

**JOÃO BOSCO DA SILVA JÚNIOR**

**VARIAÇÃO SAZONAL NO TEOR DE ÓLEO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS  
DE SEMENTES DE *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson  
(CLEOMACEAE) E *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (CAPPARACEAE)**

**RECIFE**

**2022**

**JOÃO BOSCO DA SILVA JÚNIOR**

**VARIAÇÃO SAZONAL NO TEOR DE ÓLEO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS  
DE SEMENTES DE *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson  
(CLEOMACEAE) E *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (CAPPARACEAE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Biologia Vegetal (PPGBV) da Universidade Federal de  
Pernambuco como parte dos requisitos necessários para  
a obtenção da titulação de Doutor em Biologia Vegetal.

**Orientador:** Prof. Dr. Antônio Fernando M. de Oliveira (UFPE)

**Coorientadora:** Profa. Dra. Suzene Izídio da Silva (UFRPE)

**Área de concentração:** Ecologia e Conservação

**Linha Transversal:** Botânica Aplicada e Etnobotânica

**RECIFE**

**2022**

Catálogo na Fonte:  
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB4/1788

Silva Júnior, João Bosco da

Varição sazonal no teor de óleo e perfil de ácidos graxos de sementes de *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson (Cleomaceae) e *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (Capparaceae) / João Bosco da Silva Júnior. – 2022.

128 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Fernando M. de Oliveira.

Coorientadora: Profa. Dra. Suzene Izídio da Silva

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Recife, 2022.

Inclui referências e anexos.

1. Plantas. 2. Ácidos graxos. 3. I. Oliveira, Antônio Fernando M. de (orientador). II. Silva, Suzene Izídio da (coorientadora). III. Título.

581.35

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2022-117

**JOÃO BOSCO DA SILVA JÚNIOR**

**VARIAÇÃO SAZONAL NO TEOR DE ÓLEO E PERFIL DE ÁCIDOS  
GRAXOS DE SEMENTES DE *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson  
(CLEOMACEAE) E *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (CAPPARACEAE)**

**APROVADA EM: 22 de fevereiro de 2022**

**BANCA EXAMINADORA\***

**Prof. Dr. Antônio Fernando Morais de Oliveira Departamento de Botânica  
(UFPE) Orientador**

**Profa. Dra. Laíse de Holanda Cavalcanti Andrade Departamento de  
Botânica (UFPE) Avaliador Interno**

**Prof. Dr. Marciel Teixeira de Oliveira  
Departamento de Botânica (UFPE)  
Avaliador Interno**

**Profa. Dra. Deborah Yara Alves Cursino dos Santos Departamento de  
Botânica (USP) Avaliador Externo**

**Prof. Dr. Luiz Oliveira da Costa Filho Escola de Saúde e Ciências da Vida  
(UNICAP) Avaliador Externo**

\* Participação dos membros da banca por videoconferência

A Deus.

A energia que vem do sol é necessária para a vida. E esse conhecimento provavelmente foi o que conduziu muitas civilizações desde os primórdios da humanidade a cultuarem o sol.

Assim como o sol é a fonte de energia para os seres vivos, Jesus Cristo (*Yeshua Há' Maschia* em hebraico= Salvação), tem entre outros nomes, também o de “ O Sol da Justiça”. E para os cristãos, todo àquele que se abriga em Jesus e o confessa como Salvador e Senhor da sua Vida, seguindo os seus mandamentos, encontra “Nele” a fonte da Vida Eterna.

Assim quando essa energia (A Revelação de Cristo) é absorvida pelo homem, ele passa, como as plantas que transformam a energia solar em alimento para todos os seres vivos, a ser suprido do alimento espiritual que sacia a fome e a sede de sua alma encontrando o verdadeiro sentido e propósito para a sua vida. E então, ocorre a Restauração da comunicação entre ele (o homem) e o Deus criador. E ele volta a invocar o nome do Senhor, reestabelecendo o culto através da adoração, oração e louvor ao Eterno!

Por isso, sou grato ao Deus único e Pai de Nosso Senhor Jesus Cristo por me fazer chegar até aqui. Ele me fortaleceu para superar as dificuldades, provações, limitações e perigos, transformando as adversidades em experiências para meu crescimento pessoal e profissional. Pude sentir o, ao longo dessa caminhada o que falou o Profeta Isaías: Eis que a mão do SENHOR não está encolhida, para que não possa salvar; nem agravado o seu ouvido, para não poder ouvir.

Concluo dedicando a Deus esse trabalho, porque ele é o Motivo da Minha Vitória!

“Imutável Deus, igual a Ti não há outro!!!

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, porque Ele me tem feito chegar até aqui, tem nos sustentado, tem nos dado a vida e isso já é um motivo de agradecer. A Deus toda a Honra, a Glória e o Louvor, hoje e Sempre.*

*Ao Professor Antônio Fernando Morais de Oliveira, pela orientação prestimosa, amizade e auxílio em todas as etapas de minha formação profissional, durante esses seis anos. Também agradeço a Professora Suzene Izídio da Silva, pela coorientação e amizade.*

*Aos meus prezados professores do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (PPGBV), por ter contribuído na minha formação profissional e aos funcionários Felipe Tadeu de Hollanda Costa e Soraya Liberalquino Melo. Aos prezados colegas de outros programas de pós-graduação da UFPE, e parceiras realizadas com alguns laboratórios da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Aos meus prezados colegas de da Turma 2018.1 do PPGBV e do Laboratório de Ecologia Aplicada e Fitoquímica (LEAF - UFPE), pela amizade e convivência nestes anos. Aos amigos do Grupo de Estudo Bíblico de Botânica: As Professoras Sarah Athiê e Margareth Ferreira de Sales; Rafaela e Ednaldo; Joesly, Marcos José da Silva, Alícia e demais amigos.*

*Aos meus pais, João Bosco da Silva e Yolanda Maria de Moura Silva, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando e orientando. Meu pai me acompanhou em inúmeras viagens de coleta. Passamos juntos por muitas coisas, desde livramentos a experiências maravilhosas; ele mais que ajudou nas coletas. Minha mãe, a cujas orações a Deus por livramentos foram ouvidas. A eles meu sincero agradecimento.*

*À Janaína Luiza Simões dos Santos, que me aconselha, me consola, sempre está orando e torcendo por mim; se preocupava quando viajava a campo. Eu a amo de verdade e agradeço a Deus porque cada dia esse amor tem aumentado na nossa vida.*

*A meus familiares, tios, primos e primas, padrinhos e amigos de Recife, Serra Talhada, Petrolina e Juazeiro da Bahia. Eles sempre me apoiaram quando eu fui para estas cidades, para coletas e congressos; e isso não vou esquecer jamais.*

*Aos meus amigos Fernando e Lena, Marcos, Gomes, Matheus, Darlan, Fábio, Dayan, Samuel, Hudson, Jonas, Adiel, Lucas, Jaine, Isaque, Paulo, Levi, João e Família, César, Luzia, Elcio, Vera Prestanista, Cleto; aos Pastores Cícero e Marcílio; a Sônia,*

*Cris, Paulo Calculista, aos professores de ontem e hoje do EREM Ernesto Silva; aos colegas de trabalho, coordenação e gestão da EREM Escritor José de Alencar. A todos meus sinceros agradecimentos.*

*A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.*

“Mas um samaritano, que ia de viagem, chegou ao pé dele e, vendo-o, moveu-se de íntima compaixão; E, aproximando-se, atou-lhe as feridas, deitando-lhes azeite e vinho; e, pondo-o sobre o seu animal, levou-o para uma estalagem, e cuidou dele; E, partindo no outro dia, tirou dois dinheiros, e deu-os ao hospedeiro, e disse-lhe: Cuida dele; e tudo o que de mais gastares eu to pagarei quando voltar. Qual, pois, destes três te parece que foi o próximo daquele que caiu nas mãos dos salteadores? E ele disse: O que usou de misericórdia para com ele. Disse, pois, Jesus: Vai, e faze da mesma maneira” Lucas 10:33-37,34 d.C, P. 99.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de alguns dos parâmetros climáticos no teor de óleo e no perfil de ácidos graxos de *Tarenaya longicarpa* (Cleomaceae) e *Cynophalla flexuosa* (Capparaceae), com ampla distribuição geográfica. O teor de óleo de sementes de *T. longicarpa* variou de 15,4% a 42,9% entre as localidades de Recife (Floresta Atlântica), Caruaru (Agreste) e Serra Talhada (Sertão), e, nestas, entre os períodos seco e chuvoso de coleta. Sementes de *T. longicarpa* produzem menos óleo sob menor regime pluviométrico e maior temperatura. Entretanto, as análises de correlação e de multivariadas (PCA e UPGMA) mostraram que o teor de óleo e o perfil de ácidos graxos de sementes de *T. longicarpa* foram correlacionados apenas com a temperatura. O ácido linoleico foi principal ácido graxo identificado. O ácido palmítico, um ácido graxo saturado, foi positivamente correlacionado com a temperatura, enquanto o ácido oleico, um ácido graxo insaturado, foi negativamente correlacionado com esta. Com relação a *C. flexuosa*, o teor médio de óleo de variou de 15,59% a 22,74% entre os indivíduos ocorrentes na Restinga (Conde, estado da Paraíba) e Caatinga (Caruaru e Serra Talhada, estado de Pernambuco), mas estes achados não foram significativos. Os ácidos graxos obtidos das sementes dos indivíduos ocorrentes no Conde foram predominantemente saturados com elevado teor de ácido palmítico (56,46%) e levemente insaturado com predomínio do ácido oleico (40 a 44%) nas sementes oriundas da Caatinga. Análises de clusters mostraram que o perfil de ácidos graxos de *C. flexuosa* separa os indivíduos dentro e entre as localidades. Análises de correlação e PCA indicaram que a altitude, temperatura mínima, longitude e latitude influenciaram a composição de ácidos graxos. Esses achados demonstram que fatores ambientais similares regulam a biossíntese de ácidos graxos de maneira diferente entre as espécies analisadas. Biotecnologicamente, os óleos de *T. longicarpa* e *C. flexuosa* possuem uma composição adequada ao aproveitamento alimentício e para a indústria de biodiesel. O óleo obtido das sementes *C. flexuosa* provenientes da Restinga, com alto conteúdo do ácido palmítico, ainda é adequado ao aproveitamento na indústria de sabão e detergentes.

**Palavras-chave:** Brassicaceae; Cleomaceae; *Cynophalla flexuosa*; *Tarenaya longicarpa*; Sazonalidade; Fatores climáticos.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of some climatic parameters (e.g., altitude, latitude, longitude, precipitation, and temperature) on the oil content and fatty acid profile of *Tarenaya longicarpa* (Cleomaceae) and *Cynophalla flexuosa* (Capparaceae), Brazilian species with wide geographic distribution. The oil content of *T. longicarpa* seeds varied from 15.4% to 42.9% in the locations Recife, Caruaru and Serra Talhada, and, in these sites, they varied between collections during the dry and rainy seasons. *Tarenaya longicarpa* seeds produced less oil under lower rainfall and higher temperature. However, correlation and multivariate analyses (PCA and UPGMA) showed that the oil content and the fatty acid profile of *T. longicarpa* seeds were correlated only with temperature. Linoleic acid was the main fatty acid identified. The content of palmitic acid, a saturated fatty acid, was positively correlated with temperature, while the content of oleic acid, an unsaturated fatty acid, was negatively correlated with temperature. With regard to *C. flexuosa*, the mean oil content ranged from 15.59% to 22.74% among individuals occurring in Restinga (Conde, state of Paraíba) and Caatinga (Caruaru and Serra Talhada, state of Pernambuco), but differences between sites were not statistically significant. The fatty acids obtained from the seeds of individuals occurring in Restinga were predominantly saturated, with a high content of palmitic acid (56.46%), while those of seeds from Caatinga were slightly unsaturated, with a predominance of oleic acid (40 to 44%). The cluster analysis (UPGMA) showed that the fatty acid profile of *C. flexuosa* separated individuals within and between localities. The correlation and PCA analyses indicated that climatic parameters such as altitude, minimum temperature, longitude, and latitude influenced the fatty acid composition. These findings demonstrate that such environmental factors regulate the fatty acid biosynthesis of the analyzed species in a different way. Biotechnologically, the oils of *T. longicarpa* and *C. flexuosa* have a composition suitable for food use and for the biodiesel industry. The oil obtained from *C. flexuosa* seeds from Restinga, with a high content of palmitic acid, is also suitable for use in the soap and detergent industry.

**Keywords:** Brassicaceae; Cleomaceae; *Cynophalla flexuosa*; *Tarenaya longicarpa*; Climatic factors; Seasonality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de alguns lipídios encontrados em plantas e animais.....	18
Figura 2 - Reações enzimáticas iniciais da biossíntese de ácidos graxos, segundo Nelson e Cox (2011) .....	20
Figura 3 - Vias de síntese de ácidos graxos ocorrentes nas plantas de Brassicaceae.....	22
Figura 4 - Aspecto geral de <i>Tarenaya longicarpa</i> Soares Neto & Roalson.....	40
Figura 5 - Aspecto geral de <i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais ácidos graxos encontrados em fontes vegetais.....	20
Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos e teor de óleo de sementes de espécies do gênero <i>Cleome</i> .....	40
Tabela 3 - Perfil de ácidos graxos e teor de óleo de sementes de espécies do gênero <i>Capparis</i> .....	44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 LIPÍDIOS.....	17
2.2 ÁCIDOS GRAXOS.....	18
2.3 IMPORTÂNCIAS DOS ÓLEOS E GORDURAS VEGETAIS.....	23
2.4 PARÂMETROS CLIMÁTICOS QUE INFLUENCIAM O TEOR DE ÓLEO DE SEMENTES E A COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS.....	31
<b>3 ESPÉCIES ESTUDADAS.....</b>	<b>37</b>
3.1 <i>Tarenaya longicarpa</i> Soares Neto & Roalson.....	38
3.2 <i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl.....	42
<b>4 ARTIGOS.....</b>	<b>49</b>
4.1 ARTIGO 1 - SEASONAL VARIATION IN SEED OIL CONTENT AND FATTY ACID PROFILE OF <i>Tarenaya longicarpa</i> (Cleomaceae), AN EMERGING OIL CROP.....	50
4.2 ARTIGO 2 - VARIAÇÃO NO TEOR DE ÓLEO E COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS DE <i>Cynophalla flexuosa</i> (CAPPARACEAE) EM ÁREAS CLIMATICAMENTE DISTINTAS.....	79
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>114</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	
<b>ANEXO A - NORMAS DA REVISTA JOURNAL OF AMERICAN OIL CHEMIST'S SOCIETY.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO B - ANEXO B-NORMAS DA REVISTA JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP SCIENCE.....</b>	<b>128</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os óleos e gorduras se constituem nos principais lipídios de sementes e de frutos; sendo formados basicamente por mono, di ou triglicerídeos; formados por uma, duas ou três moléculas de ácidos graxos esterificados a uma molécula de glicerol, respectivamente. Os óleos e gorduras são as matérias prima para diversos setores da indústria, com destaque para a de alimentos, sabões e detergentes, cosméticos, de tintas e de biocombustíveis (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007).

A biossíntese de ácidos graxos e conseqüentemente a composição de lipídios nas plantas tendem a ser influenciados pela temperatura (Rotundo & Westgate, 2009), a precipitação (Pritchard et al., 2000;), umidade (Omidi et al., 2010), altitude (Baye & Becker, 2005), salinidade (Reiahisamani et al., 2018); e por fatores extrínsecos a planta, como nutrientes no solo (Chaffai et al., 2007; Pasandi et al., 2018).

Em plantas de interesse econômico, como a soja, o milho, a canola e o girassol, a influência de parâmetros ambientais sobre a composição lipídica de sementes é bem analisada (Rotundo & Westgate, 2009; Palacios et al., 2019; Grunvald et al., 2013). Porém, para plantas silvestres potencialmente oleaginosas, pouco se conhece sobre estes efeitos.

Dessa forma, este trabalho objetiva analisar como parâmetros ambientais podem influenciar o teor de óleo e a composição de ácidos graxos de sementes de duas espécies nativas e bem distribuídas na região Nordeste do Brasil: o mussambê (*Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson (Cleomaceae) e o feijão-bravo (*Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (Capparaceae). A primeira é anual e habita locais úmidos e terrenos antropizados (Soares Neto et al., 2019); a segunda é perene e encontrada desde os ecossistemas costeiros e Floresta Atlântica até a Floresta Sazonalmente Seca (Neto et al., 2014; Soares Neto; Jardim, 2015). Estas espécies estão dentro de Brassicales e conhecidas pelo uso medicinal e forrageiro (Almeida Neto et al., 2011; Albarello et al., 2013; Bezerra et al., 2019), mas pouco se conhece do perfil lipídico, teor de óleo e biossíntese de ácidos graxos.

As espécies em estudo foram escolhidas para esta tese, a partir dos resultados de um levantamento prévio feito com espécies potencialmente oleaginosas do Nordeste do Brasil, que ocorressem em pelo menos três regiões geoclimáticas (Floresta Atlântica ou Restinga, floresta seca brasileira sazonalmente seca de transição-Agreste; e floresta seca

brasileira sazonalmente seca- Sertão). As três regiões possuem diferenças morfoclimáticas, ainda que duas das três regiões sejam de mesmo bioma.

O primeiro capítulo da tese intitulado “Variação sazonal no teor de óleo de semente e perfil de ácidos graxos da *Tarenaya longicarpa* (Cleomaceae), uma oleaginosa emergente” aborda a variação sazonal, estações seca e chuvosa, no teor de óleo e na composição química de sementes de *T. longicarpa* ocorrentes em três localidades do estado de Pernambuco. As potencialidades do uso do óleo desta espécie também são discutidas.

O Segundo capítulo intitulado “Variação no teor de óleo e composição de ácidos graxos de *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (Capparaceae)” também foca na influência de parâmetros ambientais sobre a produção do óleo de *C. flexuosa*, mas, por se tratar de uma espécie relacionada a Brassicaceae, seu perfil de ácidos graxos foi comparado com *Brassica napus* L. (colza) e *Capparis spinosa* L. (alcaparra), a partir da literatura, assim suas possíveis potencialidade nutricionais são destacadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

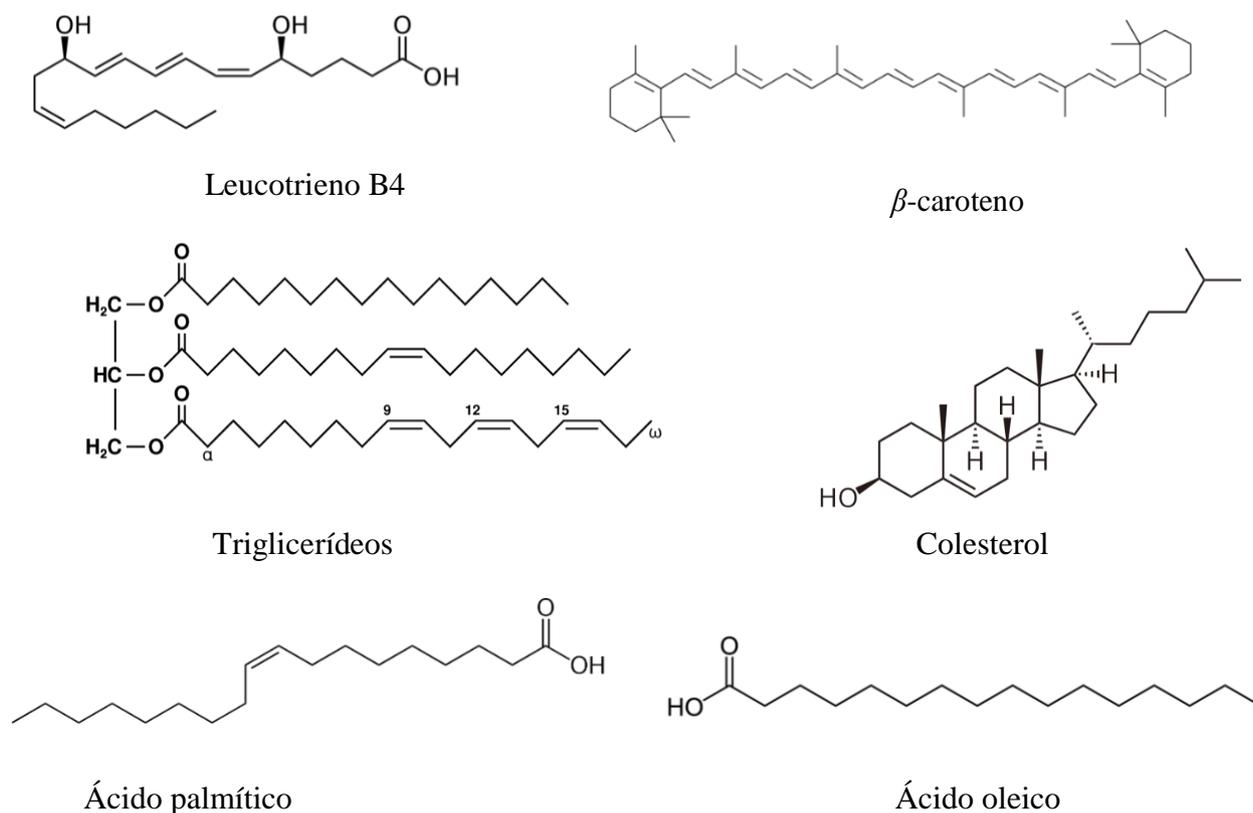
### 2.1 LIPÍDIOS

Lipídios são compostos primários hidrofóbicos estando representados pelos triglicerídeos, fosfolipídios, esfingolipídios, carotenoides e aqueles que constituem as ceras cuticulares. Funcionalmente, participam na constituição da membrana plasmática (fosfolipídios), atuam como hormônios (colesterol), nas respostas inflamatórias (leucotrienos), participam da fotossíntese (carotenoides), além de atuarem como substâncias de reserva em sementes, os chamados triglicerídeos (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007).

Os lipídios podem ser encontrados livres nas células e na forma de óleos e gorduras, originando os glicerídeos (mono, di e tri). Estes são formadas pela ligação de 1 ou até 3 moléculas de ácidos graxos com uma molécula de glicerol, eliminando 3 moléculas de água (FLOSS, 2008). Quando há apenas um ácido graxo ligado ao glicerol o lipídio é chamado monoglicerídeo, se dois ácidos estão ligados, é chamado diglicerídeo; e se três, triglicerídeos (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007).

Os lipídios encontrados em plantas e animais podem estar na forma de óleos (estado físico líquido a 25 oC, com predomínio de ácidos graxos insaturados) ou gordura ou “sebo” (estado físico sólido a 25 oC, com predomínio de ácidos graxos saturados). Assim, quanto mais insaturação, menor será o ponto de fusão do ácido graxo e menos sólido este será (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007).

A figura a seguir ilustra alguns tipos de lipídios.



**Figura 1.** Exemplos de alguns lipídios encontrados em plantas e animais. Fonte: O Autor (2021)

## 2.2 ÁCIDOS GRAXOS

Os ácidos graxos são moléculas de cadeias normais (n), às vezes, ramificadas, ligados a um ou mais radical carboxila (COOH). Os ácidos graxos são classificados de acordo com a presença e número de insaturações, sendo divididos em saturados (cadeia linear, sem insaturações) ou insaturados (com uma insaturação - monoinsaturado; com duas ou mais insaturações - poli-insaturados) (Floss, 2008; Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007). A presença de insaturações confere à molécula menor estabilidade e resistência à oxidação, o que não é desejável para produtos com finalidade alimentícia, pois os ácidos podem sofrer oxidações e deteriorações, o chamado “ranço”.

Os principais ácidos graxos comuns, saturados e insaturados, encontrados nos vegetais, são mostrados na Tabela 1. Além destes, há alguns ácidos graxos classificados como incomum devido a sua baixa distribuição, como o valérico ou pentanóico (C5:0), o capríco ou hexanóico (C6:0), caprílico ou octanóico (C8:0) e cáprico ou decanóico (C10:0), que são encontrados em animais. Em plantas um dos ácidos graxos classificados como incomum é o ácido ricinoleico encontrado nas sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). Ácidos graxos mono e/ou poli-insaturados acima de 20 átomos de carbono também são considerados incomuns e somente existem em famílias específicas (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007) como o ácido gadoléico (C20:1) presente em Sapindaceae (Coutinho et al., 2015).

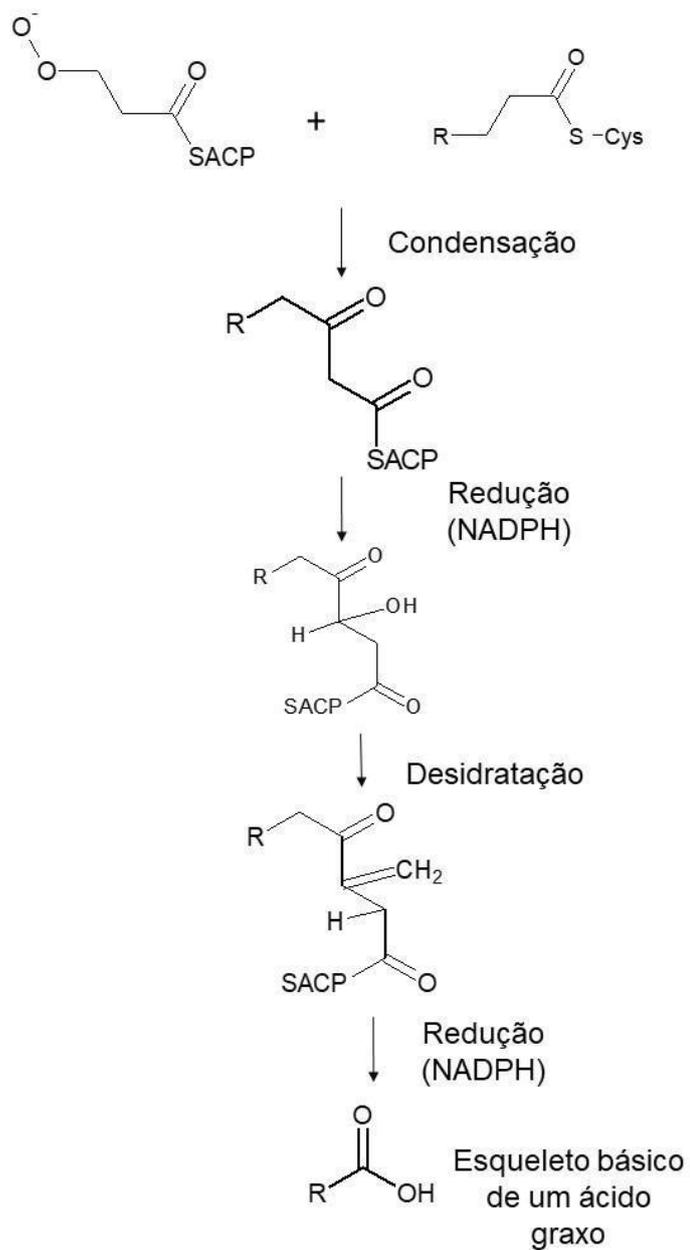
A biossíntese de ácidos graxos geralmente ocorre nos plastídios e retículo endoplasmático de vários órgãos, incluindo aqueles em desenvolvimento (Floss, 2008). A biossíntese ocorre por meio de um sistema responsável pelo alongamento da cadeia e outro pela formação de ligações insaturadas. A biossíntese começa pela conversão da acetil-coenzima A (Acetil-CoA) em Malonil-CoA por meio da enzima acetil-CoA-Carboxilase (Figura 2). O malonil é convertido em ácido graxo por meio da enzima ácido graxo sintase (FAS) em quatro sistemas de reações enzimáticas:

1- Condensação: Onde o grupo acetil da molécula se une com o radical malonil, havendo a liberação de uma molécula de CO<sub>2</sub>; a ação é sintetizada pela enzima Cetoacetil-ACP;

2- Redução: O radical  $\beta$ -cetônico formado na reação do malonil com o acil é reduzido a um álcool e uma molécula de NADPH<sup>+</sup> é reduzida a NADP<sup>+</sup>; por meio da  $\beta$ -cetoacil-ACP-Redutase;

3- Desidratação: ocorre a eliminação de uma molécula de água, formando uma ligação dupla, por meio da  $\beta$ -hidroxiacil-ACP-desidratase;

4- Nova redução: A ligação dupla é reduzida, formando o grupo acil saturado correspondente, por meio da Enoil-ACP-Redutase (Nelson & Cox, 2011)



**Figura 2.** Reações enzimáticas iniciais da biossíntese de ácidos graxos, segundo Nelson e Cox (2011). Fonte: O Autor (2021).

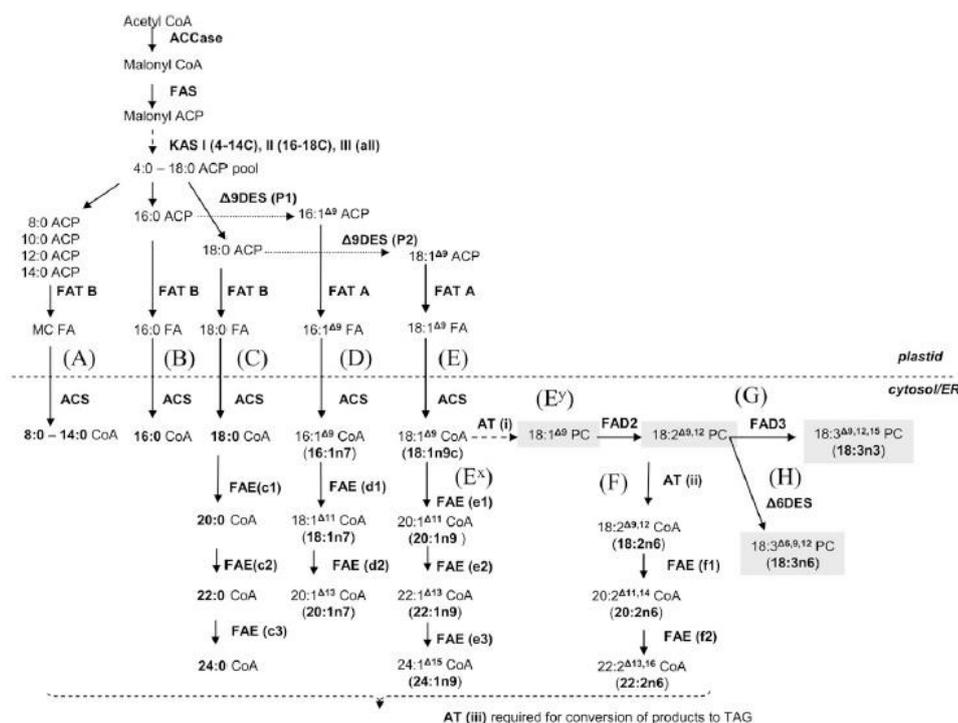
Tabela 1. Principais ácidos graxos encontrados em fontes animais e vegetais.  
 Fonte: Floss (2008); Nelson e Cox (2011).

