



**UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA BIOLÓGICA – DQB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOPROSPECÇÃO MOLECULAR**

**NATÁLIA BARBOSA CAMPOS**

**FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS COMO AGENTES MODIFICADORES  
DA FENOLOGIA DE PLANTAS DE SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)**

**CRATO-CE  
2019**

**NATÁLIA BARBOSA CAMPOS**

**FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS COMO AGENTES MODIFICADORES DA  
FENOLOGIA DE PLANTAS DE SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioprospecção Molecular (PPBM) da Universidade Regional do Cariri (URCA), como requisito para obtenção do título de Mestre em Bioprospecção Molecular.

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva

**COORIENTADORA:** Dra. Luciana Silva Cordeiro

**CRATO-CE  
2019**

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri – URCA

Bibliotecária: Ana Paula Saraiva CRB 3/1000

Campos, Natália Barbosa.

C198f Fatores bióticos e abióticos como agentes modificadores da fenologia de plantas de savana estépica (Caatinga)/ Natália Barbosa Campos. – Crato-CE, 2019

75p.; il.

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Bioprospecção Molecular da Universidade Regional do Cariri – URCA.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva

Coorientadora: Dra. Luciana Silva Cordeiro

1. Fenodinâmica, 2. Padrões fenológicos, 3. Variações químicas, 4. *Myracrodruon urundeuva*, 5. Semiárido; I. Título.

CDD: 574.5265

**NATÁLIA BARBOSA CAMPOS**

**FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS COMO AGENTES MODIFICADORES DA  
FENOLOGIA DE PLANTAS DE SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)**

Dissertação aprovada em: 31 de Julho de 2019

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Profa. Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva  
(Universidade Regional do Cariri – URCA)  
(Orientadora)

---

Profa. Dra. Marta Maria de Almeida Souza  
(Universidade Regional do Cariri – URCA)  
(Membro Avaliador Interno)

---

Profa. Dra. Eliene Duarte  
(Universidade Regional do Cariri – URCA)  
(Membro Avaliador Externo)

Em especial, a minha outra metade, minha mãe Maria Irecer, por ser meu maior motivo de sempre querer continuar em frente, com força e coragem, pelo incansável companheirismo.

A minha avó, Maria Dalva (*in memoriam*), pela lição de vida, por seu exemplo de caráter, força e amor incondicional.

Ao meu pai, Dalmir (*in memoriam*).

A minha Tia-Avó, Gércia Pinheiro, pela ajuda e apoio de sempre.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Deem graças ao Senhor porque ele é bom, o seu amor dura para sempre! (Salmos 106:1)... e assim começo agradecendo ao meu DEUS, e SENHOR por todas as graças alcançadas, por Ele me abençoar diariamente com o Seu amor, pelas oportunidades que me concedeu até aqui para que eu pudesse concretizar este sonho, por sempre me mostrar o caminho do bem, do amor, e me encher de sabedoria, serenidade, força e coragem em todos os momentos (por mais que eu quisesse fraquejar, eu te sentia Senhor, e te sinto, sempre!). Por sempre estar presente em minha vida, gratidão, gratidão e gratidão!

Agradeço a minha vida, minha mãe Maria Irecêr, por todos os conselhos, por todas as orações, por não medir esforços para me ver bem, obrigada por todo o investimento, por toda educação, confiança e dedicação depositados em mim, e por sempre me mostrar o amor incondicional, te amo muito. Além por todos os momentos de alegria, amor e companheirismo sendo você meu maior exemplo, o meu maior amor. Serei eternamente grata à senhora, por tudo e por tanto. Obrigada por ser a minha mãe!

A minha avó Maria Dalva (in memoriam), que junto com a minha mãe foi o meu maior exemplo de amor e de mulher, (Sinto tanto a tua falta, minha vó, meu amor! Eu te amo e sempre te amarei!). A meu pai Dalmir Barbosa (in memoriam), que onde quer que esteja sempre será essencial na minha vida, a quem agradeço imensamente a educação e amor a qual me concedeu. A minha tia-avó Gercia Pinheiro, por todo apoio, pelos conselhos, por ser essa mulher de fibra, e que sempre está pronta para ajudar quando preciso as minhas tias e tios pelo carinho e por toda ajuda que me deram durante a vida, e durante a realização desse trabalho, aos meus primos pelas conversas, por estarem sempre presentes em minha vida.

Aos meus amigos da vida, aqueles os quais estão sempre ali para me estender a mão quando eu preciso... Fernanda Indira, Victor Hugo, Yanna Saraiva, Lívia Dantas, Peu Araújo, Larissa Albino, Kaiamme Fidelis e Nadia Rodrigues por todos os momentos de conversas, risadas, amizade e companheirismo, pelos quais tenho uma imensa gratidão por tê-los em minha vida, um presente de Deus para mim (e que presente! Amo vocês!).

Agradeço imensamente a prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Arlene Pessoa da Silva pela oportunidade e confiança, a Dr<sup>a</sup> Luciana Silva Cordeiro por toda ajuda e paciência durante toda a coorientação. Admiro muito você como pessoas e profissionais... levarei para vida todos os ensinamentos.

Aos presentes que a Urca me deu, no qual eu agradeço imensamente, Kyhara Soares, Viviane Bezerra, Arycelle Alves, Luciana Cordeiro, Isabella Torquato, Ana Cleide, Weverton Bezerra, Priscilla Augusta por todas as conversas, risadas (e choros), momentos ao lado de vocês, aquele cafezinho das tardes em Seu Saraiva. Obrigada meus amores, pela amizade e companheirismo, amizades que levarei para sempre comigo. Aos que já não estão presentes na Urca, Márcio Nascimento, Natália Cavalcante, Thalles Coutinho e Elizete Generino. E a Marcos Aurélio por toda ajuda concedida.

A todos os colegas de Herbário Caririense de Andrade-Lima – HCDAL e Laboratório de Botânica Aplicada. Agradeço pelo material disponibilizado para que desenvolvimento desse estudo. Meus agradecimentos a Universidade Regional do Cariri – URCA, pela oportunidade de cursar o mestrado de Bioprospecção Molecular, pelo aprendizado adquirido durante todo esse tempo.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP) pela concessão da bolsa de Mestrado, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a, coordenadora do projeto intitulado “Conservação da biodiversidade em nível de paisagem: mudanças climáticas e distúrbios antropogênicos” vinculado ao CNPq, Francisca Soares. A banca examinadora, pelas valiosas contribuições a mim concedidas.

A persistência é o caminho do êxito.

