande interesse da indústria devido à qualidade de seus óleos, especialmente o da polpa que apresenta ampla gama de usos, desde a fabricação de biodiesel até a alimentação humana (Andrade et al., 2006).

A sazonalidade na produção da macaúba (Clement et al., 2005) leva à concentração da colheita, tornando fundamental o desenvolvimento de técnicas de conservação pós-colheita que permitam ampliar o período de processamento industrial dos frutos. Entretanto, a exploração da espécie se dá de forma extrativista, onde os frutos são coletados no chão, dias ou mesmo semanas após a abscisão. Neste sentido, estudos acerca da pós-colheita da macaúba são escassos na literatura, fato que se converte em gargalo à sua exploração racional, uma vez que frutos coletados no chão resultam em óleo de baixa qualidade, restringindo seu uso.

Dentre as várias tecnologias pós-colheita propostas para a manutenção da qualidade pós-colheita de frutos carnosos, a aplicação dos inibidores de síntese e ação do etileno, Aminoetoxivinilglicina (AVG) e 1-Metilciclopropeno (1-MCP) respectivamente, é amplamente utilizada em frutos climatéricos

(Jobling et al., 2003; Palou e Crisosto, 2003; Andreotti et al., 2004). A indicação de comportamento climatérico dos frutos de macaúba (Goulart, 2014), sugere que a aplicação destes inibidores pode ser benéfica durante seu armazenamento.

O AVG tem se mostrado eficaz em prolongar a conservação de frutos climatéricos através de aplicações tanto em pré como em pós-colheita (Martínez-Romero et al., 2007). Por sua vez, o 1-MCP é considerado o mais potente antagonista do etileno, ligando se ao seu receptor com uma afinidade 10 vezes maior (Sisler e Serek, 1997; Blankenship e Dole, 2003), podendo até mesmo impedir o completo amadurecimento de certos frutos (Golding et al., 1998). Porém não há relatos na literatura a respeito dos efeitos fisiológicos destes inibidores na pós-colheita dos frutos de macaúba ou na qualidade de seu óleo.

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação pós-colheita destes dois inibidores de etileno na fisiologia dos frutos e na qualidade do óleo da polpa, avaliando sua possível utilização para prolongar o período de armazenamento dos frutos de macaúba.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE COLHEITA

Foram selecionadas plantas adultas de uma população nativa em fragmento de mata atlântica no município de Piranga, MG, Brasil (20°39'35" S e 43°17'58" O). A área possui altitude de 720 m e clima caracterizado por verão úmido e inverno seco (Classificação de Koppen-Geiger – Cwa).

2.2 IDENTIFICAÇÃO DA FLORAÇÃO, COLHEITA E ARMAZENAMENTO DOS FRUTOS

As plantas selecionadas tiveram todas as espatas marcadas no momento da antese. Os frutos foram colhidos aos 400 dias após a antese (DAA) e transportados em caixas plásticas até o Laboratório de Pós-colheita de Macaúba da Universidade Federal de Viçosa, onde foram armazenados a $24,0 \pm 1,5$ °C até a submissão dos tratamentos, no dia seguinte à colheita.

2.3 TRATAMENTOS

2.3.1 AVG

O AVG foi obtido a partir do produto comercial ReTain® (Valent BioSciences, EUA). O produto foi solubilizado em água a temperatura ambiente, na concentração de 9 g.L^{-1} , e aplicado aos frutos através de pulverizador manual com capacidade para 2 L de solução. Os frutos foram pulverizados com a solução, colocados para secar à sombra e em seguida armazenados.

2.3.2 1-MCP

Para aplicação do tratamento com 1-MCP, foram utilizados recipientes plásticos de 130 L equipados com dispositivo para circulação interna do ar. Os frutos foram colocados nos recipientes juntamente com o produto comercial SmartFresh™ (Agrofresh Inc., EUA) o qual foi solubilizado em água aquecida a 50 °C, liberando uma dose de 1-MCP equivalente a 3.000 nL.L^{-1} . Os recipientes foram então hermeticamente fechados e o sistema de circulação de ar ativado. Os frutos permaneceram expostos ao 1-MCP por 24 h e em seguida foram armazenados.

2.4 ARMAZENAMENTO

Após os tratamentos, os frutos foram armazenados em laboratório dotado de sistema de exaustão de ar e temperatura controlada ($24,0 \pm 1,5$ °C) até o momento das análises, realizadas aos 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento.

2.5 EXTRAÇÃO DO ÓLEO

Os frutos foram despulpados manualmente com o auxílio de facas. A polpa foi seca em estufa com circulação e renovação do ar por 16 h a 65 °C, a fim de possibilitar a prensagem mecânica, realizada como o uso de prensa hidráulica (Tecnal, Brasil). O óleo extraído foi centrifugado a 4.000 rpm por 20 min. O sobrenadante foi acondicionado em frasco âmbar e armazenado em freezer a -20 °C até o momento da análise.

2.6 AVALIAÇÕES

2.6.1 RESPIRAÇÃO E EVOLUÇÃO DE ETILENO

Os frutos foram acondicionados individualmente durante 2 h em frascos de 0,6 L, hermeticamente fechados, com tampa plástica e septo de silicone. Uma amostra de 1 mL da atmosfera de cada frasco foi coletada e submetida à análise. A análise quantitativa foi feita pela normalização da área dos picos e a qualitativa por meio da comparação do tempo de retenção com os padrões de CO₂ e etileno. Os resultados foram expressos em mL.kg⁻¹.h⁻¹ para evolução de CO₂ e µL.kg⁻¹.h⁻¹ para evolução de etileno. Foram utilizadas 6 repetições. As análises foram realizadas a cada 3 dias até o 12º dia, quando então passaram a

ser feitas diariamente até o final do período de avaliação, no 25º dia de armazenamento.

A evolução de CO₂ foi mensurada por cromatografia gasosa, utilizando cromatógrafo GC 2010 Plus (Shimadzu, Japão) equipado com injetor *wide bore* (WBI), coluna empacotada Porapak N de 2 m de comprimento e detector de condutividade térmica (TCD). As temperaturas de trabalho utilizadas para o injetor, coluna e detector foram 80, 60 e 120 °C respectivamente. A análise da evolução de etileno (C₂H₄) foi realizada conjuntamente com a análise da evolução de CO₂ por meio da ligação em série do detector TCD a um detector de ionização de chama (FID), responsável pela detecção do etileno.

2.6.2 TEOR DE ÓLEO NA POLPA

O teor de óleo na polpa dos frutos foi determinado por método Soxhlet modificado, utilizando-se extrator de óleos e graxas Marconi 044/8/50, (Marconi, Brasil). A polpa previamente seca foi triturada e colocada em cartuchos de papel previamente secos e pesados, pesando-se em seguida o conjunto cartucho + amostra. Os cartuchos contendo as amostras permaneceram imersos em solvente orgânico (hexano P.A.) por 2 h a 80 °C. Após este período, os cartuchos foram erguidos e novamente imersos no solvente por 5 vezes durante 1 h. Por fim, a temperatura do solvente foi elevada a 110 °C e as amostras lavadas com o solvente recuperado no condensador. Após a extração, as amostras foram secas a 65 °C em estufa de circulação e renovação de ar por 16 h sendo então os cartuchos com as amostras novamente pesados. O teor de óleo da polpa foi calculado pela equação $TOP (\%) = [(P_1 - P_2)/(P_1 - P_t)] * 100$, onde

P₁: peso do cartucho + amostra antes da extração (g); P₂: peso do cartucho + amostra após a extração (g) e P_t: peso do cartucho (g).

2.6.3 ESTABILIDADE OXIDATIVA

A estabilidade oxidativa, dada pelo período de indução (h), foi obtida de acordo com metodologia proposta pela American Oil Chemistry Society (AOCS) (Firestone, 2009), utilizando-se o equipamento 873 Biodiesel Rancimat® (Metrohm, Suíça). Foram utilizados $2,50 \pm 0,01$ g de óleo, fluxo de ar de $10 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ e temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.6.4 ÍNDICE DE ACIDEZ

A determinação do índice de acidez foi feita segundo o método Ca 5a-40, proposto pela AOCS (Firestone, 2009). Foram utilizados $2,00 \pm 0,10$ g de óleo, solubilizado em 25,0 mL de solução neutra de éter etílico-álcool (2:1). Utilizou-se como indicador solução de fenolftaleína 0,4% e solução padronizada de NaOH $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ como titulante. O índice de acidez (%) foi expresso como acidez em ácido oleico.

2.6.5 TEOR DE ÁGUA NO ÓLEO

O teor de água no óleo (%) foi determinado através de titulador automático modelo 870 KF *Titrimo plus* (Metrohm, Suíça) segundo o protocolo D6304-07 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2007). Foram utilizados $2,00 \pm 0,10$ g de óleo, solução de Karl Fischer Composite 2 como titulante e mistura metanol-clorofórmio (1:1) como solvente.

2.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições (20 frutos cada) para as análises físico-químicas do óleo e seis repetições (1 fruto cada) para análises de evolução de gases. Os dados foram submetidos à análise de variância (5% de significância) e de regressão. Para análises qualitativas, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para análises quantitativas, os modelos basearam-se na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico.

3. RESULTADOS

3.1 EVOLUÇÃO DE CO₂ E ETILENO

Frutos tratados com 1-MCP apresentaram maior evolução de CO₂ em relação aos frutos tratados com AVG e ao tratamento controle no início do armazenamento. Todos os tratamentos atingiram a máxima evolução de CO₂ aos 20 dias de armazenamento, sendo que em frutos tratados com 1- MCP a máxima evolução foi significativamente ($p < 0,05$) menor que os demais tratamentos. Após alcançado o ponto máximo, observou-se rápido decréscimo na evolução de CO₂, especialmente em frutos do tratamento controle e nos tratados com AVG (Figura 2.1 A).

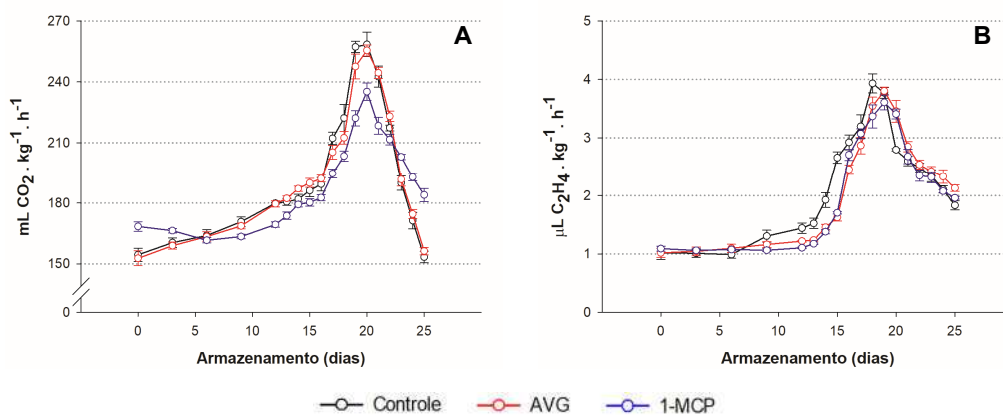


Figura 2.1 – Valores médios (\pm EPM) da evolução de CO₂ (A) e etileno (B) de frutos tratados com AVG ou 1- MCP, ao longo do armazenamento.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) na evolução de etileno entre os tratamentos ao longo do armazenamento (Figura 2.1 B). A produção de etileno pelos frutos nos primeiros dias de avaliação manteve-se baixa até o final da segunda semana de armazenamento, seguindo-se drástico aumento até o momento de máxima produção, alcançado aos 18 dias em frutos do tratamento controle e aos 19 dias em frutos tratados com AVG ou 1-MCP. No momento máximo de evolução de etileno, as concentrações apresentadas por todos os tratamentos foram cerca de 4 vezes maiores que as concentrações basais. Atingido o pico, a produção de etileno pelos frutos diminuiu em ritmo semelhante ao incremento anterior ao pico.

3.2 TEOR DE ÓLEO E ÍNDICE DE ACIDEZ

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no teor de óleo da polpa dos frutos entre os três tratamentos no início do armazenamento. Observou-se acúmulo de óleo durante os primeiros 20 dias de armazenamento, seguido de estabilização em frutos do tratamento controle e AVG e ligeira queda em frutos

tratados com 1-MCP. Após 30 dias de armazenamento, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) quanto ao teor de óleo entre frutos controle e AVG, ao passo que frutos 1-MCP apresentaram menor teor de óleo (Figura 2.2 A).

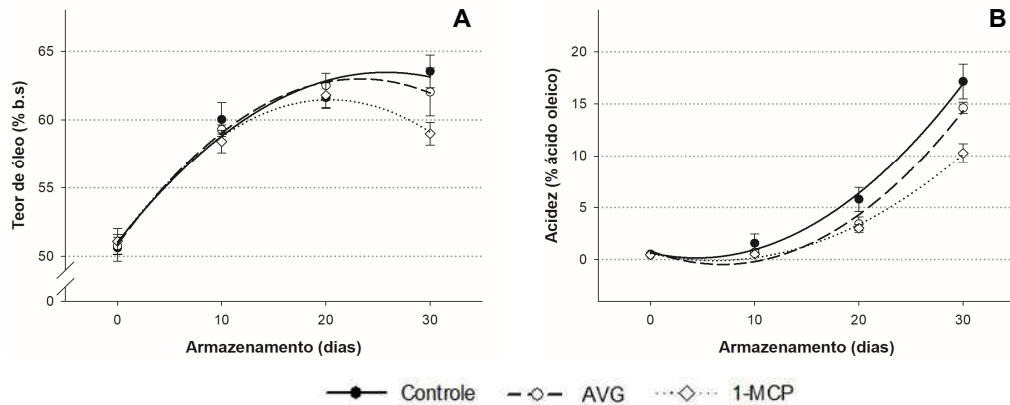


Figura 2.2 - Teor de óleo na polpa (% b.s) (A) e acidez do óleo da polpa (% ácido oleico) (B) de frutos controle, tratados com AVG ou 1-MCP, ao longo do armazenamento. Pontos representam valores médios \pm erro padrão da média.

Não houve diferença significativa na acidez do óleo logo após a submissão dos frutos aos tratamentos. Ao longo do armazenamento a acidez elevou-se exponencialmente. Após 10 dias de armazenamento, em todos os tratamentos a acidez do óleo manteve-se abaixo do limite máximo permitido por norma (0,8%) para que este se enquadrasse como azeite “extra virgem”. Aos 30 dias de armazenamento, embora a acidez do óleo em todos os tratamentos se encontrasse muito acima deste limite, frutos tratados com 1-MCP apresentavam acidez no óleo significativamente menor ($p < 0,05$) que nos demais tratamentos (Figura 2.2 B).

3.3 ESTABILIDADE OXIDATIVA E TEOR DE ÁGUA NO ÓLEO

A estabilidade oxidativa do óleo reduziu-se ao longo de todo o período de armazenamento. Os tratamentos com AVG e 1-MCP não induziram alterações significativas neste parâmetro quando comparados com o tratamento controle em nenhum momento do armazenamento (Fig. 1.3 A).