<b>Ácidos graxos saturados</b>			
<b>Nome comum</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Nº de carbonos</b>	<b>Fontes</b>
Butírico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	4	Manteiga e silagem
Caprílico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	8	Coco e palma
Láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	12	Grãos
Mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	14	Coco
Palmitico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	16	Palma
Estearico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	18	Castanha
Araquídico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	20	Amendoim
Behênico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	22	Canola
Lignocérico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	24	Amendoim
<b>Ácidos graxos insaturados</b>			
<b>Nome comum</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Nº de carbonos</b>	<b>Fontes</b>
Palmitoleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	16	Todas as gorduras
Oleico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18	Todas as gorduras
Linoleico	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH})(\text{CH}_2)_2(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18	Óleo de linho
Linolênico	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18	Óleo de ninho, canola e oliva.
Araquidônico	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_4(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	20	Amendoim
Erúcico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	22	Mostarda, Colza.

Após a formação de um ácido carboxílico de 4 átomos de carbono, o alongamento se inicia com a participação da proteína acil transportadora (ACP), originando ácidos graxos saturados com número par de átomos de carbono. A formação de ácidos graxos

insaturados ocorre pela participação de enzimas chamadas de dessaturases. A esteaoril-ACP Desaturase (SAD) é a enzima responsável pela conversão do ácido esteárico (C18:0) em ácido oleico (C18:1). Este pode ser convertido no ácido linoleico (18:2) pela atividade da Oleoil-fosfatidilcolina dessaturase 2 (FAD2). Este último pode ser convertido ácido linolênico (C18:3) pela ação da enzima Oleoil-fosfatidilcolina dessaturase 3 (FAD3). Assim para cada ácido graxo saturado, pode haver uma enzima responsável pela sua insaturação (Nelson & Cox, 2011; Rolletschek et al., 2007). A Figura 3 mostra o esquema de síntese, alongamento e dessaturação de ácidos graxos em sementes de plantas de Brassicaceae.

Com relação ao glicerol, a sua origem vem diretamente do gliceraldeído 3-fosfato, primeiro subproduto da glicólise. Os fosfatos são removidos e os radicais carbonilas são substituídos por três hidroxilas; depois recebe novamente os fosfatos. A reação de substituição é realizada pela enzima glicerol-3-fosfato desidrogenase e uma redução do NADH+ para NAD+. Após a síntese, os fosfatos são retirados e a molécula de glicerol se liga a três moléculas de ácidos graxos por meio de uma síntese por desidratação, formando mono, di ou triglicerídeos (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007; Floss, 2008).



**Figura 3.** Vias de síntese de ácidos graxos ocorrentes nas plantas de Brassicaceae. As linhas tracejadas indicam caminhos de várias etapas, enquanto as caixas sombreadas

indicam etapas inferidas. Letras maiúsculas entre parênteses indicam as possíveis vias pelos quais os triacilgliceróis podem ser produzidos após a síntese de ACP no plastídio. Estas letras são usadas para diferenciar as vias (A-H), conforme descrito nesta figura. Anotações de sufixo entre parênteses após o nome da enzima foram adicionadas para simplificar a descrição dessas enzimas nesta figura. Legenda: ACCase- Acetil- COA Carboxilase; FA-ácido graxo; SAF- ácido graxo sintase; FAT-tioesterase; DES- dessaturase; ACP- Ácido graxo; ACS- Acetil-Coa sintetase; MC-Cadeia média; AT- acil transferase; PC-fosfatidilcolina; TAG-triglicerídeos. Fonte: Barker et al. (2007).

### 2.3 IMPORTÂNCIA DOS ÓLEOS E GORDURAS VEGETAIS

Plantas oleaginosas tem grande aplicação industrial e comercial sob as mais diferentes formas. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, órgão ligado ao Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (CONAB, 2021), somente em 2020, estima-se que foram colhidas 133,5 milhões de toneladas de soja em grãos, 7,3% a mais que 2019; contudo, apenas 44,60 milhões de toneladas de soja foram esmagadas e transformadas em óleo de soja, sobretudo, para o consumo humano e para fabricação de biodiesel (CONAB, 2021). O óleo de soja foi o principal produto exportado em 2020, representando 14,6% de toda a exportação brasileira, ou seja, US\$ 27,958 milhões, ficando à frente de produtos importantes como minérios, petróleo e combustíveis. A soja é a principal oleaginosa cultivada no mundo.

O óleo de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L., Asteraceae), é uma outra commodity bastante cultivada no Brasil e no mundo. O girassol é uma fonte de ácidos graxos monoinsaturados, sendo usado em frituras, devido a sua estabilidade; e em ração animal. Para a alimentação humana, alguns autores recomendam o consumo de óleo de girassol, porque ele reduz os índices de colesterol de baixa densidade (LDL) (Flagella et al., 2002).

O algodão (*Gossypium* L., Malvaceae), é cultivado no Brasil para a produção de fibras. Contudo, o óleo de suas sementes pode ter aplicação não somente como alimentício, mas também como biodiesel. Os dados da Conab (BRASIL, 2018) apontam apenas a produção de plumas de algodão, não sendo visado também o óleo das sementes.

Máquina et al. (2019) indicaram a espécie como promissora, uma vez que as sementes apresentam 20% de óleo.

Desde o Império Asteca, o milho (*Zea mays* L, Poaceae), vem sendo cultivado para a alimentação e produção de bebidas. No Brasil o milho é cultivado por diferentes grupos étnicos indígenas. Foi verificado também que o óleo de milho poderia ser usado também tanto como alimento e na produção de biodiesel (CONAB, 2021). No Brasil, atualmente é um dos grãos mais produzido no mundo, juntamente com a soja, sendo responsável por 42% de todos os grãos gerados, seguido pelo trigo (30%), e arroz (18%). O cultivo de milho é recomendado para rotação de culturas, preservando o solo da erosão, em campos onde também é cultivada a soja, que é a principal leguminosa cultivada no Brasil e no mundo (CONAB, 2021).

A canola (*Brassica napus* L., Brassicaceae) é uma das mais importantes sementes de plantas oleaginosas cultivadas em várias partes do mundo. O Irã é um dos maiores importadores mundiais de óleo de canola, onde é usado para alimentação humana. Outros países muçulmanos importam ou produzem este óleo (Omidi et al., 2010). No Brasil é cultivada em pequena, porém suficiente escala para consumo interno de óleo, usado geralmente na alimentação. Omidi et al. (2010) alertaram para a melhoria da produtividade do óleo de sementes da espécie, buscando um manejo apropriado de plantas para aumentar os rendimento e teores, desenvolvimento de novos cultivares e melhoramento genético.

Óleos vegetais sempre tiveram grande aplicação na sociedade. Segundo a Bíblia e outros documentos históricos, o azeite de oliva era usado em lamparinas, candeias, como alimento, nas ofertas de manjares oferecidos no Templo e em outras civilizações orientais; e, também, na cicatrização de feridas. Óleos de tâmaras e outras plantas também usadas na iluminação, aquecimento de casas e até como arma, lançado sobre os inimigos e onde era jogado flechas ou tochas com fogo (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007).

No século XIX, o óleo de canola era usado para acender lanternas, lamparinas e torres de iluminação antes do gás etileno e da eletricidade. Também era usado como combustível em navios como o óleo de baleia. Com o desenvolvimento do dínamo por Siemens; da bateria por Alexandre Volta; e da primeira lâmpada elétrica por Thomas Edison; o óleo vegetal foi aos poucos sendo deixado de lado como fonte energética; mas seu uso como biodiesel, cosmético e alimentício ainda persiste (Gunstone; Harwood; Djikstra, 2007).

O oitizeiro (*Licania rigida* Benth) (Chrysobalanaceae), é uma planta, cujo óleo de suas sementes apresenta os seguintes ácidos graxos: palmítico (5,0%), esteárico (8,30%), oleico (10,60%); linoleico (3,0%); licânico (isômero do ácido linolênico) (43,20%);  $\alpha$ -eleosteárico (Isômero raro do ácido linolênico) (16,90%) (Lisboa et al., 2020). Por ter um óleo rico em ácidos polinsaturados, foi muito explorada no Nordeste Brasileiro durante as Guerras Mundiais e a Guerra Fria; havendo uma queda na exportação nos anos 1990 devido a substituição por óleo mineral advindo do petróleo. Os Estados Unidos, Japão e Europa Ocidental eram os principais importadores. O óleo do oitizeiro era usado na fabricação de tintas, vernizes, sabão e graxas (Brandão et al., 2018). Hoje, o óleo do oiti é uma fonte promissora de biodiesel (Lisboa et al., 2020). A planta inteira, quando cultivada, é ideal para a restauração de bacias de rios intermitentes nas florestas brasileiras sazonalmente secas, além de ser usada no reflorestamento (Brandão et al., 2018).

Nos últimos anos, houve uma grande preocupação com os efeitos das mudanças climáticas, sobretudo o aquecimento global, levando a uma pressão contra o uso intensivo de combustíveis fósseis, cujo uso tem aumentado desde a primeira revolução industrial. Sendo assim, governos de todo o mundo e diferentes organizações nacionais e internacionais têm incentivado pesquisas com novas fontes de combustíveis renováveis, de origem vegetal. Um exemplo principal é o biodiesel (Zhang et al., 2015).

Plantas oleaginosas são importantes fontes de biodiesel (Koutroubas & Papakosta, 2010), bem como, servem de alimento para o homem e animais. Por exemplo, os farelos de milho e soja, entram na cadeia de commodities como alimento animal. Dentre os importadores, a República Popular da China importa, deve continuar a ser o maior importador de soja brasileira em 2022, com 78,14% do total exportado (CONAB, 2021).

Desde a década de 80, muitos estudos têm voltado para a elaboração de variedades de oleaginosas com diferentes níveis de ácidos graxos, para atender uma demanda cada vez maior por alimentos mais saudáveis, com menos colesterol de baixa densidade e gorduras *trans*.

Variedades convencionais de canola, como a *OSR* (*Oilseed Rape*), por exemplo, possuem alto teor de ácido  $\alpha$ -linolênico, ácido poli-insaturado precursor de ômega-3, cujo consumo é insuficiente em dietas de países ocidentais (Baux; Hebeisen; Pellet, 2008); a *HOLL*, variedade com ácido esteárico, oleico e linoleico como majoritários (Baux; Hebeisen; Pellet, 2008), entretanto, apresenta baixo percentual de ácido linolênico (menor que 3%) e são proibidas na Suíça e em outros países europeus para a alimentação, porque

o ácido oleico é precursor de gordura *trans* e aumenta as taxas de colesterol LDL. Todavia, este ácido é ideal para a produção de biodiesel e insumos para a indústria por ter maior estabilidade oxidativa em relação as variedades convencionais (Gauthier et al., 2017). A variedade *ALA* possui alto percentual de ácido linoleico e ideal para frituras por serem termoestáveis (Izquierdo et al., 2009). É conhecido que óleos e azeites vegetais com altos percentuais de ácidos poli-insaturados tem baixa estabilidade oxidativa, mas são recomendados para a alimentação por seus benefícios nutricionais (Baux; Hebeisen; Pellet, 2008), 2013; Gauthier et al., 2017). Há várias outras variedades de oleaginosas, cada uma delas com características para atender demandas industriais, sendo a canola com mais variedades, inclusive geneticamente modificadas (Baux; Heibesen; Pellet, 2008).

Com relação as pesquisas com aplicação comerciais de plantas silvestres com potenciais de uso no Brasil, o número de trabalhos ainda é baixo, tendo em vista a biodiversidade rica e elevada em número de espécies. Pinho, Oliveira e Silva (2009) analisaram o teor de óleo e a composição química de oito espécies vegetais ocorrentes nas Florestas Tropicais Brasileiras Sazonalmente Secas do estado de Pernambuco. Foi observado que o teor de óleo variou entre 20,2% em *Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl. (Bignoniaceae) e 46,4% em *Barnebya harleyi* (W.R. Anderson & B. Gates) (Malpighiaceae); *Anemopaegma laeve* DC. (Bignoniaceae) apresentou o maior teor de ácido oleico (63,4%), enquanto altos níveis de ácido linoleico foram encontrados em *Banisteriopsis pubipetala* (Juss.) Cuatrec. (42,8%) e *B. harleyi* (31,9%) (ambas Malpighiaceae). O ácido palmítico foi o principal ácido graxo (50%) em *Hippocratea volubilis* (L.) (Celastraceae). Altos níveis de ácidos linoleico e linolênico foram encontrados em *Croton adamantinus* Mull. Arg. (Euphorbiaceae), com média de 44,2% e 45,2%, respectivamente. O ácido gadoléico foi o ácido graxo mais abundante no óleo produzido por *Serjania lethalis* A. St. Hill. (Sapindaceae), com média de 69,6%. *B. pubipetala*, *B. harleyi*, *C. adamantinus* e *H. volubilis* foram identificadas como espécies promissoras para o cultivo. Para *S. lethalis*, este foi o primeiro estudo de perfil de óleo, para o Brasil.

Kafuku e Mbarawa (2010) produziram biodiesel a partir do óleo das sementes de *Croton megalocarpus* Hutch. (Euphorbiaceae), uma espécie africana introduzida no Brasil. No óleo das sementes desta espécie foram identificados os ácidos mirístico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico e seus isômeros, araquídico e araquidônico.

Silva et al. (2010) analisaram o teor de óleo e a composição química de sementes de plantas pertencentes a família Malvaceae oriundas de florestas tropicais brasileiras sazonalmente secas. O perfil dos ácidos graxos mostrou que havia espécies ricas em ácido palmítico (*Herissantia tiubae* [K.Schum.] Brizicky. [46,3%], *Sidastrum paniculatum* [L.] Fryxell [47,8%] e *Sida rhombifolia* L. [39,2%] e espécies ricas em ácido linoleico (*Sida cordifolia* L. [74,5%]; *S. galheirensis* Ulbr. [63,7%], *S. salzmanii* Monteiro [74,9%]; e *Sida spinosa* L. [75,0%]). No entanto, foi constatado que o teor de óleo nas sementes foi muito baixo (8,3-11,8%).

Barbosa et al. (2014) indicaram os óleos de sementes de *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. (Apocynaceae) com potenciais para a produção de biodiesel. Coutinho et al. (2016) analisaram os parâmetros físico-químicos e composição química de sete plantas de Euphorbiaceae: laranjeira-do-mato (*Actonostemon concolor* [Spreng.] Müll. Arg.), capinxingú (*Croton floribundus* Spreng.), marmeleiro-branco (*C. nepetifolius* Baill.), leiteira (*Euphorbia comosa* Vell.), falso-guanxuma (*Mycrostachis corniculata* Juss.), burra-leiteira (*Sapium glandulosum* [L.] Morong) e leiterinho (*Stillingia traiezoidea* Ule). O teor de óleo destas espécies variou de 25,4 a 48,5%. Foram identificados nove ácidos graxos (a maioria insaturados) nos óleos. *A. concolor* e *S. traiezoidea* acumularam mais ácido oleico e linoleico. Foi sugerido, a partir dos resultados das análises físico-químicas, que *A. concolor*, *S. glandulosum* e *S. traiezoidea* podem ser usados para a produção de biodiesel; *C. floribundus*, *C. nepetifolius*, *E. comosa* e *M. corniculata* para a produção de lubrificantes e tintas; e *S. glandulosum* para a produção de sabões e detergentes.

Silva et al. (2014) analisaram o perfil de óleo e composição química do óleo de sementes de 33 espécies da família Euphorbiaceae ocorrentes na Caatinga de 26 localidades dos estados de Pernambuco e Paraíba (nordeste do Brasil). Foi observada uma variação intraespecífica do perfil de ácidos graxos em algumas espécies. Muitas amostras são fontes potenciais de óleo de semente com uma variedade de usos industriais em potencial. Sementes grandes com alto rendimento de óleo caracterizam espécies de *Cnidocolus*, *Croton*, *Jatropha* e *Manihot*. A maioria das amostras contém ácido linoleico como constituinte principal do óleo das sementes, contudo, também foi encontrada em amostras de *Chamaesyce* e *Euphorbia* um alto teor de ácido linolênico; algumas amostras de *Croton* continham conteúdo substancial de ácido azelaico, um ácido graxo dicarboxílico. Poucas espécies continham ácido mirístico, láurico e araquídico. O teor de

óleo variou de 5 a 39%. A família Euphorbiaceae é a terceira família mais numerosa nas florestas tropicais brasileiras sazonalmente secas (Caatinga), com 73 espécies descritas até a data corrente, segundo os autores.

Barbosa et al. (2019) analisaram a composição química, teores de óleo e parâmetros físico-químicos das seguintes espécies: *Allophyllus puberulus* (Cambess.) Radlk., *Paullinia elegans* Cambess. (Sapindaceae) e *Guarea guidonia* (L.) Sleumer (Meliaceae). O teor de óleo variou de 14,7% (*G. guidonia*) a 30,1% (*A. puberulus* e *P. elegans*). Dez ácidos graxos foram identificados nos óleos de sementes. As sementes de *G. guidonia* acumularam principalmente ácido oleico (44,9%) e linoleico (24,1%), enquanto dos ácidos incomuns, gondóico e paulínico, foram identificados em *A. puberulus* (15,8% e 8,9%) e *P. elegans* (14,4% e 44,2%), respectivamente. Foi sugerido que o óleo de semente de *G. guidonia* possui um alto potencial como alimentício devido a riqueza dos ácidos ácido oleico e linoleico (quase 70% do óleo). Já os óleos de *A. puberulus* e *P. elegans* foram sugeridos para outros fins industriais (por exemplo, biodiesel, vernizes, tintas, sabões ou oleoquímicos) devido ao seu conteúdo de ácidos graxos de cadeia longa.

Coutinho et al. (2016) analisaram a composição química, teor de óleo e propriedades físico-químicas de seis espécies de Mata Atlântica do estado de Pernambuco: *Rauwolfia grandiflora* Mart. ex A. DC. e *Tabernaemontana flavicans* Willd. ex Roem. & Schult. (Apocynaceae), *Protium heptaphyllum* Marchand (Burseraceae), *Cissampelos andromorpha* DC. (Menispermaceae), *Serjania caracasana* Willd. Schltl. (Sapindaceae). O teor de óleo variou de 31,5 a 67,4%, com destaque para as *S. caracasana* e *S. salzmanniana*. Em relação a composição química, três espécies continham o ácido oleico como majoritário (*C. andromorpha*, *R. grandiflora* e *T. flavicans*), duas, o ácido eicosenóico (*S. caracasana* e *S. salzmanniana*), e, uma, o ácido palmítico (*P. heptaphyll*

No Brasil, algumas espécies introduzidas e poucas nativas são usadas para a indústria de biodiesel: mamona, soja, pinhão-mansão, girassol, algodão e algumas palmeiras. O desafio hoje para a comunidade científica é a busca de novas variedades potenciais de óleo para inclusão na cadeia produtiva do biodiesel, visando seu uso em consórcio com outras espécies já cultivadas e adaptadas; aproveitando melhor a flora local já existente (Coutinho et al., 2016).

O óleo de sementes do pinhão-mansão possui como ácidos graxos majoritários oleico (34 a 45%) e linoleico (29 a 44%). Após 2 h de transesterificação, 90% do óleo foi convertido em biodiesel. Esta espécie foi introduzida em alguns países, incluindo Brasil,

e, junto com a mamona, é uma fonte alternativa de óleo combustível (Berchmans; Hirata, 2008). Cambess., 1828) (família Caryocaraceae), cujo óleo dos frutos e sementes apresentou, além de vitaminas e carotenoides, ácidos graxos majoritários como ácido oleico (53%) e palmítico (39%). O pequi tem sido utilizado como alimento, na fabricação de sabão e biocombustível, na arborização, reflorestamento e recuperação de áreas de Cerrado desmatadas. Atualmente é bastante disseminado o plantio de pequi para fins comerciais (Johner et al., 2018).

A família Arecaceae possui frutos com alto teor de ácido láurico, esteárico e oleico, e por isso, são utilizados a produção de óleo, tanto para a fabricação de gorduras vegetais, quanto para a produção de combustíveis e cosméticos. Alguns exemplos são: o açai (*Euterpe oleracea* Mart.) (Nascimento et al., 2008), a macaúba (*Acrocomia aculeata* [Jacq.] Lodd. ex Martius) (Pires et al., 2013), palmito ou jussara (*Euterpe edulis* Martius), comum na Mata Atlântica e ameaçada de extinção (Schulz et al., 2016) e o catolé (Pascoal et al., 2020). Já o óleo de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore) tem apresentado rendimentos abaixo de 5% e ácidos graxos saturados como majoritários, tornando sua extração para fins comerciais limitada (Guimarães et al., 2014).

No Nordeste Brasileiro, mais precisamente na região semiárida, populações locais utilizam o óleo de amêndoas e sementes de algumas espécies de palmeiras para a iluminação, alimentação, medicinal e até mesmo para a construção civil (no caso das folhas, para a cobertura de casas). Um exemplo destas palmeiras é o ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc., Arecaeae) (Iha et al., 2014).

Aguieiras et al. (2014) produziram biodiesel a partir das amêndoas e das sementes de macaúba (*Acrocomia aculeata* Jacq., Arecaceae). Os autores sugeriram que palmeiras brasileiras poderiam ser mais investigadas para a produção de biocombustíveis. É sabido que frutos e amêndoas de palmeiras apresentam como majoritário o ácido láurico (Solis; Alejo; Kiros, 2016).

Silva et al. (2015) analisaram a composição nutricional e centesimal das amêndoas e da polpa de frutos de macaúba (*Acrocomia intumescens* Drude), *Pinanga kuhlii* Blume, *Ptychosperma macarthurii* (H. Wendl. ex H.J. Veitch) H. Wendl. Ex Hook. f., catolé (*Syagrus cearensis* Noblick), ouricuri (*Syagrus coronata* [Mart.] (Becc.)) e *Adonidia merrillii* Becc., todas pertencentes a família Arecaceae. O teor de óleo nestas espécies de variou de 1,5 a 29,6%. Foram identificados como majoritários os ácidos láurico, palmítico e oleico; ácido capróico, mirístico e linoléico foram encontrados em menor proporção. Os

autores indicaram o uso dos frutos destas espécies como cosmético e como alimento, devido a sua composição centesimal e ao alto teor de carotenoides; popularmente algumas paleiras como ouricuri, catolé e macaúba já tem uso alimentício pela população.

O óleo do catolé possui os ácidos linoleico e  $\alpha$ -linolênico como majoritários. Com este perfil, esse óleo é ideal para a fabricação de margarinas e óleo para saladas (Silva-Cardoso; de Souza; Scherwinski-Pereira, 2017). Já o óleo de sementes de macaúba possui o ácido láurico (majoritário), além da ocorrência dos ácidos mirístico, caprílico, cáprico, palmítico, oleico, linoleico e linolênico. Com este perfil, tanto o óleo pode ter aplicação como alimento, quanto na produção de biocombustíveis (César et al., 2015).

Solis, Alejo e Kiros (2016) analisaram a composição química do óleo de babaçu (*Attalea speciosa* (Mart.) Ex Spreng., Arecaceae), coletados no Noroeste do Piauí, Nordeste do Brasil. Foi constatada a presença dos ácidos capróico, cáprico, caprílico, láurico (majoritário), mirístico, palmítico, esteárico, oleico e linoleico (minoritário). Utilizando óleo de sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), babaçu e dendê (*Elaeis guineenses* Jacq., Arecaceae), Ranucci et al. (2018) prepararam querosene de aviação e testaram os parâmetros físico-químicos dos mesmos. Verificaram que na proporção 90/10 (querosene de aviação/biocombustível derivado dos óleos vegetais), o biodiesel esteve dentro das normas internacionais de qualidade. Os autores também ressaltaram a importância de pesquisas com biocombustíveis derivados do óleo de vegetais de espécies nativas brasileiras, concordando com outros estudos já citados. Sobre os óleos de sementes e o seu perfil lipídico, o gênero ainda carece de informações sobre o seu potencial econômico como possível nova fonte de óleo para utilização como alimento e biocombustível.

O gênero *Cleome* L., que é muito próximo a *Tarenaya* Raf., possui duas espécies, *C. viscosa* L. (Kumari; Jain; Kumar, 2012a) e *C. dolicoctyla* (Ahmad; Sawaya; Karim, 1984a), descritas com potencial para o uso como biodiesel. Com relação a *C. flexuosa*, para o nosso conhecimento, só há um único estudo visando o potencial lipídico. Neste, sementes de *C. flexuosa* coletadas no estado da Bahia (nordeste do Brasil) continham 36.2% de óleo tendo os ácidos oleico e palmítico como principais representantes (Dos Santos et al., 2016). Os estudos demonstraram que o grau de instauração de ácidos graxos de óleos de sementes pode ser alterado de acordo com diferentes parâmetros ambientais (Gao et al., 2009; Zhang et al., 2015).

## 2.4 PARÂMETROS CLIMÁTICOS QUE INFLUENCIAM O TEOR DE ÓLEO DE SEMENTES E A COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS

Dentre os vários parâmetros ambientais que regulam a biossíntese de ácidos graxos, a temperatura é apontada como o mais determinante. Segundo alguns estudos, a temperatura foi o parâmetro ambiental que influenciou a composição química e teores de ácidos graxos de sementes de girassol (Flagella et al., 2002), abóbora silvestre *Curcubita pepo* L., Curcubitaceae (Younis; Ghirmay; Al-Shihry, 2000), avelã (*Corylus avellana* L., Betulaceae)(Kumar et al., 2006), soja *Glycine max* (L.) Merr. (Roche et al., 2006; Rotundo; Westgate, 2009) e *Cuphea* sp. (Lythraceae) (Ghebretinsae et al., 2008).

O grau de insaturação de ácidos graxos afeta a fluidez das membranas plasmáticas tanto em plantas como animais, além de outros organismos. O mecanismo de manutenção da fluidez e estabilidade da membrana, regulada pela composição dos ácidos graxos, permite que as plantas se adaptem tanto ao aquecimento como a diminuição da temperatura. A aclimação em temperaturas mais baixas, por exemplo, envolve o controle homeostático da fluidez da membrana através do aumento da biossíntese de ácidos graxos insaturados. Esse mecanismo é interessante, inclusive, para fazer predições sobre tendências de mudanças climáticas (Zhang et al., 2015). A manutenção da fluidez e estabilidade da membrana deve-se, principalmente, ao alongamento e dessaturação da composição de ácidos graxos de cada espécie.

Os estudos sobre a relação entre parâmetros ambientais e a produção de ácidos graxos de plantas iniciaram em meados do século XX. Canvin (1965) analisou a produção de ácidos graxos durante o período de desenvolvimento das sementes de colza, cártamo, girassol, linho e mamona sob diferentes temperaturas. Foi verificado que o teor de óleo de colza e do linho aumentava em temperaturas mais baixas, enquanto o teor de óleo de girassol e o cártamo não foi afetado pela temperatura. Neste mesmo estudo, os ácidos graxos insaturados do girassol diminuíram com o aumento da temperatura, exceto o ácido oleico cujos níveis aumentaram.

Wolf et al. (1982) analisaram a composição química do óleo de sementes de soja cultivadas durante a formação dos frutos sob diferentes regimes de temperaturas (18/13, 24/19, 27/22, 30/25 e 33/28 °C dia/noite). Esses autores verificaram que composição de ácidos graxos foi fortemente influenciada pela temperatura, com diminuição de C18:2 e C18:3 e aumento de C18:1 com a elevação da temperatura. Os ácidos palmítico e esteárico

permaneceram inalterados. O teor de óleo também se elevou com o aumento da temperatura.

Cherry et al. (1985) também estudaram a relação entre temperatura e perfil de ácidos graxos em soja. Eles verificaram que a composição de ácidos graxos das sementes foi influenciada tanto pelo genótipo estudado como por fatores ambientais. Em temperaturas mais altas a concentração do ácido linoleico, um ácido graxo insaturado, diminuiu.

Dwivedi et al. (1996) avaliaram o efeito do estresse hídrico sobre a composição química e teor de óleo de sementes de doze cultivares de amendoim cultivados durante a seca. Foi verificado que o conteúdo de óleo total e o teor dos ácidos linoleico e behênico diminuíram, enquanto as concentrações de proteínas e do ácido oleico aumentaram.

Angelini et al. (1997) avaliaram a influência de diferentes parâmetros ambientais (sazonalidade, temperatura, latitude, variação anual, entre outros) sobre o teor de óleo e composição química de óleo de sementes das seguintes espécies: *Calendula officinalis* L. (Asteraceae) (ácido calêndico), *Camelina sativa* (L.) Crantz e *Lepidium sativum* Linnaeus (Brassicaceae) (ácido petroselinico), *Euphorbia lagascae* Spreng. (Euphorbiaceae) e *Vernonia galamensis* (Cass.) Less. (Asteraceae) (ácidos graxos epóxi), *Madia sativa* Molina (Asteraceae) (ácido linoléico) e *Lesquerella fendleri* (A. Gray) S. Watson (Brassicaceae) (ácidos graxos epóxi). *C. sativa*, *M. sativa*, *V. galamensis*, *E. lagascae* e *L. fendleri* produziram mais de 50% do ácido graxo majoritário acima citado. Algumas espécies tinham boas características agrônômicas, como a tolerância a seca e a altas temperaturas, sendo ideais para o cultivo em países de clima mediterrâneo.

Bhardwaj, Hamama e Merrick (1998) avaliaram a influência de parâmetros ambientais sobre doze variedades de tremço-branco (*Lupinus albus* L.) (Fabaceae). Foi verificado uma variação em 12 genótipos estudados. Dentre os parâmetros analisados, a temperatura foi fator que mais influenciou a composição dos ácidos graxos.

Martínez-Force et al. (1998) analisaram o efeito da temperatura em cinco mutantes de girassol. O percentual de ácido palmítico aumentou em todas as linhagens mutantes; excetuando-se a linhagem CAS-3, as demais linhagens tiveram os percentuais de ácido esteárico diminuídos em temperaturas mais baixas.

Linder (2000) informou que a temperatura altera a proporção relativa de ácidos graxos saturados e insaturados, influenciando a velocidade de germinação e o estabelecimento das plantas. Embora, ácidos graxos saturados armazenam mais energia por unidade de carbono, em situações de baixa temperatura, sementes ricas em ácidos

graxos saturados são menos favorecidas no processo germinativo devido ao maior ponto de fusão destes. Deste modo, sementes com menores proporções de ácidos graxos saturados são capazes de germinar e crescer mais rapidamente a baixas temperaturas o que é uma vantagem competitiva. Em temperaturas de germinação mais altas, sementes com maiores proporções de ácidos graxos saturados serão seletivamente favorecidas, pois seus óleos fornecerão mais energia.

Murakami et al. (2000) constataram que plantas cultivadas em temperaturas mais frias têm maior teor de ácidos graxos insaturados. Plantas de tabaco transgênico que possuem o gene que codifica a dessaturase de ácidos graxos da série ômega-3, produziam mais ácidos graxos saturados quando o gene era silenciado.