**Charles Chaplin**

## RESUMO GERAL

A fenologia tem uma importante função para as comunidades vegetais, auxilia no entendimento da disponibilidade de recursos (produção primária) para a fauna no decorrer do ano, e também na compreensão da composição e distribuição das espécies em comunidades vegetais e no grau de deciduidade vegetacional. Elucidando no entendimento dos mecanismos de regeneração, distribuição das espécies e na dinâmica dos ecossistemas florestais. A fenodinâmica um importante componente das características demográficas das plantas, e os fatores que afetam o padrão fenológico podem provocar alterações futuras na taxa de recrutamento e na dinâmica das populações, sendo assim, é necessário para entender como a rápida resposta fisiológica das espécies da Savana Estépica (Caatinga) ao aumento na disponibilidade hídrica faz com que a duração das fenofases vegetativas seja diferentes umas das outras. Os padrões fenológicos também são apontados como reflexo das condições dos ambientes, e podem influenciar na suscetibilidade aos insetos herbívoros. Além das defesas fenológicas, as plantas podem apresentar defesas físicas e químicas permitindo que escapem dos herbívoros espaço-temporalmente. Geralmente, as plantas podem apresentar variação na qualidade e quantidade de compostos utilizados como defesa contra herbivoria. Nos vegetais, as defesas químicas podem ser atribuídas aos compostos com pouca função no metabolismo primário, afetando o crescimento, saúde, comportamento ou a biologia populacional dos herbívoros e outras espécies. Para responder se em ambientes com climas semiáridos, as comunidades vegetais têm sua fenologia e composição bioquímica foliar afetada por restrições hídricas e ataques de predadores naturais, foram analisados ao longo de doze meses queda de folhas, floração, frutificação e suas relações com as variáveis ambientais (precipitação, temperatura e fotoperíodo) das espécies da Savana Estépica (Caatinga) e também a relação herbivoria e composição química de *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira). Os padrões de queda de folhas foram fortemente influenciados pela sazonalidade e o brotamento pode ter sido estimulado pela elevação da temperatura que ocorreu na fase de transição entre estações seca e chuvosa. Tal fato mostrou que a maioria das espécies apresenta frequência anual para as fenofases de floração e frutificação, indicando que ocorre um evento por ano. Analisando a relação entre variáveis abióticas, as fenofases vegetativas foram relacionadas mais fortemente com a precipitação (queda de folhas) e temperatura (brotamento), enquanto que as fenofases reprodutivas foram menos influenciadas por esses fatores. Com base nas variações químicas, pode-se verificar uma relação entre a sazonalidade e o conteúdo químico nas folhas de *M. urundeuva* durante seu ciclo fenológico, isso, devido às condições naturais cíclicas.

**Palavras-chave:** Fenodinâmica; Padrões fenológicos; Variações químicas; *Myracrodruon urundeuva*; Semiárido.

## ABSTRACT

A phenology has an important function for plant communities, helping to understand the availability of resources (basic production) for a fauna that does not occur annually, understanding the composition and distribution of species in plant communities and the degree of leaf decision. Elucidating the understanding of the mechanisms of regeneration, species distribution and forest ecosystems. A phenodynamic is an important component of plant demographic characteristics, and factors affecting or phenological pattern can cause changes in recruitment rates and song reproduction, so it is necessary to understand as a rapid physiological response of Aesthetic Savanna species (Caatinga) due to the increase of water availability makes the duration of vegetative and reproductive phenophases different from others. Phenological patterns are also pointed as a reflection of environmental conditions and may influence susceptibility to herbivorous insects. In addition to phenological defenses, plants can have chemical and chemical defenses that can escape from herbivores in the timeline. Allowed, as plants may vary in the quality and quantity of compounds used as a defense against herbivory. In plants, chemical defenses can be attributed to compounds with poor primary metabolism function, affecting the growth, health, behavior or population biology of herbivores and other species. To respond to environments with semiarid climate, such as plant communities with their phenology and leaf biochemical composition affected by water restrictions and attacks by natural predators, were analyzed for 12 months ago some leaves, flowering, fruiting and their relationships with the same values (temperature, temperature and photoperiod) of Aesthetic Savanna (Caatinga) species and also a herbivorous relationship and chemical composition of *Myracrodruon urundeuva* (aroeira). Leaf fall patterns were strongly influenced by seasonality and budding may have been stimulated by the increase in temperature that occurred in the transition phase between dry and rainy seasons. This fact showed that most species present annual frequency for flowering and fruiting phenophases, indicating that one event occurs per year. Analyzing the relationship between abiotic variables, vegetative phenophases were more strongly related to rainfall (leaf fall) and temperature (sprouting), while reproductive phenophases were less influenced by these factors. The volatile compounds of plants can act as physiological and physicochemical controls and can influence the herbivory. Based on chemical variations, a relationship between seasonality and chemical content of *M. urundeuva* leaves during its phenological cycle can be verified, due to the cyclic natural conditions.

**Keywords:** Phenodynamics; Phenological patterns; Chemical variations; *Myracrodruon urundeuva*; Semiarid.

## LISTA DE FIGURAS

### MANUSCRITO I - INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ALTERAÇÃO DE EVENTOS FENOLÓGICOS DE PLANTAS DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)

<b>Figura 1.</b>	Localização da área de estudo da Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará).....	24
<b>Figura 2.</b>	A) Índice de atividade e B) Índice de Intensidade de Fournier, das fenofases vegetativas, e precipitação mensal do período de estudo na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará).....	35
<b>Figura 3.</b>	Histograma circular de frequência relativa mensal indicando a data média das fenofases vegetativas. A) Brotamento de folha B) Folha adulta C) Queda de folha .....	36
<b>Figura 4.</b>	A) Índice de atividade e B) Índice de Intensidade de Fournier, das fenofases reprodutivas, e precipitação mensal do período de estudo na Estação Ecológica de Aiuaba – (ESEC- Aiuaba-Ceará).....	41
<b>Figura 5.</b>	Histograma circular de frequência relativa mensal indicando a data média das fenofases reprodutivas. A) Flor botão B) Flor aberta C) Fruto imaturo D) Fruto maduro .....	42

### MANUSCRITO II - VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA RELACIONADA À FENOLOGIA FOLIAR: RESPOSTAS DE DEFESA EM FUNÇÃO DA SAZONALIDADE DE *Myracrodruon urundeuva* Allemão DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)

<b>Figura 1.</b>	Localização da Sede da Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará) .....	56
<b>Figura 2.</b>	Cromatogramas do óleo essencial de <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão no (A) Período seco e (B) Período chuvoso .....	61
<b>Figura 3.</b>	Monoterpenos majoritários encontrados nas amostras do óleo de <i>Myracrodruon urundeuva</i> (A) Período seco (Monoterpeno $\alpha$ -Pineno) e (B) Período chuvoso ( Monoterpeno 3-Careno) .....	65

## LISTA DE TABELAS

### MANUSCRITO I - INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ALTERAÇÃO DE EVENTOS FENOLÓGICOS DE PLANTAS DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)

<b>Tabela 1.</b>	Espécies selecionadas para as determinações fenológicas na Estação Ecológica de Aiuaba–(ESEC-Aiuaba-Ceará) .....	28
<b>Tabela 2.</b>	Época de ocorrência e frequência das fenofases das espécies de área de Savana Estépica (Caatinga) na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC – Aiuaba-Ceará).....	31
<b>Tabela 3.</b>	Correlação de Spearman (rs) entre os fatores abióticos e as fenofases vegetativas das espécies no período de estudo de junho/18 a maio/19 na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará) .....	34
<b>Tabela 4.</b>	Correlação de Spearman (rs) entre os fatores abióticos e as fenofases reprodutivas das espécies no período de estudo de junho/18 a maio/19 na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará) .....	40

### MANUSCRITO II - VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA RELACIONADA À FENOLOGIA FOLIAR: RESPOSTAS DE DEFESA EM FUNÇÃO DA SAZONALIDADE DE *Myracrodruon urundeuva* Allemão DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)

<b>Tabela 1.</b>	Duração da fenofase foliar e herbivoria das espécies da área de Savana Estépica (Caatinga) na Sede da Estação Ecológica de Aiuaba - (ESEC-Aiuaba-Ceará) .....	60
<b>Tabela 2.</b>	Caracterização de compostos do óleo essencial das folhas de <i>Myracrodruon urundeuva</i> Mart., para o período seco e chuvoso, CG/MS-QP.....	62
<b>Tabela 3.</b>	Rendimento do óleo essencial de <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão .....	65