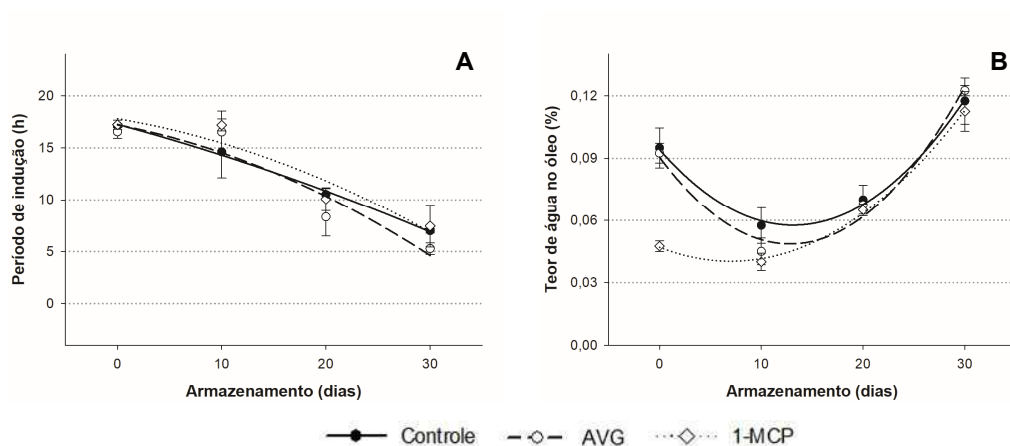


Figura 2.3 - Estabilidade oxidativa (h) (A) e teor de água no óleo da polpa (%) (B) de frutos controle, tratados com AVG ou 1-MCP, ao longo do armazenamento. Pontos representam valores médios \pm erro padrão da média.

Frutos tratados com 1-MCP apresentavam teor de água no óleo significativamente menor ($p < 0,05$) que nos demais tratamentos antes do armazenamento. Frutos do tratamento controle ou tratados com AVG apresentaram queda no teor de água no óleo nos primeiros 10 dias de armazenamento, igualando-se aos frutos tratados com 1-MCP. Deste momento em diante o teor de água no óleo elevou-se até o final do período de avaliação, não sendo observada diferença significativa entre os tratamentos (Fig. 1.3B).

4. DISCUSSÃO

A respiração e a produção de etileno de frutos climatéricos é comumente dividida em quatro fases: 1- mínimo pré-climatérico; 2- aumento climatérico; 3- máximo climatérico e 4- declínio pós-climatérico (Bartz e Brecht, 2002). Este padrão, constatado também para frutos de macaúba por Goulart (2014), foi novamente observado neste trabalho, não sendo alterado pela aplicação de AVG ou 1-MCP (Fig. 1A e B). Porém, a aplicação de 1-MCP reduziu de maneira significativa a magnitude da respiração (Fig. 1A). De acordo com Fujun et al. (2004) a aplicação de AVG, 1-MCP ou a combinação de ambos em pêsego também não foi capaz de alterar a forma dos picos, causando no entanto diminuição na evolução de etileno. Por outro lado, Dal Cin et al. (2006) e Ziliotto et al. (2003), relatam que a aplicação de 1-MCP não foi capaz de reduzir a produção de etileno em frutos de pêsego e nectarina, comportamento semelhante ao verificado para a macaúba neste trabalho, evidenciando os diferentes efeitos destes inibidores de etileno a depender da espécie em consideração.

Segundo Wills et al. (2007) tanto o momento do aumento na produção de etileno quanto a sua intensidade variam enormemente de acordo com a espécie considerada. Os picos de produção de etileno e CO₂ em frutos de macaúba ocorrem não antes que 15 dias de armazenamento, sendo considerados tardios em relação à maioria dos frutos climatéricos (Wills et al., 2007; Goulart, 2014). Desta forma, as aplicações de AVG ou 1-MCP também não foram capazes de retardar o surgimento dos picos.

O 1-MCP é considerado o mais potente inibidor da ação do etileno, ligando-se ao seu receptor com uma afinidade 10 vezes maior (Sisler e Serek, 1997; Blankenship e Dole, 2003), impedindo a ação do etileno no amadurecimento em muitos frutos climatéricos (Blankenship e Dole, 2003). Porém, sua efetividade varia amplamente em função da espécie, estágio de maturação, concentração utilizada e tempo de exposição (Sisler e Serek, 1997; Watkins et al., 2000). Além disso, o efeito protetor do 1-MCP prolonga-se por um período definido após o qual o tecido recupera sua sensibilidade ao etileno, amadurecendo normalmente (Chitarra e Chitarra, 2005).

Por sua vez, o AVG atua inibindo a conversão de S-adenosilmetionina (SAM) em ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC), precursor do etileno (Yang e Hoffman, 1984), sendo utilizado principalmente em aplicações pré-colheita, embora sua eficiência em aplicações pós-colheita também tenha sido demonstrada (Martínez-Romero et al., 2007). Entretanto, a magnitude da eficiência do AVG é estreitamente relacionada ao estágio de maturação em que se encontram os frutos; uma vez iniciada a síntese do ACC o AVG perde sua efetividade (Chitarra e Chitarra, 2005).

A ausência de efeitos na evolução de etileno e CO₂ nos frutos de macaúba decorrentes da aplicação de AVG e 1-MCP, possivelmente se deveu à colheita de frutos em estágio de maturação avançado, no qual a resposta à aplicação destes inibidores do etileno já não é tão efetiva (Chitarra e Chitarra, 2005; Watkins, 2006).

Segundo Golding et al. (1998) e Mahajan et al. (2014) os processos relacionados ao amadurecimento, uma vez iniciados pelo etileno, tornam-se

independentes da ação futura deste hormônio. Como sugerido por Goulart (2014), em frutos de macaúba tais processos se iniciam antes da elevação da respiração e produção de etileno. Isto indica que frutos colhidos aos 400 dias após a antese apresentavam grande sensibilidade ao etileno, sendo sua produção basal logo após a colheita suficiente para iniciar os processos fisiológicos desencadeados por este hormônio, tornando a aplicação de AVG ou 1-MCP em frutos de macaúba pouco efetiva.

Lipídios são as principais substâncias de reserva presentes no fruto maduro de macaúba, acumulando-se no mesocarpo em momento próximo à abscisão dos frutos (Mazzottini-Dos-Santos et al., 2015; Montoya et al., 2016). Este acúmulo prosseguiu após a colheita, utilizando-se do amido acumulado nas fases iniciais do desenvolvimento dos frutos, o que de acordo com Goulart (2014), se deve ao comportamento climatérico dos frutos da macaúba.

Na maioria dos casos a exposição de frutos climatéricos ao 1-MCP por 12 a 24 h é suficiente para a máxima inibição do etileno (Blankenship e Dole, 2003). No caso da macaúba, de acordo com Lopes (2016), maior inibição foi conseguida com exposição dos frutos a 3.000 nL.L^{-1} de 1-MCP por 24 h. Nestas condições o acúmulo de óleo na polpa dos frutos durante o armazenamento foi reduzido à metade em relação aos frutos não tratados. No entanto, neste trabalho tal efeito não foi verificado possivelmente devido à colheita de frutos em estágio de maturação mais avançado, no qual a resposta à aplicação do 1-MCP já não é tão efetiva (Watkins, 2006) ou ainda devido a respostas diferenciadas a nível de cultivar à aplicação deste composto, acentuadas pela grande variabilidade das

plantas nativas utilizadas, e do parâmetro avaliado quanto aos efeitos do 1-MCP (Mahajan et al., 2014).

Segundo Lopes (2016) a aplicação de AVG em frutos de macaúba na concentração de 4 g.L⁻¹ reduziu o acúmulo de óleo e a elevação da acidez do óleo de frutos armazenados, o que não se verificou neste trabalho mesmo com uma concentração maior de AVG, evidenciando a importância do estágio de maturação dos frutos para a efetividade no uso deste inibidor.

A acidez é um importante indicador do nível de degradação de um óleo vegetal. Sua elevação se deve à hidrólise dos triglicerídeos e a liberação de ácidos graxos livres, sendo um problema para a indústria de óleo (Tsimidou, 2006). Os valores de acidez apresentados em todos os tratamentos, do momento da colheita até o 10º dia de armazenamento, encontram-se abaixo do limite máximo (0,8%) para classificação do óleo como azeite de macaúba extra virgem, seguindo padrão estabelecido pelo *Codex Alimentarius* (Codex, 2009) para azeite de oliva extra virgem. A partir de então, observa-se uma elevação mais pronunciada da acidez em todos os tratamentos e, embora ao final do período de armazenamento o tratamento com 1-MCP tenha resultado em acidez significativamente menor ($p < 0,05$) que nos demais tratamentos, esta encontrava-se também muito acima do limite máximo.

A manutenção da integridade celular é um dos benefícios almejados com a aplicação de inibidores de etileno em pós-colheita. Com o prolongamento do armazenamento, o início da senescência dos frutos traz a desestruturação celular com consequente liberação de solutos que contribuem para a oxidação do óleo como enzimas, metais e fosfolípidios, levando à redução da estabilidade

oxidativa ao longo do armazenamento (Fig. 1.3 A). Tal resultado sugere que as aplicações de AVG ou 1-MCP não foram capazes de prolongar a manutenção da integridade celular durante o armazenamento dos frutos.

A estabilidade oxidativa foi ainda prejudicada pela elevação do teor de ácidos graxos livres ao longo do armazenamento (Fig. 1.2 B), uma vez que ácidos graxos livres são mais sujeitos à oxidação que aqueles esterificados ao glicerol (Choe e Min, 2006) agindo como pró-oxidantes em óleos (Miyashita e Takagi, 1986; Mistry e Min, 1987).

O aumento do teor de água no óleo ao final do armazenamento (Fig. 1.3 B) pode ser atribuído à maior oxidação do óleo (Fig. 1.3 A), onde se observa aumento na produção de compostos hidrofílicos como ácidos, álcoois, cetonas e aldeídos de cadeia curta que levam a uma maior absorção de água pelo óleo (Carvalho, 2010). Para a produção de biodiesel a presença de água no óleo pode ter um efeito mais danoso que a elevada acidez por reduzir a eficiência do processo de transesterificação (Komers et al., 2001), devendo portanto ser mantida abaixo de 0,06% (Ma e Hanna, 1999). Os óleos de frutos de todos os tratamentos permaneceram abaixo deste patamar até 10 dias de armazenamento.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de AVG em pós-colheita mostrou-se incapaz de alterar os parâmetros fisiológicos e de qualidade de óleo avaliados ao longo do armazenamento.

A aplicação de 1-MCP reduz a taxa de respiração máxima alcançada pelos frutos no momento do pico climatérico bem como promove menor acúmulo de óleo na polpa e menor acidez do óleo após 30 dias de armazenamento dos frutos. Entretanto, embora menor que nos tratamentos controle e com aplicação de AVG, a acidez do óleo de frutos tratados com 1-MCP encontrava-se acima dos limites máximos estabelecidos por norma para um azeite extra virgem.

Desta forma, não se recomenda o uso de AVG ou 1-MCP nas doses e períodos de maturação propostos, na pós-colheita de frutos de macaúba, visando a manutenção da qualidade do óleo da polpa para obtenção de azeite extra virgem de macaúba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M. H.; VIEIRA, A. S.; AGUIAR, H.; CHAVES, J. F.; NEVES, R.; MIRANDA, T. L.; SALUM, A. Óleo do fruto da palmeira macaúba parte I: uma aplicação potencial para indústrias de alimentos, fármacos e cosméticos. **Anais do II ENBTEQ-Encontro Brasileiro sobre Tecnologia na Indústria Química**, p. 17-19, 2006.
- ANDREOTTI, C.; BREGOLI, A.; COSTA, G. Pre-and post-harvest aminoethoxyvinylglycine (AVG) application affects maturity and storage of pear fruit. **European Journal of Horticultural Science**, p. 147-152, 2004. ISSN 1611-4426.
- AQUINO, F. G. **Distribuição geográfica das espécies *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Iodd. ex Mart. e *Caryocar brasiliense* cambess. no bioma Cerrado. IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais**. Brasília: Embrapa Cerrados 2008.
- ASTM. **D6304-07 Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration**. West Conshohocken: ASTM International 2007.
- BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. **Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables**. CRC Press, 2002. ISBN 9780203910092. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?id=0K3e2OXFzkcC> >.
- BLANKENSHIP, S. M.; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest biology and technology**, v. 28, n. 1, p. 1-25, 2003. ISSN 0925-5214.
- CARVALHO, F. M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da utilização do ácido etilenodiaminotetracético na qualidade do óleo e caracterização do fruto de macaúba. 2010. Tese de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CHITARRA, M.; CHITARRA, A. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada. **Lavras: Universidade Federal de Lavras**, v. 785, 2005.
- CHOE, E.; MIN, D. B. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 5, n. 4, p. 169-186, 2006. ISSN 1541-4337.
- CLEMENT, C.; LLERAS, E.; VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociencia**, v. 9, n. 1-2, p. 67-71, 2005. ISSN 2301-1548.
- CODEX, S. **STAN 33-1981. Codex standard for olive oils and olive pomace oils** 2009.
- CROCOMO, O.; MELO, M. *Acrocomia* species (Macauba palm). In: (Ed.). **Trees IV**: Springer, 1996. p.3-17.

DAL CIN, V.; RIZZINI, F. M.; BOTTON, A.; TONUTTI, P. The ethylene biosynthetic and signal transduction pathways are differently affected by 1-MCP in apple and peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 42, n. 2, p. 125-133, 2006. ISSN 0925-5214.

FIRESTONE, D. **Official methods and recommended practices of the AOCS**. AOCS, 2009. ISBN 189399774X.

FUJUN, L.; HENG, Z.; HONGQIANG, Y.; XINHUA, Z.; HUAIRUI, S. Effects of 1-MCP and AVG on Fruit Senescence of Feicheng Peach Variety in Storage [J]. **Journal of Fruit Science**, v. 3, p. 018, 2004.

GOLDING, J.; SHEARER, D.; WYLLIE, S.; MCGLASSON, W. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 1, p. 87-98, 1998. ISSN 0925-5214.

GOULART, S. D. M. Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HENDERSON, A.; GALEANO-GARCES, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas**. Princeton University Press, 1997. ISBN 0691016003.

JOBLING, J.; PRADHAN, R.; MORRIS, S.; MITCHELL, L.; RATH, A. The effect of ReTain plant growth regulator [aminoethoxyvinylglycine (AVG)] on the postharvest storage life of Tegan Blue plums. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 43, n. 5, p. 515-518, 2003. ISSN 1446-5574.

KOMERS, K.; STLOUKAL, R.; MACHEK, J.; SKOPAL, F. Biodiesel from rapeseed oil, methanol and KOH. 3. Analysis of composition of actual reaction mixture. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 103, n. 6, p. 363-371, 2001. ISSN 1438-9312.

LOPES, O. P. Caracterização do amadurecimento e uso de inibidores do etileno na conservação pós-colheita de macaúba. 2016. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. **Bioresource technology**, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999. ISSN 0960-8524.