Pritchard et al. (2000) analisaram a influência de parâmetros ambientais sobre a composição química e teores de ácidos graxos de óleo de canola. Foi verificado que em anos de seca prolongada, houve diminuição nos teores de óleo. Em locais mais quentes da província, maiores teores de óleos e ácidos graxos saturados e menor percentual de ácidos insaturados foram encontrados.

Aksouh et al. (2001) avaliaram o efeito do estresse térmico em três cultivares modificados de canola e em um cultivar convencional. Sob maior estresse, as plantas apresentaram uma diminuição no teor de óleo e maior percentual de ácidos graxos saturados e menor de insaturados. Quando o estresse térmico foi feito de forma escalonada e gradativa, o efeito foi menos perceptível.

García-Díaz; Martínez-Rivas e Mancha (2002) analisaram o efeito de temperaturas baixas e altas na produção do ácido oleico em girassol. Sob 30 °C, o ácido oleico foi sintetizado normalmente. Entretanto, de 10 a 20 °C, mais ácido linoleico era produzido. A remoção da casca da semente do girassol, aumentou a atividade das dessaturases, devido, possivelmente, ao maior fluxo de oxigênio.

Thomas et al. (2003), analisaram cultivares de soja plantados em câmaras com condições controladas de temperatura, pressão, nível de CO<sub>2</sub> e estresse hídrico positivo e negativo. Nas temperaturas de 22/32 °C observou-se as maiores concentrações de óleo e ácido oleico, enquanto o ácido linolênico diminuiu. Os autores propuseram que em altas temperaturas ocorre a desnaturação de enzimas ligadas a produção ácidos graxos insaturados. Neste estudo, o gene *Addi*, que codifica as enzimas que sintetizam ácido linolênico, estava ausente em cultivares submetidos a altas temperaturas.

Fernández-Moya; Martínez-Force e Garcés (2003) verificaram em sementes mutantes de girassol um aumento no teor de ácido esteárico, explicado pela diminuição na atividade da enzima estearato dessaturase. Neste caso, menos ácido oleico era produzido devido ao aumento da temperatura, acumulando, portanto, mais ácido esteárico. Mas essa resposta é dependente do mutante utilizado.

Amostras de óleo de canola de três diferentes anos foram analisadas para avaliar a influência de parâmetros ambientais na composição química de ácidos graxos. Houve variação anual nas concentrações dos ácidos ácido palmítico, esteárico, araquídico e behênico, e estas eram também diferentes entre os genótipos estudados (McCartney et al., 2004).

Baye e Becker (2005) analisaram amostras de sementes de *Vernonia galamensis* Cas. Less. (Asteraceae) de diferentes regiões da Etiópia, em diferentes tipos de solo com diferentes níveis de pH e altitudes variando de 1250 a 2050 m. Os ácidos palmítico, oleico, esteárico e linoleico apresentaram maiores variações de acordo com a altitude. O pH não apresentou correlação significativa com o perfil de ácidos graxos.

Aksouh-Harradj; Campbell e Mailer (2006) testaram 3 diferentes cultivares de canola em dois regimes de temperaturas. Sob maior temperatura, a relação óleo/proteína foi diminuída drasticamente, contudo o perfil do óleo permaneceu inalterado. Em temperatura moderadamente alta, houve um efeito significativo entre os diferentes perfis dos óleos analisados. Sob temperaturas muito altas, mesmo em períodos muito curtos, a produção de óleo e a produtividade das culturas de canola foram afetadas.

Roche et al. (2006) avaliaram a influência do estresse hídrico sobre a composição química e teor de ácidos graxos de sementes de diferentes linhagens de girassol. Foi observado que o déficit hídrico alterou os percentuais de ácidos graxos, durante a antese. Sob irrigação, o conteúdo de ácido oleico aumentou, enquanto foram reduzidos os teores de ácido linoleico e ácidos graxos saturados.

Rolletschek et al. (2007) constataram que aumentando o suprimento externo de oxigênio, eleva-se o percentual de ácido linoleico. Uma hipótese formulada é que o oxigênio melhora a atividade do FAD2. Sob condições de hidratação e menor temperatura, a difusão do oxigênio para o interior da semente era mais eficiente.

Baux, Heibeisen e Pellet (2008) verificaram que o limite mínimo de temperatura para a ação das dessaturases foi de 13 °C, em sementes de colza. Estes mesmos autores relataram que óleos com altos percentuais de ácidos poli-insaturados, com três

insaturações, não são ideais para a frituras porque perdem a termoestabilidade e são mais sujeitos a oxidação.

Rotundo e Westergate (2009) avaliaram o efeito do estresse hídrico no acúmulo de proteína e óleo em soja. Foi verificado que o estresse hídrico reduziu o conteúdo tanto de proteína como no óleo.

Omidi et al. (2010) avaliaram a relação entre o teor de óleo e a composição de ácidos graxos de três cultivares de canola. Em regiões de clima mediterrâneo, as temperaturas e a umidade são propícias para uma maior produtividade de óleo com maiores percentuais de ácido oleico. Na maturidade das sementes, a alta temperatura aumentou significativamente o teor de ácido oleico e diminuiu o teor de ácido linoleico. Nas baixas temperaturas, os teores de ácido linoleico aumentaram. Sob altas temperaturas, a síntese de ácido linoleico durante o desenvolvimento da semente é interrompida, devido à inibição da atividade da oleato dessaturase, aumentando assim o teor de ácido oleico.

Grunvald et al. (2013) avaliaram os efeitos da temperatura em diferentes genótipos de girassol cultivados em diferentes regiões do Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Em altas temperaturas, o teor de ácido oleico aumentou 70% em genótipos convencionais; sendo esse aumento nos demais genótipos de 35%. Foi constatado que a temperatura mínima tem forte influência nos teores dos ácidos oleico e linoleico mesmo em locais de mesma latitude. Houve fraca influência da temperatura mínima nos teores dos ácidos palmítico e esteárico.

Schulte et al. (2013) numa metanálise examinaram como o aumento na temperatura pode influenciar na redução no teor de óleo e como também modifica a composição de ácidos graxos em soja, milho, colza, canola e girassol (dando ênfase as frações molares de C18:1, C18:2 e C18:3). Foi constatado que um aumento na temperatura de 10 a 40 °C, houve um aumento no ácido oleico e diminuição no ácido linoleico e linolênico em soja, canola e girassol. Assim o aumento da temperatura resultou em óleos ricos em graxos saturados e monoinsaturados, e pobre em ácidos poli-insaturados.

Barbosa et al. (2014) analisaram o teor de óleo e a composição química de sementes da flor-de-seda (*Calotropis procera*, Apocynaceae) ocorrentes em quatro regiões de Pernambuco. O teor de óleo variou de 19,7 a 24,0% e os ácidos oleico e linoleico foram os majoritários; contudo este teor foi correlacionado negativamente com a latitude. Regiões com baixas latitudes tem um período mais longo de exposição a luz e ao calor solar e; portanto, apresentam altas temperaturas. O efeito da latitude sobre a biossíntese

de ácidos graxos em *C. procera* não foi observado. A influência da altitude no perfil de ácidos graxos foi fracamente correlacionada com os ácidos graxos saturados e negativamente correlacionado com os ácidos insaturados; demonstrando que a correlação maior foi com a temperatura do que a altitude.

Palacios et al. (2019), analisaram cultivares de soja cultivadas em câmaras de topo aberta onde foram manipuladas diferentes temperaturas e concentrações de CO<sub>2</sub>. Foi constatado uma alteração significativa no metabolismo de carboidratos e lipídios, onde, sob alta temperatura e concentração elevada de dióxido de carbono, o teor de ácidos graxos saturados aumentou, enquanto o teor de ácidos graxos insaturados diminuiu.

Analisar o efeito de parâmetros climáticos no teor de óleo e perfil de ácidos de sementes se faz necessário, num cenário de mudanças climáticas e numa necessidade de alimentar uma população mundial tão grande. Para obter uma maior produtividade e uma melhor qualidade no óleo e nas sementes é preciso avaliar as condições climáticas de cada local de plantio e de cada região, verificar os efeitos do estresse hídrico num cenário de maior precipitação, bem como num cenário de baixíssima precipitação e elevadas temperaturas. As regiões tropicais, por apresentar um regime sazonal e países com maiores territórios e faixas de terra propícias ao plantio; e mais sensíveis aos efeitos das mudanças climáticas, são as regiões do globo com as maiores implicações para a análise de efeitos de parâmetros climáticos sobre o perfil de óleo de sementes. Outro fator que elenca também a necessidade destes estudos é a biodiversidade nessas regiões, com a possibilidade de diversificar a produção de oleaginosas. Muitas espécies não competem com as oleaginosas tradicionais; e são mais adaptadas ao clima e as condições locais que estas, por isso merece uma análise mais detalhada.

### 3 ESPÉCIES ESTUDADAS

Brassicaceae e Cleomeceae faziam parte de uma única família, Capparidaceae, divergindo há 38 milhões de anos atrás. Brassicaceae e Cleomaceae têm características que compartilham entre si, tais como: espécies herbáceas, mesmo plano floral geral (quatro sépalas, quatro pétalas, seis estames e dois carpelos fundidos) e frutos deiscentes referidos como cápsulas. No entanto, os dois grupos apresentam diferenças entre si, tais como: localização geográfica (Cleomaceae vive nos trópicos e subtropicais, incluindo desertos; enquanto Brassicaceae é encontrado em regiões temperadas); simetria floral (Cleomaceae tem flores principalmente monossimétricas e Brassicaceae têm flores dissimétricas); Cleomaceae também apresentam maior variação no base floral com aumentos no número de estames e dimorfismos de pétalas enquanto que as Brassicaceae exibem maior diversidade na morfologia dos frutos, poliploidia e na deiscência (Cheng et al., 2013).

A família Brassicaceae possuem espécies muito usadas na alimentação e como condimento. A canola, como já visto, é uma importante fonte de óleo vegetal. A mostarda é usada como condimento; bem como a *Eruca sativa* L., *Erucastrum* sp., *Lepidium sativum* L. e *Raphanus* sp., que são hortaliças e também produzem óleo (Matthäus & Özcan, 2005). De longe, é a família mais estudada, com relação ao potencial como oleaginosas, dentre as Brassicales.

A família Capparaceae abrange 25 gêneros e aproximadamente 480 espécies, das quais cerca de 110 (~23%) de 18 gêneros estão distribuídas na região Neotropical (Soares Neto et al. 2014). Tem distribuição Pantropical e ocorre com grande frequência no Brasil na Floresta tropical Sazonalmente Seca. No Brasil, são registrados 12 gêneros e 29 espécies, das quais 12 são endêmicas do país. Destas, somente a *Crateva tapia* L. (Trapiá) é usada na alimentação e arborização de praças (Soares Neto et al. 2014).

A família Cleomaceae possui mais de 200 espécies descritas. Algumas espécies são usadas como ornamental e medicinal (Leal et al., 2007). Dentre as espécies desta família, *Cleome dolichostyla* Jafri e *C. viscosa* são usadas na alimentação e biodiesel (Saroop; Kaul, 2015). Contudo, outras espécies deste gênero também podem ter um potencial na produção de óleo vegetal, conforme a Tabela 2.

### 3.1 *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson

O gênero *Tarenaya* passou recentemente por uma modificação taxonômica (Soares Neto et al., 2018). Rafinesque em 1838 segregou *Cleome spinosa* Jacq. e a colocou no gênero *Tarenaya*, passando esta, a ser chamada *Tarenaya spinosa* (Jacq.) Raf. porque ele não concordava com o conceito amplo de *Cleome* L.; ainda assim, *Tarenaya* não foi considerado sinônimo de *Cleome* durante 170 anos. Em 1952, quando Iltis revisou as espécies na sua publicação *New World Cleome*, *Tarenaya* foi tratado como uma seção, *Cleome* sect. *Tarenaya*; compreendendo 24 espécies. As espécies de *Cleome* sect. *Tarenaya* caracterizam-se por apresentarem espinhos de origem epidérmica (caracteres não compartilhados por três espécies e uma subespécie, atualmente reconhecida como *Cleoserrata* Iltis), sementes com um arilo e uma grande fenda. Mais tarde, Jacobs em 1960, Iltis em 1967, Iltis & Zapata em 1997 e Costa-e-Silva em 2000 utilizaram informalmente *Tarenaya* em suas classificações, e o nome foi finalmente formalmente estabelecido como uma seção por Iltis em 2005, quando este o descreveu uma nova espécie de *Cleome* dos Andes. Assim consideraram *Tarenaya* como uma seção de 40 espécies do Novo Mundo e uma da África Oriental (Soares Neto et al., 2018).

Mais recentemente, Soares Neto et al. (2019) analisaram a filogenia e a taxonomia de *Tarenaya spinosa* e após estudos morfológicos e de filogenia molecular, constataram que esta espécie ocorre apenas na América Central e norte da América do Sul, enquanto os indivíduos que anteriormente eram identificados como *T. spinosa* no Brasil e Bolívia são na verdade uma outra espécie, nomeada *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson (Figura 3).

No Brasil, *Tarenaya* constitui cerca de 26 espécies, a maioria endêmicas e nativas. O gênero ocorre em todos os ecossistemas do Brasil (Soares Neto, 2020). Em Pernambuco, há cerca de cinco espécies: *Tarenaya aculeata* (L.) Soares Neto & Roalson, *Tarenaya difusa* (Banks ex DC.) Soares Neto & Roalson, *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson, *Tarenaya microcarpa* (Ule) Soares Neto & Roalson; e *Tarenaya pernambucensis* Iltis & Costa-e-Silva ex Soares Neto & Roalson (SpeciesLink, 2020). Destas espécies, apenas *T. spinosa* (= *T. longicarpa*) já foi estudada quanto a sua taxonomia, composição química, bioatividade e etnobotânica. No entanto, o perfil de óleo das sementes de plantas deste gênero não é conhecido.

*Tarenaya longicarpa* (Figura 4) é uma erva ou subarbusto, com 0,5 a 2,5 m de altura, altamente ramificado; galhos geralmente glandular-puberulento a glabrescente, muito pegajoso quando fresco. Espinhos estipulares retos, 1,5- 2 x 1-1,5 mm. Folhas 5–7-folioladas; pecíolos glandular-puberulentos a glabrescentes, desarmados, 3,5–8 cm de comprimento; folíolos lanceolados ou estreitamente elípticos a elípticos, o folíolo central 6,7-7,83 x 1,8-2 cm, o outro folíolo possui 2-5,5x 3,0 ± 1,7 cm; basalmente longo atenuado, apicalmente agudo a acuminado, membranácea, a margem minuciosamente serrulada-ciliada, com pelos espalhados, pontiagudos, glandulares ou glandulares em ambas faces, as veias sem espinhos, pecíolo densamente puberulento, 3–8 mm de comprimento. Inflorescência racemosa terminal corimbiforme, até 1,0 m de comprimento, a porção basal com brácteas em forma de folha, cada uma com 3–5 folíolos, muitas dessas brácteas não subtendem a flores, tornando-se densamente florido. As brácteas densamente distribuídas ao longo do racemo, o distal ca. 60% flores subtendendo, cada bráctea 1-foliolado; pecíolo glabro, 1–5 mm de comprimento, sem espinhos na base; lâmina ovalada para cordiforme, 4–17 x 3,2–10 mm, basalmente arredondado ou cordado, apicalmente agudo, a margem serrulado-ciliada. Pedicelos de 25–35 mm de comprimento, púrpura, glandular-puberulento a glabrescente. Sépala deflexionadas, lanceolado, 8–10 x 0,5–1 mm, acuminado, a margem ciliada, esverdeado, puberulento a glabrescente abaxialmente. Pétala unguiculadas, a garra 5–10 mm de comprimento, a lâmina oblonga, 9–20 x 4–8 mm, apicalmente obtuso, essencialmente branco, roxo ou branco tornando-se púrpura próximo ao ápice, glabro. Nectário cônico, obsoleto. Filamentos 35–50 mm de comprimento, púrpura, glabro; anteras de 8–12 mm de comprimento, amarelado a marrom. Ovário cilíndrico, glabro; ginóforo 15–35 mm de comprimento; estilo não alongado; estigma capitato, séssil. Fruta carregado em um ginóforo de 4,5 ± 7 cm de comprimento; cápsula ascendente, delgadamente cilíndrico, 11–19,5 cm de comprimento, geralmente 2–3 vezes mais longo do que o ginóforo, glabro, raramente puberulento a glabrescente. Sementes em forma de ferradura, aproximadamente 1–1,2x 1- 3,1 mm, finamente longitudinalmente estriado, pronunciadamente sulcado transversalmente, fenda estreita, coberto por uma membrana porosa (Soares Neto et al., 2019).



Figura 4. Aspecto geral de *Tarenaya longicarpa* Soares Neto & Roalson. A - População em Caruaru – PE (Nordeste do Brasil); B - Detalhe da inflorescência. Fonte: O Autor (2021).

*Tarenaya longicarpa*, popularmente conhecida como “mussambê”, é nativa, mas não endêmica do Brasil, ocorrendo desde o Nordeste do Brasil até ao Pantanal Matogrossense. Também tem sido registrada na Bolívia. No Brasil, é bem distribuída pelo Nordeste, principalmente na Floresta Tropical Sazonalmente Seca. É facilmente encontrado plantado para fins medicinais ou ornamentais; ou cresce em centros urbanos, em áreas perturbadas, áreas de disposição de resíduos, e em torno de lagos ou ao longo de canais de tratamento de água e esgoto, mas pode ser encontrado em florestas semidecíduas, matas ciliares, ao longo de vilas de ribeirinhos, margens de estradas e nas florestas de Igapó na Amazônia (Neto et al., 2014a; Soares Neto et al., 2019).

Medicinalmente, 25 espécies de *Cleome* foram avaliadas, sendo dez para atividades farmacológicas e nove para isolamento de metabólitos secundários. Para *Tarenaya*, somente duas espécies tiveram seus metabólitos secundários identificados e analisados quanto à ação farmacológica e biocida. Com relação a etnobotânica, *T. longicarpa* e *T. rosea* (= *C. rosea*) são usadas para o tratamento de sintomas do sistema respiratório, principalmente febre e tosse (Albarello et al., 2013; Albuquerque et al., 2007).

Tabela 2. Perfil de ácidos graxos e teor de óleo de sementes de espécies do gênero *Cleome*.

Espécie	Ácidos graxos (%)						Óleo (%)	Referências
	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3		
<i>C. dolichostyla</i>	-	10,1	4,5	30,6	52,2	1,20	31,2	Ahmad et al., 1984
	-	2,0	20	18,6	32,8	26,6	-	Badami et al., 1984
	11,9	27,9	8,6	22,4	29,2	-	11,0	F. Ahmad et al., 1978
	-	17,2	3,6	11,90	67,3	-	-	Rukmini et al., 1979
	-	10,6	4,9	14,4	68,6	-	25,0	Rao et al., 1980
	11,9	27,9	8,6	22,4	29,2	-	11,0	Razon, 2008
	-	9,8	4,8	20, 0	65, 5	-	-	Kumari et al., 2012
<i>C. viscosa</i>	-	8,1	4,5	19, 9	67, 4	-	-	Kumari et al., 2013
<i>C. pungens</i>	-	-	-	32, 0	41, 0	4,0	-	Barclay e Earle, 1974
<i>C. arabica</i>	-	-	-	-	-	-	21, 4	Barclay e Earle, 1974
<i>C. diandra</i>	-	-	-	-	-	-	27, 8	Devi e Zaidi, 1977
<i>C. pilosa</i>	-	-	-	-	-	-	30, 1	Earle et al., 1959
<i>C. pungens</i>	-	-	-	-	-	-	33, 0	Earle et al., 1959
	-	-	-	-	-	-	28, 6	Jones e Earle, 1966
	-	-	-	-	-	-	33, 6	Earle e Jones, 1962
<i>C. serrulata</i>							23, 7	Earle et al., 1959
	-	-	-	-	-	-	23, 7	Barclay e Earle, 1974
<i>C. sonorae</i>	-	-	-	-	-	-	28, 9	Earle et al., 1959

	-	-	-	-	-	-	33	
	-	-	-	-	-	-	,0	Earle e Jones, 1962
<b><i>C. spinosa</i></b>							36	
	-	-	-	-	-	-	,6	Earle et al., 1959
							30	
<b><i>C. tenuis</i></b>	-	-	-	-	-	-	,0	Earle et al., 1959

-= não detectado.

### 3.1 *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl

Capparaceae é formada por arbustos ou árvores e raramente ervas ou lianas, inermes ou raramente armados; folhas alternas, geralmente espiraladas ou menos frequentemente dísticas, simples ou compostas trifoliadas (*Crataeva*), com ou sem estípulas. Inflorescências cimosas ou racemosas, às vezes reduzidas a uma única flor ou fascículo, flores vistosas, bissexuadas, actinomorfas ou zigomorfas, diclamídeas ou raramente monoclamídeas, cálice geralmente tetrâmero, as vezes em 2 séries, dialissépalos ou raramente formando uma caliptra, prefloração aberta, imbricada ou valvar; corolas geralmente tetrâmeras, dialipétala ou raramente gamopétala, prefloração imbricada, estames (1-) 4-8 estaminódios; ocasionalmente presentes discos nectaríferos isoladas ou presentes; ovário súpero, frequentemente sobre um ginóforo 2(-12) carpelar, unilocular, placentação parietal, plurióvulado. Fruto tipo baga ou drupa, ocasionalmente uma cápsula carnosa, frequentemente alongada (Neto et al., 2014; Neto & Jardim, 2015).

*Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl foi previamente descrita como *Capparis flexuosa* (L.) L. (Soares Neto & Luber, 2020). *C. flexuosa* é uma espécie de porte arbustivo-arbóreo, nativa, mas não endêmica do Brasil (Figura 5). Segundo Soares Neto & Luber (2020) é amplamente distribuída em todo o território brasileiro ocorrendo desde o litoral (na Restinga) até nas Florestas Tropicais Brasileiras Sazonalmente Seca (na Caatinga). É também registrada em outros países da América do Sul, da América Central e no Sul da Flórida (Kjaer & Schuster, 1971).

*Cynophalla flexuosa* é descrita como árvores ou arbustos de 2 a 5 m de altura; ramos glabros ou levemente pilosos; Estípulas 1 × 0,5 mm, triangulares; Folhas com pecíolo 0,5–1 cm de comprimento, glabro; lâmina 4,8–10 × 2,9–7 cm, elíptica ou ovada, ápice

agudo ou acuminado, base arredondada, margem inteira, glabra; nectários  $1-2 \times 1-1,5$  mm, 1-3 na raque, turbinados ou globosos. Corimbo axilar e/ou terminal; bráctea não observada. Botão floral  $1,5-2,6 \times 0,5-0,9$  cm, globoso, glabro. Sépalas externas  $4,5-5 \times$  ca. 5 mm, as internas  $5,5-6 \times 5-6$  mm, côncavas, glabras. Pétalas  $0,8-2 \times 0,7-1$  cm, brancas ou cremes. Estames 100-150; filetes 1,2-3,4 cm, brancos, pilosos na base; anteras 2,5-3 mm, estreitamente oblongas, dorsifixas. Ginóforo 1-2,5 cm compr., glabro; ovário  $3-6 \times$  ca. 2 mm, cilíndrico-linear. Fruto moniliforme,  $4,5-8,7 \times 0,5-1,3$  cm; semente  $0,6-0,8 \times 0,3-0,5$  cm, elipsoide ou ovoide (Figura 5).

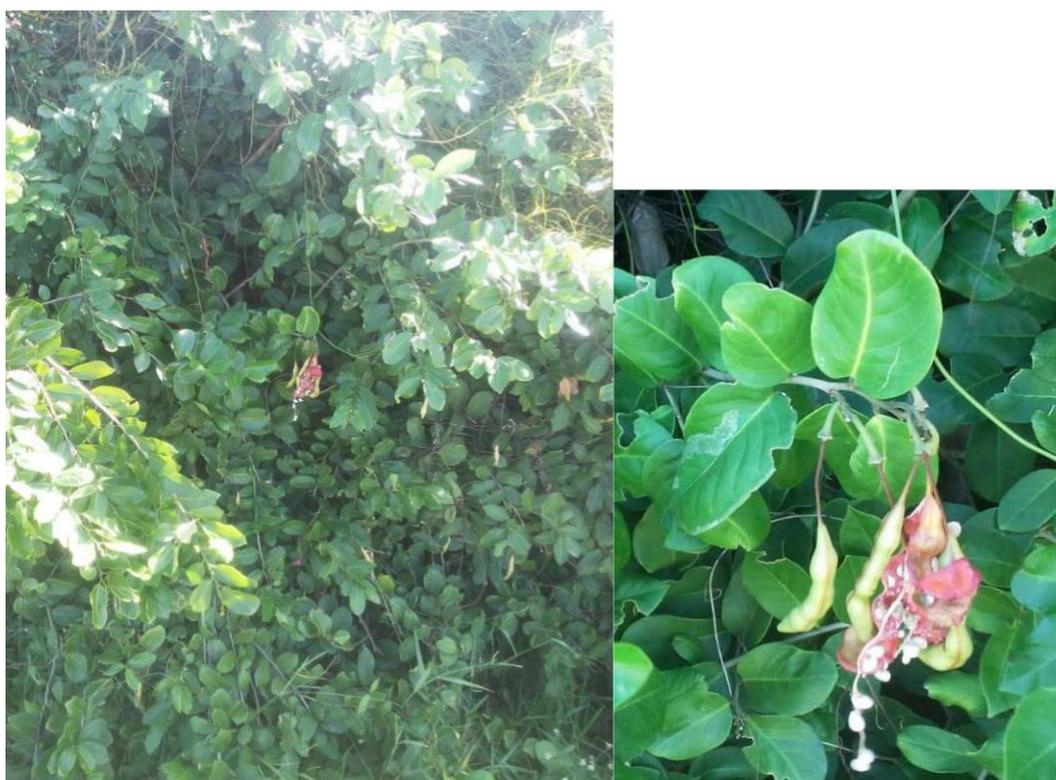


Figura 4. Aspecto geral de *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl. A - População em Conde – PB (Nordeste do Brasil); B - Detalhe das folhas, frutos e sementes. Fonte: O Autor (2021).

Das folhas de *C. flexuosa*, foram isolados e identificados os seguintes glicosinolatos: 3-hidróxibutil-, 4-hidróxibutil-, 3-butenil- e 2-hidróxi-3-butenil-glicosinolato (Kjær; Schuster, 1971). Com relação a outros representantes da família, *Capparis spinosa* L. (alcaparra) é uma das mais importantes. Óleos de sementes desta espécie apresentam 30% de óleo, sendo 70% deste insaturado. Os principais constituintes lipídicos encontrados nesta espécie foram os ácidos oleico e linoleico, esteroides (estigmasterol, sitosterol,

campesterol, avenasterol, cicloartenol, citrostadienol e gramisterol), tocoferol e isoformas ( $\alpha$ -tocoferol,  $\gamma$ -tocoferol e  $\delta$ -tocoferol), carotenoides (luteína e  $\beta$ -caroteno), álcoois alifáticos de cadeia longa (hexadecanol, octadecanol, tetracosanol) e triterpenos como a  $\beta$ -amirina (Tlili et al., 2011). A Tabela 3 mostra o perfil de ácidos graxos e teores de óleo de sementes de plantas do gênero *Capparis* (Capparaceae).

Tabela 3. Perfil de ácidos graxos e teor de óleo de sementes de espécies do gênero *Capparis*.

%	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	22:0	22:1	24:0	OT	AGS	AGI	Autores	Espécies
30,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Barclay e Earle, 1974	<i>Capparis ovata</i> var. Desf. var.
-	-	-	11,3	1,8	2,7	34,6	24,5	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Akgül e Özcan, 1999	<i>canescens</i>
-	-	-	11,3	1,8	2,7	34,8	24,5	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-		<i>C. ovata</i> var <i>canescens</i>
53,4	0,1	0,2	5,4	1,2	2,2	38,4	52,1	0,6	0,6	-	-	0,4	-	0,16	-	9,4	90,5	Duman e Özcan, 2014	<i>C. ovata</i> var <i>canescens</i>
36,7	-	0,1	1,8	2,4	4,1	41,5	46,2	0,6	0,6	-	-	0,2	-	0,22	-	10,9	90,1		<i>C. ovata</i> var
32,0	-	0,1	5,5	1,8	2,6	42,7	43,8	0,6	0,7	0,1	0,2	0,5	-	-	-	-	-	Matthäus et al., 2020	<i>palestina</i>
40,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Grindley, 1954	<i>C. rothii</i>
34,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Earle e Jones, 1962	<i>C. spinosa</i>

31,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Barclay e Earle, 1974
-	-	-	13,2	4,6	3,2	49,8	25,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Akgül e Özcan, 1999
33,6	-	0,72	15,9	4,9	4,0	45,8	25,3	1,0	0,1	-	-	0,09	-	0,3	0,7	26,4	77,3	Tlili et al., 2009	
31,2	0,11	0,4	8,9	1,8	2,4	35,9	47,3	1,1	0,5	-	-	0,39	-	-	0,3	13,1	86,9	Givianrad et al., 2011	
31,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
43,1	0,07	0,3	11,9	4,5	2,4	49,1	30,0	0,4	0,7	-	-	0,76	-	0,1	0,2	16,9	83,6	<i>C. spinosa</i> var <i>aegyptia</i>	
20,5	0,05	0,3	11,4	4,7	3,3	48,0	29,6	0,5	0,7	-	-	0,76	-	0,1	0,4	17,3	83,8	Duman e Özcan, 2014 <i>C. spinosa</i> var <i>inermis</i>	
30,1	0,07	0,3	11,8	4,7	3,4	48,3	28,3	0,5	0,7	-	-	0,80	-	0,1	0,5	16,9	83,5	<i>C. spinosa</i> var <i>herbacea</i>	
39,7	-	0,1	5,8	1,3	2,8	36,2	50,4	0,7	0,7	-	-	0,76	-	0,2	2,1	10,4	89,5	<i>C. spinosa</i> var <i>spinosa</i>	

32,7	-	0,3	11,3	4,8	3,4	47,7	28,7	0,6	0,8	-	-	0,1	0,1	0,1	0,5	-	-	<i>C. spinosa</i> var aegyptia
35,0	-	0,2	10,3	4,3	3,4	48,3	29,4	0,6	0,8	-	-	0,1	-	0,1	0,5	-	-	Matthäus et al., 2020 <i>C. spinosa</i> var inermis
29,2	-	0,1	5,6	1,9	2,6	42,8	43,7	0,6	0,7	-	-	0,7	-	0,2	0,5	-	-	<i>C. spinosa</i> var herbacea
-	0,6	2,1	1,6	2,0	2,2	22,5	33,8	-	1,1	-	-	0,4	-	18,7	-	34,5	75,5	Ara et al., 2014
-	3,8	6,6	28,9	-	-	7,7	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-	39,4	60,6	Yongtai Yin, 2014 <i>C. spinosa</i> L.