## LISTA DE SIGLAS

EAC – Herbário Prisco Bezerra

ESEC – Estação Ecológica

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis

HCDAL – Herbário Caririense Dárdano de Andrade-Lima

LPPN – Laboratório de Pesquisa em Produtos Naturais

SISBIO - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade

UFC – Universidade Federal do Ceará

URCA – Universidade Regional do Cariri

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>RESUMO GERAL</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	x
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	12
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	15
<b>MANUSCRITO I</b>	
<b>INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ALTERAÇÃO DE EVENTOS FENOLÓGICOS DE PLANTAS DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)</b> .....	19
1 Introdução.....	22
2 Material e Métodos.....	24
2.1 Área de Estudo.....	24
2.2 Coleta dos Dados.....	25
2.2.1 Sítios de amostragem.....	25
2.3 Análise dos Dados.....	27
3 Resultados e Discussão.....	28
3.1 Fenofases Vegetativas.....	29
4 Conclusão.....	44
Agradecimentos.....	45
Referências.....	46
<b>MANUSCRITO II</b>	
<b>VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA RELACIONADA À FENOLOGIA FOLIAR: RESPOSTAS DE DEFESA EM FUNÇÃO DA SAZONALIDADE DE <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)</b> .....	51
1 Introdução.....	54
2 Material e Métodos.....	56
2.1 Área de Estudo.....	56
2.2 Descrição da espécie.....	57
2.3 Coleta dos Dados.....	57
2.3.1 Fenologia foliar e Herbivoria.....	57
2.3.2 Coleta e Identificação do Material Botânico.....	58
2.4 Extração do Óleo Essencial.....	58
2.5 Análise Fitoquímica.....	59
2.5.1 Análise Cromatográfica por CG/MS-QP.....	59
2.5.2 Rendimento do Óleo Essencial.....	59
3 Resultados e Discussão.....	60
3.1 Fenologia foliar e Herbivoria.....	60
3.2 Análise Cromatográfica por CG/MS-QP.....	60
3.3 Rendimento do Óleo Essencial.....	65
4 Conclusão.....	66
Agradecimentos.....	67
Referências.....	68
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	74

## INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas tropicais ainda abrigam cerca de dois terços da biodiversidade da Terra, proporcionando benefícios locais, regionais e globais. Essas vegetações fornecem bens econômicos e serviços ecossistêmicos. Há uma grande dependência de um controle eficaz das ações do homem e seus impactos nas paisagens para garantir a integridade futura de uma significativa parte da biodiversidade das florestas tropicais (HARVEY et al., 2008; PERFECTO; VANDERMEER 2008).

A proteção dessas áreas age como elemento essencial para qualquer estratégia de conservação da biodiversidade de florestas tropicais e também um meio singular de salvaguardar espécies florestais obrigatórias (GARDNER et al., 2009).

Uma vez que essas ações antrópicas vêm gerando grandes impactos no cenário ambiental através do intenso processo de substituição das áreas naturais por diversos tipos de uso do solo e da fragmentação das áreas com cobertura florestal (MATSUSHITA; XU; FUKUSHIMA, 2006). Diferentes fatores estão diretamente ligados a esta substituição, o que influencia na disponibilidade e a qualidade dos recursos naturais, e afeta a biodiversidade em grandes áreas do planeta (MENDOZA et al., 2011).

O Semiárido do Nordeste brasileiro apresenta uma variedade de áreas que são suscetíveis às variações do clima, além de ser considerado como um ambiente de grande vulnerabilidade aos impactos das possíveis mudanças climáticas (AMBRIZZI; ARAÚJO, 2013).

A disponibilidade natural de água na região Semiárida do Brasil é caracterizada por uma distribuição de chuvas bastante irregular, com baixos índices de pluviosidade anual e longos períodos de estiagem, além de apresentar forte insolação e temperaturas relativamente altas (HASTENRATH, 2012; NYS; ENGLE, 2014; SANTOS et al., 2017).

O Semiárido nordestino do Brasil apresenta a maior parte de seu território ocupada por uma vegetação adaptada às condições de aridez, de fisionomia variada, denominada de Savana Estépica (Caatinga) de acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE 2012). Este tipo vegetacional é considerado extremamente importante do ponto de vista biológico, sendo um dos poucos que tem sua distribuição totalmente restrita ao território brasileiro (SILVA et al., 2010).

A fenodinâmica um importante componente das características demográficas das plantas, e os fatores que afetam o padrão fenológico podem provocar alterações futuras na

taxa de recrutamento e na dinâmica das populações, sendo assim, é necessário para entender como a rápida resposta fisiológica das espécies da Savana Estépica (Caatinga) ao aumento na disponibilidade hídrica faz com que a duração das fenofases vegetativas seja diferentes umas das outras (MILES et al., 2006; AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2009).

Segundo Reis (2014), a fenologia é um aspecto crucial da biologia das populações, pois além de abordar a vida de cada espécie, ainda diz respeito à dinâmica das relações interespecíficas no âmbito dos fenômenos de competição, predação, polinização, dispersão de diásporos e de frugivoria.

A fenologia tem uma importante função para as comunidades vegetais, além de auxiliar no entendimento da disponibilidade de recursos (produção primária) para a fauna no decorrer do ano (OLIVEIRA, 2008), além de auxiliar na compreensão da composição e distribuição das espécies em comunidades vegetais (CHUINE; BEAUBIEN, 2001) e no grau de deciduidade vegetal (PILON; UDULUTSCH; DURIGAN, 2015). Elucidando no entendimento dos mecanismos de regeneração, distribuição das espécies e na dinâmica dos ecossistemas florestais (BATALHA; MANTOVANI, 2000).

Padrões fenológicos também são apontados como reflexo das condições dos ambientes, e podem influenciar na suscetibilidade aos insetos herbívoros (LAWTON 1983; GONÇALVES-ALVIN et al., 1999; NEVES et al., 2013). Além das defesas fenológicas, as plantas podem apresentar defesas físicas e químicas permitindo que escapem dos herbívoros espaço-temporalmente (COLEY; BARONE 1996).

Geralmente, as plantas podem apresentar variação na qualidade e quantidade de compostos utilizados como defesa contra herbivoria (MADEIRA et al. 1998; SCHOONHOVEN et al. 2005; DIRZO; BOEGE, 2008; AOYAMA; LABINAS, 2012; FÜRSTENBERG-HÄGG et al. 2013).

Nos vegetais, as defesas químicas podem ser atribuídas aos compostos com pouca função no metabolismo primário e que afetam o crescimento, saúde, comportamento ou a biologia populacional dos herbívoros e outras espécies (SCHOONHOVEN et al., 2005; AOYAMA; LABINAS 2012; FÜRSTENBERG-HÄGG et al., 2013; LEAL et al., 2014). Tais compostos, como taninos, terpenoides e alcaloides (MADEIRA et al., 1998; MUMM et al., 2008) promove a redução do valor nutricional dos recursos vegetais afetando a palatabilidade para os herbívoros ou agem como repelentes naturais e ainda podem restringir ou mesmo impedir o consumo das partes vegetais (COLEY; BARONE 1996; FÜRSTENBERG-HÄGG et al., 2013).

Os óleos essenciais são formados por uma diversidade de moléculas hidrofóbicas que oferecem vantagens peculiares, pois facilmente se difundem através das membranas celulares (EDRIS, 2007; MACHADO et al., 2010) com possibilidade de virem a ser fitomedicamentos alternativos para o tratamento contra parasitas (DO CARMO et al., 2012). Esses óleos possuem geralmente em sua composição derivados de fenilpropanóides e/ou terpenóides (SIMÕES; SPITZER, 2003).