MAHAJAN, P. V.; CALEB, O. J.; SINGH, Z.; WATKINS, C. B.; GEYER, M. Postharvest treatments of fresh produce. **Phil. Trans. R. Soc. A**, v. 372, n. 2017, p. 20130309, 2014. ISSN 1364-503X.

MARTÍNEZ-ROMERO, D.; BAILÉN, G.; SERRANO, M.; GUILLÉN, F.; VALVERDE, J. M.; ZAPATA, P.; CASTILLO, S.; VALERO, D. Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 47, n. 6, p. 543-560, 2007. ISSN 1040-8398.

MAZZOTTINI-DOS-SANTOS, H. C.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F. Ontogenesis of the pseudomonomerous fruits of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): a new approach to the development of pyrenarium fruits. **Trees**, v. 29, n. 1, p. 199-214, 2015. ISSN 0931-1890.

MISTRY, B. S.; MIN, D. B. Effects of fatty acids on the oxidative stability of soybean oil. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 3, p. 831-832, 1987. ISSN 1750-3841.

MIYASHITA, K.; TAKAGI, T. Study on the oxidative rate and prooxidant activity of free fatty acids. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 63, n. 10, p. 1380-1384, 1986. ISSN 0003-021X.

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, n. 4, p. 927-938, 2016. ISSN 0032-0935.

MOURA, E. F.; MOTOIKE, S. Y.; VENTRELLA, M. C.; DE SÁ JÚNIOR, A. Q.; CARVALHO, M. Somatic embryogenesis in macaw palm (*Acrocomia aculeata*) from zygotic embryos. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 447-454, 2009. ISSN 0304-4238.

MOURA, E. F.; VENTRELLA, M. C.; MOTOIKE, S. Y. Anatomy, histochemistry and ultrastructure of seed and somatic embryo of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). **Scientia Agricola**, v. 67, n. 4, p. 399-407, 2010. ISSN 0103-9016.

PALOU, L.; CRISOSTO, C. H. Postharvest treatments to reduce the harmful effects of ethylene on apricots. **Acta horticulturae**, p. 31-38, 2003. ISSN 0567-7572.

PIMENTEL, L.; BRUNCKER, C.; MARTINEZ, H.; TEIXEIRA, C.; MOTOIKE, S.; PEDROSO NETO, J. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1a aproximação. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 32, n. 265, p. 20-31, 2011a.

PIMENTEL, L.; MANFIO, C.; MOTOIKE, S.; PAES, J.; BRUCKNER, C. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 61-69, 2011b.

PLATH, M.; MOSER, C.; BAILIS, R.; BRANDT, P.; HIRSCH, H.; KLEIN, A.-M.; WALMSLEY, D.; VON WEHRDEN, H. A novel bioenergy feedstock in Latin America? Cultivation potential of *Acrocomia aculeata* under current and future climate conditions. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 186-195, 2016. ISSN 0961-9534.

POETSCH, J.; HAUPENTHAL, D.; LEWANDOWSKI, I.; OBERLÄNDER, D.; HILGER, T. *Acrocomia aculeata*—a sustainable oil crop. **Rural**, v. 21, n. 3, p. 41-4, 2012.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh journal of botany**, v. 60, n. 01, p. 57-109, 2003. ISSN 1474-0036.

SISLER, E. C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia plantarum**, v. 100, n. 3, p. 577-582, 1997. ISSN 1399-3054.

TSIMIDOU, M. Z. Olive oil quality. In: (Ed.). **Olive Oil (Second Edition)**: Elsevier, 2006. p.93-111.

WATKINS, C. B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology advances**, v. 24, n. 4, p. 389-409, 2006. ISSN 0734-9750.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F.; WHITAKER, B. D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 19, n. 1, p. 17-32, 2000. ISSN 0925-5214.

WILLS, R. B. H.; MCGLASSON, W. B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. C. **Postharvest**. 5th ed. Sydney: UNSW, 2007. 227p.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual review of plant physiology**, v. 35, n. 1, p. 155-189, 1984. ISSN 0066-4294.

ZILLOTTO, F.; BOTTON, A.; BONGHI, C.; TONUTTI, P. Effect of 1-MCP on nectarine fruit postharvest physiology. **NATO SCIENCE SERIES SUB SERIES I LIFE AND BEHAVIOURAL SCIENCES**, v. 349, p. 457-458, 2003. ISSN 1566-7693.

**CAPÍTULO 3 - TRATAMENTOS PÓS-COLHEITA E QUALIDADE FÍSICO-
QUÍMICA DO ÓLEO DA POLPA DE MACAÚBA PARA USO ALIMENTÍCIO**

RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira oleífera nativa das Américas cujo óleo extraído da polpa dos frutos possui perfil de ácidos graxos similar ao óleo extraído da Oliva (*Olea europaea*). Logo, o óleo de polpa de macaúba poderia ser explorado comercialmente na forma de azeite tropical. Entretanto, um dos principais gargalos desta cultura é a concentração da safra entre os meses de dezembro e março, o que requer tratamentos pós-colheita que permitam o armazenamento dos frutos para viabilizar o processamento industrial ao longo de todo o ano. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos que diferentes tratamentos pós-colheita: refrigeração, secagem, ozonização e aplicação de 1-metilciclopropeno, exercem na qualidade do óleo da polpa de frutos de macaúba de mesma origem ao longo do armazenamento e sua aplicabilidade na conservação do óleo para fins alimentícios. Para isso, frutos de macaúba foram colhidos aos 430 dias após a antese e submetidos a tratamentos de secagem, refrigeração, aplicação de 1-metilciclopropeno (1-MCP) e ozonização e posteriormente armazenados por até 30 dias a $24 \pm 1,5$ °C ou a $11 \pm 1,0$ °C para armazenamento refrigerado, com amostras retiradas após 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento. Foram avaliados alguns dos principais parâmetros de qualidade utilizados para o azeite de oliva: índice de acidez e índice de peróxidos, além de análises complementares como teor de óleo, estabilidade oxidativa, carotenoides totais e capacidade antioxidante. O armazenamento refrigerado apresentou vantagem sobre os demais tratamentos na manutenção da acidez e índice de peróxidos do óleo dentro dos limites estabelecidos por norma para sua classificação como “extra virgem” por maior

período, ao passo que secagem e aplicação de 1-MCP mostraram-se prejudiciais à maioria dos parâmetros. O aumento da acidez do óleo é principal fator limitante ao armazenamento dos frutos. Nenhum dos tratamentos foi capaz de conservar a qualidade do óleo durante todo o período de armazenamento.

PALAVRAS-CHAVE: *Acrocomia aculeata*; azeite tropical; óleo; armazenamento

ABSTRACT

Macauba (*Acrocomia aculeata*) is a palm oil palm native to the Americas whose oil extracted from the pulp of the fruits has a fatty acid profile similar to the oil extracted from Olive (*Olea europaea*). Therefore, macauba pulp oil could be commercially exploited as a tropical "olive" oil. However, the concentration of the harvest between December and March is one of the main obstacles of this crop is, requiring post-harvest treatments that allow fruit storage to enable industrial processing throughout the year. The aim of this work was to evaluate the effects of different post-harvest treatments: refrigeration, drying, ozonation and application of 1-methylcyclopropene, exert on the quality of the pulp oil of macauba fruit of same origin throughout the storage and its applicability in the conservation of the oil for food purposes. For this, macaúba fruits were harvested at 430 days after the anthesis and submitted to drying, refrigeration, application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ozonation and later stored for up to 30 days at $24 \pm 1,5$ ° C or at 11 ± 1.0 ° C for refrigerated storage, with samples taken after 0, 10, 20 and 30 days of storage. Some of the main quality parameters used for olive oil were evaluated: free fatty acids and peroxide value, as well as complementary analyzes such as oil content, oxidative stability, total carotenoids and antioxidant capacity. The refrigerated storage had an advantage over the other treatments in the maintenance of free fatty acids and peroxide value within the limits established by standard for its classification as "extra virgin" for a longer period, while drying and application of 1-MCP were harmful to the most parameters. The increase of free fatty acids in the oil is the main factor limiting

the storage of the fruits. None of the treatments were able to conserve oil quality throughout the storage period.

KEYWORDS: *Acrocomia aculeata*; tropical oil; oil; storage

1. INTRODUÇÃO

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] é uma palmeira oleífera nativa das regiões tropicais das Américas (Poetsch et al., 2012; Plath et al., 2016), sendo considerada a de maior dispersão na América latina (Crocomo e Melo, 1996; Henderson et al., 1997; Moura et al., 2009) e também no Brasil (Ratter et al., 2003; Aquino, 2008). De seus frutos são obtidos dois tipos de óleo de composição distinta: da amêndoa, predominantemente saturado (Amaral et al., 2011), e da polpa, onde predominam ácidos graxos monoinsaturados (Goulart, 2014).

As tendências mundiais do mercado atual e futuro de alimentos vêm se modificando e a indústria brasileira indica a incorporação destas novas tendências nos hábitos alimentares da população, inclusive no que diz respeito ao consumo de óleos e azeites (Barbosa et al., 2010). O perfil graxo do óleo da polpa da macaúba é similar ao do azeite de oliva (*Olea europaea* L.) (Goulart, 2014), o que, juntamente com a inexistência de fatores antinutricionais e à sua já relatada atividade antioxidante e anti-inflamatória (Traesel et al., 2014; Lescano et al., 2015; Silva et al., 2018), sugere seu uso *in natura* na alimentação humana, na forma de azeite, em atendimento a estas novas demandas.

De acordo com dados do *International Olive Oil Council*, no ano de 2017 o Brasil era o segundo maior importador de azeite de oliva e o quinto maior consumidor. Sua produção, no entanto, é inexpressiva. Este cenário se deve principalmente ao fato de que o país possui condições climáticas apenas marginais para o desenvolvimento da oliveira (Wrege et al., 2015). Diferentemente da oliveira, a macaúba pode ser cultivada em praticamente todo

o território brasileiro, haja vista sua adaptabilidade a várias condições ambientais (Pires et al., 2013).

Contudo, o reduzido período de colheita da macaúba, concentrado entre setembro e janeiro (Montoya et al., 2016), pode se tornar um obstáculo para a indústria por concentrar o período de processamento. Ainda, por se tratar de um fruto tropical, a macaúba é muito suscetível a perdas quantitativas e qualitativas em pós-colheita, sendo grande parte destas perdas atribuídas à contaminação microbiana (Evaristo et al., 2016) e ao rápido amadurecimento (Goulart, 2014), que acelera a senescência. O armazenamento dos frutos pode ser uma alternativa para contornar este problema e reduzir a ociosidade industrial. Entretanto, estudos acerca da pós-colheita da macaúba são escassos na literatura, fato que se converte em gargalo à exploração racional da espécie.

Vários tratamentos pós-colheita tem sido propostos para a macaúba a fim de assegurar a qualidade dos frutos durante o armazenamento (Silva, 2009; Martins, 2013; Evaristo et al., 2016; Lopes, 2016; Silva et al., 2017). Entretanto a avaliação de seus efeitos nos parâmetros de qualidade do óleo é restrita e sempre visando a indústria de biocombustíveis. Ainda, a utilização de diferentes formas de colheita/coleta e frutos de diferentes origens e ou idades em cada trabalho gera resultados extremamente díspares, impossibilitando a comparação entre os tratamentos. Estas diferenças são aumentadas ao levar-se em conta o estado selvagem da macaúba, que por si só traz grande variabilidade aos frutos de diferentes acessos.

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos que diferentes tratamentos pós-colheita: refrigeração, secagem, ozonização e aplicação de

1-metilciclopropeno, exercem na qualidade do óleo da polpa de frutos de macaúba de mesma origem ao longo do armazenamento e sua aplicabilidade na conservação do óleo para fins alimentícios.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DAS PLANTAS, IDENTIFICAÇÃO DA FLORAÇÃO, COLHEITA E ARMAZENAMENTO DOS FRUTOS

Foram selecionadas plantas adultas de uma população nativa em fragmento de mata atlântica no município de Acaiaca, MG, Brasil (20°21'54" S e 43°08'12" O). A área possui altitude de 481 m e clima caracterizado por verão úmido e inverno seco (Classificação de Koppen-Geiger – Cwa). As plantas selecionadas tiveram todas as espigas marcadas no momento da antese. Os cachos selecionados foram colhidos aos 430 dias após a antese (DAA). Os frutos foram transportados em caixas plásticas e armazenados em laboratório sob temperatura controlada ($24 \pm 1,5$ °C) até serem submetidos aos tratamentos, no dia seguinte à colheita.

2.2 TRATAMENTOS

2.2.1 SECAGEM

A secagem foi realizada no Laboratório de Propriedades Físicas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR). Foi utilizada unidade condicionadora de atmosfera Aminco-Aire

150/300 CFM (American Instrument Company, EUA), na temperatura de 100 °C e fluxo de 4 m³.min⁻¹.m⁻² por período de 3 h.

2.2.2 REFRIGERAÇÃO

Os frutos foram armazenados em câmara fria, instalada no setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, a temperatura de 11 ± 1,0 °C e umidade relativa de 85%, permanecendo nestas condições até o dia da análise.

2.2.3 APLICAÇÃO DE 1-MCP

O tratamento com 1-MCP foi realizado no laboratório de pós-colheita de macaúba da Universidade Federal de Viçosa. Para aplicação do tratamento, foram utilizados recipientes plásticos de 130 L equipados com dispositivo para circulação interna do ar. Os frutos foram colocados nos recipientes juntamente como o produto comercial SmartFresh™ (Agrofresh Inc., EUA) o qual foi solubilizado em água aquecida a 50 °C, liberando uma dose de 1-MCP equivalente a 3.000 nL.L⁻¹. O recipiente foi hermeticamente fechado e o sistema de circulação de ar ativado, permanecendo assim por 24 h.

2.2.4 OZONIZAÇÃO

A ozonização foi realizada no Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Os frutos foram ozonizados no interior de recipiente cilíndrico de aço com 300 L de volume. Na parte inferior e superior do cilindro, foram instaladas conexões para injeção e exaustão do gás, respectivamente. O gás ozônio foi produzido por gerador de ozônio modelo O&L 10.0RM (Ozone & Life,

Brasil). Foi utilizado O₂ isento de umidade, obtido pelo concentrador do próprio gerador de ozônio, como insumo no processo de geração do gás. Os frutos foram tratados com 34,5 mg.L⁻¹ de ozônio a um fluxo de 3,4 L.min⁻¹ por 2 h. A concentração do ozônio foi quantificada utilizando-se o método iodométrico, por titulação indireta, conforme recomendado pela International Ozone Association (IOA).

2.3 CONTROLE

Frutos do tratamento controle foram levados para o Laboratório de Biotecnologia e Pós-colheita de Macaúba da Universidade Federal de Viçosa logo após a colheita/transporte, acondicionados em sacos-rede e colocados em caixas plásticas perfuradas, permanecendo nesta condição até o momento das análises. O ambiente de armazenamento foi mantido sob temperatura controlada a $24,0 \pm 1,5$ °C durante todo o período de armazenamento.