Legenda: % = teor de óleo; 12:0 = ácido láurico. 14:0 = mirístico; 16:0 = palmítico; 16:1 = palmitoleico; 18:0 = esteárico; 18:1 = oleico, 18:2

= linoleico; 18:3 = linolênico; 20:0 = araquídico; 20:1 = araquidônico; 20:2 = eicosadienóico; 22:0 behenico; 22:1 = erúico; 24:0

=lignocérico; AGS (%) = ácidos saturados; AGI (%) = insaturados. OT = outros; – não detectado ou não informado.



**4 ARTIGOS**

4.1 ARTIGO 1 - Seasonal variation in seed oil content and fatty acid profile of *Tarenaya longicarpa* (Cleomaceae), an emerging oil crop

Submetido ao Journal of the American Oil Chemist's Society (JAOCS)

Fator de impacto: 1.843 Qualis A4

**Seasonal variation in seed oil content and fatty acid profile of *Tarenaya longicarpa* (Cleomaceae), an emerging oil crop**

João Bosco da Silva Júnior<sup>1</sup> · Mariana Oliveira Barbosa<sup>1</sup> · Suzene Izídio da Silva<sup>2</sup> · Pécio Alexandre da Silva<sup>3</sup> · Norma Buarque de Gusmão<sup>3</sup> · Antônio Fernando Morais de Oliveira<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Botânica, Av. da Engenharia, s/n. Cidade Universitária, Recife, PE 50670-420, Brazil

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Av. Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, 52171-900, Brazil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento Antibióticos, Av. Arthur de Sá, S/N - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-520, Brazil

\* Corresponding author. E-mail address: [afmoliveira@gmail.com](mailto:afmoliveira@gmail.com)

**Abstract** *Tarenaya longicarpa* is a species popularly known in several regions of Brazil as “mussambê”. It is often found in humid and dry anthropized areas as well as in ombrophilous forests, semi-deciduous forests, and other plant formations. The wide distribution in Brazil and other countries makes the study of the lipid potential of this species under different climatic situations relevant. To our knowledge, no studies focused on the seed lipids and much less on the influence of environmental parameters on the oil content and fatty acid profile of *T. longicarpa* have been developed. Thus, the present study has the purpose of conducting this investigation. The results showed that the oil content of *T. longicarpa* seeds varied from 15 to 43% between the three studied sites, and between the dry and rainy seasons. The fatty acid profile of *T. longicarpa* was markedly unsaturated. Ten fatty acids were identified in the seed oil of the species, with linoleic acid

being the main one. Correlation and multivariate analyses showed that the oil content and fatty acid profile of the seeds were correlated only with temperature. The content of palmitic acid, a saturated fatty acid, for example, was positively correlated with this parameter, while the content of oil and oleic acid, an unsaturated fatty acid, was negatively correlated with it. Other geoclimatic factors analyzed such as altitude, latitude, longitude and precipitation did not show significant correlations with the lipid production of the studied species. The potential use of *T. longicarpa* seeds is highlighted.

**Keywords** Biodiesel; *Cleome*; Plant foods; Seasonality; Spiny spider-flower.

## **Introduction**

Numerous studies have shown that environmental parameters can influence the oil content and quantitative composition of fatty acids of seeds. For several years, species of economic interest such as soybean (Rotundo and Westgate, 2009), canola (Pritchard et al., 2000), cotton (Ahmad et al., 2007), rapeseed (Sakhno, 2010), sunflower (Grunvald et al., 2013), peanut (Mora-Escobedo et al., 2015), safflower and sesame (Ebrahimian et al., 2019) have been studied in this sense. The environmental parameters most commonly analyzed were temperature (Rotundo and Westgate, 2009; Grunvald et al., 2013), precipitation (Pritchard et al., 2000; Barbosa et al., 2014), humidity (Younis et al., 2000), altitude (Ayerza and Coates, 2009), salinity (Ahmad et al., 2007) and nutrients in the soil (Chaffai et al., 2007; Pasandi et al., 2018). Although the literature mentions which environmental parameters affect the lipid composition of seeds of species of economic interest, unconventional plants with possibilities for commercial use are still little investigated in this regard.

In Brazil, some studies with native and/or acclimatized species have been directed to the bioprospecting of oilseeds targeting the food, cosmetic and biodiesel industry. Species

belonging to the Apocynaceae, Arecaceae, Bignoniaceae, Celastraceae, Euphorbiaceae, Meliaceae, Malpighiaceae, and Sapindaceae families, for example, have shown promising results, some of which are considered alternative raw materials for different industrial purposes (Pinho et al., 2009; Coutinho et al., 2016a; Coutinho et al., 2016b; Silva et al., 2014; Barbosa et al., 2019; Barbosa da Silva et al., 2021). Yet, the influence of environmental parameters on the lipid potential of seeds of most species native or acclimated in Brazil remains unexplored.

Cleomaceae Bercht. & J.Presl is a cosmopolitan family with about 27 genera and 270 species mainly distributed in tropical, warm temperate, and desert areas. In Brazil, it is found in all regions, including oceanic islands, inhabiting from humid to drier forests, as well as flooded or non-flooded anthropized areas (Soares Neto and Costa e Silva, 2020). Within Cleomaceae, the genus *Cleome* has been extensively investigated for the lipid potential of its seeds, which have been considered, along with other organs, for use as food, biodiesel, and medicinal resource (Rukmini, 1978; Rukmini et al., 1982; Mnzava, 1990; Kumari et al., 2012a; Kumari et al., 2012b; Kumari et al., 2013; Saroop and Kaul, 2015)

Previous publications on *Cleome spinosa* Jacq. report values of 31 to 36% of oil content in its seeds, with linoleic acid being the main constituent (Earle et al., 1960; Earle et al., 1962; Barclay and Earle, 1974). Although *C. spinosa* is one of the species of the genus with higher oil content, a greater number of studies have been conducted with *C. viscosa* L., a species with multiple uses, known in different countries as spider flower, tickweed, wild mustard, and dog mustard (Mali, 2010; Kumari et al., 2013; Saroop and Kaul, 2015; Singh et al., 2018). According to the literature, *C. viscosa* seeds are used for cooking as a substitute for cumin (*Cuminum cyminum* L.), and their oil can be used to cook food. The oil of *C. spinosa* seeds also has characteristics for the production of biodiesel (Kumari et al., 2012a; Kumari et al. 2013). For other uses of *C. viscosa*, see Saroop and Kaul (2015).

Known in northeastern Brazil as “mussambê”, *C. spinosa* was synonym with *Tarenaya spinosa* (Jacq.) Raf. (Soares Neto et al., 2018) until 2018. In the most recent study by Soares Neto et al. (2019), these authors concluded, based on morphological data, that *T. spinosa* is a distinct taxon that does not occur in Brazil. The species previously described as a synonym with *C. spinosa* is actually a new species now named

*T. longicarpa* Soares Neto and Roalson (Soares Neto et al., 2018; Soares Neto et al., 2019). Morphologically, *T. longicarpa* is characterized by its herbaceous or sub-shrub habit, profuse branching, and heights reaching up to 2.5 m. In Brazil, it is widespread in the Northeast region, growing spontaneously in urban centers, degraded areas, around lakes, and along water and sewage treatment channels. It also occurs in deciduous, semi-deciduous forests, and riparian forests, along rivers and roadsides, and in black-water flooded forests (Igapó) in the Amazon. Flowering and fruiting of the species occur throughout the year, and its roots, leaves and flowers are indicated for medicinal purposes (Soares Neto et al., 2019).

Due to the recent description of *T. longicarpa*, there are no studies on the lipid composition of its seeds. To our knowledge, to date, no study on the influence of environmental parameters on the oil content and fatty acid composition of seeds of *Tarenaya* species or of the genus *Cleome* has been carried out. Research on seed lipids of different *Cleome* species, especially *C. spinosa* and *C. viscosa*, was used for comparative purposes in the present study because they are species close to *T. longicarpa*.

In this context, the objective of this study was to analyze the influence of some environmental parameters on the oil content and fatty acid profile of *T. longicarpa* seeds from three different locations in the state of Pernambuco, Northeast Brazil. Multivariate analyses were used to understand the possible relationships between oil production and the fatty acid profile of *T. longicarpa* seeds in locations with different climatic characteristics. Due to the natural occurrence of *T. longicarpa* in potentially flooded areas as well as in

drier environments, we hypothesize that, under higher rainfall and lower temperatures, *T. longicarpa* seeds have a higher oil content with a predominance of unsaturated fatty acids compared to those from areas with lower rainfall and higher temperatures, which present higher concentration of saturated fatty acids.

## **Materials and methods**

### **Plant material and geoclimatic data**

Approximately 300 ripe fruits of *T. longicarpa* from different individuals were collected between July 2018 and February 2019 during the rainy and dry seasons in three different areas of the state of Pernambuco, Northeast Brazil (Fig. 1), as follows: Area 1) close to the Atlantic Rain Forest (Recife city); Area 2) transition between Tropical Atlantic Forest and Seasonally Dry Forest (Caruaru city); and Area 3) Seasonally Dry Tropical Forest (Serra Talhada city). Samples of *T. longicarpa* collected in the three areas were herborized and deposited at the Dárdano de Andrade Lima (IPA) and Geraldo Mariz (UFP) herbaria under registration numbers IPA 91449 (Area 1 - Recife), UFP 83,561 (Area 2 - Caruaru), and IPA 85644 (Area 3 - Serra Talhada).

Geoclimatic data of altitude, latitude, longitude, rainfall, and maximum (T<sub>max.</sub>), minimum (T<sub>min.</sub>) and mean (T<sub>mean</sub>) air temperatures in the study areas were recorded and are shown in Table 1. According to the literature, the fruiting of *T. longicarpa* occurs approximately 23 days after flowering (Pereira et al., 2007). Thus, the mean values of rainfall and T<sub>max.</sub>, T<sub>min.</sub> and T<sub>mean</sub> were calculated based on the three months prior to collection.

### **Oil extraction and fatty acid esterification**

*Tarenaya longicarpa* seed oil was obtained according to Barbosa et al. (2014). Ripe fruits without physical damage or with visible incidence of fungi were separated according to locations and periods of collection. After selection, the seeds were removed and dehydrated for five days in a drying oven with air circulation at 45 °C. After drying, seeds were crushed and subjected to exhaustive extraction a soxhlet apparatus with *n*-hexane for 8 h. Three independent extractions were carried out from 1 g of seeds obtained from 15 fruits (total of 45 fruits for each period of collection and 90 per location). The oil obtained was concentrated under reduced pressure in a rotary evaporator and subsequently in nitrogen gas until complete evaporation of the solvent. The oil content was estimated by the ratio between the initial weight of the sample (1 g) and the final weight of the extracted lipids. The oil obtained was stored in amber glass at 4 °C until chemical analysis.

The hydrolysis and esterification of fatty acids were performed according to Araújo et al. (2019), with adaptations. In brief, 500  $\mu$ l of 0.5 M KOH in methanol was added to 25 mg of the oil. The solution was subjected to vortexing for 2 minutes, followed by addition of 2 ml of *n*-heptane and further stirring for another 2 minutes. The material was centrifuged at 2,000 RPM for approximately 15 minutes and the supernatant containing the methyl esters of fatty acids was collected and concentrated under nitrogen gas.

### **Gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS)**

Fatty acid methyl esters (FAMES) were analyzed in a gas chromatograph coupled to a mass spectrometer (GC-MS QP-5050 Shimadzu, Kyoto, Japan). Samples from three independent extractions were injected with the aid of an automatic injector (AOC-20i Shimadzu, Kyoto, Japan) in a volume of 1  $\mu$ l (Split ratio: 1/50) in a capillary column of

silica DB- 5 (5% phenyl-methylsiloxane, 30 m x 0.25 mm x 0.25  $\mu\text{m}$ , J & W Scientific, Folsom, CA, USA). Gas chromatography was performed with an initial temperature of 150  $^{\circ}\text{C}$  for 3 min, and a heating rate of 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  up to 280  $^{\circ}\text{C}$ , and kept at this temperature for 34 min; subsequently the temperature was increased by 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  up to 300  $^{\circ}\text{C}$ , and kept at this temperature for 10 min. The total running time was estimated at 62.0 minutes. Helium was used as the carrier gas with a flow of 1  $\text{cm}^3$ . The injector and detector temperatures were 250  $^{\circ}\text{C}$  and 300  $^{\circ}\text{C}$ , respectively. The mass spectrometer was operated by electronic ionization (EI) at 70 eV in scan mode with a mass limit between 40-600 Daltons. FAMES were identified by comparison with data available in the Wiley229 (Wiley, New York) and NIST11 (NIST/EPA/NIH) libraries and with a commercial sample Supelco<sup>TM</sup> mix C4-C24 (Bellefonte, PA, USA). FAMES identified by GC-MS were reanalyzed and quantified by gas chromatography (GC-2010 Plus, Shimadzu, Kyoto, Japan) and flame ionization detector (FID) with auto injector (Shimadzu AOC-20i) under the same chromatographic conditions described above. The relative quantity of FAMES was calculated from the integrated area of each peak and expressed as a percentage of the total area of all peaks. Values were expressed as mean  $\pm$  SD (n = 3).

### **Statistical analysis**

Data were first assessed for normality using the Shapiro-Wilk test. The oil content and fatty acid profile between the two collection periods were submitted to Student's *t* test with a 5% significance level. Pearson correlation analyses were used to check the possible correlations between the environmental conditions of the three locations studied (altitude, latitude, longitude, rainfall, T<sub>max.</sub>, T<sub>min.</sub> and T<sub>mean</sub>) and the oil content and acid composition of *T. longicarpa* seeds. Principal Component Analyses

(PCA) was also performed to interpret which environmental parameters are more influential on the oil content and fatty acid composition of *T. longicarpa* seeds. For the PCA, the Kaiser-Meyer-Olkin standardization (KMO) and Bartlett's sphericity test were previously applied to measure data adequacy. The PCA was generated with Varimax rotation and factors with eigenvalues  $> 1$  and factorial loads  $> 0.600$  (commonality) were considered. All tests were performed using the SPSS software version 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

## Results

### Oil content and fatty acid profile

The percentage of oil and the fatty acid profile of *T. longicarpa* from the studied areas are shown in Table 2. In general, the oil content of the seeds varied significantly between the two collection periods, but higher concentrations were observed in the rainy season (Student's *t*-test,  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ ). The lowest temperature values were also seen during this season. *Tarenaya longicarpa* seeds collected during the rainy season, for example, had higher oil content (36.8% of oil on average) than those collected in the dry season (27.2% of oil on average). Only in Recife, where rainfall is notably high (72.2 to 329.4 mm), there were no significant differences in oil content between the two collection periods (Table 2). In contrast, seeds collected in Serra Talhada, the site with the lowest precipitation values, presented the lowest oil content value (15.4%) in the dry season (18.4 mm). In a first analysis, low rainfall negatively affected the production of seed oil. However, high rainfall such as that observed in Recife also had a negative influence on the production of seed oil in *T. longicarpa*.

Ten fatty acids were identified through GC-MS in the seed oils of *T. longicarpa* (Table 2). Linoleic acid (C18:2) was the main fatty acid identified (39.5 to 41.9%), followed by palmitic (C16:0) and oleic (C18:1) acids. The lauric (C14:0), palmitoleic (C16:1), linolenic (C18:3), arachidic (C20:0), behenic (C22:0) and lignoceric (C24:0) acids were identified in lower quantities, or went undetected (content below 0.1%), mainly in the seeds from Serra Talhada, an area markedly characterized by low rainfall. In general, the saturated fatty acids of *T. longicarpa* (e.g., C16:0 and C18:0) were more concentrated in seeds collected during the dry season, especially C16:0 (Student's *t*-test,  $p < 0.05$ ). On the other hand, the unsaturated fatty acid C18:1 predominated in seeds collected during the rainy season (Student's *t*-test,  $p < 0.05$ ). It is noteworthy that the main unsaturated fatty acid of *T. longicarpa* (C18:2) did not vary significantly between the collection periods. The fatty acid profile of *T. longicarpa* was markedly unsaturated (UFA > 67.0%), and presented greater proportions in seeds collected during the rainy season (Student's *t*-test,  $p < 0.05$ ). The oleic/linoleic (O/L) acid ratio varied from 0.45 to 0.68, being higher in seeds collected during the rainy season (Table 2).

### Seasonal variation in oil content and fatty acid profile

Precipitation and temperature are environmental parameters known to affect the lipid production of seeds. In our study, the oil content and the percentage of the main fatty acids in *T. longicarpa* seeds were significantly correlated with temperature (Table 3). The oil content ( $r = -0.854$ ,  $p = 0.031$ ), C16:0 ( $r = 0.865$ ,  $p = 0.026$ ), C18:1 ( $r = -0.902$ ,  $p = 0.014$ ),  $\sum$ UFA ( $r = -0.815$ ,  $p = 0.048$ ), and O/L ratio 0 ( $r = -0.939$ ,  $p = 0.006$ ), for example, were significantly correlated with Tmean. C18:1 and the O/L ratio were also influenced by Tmin. ( $r = -0.826$ ,  $p = 0.043$ ; and  $r = -0.865$ ,  $p = 0.026$ , respectively). The main fatty acid identified in the oil of *T. longicarpa* seeds, linoleic acid (C18:2), did not

show significant correlation with any of the registered geoclimatic parameters, e.g., rainfall ( $r = 0.213$ ,  $p = 0.685$ ), Tmax. ( $r = 0.600$ ,  $p = 0.208$ ), Tmean ( $r = 0.475$ ,  $p = 0.341$ ) and Tmin. ( $r = 0.718$ ,  $p = 0.108$ ). Altitude, latitude, rainfall, and Tmax. did not significantly influence the oil content and fatty acid profile of *T. longicarpa* seeds (Table 3).

Principal component analysis was used to minimize the number of variables and thus better describe how the oil content and fatty acid profile of *T. longicarpa* seeds were influenced by the geoclimatic variables in the different collection periods and sampled sites. The result of the PCA for the geoclimatic data (altitude, latitude, longitude, rainfall, Tmax., Tmin. and Tmean) and the eight parameters of the seed oil (oil content, C16:0, C18:0, C18:1, C18:2,  $\Sigma$ SFA,  $\Sigma$ UFA, and O/L), again excluding minor and undetected fatty acids, is shown in Fig. 2. The PCA showed that 79.1% of the data variance was explained by two main components, PC1 and PC2, which accounted for 59.7% and 19.4% of the variance, respectively.

According to the component of the rotated matrix, the PC1 axis had as main variables and factor loads, respectively, O/L (-0.995), C18:1 (-0.983), Tmean (0.958),  $\Sigma$ UFA (-0.919), SFA (0.913), C16:0 (0.910), Tmin. (0.899), C18:0 (0.825), Oil (-0.711), and, to a lesser extent, with C18:2 (0.590) and Tmax. (0.578). The PC2 axis was strongly influenced by longitude (0.991), latitude (0.880), altitude (-0.831), rainfall (0.780) and, to a lesser extent, with Tmax. (-0.682). The PCA showed that the vectors Tmean,  $\Sigma$ SFA, C16:0, Tmin. and C18:0 was clearly positioned in the quadrant associated with the driest collection period, while the vectors O/L ratio, C18:1,  $\Sigma$ UFA, and oil content were more directed to the quadrant associated to the rainy collection period. However, in both cases, rainfall did not directly influence the studied lipid parameters. According to the PCA, Tmean and Tmin. were the geoclimatic factors that most influenced the saturated fatty acid profile in *T. longicarpa* (Fig. 2)

## Discussion

In the present study, we verified whether the oil content and fatty acid profile of *T. longicarpa* seeds were influenced by geoclimatic characteristics of three different areas where the plant occurs spontaneously. To our knowledge, no study has investigated the influence of seasonality on the oil production and fatty acid profile of *T. longicarpa* or of any other species of the genus *Tarenaya* or taxonomically related genera such as *Cleome*, whose species are the most studied within Cleomaceae. Thus, the influence of environmental parameters on the oil content and fatty acid profile of *T. longicarpa* is being presented here for the first time.

According to our results, the oil content of *T. longicarpa* was similar to that found in other species of the genus *Cleome*, close to *T. longicarpa*, such as *C. arabica* L., *C. diandra* Burch., *C. gynandra* L. (Syn. *Gynandropsis gynandra* (L.) Briq.), *C. icosandra* L., *C. pilosa* Benth., *C. sonora* A. Gray, *C. serrulata* Pax, *C. spinosa* Jacq., *C. tenuis* S. Watson, and *C. viscosa* L. (Earle et al., 1960; Barclay and Earle, 1974; Uma Devi and Zaidi, 1977; Kumari et al., 2013; Mnzava, 1990). In our analyses, contents above 40% of oil, not registered in the literature consulted for *Cleome* species, were found in seeds obtained from two areas. Due to the high oil content in the seeds and the spontaneous growth in locations with different climatic characteristics, *T. longicarpa* is one of the largest sources of oil in the Cleomaceae family still underutilized.

Although other climate variables may also contribute to the changes in fatty acid composition, according to the literature, temperature and precipitation are the factors that most affect oil production and fatty acid profile of seeds and, therefore, the most commonly investigated (Pritchard et al., 2000; Rotundo and Westgate, 2009; Grunvald et al., 2013; Barbosa et al., 2014). Yet, the existence of a positive or negative correlation between oil production and fatty acid profile and these parameters depends on the species

or even on the genotype studied. For native or underutilized species, research of this nature is scarce (Barbosa et al., 2014; Barbosa da Silva et al., 2021).

Our findings, at first, demonstrated that seeds collected during the rainy season produce more oil, partially corroborating our hypothesis. However, excess rain, as that observed in Recife, reduced the oil content of seeds. Precipitation between 50 to 80 mm seems to be ideal for *T. longicarpa* in terms of oil production. Our findings are in line with some studies. Pritchard et al. (2000), for example, reported a high oil content in canola (*Brassica napus* L.), a Brassicaceae species related to Cleomaceae, under higher rainfall. Lower oil content of seeds under less water availability has also been reported in rapeseed (Aslam et al., 2009). Barbosa et al. (2014), also reported a significant reduction in the oil content of *C. procera* at precipitation values below 20 mm, such as those recorded in Serra Talhada.

Contrary to the tests for comparisons of means, the correlation and multivariate analyses showed that rainfall was not the predominant factor influencing oil production and the quantitative profile of fatty acids of *T. longicarpa* seeds. Although precipitation was different in the different locations studied, some parameters related to the soil such as the soil water-holding capacity, which is controlled primarily by the soil texture and the soil organic matter content, drainage, mineral composition, and pH, were not monitored in the present study. It is known that soil drainage, for example, is one of the factors that can affect the oil content of seeds. For example, in linseed (*Linum usitatissimum* L.), the increase in plant-available water content (PAWC) in the soil increased by 2.5% the oil content of seeds (Klein et al., 2017). Regarding the availability of nutrients, the oil content of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds increased linearly with the increase in phosphorus levels (Silva et al., 2020). In turn, pH values influence the bioavailability of micronutrients in the soil and these factors altogether can have an impact on the production and characteristics of seed oils (Pasandi et al., 2018). Thus, punctual values of

precipitation, even recorded in months prior to collection as in the present study, may not efficiently predict the impact of this parameter on the lipid production, as verified in *T. longicarpa*. Besides the physical and chemical parameters of the soil, not registered in the present study, the influence of genetic characteristics of the studied individuals on lipid production cannot also be ruled out.

The correlation and multivariate analyses showed that  $T_{min}$ . and especially  $T_{mean}$  were the geoclimatic parameters that most influenced oil production and the quantitative profile of fatty acids, which partially corroborates our initial hypothesis. Our findings showed, for example, that the content of C16:0 and C18:1 was directly influenced by  $T_{mean}$ , but in an inverse manner. This was already expected considering that the samples from Serra Talhada, the site with higher temperatures, produced more saturated fatty acids. Similarly, seeds of *C. procera* occurring in Serra Talhada, the same location studied here, also produced a higher percentage of saturated fatty acids (Barbosa et al., 2014). The relationship between saturated and unsaturated fatty acids and temperature has already been described in the literature (Trémolières et al., 1982; Garcés et al., 1994; Aslam et al., 2009).

The main unsaturated fatty acid in *T. longicarpa*, C18:2, predominated in all areas and collection periods, but it was not correlated with any of the geoclimatic parameters, not even temperature, as it was expected. According to some authors, although minimum temperatures have the most prominent effect on the composition of unsaturated fatty acids (Trémolières et al., 1982; Lajara et al., 1990; Garcés et al., 1994), areas with different temperatures at similar latitudes, like those in the present study, show similar values of linoleic acid (Grunvald et al., 2013). No difference was found in the content of linoleic acid in seeds of *C. procera*, the main fatty acid found in seeds of this species, between areas with different temperatures located at the same latitude (Barbosa et al., 2014). It is worth noting that the PCA in our study already indicated low commonality (= 0.307) for

C18:2, demonstrating that this fatty acid would not be correlated with any of the registered geoclimatic parameters.

Although our study was not directed to the biosynthesis of fatty acids in *T. longicarpa* seeds, some aspects can be highlighted. From a biosynthetic point of view, linoleic acid, the main fatty acid identified in *T. longicarpa*, should predominate in seeds collected in periods of lower temperature. It is known that the biosynthesis of linoleic acid is mediated by the activity of oleoyl phosphatidylcholine desaturase (ODS), a Fatty Acid Desaturase type 2 (FAD2), which, like other enzymes, has temperature-dependent properties. Low

Oleic acid was the second major unsaturated fatty acid present in *T. longicarpa* seed oil. Stearoyl-ACP desaturase (SAD) is the enzyme that catalyzes the first stage of the biosynthesis of unsaturated fatty acids. In this case, SAD converts stearic into oleic acid, which is then desaturated into linoleic and  $\alpha$ -linolenic acids by the action of FAD2 and FAD3, respectively. Thus, SAD plays a crucial role in the formation of an unsaturated fatty acid profile in plants, as pointed by Hernández et al. (2019). According to these authors, SAD genes in olive (*Olea europaea* L.) are transcriptionally regulated by temperature, among other factors. Increased levels of SAD gene expression, for example, were observed in the olive mesocarp at low temperatures.

This was also observed in *Chlamydomonas reinhardtii* (James et al., 2013). In our study, highest content of oleic acid was found in areas with greater water availability and lower temperature. Although we did not observe any correlation between precipitation and fatty acid content, other factors related to water availability (e.g., soil water-holding capacity) may exert some influence on the biosynthesis of oleic acid. According to Rakow and McGregor (1975), water stress can cause premature seed maturation or a reduction in the desaturation of stearic to oleic acid, preventing the increase of the latter in developing rapeseed seeds. In canola, lower oleic acid content was also found under water stress

conditions (Aslam et al., 2009). Our findings corroborate these previous studies on the reduction of oleic acid content in situations of lower water availability.

Temperatures usually increase the activity of this enzyme and, consequently, the content of polyunsaturated fatty acids such as linoleic acid (Rolletschek et al., 2007). However, according to these authors, the extent of the effect of temperature varies across species. For example, the linoleic acid content of safflower seeds was weakly influenced by ambient temperature, whereas the metabolism of sunflower seeds was much more dependent on this parameter (see other references in Rolletschek et al., 2007). Considering that the linoleic acid content of *T. longicarpa* seed oil was similar in the different sampling periods, we believe that the influence of temperature on the activity of FAD2 was minimal. In our study, the average temperatures ranged from 22.1 to 27.7%, which cannot be considered low, especially for a tropical species such as *T. longicarpa*. According to Rolletschek et al. (2007), oilseeds with a fatty acid profile that presents stability within a temperature range are very desirable from a biotechnological point of view, because maintaining a fatty acid profile is very important for the quality and application of the vegetable oil. This may be the case of *T. longicarpa* with respect the linoleic acid content.

According to the literature, *C. viscosa* is the most studied species in the family Cleomaceae in terms of lipid potential. Like other species of the family, linoleic acid was the main fatty acid identified in the oil of *T. longicarpa* seeds. Vegetable oils rich in linoleic acid and other unsaturated fatty acids are beneficial to human health by preventing cardiovascular diseases, and thus diets based on these acids are desired (Sacks et al., 2017). Seeds of *C. viscosa*, with concentrations of linoleic acid from 47 to 70%, have been indicated as food and even highlighted as a substitute for cumin, and their oil has been indicated for cooking (Rukmini et al., 1982; Kumari et al., 2013; Saroop and Kaul, 2015). As it is a recently described species, the natural consumption of *T.*

*longicarpa* seeds or the use of their oil is unknown, but these potentialities can be envisaged based on their fatty acid profile, which is 65% unsaturated on average.

However, before the indication of *T. longicarpa* seeds for food purposes, additional studies on antinutritional factors and toxicity of seeds are necessary.

From another perspective, the seed oil *C. viscosa* has similar physical and chemical characteristics to that of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) and can be indicated for biodiesel production (Kumari et al., 2012a; Kumari et al., 2013). Although no physicochemical study has been developed with the seed oil of *T. longicarpa*, its fatty acid profile is even closer to that of *J. curcas*, particularly in relation to the percentage of C18:1 and C18:2. Comparatively, the oil of *C. viscosa* presents a lower percentage of C18:1 and a high percentage of C18:2 in relation to the oil of *T. longicarpa*. Thus, the oil of the latter may present a greater oxidative stability, which is desirable to augment the quality of the biodiesel (Kumari et al., 2012a; Kumari et al., 2013). Furthermore, from a phenological point of view, *T. longicarpa* blooms and bears fruit throughout the year, under different climatic conditions, thus becoming a readily available oil source. Although no study addressing the food and/or biodiesel potential of seeds of *T. longicarpa* has been carried out, the high oil content and fatty acid profile similar to that of other species already studied for these purposes, such as *C. viscosa* and *J. curcas*, make *T. longicarpa* a promising raw material from this perspective.

## **Conclusions**

The present study evaluated the effect of some geoclimatic variables on the oil content and fatty acid profile of seeds of *T. longicarpa*. Although the oil content followed the intensity of rainfall, the actual impact of precipitation on the production of oil content as well as on the fatty acid profile was not clear. Other geoclimatic parameters not addressed in our study

such as the physical and chemical properties of the soil could provide more information on the importance of water availability on the aspects evaluated here. Regarding temperature, the production of saturated fatty acids, particularly palmitic acid, was positively correlated with this parameter. In view of its spontaneous growth and adaptation to different climatic situations and soil conditions, including the poorest and uninhabitable for more demanding species, we emphasize that complementary analyses should be conducted with *T. longicarpa* aiming at known its productivity, nutritional potential, including the existence of antinutritional factors, and the physical and chemical properties of its oil, like other species of Cleomaceae and related families already studied in these aspects. Further research should also be directed to the investigation of the existence of possible genotypic variations in *T. longicarpa*.

**Acknowledgments** This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) - Finance Code 001. The first author is grateful to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Brazil) for a PhD scholarship. The second author is grateful to the CNPq for the research grant (310811/2019-8).

**Conflict of Interest** The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

Ahmad, S., Anwar, F., Hussain, A. I., Ashraf, M., & Awan, A. R. (2007). Does soil salinity affect yield and composition of cottonseed oil? *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **84**:845–851.