Entretanto, ainda são poucas as pesquisas que conseguem elucidar a variação dos constituintes químicos das espécies de acordo com as características do ambiente e suas funcionalidades. A maioria dos estudos se concentra em analisar a variação química em óleos essenciais e incluem predominantemente espécies já conhecidas comercialmente (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Através dos manuscritos pretendeu-se responder se em ambientes com climas semiáridos, as comunidades vegetais tem sua fenologia e composição bioquímicas foliares afetadas por restrições hídricas e ataques de predadores naturais.

Neste contexto, o manuscrito I - Influência das mudanças climáticas na alteração de eventos fenológicos de plantas da Savana Estépica (Caatinga), foi estruturado nas normas do periódico ao qual foi submetido para publicação e, o manuscrito II - Variação da composição química relacionada à fenologia foliar: respostas de defesa em função da sazonalidade de *Myracrodruon urundeuva* Allemão da Savana Estépica (Caatinga) atendeu a ABNT 2018.

Este estudo está inserido dentro do projeto “Conservação da biodiversidade em nível de paisagem: mudanças climáticas e distúrbios antropogênicos” (Chamada CNPq/ICMBio/FAPs nº18/2017).

## REFERÊNCIAS

- AMBRIZZI, T.; ARAÚJO, M. (Coord.). **Sumário executivo: base científica das mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, p.23, 2014.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. A. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p 491-499. 2009.
- AOYAMA, E. M; LABINAS, A. M. Características estruturais das plantas contra a herbivoria por insetos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 365-386, 2012.
- BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive phenological patterns of Cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa a Quatro, SP, Brazil): comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista Brasileira de Biologia** v.60, p.129-145, 2000.
- COLEY, P. D.; BARONE, J. A. Herbivory and plant defenses in tropical forests. **Annual review of ecology and systematics**, v. 27, n. 1, p. 305-335, 1996.
- CHUINE, I.; BEAUBIEN, E. G. Phenology is a major determinant of tree species range. **Ecology Letters**. v.4, p.500-510, 2001.
- DO CARMO, D. F. M.; AMARAL, A. C. F.; MACHADO, G. M. C.; LEON, L. L.; SILVA, J. R. A. Chemical and biological analyses of the essential oils and main constituents of Piper species. **Molecules**, vol. 17, p. 1819-1829, 2012.
- DIRZO, R.; BOEGE, K. Patterns of herbivory and defense in tropical dry and rain forests. **Tropical forest community ecology**, p. 63-78, 2008.
- FÜRSTENBERG-HÄGG, J; ZAGROBELNY, M.; BAK, S. Plant defense against insect herbivores. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 5, p. 10242-10297, 2013.
- GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; CHAZDON, R.; EWERS, R. M.; HARVEY, C. A.; PERES, C. A.; SODHI, N. S. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. **Ecology Letters**. v.12, p.561–582, 2009.
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n.2, p. 374-381, 2007.
- GONÇALVES-ALVIM, S. J.; FARIA, M.L.; FERNANDES, G. W. Relationships between four neotropical species of galling insects and shoot vigor. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 1, p. 147-155, 1999.
- HARVEY, C. A.; KOMAR, O.; CHAZDON, R.; FERGUSON, B. G.; FINEGAN, B., GRIFITH, D. M.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; MORALES, H.; NIGH, R.; SOTO-PINTO, L.; BREUGEL, M. V.; WISHNIE, M. Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. **Conservation Biology**, v.22, p.8–15, 2008.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, v.112, n.2, p.243-251. 2012.

IBAMA. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais da Estação Ecológica de Aiuaba**. Disponível em:

[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos\\_operativos/10-estacao\\_ecologica\\_de\\_aiuaba-ce.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/10-estacao_ecologica_de_aiuaba-ce.pdf). 2006. Acesso em: 20. nov. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnica da vegetação brasileira 2ª Ed. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visulaizacao/livros/livr63011.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2018.

LAWTON, J. H. Plant architecture and the diversity of phytophagous insects. **Annual review of entomology**, v. 28, n. 1, p. 23-39, 1983.

LEAL, I. R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. The multiple impacts of leaf-cutting ants and their novel ecological role in human-modified neotropical forests. **Biotropica**, v. 46, n. 5, p. 516-528, 2014.

LEMOS, J. R. Florística, estrutura e mapeamento da vegetação de Caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba Ceará. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade de São Paulo, SP.

LIMA, H. R. P.; KAPLAN, M. A. C.; CRUZ, A. V. D. M. Influência dos fatores abióticos na produção e variabilidade de terpenóides em plantas. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 71-77, 2012.

MACHADO, M.; SANTORO, G.; SOUSA, M. C.; SALGUEIRO, L.; CAVALEIRO, C. Activity of essential oils on the growth of *Leishmania infantum* promastigotes. **Flavour and Fragrance Journal**, vol. 25, p. 156-160, 2010.

MADEIRA, J. A; RIBEIRO, K. T; FERNANDES, G. W. Herbivory, tannins and sclerophylly in *Chamaecrista linearifolia* (Fabaceae) along an altitudinal gradient. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, p. 24-29, 1998.

MATSUSHITA, B.; XU, M.; FUKUSHIMA, T. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura, Japan using a high-quality GIS dataset. **Landscape and Urban Planning**, v.78, p.241-250, 2006.

MEDEIROS, J. B. L. P. **Zoneamento fito-ecológico da Estação Ecológica de Aiuaba – Uma contribuição à educação ambiental e à pesquisa científica**. 2004. Dissertação de mestrado, Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal do Ceará. 2004. Disponível em: [http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16479/1/2004\\_dis\\_jblpmedeiros.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16479/1/2004_dis_jblpmedeiros.pdf). Acesso em: 12. Abr. 2018.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C. de.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semiarid region. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.2, p.165-174, 2009.

MENDOZA, M. E.; GRANADOS, E. L.; GENELETTI, D.; PÉREZ-SALICRUP, D. R.; SALINAS, V. Analysing land cover and land use change process at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). **Applied Geography**, v.31, p.237-350, 2011.

MILES, L; NEWTON, A. C.; DEFRIES, R. S.; RAVILIOUS, C.; MAY, I.; BLYTH, S.; VALERIE KAPOS, V.; GORDON, J. E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v.33, n.3, p.491-502, 2006.

MUMM, R; POSTHUMUS, M. A.; DICKE, M. Significance of terpenoids in induced indirect plant defence against herbivorous arthropods. **Plant, Cell & Environment**, v. 31, n. 4, p. 575-585, 2008.

NEVES, F. S.; SPERBER, C. F.; CAMPOS, R. I.; SOARES, J. P.; RIBEIRO, S. P. Contrasting effects of sampling scale on insect herbivores distribution in response to canopy structure. **Revista de Biologia Tropical**, v. 61, n. 1, p. 125-137, 2013.

NYS, E. D.; ENGLE, N. 2014. Living with the semiarid and proactive drought management in Northeast Brazil: a new perspective. Washington, DC: World Bank Group. Disponível em: <http://www.worldbank.org/pt/country/brazil/brief/brazil-publications-agua-brasil-series-water>. Acesso em: 29. abr. 2018.

OLIVEIRA, P. E. A. M. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies do Cerrado. *In: Ecologia e Flora*. Embrapa, Brasília, p.275-286. 2008.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. **Annals of the New York Academy of Sciences**. v.1134, p.173–200. 2008.

PILON, N. A. L.; UDULUTSCH, R. G.; DURIGAN, G. Padrões fenológicos de 111 espécies de Cerrado em condições de cultivo. **Hoehnea**. v.42, n.3, p.425-443, 2015.

REIS, V. S. **Avaliação fenológica e biogeográfica de espécies fitoindicadoras do gênero Clitoria L. em ambientes tropicais**. Dissertação de mestrado, Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe. 2014.

SANTOS, W. M. dos; SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S. de; ALMEIDA, A. Q. de; ANTONINO, A. C. D. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.4, p.368-376, 2017.