2.4 ARMAZENAMENTO PÓS TRATAMENTOS

Frutos oriundos de todos os tratamentos, exceto refrigeração, foram acondicionados em sacos-rede e colocados em caixas plásticas perfuradas. O ambiente de armazenamento possuía temperatura controlada ($24 \pm 1,5$ °C), circulação e renovação de ar. Os frutos permaneceram nestas condições até o momento das análises, que ocorreram aos 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento.

2.5 EXTRAÇÃO DO ÓLEO

Os frutos foram despolidos manualmente com o auxílio de facas. A polpa foi seca em estufa com circulação e renovação do ar por 16 h a 65 °C, a fim de possibilitar a prensagem mecânica, realizada com o uso de prensa hidráulica. O óleo extraído foi acondicionado em frascos âmbar e armazenado a -20 °C até o momento das análises.

2.6 AVALIAÇÕES

2.6.1 TEOR DE ÓLEO NO MESOCARPO

O teor de óleo no mesocarpo (TO), expresso em % da matéria seca (% b.s), foi determinado por ressonância magnética nuclear (RMN), utilizando-se aparelho MQC NMR Analyser (Oxford, Reino Unido), de acordo com o método ISO 10565 (ISO, 1999), após secagem das amostras a 65 °C em estufa com circulação e renovação de ar por 24 h. A equivalência com a extração via solvente químico por Soxhlet foi verificada de acordo com Evaristo et al. (2016), estes da escolha do método.

2.6.2 ESTABILIDADE OXIDATIVA

A estabilidade oxidativa (EOx), expressa como o período de indução (h), foi obtida de acordo com metodologia proposta pela American Oil Chemistry Society (AOCS) (Firestone, 2009), utilizando-se o equipamento 873 Biodiesel Rancimat® (Metrohm, Suíça). Foram utilizados $2,50 \pm 0,01$ g de óleo, fluxo de ar de 10 L.h^{-1} e temperatura de 110 °C.

2.6.3 ÁCIDOS GRAXOS LIVRES

A determinação de ácidos graxos livres (AGL) foi realizada segundo o método Ca 5a-40, proposto pela AOCS (Firestone, 2009). Foram utilizados $2,00 \pm 0,10$ g de óleo, solubilizado em 25,0 mL de solução neutra de éter etílico-álcool (2:1). Utilizou-se como indicador solução de fenolftaleína 0,4% e solução padronizada de NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ como titulante. O teor de ácidos graxos livres foi expresso como acidez em ácido oleico.

2.6.4 ÍNDICE DE PERÓXIDOS

O índice de peróxidos (IP) foi determinado de acordo com método proposto por Zenebon et al. (2008), com adaptações. Foram utilizados $2,00 \pm 0,05$ g de óleo, solubilizados em 25 mL de solução de ácido acético/clorofórmio (3:2). Foram adicionados 0,5 mL de solução saturada de KI, deixando a amostra em repouso ao abrigo da luz por cinco minutos. Em seguida, foram acrescentados 25,0 mL de água deionizada e 0,5 mL de solução de amido (1%) e realizada a titulação com solução de tiosulfato de sódio $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ até o desaparecimento da coloração azul. Os resultados foram expressos em meq.kg^{-1} .

2.6.5 CAROTENOIDES TOTAIS NO ÓLEO

A quantificação de carotenoides totais no óleo (CTO) foi feita segundo método proposto por Rodriguez-Amaya (2001). Foram utilizados 0,2 g de óleo, solubilizados em éter de petróleo em balão volumétrico de 10 mL. Utilizou-se espectrofotômetro UVmini-1240 (Shimadzu, Japão). As leituras foram feitas em

$\lambda = 450$ nm. Foi considerado o coeficiente de absorvidade de 2592 e os resultados foram expressos como equivalentes ao β -caroteno.

2.6.6 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE PELO SEQUESTRO DO RADICAL DPPH

A capacidade antioxidante (COx) do óleo do mesocarpo foi avaliada pelo método do DPPH, segundo modificação proposta por Lee et al. (2007). Um volume de 100 μ L de óleo foi acondicionado em tubo de ensaio com rosca, envolto em papel alumínio e adicionado de 1,5mL da solução de DPPH. O tubo foi agitado por 1 min em vórtex seguido de repouso no escuro por 21 min. A leitura da absorvância a 515 nm foi feita em espectrofotômetro UVmini-1240 (Shimadzu, Japão).

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi instalado em esquema fatorial 5 x 4, sendo cinco tratamentos e quatro épocas de armazenamento e em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por 20 frutos. Os dados foram submetidos à análise de variância (5% de significância) e de regressão. Os modelos basearam-se na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ASPECTO VISUAL DOS FRUTOS

O aspecto visual da polpa dos frutos em cada tratamento durante o período de armazenamento demonstra poucas alterações durante os primeiros 10 dias (Figura 3.1), com ligeira intensificação da coloração amarela da polpa nos tratamentos controle, 1-MCP e ozonização. Entretanto, após 20 dias de armazenamento, sintomas de contaminação microbiológica não são evidentes apenas em frutos armazenados em ambiente refrigerado e o são, em menor proporção, em frutos ozonizados. Ao final do período de armazenamento, frutos provenientes de todos os tratamentos apresentavam sintomas evidentes de crescimento de microrganismos.

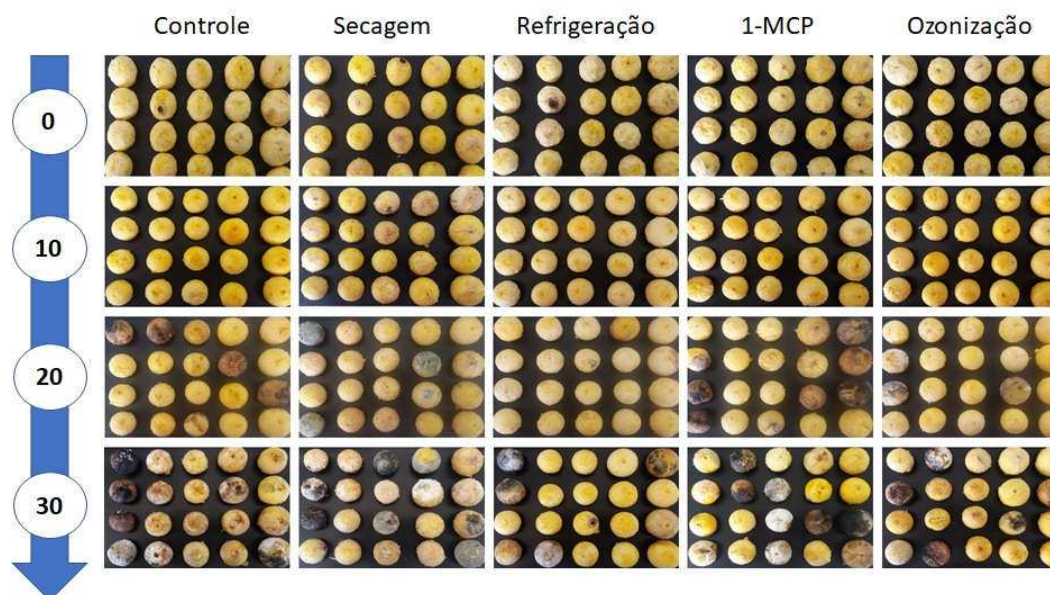


Figura 3.1 - Aspecto visual da polpa de frutos de macaúba em função do tratamento (controle, secagem, refrigeração, 1-MCP e ozonização) durante o armazenamento (0, 10, 20 e 30 dias).

3.2 TEOR DE ÓLEO NO MESOCARPO E ÁCIDOS GRAXOS LIVRES

O teor de óleo (TO) aumentou durante o armazenamento, exceto em frutos que passaram por secagem (Fig. 3.2 A). Frutos ozonizados e tratados com 1-MCP comportaram-se de maneira similar ao tratamento controle, apresentando acúmulo de óleo durante todo o armazenamento. Frutos armazenados em ambiente refrigerado apresentaram menor acúmulo de óleo, chegando ao final do período de armazenamento com metade do acúmulo apresentado pelo tratamento controle. Por sua vez, frutos que passaram pelo processo de secagem não apresentaram aumento no TO durante o armazenamento.

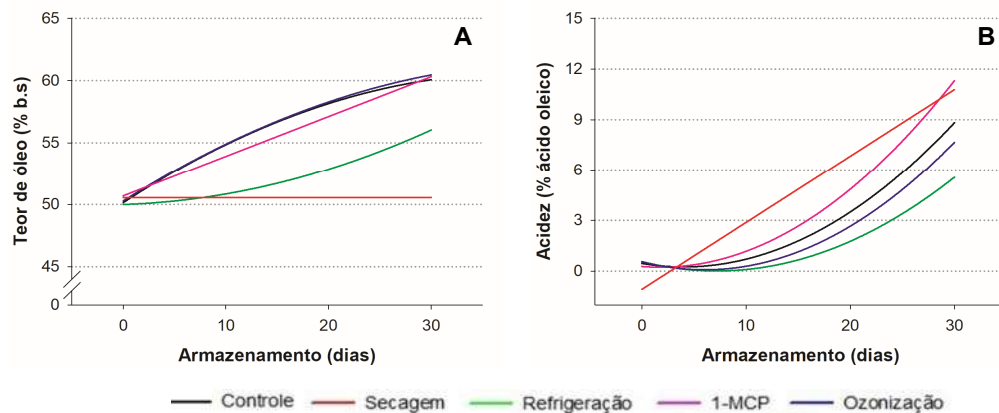


Figura 3.2 - (A) Teor de óleo na polpa (b.s.) e (B) ácidos graxos livres (% ácido oleico) no óleo da polpa de frutos tratados e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias.

Tabela 3.1 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis teor de óleo e acidez livre no óleo.

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R ^{2*}	P ^{**}
Teor de óleo	Controle	$\hat{y} = 50,1355 + 0,5402x - 0,007x^2$	0.96	0.01
	Secagem	$\hat{y} = 50,5525$	-	-
	Refrigeração	$\hat{y} = 49,990 + 0,0269x - 0,005823x^2$	0.83	0.01
	1-MCP	$\hat{y} = 50,690 + 0,321x$	0.91	0.01
	Ozonização	$\hat{y} = 50,2741 + 0,523x - 0,00611x^2$	0.95	0.01
Acidez	Controle	$\hat{y} = 0,4530 - 0,1017x + 0,0127x^2$	0.96	0.01
	Secagem	$\hat{y} = - 1,0776 + 0,3952x$	0.68	0.01
	Refrigeração	$\hat{y} = 0,5632 - 0,1534x + 0,0107x^2$	0.67	0.05
	1-MCP	$\hat{y} = 0,2748 - 0,0498x + 0,0139x^2$	0.95	0.01
	Ozonização	$\hat{y} = 0,5580 - 0,1591x + 0,0132x^2$	0.92	0.01

*Coeficiente de determinação. **Probabilidade pelo teste "t".

A acidez livre no óleo (AGL) apresentava níveis baixos no dia 0 de armazenamento, não havendo diferença entre os tratamentos ($\hat{y} = 0,41\%$). Frutos submetidos aos tratamentos de secagem e exposição ao 1-MCP apresentavam AGL acima do limite (0,8%) para que o óleo se enquadrasse como "extra virgem" antes dos 10 dias de armazenamento. Para os demais tratamentos, este limite só foi ultrapassado após 10 dias de armazenamento, com ligeira vantagem para frutos armazenados em ambiente refrigerado (Fig. 3.2 B).

3.3 ÍNDICE DE PERÓXIDOS E ESTABILIDADE OXIDATIVA

O índice de peróxidos (IP) do óleo elevou-se nos frutos de todos os tratamentos ao longo do armazenamento (Fig. 3A). A refrigeração desacelerou a elevação do IP nos primeiros dias de armazenamento em comparação com os demais tratamentos, ao passo que a secagem promoveu sua elevação nos dias finais. Ao final do armazenamento, o IP do óleo de frutos refrigerados foi menor ($p < 0,05$) que nos demais tratamentos. Já para frutos submetidos à secagem o

óleo apresentava-se com IP significativamente maior ($p < 0,05$) que nos demais tratamentos. No entanto, ao final do período de armazenamento, em nenhum dos tratamentos o limite máximo de 20 meq.kg^{-1} estabelecido por norma para óleos alimentícios foi ultrapassado.

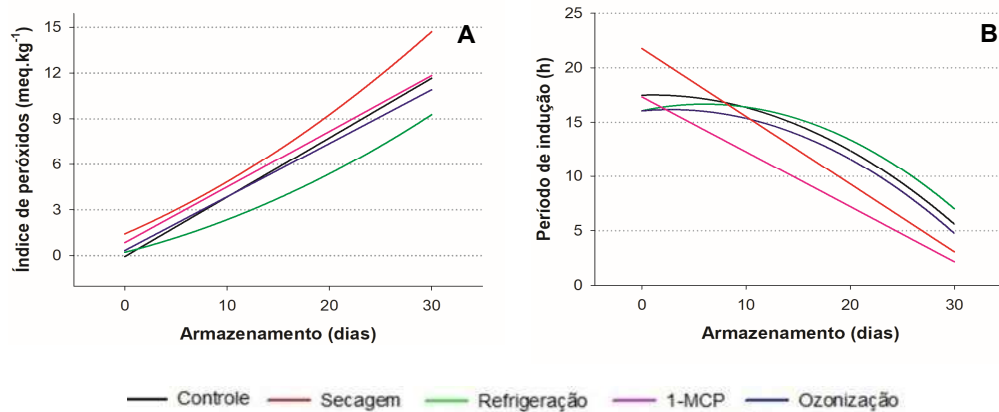


Figura 3.3 - (A) Índice de peróxidos (meq.kg^{-1}) e (B) estabilidade oxidativa (h) do óleo da polpa de frutos tratados e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias.

Tabela 3.2 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis índice de peróxidos e estabilidade oxidativa do óleo.

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R ² *	P**
Índice de peróxidos	Controle	$\hat{y} = -0,0626 + 0,3908x$	0.96	0.01
	Secagem	$\hat{y} = 1,4258 + 0,2927x + 0,0050x^2$	0.98	0.01
	Refrigeração	$\hat{y} = 0,2155 + 0,1700x - 0,0044x^2$	0.94	0.05
	1-MCP	$\hat{y} = 0,8513 + 0,3663x$	0.95	0.01
	Ozonização	$\hat{y} = 0,3370 + 0,3525x$	0.97	0.01
Estabilidade oxidativa	Controle	$\hat{y} = 17,4884 - 0,0288x - 0,0142x^2$	0.85	0.05
	Secagem	$\hat{y} = 21,7697 - 0,6235x$	0.81	0.01
	Refrigeração	$\hat{y} = 16,0626 + 0,2019x - 0,0168x^2$	0.77	0.01
	1-MCP	$\hat{y} = 17,3348 - 0,5060x$	0.83	0.01
	Ozonização	$\hat{y} = 16,0525 + 0,0851x - 0,0154x^2$	0.86	0.01

*Coeficiente de determinação. **Probabilidade pelo teste "t".