- Araujo, K. S., Silva, S. M. S. E., Santos, L. D., Malafaia, C. B., & Barbosa, M. O. (2019). A preliminary study of the physico-chemical properties and fatty acid profile of five palm genotypes cultivated in Northeast of Brazil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, **4**:251–256.
- Aslam, M. N., Nelson, M. N., Kailis, S. G., Bayliss, K. L., Speijers, J., & Cowling, W. A. (2009). Canola oil increases in polyunsaturated fatty acids and decreases in oleic acid in drought-stressed Mediterranean-type environments. *Plant Breeding*, **128**:348–355.
- Ayerza (h), R., & Coates, W. (2009). Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and  $\alpha$ -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Industrial Crops and Products*, **30**:321–324.
- Barbosa, M. O., Almeida-Cortez, J. S., Silva, S. I., & Oliveira, A. F. M. (2014). Seed oil content and fatty acid composition from different populations of *Calotropis procera* (Aiton) W. T. Aiton (Apocynaceae). *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **91**:1433–1441.
- Barbosa, M. O., Coutinho, D. J. G., Santos, J., Cordeiro, R. P., Muniz, L. R., Alves, R.C., Bessa, C. M. A. S., Silva, M. V., Oliveira, M. B. P. P., & Oliveira, A. F. M. (2019). Composition of fatty acids, tocopherols, tocotrienols and  $\beta$ -carotene content in oils of seeds of Brazilian Sapindaceae and Meliaceae species. *Journal of Food Science and Technology*, **56**:3164–3169.
- Barbosa da Silva R., da Silva-Júnior, E. V., Trigueiros, L. M. B. M., dos Santos, R. H. G., Aquino, J. S., Campos, A. R. N., & Oliveira, A. F. M. 2021. “Macaíba,” an emerging oil crop: Nutritional evaluation of the pulp and kernel fruits from semi-arid and coastal zone of northeast Brazil. *Journal of Agronomy Crop Science*, **207**:139–147.
- Barclay, A. S., & Earle, F. R. (1974). Chemical analyses of seeds III oil and protein content of 1253 species. *Economic Botany*, **28**:178–236.

- Chaffai, R., Elhammadi, M. A., Seybou, T. N., Tekitek, A., Marzouk, B., & El Ferjani, E. (2007). Altered fatty acid profile of polar lipids in maize seedlings in response to excess copper. *Journal of Agronomy and Crop Science* **193**:207–217.
- Coutinho, D. J. G., Barbosa, M. O., Souza, R. J. C., Silva, A. S., Silva, S. I., & Oliveira, A. F. M. (2016a). Biodiesel potential of the seed oils from some Brazilian native Euphorbiaceae species. *Renewable Energy*, **91**:275–281.
- Coutinho, D. J. G., Barbosa, M. O., de Souza, R. J. C., da Silva, A. S., da Silva, S. I., & de Oliveira, A. F. M. (2016b). Comparative study of the physicochemical properties of FAME from seed oils of some native species of Brazilian Atlantic Forest. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **93**:1519–1528.
- Earle, F. R., Glass, C. A., Geisinger, G. C., Wolff, I. A., & Jones, Q. (1960). Search for new industrial oils. IV. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **37**:440–447.
- Earle, F. R., Wolff, I. A., Glass, C. A., & Jones, Q. (1962). Search for new industrial oils. VII. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **39**:381–383.
- Ebrahimian, E., Seyyedi, S. M., Bybordi, A., & Damalas, C. A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, **218**:149–157.
- Garcés, R., Sarmiento, C., & Mancha, M. (1994). Oleate from triacylglycerols is desaturated in cold-induced developing sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. *Planta*, **193**:473–477.
- Grunvald, A. K., Carvalho, C. G. P., Leite, R. S., Mandarino, J. M. G., Andrade, C. A. B., Amabile, R. F., & Godinho, V. P. C. (2013). Influence of temperature on the fatty acid composition of the oil from sunflower genotypes grown in tropical regions. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **90**:545–553.

- Hernández, M. L., Sicardo, M. D, Alfonso, M., & Martínez-Rivas, J. M. (2019). Transcriptional regulation of stearyl-acyl carrier protein desaturase genes in response to abiotic stresses leads to changes in the unsaturated fatty acids composition of olive mesocarp. *Frontiers in Plant Science*, **10**:251.
- James, G. O., Hocart, C. H., Hillier, W., Chen, H., Kordbacheh, F., Price, G. D., & Jordjevic, M.A. (2011). Fatty acid profiling of *Chlamydomonas reinhardtii* under nitrogen deprivation. *Bioresource Technology*, **102**:3343–3351.
- Klein, J., Zikeli, S., Claupein, W., & Gruber, S. (2017). Linseed (*Linum usitatissimum*) as an oil crop in organic farming: abiotic impacts on seed ingredients and yield. *Organic Agriculture*, **7**:1–19.
- Kumari, R., Jain, V. K., & Kumar, S. (2012a). Biodiesel production from seed oil of *Cleome viscosa* L. *Indian Journal of Experimental Biology*, **50**:502–510.
- Kumari, R., Mallavarapu, G. R., Jain, V. K., & Kumar, S. (2012b). Chemical composition of the fatty oils of the seeds of *Cleome viscosa* accessions. *Natural Product Communications*, **7**:1363–1364.
- Kumari, R., Mallavarapu, G. R., Jain, V. K., & Kumar, S. (2013). Corresponding properties of fatty oils of *Cleome viscosa* and *Jatropha curcas* as resources of biodiesel. *Agricultural Research*, **2**:393–399.
- Lajara, J. R., Diaz, U., & Quidiello, R. D. (1990). Definite influence of location and climatic conditions on the fatty acid composition of sunflower seed oil. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **67**:618–623.
- Mali, R. G. (2010). *Cleome viscosa* (wild mustard): A review on ethnobotany, phytochemistry, and pharmacology. *Pharmaceutical Biology*, **48**:105–112.
- Mnzava, N. A. (1990). Studies on tropical vegetables. Part 2: Amino and fatty acid composition in seed of *Cleome* (*Gynandropsis gynandra* L. Briq) selections from Zambia. *Food Chemistry*, **35**:287–293.

- Mora-Escobedo, R., Hernández-Luna, P., Joaquín-Torres, I. C., Ortiz-Moreno, A., & Robles-Ramirez, M. D. C. (2015). Physicochemical properties and fatty acid profile of eight peanut varieties grown in Mexico. *CYTA - Journal of Food*, **13**:300–304.
- Pasandi, M., Janmohammadi, M., Abasi, A., & Sabaghnia, N. (2018). Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management. *Nova Biotechnologica et Chimica*, **17**:86–94.
- Pereira, D. A., Brito, A. C., & Amaral, C. L. F. (2007). Biologia floral e mecanismos reprodutivos do Mussambê (*Cleome spinosa* Jacq) com vistas ao melhoramento genético. *Biotemas*, **20**:27–34.
- Pinho, R. S., Oliveira, A. F. M., & Silva, S.I. (2009). Potential oilseed crops from the semiarid region of northeastern Brazil. *Bioresource Technology*, **100**:6114–6117.
- Pritchard, F. M., Eagles, H. A., Norton, R. M., Salisbury, P. A., & Nicolas, M. (2000). Environmental effects on seed composition of Victorian canola. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **40**:679–685.
- Rakow, G., & D. I. McGregor. (1975). Oil, fatty acid and chlorophyll accumulation in developing seeds of two “linolenic-acid lines” of low erucic-acid rapeseed. *Canadian Journal of Plant Science*, **55**:197–204.
- Rolletschek, H., Borisjuk, L., Sánchez-García, A., Gotor, C., Romero, L. C., Martínez-Rivas, J. M., & Mancha, M. (2007). Temperature-dependent endogenous oxygen concentration regulates microsomal oleate desaturase in developing sunflower seeds. *Journal of Experimental Botany*, **58**:3171–3181.
- Rotundo, J. L., & Westgate, M. E. (2009). Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*, **110**:147–156.
- Rukmini, C. (1978). Chemical, nutritional and toxicological evaluation of the seed oil of *Cleome viscosa*. *Indian Journal of Medical Research*, **67**:604–607.

- Rukmini, C., Vijayaraghavan, M., & Tulpule, P. G. (1982). Nutritional and toxicological evaluation of *Hibiscus sabdariffa* oil and *Cleome viscosa* oil. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **59**:415–419.
- Sacks, F. M., Lichtenstein, A. H., Wu, J. H. Y., Appel, L. J., Creager, M. A., Kris-Etherton, P. M., Miller, M., Rimm, E. B., Rudel, L. L., Robinson, J. G., Stone, N. J., & Van Horn, L. V. (2017). Dietary fats and cardiovascular disease: a presidential advisory from the American Heart Association. *Circulation*, **136**:e1-e23.
- Sakhno, L. O. (2010). Variability in the fatty acid composition of rapeseed oil: Classical breeding and biotechnology. *Cytology and Genetics*, **44**:389–397.
- Sarooop, S., & Kaul, V. (2015). *Cleome viscosa*: a promising underutilized minor crop. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **62**:1121–1126.
- Singh, H., Mishra, A., & Mishra, A. K. (2018). The chemistry and pharmacology of *Cleome* genus: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, **101**:37–48.
- Silva, S. I., Oliveira, A. F. M., Negri, G., & Salatino, A. (2014). Seed oils of Euphorbiaceae from the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Biomass & Bioenergy*, **69**:124–134.
- Silva, R. B.; Silva-Júnior, E. V.; Rodrigues, L. C.; Andrade, L. H. C.; Silva, S. I.; Harand, W.; Oliveira, A. F. M. (2015). A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **87**:1701-1709.
- Silva, T. R. B, de Melo, S. C., Nascimento, A. B., Ambrosano, L., Bordin, J. C., Alves, C. Z., Secco, D., Santos, R. F., Gonçalves-Jr, A. C., & Silva, G. D. (2020). Response of chia (*Salvia hispanica*) to sowing times and phosphorus rates over two crop cycles. *Heliyon*, **6**:e05051.

- Soares Neto, R. L., Thomas, W. W., Barbosa, M. R. V., & Roalson, E. H. (2018). New combinations and taxonomic notes for *Tarenaya* (Cleomaceae). *Acta Botanica Brasilica*, **32**:540–545.
- Soares Neto, R. L., Thomas, W. W., Barbosa, M. R. V., & Roalson, E. H. (2019). A well-known “Mussambê” is a new species of *Tarenaya* (Cleomaceae) from South America. *Systematic Botany*, **44**:686–691.
- Soares Neto, R. L., & Costa e Silva, M. B. (2020, October 8). Cleomaceae in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Retrieved from <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB121872>
- Trémolières, A., Dubacq, J. P., & Drapier, D. (1982). Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape: Regulation by temperature and light intensity. *Phytochemistry*, **21**:41–45.
- Uma Devi, Y., & Zaidi, H. R. (1977). Composition and characteristics of *Cleome icosandra* L. seed oil. *Fette Seifen Anstrichmittel*, **79**:91-92.
- Younis, Y. M. H., Ghirmay, S., & Al-Shihry, S. S. (2000). African *Cucurbita pepo* L.: Properties of seed and variability in fatty acid composition of seed oil. *Phytochemistry*, **54**:71.

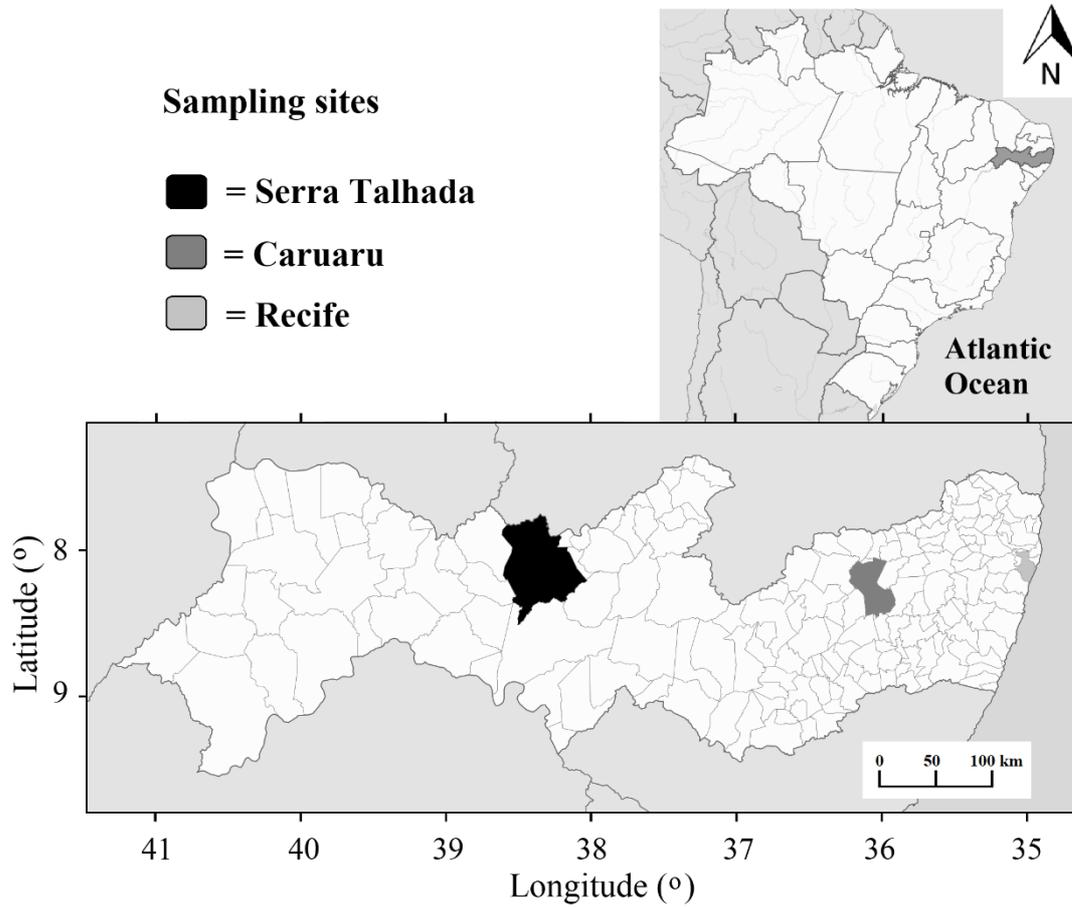


Fig. 1. Collection sites of *Tarenaya longicarpa* in the state of Pernambuco, Northeast Brazil. Brazil and Pernambuco maps were obtained from Wikipedia Commons (Wikimedia Foundation, Inc., San Francisco, California, USA)

**Table 1** Geoclimatic characteristics of the three collection sites in Pernambuco, Northeast Brazil.

Geo-climatic characteristics	Locality					
	Recife		Caruaru		Serra Talhada	
Köppen–Geiger climate classification	Tropical As		Tropical BSh		Tropical BSh	
Latitude	8°18'22''S		8°18'09''S		7°58'4''S	
Longitude	34°57'16''W		36°00'37''W		38°17'45''W	
Altitude (m)	10		410		450	
	Season					
	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry
T (°C) max.	30.3	32.7	28.3	31.1	33.4	36.0
T (°C) min.	18.6	21.1	15.4	17.1	16.3	19.4
T (°C) mean	24.1	27.0	22.1	24.2	23.0	27.7
Rainfall (mm)	329.4	72.2	83.7	43.4	53.1	18.4

Air temperatures and rainfall data are average values ( $\pm$  SD) taken monthly in the 3 months prior to seed collections between obtained from the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC, <https://www.apac.pe.gov.br>).

**Table 2** Seasonal effects on seed oil content and fatty acids composition of *Tarenaya longicarpa* from the three collection sites in Pernambuco, Northeast Brazil.

	Location/Season					
	Recife		Caruaru		Serra Talhada	
	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry
Oil content (%)	27.3 ± 1.70	30.5 ± 1.60	42.9 ± 0.70*	35.9 ± 2.50	40.3 ± 4.10**	15.4 ± 1.80
C14:0	-	0.26 ± 0.04	0.24 ± 0.01*	0.18 ± 0.04	-	-
C16:0	21.35 ± 0.49	26.29 ± 1.21*	21.92 ± 0.13	24.79 ± 0.58*	22.25 ± 0.50	26.15 ± 1.28*
C16:1	-	0.40 ± 0.14	0.31 ± 0.01*	0.29 ± 0.01	-	-
C18:0	9.67 ± 0.39	10.52 ± 0.79	9.41 ± 0.51	10.69 ± 0.56*	8.82 ± 0.15	10.17 ± 0.93*
C18:1	24.97 ± 2.00*	18.38 ± 0.38	25.94 ± 0.64*	21.59 ± 1.99	27.24 ± 1.66*	19.64 ± 0.71
C18:2	41.20 ± 0.47	40.98 ± 3.13	39.97 ± 0.24	39.52 ± 2.07	40.12 ± 1.27	41.95 ± 2.72
C18:3	1.15 ± 0.11	1.42 ± 0.31	0.78 ± 0.02	1.27 ± 0.15*	-	0.95 ± 0.69
C20:0	1.14 ± 0.05	1.10 ± 0.13	0.24 ± 0.01	1.13 ± 0.08*	1.07 ± 0.02	-
C22:0	-	0.23 ± 0.04	-	0.25 ± 0.01	-	-
C24:0	-	0.23 ± 0.04	-	0.19 ± 0.02	-	-
O/L (%)	0.61 ± 0.04*	0.45 ± 0.04	0.65 ± 0.01*	0.55 ± 0.08	0.68 ± 0.06*	0.47 ± 0.03
∑SFA (%)	32.15 ± 0.66	38.60 ± 2.24*	32.88 ± 0.71	37.23 ± 0.78*	31.78 ± 0.27	37.43 ± 2.33*
∑UFA (%)	67.31 ± 1.16*	61.18 ± 2.30	67.01 ± 0.76*	62.68 ± 0.84	67.36 ± 0.60*	62.54 ± 2.33

Values are expressed as the mean ± SD (n = 3). Fatty acid composition is expressed as percentage values of total fatty acids. Asterisks indicate statistically significant differences between seasons in the same locality according to a *t*-test (\**p* < 0.05 and \*\**p* < 0.01). C14:0 = lauric acid; C 16:0 = palmitic acid; C16:1 = palmitoleic acid; C18:0 = stearic acid; C18:1 = oleic acid; C18:2 = linoleic acid; C18:3 = linolenic acid; C20:0 = arachidic acid; C22:0 = behenic acid; C24:0 = lignoceric acid; O/L = oleic/linoleic ratio; ∑SFA =

sum of saturated fatty acids;  $\Sigma$ UFA = sum of unsaturated fatty acids; - = not detected or trace amounts (% < 0.1%).

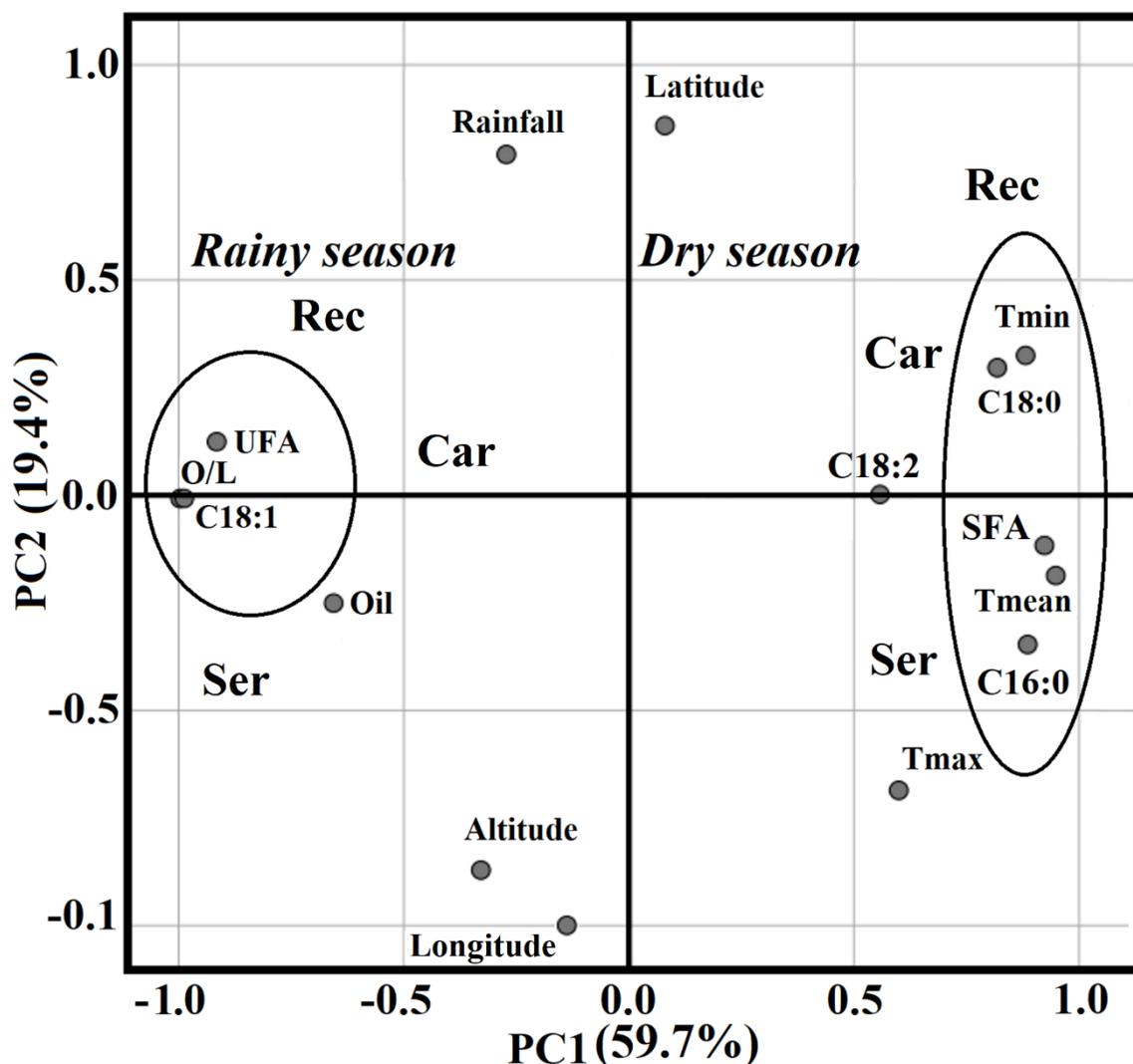


Fig. 2. Principal component analysis (scores and loading plot) of the oil content and distributions of major fatty acids of *Tarenaya longicarpa* seeds and geoclimatic characteristics of the three collection sites in Pernambuco, Northeast Brazil. Rec = Recife, Car = Caruaru, Ser = Serra Talhada, Oil = oil content, C16:0 = palmitic acid, C18:0 = stearic acid, C18:1 = oleic acid, C18:2 = linoleic acid, SFA = saturated fatty acids,

UFA = unsaturated fatty acids, O/L = oleic/linoleic ratio, Tmax = maximum air temperature, Tmean = mean air temperature and Tmin = minimum air temperature. The two collection periods correspond to the rainy and dry season.

**Table 3** Correlation coefficients ( $r$ ) between geoclimatic characteristics and the seed oil content and fatty acid composition of *Tarenaya longicarpa*.

	Geoclimatic characteristics						
	T (°C) mean	T (°C) max.	T (°C) min.	Altitude	Latitude	Longitude	Rainfall
Oil content	<b>-0.854 *</b>	-0.685	-0.725	0.200	0.324	-0.162	-0.082
C16:0	<b>0.865 *</b>	0.648	0.690	0.004	-0.142	0.106	-0.610
C18:0	0.645	0.161	0.604	-0.258	0.416	-0.403	-0.197
C18:1	<b>-0.902 *</b>	-0.493	<b>-0.826 *</b>	0.272	-0.103	0.179	0.331
C18:2	0.752	0.600	0.718	-0.345	-0.351	0.127	0.213
$\Sigma$ SFA	0.801	0.452	0.677	-0.099	0.104	-0.113	-0.509
$\Sigma$ UFA	<b>-0.815 *</b>	-0.489	-0.702	0.119	-0.074	0.100	0.507
O/L	<b>-0.939 **</b>	-0.535	<b>-0.865 *</b>	0.303	-0.055	0.155	0.283

C16:0 = palmitic acid; C18:0 = stearic acid; C18:1 = oleic acid; C18:2 = linoleic acid;  $\Sigma$ SFA = sum of saturated fatty acids;  $\Sigma$ UFA = sum of unsaturated fatty acids; O/L = oleic/linoleic ratio; bold numbers denote significant difference (\* $p < 0.05$  and \*\* $p < 0.01$ ).

4.2 ARTIGO 2 - Variação no teor de óleo e na composição de ácidos graxos de sementes de *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (Capparaceae) em áreas climaticamente distintas

A ser submetido ao *Journal of Agronomy and Crop Science*

Fator de impacto: 3.473 Qualis A1

**Variação no teor de óleo e na composição de ácidos graxos de sementes de *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl (Capparaceae) em áreas climaticamente distintas**

João Bosco da Silva Júnior<sup>1</sup>, Suzene Izídio da Silva<sup>2</sup>, Pablo Rodrigues<sup>3</sup>, Antônio Fernando Morais de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Botânica, Av. Prof. Moraes Rego, s/n, Cidade Universitária, Recife, PE, 50 670-901, Brazil.

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Av. Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, 52171-900, Brazil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Química Fundamental, Av. Jorn. Aníbal Fernandes, s/n, Cidade Universitária, 50740-560, Recife, PE, Brazil

\*Autor para correspondência: E-mail: afmoliveira@gmail.com

## **RESUMO**

Espécies de Capparaceae e famílias relacionadas como Brassicaceae são conhecidas pelo seu perfil de ácidos graxos de sementes com potencial alimentício. *Cynophalla flexuosa* é uma espécie forrageira de porte arbóreo conhecida popularmente como feijão-bravo na região semiárida do Brasil (ecossistema de Caatinga), muito embora possa ser encontrada em outros domínios fitogeográficos brasileiros, como a Floresta Atlântica (ecossistema de Restinga). Neste estudo, o teor de óleo e o perfil de ácidos graxos de sementes de *C. flexuosa* ocorrentes em áreas de Restinga e Caatinga com características climáticas distintas foram. O teor médio de óleo variou de 15,59% a 22,74%. O perfil de ácidos graxos foi predominantemente saturado no óleo das sementes

ocorrentes na Restinga com elevado teor de ácido palmítico (56,46%). Nas sementes oriundas de duas localidades distintas da Caatinga, ácido palmítico (39,43 - 42,89%) e ácido oleico (40,79 - 44,22%) predominaram equitativamente. Análises de clusters (UPGMA) mostraram que o perfil de ácidos graxos de *C. flexuosa* separa os indivíduos dentro e entre as localidades indicando a existência de alguma variação genética e/ou relacionada a fatores ambientais. Análises de correlação e de componentes principais (PCA) indicaram que parâmetros climáticos como altitude, temperatura, longitude e latitude influenciaram a composição de ácidos graxos. Baseado no perfil de ácidos graxos as potencialidades de uso do óleo de sementes de *C. flexuosa* são apresentadas.

**Palavras-chave:** Alimentação, Biodiesel, *Brassica*, Canola, *Capparis flexuosa*, Oleaginosas.

## INTRODUÇÃO

O teor de óleo e o perfil de ácidos graxos de sementes são os parâmetros iniciais a serem avaliados para a indicação de uma nova fonte de óleo. Estes parâmetros podem ser afetados por fatores ambientais como temperatura, disponibilidade hídrica, salinidade e nutrientes do solo, bem como fatores intrínsecos a planta como a sua genética (Pritchard et al., 2000; Fernández-Moya et al., 2003; Ahmad et al., 2007; Baux et al., 2008; Rotundo e Westgate, 2009; Pasandi et al., 2018). Entretanto, estudos que demonstrem a influência desses fatores na produção de óleo e composição de ácidos graxos para espécies silvestres brasileiras, nativas ou aclimatadas, com potencial oleaginoso, ainda são escassos (Barbosa et al., 2014; Barbosa da Silva et al., 2021).

Em países com megadiversidade como o Brasil, há várias espécies potencialmente úteis como fonte de lipídios, mas que ainda carecem de estudos voltados ao seu potencial biotecnológico (Pinho et al., 2009; Dias et al., 2013; Silva et al., 2015;

Coutinho et al., 2016a,b; Barbosa et al., 2019; Barbosa da Silva et al., 2021). Segundo Dos Santos et al. (2016), o estudo da composição química de óleos de sementes não convencionais, como é o caso de muitas espécies nativas do Brasil, é de suma importância para o conhecimento das propriedades físico-químicas e qualidades do óleo, e, assim, prever seu potencial uso industrial.

Capparaceae A. Juss. (= Capparidaceae) pertencente à ordem Brassicales, abrangendo 25 gêneros e aproximadamente 500 espécies, das quais 110 ( $\cong$  23%) estão presentes no Neotrópico (Soares Neto et al., 2014). No Brasil, foram registrados 12 gêneros e 30 espécies, sendo 11 endêmicas (Soares Neto e Luber, 2020). Capparaceae tem sido considerada há longo tempo relacionada a Brassicaceae (APG, 2016), em parte, porque quimicamente ambas produzem glicosinolatos. Estudos moleculares têm apoiado Capparaceae s.s. como uma família monofilética, assim como Brassicaceae Burnett e Cleomaceae Bercht. & J.Presl (Hall et al., 2002; Hall, 2008).

Dentro de Brassicaceae, *Brassica napus* L. é conhecida popularmente como colza, ou, por canola, após um melhoramento genético. A partir de uma redução no teor de ácido erúxico em seu óleo e também de glicosinolatos, o óleo de canola tornou-se o terceiro mais comercializado no mundo (Maheshwari e Kovalchuk, 2016). Com relação as Capparaceae, *Capparis spinosa* L., conhecida popularmente como “alcaparra”, é uma das mais importantes economicamente. Os botões florais e frutos desta espécie são amplamente utilizados na culinária mundial, principalmente na Espanha, Itália, Marrocos e Turquia (Wojdyło et al., 2019). Entre as Capparaceae nativas do Brasil, destaca-se *Crataeva tapia* L. Conhecida popularmente como trapiá esta espécie é utilizada na arborização, na construção civil, na recomposição de áreas degradadas e como medicinal. Frutos de *C. tapia* ainda são consumidos na forma de refrescos ou bebidas vinosas (Alves et al., 2012). Além desta, *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl, conhecida popularmente como

feijão-bravo é utilizada como medicinal e para alimentação animal na região nordeste do Brasil (Agra et al., 2007; Almeida Neto et al., 2011).