SCHOONHOVEN, L. M., VAN LOON, J. J. A.; DICKE, M. **Insect Plant Biology**. Oxford: Oxford University Press. p.440, 2005.

SILVA, P. C. G. da.; MOURA, M. S. B. de; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. de. L.; PEREIRA, L. A.; CORREIA, I. B. S. R. C.; TEIXEIRA, A. H. de. C.; CUNHA, T. J. F.; FILHO, C. G. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. **Embrapa Semiárido Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos essenciais. *In: SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.;*

DE MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. (Orgs.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5ª. ed. UFRGS/UFSC: Porto Alegre/Florianópolis, p. 467-495. 2003.

SOUZA, M. J. N. Geomorfologia. *In*: OLIVEIRA, J. G. B. (Coord.). **Projeto Aiuaba**: relatório técnico (mai/1982-out./1983). Fortaleza: FCPC/UFC/NECO, p.51-71, 1983.

**MANUSCRITO I****INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ALTERAÇÃO DE EVENTOS  
FENOLÓGICOS DE PLANTAS DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)**

A seguir o manuscrito redigido segundo as normas estruturais e bibliográficas do periódico South African Journal of Botany.

Influência das mudanças climáticas na alteração de eventos fenológicos de plantas da Savana Estépica (Caatinga)

Natália Barbosa Campos<sup>1</sup>; Luciana Silva Cordeiro<sup>1</sup>; Maria Arlene Pessoa da Silva<sup>1</sup>; Arycelle Alves de Oliveira<sup>1</sup>; Francisca Soares Araújo<sup>2</sup>; Bruno Menezes<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Regional do Cariri-URCA

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará –UFC

## RESUMO

Estudos fenológicos fornecem conhecimento chave que podem ser incorporados em modelos preditivos de cenários de mudança climática. Foram analisadas as fenofases vegetativas e reprodutivas e suas relações com as variáveis ambientais (precipitação, temperatura e fotoperíodo), durante doze meses de modo a confirmar se os padrões sazonais geralmente observados em vegetações de Savana Estépica (Caatinga) se repetem em relação a anos anteriores. Buscou-se responder: 1) Quais estratégias fenológicas vegetativas e o padrão de frequência de floração e frutificação das espécies estudadas? 2) Quais variáveis climáticas e/ou fotoperíodo apresenta maior potencial para desencadear diferentes fenofases? A Estação Ecológica de Aiuaba está localizada no município de Aiuaba, Ceará, na região tropical semiárida do Nordeste Brasileiro. Foram monitoradas 35 espécies vegetais, com base na abundância das mesmas, totalizando 104 plantas, divididas em três transeções denominadas de (P2, P3 e P5). Para determinar os índices de atividade, foram registradas a presença e ausência das fenofases, considerando três categorias (assincronia, sincronia baixa e alta). Para analisar a intensidade de cada fenofase, foi utilizado o método semi-quantitativo de Fournier. Em relação às variáveis abióticas, as fenofases vegetativas foram relacionadas mais fortemente com a precipitação (queda de folhas) e temperatura (brotamento), enquanto que as fenofases reprodutivas foram menos influenciadas por eles.

**Palavras-chave:** Sazonalidade; Precipitação; Temperatura; Semiárido.

## ABSTRACT

Phenological studies provide key insights that can be incorporated into predictive models of climate change scenarios. Vegetative and reproductive phenophases and their relationship with environmental variables (precipitation, temperature and photoperiod) were analyzed for twelve months to confirm whether seasonal patterns generally observed in Steppe Savannah (Caatinga) vegetation are repeated over previous years. . We sought to answer: 1) What vegetative phenological strategies and the pattern of flowering and fruiting frequency of the species studied? 2) Which climatic variables and / or photoperiod have the greatest potential to trigger different phenophases? The Aiuaba Ecological Station is located in the municipality of Aiuaba, Ceará, in the semiarid tropical region of northeastern Brazil. Thirty-five plant species were monitored based on their abundance, totaling 104 plants, divided into three transects called (P2, P3 and P5). To determine the activity indices, the presence and absence of phenophases were recorded, considering three categories (asynchrony, low and high synchrony). To analyze the intensity of each phenophase, the Fournier semi-quantitative method was used. Regarding abiotic variables, vegetative phenophases were more strongly related to rainfall (leaf fall) and temperature (budding), while reproductive phenophases were less influenced by them.

**Key words:** Seasonality; Precipitation; Temperature; Semiarid.

## 1 Introdução

Fenologia é uma ciência ambiental integradora que atingiu uma posição de destaque nas pesquisas atuais sobre mudança global. A observação fenológica permite monitorar, compreender e prever o tempo de recorrência da manutenção dos eventos biológicos correlacionados ao clima. Além de ter grande importância na avaliação de espécies presentes nos distintos tipos vegetacionais, tanto nas funções vegetativas como produção e queda das folhas como reprodutivas (frutificação, formação de flores, antese, e germinação das sementes (Rosenzweig *et al.* 2008; Morellato *et al.* 2016).

Estudos fenológicos também fornecem conhecimento chave os quais podem ser incorporados em modelos que preveem cenários de mudança climática (IPCC 2014; Rosemartin *et al.* 2014). Uma vez que, os eventos fenológicos em plantas podem ser afetados por vários fatores, os quais estão associados com a radiação solar, temperatura do ar, evaporação, precipitação pluviométrica e umidade do ar, com os fatores locais como fotoperíodo e solo e, ainda, com os elementos bióticos como pragas e doenças (Ortolani & Camargo 1987; Morellato *et al.* 2010).

O clima é o principal fator que controla e regula eventos fenológicos em plantas, e o aquecimento global tem afetado a distribuição de espécies e o momento da mudança das folhas (Chuine e Beaubien 2001; Menzel *et al.* 2006). A região semiárida brasileira tem um dos climas mais complexos do mundo, devido à elevada taxa de radiação solar, as irregularidades das chuvas e aos índices pluviométricos (abaixo de 900 mm por ano) que são relativamente insuficientes, irregulares e mal distribuídas (Fernandes 1992; Marengo *et al.* 2011).

A vulnerabilidade do semiárido as variações climáticas e suas mudanças estão em estudos de Kayano e Andreoli (2009); Marengo *et al.* (2011), cujo foco são áreas agriculturáveis e que avaliam os danos causados por anos de anos extremamente secos e outros chuvosos para as espécies vegetais.

Não se espera que o impacto da mudança global na fenologia das plantas seja uniforme para todas as espécies, onde os efeitos em nível de espécie podem levar a consequências para as comunidades, e alterar potencialmente o momento de floração ou picos de frutificação e a duração das temporadas de reprodução (Donnelly *et al.* 2011; Hanya e Chapman, 2013; Hoye *et al.* 2013).

A Savana Estépica (Caatinga), inserida no semiárido, é caracterizada por um conjunto de adaptações à deficiência hídrica que se estende por vários meses ao longo do ano. Com

algumas características marcantes, essa vegetação apresenta uma rápida renovação das copas no começo do período chuvoso. No entanto, a emissão de folhas não está relacionada somente com a precipitação, mas, também, com a reserva hídrica no solo, que pode estender a disponibilidade de água para as plantas no início da estiagem, retardando o início da caducifolia presente durante parte da estação seca (Araújo e Ferraz 2003; Barbosa *et al.* 2006; Amorim *et al.* 2009).