A estabilidade oxidativa (EOx) do óleo foi afetada positivamente pela secagem dos frutos no início do armazenamento em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$), que não diferiram entre si ($p > 0,05$). Nos tratamentos

controle, refrigeração e ozonização a EOX permaneceu no mesmo patamar nos primeiros 10 dias de armazenamento, reduzindo-se a partir de então, ao passo que os tratamentos de secagem e 1-MCP mostraram-se prejudiciais a este parâmetro ao longo de todo o período de armazenamento (Fig. 3.3B).

3.4 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE E CAROTENOIDES TOTAIS

A capacidade antioxidante (COx) do óleo da polpa foi fortemente influenciada pelo tratamento de secagem antes mesmo do início do armazenamento, sendo significativamente reduzida ($p < 0,05$). O tratamento com 1-MCP também se mostrou prejudicial à COx, reduzindo-a já nos primeiros dias de armazenamento. O decorrer do armazenamento dos frutos promoveu redução gradual da COx do óleo em todos os tratamentos (Fig. 3.4A), entretanto, ao final do período de armazenamento frutos armazenados em ambiente refrigerado ou ozonizados apresentavam COx superior ($p < 0,05$) aos dos demais tratamentos.

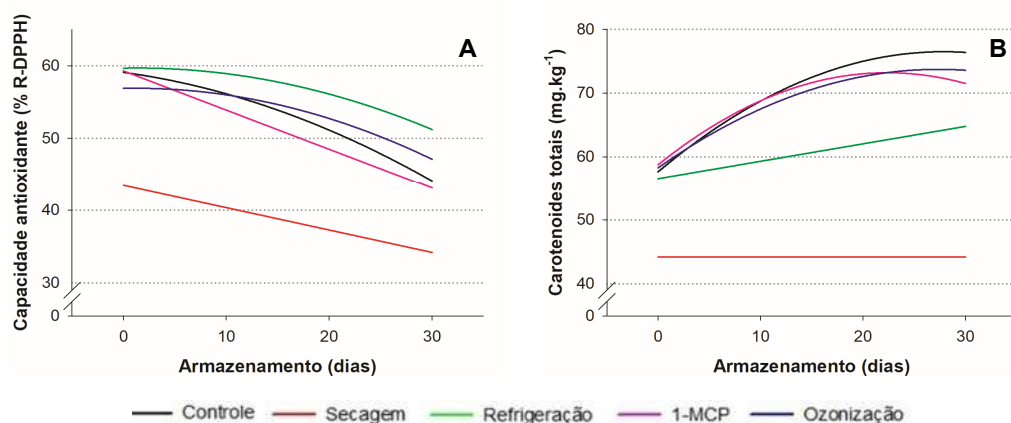


Figura 3.4 - (A) Capacidade antioxidante (% R-DPPH) e (B) Carotenoides totais (mg.kg⁻¹) no óleo da polpa de frutos tratados e armazenados por 0, 10, 20 e 30 dias.

Tabela 3.3 - Equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão e probabilidade para as variáveis capacidade antioxidante e carotenoides totais do óleo.

Variável	Tratamento	Equações ajustadas	R ² *	P**
Capacidade antioxidante	Controle	$\hat{y} = 59,0795 - 0,1933x - 0,0102x^2$	0.90	0.10
	Secagem	$\hat{y} = 43,4272 - 0,3079x$	0.81	0.01
	Refrigeração	$\hat{y} = 59,6570 + 0,0277x - 0,0103x^2$	0.85	0.01
	1-MCP	$\hat{y} = 59,2808 + 0,5397x$	0.87	0.01
	Ozonização	$\hat{y} = 56,8711 + 0,0295x - 0,0118x^2$	0.83	0.01
Carotenoides totais	Controle	$\hat{y} = 57,6649 + 1,3512x - 0,0242x^2$	0.89	0.01
	Secagem	$\hat{y} = 44,195$	-	-
	Refrigeração	$\hat{y} = 56,5822 + 0,2737x$	0.67	0.01
	1-MCP	$\hat{y} = 58,7684 + 1,2912x - 0,0289x^2$	0.88	0.01
	Ozonização	$\hat{y} = 58,2861 + 1,1292x - 0,0206x^2$	0.90	0.01

*Coeficiente de determinação. **Probabilidade pelo teste "t".

O teor de carotenoides no óleo (TCO) elevou-se ao longo de todo o armazenamento nos frutos dos tratamentos controle, ozonização e refrigeração e em frutos tratados com 1-MCP até próximo ao final do período de armazenamento (Fig. 3.4B). A secagem dos frutos reduziu significativamente o TCO antes mesmo do início do armazenamento. Embora os dados para o tratamento secagem não tenham se ajustado a nenhum modelo, estes permaneceram sempre abaixo dos demais tratamentos. Dentre os tratamentos que apresentaram incremento no TCO, a refrigeração mostrou-se prejudicial a este parâmetro, promovendo menor incremento em relação aos demais.

4. DISCUSSÃO

A secagem é o método de conservação de produtos agrícolas mais utilizado no mundo (Kumar et al., 2014). Seu princípio básico consiste em remover água do produto a um ponto que reduza o seu metabolismo e a possibilidade de ação de microrganismos, permitindo seu armazenamento. Para frutos de macaúba um elevado teor de água além de aumentar os custos de

extração do óleo, cria condições favoráveis à proliferação de microrganismos. Porém, a secagem prolongada além de dispendiosa, pode afetar a qualidade final do óleo. Segundo Celestino (2010), dentre os frutos mais propensos a alterações causadas pelo processo de secagem, encontram-se aqueles ricos em lipídios, como é o caso da macaúba.

Ao longo o armazenamento não houve acúmulo de óleo na polpa de frutos submetidos à secagem. Como sugerido por Goulart (2014) a completa conversão de reservas no fruto de macaúba ocorre após a colheita, devido ao seu comportamento climatérico. A secagem a 100 °C possivelmente cessou o metabolismo do fruto impedindo acúmulo de óleo durante o armazenamento. Embora desejável, o acúmulo de óleo pós-colheita poderia ser negligenciado caso a secagem promovesse a manutenção da qualidade do óleo durante o armazenamento dos frutos, o que não se mostrou possível.

Trabalhos recentes indicam que a secagem de frutos de macaúba a temperaturas brandas (< 45 °C) é ineficaz (Martins, 2013) ao passo que temperaturas de secagem elevadas mostram-se deletérias ao óleo da polpa, inviabilizando seu uso alimentício (Tilahun, 2015; Silva et al., 2017). Em todos estes casos o período de secagem considerado foi longo (>24 h).

A secagem à temperatura elevada e por curto período utilizada neste trabalho não foi capaz de conter a acidificação do óleo, que ocorreu durante todo o período de armazenamento.

O elevado teor de água dos frutos de macaúba no momento da colheita favorece o crescimento de microrganismos durante o armazenamento dos frutos (Ciconini et al., 2013). Embora a elevada temperatura utilizada possa ter exercido

afeito sanitizante sobre os microrganismos presentes nos frutos, o curto período de secagem manteve o teor de água ainda elevado, o que associado ao rompimento do epicarpo pode ter facilitado a reinfecção.

De acordo com Tilahun (2015), a secagem de frutos de macaúba a 100 °C não é capaz de inativar a lipase, enzima responsável pela quebra de triglicerídeos e geração de ácidos graxos livres. Evaristo (2015) e Silva et al. (2017) indicaram que é possível manter a acidez do óleo da polpa por até 90 dias nos mesmos níveis do início do armazenamento, através da secagem dos frutos a 60 °C até umidade abaixo de 10%, indicando que para este parâmetro a remoção de água dos frutos talvez seja o fator mais importante.

A secagem promoveu a redução da estabilidade oxidativa e a elevação do índice de peróxidos do óleo ao longo do armazenamento de forma mais pronunciada que a maioria dos tratamentos. Segundo Moretto (1998) isto ocorre pois o processo de secagem aumenta as reações de hidrólise química e a taxa de oxidação do óleo. Tal resultado também se relaciona com o aumento da acidez livre durante o armazenamento que, de acordo com Frega et al. (1999), contribui para a oxidação de óleos comestíveis. Ainda, a remoção parcial da umidade dos frutos facilita a penetração do ar atmosférico na polpa, promovendo maior oxidação.

Não houve acúmulo de carotenoides no óleo ao longo do armazenamento em frutos que passaram pela secagem. O teor de carotenoides foi reduzido já no início do armazenamento quando comparado com os demais tratamentos. Sabidamente carotenoides são compostos que apresentam atividade antioxidante e que atuam na proteção dos ácidos graxos insaturados contra a

oxidação (Rodriguez-Amaya, 2001). Aparentemente outras substâncias com capacidade antioxidante já identificados no óleo de macaúba, como tocoferóis e tocotrienóis (Aoqui, 2012; Siles et al., 2013), exibem efeito semelhante sob ação da secagem, haja vista a redução na capacidade antioxidante do óleo causada por este tratamento.

O uso da refrigeração tem como objetivo diminuir o metabolismo do fruto, bem como a ação de microrganismos, prolongando sua vida pós-colheita (Chitarra e Chitarra, 2005).

A diminuição do metabolismo pela refrigeração representou uma desvantagem à macaúba, do ponto de vista do acúmulo de óleo e de carotenoides, por reduzi-los aproximadamente à metade, quando comparado com os outros tratamentos exceto a secagem, ao final do armazenamento.

A síntese de carotenoides e a conversão de reservas, estão entre as várias reações de síntese que ocorrem durante o amadurecimento de frutos (Biale e Young, 1962; Wills et al., 2007). A redução em ambos os parâmetros pode ser indicativo de atraso no amadurecimento ou ainda sintoma de injúria por frio, que comumente afeta frutos tropicais submetidos a baixas temperaturas de armazenamento (Lyons, 1973; Wang, 1990). Comportamento semelhante é relatado para frutos de oliveira, também sendo associados a injúria por frio (Kiritsakis et al., 1998)

A redução no acúmulo de carotenoides em frutos armazenados sob refrigeração quando comparados com aqueles armazenados em temperatura ambiente tem sido relada por vários autores (Gil et al., 2006; Rivera-Pastrana et al., 2010; Mendonça et al., 2015). Por outro lado, a atividade antioxidante em

frutos se reduz à medida que se aproxima a senescência (Kondo et al., 2005). Desta forma a redução do metabolismo dada pela refrigeração mostrou-se benéfica para a macaúba, uma vez que a atividade antioxidante do óleo de frutos refrigerados foi superior que a dos demais tratamentos ao longo do armazenamento.

A aplicação de inibidores da ação do etileno, como o 1-MCP, visa diminuir ou retardar os efeitos do etileno durante o armazenamento de frutos (Watkins, 2006), sendo muitas vezes usada como tratamento complementar à refrigeração. A ausência de alterações no padrão de acúmulo e nos parâmetros de qualidade do óleo em relação ao tratamento controle, sugere que a aplicação de 1-MCP não foi efetiva em inibir a ação do etileno e seus efeitos no fruto.

A concentração de 1-MCP necessária para bloquear a ação do etileno varia com a espécie, cultivar, estágio de maturação, temperatura e tempo de exposição e a síntese de novos receptores de etileno (Sisler e Serek, 1997; Blankenship e Dole, 2003). Na maioria dos trabalhos a exposição de frutos ao 1-MCP por 12 a 24 h é suficiente para a máxima inibição do etileno (Blankenship e Dole, 2003). No caso da macaúba, de acordo com Lopes (2016), maior inibição foi conseguida com exposição dos frutos a 3.000 nL.L^{-1} de 1-MCP por 24 h. Nestas condições o acúmulo de óleo na polpa dos frutos durante o armazenamento foi reduzido à metade em relação aos frutos não tratados. No entanto neste trabalho tal efeito não foi verificado, possivelmente devido à colheita de frutos em estágio de maturação mais avançado no qual a resposta à aplicação do 1-MCP já não é tão efetiva (Watkins, 2006).

A aplicação de 1-MCP em altas concentrações pode aumentar a ocorrência de podridões em frutos (Porat et al., 1999; Hofman et al., 2001; Jiang et al., 2001; Dou et al., 2005; Han et al., 2015), o que pode justificar por que parâmetros como a acidez, estabilidade oxidativa e capacidade antioxidante foram prejudicados pela aplicação do 1-MCP.

Os benefícios da aplicação do ozônio em pós-colheita decorrem principalmente da sua ação sanitizante. Entretanto sua capacidade de degradar o etileno no ar (Dickson et al., 1992) ou mesmo inibir sua síntese nos vegetais (Vahala et al., 2003) poderiam ter impacto no acúmulo de óleo nos frutos durante o armazenamento, o que não se verificou no presente trabalho possivelmente devido ao curto período de exposição ao gás (2 h).

A aplicação de ozônio em altas concentrações pode causar danos aos tecidos dos frutos (Ong et al., 2014). Ainda, o alto poder oxidante do ozônio (Hugo et al., 1999) poderia levar à oxidação do óleo, afetando negativamente seu índice de peróxidos e estabilidade oxidativa. Entretanto, a ausência de tais efeitos pode ser explicada pela presença do epicarpo, que constitui uma barreira física à penetração do ozônio como constatado por Silva (2017) que, trabalhando com doses menores de ozônio, apenas relatou efeitos em frutos tratados sem o epicarpo. De acordo com Coelho et al. (2015) os efeitos do ozônio são altamente dependentes do tipo de fruto considerado. Desta forma, novas avaliações do binômio concentração-tempo de exposição ao O₃ seriam necessárias a fim de se determinar os possíveis efeitos nos frutos de macaúba com epicarpo.

Do ponto de vista qualitativo, em todos os tratamentos o óleo da polpa de frutos recém tratados apresenta valores de acidez que se enquadram dentro do

limite estabelecido pelo *Codex Alimentarius*, 0,8%, (Codex, 2009) para a classificação de um azeite como extra virgem. Entretanto, nenhum dos tratamentos foi capaz de manter acidez do óleo abaixo deste limite durante todo o período de armazenamento, sendo este o parâmetro determinante do período máximo de armazenamento. Por sua vez, o valor máximo para o índice de peróxidos, 20 meq.kg⁻¹ (Codex, 2009) não foi alcançado em nenhum dos tratamentos durante todo o período de armazenamento.

5. CONCLUSÃO

O armazenamento refrigerado dos frutos permitiu a manutenção dos parâmetros de qualidade do óleo dentro dos limites estabelecidos por norma para classificá-lo com extra virgem por período superior aos demais tratamentos.

Nenhum dos tratamentos utilizados foi capaz de manter os parâmetros de qualidade do óleo durante todo o período de armazenamento.