Do ponto de vista lipídico, o gênero *Capparis* é o mais estudado da família Capparaceae. Alguns estudos têm relatado que o teor de óleo de sementes para algumas espécies do gênero, notadamente *C. spinosa*, varia de 27,49 a 40,8%, sendo o perfil de ácidos graxos marcadamente insaturado. Dependendo da espécie ou origem geográfica, os ácidos oleico ou linoleico são os predominantes (Grindley, 1954; Earle and Jones, 1962; Barclay e Earle, 1974; Matthäus e Özcan, 2005; Tlili et al., 2009; Givianrad et al., 2011; Duman e Özcan, 2014; Abreu-Naranjo et al., 2020; Matthäus et al., 2021)

O presente estudo é focado em *Cynophalla flexuosa* (Figura 1), previamente descrita como *Capparis flexuosa* (L.) L. (Soares Neto e Luber, 2020). *C. flexuosa* é amplamente distribuída em todo o território brasileiro ocupando desde a vegetação litorânea do Atlântico (ecossistema de Restinga) a áreas mais secas como a Floresta Tropical Brasileira Sazonalmente Seca (ecossistema de Caatinga). A espécie também possui registro de ocorrência em outros países da América do Sul, América Central e sul da Flórida (Kjær e Schuster, 1971). Essa ampla distribuição a torna bastante atrativa para investigação do seu potencial oleaginoso.

Diante disso, o principal objetivo deste estudo foi quantificar o teor de óleo e o perfil de ácidos graxos de sementes de *C. flexuosa* ocorrentes em três localidades com diferentes características climáticas. Análises multivariadas foram realizadas para compreender como a produção de lipídios em *C. flexuosa* pode ser afetada pelas características climáticas dos locais de coleta. Em adição, o perfil de ácidos graxos de *C. flexuosa* foi comparado com aqueles de *C. spinosa* e *B. napus*, devido à proximidade taxonômica e importância alimentícia dessas espécies no cenário internacional.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material botânico e dados climáticos

Frutos maduros e sem danos de *C. flexuosa* foram manualmente coletados entre os meses de outubro de 2018 a maio de 2019 em três diferentes áreas naturais da região Nordeste do Brasil. A primeira área de coleta está localizada no estado da Paraíba, cidade do Conde, zona costeira caracterizada por uma vegetação de Restinga (7°17'13.3''S, 34°48'04.0''O). As duas outras áreas, uma na cidade de Caruaru (8°14'23.26''S 35°55'18.40''O) e outra em Serra Talhada (7°58'4''S 38°17'45''O), estão localizadas no estado de Pernambuco e são caracterizadas pelo clima semiárido e vegetação típica de Caatinga (Figura 2). Os parâmetros climáticos das áreas de estudo como altitude, latitude, longitude, precipitação e temperaturas máxima (Tmax.), média (Tmean) e mínima (Tmin.) são mostrados na Tabela 1.

Representantes de *C. flexuosa* de cada área foram depositados no Herbário UFP sob os números UFP N° 84.259 (localidade de Conde), UFP N° 85.904 (localidade de Caruaru) e UFP N°77.312 (localidade de Serra Talhada).

### 2.2. Obtenção do óleo e esterificação dos ácidos graxos

Sementes de *C. flexuosa* foram desidratadas por cinco dias em estufa de secagem com circulação de ar a 45 °C. Após desidratadas, as sementes foram trituradas e submetidas a extração em soxhlet por 8 h com *n*-hexano. Foram realizadas três extrações independentes a partir de 3 g de sementes obtidas de 10 frutos (30 frutos no total em cada área de estudo). Os óleos foram concentrados sob pressão reduzida em evaporador rotativo e posteriormente em nitrogênio gasoso até a completa eliminação

do solvente. O teor de óleo foi estimado pela razão entre o peso inicial das sementes e o peso dos lipídios extraídos. O óleo foi armazenado a 4 °C até as análises (Barbosa et al., 2014).

A hidrólise e esterificação dos ácidos graxos foram realizadas de acordo com (Araújo et al., 2019), com adaptações, descritas a seguir: Usou-se 500 µL de KOH 0,5 M em metanol foram adicionados em tubos contendo 25 mg de óleo. Os tubos foram agitados por 2 min em vórtex, seguido por adição de 2 mL de *n*-heptano e nova agitação por 2 min. Os tubos foram centrifugados a 2.000 RPM por aproximadamente 15 min, o sobrenadante separado, e o solvente evaporado sob nitrogênio gasoso.

### **Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS)**

Ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME) foram identificados por GC-MS (Trace 1300 ISQ<sup>TM</sup>, Thermo Scientific<sup>TM</sup>, Waltham, Massachusetts, USA). FAMES (1 µL), foram injetados com razão Split de 1/20 em uma coluna capilar Agilent J&W DB-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm, Agilent, Santa Clara, CA, USA). A temperatura do forno foi ajustada inicialmente a 60 °C/3 min aumentada em 10 °C/min até 240 °C. Em seguida a temperatura foi aumentada em 60 °C/min até chegar a 300 °C, permanecendo por 4 minutos. Hélio foi empregado como gás de arraste com fluxo de 1,3 mL/min. A temperatura do injetor e detector foi ajustada em de 270 e 300 °C, respectivamente. O espectrômetro de massas foi operado por impacto de elétrons (EI) a 70 eV, com varredura de 1,0 scan por 0,5 seg e intervalo de massas de 40 a 600 amu. A temperatura da fonte de íons foi ajustada em 250 °C. Os picos foram identificados por comparação com dados disponíveis de biblioteca NIST/ EPA/NIH Mass Spectral Library (NIST 05) e com uma amostra comercial Supelco<sup>TM</sup> mix C4-C24 (Bellefonte, PA, EUA).

Após a identificação, os ácidos graxos foram quantificados por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (GC-FID 2010 plus, Shimadzu Kyoto, Japão). Foi utilizado um injetor automático AOC-20i (Shimadzu, Kyoto, Japão) e uma coluna capilar Zebron ZB-5HT (30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu$ m, Phenomenex Inc., Torrance, CA, USA). A programação da temperatura do forno, injetor e detector foi idêntica as condições descritas acima. A quantidade relativa de FAMES foi calculada através da integração da área de cada pico, a partir de três extrações distintas, e expressa como uma porcentagem da área total de todos os picos.

### **Análises estatísticas**

Análises quantitativas para teor de óleo e FAMES foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão (DP). Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey,  $p < 0,05$ . Análises de correlação de Pearson e de clusters (distância Euclidiana e Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean - UPGMA) foram realizadas para verificar as possíveis correlações entre as condições ambientais e o teor de óleo e a composição de ácidos graxos entre diferentes populações. Para melhor predizer quais fatores climáticos podem influenciar o teor de óleo e a composição de ácidos graxos de *C. flexuosa*, os dados foram também checados por análises de componentes principais (PCA). Todas as análises foram realizadas no Minitab<sup>®</sup> 19.2 Statistical Software (Minitab, LLC, State College, Pennsylvania, USA).

## **RESULTADOS**

### Teor de óleo e perfil de ácidos graxos

O teor de óleo das sementes de *C. flexuosa* variou dentro e entre as localidades de coletas. Para as amostras provenientes da área de Restinga, o teor de óleo variou de 10,99 a 19,44% (média de 16,37%  $\pm$  4,67). Entre aquelas oriundas de áreas de Caatinga, a variação foi de 13,76 a 17,89% (média de 15,59%  $\pm$  2,10) para as sementes oriundas de Caruaru e 15,83 a 31,91% (média de 22,74%  $\pm$  8,28) para aquelas provenientes de Serra Talhada. Análise de variância, contudo, mostrou que esses valores médios não diferiram estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

Foram identificados 11 ácidos graxos no óleo de sementes de *C. flexuosa*. O perfil de ácidos graxos foi predominantemente saturado nas sementes ocorrentes em área de Restinga ( $\Sigma$ SFA 65,25%) e igualmente distribuído para as sementes oriundas da Caatinga ( $\Sigma$ SFA e  $\Sigma$ UFA  $\cong$  50%). A razão oleico/linoleico (O/L) foi em média 2,33 para as sementes nativas da Restinga e 9,59 e 11,70, respectivamente, para aquelas ocorrentes em Caruaru e Serra Talhada, ambas áreas de Caatinga. Esta diferença de valores foi devida ao menor percentual de ácido oleico (C18:1), registrado para as sementes ocorrentes na Restinga (Tabela 2).

O perfil de ácidos graxos do óleo das sementes de *C. flexuosa* foi semelhante entre os indivíduos ocorrentes em uma mesma localidade, mas distinto entre estas. As sementes coletadas em área de Restinga, por exemplo, possuem o ácido palmítico (C16:0) como principal constituinte (mais que 50% do óleo). As sementes provenientes de Caruaru e Serra Talhada, área de Caatinga, por outro lado, apresentaram o C18:1 como majoritário (40,79 - 44,22%). O teor de C16:0 do óleo das sementes nestas

localidades ainda foi relativamente alto (39,43 - 42,89%). Os ácidos láurico (C14:0), palmitoleico (C16:1), linolênico (C18:3), eicosenoico (C20:1), araquídico (C20:0) e lignocérico (C24:0), foram identificados em menor concentração, independente da área amostrada. Os ácidos esteáricos (C18:0) e linoleico (C18:2) foram identificados nas três áreas de coleta com concentrações variando de 3,78 a 9,50%.

### **Análises de clusters**

A distribuição quantitativa dos 11 ácidos graxos identificados no óleo das sementes de *C. flexuosa* foram submetidos a análise de agrupamento para verificação do grau de similaridade entre as amostras. Comparativamente, os perfis de ácidos graxos de *C. spinosa* e *B. napus*, obtidos da literatura, também foram usados para este propósito. De acordo com a Figura 3, dois agrupamentos são visualizados, um representado pelos indivíduos de *C. flexuosa* (amostras 1-9) e outro formado por *B. napus* (10) e *C. spinosa* (11). Os índices de similaridades em cada um desses agrupamentos foram 60,85 e 69,29%, respectivamente. Quando estes dois agrupamentos são comparados, o índice de similaridade cai para 28,02%. Dentro do agrupamento “*C. flexuosa*”, dois novos clusters são formados. O primeiro, referente as amostras da área de Restinga com similaridade de 95,43%, foi notadamente marcado pela ocorrência majoritária de C16:0 no óleo das sementes, e, um segundo, formado pelas amostras oriundas da Caatinga (similaridade de 90,62%), onde C16:0 e C18:1 predominam conjuntamente. Neste último cluster, dois novos agrupamentos podem ser observados resultante da separação dos indivíduos ocorrentes nas áreas de Caruaru com porcentagens maiores de C16:0 sobre C18:1 e Serra Talhada, onde o inverso foi encontrado. O coeficiente de correlação cofenética entre a matriz de dados (Tabela 2) e o fenograma gerado a partir dela (Figura 3) foi de  $r = 0,953$ , indicando um ótimo ajuste.

### **Análises de correlação de Pearson**

Os resultados para as análises de correlação são mostrados na Tabela 3. Dos 12 parâmetros lipídicos avaliados, apenas o teor de óleo e o percentual de C20:1 não se correlacionaram significativamente com nenhum dos parâmetros climáticos registrados. Altitude, latitude, T<sub>min.</sub> e longitude foram os parâmetros que mais influenciaram o perfil de ácidos graxos de *C. flexuosa*. A precipitação só demonstrou correlação com o C20:0. Os ácidos graxos C14:0, C16:0, C18:1, C18:2, C22:0 e C24:0 foram os que mais se correlacionaram significativamente com a maioria dos parâmetros climáticos registrados.

### **Análises de componentes principais**

Análises de componentes principais foram utilizadas com o objetivo de minimizar os fatores e melhor descrever como o teor de óleo e o perfil de ácidos das sementes de *C. flexuosa* podem ser influenciados pelos parâmetros climáticos e ambientais nas áreas amostradas. A PCA mostrou que 86,5% da variação dos dados pode ser explicada pelos eixos PC1 (55,2%) e PC2 (31,3%), os dois principais componentes principais da análise (Figura 4). As variáveis e seus respectivos coeficiente que fortemente se correlacionam com PC1 foram C18:2 (-0,993), C18:1 (0,986), C16:0 (-0,978), altitude (0,971), T<sub>min.</sub> (-0,970), latitude (0,958), C14:0 (-0,894), C22:0 (0,888) e C24:0 (0,837). Para o eixo PC2, as maiores variáveis foram C18:0 (0,920), C20:0 (0,896), C18:3 (-0,862), precipitação (-

0,850) e T<sub>max</sub>. (0,811). Os demais autovetores possuem coeficiente menor que 0,800. Baseado no perfil de ácidos graxos e dados climáticos, as áreas de coletas são visualmente separadas, o que denota que parâmetros ambientais podem estar influenciando a composição de ácidos graxos encontrada. De acordo com a Figura 4, os parâmetros climáticos que mais influenciaram o perfil de ácidos graxos de *C. flexuosa* nas áreas de coleta foram altitude, T<sub>min.</sub>, latitude e longitude.

## DISCUSSÃO

Até a presente data, há apenas um estudo sobre o teor de óleo e a composição de ácidos graxos de sementes de *C. flexuosa*. Segundo Dos Santos et al. (2016), sementes de *C. flexuosa* coletadas em áreas rurais do estado da Bahia (região Nordeste do Brasil) possuem 36,2% de óleo, tendo C18:1 (43,86%) e C16:0 (27,75%) como ácidos graxos majoritários. Em nosso estudo, ainda que indivíduos localizados em Serra Talhada, uma área de Caatinga, tenham expressos até de 31,9% de óleo, o teor de óleo encontrado por Dos Santos et al. (2016), é superior aos nossos achados. Ainda assim, o teor de C18:1, referido por esses autores, foi similar ao encontrado em sementes oriundas da Caatinga.

Segundo Neto et al. (2019), há diferentes genótipos entre e dentro de populações de *Capparis flexuosa* (= *Cynophalla flexuosa*) de ocorrência natural em áreas de Caatinga no estado da Paraíba, o que pode explicar, em parte, as diferenças encontradas entre nossos achados e o estudo de Dos Santos et al. (2016). Também verificamos em nosso estudo que o perfil de ácidos graxos é distinto entre as amostras provenientes da Restinga, também localizada no estado da Paraíba, com aquele encontrado para as sementes ocorrentes na Caatinga. Essas discrepâncias podem ser devidas tanto a fatores climáticos

quanto as características genotípicas das plantas estudadas, embora estas, não tenham sido avaliadas no presente estudo.

Para o nosso conhecimento, não há estudos sobre o teor de óleo e sua composição em ácidos graxos em sementes de outras espécies do gênero *Cynophalla*. Deste modo, utilizamos àqueles disponíveis para representantes de *Capparis*, tendo em vista que *Cynophalla flexuosa* já foi previamente descrita como *Capparis flexuosa* (Soares Neto e Luber, 2020). Segundo a literatura, o teor de óleo de sementes para diferentes espécies e variedades de *Capparis* (e.g., *C. aphylla*, *C. rothii*, *C. scabrida*, *C. spinosa* e *C. ovata*) varia num limite de 20,3 a 48,3% (Grindley, 1954; Sen Gupta e Chakrabarty, 1964; Matthäus e Özcan, 2005; Givianrad et al., 2011; Abreu-Naranjo et al., 2020; Matthäus et al., 2021). Essa variação tem sido encontrada tanto para indivíduos oriundos de diferentes áreas geográficas com para diferentes períodos de coleta. Quando comparado aos nossos achados, o teor de óleo de sementes de *C. flexuosa* é inferior ao registrado na literatura, com exceção de *C. aphylla*, cujas sementes apresentaram 20,3% de óleo.

Análises de clusters indicaram mais de 60% de similaridade entre as populações de *C. flexuosa* estudadas (Figura 3). Dentro de uma mesma área, a similaridade foi ainda maior, indicando um perfil de ácidos graxos relativamente constante nas sementes. Ainda assim, uma pequena dissimilaridade (< 10%) foi encontrada, demonstrando que há também uma variação intrapopulacional. Variação no perfil de ácidos graxos em indivíduos de uma mesma espécie tem sido atribuída a fatores climáticos, fenológicos e de natureza genética (Ahmadian et al., 2019; Muthai et al., 2019; Angelini et al., 2021). Em diferentes variedades de *C. spinosa* e *C. ovata* de ampla distribuição ou coletadas em sucessivos anos, variações de natureza quantitativa foram relatadas (Matthäus e Özcan, 2005; Tlili et al., 2009; Duman e Özcan, 2014; Matthäus et al., 2021). Como previamente descrito, uma variabilidade

genética entre e dentro de populações de *C. flexuosa* foi encontrada (Neto et al., 2019) e pode ser também uma das causas das variações encontradas em nossos estudos.

O dendrograma apontou que há apenas 28,2% de similaridade entre o perfil de ácidos graxos de *C. flexuosa* com o cluster formado por *C. spinosa* e *B. napus*. Esta diferença foi devida principalmente a presença majoritária do C16:0 em *C. flexuosa* (39,43-56,46%) contra apenas 4,64% em *B. napus* (Matthaus et al., 2016) e 11,69% em *C. spinosa* (Matthäus e Özcan, 2005). Esta última, ainda concentrou um elevado teor de C18:2 (31,42%), seguido de C18:1 (26,89%). O inverso foi observado em *B. napus* (19,61 e 59,97%, respectivamente). Em nosso estudo, as amostras de *C. flexuosa* são pobres em C18:2 (3,78-9,50%) e apenas aquelas ocorrentes na Caatinga possuem um alto teor de C18:1 (40,79-44,22%). Esta é também uma das razões da separação do agrupamento formado pelas populações da Caatinga com as amostras ocorrentes em áreas de Restinga, as quais apresentaram um menor percentual de C18:1.

Ainda que variações genotípicas tenham sido apontadas para *C. flexuosa* (Neto et al., 2019), as análises de correlação mostraram que a distribuição de ácidos graxos pode também ser influenciada pelos fatores climáticos em cada área de estudo. Vários autores têm relatado que parâmetros ambientais podem influenciar o metabolismo lipídico de sementes (Pritchard et al., 2000; Fernández-Moya et al., 2003; Ahmad et al., 2007; Baux et al., 2008; Rotundo e Westgate, 2009; Pasandi et al., 2018). Ainda que as respostas sejam consistentes em algumas espécies, a maioria desses estudos foram conduzidos com plantas agrícolas e poucas informações estão disponíveis com plantas nativas (Barbosa et al., 2014; Barbosa da Silva et al., 2021).

Em nosso estudo, as sementes provenientes de plantas da área vegetacional de Restinga, concentrou os maiores teores de ácidos graxos saturados (65,25%), notadamente o C16:0. Análises de correlação mostraram que este ácido esteve significativamente

correlacionado com altitude ( $r = -0.993, p < 0,01$ ), Tmin. ( $r = -0.905, p < 0,05$ ), latitude ( $r = -0,888, p < 0,01$ ), longitude ( $r = -0,854, p < 0,01$ ) e em menor grau com Tmax. ( $r = -0.701, p < 0,05$ ). Maestri et al. (1998), verificaram, em soja, que a altitude influenciava positivamente o teor de C18:1 e negativamente o de C18:2. Correlação negativa entre ácidos graxos saturados e altitude foi relatada para *Cuphea* (Ghebretinsae et al., 2008), embora esse gênero concentre o ácido láurico (C12:0) e não o C16:0 como majoritário. Em *Pongamia pinnata* (L.), uma Fabaceae, C16:0 também foi correlacionado negativamente com a altitude, enquanto que para o C18:1 o inverso foi encontrado (Pavithra et al., 2013). Nas duas áreas de Caatinga estudadas com elevação entre 410 a 540 m, o teor de C18:1 no óleo de sementes de *C. flexuosa* foi significativamente maior em comparação com área de Restinga com menor altitude (10 m). Em contraste, nesta localidade, o teor de C16:0 foi significativamente maior. Nossos achados para este parâmetro corroboram a maioria dos estudos acima.

Temperatura é um dos fatores que mais influencia a biossíntese de ácidos graxos de sementes. Sob temperaturas mais altas, o perfil de ácidos graxos saturados tende a aumentar, enquanto o teor de ácidos graxos insaturados diminui. O inverso é esperado em menores temperaturas com o aumento dos ácidos graxos insaturados (Ghebretinsae et al., 2008; Werteker et al., 2010). Ainda assim, o sistema enzimático responsável pela biossíntese dos ácidos graxos é variável entre as espécies e dentro delas (Ohlrogge e Jaworski, 1997). Em adição a pressão do ambiente, o controle genético das plantas pode influenciar na composição final do óleo (Ghebretinsae et al., 2008; Sadras e Slafer, 2012).

Nossos achados mostraram que dentre os parâmetros de temperatura registrados, a Tmin. foi a que mais influenciou o perfil de ácidos graxos de *C. flexuosa* notadamente sobre C18:2 ( $r = 0,946, p < 0,01$ ), C18:1 ( $r = -0.923, p < 0,01$ ) e C16:0 ( $r = 0.905, p < 0,05$ ). Para os dois principais ácidos graxos identificados em *C. flexuosa*, a correlação

Em nosso estudo, alguns ácidos graxos de *C. flexuosa* foram correlacionados com a latitude e a longitude. Nossos achados corroboram total ou parcialmente alguns estudos prévios. Com exceção dos estudos de Maestri et al. (1998), nossos resultados corroboram os estudos de Beyhan et al. (2011) com avelã onde foi verificado que, sob maior altitude, há uma maior produção de C18:1. Uma correlação positiva entre a altitude e o C18:1 também foi constatada por Pavithra et al. (2013) e Sobrino et al. (2003) em *P. pinnata* e girassol, respectivamente. Ainda no estudo de Pavithra et al. (2013), a longitude mostrou estar correlacionada negativamente com C16:0 e C18:1. Assim, nossos resultados corroboram os achados desses autores.

As análises de componentes principais mostraram que dentre os sete parâmetros climáticos registrados, apenas três contribuem mais significativamente para a composição lipídica de *C. flexuosa* (Figura 4). A altitude fortemente contribuiu para os maiores teores de C18:1 verificado nas sementes provenientes da área de Caatinga. Em contraste, a área de Restinga, por se tratar de uma região costeira, portanto, ao nível do mar, apresentou os menores valores de C18:1. Embora em valores absolutos, a T<sub>min.</sub> na localidade do Conde não seja a mais baixa, ela é muito próxima a verificada para da localidade de Caruaru. Na análise de PCA, a T<sub>min.</sub> contribuiu com os maiores escores de C14:0, C16:0, C16:1 e C18:2 encontrados nas sementes provenientes da Resinga. Em nosso estudo, as maiores latitudes foram verificadas para as localidades de Serra Talhada e Caruaru, portanto, aquelas cujo óleo de sementes concentraram os menores teores de ácidos saturados. Na Restinga, com menor latitude, as sementes produziram um maior teor de ácido graxos saturados, como o 16:0. Segundo Sanyal et al. (2018), o C16:0, tende a diminuir em latitudes maiores, o que foi verificado em nossos estudos. Neste sentido, a PCA claramente mostra a correlação positiva da latitude com o C18:1 e negativa com o C16:0. A PCA também corrobora os agrupamentos gerados pelas análises de clusters.

O óleo das sementes de *C. flexuosa* com alto teor de C16:0 sobre C18:1 nas amostras da Restinga, C16:0 e C18:1 em similar proporção nas amostras da Caatinga e baixos teores de C18:2 e C18:3, é similar ao óleo de palma (Yunus et al., 2012). O óleo de palma, além de seu uso corriqueiro na culinária, também é empregado na produção de sabonetes, detergentes e cosméticos. Essas potencialidades também podem ser vislumbradas para o óleo de *C. flexuosa*. Se o valor calorífico do óleo de *C. flexuosa* for também similar ao verificado para o óleo da palma (Halsall, 2011), ele também pode ter alguma aplicação como biocombustível.

O perfil de ácido graxo de *C. flexuosa* sugere, preliminarmente, algumas potencialidades de uso. Ainda que o teor de óleo seja inferior ao de outras espécies de *Capparis*, ele é equivalente ao valor de médio das principais oleaginosas comerciais cujo teor é de 25,8% (Gunstone, 2011). Estudos sobre a composição de óleo de sementes de plantas de Capparaceae tem se voltado para o gênero *Capparis*, tanto para a busca de novas fontes de óleo para a alimentação (Tlili et al., 2009), quanto para a fabricação de biodiesel (Munir et al., 2021). Antes da utilização das sementes com fonte nutricional, é necessário ainda estudos que demonstrem a ausência de fatores antinutricionais como fitatos, hemaglutininas, inibidores de tripsina, oxalatos, taninos, bem como de glicosinolalos. A ocorrência destes últimos tem sido determinada em diferentes espécies de *Capparis* (Brown e Stuart, 1968; Gmelin e Kjær, 1970; Kjær e Schuster, 1971; Matthäus e Özcan, 2002; Matthäus e Özcan, 2005), mas não em sementes de *C. flexuosa*. A composição centesimal das folhas de *C. flexuosa* também foi previamente avaliada (Almeida Neto et al., 2011). Entretanto, a análise proximal das sementes permanece em abert

## CONCLUSÕES

O teor de óleo e o perfil de ácidos graxos de sementes de *C. flexuosa* varia dentro e entre localidades. Análises multivariadas mostraram que fatores abióticos, com altitude, T<sub>min.</sub> e latitude influenciaram a biossíntese dos ácidos graxos. A composição de ácidos graxos do óleo de *C. flexuosa* pode ser direcionada para a indústria de alimentos e incentivada a sua utilização como forragem, porém para maior segurança deste uso recomendamos que fatores anti-nutricionais sejam previamente investigados. Os elevados teores de AGS encontrados em sementes *C. flexuosa* provenientes da área costeira, notadamente de C16:0, é adequada ao aproveitamento pela indústria de sabão e detergentes. Devido a ser uma planta com potencial forrageiro, medicinal e amplamente distribuída, e ao mesmo tempo tolerante a escassez hídrica e a ambientes com certo grau de salinidade (Restinga), é interessante que o óleo de *C. flexuosa* seja avaliado para a produção de biocombustíveis e outras aplicações biotecnológicas, a exemplo de outras Brassicales. O aumento do conhecimento de espécies com essas características é de grande importância para indicação da mesma em planos estratégicos de conservação e manejo em ambientes rurais das florestas tropicais sazonalmente secas.

## Agradecimentos

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001. Os autores agradecem ao Instituto Pernambucano de Agronomia (IPA) e ao Herbário Geraldo Mariz (UFP) pela identificação da espécie. Silva Júnior, JB e Oliveira, AFM, agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Brasil), pela bolsa de doutorado e de pesquisa (310811/2019-8), respectivamente.

### **Conflitos de interesse**

Os autores declaram não haver conflito de interesse que poderia se constituir em um impedimento para a publicação deste artigo.