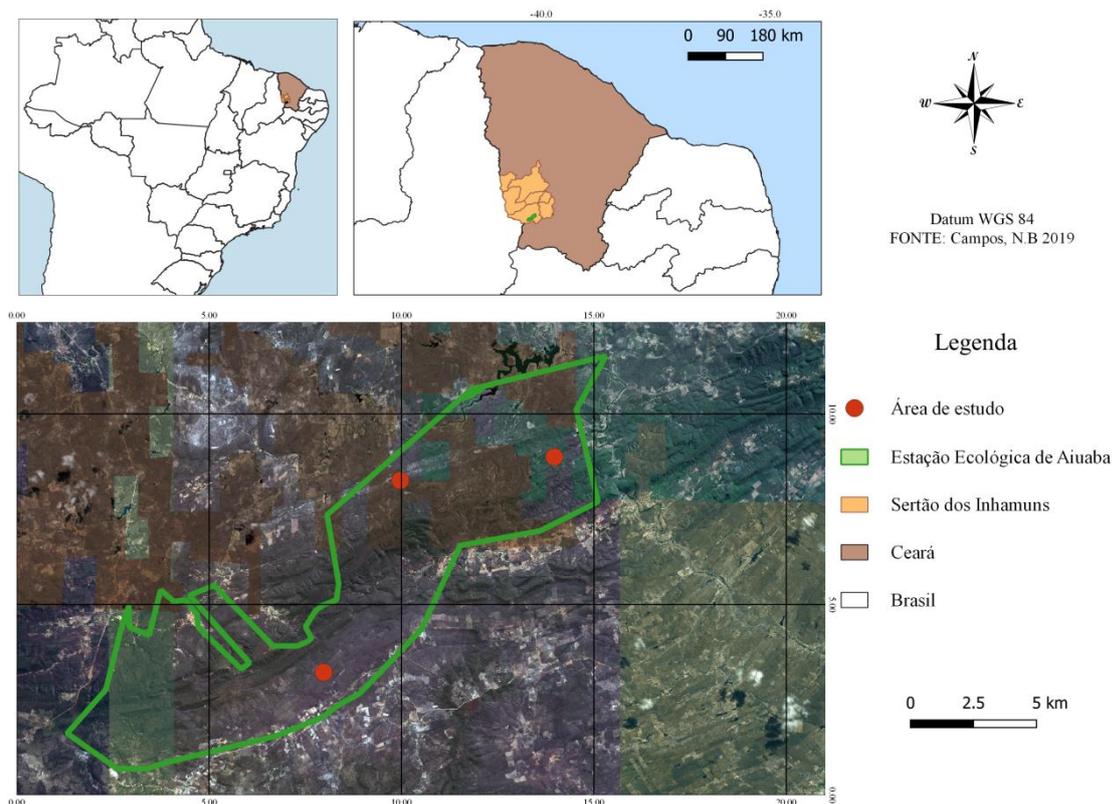
Estudos fenológicos desenvolvidos em áreas de Savana Estépica (Caatinga), na região semiárida do Nordeste do Brasil Amorim *et al.* (2009) no Seridó, Lima e Rodal (2010) em Betânia e Floresta, Lima *et al.* (2012) em Serra Talhada, Parente *et al.* (2012) em São João do Cariri, Oliveira *et al.* (2015) em Pentecoste, Japiassú *et al.* (2016), em Pombal; Sena *et al.* (2016) em Petrolina mostram que os padrões fenológicos podem ou não estar diretamente relacionados com a precipitação, e distribuição temporal dos eventos climáticos.

Neste estudo, foi analisada, queda de folhas, floração, frutificação e suas relações com as variáveis ambientais (precipitação, temperatura e fotoperíodo), durante um período de doze meses. Através do estudo, buscou-se entender se os padrões estacionais, geralmente observados em vegetações savânicas se repetiram em anos anteriores. Com base nisso, esse estudo objetivou investigar a influência das mudanças climáticas na alteração de eventos fenológicos de plantas da Savana Estépica (Caatinga). Pretende-se responder às seguintes questões: 1) Quais são as estratégias fenológicas vegetativas e o padrão de frequência de floração e frutificação das espécies estudadas? 2) Quais são as variáveis climáticas e/ou fotoperíodo apresenta maior potencial para desencadear as diferentes fenofases?

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A Estação Ecológica de Aiuaba, no município de Aiuaba, está localizada na porção meridional da microrregião “Sertão dos Inhamuns”, sudoeste do estado do Ceará (Fig. 1). Na região tropical semiárida do Nordeste Brasileiro sob clima BSh (semiárido quente com chuvas de verão e inverno seco) (Köppen-Geiger), em elevação de 466 m acima do nível do mar. Possui duas estações bem delimitadas, uma seca e outra chuvosa, com curtos períodos de chuva na estação chuvosa, chuvas erráticas na seca e uma ocorrência previsível de anos secos (IBAMA 2002).



**Figura 1.** Localização da área de estudo da Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará)

**Fonte:** Campos, N.B. (2019).

Os dados de precipitação pluviométrica indicam valores anuais entre 590 e 684 mm, o que confere um clima de semiaridez, principalmente pela distribuição concentradas das chuvas durante o ano. O período chuvoso coincide com o verão-outono, com chuvas distribuídas

entre dezembro e junho. O período seco ocorre de julho a dezembro (IBAMA, 2006). A precipitação média anual é de 582 mm. A temperatura média mensal varia de 24 a 28 °C (Lemos e Meguro 2010).

## 2.2 Coleta dos Dados

Foram selecionadas 35 espécies, com base na abundância das mesmas e, para cada uma destas, marcados um a cinco indivíduos adultos, de forma aleatória, totalizando 104 plantas, distribuídas em 11 famílias botânicas.

### 2.2.1 Sítios de amostragem

São cinco (5) transeções partindo de dentro da unidade, a 1 km da borda, em direção às áreas externas, até 5 km da borda da unidade de conservação, destas, foram selecionadas três (3) transeções denominadas de (P2, P3 e P5) nas parcelas do levantamento fitossociológico, onde, foi realizado um levantamento das espécies mais abundantes para cada transecto, e assim realizada a escolha das espécies, para o acompanhamento posterior das fenofase.

As determinações fenológicas foram realizadas visualmente com periodicidade mensal, de junho de 2018 a maio de 2019, totalizando doze observações.

As fenofases que compuseram a ficha de observação foram: fenologia vegetativa: (1) brotamento: marcado pelo aparecimento de folhas jovens com coloração diferenciada (avermelhada ou verde-clara); (2) folhas adultas: folhas com todo potencial fotossintético; (3) queda foliar: presença de folhas amarelas na copa, perda das folhas sob o vento e presença de folhas caídas sob a copa das árvores; e fenologia reprodutiva: (4) botões florais: foi observada a presença/ausência da estrutura que se configura desde o início da formação da estrutura floral até a maturação dos botões florais; (5) flor aberta antese: representada pela abertura das flores até a queda das peças florais; (6) frutos verde/imaturo: foram incluídas nessa categoria estágios desde a formação do fruto até o amadurecimento, visualizado pela presença de frutos de coloração verde; (7) frutos maduros: a observação de frutos totalmente desenvolvidos podendo ter coloração diferenciada (Fournier, 1974; Galetti *et al.* 2006).

Complementando as análises sobre fenologia reprodutiva foram incluídos os tipos de síndromes de dispersão das espécies. As categorias selecionadas estão de acordo com Van Der Pijl (1982), e se dividem em: anemocórica, zoocórica, autocórica e barocórica.