A elevação da acidez é o principal fator limitante ao armazenamento prolongado dos frutos de macaúba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, F. P. D.; BROETTO, F.; BATISTELA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amêndoas de frutos de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart] coletada na região de Botucatu-SP. **Energia na Agricultura**, p. 12-20, 2011. ISSN 1808-8759.
- AOQUI, M. **Caracterização do Óleo da Polpa de Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) e Azeite de Oliva (*Olea europaea* L.) Virgem Extra e Seus Efeitos Sobre Dislipidemia e Outros Parâmetros Sanguíneos, Tecido Hepático e Mutagênese Em Ratos Wistar**. 2012. 122 p. (Dissertação de Mestrado). Univesdidade Católica Dom Bosco, Campo Grande.
- AQUINO, F. G. **Distribuição geográfica das espécies *Acrocomia aculeata* (Jacq.) lodd. ex Mart. e *Caryocar brasiliense cambess.* no bioma Cerrado**. IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais. Brasília: Embrapa Cerrados 2008.
- BARBOSA, L.; MADI, L.; TOLEDO, M. A.; REGO, R. As tendências da alimentação. **Brasil food trends**, v. 2020, p. 39-47, 2010.
- BIALE, J. B.; YOUNG, R. E. Bioquímica de la maduración de los frutos. **Endeavour**, Oxford, v. 21, p. 164-174, 1962.
- BLANKENSHIP, S. M.; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest biology and technology**, v. 28, n. 1, p. 1-25, 2003. ISSN 0925-5214.
- CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2010.
- CHITARRA, M.; CHITARRA, A. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada. **Lavras: Universidade Federal de Lavras**, v. 785, 2005.
- CICONINI, G.; FAVARO, S.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C.; TAPETI, C.; MIYAHIRA, M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A.; COLNAGO, L. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 208-214, 2013. ISSN 0926-6690.
- CODEX, S. **STAN 33-1981**. Codex standard for olive oils and olive pomace oils 2009.
- COELHO, C. C. D. S.; FREITAS-SILVA, O.; CAMPOS, R. D. S.; BEZERRA, V. S.; CABRAL, L. M. Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de frutas e hortaliças: Uma revisão. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 369-375, 2015.
- CROCOMO, O.; MELO, M. *Acrocomia* species (Macauba palm). In: (Ed.). **Trees IV**: Springer, 1996. p.3-17.

DICKSON, R. G.; KAYS, S.; LAW, S.; EITEMAN, M. Abatement of ethylene by ozone treatments in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. American Society of Agricultural Engineers. Meeting (USA), 1992.

DOU, H.; JONES, S.; RITENOUR, M. Influence of 1-MCP application and concentration on post-harvest peel disorders and incidence of decay in citrus fruit. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 80, n. 6, p. 786-792, 2005. ISSN 1462-0316.

EVARISTO, A. B. Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*). 2015. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; PIMENTEL, L. D.; DE MELO GOULART, S.; MARTINS, A. D.; DOS SANTOS, V. L.; MOTOIKE, S. Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 63-73, 2016. ISSN 0926-6690.

FIRESTONE, D. **Official methods and recommended practices of the AOCS**. AOCS, 2009. ISBN 189399774X.

FREGA, N.; MOZZON, M.; LERCKER, G. Effects of free fatty acids on oxidative stability of vegetable oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 76, n. 3, p. 325-329, 1999. ISSN 0003-021X.

GIL, M. I.; AGUAYO, E.; KADER, A. A. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. **Journal of Agricultural and Food chemistry**, v. 54, n. 12, p. 4284-4296, 2006. ISSN 0021-8561.

GOULART, S. D. M. Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HAN, C.; ZUO, J.; WANG, Q.; XU, L.; WANG, Z.; DONG, H.; GAO, L. Effects of 1-MCP on postharvest physiology and quality of bitter melon (*Momordica charantia* L.). **Scientia horticulturae**, v. 182, p. 86-91, 2015. ISSN 0304-4238.

HENDERSON, A.; GALEANO-GARCES, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas**. Princeton University Press, 1997. ISBN 0691016003.

HOFMAN, P.; JOBIN-DECOR, M.; MEIBURG, G.; MACNISH, A.; JOYCE, D. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, n. 4, p. 567-572, 2001. ISSN 1446-5574.

HUGO, W. B.; AYLIFFE, G.; RUSSELL, A. D. **Principles and Practice of Disinfection, Preservation, and Sterilisation**. Blackwell Science, 1999. ISBN 0632041943.

ISO. **International Organization for Standardization**. Oilseeds - Simultaneous Determination of Oil and Moisture Contents - Method Using Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry. Geneva, Switzerland 1999.

JIANG, Y.; JOYCE, D. C.; TERRY, L. A. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. **Postharvest Biology and Technology**, v. 23, n. 3, p. 227-232, 2001. ISSN 0925-5214.

KIRITSAKIS, A.; NANOS, G.; POLYMENOPULOS, Z.; THOMAI, T.; SFAKIOTAKIS, E. Effect of fruit storage conditions on olive oil quality. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 75, n. 6, p. 721-724, 1998. ISSN 0003-021X.

KONDO, S.; KITTIKORN, M.; KANLAYANARAT, S. Preharvest antioxidant activities of tropical fruit and the effect of low temperature storage on antioxidants and jasmonates. **Postharvest Biology and Technology**, v. 36, n. 3, p. 309-318, 2005. ISSN 0925-5214.

KUMAR, C.; KARIM, M.; JOARDDER, M. U. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48-57, 2014. ISSN 0260-8774.

LEE, J.; CHUNG, H.; CHANG, P.-S.; LEE, J. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). **Food Chemistry**, v. 103, n. 2, p. 662-669, 2007. ISSN 0308-8146.

LESCANO, C. H.; IWAMOTO, R. D.; SANJINEZ-ARGANDONA, E. J.; KASSUYA, C. A. L. Diuretic and anti-inflammatory activities of the microencapsulated *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) oil on Wistar rats. **Journal of medicinal food**, v. 18, n. 6, p. 656-662, 2015. ISSN 1096-620X.

LOPES, O. P. Caracterização do amadurecimento e uso de inibidores do etileno na conservação pós-colheita de macaúba. 2016. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LYONS, J. M. Chilling injury in plants. **Annual review of plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 445-466, 1973. ISSN 0066-4294.

MARTINS, A. D. Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba. 2013. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MENDONÇA, V. Z. D.; DAIUTO, É. R.; FURLANETO, K. A.; RAMOS, J. A.; FUJITA, E.; VIEITES, R. L.; TECCHIO, M. A.; CARVALHO, L. R. D. Aspectos físico-químicos e bioquímicos durante o armazenamento refrigerado do caqui em atmosfera modificada passiva. **Nativa**, p. 16-21, 2015. ISSN 2318-7670.

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, n. 4, p. 927-938, 2016. ISSN 0032-0935.

MORETTO, E. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. Varela, 1998. ISBN 858551941X.

MOURA, E. F.; MOTOIKE, S. Y.; VENTRELLA, M. C.; DE SÁ JÚNIOR, A. Q.; CARVALHO, M. Somatic embryogenesis in macaw palm (*Acrocomia aculeata*) from zygotic embryos. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 447-454, 2009. ISSN 0304-4238.

ONG, M. K.; ALI, A.; ALDERSON, P. G.; FORNEY, C. F. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. **Scientia Horticulturae**, v. 179, p. 163-169, 2014. ISSN 0304-4238.

PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013. ISSN 0926-6690.

PLATH, M.; MOSER, C.; BAILIS, R.; BRANDT, P.; HIRSCH, H.; KLEIN, A.-M.; WALMSLEY, D.; VON WEHRDEN, H. A novel bioenergy feedstock in Latin America? Cultivation potential of *Acrocomia aculeata* under current and future climate conditions. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 186-195, 2016. ISSN 0961-9534.

POETSCH, J.; HAUPENTHAL, D.; LEWANDOWSKI, I.; OBERLÄNDER, D.; HILGER, T. *Acrocomia aculeata*—a sustainable oil crop. **Rural**, v. 21, n. 3, p. 41-4, 2012.

PORAT, R.; WEISS, B.; COHEN, L.; DAUS, A.; GOREN, R.; DROBY, S. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. **Postharvest biology and technology**, v. 15, n. 2, p. 155-163, 1999. ISSN 0925-5214.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh journal of botany**, v. 60, n. 01, p. 57-109, 2003. ISSN 1474-0036.

RIVERA - PASTRANA, D. M.; YAHIA, E. M.; GONZÁLEZ - AGUILAR, G. A. Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and their contents under low temperature storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 14, p. 2358-2365, 2010. ISSN 1097-0010.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. ILSI press Washington, DC, 2001. ISBN 1578810728.

SILES, L.; CELA, J.; MUNNÉ-BOSCH, S. Vitamin E analyses in seeds reveal a dominant presence of tocotrienols over tocopherols in the Arecaceae family. **Phytochemistry**, v. 95, p. 207-214, 2013. ISSN 0031-9422.

SILVA, G. N. Uso da secagem e ozonização na conservação pós-colheita de frutos de macaúba. 2017. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, G. N.; EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CAMPOS, L. S.; CARVALHO, M. S.; PIMENTEL, L. D. Drying of macaw palm fruits and its influence on oil quality. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 5, p. 3019-3030, 2017. ISSN 1679-0359.

SILVA, I. C. C. Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba, 2009. 99p. 2009. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

SILVA, P. V.; RAMIRO, M. M.; IRIGUCHI, E. K.; CORRÊA, W. A.; LOWE, J.; CARDOSO, C. A.; ARENA, A. C.; KASSUYA, C. A.; MUZZI, R. M. Antidiabetic, cytotoxic and antioxidant activities of oil extracted from *Acrocomia aculeata* pulp. **Natural product research**, p. 1-4, 2018. ISSN 1478-6419.

SISLER, E. C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia plantarum**, v. 100, n. 3, p. 577-582, 1997. ISSN 1399-3054.

TILAHUN, W. W. Postharvest treatments of macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit: storage period, gamma radiation and drying temperature. 2015. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TRAESEL, G. K.; DE SOUZA, J. C.; DE BARROS, A. L.; SOUZA, M. A.; SCHMITZ, W. O.; MUZZI, R. M.; OESTERREICH, S. A.; ARENA, A. C. Acute and subacute (28 days) oral toxicity assessment of the oil extracted from *Acrocomia aculeata* pulp in rats. **Food and chemical toxicology**, v. 74, p. 320-325, 2014. ISSN 0278-6915.

VAHALA, J.; RUONALA, R.; KEINÄNEN, M.; TUOMINEN, H.; KANGASJÄRVI, J. Ethylene insensitivity modulates ozone-induced cell death in birch. **Plant Physiology**, v. 132, n. 1, p. 185-195, 2003. ISSN 0032-0889.

WANG, C. Y. **Chilling injury of horticultural crops**. CRC Press, 1990. ISBN 0849357365.

WATKINS, C. B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology advances**, v. 24, n. 4, p. 389-409, 2006. ISSN 0734-9750.

WILLS, R. B. H.; MCGLASSON, W. B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. C. **Postharvest**. 5th ed. Sydney: UNSW, 2007. 227p.

WREGE, M. S.; COUTINHO, E. F.; JORGE, R. D. O.; FRITZSONS, E.; PANTANO, A. P. Regiões de clima homogêneo no Brasil para produção comercial de oliveiras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015. ISSN 2237-8642.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **São Paulo: Instituto Adolfo Lutz**, p. 1020, 2008.

**CAPÍTULO 4 - INCLUSÃO DA TORTA DA POLPA DE MACAÚBA NA DIETA
DE CABRAS LEITEIRAS EM FINAL DE LACTAÇÃO**

RESUMO

O gasto com alimentação é o principal componente do custo de produção na caprinocultura leiteira. Desta forma, alimentos alternativos que promovam a redução dos custos com alimentação são, cada vez mais, desejados. O interesse crescente pelos óleos de polpa e amêndoa da palmeira macaúba permite antever geração considerável de subprodutos, como as tortas da polpa e da amêndoa, com uso potencial para uso direto na alimentação de caprinos. Para avaliar a viabilidade técnica e econômica da inclusão da torta da polpa da macaúba na dieta de cabras em lactação, 16 animais adultos, no terço final de lactação, foram separados em duas baias coletivas contendo 8 animais cada, tendo uma das baias recebido concentrado contendo 4,12% de torta da polpa de macaúba. A adição da torta da polpa de macaúba ao concentrado reduziu o consumo de volumoso sem, no entanto, afetar o desempenho dos animais. Da mesma forma, o teor de proteína, gordura, lactose e sólidos totais do leite não foram afetados. O custo com alimentação foi reduzido com a inclusão da torta à dieta dos animais. A inclusão da torta da polpa de macaúba à dieta de cabras no terço final de lactação mostra-se técnica e economicamente viável para o nível de inclusão avaliado.

PALAVRAS-CHAVE: Ração; subprodutos; *Acrocomia aculeata*; caprinos; ruminantes

ABSTRACT

The expenses on food is the main component of the production cost in dairy goat. Thus, alternative foods that promote the reduction of food costs are increasingly desired. The growing interest in the pulp and almond oils of the macauba fruits allows us to foresee a considerable generation of by-products, such as pulp and almond cakes, with potential for direct use in goat feeding. To evaluate the technical and economical feasibility of inclusion of macauba pulp cake in the diet of lactating goats, 16 adult animals in the final third of lactation were separated into two collective bays containing 8 animals each, one of them receiving concentrate containing 4,12% of macauba cake. The addition of the macauba pulp cake to the concentrate reduced the consumption of roughage. However, no effect on the performance of the animals was noticed. Likewise, the protein, fat, lactose and total solids content in the milk were not affected. The feed cost was reduced with the inclusion of the cake in the diet. The inclusion of the macauba pulp cake to the diet of lactating goats in the final third of lactation is technically and economically feasible for the inclusion level evaluated.

KEYWORDS: Feed; byproducts; *Acrocomia aculeata*; goats; ruminants

1. INTRODUÇÃO

As despesas com o manejo nutricional de caprinos no sistema de criação intensivo são superiores a 60%, sendo, de longe, o principal componente do custo de produção (Lopes e Ferreira, 2017).

Vários alimentos destinados à suplementação animal competem na cadeia da alimentação humana, tornando seu custo elevado e limitando a rentabilidade dos sistemas de produção. Cada vez mais, alimentos alternativos que possam substituir total ou parcialmente os tradicionais, especialmente para ruminantes, são avaliados. Subprodutos do processamento de frutas, farelo de cacau, casca de café, torta de dendê, entre outros, estão sendo estudados como opção para essa substituição (Vasconcelos et al., 2002; Silva et al., 2005; Pires et al., 2015). Porém, a viabilidade econômica para utilização desses subprodutos depende, primariamente, de sua disponibilidade regional.

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] é uma palmeira nativa das regiões tropicais das Américas sendo considerada a de maior dispersão na América latina (Crocomo e Melo, 1996; Henderson et al., 1997) e também no Brasil (Ratter et al., 2003), podendo ser cultivada em praticamente todo território brasileiro, haja vista sua adaptabilidade a várias condições ambientais (Pires et al., 2013). Seu fruto, produzido em abundância, é composto por casca tenaz e fibrosa, polpa fibrosa e com alto teor de óleo, endocarpo duro e denso e semente (amêndoa), com alto teor de óleo e proteínas.

Os óleos extraídos da polpa e amêndoa da macaúba despertam interesse cada vez maior de indústrias químicas, farmacêuticas e alimentícias (Coimbra e Jorge, 2011; Colombo et al., 2017), fazendo com que nos últimos anos várias

iniciativas, nacionais e estrangeiras, tenham investido no plantio comercial da macaúba no estado de Minas Gerais com vista à produção de óleo vegetal (Colombo et al., 2017).