### **REFERÊNCIAS**

- Abreu-Naranjo, R., Ramirez-Huila, W.N., Reyes Mera, J.J., Banguera, D.V., León-Camacho, M., 2020. Physico-chemical characterisation of *Capparis scabrida* seed oil and pulp, a potential source of eicosapentaenoic acid. *Food Biosci.* 36, 100624–100632. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100624>
- Agra, M.F., Baracho, G.S., Nurit, K., Bas, I.J.L.D., Coelho, V.P.M., 2007. Medicinal and poisonous diversity of the flora of “Cariri Paraibano”, Brazil. *J. Ethnopharmacol.* 111, 383–395. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.12.007>
- Ahmad, S., Anwar, F., Hussain, A.I., Ashraf, M., Awan, A.R., 2007. Does soil salinity affect yield and composition of cottonseed oil? *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 84, 845–851. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1115-8>
- Ahmadian, S., Enferadi, S.T., Alemzadeh, A., 2019. Assessment of genetic diversity of cultivated sunflower in terms of oil content, fatty acid compositions and seed traits. *Helia.* <https://doi.org/10.1515/helia-2019-0009>
- Almeida Neto, J.X., Andrade, A.P., Lacerda, A.V. Félix, L.P., Silva, D.S., 2011. Crescimento e bromatologia do feijão-bravo (*Capparis flexuosa* L.) em área de

- Caatinga no Curimataú paraibano, Brasil. *Rev. Ciênc. Agron.* 42, 488–494.  
<https://doi.org/10.1590/s1806-66902011000200031>
- Alves, E.U., Santos-Moura, S.S., Moura, M.F., Guedes, R.S., Estrela, F.A., 2012. Germinação e vigor de sementes de *Crateva tapia* L. em diferentes substratos e temperaturas. *Rev. Bras. Frutic.* 34, 1208–1215. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000400030>
- Angelini, L.G., Chegade, L.A., Foschi, L., Tavarini, S., 2021. Performance and potentiality of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) genotypes in response to sowing date under mediterranean environment. *Agronomy* 10. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121929>
- APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Araújo, K.S., Silva, S.M.S. Santos, L.D. Malafaia, C.B., Barbosa, M.O., 2019. A preliminary study of the physico-chemical properties and fatty acid profile of five palm oil genotypes cultivated in Northeast of Brazil. *J. Environ. Anal. Prog.* 04, 251–256. <https://doi.org/10.24221/jeap.4.4.2019.2632.251-256>
- Barbosa da Silva, R., da Silva-Júnior, E.V., Trigueiros, L.M.B. de M., Santos, R.H.G. dos, Aquino, J. de S., Campos, A.R.N., de Oliveira, A.F.M., 2021. “Macaíba,” an emerging oil crop: Nutritional evaluation of the pulp and kernel fruits from semi-arid and coastal zone of northeast Brazil. *J. Agron. Crop Sci.* 207, 139–147. <https://doi.org/10.1111/jac.12435>
- Barbosa, M.O., De Almeida-Cortez, J.S., Da Silva, S.I., De Oliveira, A.F.M., 2014. Seed oil content and fatty acid composition from different populations of *Calotropis procera* (Aiton) W. T. Aiton (Apocynaceae). *JAOCS, J. Am. Oil Chem.Soc.* 91. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2475-5>

- Barclay, A.S., Earle, F.R., 1974. Chemical analyses of seeds III oil and protein content of 1253 species. *Econ. Bot.* 28, 178–236. <https://doi.org/10.1007/BF02861984>
- Baux, A., Colbach, N., Allirand, J.M., Jullien, A., Ney, B., Pellet, D., 2013. Insights into temperature effects on the fatty acid composition of oilseed rape varieties. *Eur. J. Agron.* 49, 12–19. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2013.03.001>
- Baux, A., Hebeisen, T., Pellet, D., 2008. Effects of minimal temperatures on low-linolenic rapeseed oil fatty-acid composition. *Eur. J. Agron.* 29, 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.005>
- Beyhan, Ö., Elmastaş, M., Genc, N., Akşit, H., 2011. Effect of altitude on fatty acid composition in turkish hazelnut (*Coryllus avellana* L.) varieties. *African J. Biotechnol.* 10, 16064–16068. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2424>
- Brown, I.V., Stuart, K.L., 1968. Glucosinolates in two Jamaican *Capparis* species. *Phytochemistry* 7, 1409–1410. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)85646-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)85646-0)
- Coutinho, D.J.G, Barbosa, M.O, Souza, R.J.C., Silva, A.S., Silva, S.I.; Oliveira, A.F.M., 2016a. Comparative study of the physicochemical properties of FAME from seed oils of some native species of Brazilian Atlantic Forest. *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.* 93, 1519–1528. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2905-7>
- Coutinho, D.J.G, Barbosa, M.O, Souza, R.J.C., Silva, A.S., Silva, S.I.; Oliveira, A.F.M., 2016b. Biodiesel potential of the seed oils from some Brazilian native Euphorbiaceae species. *Renew. Energy.* 91, 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.064>
- Dias, L.S., Luzia, D.M.M., Jorge, N., 2013. Physicochemical and bioactive properties of *Hymenaea courbaril* L. pulp and seed lipid fraction. *Ind. Crops Prod.* 49, 610–618. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.005>

- Dos Santos F.N., Santos J.M., Mesquita P.R.R., Oliveira K.B., Rodrigues F.M., Lopes W.A., E.M.N., 2016. Immediate Differentiation of Unusual Seed Oils by Easy Ambient Sonic-. *Anal. Methods* 8, 3681--3690. <https://doi.org/10.1039/c5ay03061g>
- Duman, E., Özcan, M.M., 2014. Physicochemical properties of seeds of *Capparis* species growing wild in Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 186, 2393–2398. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3546-z>
- Earle, F.R., Jones, Q., 1962. Analysis of seed samples from 1133 plant families. *EconBot* 16, 221–250.
- Fernández-Moya, V., Martínez-Force, E., Garcés, R., 2003. Temperature-related non-homogeneous fatty acid desaturation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. *Planta* 216, 834–840. <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0936-9>
- Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R., De Caro, A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *Eur. J. Agron.* 17, 221–230. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00012-6)
- Garcés, R., Sarmiento, C., Mancha, M., 1992. Temperature regulation of oleate desaturase in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. *Planta* 186, 461–465. <https://doi.org/10.1007/BF00195328>
- Ghebretinsae, A.G., Graham, S.A., Camilo, G.R., Barber, J.C., 2008. Natural infraspecific variation in fatty acid composition of *Cuphea* (Lythraceae) seed oils 7, 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.11.002>
- Givianrad, M.H., Saffarpour, S., Beheshti, P., 2011. Fatty acid and triacylglycerol compositions of *Capparis spinosa* seed oil. *Chem. Nat. Compd.* 47, 798–799. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-0063-6>

- Gmelin, R., Kjær, A., 1970. Glucosinolates in some new world species of capparidaceae. *Phytochemistry* 9, 601–602. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)85699-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)85699-X)
- Grindley, D.N., 1954. The component fatty acids of the seed oils of *Datura metel*, *D. stramonium* and of *Capparis rothii*. *J. Sci. Food Agric.* 5, 92–94. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740050206>
- Gunstone, F.D., 2011. Production and trade of vegetable oils, vegetable oils in food technology: composition, properties and uses. Second Edition. Blackwell Publishing Ltd, Nova Jersey, EUA. p.1-24. <https://doi.org/10.1002/9781444339925.ch1>
- Hall, J.C., Sytsma, K.J., Iltis, H.H., 2002. Phylogeny of Capparaceae and Brassicaceae based on chloroplast sequence data. *Am. J. Bot.* 89, 1826–1842. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.11.1826>
- Hall, J.C., 2008. Systematics of Capparaceae and Cleomaceae: An evaluation of the generic delimitations of *Capparis* and *Cleome* using plastid DNA sequence data. *Botany* 86, 682–696. <https://doi.org/10.1139/B08-026>
- Halsall, I., 2011. Towards a Sustainable Energy Economy – The Role of Palm. *J. Oil Palm Environ.* 8–14. <https://doi.org/10.5366/jope.2011.01>
- Irving, D.W., Shannon, M.C., Breda, V.A., Mackey, B.E., 1988. Salinity effects on yield and oil quality of high-linoleate and high-oleate cultivars of safflower (*carthamus tinctorius* L.). *J. Agric. Food Chem.* 36, 37–42. <https://doi.org/10.1021/jf00079a009>
- Kjær, A., Schuster, A., 1971. Glucosinolates in *Capparis flexuosa* of jamaican origin. *Phytochemistry* 10, 3155–3160. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)97368-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)97368-0)
- Maestri, M., Labuckas, D.O., Meriles, M., Lamarque, A.L., Julio, A.Z., Guzman, 1998. Seed composition of soybean cultivars evaluated in different environmental

- regions 494, 494–498. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199808\)77:4%3C494::AID-JSFA69%3E3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199808)77:4%3C494::AID-JSFA69%3E3.0.CO;2-B)
- Maheshwari, P., Kovalchuk, I., 2016. Genetic transformation of crops for oil production, Industrial Oil Crops. AOCS Press. Published by Elsevier Inc. All rights reserved. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-98-1.00014-2>
- Matthäus, B., Özcan, M., 2002. Glucosinolate composition of young shoots and flower buds of capers (*Capparis species*) growing wild in Turkey. *J. Agric. Food Chem.* 50, 7323–7325. <https://doi.org/10.1021/jf020530+>
- Matthäus, B., Özcan, M., 2005. Glucosinolates and fatty acid, sterol, and tocopherol composition of seed oils from *Capparis spinosa* var. *spinosa* and *Capparis ovata* Desf. var. *canescens* (Coss.) Heywood. *J. Agric. Food Chem.* 53, 7136–7141. <https://doi.org/10.1021/jf051019u>
- Matthaus, B., Özcan, M.M., Juhaimi, F. Al, 2016. Some rape/canola seed oils: Fatty acid composition and tocopherols. *Zeitschrift für Naturforsch. - Sect. C J. Biosci.* 71, 73–77. <https://doi.org/10.1515/znc-2016-0003>
- Matthäus, B., Zhukovets, T., Özcan, M.M., 2021. Quantification of fatty acid, tocopherol and sterol contents in *Capparis* spp. seed oils. *Erwerbs-Obstbau* 63, 85– 89. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00538-2>
- Medic, J., Atkinson, C., Hurburgh, C.R., 2014. Current knowledge in soybean composition. *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 91, 363–384. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2407-9>
- Munir, M., Ahmad, M., Saeed, M., Waseem, A., Nizami, A.-S., Sultana, S., Zafar, M., Rehan, M., Srinivasan, G.R., Ali, A.M., Ali, A.M., Ali, M.I., 2021. Biodiesel production from novel non-edible caper (*Capparis spinosa* L.) seeds oil employing

- Cu–Ni doped ZrO<sub>2</sub> catalyst. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 138. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110558>
- Muthai, U.K., Indieka, A.S., Muchugi, A., Karori, S.M., Mng'omba, S., Ky-Dembele, C., Jamnadass, R., 2019. Quantitative variation of fatty acid composition in seed oil from baobab (*Adansonia digitata* L.) wild populations in sub-Saharan Africa. *South African J. Bot.* 123, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.026>
- Neto, J.X.D.A., Rêgo, M.M., Rêgo, E.R., Silva, A.P.G., 2019. Genetic diversity among and within brave bean (*Capparis flexuosa* L.) populations assessed using rapid markers. *Rev. Caatinga* 32, 81–91. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n109rc>
- Ohlrogge, J.B., Jaworski, J.G., 1997. Regulation of fatty acid synthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 48, 109–136. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.109>
- Pasandi, M., Janmohammadi, M., Abasi, A., Sabaghnia, N., 2018. Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management. *Nov. Biotechnol. Chim.* 17, 86–94. <https://doi.org/10.2478/nbec-2018-0009>
- Pavithra, H.R., Gowda, B., Prasanna, K.T., Shivanna, M.B., 2013. Genetic variability studies in seed biochemical traits of pongamia pinnata (L.) pierre accessions. *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 90, 1239–1252. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2262-8>
- Pinho, R.S., Oliveira, A.F.M., Silva, S.I., 2009. Potential oilseed crops from the semiarid region of northeastern Brazil. *Bioresour. Technol.* 100, 6114–6117. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.010>
- Pritchard, F.M., Eagles, H.A., Norton, R.M., Salisbury, P.A., Nicolas, M., 2000. Environmental effects on seed composition of Victorian canola. *Aust. J. Exp. Agric.* 40, 679–685. <https://doi.org/10.1071/EA99146>

- Regitano Neto, A., Miguel, A.M.R.O., Mourad, A.L., Henriques, E.A., Alves, R.M.V., 2016. Environmental effect on sunflower oil quality. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 16, 197–204. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n3a30>
- Rolletschek, H., Borisjuk, L., Sánchez-García, A., Gotor, C., Romero, L.C., Martínez-Rivas, J.M., Mancha, M., 2007. Temperature-dependent endogenous oxygen concentration regulates microsomal oleate desaturase in developing sunflower seeds. *J. Exp. Bot.* 58, 3171–3181. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm154>
- Rotundo, J.L., Westgate, M.E., 2009. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *F. Crop. Res.* 110, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.07.012>
- Sadras, V.O., Slafer, G.A., 2012. Environmental modulation of yield components in cereals: heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. *F. Crop. Res.* 127, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.014>
- Sanyal, A., Lenoir, J., O'Neill, C., Dubois, F., Decocq, G., 2018. Intraspecific and interspecific adaptive latitudinal cline in Brassicaceae seed oil traits. *Am. J. Bot.* 105, 85–94. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1014>
- Schulte, L., Ballard, T., Yao, L., Vadlani, P., Staggenborg, S., Rezac, M., 2013. Increased growing temperature reduces content of polyunsaturated fatty acids in four oilseed crops. *Ind. Crops Prod.* 51, 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.075>
- Sen Gupta, A., Chakrabarty, M.M., 1964. Composition of the seed fats of the Capparidaceae family. *J. Sci. Food Agric.* 15, 69–73. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740150201>
- Silva, S.I., Oliveira, A.F.M., Negri, G., Salatino, A., 2014. Seed oils of Euphorbiaceae from the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Biomass and Bioenergy* 69, 124–

134. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.07.010>

Soares Neto, R.L., Magalhães, F.A.L., Silva, F.R.S., Moro, M.F., Costa-e-Silva, M.B., Loiola, M.I.B., 2014. Flora do Ceará, Brasil: Capparaceae. *Rodriguésia* 65, 671–684. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201465307>

Soares Neto, R.L., Luber, J. 2020. Capparaceae in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB100861>>. Acesso em: 04 fev. 2022

Sobrinho, E., Tarquis, A.M., Cruz Díaz, M., 2003. Modeling the oleic acid content in sunflower oil. *Agron. J.* 95, 329–334. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0329>

Tlili, N., Munne-Bosch, S., Nasri, N., Saadaoui, E., Khaldi, A., Triki, S., 2009. Fatty acids, tocopherols and carotenoids from seeds of Tunisian caper “*capparis spinosa*.” *J. Food Lipids* 16, 452–464. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2009.01158.x>

Trémolières, A., Dubacq, J.P., Drapier, D., 1982. Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape: Regulation by temperature and light intensity. *Phytochemistry* 21, 41–45. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(82\)80011-3](https://doi.org/10.1016/0031-9422(82)80011-3)

Werteker, M., Lorenz, A., Johannes, H., Berghofer, E., Findlay, C.S., 2010. Environmental and varietal influences on the fatty acid composition of rapeseed, soybeans and sunflowers. *J. Agron. Crop Sci.* 196, 20–27. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00393.x>

Wojdyło, A., Nowicka, P., Grimalt, M., Legua, P., Almansa, M.S., Amorós, A., Carbonell-Barrachina, Á.A., Hernández, F., 2019. Polyphenol compounds and biological activity of caper (*Capparis spinosa* L.) flowers buds. *Plants* 8. <https://doi.org/10.3390/plants8120539>

Wolf, R.B., Cavins, J.F., Kleiman, R., Black, L.T., 1982. Effect of Temperature on Soybean Seed Constituents - Oil, Protein, Moisture, Fatty-Acids, Amino-Acids and Sugars. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 59, 230–232.

Yunus, R., Omar, R., Abidin, Z.Z., Biak, D.R.A., 2012. Oil Palm as Bioenergy Feedstock, Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses. AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-9-3.50025-3>



Figura 1. *Cynophala flexuosa* (L.) J.Presl (Capparaceae) no ecossistema da Restinga, Costa Leste da cidade do Conde, Praia de Jacumã, Paraíba, Brasil: A) Planta adulta; B) Ramo com frutos; C) Fruto em detalhe com carpóforo evidente (seta); D) Sementes recoberta por arilo. Cada quadrado representa 1 cm<sup>2</sup>.

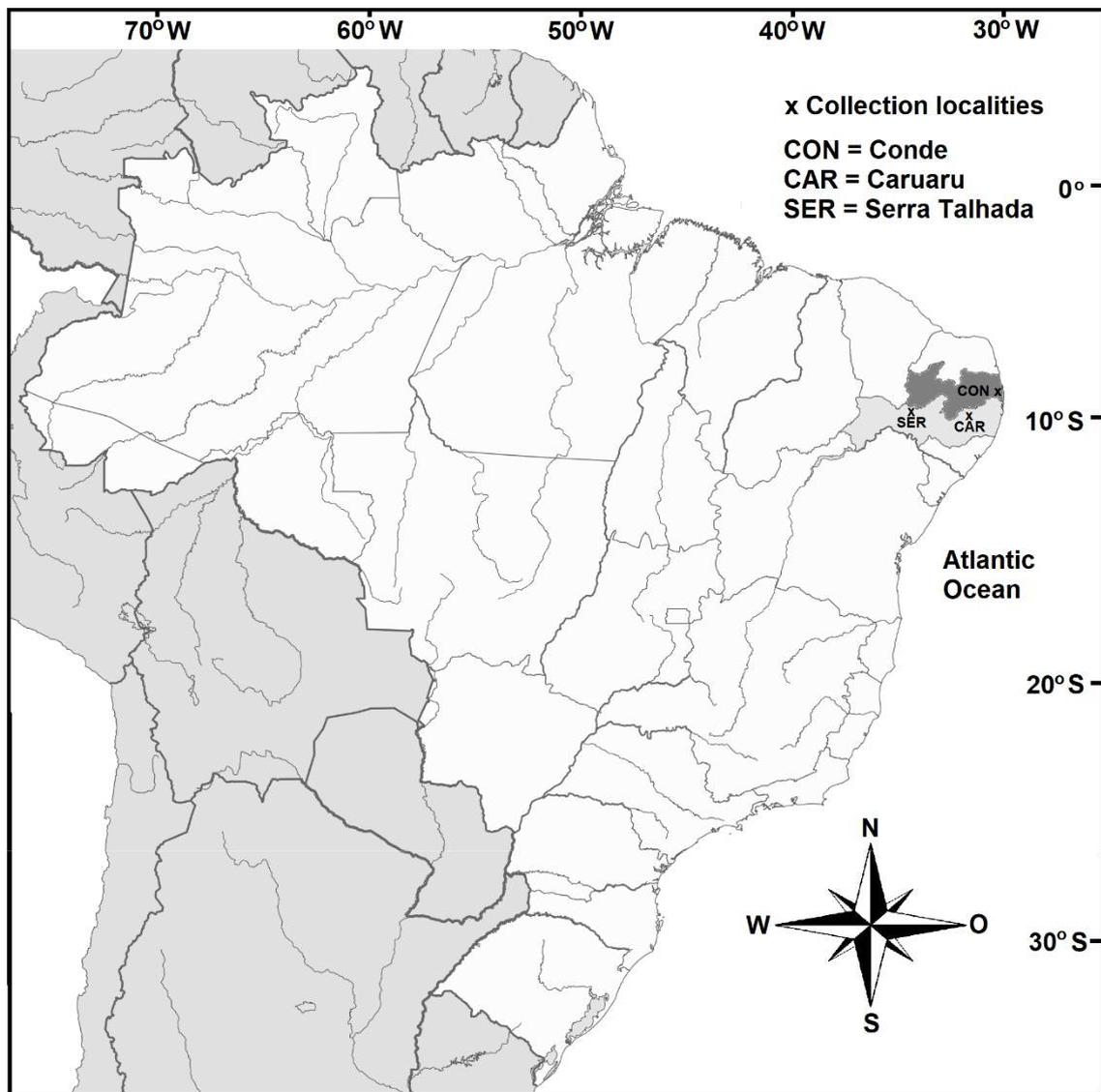


Figura 2. Municípios de coleta de *Cynophala flexuosa* (L.) J.Presl nos estados da Paraíba (CON = Conde) e Pernambuco (CAR = Caruaru e SER = Serra Talhada), nordeste do Brasil. Mapa do Brasil foi obtido da Wikipedia Common (Wikimedia Foundation, Inc., San Francisco, Califórnia, EUA).

**Tabela 1** Características climáticas dos três locais de coleta nos estados da Paraíba e Pernambuco, Nordeste do Brasil.

Características climáticas	Localidade		
	Conde <sup>1</sup>	Caruaru <sup>2</sup>	Serra Talhada <sup>2</sup>
Classification climática (Köppen–Geiger)	Tropical As	Tropical BSh	Tropical BSh
Latitude	7°17'13.3''S	8°14'23.26''S	7°58'4''S
Longitude	34°48'04.0''W	35°55'18.40''W	38°17'45''W
Altitude (m)	10	410	540
T (°C) max.	27,9	28,3	33,4
T (°C) min.	19,13	15,4	16,3
T (°C) mean	23,26	22,1	23,0
Precipitação (mm)	83,3	83,7	53,1

<sup>1</sup> Estado da Paraíba (Restinga = vegetação litorânea arenosa), <sup>2</sup> Estado de Pernambuco (Caatinga = Floresta Seca Brasileira). Os dados de temperatura do ar e precipitação pluviométrica são valores médios ( $\pm$  DP) obtidos mensalmente nos três meses anteriores às coletas de sementes obtidas na Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, <https://www.apac.pe.gov.br>).

Tabela 2. Composição de ácidos graxos dos óleos de sementes de *Cynophalla flexuosa* obtidos em diferentes localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco, nordeste do Brasil. Perfil de ácidos graxos de óleos de sementes de *Capparis spinosa* L. (alcaparra) e *Brassica napus* L. (colza) da Turquia foram usados para fins comparativos.

Localização	Ácidos graxos (%)*											ΣSFA	ΣUFA	O/L
	C14:0	C16:1	C16:0	C18:2	C18:1	C18:3	C18:0	C20:1	C20:0	C22:0	C24:0			
CONDE	0.42a	0.88a	<b>56.46a</b>	9.50a	<b>22.05c</b>	2.01b	7.31a	0.24b	0.58b	0.36b	0.13c	<b>65.25a</b>	<b>34.68b</b>	<b>2.33c</b>
DP	0.01	0.02	0.97	0.22	1.26	0.42	0.15	0.05	0.09	0.05	0.11	0.88	0.59	0.19
CARUARU	0.33b	0.79b	<b>42.89b</b>	4.28b	<b>40.79b</b>	3.96a	5.41b	0.63a	0.43c	0.68a	0.43a	<b>50.16b</b>	<b>50.45a</b>	<b>9.59b</b>
DP	0.01	0.04	0.92	0.37	0.33	0.60	0.87	0.35	0.04	0.03	0.00	0.06	0.29	0.75
SERRA TALHADA	0.32b	0.78b	<b>39.43c</b>	3.78b	<b>44.22a</b>	1.60c	7.99a	0.15c	0.84a	0.70a	0.32b	<b>49.61b</b>	<b>50.53a</b>	<b>11.70a</b>
DP	0.04	0.04	0.47	0.19	1.63	0.52	0.50	0.00	0.09	0.13	0.03	1.26	1.27	0.17
Alcaparra1	0.53	4.03	11.69	31.42	26.89	0.97	3.30	0.20	0.68	0.74	0.09	17.03	63.51	0.86
Canola2	-	0.25	4.64	19.61	59.97	3.04	1.93	0.62	0.62	-	-	7.19	83.49	3.06

\* Os valores são média ± DP (n = 3) Ácidos graxos em ordem de eluição em uma coluna capilar DB-5 não polar: 14: 0 = ácido láurico, C 16: 1 = ácido palmitoléico, C 16: 0 = ácido palmítico, C18: 2 = ácido linoléico, C18: 1 = ácido oleico, C18: 3 = ácido linolênico, C18: 0 = ácido esteárico, C20: 1 = ácido eicosenóico, C20: 0 = ácido araquídico e C24: 0 = ácido lignocérico. ΣSFA = soma dos ácidos graxos saturados, ΣUFA = soma dos ácidos graxos insaturados, O / L = relação oléico / linoléico. Alcaparra<sup>1</sup> = valores médios de 11 populações da Turquia (Matthaüs e Özcan, 2005) e Canola<sup>2</sup> = valores médios de sete populações da Turquia (Matthaüs et al. 2016). - = não detectado. Os valores dentro de cada coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes (teste de Tukey,  $p < 0,05$ ). Os números em negrito indicam os principais ácidos graxos.

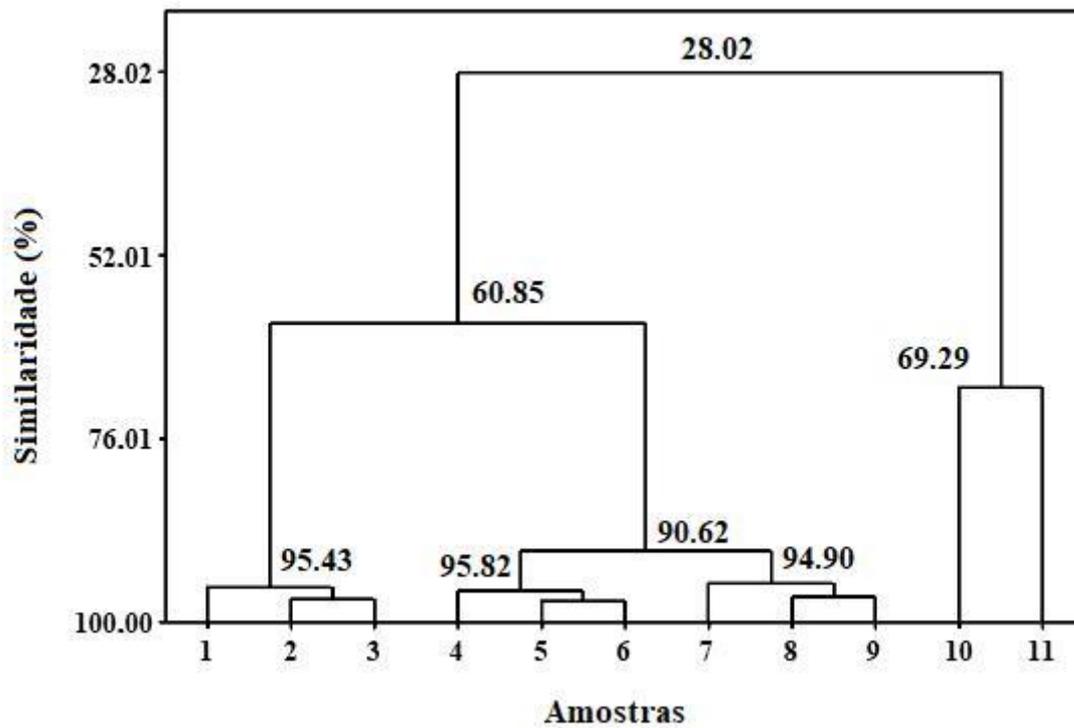


Figura 3. Dendrogramas (UPGMA e distância Euclidiana) baseados na distribuição quantitativa de ácidos graxos de óleos de sementes de *Cynophalla flexuosa* em três locais de coleta (Nordeste do Brasil). Amostras: 1-3 = Conde, 4-6 = Caruaru, 7-9 = Serra Talhada, 10 = sete populações de *Brassica napus* da Turquia (Matthäus et al, 2016) e 11 = onze populações de *Capparis spinosa* da Turquia (Matthäus e Özcan, 2015). Os números dentro do dendrograma indicam porcentagens de similaridade.

Tabela 3. Coeficientes de correlação ( $r$ ) entre as condições climáticas e o teor de óleo da semente e composição de ácidos graxos de *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl.

	Parâmetros climáticos						
	Tmax.	Tmin.	Tmean	Altitude	Latitude	Longitude	Precipitação
Oil	0.564	-0.190	0.227	0.352	0.083	0.523	-0.570
C14:0	0.512	<b>-0.852**</b>	0.574	<b>-0.864**</b>	<b>-0.840**</b>	<b>-0.675*</b>	0.456
C16:0	<b>-0.701*</b>	<b>0.905*</b>	0.516	<b>-0.993**</b>	<b>-0.885**</b>	<b>-0.854**</b>	0.645
C16:1	-0.515	<b>-0.733*</b>	0.450	<b>0.779*</b>	<b>0.720*</b>	-0.646	0.468
C18:0	0.587	0.422	<b>0.784*</b>	-0.026	-0.457	0.394	-0.627
C18:1	0.664	-0.923**	-0.556	<b>0.988**</b>	<b>0.905**</b>	<b>-0.827**</b>	-0.606
C18:2	-0.616	0.946**	0.609	<b>0.982**</b>	<b>-0.931**</b>	<b>-0.791*</b>	0.555
C18:3	-0.521	-0.499	<b>-0.829**</b>	0.108	0.532	-0.325	0.575
C20:0	<b>0.824**</b>	0.080	0.578	0.341	-0.122	<b>0.701*</b>	<b>-0.851**</b>
C20:1	-0.433	-0.383	-0.657	0.068	0.411	-0.278	0.475
C22:0	0.528	<b>-0.859**</b>	-0.572	<b>0.876**</b>	<b>0.847**</b>	<b>0.690*</b>	-0.471
C24:0	0.193	<b>-0.869**</b>	-0.784*	<b>0.721*</b>	<b>0.869**</b>	0.399	-0.217

Tmax. = temperatura máxima, Tmin. = temperatura mínima e Tmean = temperatura média. C14: 0 = ácido láurico, C16:0 = ácido palmítico, C 16:1 = ácido palmitoleico, C18:0 = ácido esteárico, C18:1 = ácido oleico, C18:2 = ácido linoleico, C18:3 = ácido linolênico, C20:0 = ácido araquídico, C20:1 = ácido eicosenóico e C24:0 = ácido lignocérico. O número em negrito denota diferença significativa (\*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ ).

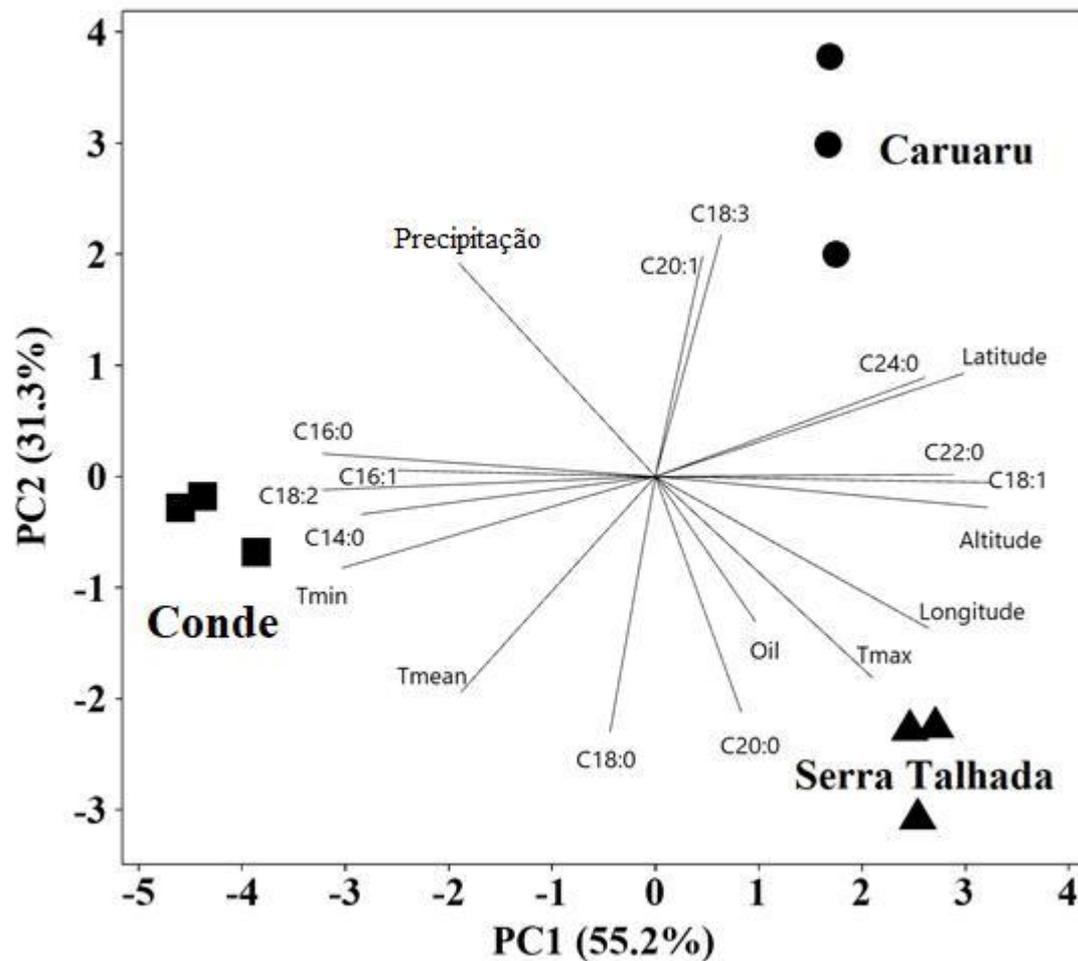


Figura 4. Análise de componente principal com base no teor de óleo e distribuição quantitativa de ácidos graxos de óleos de sementes de *Cynophalla flexuosa* a partir de três locais de coleta (Nordeste do Brasil). Óleo = teor de óleo, C14:0 = ácido láurico, C16:1 = ácido palmitoléico, C16:0 = ácido palmítico, C18:2 = ácido linoléico, C18:1 = ácido oleico, C18:3 = ácido linolênico, C18:0 = ácido esteárico, C20:1 = ácido eicosenóico, C20:0 = ácido araquídico e C24:0 = ácido lignocérico. Tmax. = temperatura máxima do ar, Tmean = temperatura média do ar e Tmin. = temperatura mínima do ar.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Neste estudo, duas espécies nativas do Brasil foram analisadas pela primeira vez quanto ao teor de óleo e composição de ácidos graxos de sementes e como estes parâmetros podem ser afetados por fatores abióticos.
- O teor de óleo de *Tarenaya longicarpa* variou entre os períodos secos e chuvosos de coleta, e, em geral, esteve mais concentrado neste último. Ainda assim, chuva em excesso parece regular a produção de óleo de *T. longicarpa*.
- Sementes de *T. longicarpa* concentraram mais ácidos graxos insaturados, notadamente os ácidos linoleico e oleico.
- Análises multivariadas demonstram que a temperatura mínima foi o parâmetro climático que mais influenciou o teor de óleo e composição de ácidos graxos das sementes de *T. longicarpa*.
- O teor de óleo de *Cynophalla flexuosa* não variou significativamente entre os indivíduos ocorrentes na Restinga e Caatinga, entretanto o perfil de ácidos graxos foi distinto.
- Sementes de *C. flexuosa* oriundas da Restinga produziram mais ácidos graxos saturados, notadamente ácido palmítico; às provenientes da Caatinga produziram mais ácido oleico (monoinsaturado).
- Análises multivariadas indicaram que altitude, temperatura mínima, longitude e latitude foram os fatores que mais influenciaram a composição de ácidos graxos de *C. flexuosa*.
- Sementes de *T. longicarpa* e *C. flexuosa* possuem uma composição de ácidos graxos com possibilidades de uso para as indústrias alimentícias e de biodiesel. O óleo

desta última, devido o maior percentual de ácidos graxos saturados, ainda pode ter uma indicação para a fabricação de sabão e detergente.