Foram monitorados os indivíduos em relação ao índice de atividade, que revela o período em que uma determinada fenofase ocorreu de maneira mais generalizada na comunidade (Bencke e Morellato 2002) e índice de intensidade, que mostra quando uma determinada fenofase ocorreu de modo mais intenso na comunidade (Fournier 1974), seguindo as recomendações de Heideman (1989). A diferenciação entre esses índices decorre do fato que o pico de atividade reflete o número máximo de indivíduos que apresentam a fenofase, mas não necessariamente com a intensidade máxima, a qual pode ocorrer sem que a fenofase seja expressa por todos os indivíduos da amostra. A utilização desses índices permite investigar se o início, a duração, a sincronia e a intensidade das fenofases foram similarmente afetadas pelas variáveis abióticas analisadas.

Para determinar os índices de atividade, foram registradas apenas a presença e a ausência das fenofases, considerando: a) assincronia, quando < 20% dos indivíduos apresentarem a fenofase, b) sincronia baixa 20-60% de indivíduos na fenofase e, c) sincronia alta > 60% dos indivíduos manifestarem a fenofase.

Para analisar a intensidade de cada fenofase, foi utilizado o método semi-quantitativo de Fournier (1974), o qual estabelece cinco categorias em escala ordinal e intervalar: 0 = 0%; 1 = 1 a 25%; 2 = 26 a 50%; 3 = 51 a 75% e 4 = 76 a 100%. Em cada mês, a soma dos valores de intensidade obtidos para todos os indivíduos de cada espécie foi dividida pelo valor máximo possível (número de indivíduos multiplicado por quatro). Esse valor foi multiplicado por 100, para transformá-lo em uma porcentagem, representando a produtividade da comunidade.

Foram classificadas as espécies em grupos fenológicos vegetativos, definidos pelo tempo de ocorrência das fenofases: queda foliar e brotamento, de acordo com Pirani *et al.* (2009) e Oliveira *et al.* (2015). Para a caracterização da frequência das fenofases reprodutivas, foi utilizada a classificação proposta por Newstrom *et al.* (1994), dividido em quatro grupos: anual (um evento por ano), sub-anual (mais de um evento por ano), supra-anual (eventos em intervalos de dois anos ou mais) e contínua (ciclo de floração e/ou frutificação interrompido apenas por intervalos curtos).

As espécies foram coletadas conforme as técnicas de herborização e depositadas no Herbário Caririense Dárdano de Andrade-Lima (HCDAL), na Universidade Regional do Cariri - URCA e Herbário Prisco Bezerra (EAC), na Universidade Federal do Ceará - UFC, para a obtenção do voucher.

### 2.3 Análise dos Dados

Foram elaborados histogramas circulares com as distribuições de frequências, para verificar se existe sazonalidade na expressão das fenofases vegetativas e reprodutivas. Com base na estatística circular os meses foram transformados em ângulos, em intervalos de 30° e em seguida foram calculados: o ângulo médio ou data média ( $\mu$ ), a concentração do evento ao redor desta data ( $r$ ) e o desvio padrão circular ( $dp$ ). O ângulo médio ( $\mu$ ) é o período em torno do qual uma determinada fenofase foi registrada na maioria dos indivíduos (Silveira *et al.* 2013).

Foi realizado o teste de Rayleigh ( $z$ ) para determinar a significância do ângulo médio, quando o mesmo apresenta significância, indica sazonalidade na fenofase. A intensidade de concentração em torno do ângulo médio, indicado por  $r$ , varia de 0 (atividade fenológica distribuída uniformemente ao longo do ano) a 1 (atividade fenológica concentrada em um período do ano). Foi utilizado o programa ORIANA 4.02 (Kovach 2013).

Para identificar quais fatores abióticos: precipitação, temperatura e fotoperíodo apresentaram correlação com o desencadeamento das fenofases vegetativas e reprodutivas, foi testada a relação destas variáveis com a atividade e a intensidade de cada uma das fenofases mediante um teste de Correlação de Spearman ( $r_s$ ) no programa BIOESTAT 5.0 (Ayres *et al.* 2007). Como as respostas fenológicas aos estímulos abióticos podem se manifestar rapidamente ou tardiamente, foi investigado a relação entre as variáveis abióticas no mesmo mês e no mês anterior aos eventos fenológicos.

Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos através das estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET 2019) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME 2019), instaladas o mais próximo de cada ponto de coleta. O fotoperíodo mensal foi calculado a partir de Lammi (2009).

## 3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para os indivíduos analisados encontram-se descritos na Tabela 1, e ainda foram incluídas informações sobre fenofases: brotamento, folha adulta, queda foliar, floração (botão e aberta) e frutificação (imaturo e maduro), e como essas variaram em relação à duração e época de ocorrência (Tab. 2).

**Tabela 1.** Espécies selecionadas para as determinações fenológicas na Estação Ecológica de Aiuaba–(ESEC-Aiuaba-Ceará) (Continuação)

Família	Nome Científico	N. p.	N. i.	Transecções	Voucher
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira	5	P2; P3	EAC 38345
Annonaceae	<i>Annona leptopetala</i> (R.E.Fr.) H.Rainer	Pinha-braba	5	P5	EAC 55549
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart.	Pereiro	5	P3	EAC 60834
Bignoniaceae	<i>Fridericia parviflora</i> (Mart. ex D.C) L.G.Lohmann	Açoita cavalo	2	P5	EAC 38266
Boraginaceae	<i>Cordia leucocephala</i> Moric.	Maria-preta	3	P3	EAC 52022
	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud.	Freijorge	5	P5	EAC 56041
Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i> DC.	Mandacarú	5	P2; P3; P5	EAC 50529
Caryocaraceae	Caryocaraceae sp. 1	Piquiá	5	P5	-
Convolvulaceae	<i>Distimake macrocalix</i> (Ruiz & Pav.) A.R Simões & Stapes	Cipó-lagartixa	2	P3	HCDAL 13685
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum caatingae</i> Plowman	Rompe-gibão	5	P5	EAC 56038
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Marmeleiro-preto	5	P5	EAC 58101
	<i>Croton tricolor</i> Müll. Arg.	Marmeleiro-branco	5	P5	HCDAL 14033
	<i>Croton</i> sp.	Quebra-faca	5	P5	-
	Euphorbiaceae sp. 1	Quebra-faca preta	1	P5	-
	<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão	5	P2; P5	EAC 55652
Fabaceae	<i>Manihot carthagenensis</i> subsp. <i>glaziovii</i> (Müll.Arg.) Allem	Maniçoba	3	P5	HCDAL 14038
	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.	Cumaru-de-cheiro	5	P5	EAC 55669
	<i>Anadenanthera</i> sp.	Angico-liso	1	P2	-
	<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Vell.) Brenan	Angico-de-carçoço	2	P3	EAC 60831
	<i>Bauhinia</i> sp.	Mororó-de-serra	1	P5	-
	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Boing.) Steud	Mororó-verdadeiro	2	P2; P5	HCDAL 14039
	<i>Dalbergia cearensis</i> Ducke	Violete-verdadeiro	1	P5	EAC 38302
	<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell) Britton	Violete-de-anel	5	P3; P5	EAC 55671
	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Pau-ferro (Jucá)	1	P3	HCDAL 14034

**Tabela 1.** Espécies selecionadas para as determinações fenológicas na Estação Ecológica de Aiuaba–(ESEC-Aiuaba-Ceará) (Conclusão)

Família	Nome Científico	N. p.	N. i.	Transecções	Voucher
	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel var. <i>acutifolium</i>	Violete- coração-de-boi	1	P3	-
	<i>Mimosa teneiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema-preta	5	P3; P5	-
	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema-branca	5	P2	EAC 56037
	<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P.Queiroz	Catingueira	5	P5	EAC 58100
	Fabaceae sp. 1	Canafístula-de- bode	1	P5	-
	Fabaceae sp. 2	Espinheiro	2	P5	-
	Fabaceae sp. 3	Violete-de- serra	1	P3	-
Nyctaginaceae	<i>Guapira laxa</i> (Netto) Furlan.	Pau-piranha	1	P3	EAC 38236
Morfotipo 1	Indeterminada 1	Banha-de- galinha	1	P5	-
Morfotipo 2	Indeterminada 2	Laça-vaqueiro	2	P3	-
Morfotipo 3	Indeterminada 3	Liana	1	P2	-