O modelo de exploração que se desenha para a macaúba implica na geração de volume considerável de resíduos. De acordo com Evaristo et al. (2017) a polpa corresponde a quase 50% da massa do fruto. Após a extração do óleo, a torta da polpa constitui um dos principais resíduos gerados no processamentos dos frutos de macaúba Altino et al. (2017).

Trabalhos recentes tem demonstrado o uso potencial da torta da polpa da macaúba na alimentação de ruminantes (Azevedo et al., 2012; Azevedo et al., 2013; Rigueira et al., 2017). A ausência de fatores antinutricionais, geralmente encontrados em tortas ou farelos obtidos de outras fontes oleaginosas, como a soja, o amendoim, a canola e o girassol, entre outras, permite a utilização direta da torta da macaúba na alimentação animal, sem custos adicionais com processos de detoxificação (Grande e Cren, 2016). Portanto, a proposta deste estudo foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização da torta da polpa de macaúba na dieta de cabras em lactação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no setor de caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa durante o período de 27 de janeiro a 21 de fevereiro de 2018. Foram utilizadas 16 cabras adultas em torno do 120º dia de lactação, com massa corporal média de $57,3 \pm 2,0$ kg e produção média de leite de $2,8 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Os animais foram alojados em baias coletivas sendo oito animais/baia. As baias eram cobertas por cama de serragem, com água e sal ofertados *ad libitum*. Durante o período experimental os animais foram adaptados às dietas por sete dias. A ração utilizada foi composta de silagem de milho e concentrado com proporção volumoso e concentrado de 56:44, formulada segundo exigência de lactação (Cannas et al., 2007). Os tratamentos foram: Grupo 1: concentrado composto por farelos de milho e soja e, Grupo 2: concentrado composto por farelos de milho, soja e torta da polpa de macaúba (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Composição e porcentagem dos alimentos na dieta.

Alimento (%)	Grupo 1	Grupo 2
Silagem de Milho	41,67	41,19
Farelo de Soja	16,67	15,65
Farelo de milho	41,67	39,04
Torta da polpa de macaúba	-	4,12
Composição na matéria seca (%)	Grupo 1	Grupo 2
Proteína Bruta	14,8	14,4
Fibra em detergente neutro	30,1	31,1
Extrato Etéreo	3,8	4,2
Matéria Mineral	3,4	3,3
Carboidrato não estrutural	49	48,2

Grupo 1: concentrado composto por farelos de milho e soja e, Grupo 2: concentrado composto por farelos de milho, soja e torta da polpa de macaúba.

A torta de macaúba foi obtida após extração do óleo da polpa, feita por prensagem a frio. Em seguida, foi processada em moedor a fim de reduzir a granulometria e permitir sua mistura aos demais componentes da ração. As análises de matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente neutro e extrato

etéreo da torta da polpa de macaúba foram realizadas segundo protocolo estabelecido por Detmann et al., (2012) (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Composição química da torta da polpa de macaúba.

Componente	Quantidade (g.kg⁻¹)
Matéria Seca	869
Extrato Etéreo	125
Proteína Bruta	95
Fibra em detergente neutro	420

A silagem foi ofertada duas vezes ao dia, às 7 e 15 h, sempre após a ordenha, e o concentrado ofertado quatro vezes ao dia: 7, 12, 15 e 17 h. Nos períodos de alimentação cada tratamento recebeu em quantidade de matéria natural 13,5 kg de silagem e 3 kg de concentrado. No grupo 1 foram ofertados por baia 3 kg de concentrado composto de farelo de milho e soja, no grupo dois 2,8 kg de concentrado a base de farelo de milho e soja e 0,200 kg da torta de macaúba.

A produção leiteira foi mensurada uma vez por semana nos períodos de 6 e 14 h através de medidores na ordenha mecanizada, totalizando quatro controles por animal ao longo do período experimental. Para a composição do leite foram realizadas duas coletas em potes apropriados contendo Bronopol® (2-bromo-2-nitropropane-1,3-diol). As alíquotas foram representativas das duas ordenhas, sendo feitas leituras através do equipamento MilkoScan™ Minor (Foss, Dinamarca) para determinar a porcentagem de gordura, proteína, lactose e sólidos totais. O consumo foi contabilizado diariamente após o período de adaptação pela diferença entre o alimento ofertado e as sobras. Para controle da variação da massa corporal e ganho médio diário, os animais foram pesados

no 1º, 8º, 15º e 22º dia de experimento, após a ordenha e antes da primeira oferta de alimento do dia. A análise econômica da alimentação foi realizada com base no preço da silagem de milho, farelo de soja e farelo de milho e sem custos para torta de macaúba.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Para comparação das médias foi utilizado o teste Tukey a 5% de significância. Para as variáveis de consumo e econômica foram realizadas análises descritivas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONSUMO DA DIETA

A composição química torta da polpa macaúba apresenta potencial valor nutritivo, especialmente do ponto de vista energético, tendo em vista seu considerável teor de extrato etéreo (Tabela 4.2). As tortas de espécies oleaginosas como amendoim ou girassol vem sendo utilizadas na alimentação animal e tem proporcionado bons resultados devido às suas concentrações de proteína e extrato etéreo, que as caracterizam como alimentos proteicos e/ou energéticos, capazes de atender as exigências nutricionais destas frações pelos animais (Correia et al., 2011).

Nas dietas utilizando a torta da polpa de macaúba no concentrado, foi observada queda de 28,73% no consumo de silagem em relação aos animais alimentados somente com milho e soja no concentrado. Não houve sobras de concentrado em ambos os tratamentos (Figura 4.1).

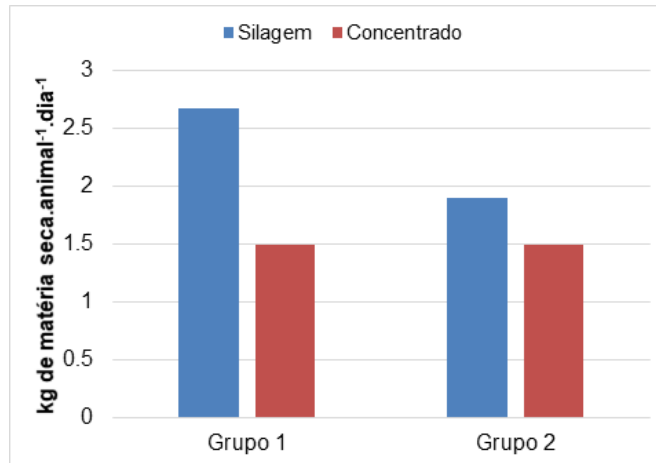


Figura 4.1 - Consumo de volumoso e concentrado de dietas utilizando ou não a torta da polpa de macaúba na dieta. Grupo 1: concentrado composto por farelos de milho e soja e, Grupo 2: concentrado composto por farelos de milho, soja e torta da polpa de macaúba.

O consumo total do concentrado contendo 4,12% de torta da polpa da macaúba demonstra boa aceitação dos animais pelo alimento, pois a cabra é classificada como seletiva intermediária sendo mais sensível a mudanças na composição da dieta que os demais ruminantes domésticos como a vaca e a ovelha (Hofmann, 1989). Fato confirmado por Morand-Fehr et al., (2007) em testes de cafeteria, onde os caprinos são capazes de rejeitar alimentos com nível de inclusão de 0,12% na dieta total.

A redução do consumo de volumoso pode ser atribuída à quantidade de óleo do subproduto. A torta da polpa de macaúba utilizada neste trabalho apresentava em média 12% de óleo. Os lipídios possuem alto valor calórico, cerca de 2,25 vezes maior que carboidratos. Quando alimentos com teores consideráveis de óleo são adicionados à ração, há um adensamento energético da dieta e redução no volume ingerido para suprir a demanda do animal.

A porcentagem de fibra da torta da polpa de macaúba é outro fator a ser considerado na redução do consumo de volumoso (Tabela 4.2), uma vez que é mais elevada no que o milho (13,97%) e no farelo de soja (15,46%) (CQBAL 3.0). Os carboidratos fibrosos possuem lenta taxa de degradação. O aumento deste componente na alimentação pode levar a um maior tempo de retenção da digesta e reduzir a capacidade de consumo do animal (Van Soest, 1994).

3.2 DESEMPENHO DOS ANIMAIS

Não houve diferença significativa no desempenho ($p>0,05$) de cabras que receberam o concentrado contendo torta de macaúba em comparação àquelas que receberam concentrado contendo somente milho e soja (Tabela 43).

A manutenção dos níveis de produção ao longo da lactação envolve diversas adaptações fisiológicas pela demanda nutricional, sendo necessária a oferta adequada de nutrientes. O aumento na ingestão de alimentos ocorre após o pico de produção. Neste período é possível atingir o equilíbrio entre a demanda e o aporte de nutrientes e estabelecer o balanço energético positivo (Bauman, 2000). As cabras apresentaram ganho de massa corporal, uma vez que o período experimental ocorreu após o pico de lactação. As dietas consumidas permaneceram em equilíbrio e proporcionaram a mesma média de produção e ganho médio diário (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Produção de leite e ganho médio diário de cabras alimentadas ou não com a torta de macaúba no concentrado.

Variáveis	Tratamentos		p-valor
	Grupo 1	Grupo 2	
Produção de leite (kg)	2,867	2,868	0,9917
Ganho médio diário (kg)	0,110	0,122	0,6860

Grupo 1: concentrado composto por farelos de milho e soja e, Grupo 2: concentrado composto por farelos de milho, soja e torta da polpa de macaúba.

O desempenho na lactação é dependente do aporte de nutrientes. O teor de lipídeos na torta da polpa da macaúba é um aspecto benéfico no fornecimento de energia e manutenção no nível de produção em comparação a concentrados contendo somente milho e soja (Tabela 4.3). Para vacas leiteiras a adição de 3,0 a 6,9% de lipídios na matéria seca aumentou a eficiência de utilização da energia (Chilliard, 1993). A mudança no aproveitamento da energia está ligada a ação antiprotozoário dos lipídeos visto que protozoários são responsáveis por até 37% do gasto energético através da metanogênese. Fato confirmado por Santos et al. (2017) que ao fornecer o subproduto da polpa de macaúba em níveis acima de 100 g.kg⁻¹ de matéria seca encontrou redução na população de protozoários.

A inserção de alimentos com considerável teor de lipídeos na dieta de ruminantes requer, entretanto, alguns cuidados; o excesso de gordura reduz a digestibilidade da fibra e produção de gordura no leite. O nível de inclusão de torta de macaúba na ração utilizado neste trabalho (100 g.animal⁻¹.dia⁻¹) não levou a prejuízos produtivos, uma vez que o teor de extrato etéreo na matéria seca se enquadra dentro do limite de 5 a 7% estabelecido por Palmquist e Jenkins (1980).

Apesar da elevada porcentagem de fibras na torta da polpa da macaúba, este não foi um fator limitante ao desempenho, possivelmente devido à quantidade fornecida e ao processamento físico do subproduto até granulometria semelhante ao dos alimentos concentrados padrão, de modo que não houve diferença no desempenho (Tabela 4.3). Uma das formas de reduzir o efeito de enchimento é através do processamento do alimento, facilitando a passagem pelo trato gastrointestinal (Van Soest, 1994), o que também foi relatado por Santos et al., (2017) em estudo com a torta da polpa de macaúba ofertada a ovinos, onde o consumo não foi alterado com o aumento na inclusão da torta da polpa de macaúba na dieta possivelmente devido ao processamento da torta, que reduziu o tamanho da partícula da fibra favorecendo o trânsito pelo trato digestório sem efeito de repleção ruminal.

Segundo Queiroga et al., (2009) uma vez que a passagem da digesta pelo rúmen é mais rápida em cabras que em vacas, efeitos negativos de uma dieta rica em óleos na digestão ruminal de fibras são menores em cabras. Este fato, tomado isoladamente, permite supor que maiores níveis de inclusão da torta da polpa de macaúba, alimento rico em óleo, seriam possíveis para cabras em lactação sem prejuízo na produção de leite.

A adição de 3,8% da torta da polpa macaúba na matéria seca não alterou o desempenho dos animais (Tabela 4.3). Vacas alimentadas com concentrados contendo até 40% de torta de polpa de macaúba, cerca de 7% na matéria seca total, não apresentaram prejuízo na produção de leite nem perda de peso (Sobreira, 2011). Já para ovinos, a inclusão de até 10% de torta da polpa de macaúba na matéria seca total em substituição ao milho na dieta mostrou-se técnica e economicamente viável (Azevedo et al., 2013). A diferença nas

recomendações pode ser ocasionada pela falta de padronização dos subprodutos, diferenças nos hábitos alimentares entre espécies, da associação de diferentes alimentos na ração, estágio e nível de produção.

3.3 COMPOSIÇÃO DO LEITE

Durante o período de lactação, alterações de lote ou nível energético das dietas podem ocasionar mudanças na produção e composição do leite após 2 a 4 dias (Risco e Melendez, 2011). A produção dos constituintes do leite está altamente correlacionada à quantidade de leite produzida e a composição da dieta. Alterações no conteúdo de proteína da dieta exercem efeito discreto na proteína do leite. A gordura da dieta, quando em porcentagens adequadas, também exerce relativamente pouco efeito sobre a gordura do leite (Reece, 2008). Não houve diferença estatística para composição do leite de cabras alimentadas ou não com a torta da macaúba ($p < 0,05$) (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Composição do leite.

Variáveis	Tratamentos		p-valor
	Grupo 1	Grupo 2	
Proteína (g.animal ⁻¹ .dia ⁻¹)	84,30	82,46	0,7839
Gordura (g.animal ⁻¹ .dia ⁻¹)	108,18	100,02	0,3356
Lactose (g.animal ⁻¹ .dia ⁻¹)	128,80	126,36	0,7814
Sólidos totais (g.animal ⁻¹ .dia ⁻¹)	349,32	336,32	0,5865

Grupo 1: concentrado composto por farelos de milho e soja e, Grupo 2: concentrado composto por farelos de milho, soja e torta da polpa de macaúba.

O sistema intensivo de exploração de cabras leiteiras tende a reduzir a razão volumoso/concentrado do alimento ofertado aos animais como forma de aumentar a produtividade. Entretanto esta prática geralmente leva à redução no

teor de gordura do leite (Morand-Fehr et al., 2007). Segundo Schmidely et al., (2004) com a inclusão de fontes lipídicas na ração, tal redução pode ser revertida. Ainda, de acordo com Inglingstad et al., (2017), também o perfil de ácidos graxos do leite pode ser alterado através da dieta; a inclusão de 8% de óleo de canola na matéria seca do concentrado oferecido à cabras no terço médio da lactação, resultou em leite com menor conteúdo de ácidos graxos livres e *off-flavors* e em maior teor de ácidos graxos insaturados em comparação com cabras que receberam o concentrado puro, sendo considerada vantajosa do ponto de vista da qualidade do leite.

Somando-se ao que foi exposto o fato de que cabras em lactação apresentam boa tolerância à adição de gorduras insaturadas à dieta (Chilliard et al., 2007), a torta da polpa de macaúba, dado o perfil graxo de seu óleo (Goulart, 2014) e considerável teor de extrato etéreo (Tabela 4.2), apresenta-se como uma boa alternativa ao sistema intensivo de produção, onde a alta produtividade deve estar aliada à manutenção de características desejáveis do leite.