- Além dos fatores abióticos estudados, a possibilidade de uma diversidade genética nestas espécies deve ser checada para melhor entendimento do efeito sazonal no perfil lipídico analisado.

## REFERÊNCIAS

- AGUIEIRAS, E. et al. Biodiesel production from *Acrocomia aculeata* acid oil by (enzyme/enzyme) hydroesterification process: Use of vegetable lipase and fermented solid as low-cost biocatalysts. **Fuel**, v. 135, p. 315–321, 1 nov. 2014.
- AHMAD, F. M. U. AHMAD, I. AHMAD, A. A. A. AND S. M. O. Studies on Herbaceous seed Oils II. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 1, p. 241–243, 1978.
- AHMAD, S. et al. Does soil salinity affect yield and composition of cottonseed oil? **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 84, n. 9, p. 845–851, 2007.
- AHMAD, S.; SAWAYA, W. N.; KARIM, A. M. A. Chemical characterization of *Cleome dolichostyla* seed oil. **Food Chemistry**, v. 14, n. 1, p. 21–26, 1984a.
- AHMAD, S.; SAWAYA, W. N.; KARIM, A. M. A. Chemical characterization of **Cleome dolichostyla** seed oil. **Food Chemistry**, v. 14, n. 1, p. 21–26, 1984b.
- AHMADIAN, S.; ENFERADI, S. T.; ALEMZADEH, A. Assessment of Genetic Diversity of Cultivated Sunflower in Terms of Oil Content, Fatty Acid Compositions and Seed Traits. **Helia**, 2019.
- AKGÜL, A.; ÖZCAN, M. Some compositional characteristics of capers (*Capparis* spp.) seed and oil. **Grasas y Aceites**, v. 50, n. 1, p. 49–52, 1999.
- AKSOUH-HARRADJ, N. M.; CAMPBELL, L. C.; MAILER, R. J. Canola response to high and moderately high temperature stresses during seed maturation. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 4, p. 967–980, 2006.
- AKSOUH, N. et al. Response of canola to different heat stresses. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 52, p. 817–824, 1 jan. 2001.
- ALBARELLO, N. et al. Anti-inflammatory and antinociceptive activity of field-growth plants and tissue culture of *Cleome spinosa* (Jacq.) in mice. **Journal of Medicinal Plants Research Full**, v. 7, n. 16, p. 1043–1049, 2013.
- ALBUQUERQUE, U. P. et al. Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: A quantitative approach. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 114, n. 3, p. 325–354, 2007.
- ALMEIDA NETO, J. X. DE et al. Crescimento e bromatologia do feijão-bravo (*Capparis flexuosa* L.) em área de Caatinga no Curimataú paraibano, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 488–494, 2011.
- ANGELINI, L. G. et al. Performance and potentiality of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) genotypes in response to sowing date under mediterranean environment. **Agronomy**, v. 10, n. 12, 2021.

ANGELINI, L. G. ET AL. Variation in agronomic characteristics and seed oil composition of new oilseed crops in central Italy. **Industrial crops and products**, v. 6, n. 3–4, p. 313–323, 1997.

ARA, K. M.; KARAMI, M.; RAOFIE, F. Application of response surface methodology for the optimization of supercritical carbon dioxide extraction and ultrasound-assisted extraction of *Capparis spinosa* seed oil. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 85, p. 173–182, 2014.

ARAÚJO, K. S. DE et al. A preliminary study of the physico-chemical properties and fatty acid profile of five palm oil genotypes cultivated in Northeast of Brazil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 04, p. 251–256, 2019.

AURELIO, M.; MAYWORM, S.; SALATINO, A. Fatty Acid Composition of “Cerrado” Seed Oils. **J Sci Food Agric**, v. 72, p. 226–230, 1996.

AYERZA, H. R.; COATES, W. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and  $\alpha$ -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. **Industrial Crops and Products**, v. 30, n. 2, p. 321–324, 2009.

BADAMI, R. C.; THAKKAR, J. Minor Seed Oils XVI: Examination of Fifteen Seed Oils. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 86, n. 3, p. 115–117, 1 jan. 1984.

BARBOSA DA SILVA, R. et al. “Macaíba,” an emerging oil crop: Nutritional evaluation of the pulp and kernel fruits from semi-arid and coastal zone of northeast Brazil. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 207, n. 1, p. 139–147, 2021.

BARBOSA, M. O. et al. Seed oil content and fatty acid composition from different populations of *Calotropis procera* (Aiton) W. T. Aiton (Apocynaceae). **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists’ Society**, v. 91, n. 8, p. 1433–1441, 2014.

BARBOSA, M. O. et al. Composition of fatty acids, tocopherols, tocotrienols and  $\beta$ -carotene content in oils of seeds of Brazilian Sapindaceae and Meliaceae species. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 6, p. 3164–3169, 2019.

BARCLAY, A. S.; EARLE, F. R. Chemical analyses of seeds iii oil and protein content of 1253 species. **Economic Botany**, v. 28, n. 2, p. 178–236, 1974.

BARKER, G. C. et al. Novel Insights into Seed Fatty Acid Synthesis and Modification Pathways from Genetic Diversity and Quantitative Trait Loci Analysis of the *Brassica C* Genome. **Plant Physiology**, v. 144, n. 4, p. 1827–1842, 2007.

BAUX, A.; HEBEISEN, T.; PELLET, D. Effects of minimal temperatures on low-linolenic rapeseed oil fatty-acid composition. **European Journal of Agronomy**, v. 29, n. 2–3, p. 102–107, 2008.

BAYE, T.; BECKER, H. C. Exploration of *Vernonia galamensis* in Ethiopia, and variation in fatty acid composition of seed oil. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 52, n. 7, p. 805–811, 2005.

BERCHMANS, H. J.; HIRATA, S. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 6, p.

1716–1721, 2008.

BEYHAN, Ö. et al. Effect of altitude on fatty acid composition in turkish hazelnut (*Coryllus avellana* L.) varieties. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 71, p. 6064–16068, 2011.

BEZERRA, J. W. A. et al. Evaluation of antiparasitary, cytotoxic and antioxidant activity and chemical analysis of *Tarenaya spinosa* (Jacq.) Raf. (Cleomaceae). **South African Journal of Botany**, v. 124, p. 546–555, 2019.

BHARDWAJ, H. L.; HAMAMA, A. A.; MERRICK, L. C. Genotypic and environmental effects on lupin seed composition. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 53, n. 1, p. 1–13, 1998.

BROWN, M. I. V. . S. K. L. Glucosinolates in two Jamaican *Capparis* species. **Phytochemistry**, v. 7, n. 1962, p. 1409–1410, 1968.

CANVIN, D. T. the Effect of Temperature on the Oil Content and Fatty Acid Composition of the Oils From Several Oil Seed Crops. **Canadian Journal of Botany**, v. 43, n. 1, p. 63–69, 1965.

CÉSAR, A. et al. The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1213–1220, 2015.

CHAFFAI, R. et al. Altered fatty acid profile of polar lipids in maize seedlings in response to excess copper. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, n. 3, p. 207–217, 2007.

CHENG, S. et al. The *Tarenaya hassleriana* Genome Provides Insight into Reproductive Trait and Genome Evolution of Crucifers. **The Plant Cell**, v. 25, n. 8, p. 2813–2830, 2013.

CHERRY, J. et al. Differences in the fatty acid composition of soybean seed produced in northern and southern areas of the U.S.A. **Phytochemistry**, v. 24, n. 2, p. 237–241, 1985.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. 1ed. Brasília, v. 9, 2021, 85p.

COUTINHO, D. J.G.; BARBOSA, M.O.; SOUZA, R.J.C.; SILVA, A.S.; SILVA, S.I; OLIVEIRA, A. F. M. Biodiesel potential of the seed oils from some Brazilian native Euphorbiaceae species. **Renewable Energy**, v. 91, p. 275–281, 2016.

COUTINHO, D. J. G. ET AL. Fatty-Acid Composition of Seeds and Chemotaxonomic Evaluation of Sixteen Sapindaceae Species. **Chemistry & Biodiversity**, v. 12, n. 8, p. 1271–1280, 2015.

COUTINHO, D. J. G. ET AL. Comparative Study of the Physicochemical Propierts of FAME from Seed Oil of Some Native Species of Brazilian Atlantic Forest. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, n. 11, p. 1519–1528, 2016a.

COUTINHO, D. J. G. ET AL. Comparative Study of the Physicochemical Properties of FAME from Seed Oils of Some Native Species of Brazilian Atlantic Forest. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, n. 11, p. 1519–1528, 2016b.

DEVI, U.; ZAIDI, H. R. Composition and Characteristics of *Cleome icosandra* L. Seed Oil By. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 79, n. 2, p. 91–92, 1977.

DIAS, L. S.; LUZIA, D. M. M.; JORGE, N. Physicochemical and bioactive properties of *Hymenaea courbaril* L. pulp and seed lipid fraction. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 610–618, 2013.

DOS SANTOS F.N., SANTOS J.M., MESQUITA P.R.R., OLIVEIRA K.B., RODRIGUES F.M., LOPES W.A., E. M. N. Immediate Differentiation of Unusual Seed Oils by Easy Ambient Sonic-. **Analytical Methods**, v. 8, n. 18, p. 3681--3690, 2016.

DUMAN, E.; ÖZCAN, M. M. Physicochemical properties of seeds of *Capparis* species growing wild in Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 4, p. 2393–2398, 2014.

DWIVEDI, S. L. et al. Effect of drought on oil, fatty acids and protein contents of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. **Field Crops Research**, v. 48, n. 2–3, p. 125– 133, 1996.

EARLE, F. R. et al. Search for new industrial oils-I. Selected oils from 24 plant families. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 36, n. 7, p. 304– 307, 1959.

EARLE, F. R.; JONES, Q. Analysis of seed samples from 1133 plant families. **Economic Botany**, v. 16, n. 15, p. 221–250, 1962.

FERNÁNDEZ-MOYA, V.; MARTÍNEZ-FORCE, E.; GARCÉS, R. Temperature-related non-homogeneous fatty acid desaturation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. **Planta**, v. 216, n. 5, p. 834–840, 2003.

FLAGELLA, Z. et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 17, n. 3, p. 221–230, 2002.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das Plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 5 ed, Editora UPF, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2020.

GAO, J. et al. Agronomic management system and precipitation effects on soybean oil and fatty acid profiles. **Crop Science**, v. 49, n. 3, p. 1049–1057, 2009.

GARCÉS, R.; SARMIENTO, C.; MANCHA, M. Temperature regulation of oleate desaturase in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. **Planta**, v. 186, n. 3, p. 461–465, 1992.

GARCÍA-DÍAZ, M.; MARTÍNEZ-RIVAS, J.; MANCHA, M. Temperature and oxygen regulation of oleate desaturation in developing sunflower (*Helianthus annuus*) seeds. **Physiologia plantarum**, v. 114, p. 13–20, 1 fev. 2002.

GAUTHIER, M. et al. Fatty acids composition of oilseed rape genotypes as affected by solar radiation and temperature. **Field Crops Research**, v. 212, n. August, p. 165–174, 2017.

- GHEBRETINSAE, A. G. et al. Natural infraspecific variation in fatty acid composition of *Cuphea* (Lythraceae) seed oils. **Industrial Crops and Products**, v. 27, n. 3, p. 279–287, 2008.
- GIVIANRAD, M. H.; SAFFARPOUR, S.; BEHESHTI, P. Fatty acid and triacylglycerol compositions of *Capparis spinosa* seed oil. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 47, n. 5, p. 798–799, 2011.
- GMELIN, R.; KJÆR, A. Glucosinolates in some new world species of Capparidaceae. **Phytochemistry**, v. 9, n. 3, p. 601–602, 1970.
- GRINDLEY, D. N. The component fatty acids of the seed oils of *Datura metel*, *D. stramonium* and of *Capparis rothii*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 92–94, 1954.
- GRUNVALD, A. K. et al. Influence of temperature on the fatty acid composition of the 6 oil from sunflower genotypes grown in tropical regions. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 4, p. 545–553, 2013.
- GUIMARÃES, W. et al. Extraction and characterization of fatty acids in carnaúba seed oil. **Revista Caatinga**, v. 27, p. 246–250, 2014.
- GUNSTONE, F. D. **Production and Trade of Vegetable Oils**. [s.l.: s.n.]. GUNSTONE, F. D.; HARWOOD, J. L.; DJKISTRA, A. . **The Lipid Handbook with CD-ROM**. 3 ed. New York, CRC Press, 2007, 1210 p.
- HALL, J. C. Systematics of Capparaceae and Cleomaceae: An evaluation of the generic delimitations of Capparis and Cleome using plastid DNA sequence data. **Botany**, v. 86, n. 7, p. 682–696, jul. 2008.
- HALL, J. C.; SYTSMA, K. J.; ILTIS, H. H. Phylogeny of Capparaceae and Brassicaceae based on chloroplast sequence data. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 11, p. 1826–1842, 1 nov. 2002.
- HALSALL, I. . Towards a Sustainable Energy Economy – The Role of Palm. **Journal of Oil Palm & The Environment**, p. 8–14, 2011.
- IHA, O. et al. Physicochemical properties of *Syagrus coronata* and *Acrocomia aculeata* oils for biofuel production. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 318–322, 1 dez. 2014.
- IRVING, D. W. et al. Salinity effects on yield and oil quality of high-linoleate and high-oleate cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 36, n. 1, p. 37–42, 1988.
- IZQUIERDO, N. G. et al. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. **Field Crops Research**, v. 114, n. 1, p. 66–74, 2009.
- JOHNER, J. C. F. et al. Kinetic behavior and economic evaluation of supercritical fluid extraction of oil from pequi (*Caryocar brasiliense*) for various grinding times and solvent flow rates. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 140, p. 188–195, 2018.

JONES, Q.; EARLE, F. R. Chemical analyses of seeds II: Oil and protein content of 759 species. **Economic Botany**, v. 20, n. 2, p. 127–155, 1966.

KAFUKU, G.; MBARAWA, M. Biodiesel production from *Croton megalocarpus* oil and its process optimization. **Fuel**, v. 89, n. 9, p. 2556–2560, 2010.

KJÆR, A.; SCHUSTER, A. Glucosinolates in *Capparis flexuosa* of jamaican origin. **Phytochemistry**, v. 10, n. 12, p. 3155–3160, 1971.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAOSTA, D. K. Seed filling patterns of safflower: Genotypic and seasonal variations and association with other agronomic traits. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 1, p. 71–76, 2010.

KUMAR, V. et al. Influence of growing environment on the biochemical composition and physical characteristics of soybean seed. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 2–3, p. 188–195, 2006.

KUMARI, R. et al. Corresponding Properties of Fatty Oils of *Cleome viscosa* and *Jatropha curcas* as Resources of Biodiesel. **Agricultural Research**, v. 2, n. 4, p. 393–399, 2013.

KUMARI, R.; JAIN, V. K.; KUMAR, S. Biodiesel production from seed oil of *Cleome viscosa* L. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 50, n. 7, p. 502–510, 2012.

LEAL, R. S. ET AL. Perfil Etnobotânico e Atividade Antioxidante de *Cleome spinosa* (Brassicaceae) e *Pavonia varians* (Malvaceae). **Revista Fitos**, v. 3, p. 35–35, 2020.

LINDER, C. R. Adaptive Evolution of Seed Oils in Plants: Accounting for the Biogeographic Distribution of Saturated and Unsaturated Fatty Acids in Seed Oils. **The American Naturalist**, v. 156, n. 4, p. 442–458, 2000.

MAESTRI, M. et al. Seed composition of soybean cultivars evaluated in different environmental regions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, p. 494–498, 1998.

MAHESHWARI, P.; KOVALCHUK, I. **Genetic transformation of crops for oil production**. 1 ed. New York, AOCS Press. Published by Elsevier Inc. All rights reserved., 2016, 825p.

MÁQUINA, A. D. V. et al. Quantification and classification of cotton biodiesel content in diesel blends, using mid-infrared spectroscopy and chemometric methods. **Fuel**, v. 237, p. 373–379, 2019.

MARTÍNEZ-FORCE, E. et al. Fatty Acid Composition in Developing High Saturated Sunflower (*Helianthus annuus*) Seeds: Maturation Changes and Temperature Effect. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 9, p. 3577–3582, 1998.

MATTHÄUS, B.; ÖZCAN, M. Glucosinolate composition of young shoots and flower buds of capers (*Capparis* species) growing wild in Turkey. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 25, p. 7323–7325, 2002.

MATTHÄUS, B.; ÖZCAN, M. Glucosinolates and fatty acid, sterol, and tocopherol composition of seed oils from *Capparis spinosa* var. *spinosa* and *Capparis ovata* Desf. var. *canescens* (Coss.) Heywood. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 18, p. 7136–7141, 2005.

MATTHÄUS, B.; ÖZCAN, M. M.; JUHAIMI, F. AL. Some rape/canola seed oils: Fatty acid composition and tocopherols. **Zeitschrift für Naturforschung - Section C Journal of Biosciences**, v. 71, n. 3–4, p. 73–77, 2016.

MATTHÄUS, B.; ZHUKOVETS, T.; ÖZCAN, M. M. Quantification of Fatty Acid, Tocopherol and Sterol Contents in *Capparis* spp. Seed Oils. **Erwerbs-Obstbau**, v. 63, n. 1, p. 85–89, 2021.

MCCARTNEY, C. A. et al. Genotypic and environmental effects on saturated fatty acid concentration of canola grown in Manitoba. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 84, p. 749–756, 2004.

MEDIC, J.; ATKINSON, C.; HURBURGH, C. R. Current knowledge in soybean composition. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 91, n. 3, p. 363–384, 2014.

MUNIR, M. et al. Biodiesel production from novel non-edible caper (*Capparis spinosa* L.) seeds oil employing Cu–Ni doped ZrO<sub>2</sub> catalyst. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, 2021.

MURAKAMI, Y. et al. Trienoic fatty acids and plant tolerance of high temperature. **Science**, v. 287, n. 5452, p. 476–479, 2000.

MUTHAI, U. K. et al. Quantitative variation of fatty acid composition in seed oil from baobab (*Adansonia digitata* L.) wild populations in sub-Saharan Africa. **South African Journal of Botany**, v. 123, p. 1–8, 2019.

NASCIMENTO, R. et al. Fatty acids composition of açai pulp oil obtained by enzymatic technology and hexane. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 498–502, 1 jun. 2008.

NELSON, D.L.; COX, M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 5 ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil, 2011.

NETO, J. X. D. A. et al. Genetic diversity among and within brave bean (*Capparis flexuosa* L.) populations assessed using rapd markers. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 67–81, 2019.

NETO, R. L. S. et al. Flora do Ceará, Brasil: Capparaceae. **Rodriguesia**, v. 65, n. 3, p. 671–684, 2014.

NETO, R. L. S.; JARDIM, J. G. Capparaceae no Rio Grande do Norte, Brasil. **Rodriguesia**. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, , 1 jul. 2015.

- NUNES, A. T. et al. Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of nutritional composition guided by local ecological knowledge. **Journal of Arid Environments**, v. 135, p. 96–103, 2016.
- OHLROGGE, J. B.; JAWORSKI, J. G. Regulation of fatty acid synthesis. **Annual Review of Plant Biology**, v. 48, p. 109–136, 1997.
- OMIDI, H. et al. Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 333, n. 3, p. 248–254, 2010.
- PALACIOS, C. J. et al. Isolated and combined effects of elevated CO<sub>2</sub> and high temperature on the whole-plant biomass and the chemical composition of soybean seeds. **Food Chemistry**, v. 275, p. 610–617, 2019.
- PASANDI, M. et al. Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management. **Nova Biotechnologica et Chimica**, v. 17, n. 1, p. 86–94, 2018.
- PASCOAL, C. V. P. et al. Optimization and kinetic study of ultrasonic-mediated in situ transesterification for biodiesel production from the almonds of *Syagrus cearensis*. **Renewable Energy**, v. 147, p. 1815–1824, 2020.
- PAVITHRA, H. R. et al. Genetic variability studies in seed biochemical traits of *Pongamia pinnata* (L.) pierre accessions. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 8, p. 1239–1252, 2013.
- PINHO, R. S.; OLIVEIRA, A. F. M.; SILVA, S. I. Potential oilseed crops from the 68 semiarid region of northeastern Brazil. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 6114–6117, 2009.
- PRITCHARD, F. M. et al. Environmental effects on seed composition of Victorian canola. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 40, n. 5, p. 679–685, 2000.
- RAO, R. P. et al. Analysis and Processing of *Cleome viscosa* Seed and Oil. **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 82, n. 3, p. 119–121, 1980.
- RAZON, L. Selection of philippine plant oils as possible feedstocks for biodiesel. **Philippine Agricultural Scientist**, v. 91, p. 278–286, 1 set. 2008.
- REGITANO NETO, A. et al. Environmental effect on sunflower oil quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 197–204, 2016.
- REIAHISAMANI, N. et al. Assessment of the oil content of the seed produced by *Salicornia* L., along with its ability to produce forage in saline soils. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 65, n. 7, p. 1879–1891, 2018.
- ROCHE, J. et al. Management of environmental crop conditions to produce useful sunflower oil components. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 108, n. 4, p. 287–297, 2006.

- ROLLETSCHEK, H. et al. Temperature-dependent endogenous oxygen concentration regulates microsomal oleate desaturase in developing sunflower seeds. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 12, p. 3171–3181, 2007.
- ROTUNDO, J. L.; WESTGATE, M. E. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. **Field Crops Research**, v. 110, n. 2, p. 147–156, 2009.
- RUKMINI, C.; DEOSTHALE, Y. G. Nutritive value of defatted seed cake of *Cleome viscosa*. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 56, n. 4, p. 503–505, 1 abr. 1979.
- SADRAS, V. O.; SLAFER, G. A. Environmental modulation of yield components in cereals: Heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. **Field Crops Research**, v. 127, p. 215–224, 2012.
- SANYAL, A. et al. Intraspecific and interspecific adaptive latitudinal cline in Brassicaceae seed oil traits. **American Journal of Botany**, v. 105, n. 1, p. 85–94, 2018.
- SAROOP, S.; KAUL, V. *Cleome viscosa* : a promising underutilized minor crop. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 62, n. 7, p. 1121–1126, 2015.
- SCHULTE, L. et al. Increased growing temperature reduces content of polyunsaturated fatty acids in four oilseed crops. **Industrial Crops and Products**, v. 51, p. 212–219, 2013.
- SCHULZ, M. et al. Juçara fruit (*Euterpe edulis* Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 89, p. 14–26, 2016. SILVA-
- CARDOSO, I. M. DE A.; DE SOUZA, A. M.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. The palm tree *Syagrus oleracea* Mart. (Becc.): A review. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 65–73, 2017.
- SILVA, A. et al. An approach to chemotaxonomy to the fatty acid content of some Malvaceae species. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 38, p. 1035–1038, 2010.
- SILVA, R. B. et al. A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 3, p. 1701–1709, 2015.
- SILVA, S. I. et al. Seed oils of Euphorbiaceae from the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Biomass and Bioenergy**, v. 69, p. 124–134, 2014.
- SOARES NETO, R. L. et al. New combinations and taxonomic notes for *Tarenaya* (Cleomaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 4, p. 540–545, 2018.
- SOARES NETO, R. L. et al. A Well-known “Mussambê” is a New Species of *Tarenaya* (Cleomaceae) from South America. **Systematic Botany**, v. 44, n. 3, p. 686–691, 2019.
- SOARES NETO, R. L.; JARDIM, J. G. Capparaceae no Rio Grande do Norte, Brasil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 3, p. 847–857, 2015.

- SOBRINO, E.; TARQUIS, A. M.; CRUZ DÍAZ, M. Modeling the oleic acid content in sunflower oil. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 2, p. 329–334, 2003.
- SOLIS, J. L.; ALEJO, L.; KIROS, Y. Calcium and tin oxides for heterogeneous transesterification of Babassu oil (*Attalea speciosa*). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 4, Part B, p. 4870–4877, 2016.
- THOMAS, J. M. G. et al. Elevated Temperature and Carbon Dioxide Effects on Soybean Seed Composition and Transcript Abundance. **Crop Science**, v. 43, n. 4, p. 1548–1557, 2003.
- TLILI, N. et al. Fatty acids, tocopherols and carotenoids from seeds of Tunisian caper “*Capparis spinosa*”. **Journal of Food Lipids**, v. 16, n. 4, p. 452–464, 2009.
- TLILI, N. et al. The caper (*Capparis* L.): Ethnopharmacology, phytochemical and pharmacological properties. **Fitoterapia**, v. 82, n. 2, p. 93–101, 2011.
- TRÉMOLIÈRES, A.; DUBACQ, J. P.; DRAPIER, D. Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape: Regulation by temperature and light intensity. **Phytochemistry**, v. 21, n. 1, p. 41–45, 1982.
- WERTEKER, M. et al. Environmental and varietal influences on the fatty acid composition of rapeseed, soybeans and sunflowers. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 1, p. 20–27, 2010.
- WOJDYŁO, A. et al. Polyphenol compounds and biological activity of caper (*Capparis spinosa* L.) flowers buds. **Plants**, v. 8, n. 12, 2019.
- WOLF, R. B. et al. Effect of Temperature on Soybean Seed Constituents - Oil, Protein, Moisture, Fatty-Acids, Amino-Acids and Sugars. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 59, n. 5, p. 230–232, 1982.
- YONGTAI YIN, ET AL. The durative use of Suspension Cells and Callus for volatile oil by comparative with seeds and fruits in *Capparis spinosa* L. **PLoS ONE**, v. 9, e113668, 2014.
- YOUNIS, Y. M. H.; GHIRMAY, S.; AL-SHIHRY, S. S. African Cucurbita pepo L.: Properties of seed and variability in fatty acid composition of seed oil. *Phytochemistry*, v. 54, n. 1, p. 71–75, 2000.
- YUNUS, R.; OMAR, R.; ABIDIN, Z. Z.; BIAK, D. R. A. **Oil Palm as Bioenergy Feedstock. Palm Oil as Bioenergy Feedstock**, Elsevier, p.653-92, 2012.
- ZHANG, J. L. et al. Effects of phylogeny and climate on seed oil fatty acid composition across 747 plant species in China. **Industrial Crops, and Products**, v. 63, p. 1–8, 2015.

## ANEXOS

ANEXO A- NORMAS DA REVISTA JOURNAL OF AMERICAN OIL CHEMIST'S SOCIETY (<https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/journal/15589331>)



Edited By: Silvana Martini

Impact factor:1.849

Journal Citation Reports (Clarivate Analytics): 47/74 (Chemistry, Applied)106/144  
(Food Science & Technology)

Online ISSN:1558-9331

#### Aims and Scope

*The Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)* is an international peer-reviewed journal that publishes significant original scientific research and technological advances on fats, oils, oilseed proteins, and related materials **through original research articles, invited reviews, short communications, and letters to the editor**. We seek to publish reports that will significantly advance scientific understanding through hypothesis driven research, innovations, and important new information pertaining to analysis, properties, processing, products, and applications of these food and industrial resources. Breakthroughs in food science and technology, biotechnology (including genomics, biomechanisms, biocatalysis and bioprocessing), and industrial products and applications are particularly appropriate.

*JAOCS* also considers reports on the lipid composition of new, unique, and traditional sources of lipids that definitively address a research hypothesis and advances scientific understanding. However, the genus and species of the source must be verified by appropriate means of classification. In addition, the GPS location of the harvested materials and seed or vegetative samples should be deposited in an accredited germplasm repository. Compositional data suitable for Original Research Articles must embody replicated estimate of tissue constituents, such as oil, protein, carbohydrate, fatty acid, phospholipid, tocopherol, sterol, and carotenoid compositions. Other components unique to the specific plant or animal source may be reported. Furthermore, lipid composition papers should incorporate elements of year-to-year, environmental, and/or cultivar variations through use of appropriate statistical analyses.

Manuscripts will be evaluated for their originality, presentation of broadly important data and concepts, and relevance to our readership. Manuscripts that lack significant scientific advancement or whose contributions are narrowly focused toward the interests of a specific country or region will likely not be considered.

#### Journal Sections & Categories

During submission, each manuscript must be identified as fitting within one of the seven subject areas: 1) Analytical and Physical Chemistry; 2) Biotechnology and Biocatalysis; 3) Edible Applications and Physicochemical Properties; 4) Genetics, Genomics, and Biological Mechanisms; 5) Lipid Oxidation and Antioxidants; 6) Nonfood or Industrial Applications; 7) Processing and Engineering Technology.

**ANEXO B-NORMAS DA REVISTA JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP  
SCIENCE (<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/1439037x>)**



Edited By: J.M. Greef

Impact factor:3.473

2020 Journal Citation Reports (Clarivate Analytics): 15/91 (Agronomy)

Online ISSN:1439-037X

#### Aims and Scope

The effects of stress on crop production of agricultural cultivated plants will grow to paramount importance in the 21<sup>st</sup> century, and the *Journal of Agronomy and Crop Science* aims to assist in understanding these challenges. In this context, stress refers to extreme conditions under which crops and forages grow. The journal publishes original papers and reviews on the general and special science of abiotic plant stress. Specific topics include: **drought**, including water-use efficiency, such as **salinity, alkaline and acidic stress**, extreme temperatures since **heat, cold and chilling stress** limit the cultivation of crops, **flooding and oxidative stress**, and means of restricting them. Special attention is on research which have the topic of narrowing the yield gap. The Journal will give preference to field research and studies on plant stress highlighting these subsections. Particular regard is given to application-oriented basic research and applied research. The application of the scientific principles of agricultural crop experimentation is an essential prerequisite for the publication. Studies based on field

experiments must show that they have been repeated (at least three times) on the same organism or have been conducted on several different varieties.

We ask that research results should be based on a number of experiments. A single experiment, even if it has been repeated (which in itself is a matter of course) will not be enough to be examined in JAC. In the case of a field trial, the experiments should be carried out either over several years or at different locations and with a spectrum of selected varieties. Experiments carried out in greenhouses and growth chambers should represent, as far as possible, a series that builds on itself based on the question raised in the hypothesis. The treatment of plants with a single substance etc. in order to counteract the stress alone should not be a central issue here. Rather, JAC attaches great importance to finding causal links that are important for further gaining knowledge.

Coverage: The entire field of plant stress on agricultural crops.

Keywords: Agronomy, Science, Yield, Quality, Field, Fodder, Crop, Production, Ecology, Biodiversity, Stress factor, Agriculture, Tropical, Subtropical, Mediterranean, Grassland, Management.