A quantidade de gordura no leite não se alterou significativamente ($p < 0,05$) com a adição da torta de macaúba e (Tabela 4.4), possivelmente devido à pequena participação da torta no computo total da matéria seca ofertada (3,8%). Contudo, segundo Azevedo et al., (2013) uma maior inclusão da torta da macaúba na dieta de caprinos seria tecnicamente viável, podendo então promover tal alteração. Embora o perfil de ácidos graxos do leite não tenha sido avaliado neste trabalho, de acordo com Jenkins, (1998), a inclusão de óleo rico em ácido oleico (C18:1) na dieta dos animais leva ao aumento em sua proporção no perfil graxo do leite, melhorando sua qualidade nutricional.

A torta da polpa de macaúba poderia ainda substituir o sebo, hoje proibido, que pela sua composição, rico em ácidos graxos C18:1 e C16:0, como o óleo da polpa da macaúba, foi extensamente utilizado na alimentação de ruminantes por conferir ao leite qualidades nutricionais desejáveis (Chilliard et al., 2001b; a).

O teor de lactose não foi alterado com a utilização da macaúba. Segundo Madureira et., al (2017), este é o componente químico mais estável do leite, responsável pela regulação da pressão osmótica e consequentemente pela própria produção de leite. Os sólidos totais estão diretamente ligados à porcentagem de gordura, proteína e lactose, logo, como nenhum dos componentes químicos do leite apresentou diferença estatística entre os tratamentos esperava-se que esse componente mantivesse o mesmo padrão de resposta. Todos os tratamentos mantiveram os requisitos mínimos de qualidade do leite de cabra estabelecidos pela Instrução Normativa (IN) nº 37, quais sejam: teores mínimos de 0,6 a 2,9% para gordura; 2,8% para proteína; 4,3% para lactose e 8,2% para sólidos totais (Brasil, 2000).

3.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

A inclusão da torta da polpa da macaúba promoveu a redução dos custos com alimentação sem prejuízos na produção (Tabela 4.5). Resultado similar foi encontrado por Azevedo et al. (2012) com inclusão de 100 g kg⁻¹ de torta da macaúba na ração de cordeiros. Atualmente, não há mercado para a torta da polpa de macaúba, sendo essa um passivo para a indústria de processamento de óleo. Desta forma, a torta é obtida sem custos, resultando em redução direta do custo com concentrado, que é parcialmente substituído pela torta, e em redução indireta devido à diminuição no consumo de silagem (Figura 4.1). O

desenvolvimento da cadeia produtiva da macaúba certamente levará à valoração da torta da polpa, como ocorrido para outros alimentos alternativos como a polpa cítrica. Neste cenário, a viabilidade econômica do uso da torta de macaúba deverá ser reavaliada.

As tortas com elevado teor de gordura além de reduzirem diretamente os custos com alimentação, auxiliam na mitigação da produção de metano entérico, um dos principais causadores do efeito estufa, podendo, no futuro, render créditos de carbono à propriedade (Abdalla et al., 2008).

Tabela 4.5 - Composição do custo da alimentação e margem obtida com a venda do leite por animal.

Variáveis	Tratamentos	
	Concentrado	Concentrado + Macaúba
Consumo de silagem (kg.dia ⁻¹)	2,68	1,9
Consumo de concentrado (kg.dia ⁻¹)	1,5	1,4 + 0,1
Custo da silagem (kg*)	0,15	0,15
Custo do concentrado (kg**)	0,70	0,70
Custo/animal/dia (R\$)	1,45	1,26
Preço do litro do leite (R\$***)	1,68	1,68
Margem (R\$)	0,23	0,42

*Preço consultado no MFRURAL 20/02/2018. **Preço das commodities que compõe o concentrado segundo Scot Consultoria 20/02/2018. Calculado considerando a proporção dos componentes apresentados na Tabela 4.1. ***Preço de referência pago pela Caprileite em 20/02/2018.

Os caprinos apresentam vantagens em relação a outros ruminantes como a habilidade de manter a produção em condições de privação de água, baixa disponibilidade de alimentos e alimentos de baixa de qualidade, sendo mais resistentes que os bovinos. Desse modo são considerados como ruminantes do futuro ou superiores (Darcán e Silanikove, 2017). Logo, é de grande contribuição

o estudo de alimentos alternativos como a torta da polpa da macaúba para caprinos, levando se em conta, além do fator custo de produção, que a macaúba também é considerada uma espécie que se mantém produtiva sob condições restritivas à maioria das culturas.

4. CONCLUSÃO

A diversificação da composição da dieta de cabras em lactação, através da inclusão da torta da polpa de macaúba no concentrado, é uma alternativa tecnicamente viável para cabras no terço final de lactação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C. D.; GODOI, A. R. D.; CARMO, C. D. A.; EDUARDO, J. L. D. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPE, p. 260-268, 2008. ISSN 1516-3598.
- ALTINO, H. O.; COSTA, B. E.; DA CUNHA, R. N. Biosorption optimization of Ni (II) ions on Macauba (*Acrocomia aculeata*) oil extraction residue using fixed-bed column. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 5, n. 5, p. 4895-4905, 2017. ISSN 2213-3437.
- AZEVEDO, R.; RUFINO, L.; SANTOS, A.; JÚNIOR, R.; RODRIGUEZ, N.; GERASEEV, L. Comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com torta de macaúba. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, p. 490-496, 2013. ISSN 0102-0935.
- AZEVEDO, R. A.; ALMEIDA RUFINO, L. M.; SANTOS, A. C. R.; SILVA, L. P.; BONFÁ, H. C.; DUARTE, E. R.; GERASEEV, L. C. Desempenho de cordeiros alimentados com inclusão de torta de macaúba na dieta. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1663-1668, 2012. ISSN 1678-3921.
- BAUMAN, D. Regulation of nutrient partitioning during lactation: homeostasis and homeorhesis revisited. **Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction**, p. 311-328, 2000.
- BRASIL. **Regulamento Técnico de produção, identidade e qualidade do leite de cabra. Instrução Normativa nº 37 de 31 de outubro de 2000**. MAPA: Diário Oficial da União 2000.
- CANNAS, A.; TEDESCHI, L. O.; ATZORI, A. S.; FOX, D. The Small Ruminant Nutrition System: development and evaluation of a goat submodel. **Italian Journal of Animal Science**, v. 6, n. sup1, p. 609-611, 2007. ISSN 1828-051X.
- CHILLIARD, Y. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 12, p. 3897-3931, 1993. ISSN 0022-0302.
- CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; DOREAU, M. Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières: acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. **Productions Animales 5 (14), 323-335.(2001)**, 2001a.
- _____. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. **Livestock Production Science**, v. 70, n. 1, p. 31-48, 2001b. ISSN 0301-6226.

CHILLIARD, Y.; GLASSER, F.; FERLAY, A.; BERNARD, L.; ROUEL, J.; DOREAU, M. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, n. 8, p. 828-855, 2007. ISSN 1438-9312.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Characterization of the pulp and kernel oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of food science**, v. 76, n. 8, 2011. ISSN 1750-3841.

COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C.; DIAZ, B. G.; FERRARI, R. A. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL**, 2017. ISSN 2272-6977.

CORREIA, B.; OLIVEIRA, R. L.; JAEGER, S. M. P. L.; BAGALDO, A. R.; CARVALHO, G. G. P. D.; OLIVEIRA, G.; LIMA, F.; OLIVEIRA, P. Consumo, digestibilidade e pH ruminal de novilhos submetidos a dietas com tortas oriundas da produção do biodiesel em substituição ao farelo de soja. 2011. ISSN 0102-0935.

CROCOMO, O.; MELO, M. *Acrocomia* species (Macauba palm). In: (Ed.). **Trees IV**: Springer, 1996. p.3-17.

DARCAN, N. K.; SILANIKOVE, N. The advantages of goats for future adaptation to Climate Change: A conceptual overview. **Small Ruminant Research**, 2017. ISSN 0921-4488.

DETMANN, E.; SOUZA, M. D.; VALADARES FILHO, S. D. C.; QUEIROZ, A. D.; BERCHIELLI, T.; SALIBA, E. D. O.; CABRAL, L. D. S.; PINA, D. D. S.; LADEIRA, M.; AZEVEDO, J. Métodos para análise de alimentos. **Visconde do Rio Branco, MG: Suprema**, p. 214, 2012.

EVARISTO, A. B.; GOULART, S. D. M.; MARTINS, A. D.; PIMENTE, L. D.; GROSSI, J. A. S. Caracterização físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. **Revista Agrotecnologia**, v. 8, n. 2, p. 81-92, 2017. ISSN 2179-5959.

GOULART, S. D. M. Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GRANDE, S. C.; CREN, É. C. Demanda de proteínas vegetais: potencialidades e o diferencial dos farelos de macaúba (revisão). **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 2, n. 3, p. 190-214, 2016. ISSN 2527-1075.

HENDERSON, A.; GALEANO-GARCÉS, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas**. Princeton University Press, 1997. ISBN 0691016003.

HOFMANN, R. R. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. **Oecologia**, v. 78, n. 4, p. 443-457, 1989. ISSN 0029-8549.

INGLINGSTAD, R.; SKEIE, S.; VEGARUD, G.; DEVOLD, T.; CHILLIARD, Y.; EKNÆS, M. Feeding a concentrate rich in rapeseed oil improves fatty acid composition and flavor in Norwegian goat milk. **Journal of dairy science**, v. 100, n. 9, p. 7088-7105, 2017. ISSN 0022-0302.

JENKINS, T. Fatty Acid Composition of Milk from Holstein Cows Fed Oleamide or Canola Oil. **Journal of dairy science**, v. 81, n. 3, p. 794-800, 1998. ISSN 0022-0302.

LOPES, F. B.; FERREIRA, J. L. SENSIBILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA INTENSIVO E SEMI-INTENSIVO DA PRODUÇÃO EM CAPRINOS LEITEIROS: BENEFÍCIOS DOS FATORES TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS Economic sensitivity of intensive and semi-intensive dairy goats system: the benefits of tangibles and intangibles factors. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 11, n. 4, p. 403-411, 2017. ISSN 1981-4178.

MADUREIRA, K. M.; GOMES, V.; DE ARAÚJO, W. P. Características físico-químicas e celulares do leite de cabras Saanen, Alpina e Toggenburg. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 24, n. 1, 2017. ISSN 1984-7130.

MORAND-FEHR, P.; FEDELE, V.; DECANDIA, M.; LE FRILEUX, Y. Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. **Small Ruminant Research**, v. 68, n. 1, p. 20-34, 2007. ISSN 0921-4488.

PALMQUIST, D.; JENKINS, T. Fat in Lactation Rations^{1, 2}. **Journal of dairy science**, v. 63, n. 1, p. 1-14, 1980. ISSN 0022-0302.

PIRES, A. J. V.; JÚNIOR, J. N. D. C.; DA SILVA, F. F.; VELOSO, C. M.; DE SOUZA, A. L.; DE OLIVEIRA, T. N.; DOS SANTOS, C. L.; DE CARVALHO, G. G. P.; BERNARDINO, F. S. Farelo de cacau na alimentação de ovinos. **Ceres**, v. 51, n. 293, 2015. ISSN 2177-3491.

PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013. ISSN 0926-6690.

QUEIROGA, R.; FERNANDES, M.; MEDEIROS, A.; COSTA, R.; OLIVEIRA, C.; BOMFIM, M.; GUERRA, I. Physicochemical and sensory effects of cotton seed and sunflower oil supplementation on Moxotó goat milk. **Small Ruminant Research**, v. 82, n. 1, p. 58-61, 2009. ISSN 0921-4488.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh journal of botany**, v. 60, n. 01, p. 57-109, 2003. ISSN 1474-0036.

REECE, W. O. **Anatomia funcional e fisiologia dos animais domésticos**. Editora Roca, 2008. ISBN 8572417397.

RIGUEIRA, J. P. S.; MONÇÃO, F. P.; DE SALES, E. C. J.; DOS REIS, S. T.; ALVES, D. D.; DE AGUIAR, A. C. R.; JÚNIOR, V. R. R.; CHAMONE, J. A. Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba. **Unimontes Científica**, v. 19, n. 2, p. 62-72, 2017. ISSN 2236-5257.

RISCO, C.; MELENDEZ, P. **Dairy production medicine**. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 0470960523.

SANTOS, A. C. R. D.; AZEVEDO, R. A. D.; JÚNIOR, V.; FERREIRA, G.; RODRIGUEZ, N. M.; DUARTE, E. R.; GERASEEV, L. C. Effects of macauba cake on profile of rumen protozoa of lambs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 3, p. 251-256, 2017. ISSN 1516-3598.

SCHMIDELY, P.; MORAND-FEHR, P.; TESSIER, J.; ROUZEAU, A. Effect of extruded soyaseed on reversion of fat and protein percentage and fatty acid composition of goat milk. FAO-CIHEAM Seminar on Nutrition and Feeding Strategies of Sheep and Goats Under Harsh Climates. Options Méditerranéennes, Serie A, No. 59, 2004. p.91-93.

SILVA, H. G. D. O.; SILVA, F. F. D.; VELOSO, C. M.; CARVALHO, G. G. P. D.; SANTOS, C. C.; CEZÁRIO, A. S.; PIRES, A. J. V. Farelo de cacau (*Theobroma cacao* L.) e torta de dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq) na alimentação de cabras em lactação: consumo e produção de leite. 2005. ISSN 1806-9290.

SOBREIRA, H. F. Resíduos do coco da macaúba em substituição parcial ao milho e farelo de soja em rações para vacas mestiças lactantes. 2011. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. cornell university Press, 1994. ISBN 080142772X.

VASCONCELOS, V. R.; LEITE, E. R.; ROGÉRIO, M. C. P.; PIMENTEL, J. C. M.; NEIVA, J. N. M. Utilização de subprodutos da indústria frutífera na alimentação de caprinos e ovinos. **Embrapa Caprinos e Ovinos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2002. ISSN 1676-7659.

CONCLUSÃO GERAL

O uso dos inibidores de síntese e ação do etileno AVG e 1-MCP não são capazes de alterar os padrões de evolução de CO₂ e etileno dos frutos ou garantir a manutenção da qualidade do óleo da polpa ao longo do armazenamento.

A colheita tardia dos frutos garante maior rendimento de óleo da polpa. Além disso, a colheita tardia confere ao óleo melhor qualidade e maior estabilidade à degradação durante o armazenamento.

O armazenamento refrigerado dos frutos promove a manutenção dos parâmetros de qualidade de óleo por maior período de tempo que os tratamentos de secagem, ozonização e aplicação de 1-MCP. Entretanto, nenhum dos tratamentos é capaz de garantir a manutenção dos parâmetros de qualidade dentro dos limites estabelecidos por norma para o óleo possa ser classificado como azeite extra virgem em frutos armazenados por mais que 2 semanas.

A elevação da acidez do óleo é o fator limitante ao armazenamento dos frutos por maior período.

A inclusão da torta da polpa de macaúba na dieta de cabras leiteiras em final de lactação é tecnicamente viável.