**Legenda:** N.p.: Nome popular; N.i.: Número de indivíduos; Transecções: P2: Ponto 2, P3: Ponto 3. P5: Ponto 5.

### 3.1 Fenofases Vegetativas

Nos meses de junho a novembro/18, foram observadas espécies com queda de folhas, enquanto que nos meses de julho/18 a maio/19 foram observadas algumas espécies com brotamento de novas folhas. A fenofase folha adulta, esteve presente na maioria dos indivíduos, com exceção das espécies Euphorbiaceae sp. 1, *Jatropha mollissima* e *Distimake macrocalix*, para os meses de junho a outubro/18. Houve uma interrupção da fenofase para os meses de setembro e outubro/18, coincidindo com os meses mais secos, ocorrendo à caducifolia total das espécies. Nos meses de novembro e dezembro/18 foi observado que a fenofase folha adulta volta a aparecer à medida que aumenta a precipitação. A queda foliar ocorreu em 31 espécies (88,57%), e a fenofase brotamento ocorreu em 28 espécies (80,0%) (Tab. 2).

Todas as espécies estudadas apresentaram estratégia fenológica vegetativa decídua. As espécies decíduas que obtiveram o total de cinco (5) indivíduos marcados foram: *Amburana cearenses*, *Annona leptopetala*, *Aspidosperma pyriformis*, *Bauhinia cheilantha*, Caryocaraceae sp. 1, *Cordia leucocephala*, *Croton argyrophylloides*, *Croton blanchetianus*, *Croton* sp., *Erythroxylum caatingae*, *Dalbergia frutescens*, *Jatropha mollissima*, *Manihot*

*carthagenensis* subsp. *glaziovii*, *Mimosa teneiflora*, *Myracrodruon urundeuva*, *Piptadenia stipulacea*, *Poincianella bracteosa*, sendo as mais abundantes do estudo (Tab. 2).

Para espécies decíduas da Savana Estépica (Caatinga), as fenofases vegetativas, em relação a sua atividade, foram desencadeadas pela precipitação, onde a fenofase folha adulta, teve correlação positiva com o mês de ocorrência do evento e o mês anterior a ocorrência. Para a temperatura, a fenofase brotamento de folha foi correlacionada negativamente para o mês do evento, indicando que essa variável não desencadeou essa fenofase.

**Tabela 2.** Época de ocorrência e frequência das fenofases das espécies da área de Savana Estépica (Caatinga) na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará) (Continuação)

Família/Espécie	Meses de Ocorrência							Frequência		
	N	BF	FA	QF	FL	FR	CV	SD	FL	FR
<b>Anacardiaceae</b>										
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	5	11-12	6,11-12(1-5)	6	-	9-10	DEC	Ane	Anual	Anual
<b>Annonaceae</b>										
<i>Annona leptopetala</i> (R.E.Fr.) H.Rainer	5	12	6-8,11-12(1-5)	-	-	-	DEC	Zoo	-	-
<b>Apocynaceae</b>										
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	5	9,12-1	6-8,11-1(2-5)	6-8,10,4-5	-	-	DEC	Ane	-	-
<b>Bignoniaceae</b>										
<i>Fridericia parviflora</i> (Mart. ex. D.C) L.G. Lohmann	2	12	6-7,(12-5)	6-7	12 (12)	-	DEC	Ane	Anual	Anual
<b>Boraginaceae</b>										
<i>Cordia leucocephala</i> Moric	5	12	6-7,12(1-5)	6-8	5	-	DEC	Ane	Anual	Anual
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. Ex Steud.	3	-	6,12(1-5)	6-8	-	-	DEC	Ane	-	-
<b>Cactaceae</b>										
<i>Cereus jamacaru</i> DC.	5	-	-	-	11-12 (12)	-	DEC	Zoo	Anual	Anual
<b>Caryocaraceae</b>										
Caryocaraceae sp. 1	5	11	6-7,11-12(1-5)	6,8,3	12	-	DEC	-	Anual	Anual
<b>Convolvulaceae</b>										
<i>Distimake macrocalix</i> (Ruiz & Pav.) A.R Simões & Stapes	2	12-3	6-8,12-5(1-5)	6-8,4-5	-	-	DEC	-	-	-
<b>Erythroxylaceae</b>										
<i>Erythroxylum caatingae</i> Plowman	5	-	6-9,12(1-5)	6-9	1	6,12 (6,1-5)	DEC	Zoo	Sub-anual	Sub-anual
<b>Euphorbiaceae</b>										
<i>Croton argyrophylloides</i> Müll. Arg.	5	-	6-8,12-5(1-5)	6-8	-	-	DEC	Aut	-	-
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	5	12	6,10,12-5(1-5)	6,11	1	(2)	DEC	Aut	Anual	Anual
<i>Croton</i> sp.	5	9,12	6-8,12-5(1-5)	6-8,10	12	-	DEC	-	Anual	Anual
Euphorbiaceae sp. 1	1	12	12-2(1-2)	2	-	-	DEC	-	-	-
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	3	11-1,3-5	11-5(1-5)	-	9-12-1 (12)	1-3	DEC	Aut	Anual	Anual

**Tabela 2.** Época de ocorrência e frequência das fenofases das espécies da área de Savana Estépica (Caatinga) na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará) (Continuação)

Família/Espécie	N	Meses de ocorrência					Frequência			
		BF	FA	QF	FL	FR	CV	SD	FL	FR
<i>Manihot carthagenensis</i> subsp. <i>glaziovii</i> (Müll.Arg.) Allem	5	12-3	6,12-2(1-2)	6, 3-5	1	1-3(2)	DEC	Aut	Anual	Anual
<b>Fabaceae</b>										
<i>Amburana cearenses</i> (Allemão) A.C. Sm.	5	11-12	6,11-12-4(1-4)	6-7	-	-	DEC	Ane	-	-
<i>Anadenanthera</i> sp.	1	12	6-8,12-5(1-5)	7-9	-	-	DEC	Aut	-	-
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Vell.) Brenan.	2	12	6-8,12-5(1-5)	7-8	-	-	DEC	Aut	-	-
<i>Bauhinia</i> sp.	1	7	6-7,12-5(1-5)	-	-	-	DEC	Aut	-	-
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Boing.) Steud	5	11-12	6-8,12-5(1-5)	6-8	1	-	DEC	Aut	Anual	Anual
<i>Dalbergia cearensis</i> Ducke.	1	-	6-7,12-5(1-5)	6-7	-	-	DEC	Ane	-	-
<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell) Britton	5	12	6-8,12-5(1-5)	6-8	-	-	DEC	-	-	-
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. Ex Tul) L.P. Queiroz	1	9-10,12	6-8,12-5(1-5)	7-8,10	-	-	DEC	Aut	-	-
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel var. <i>acutifolium</i>	1	12-1	6-8,11-5(1-5)	7-8	-	-	DEC	Ane	-	-
<i>Mimosa teneiflora</i> (Willd.) Poir	5	10-12	6-8,11-5(1-5)	6-8	12	-	DEC	Aut	Anual	Anual
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	5	11	6-8,11-12 (1-5)	6-8	12,3-4	5	DEC	Aut	Anual	Anual
<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P. Queiroz	5	11-12	6-8,11-5(1-5)	6-8	(12), 3	3	DEC	Aut	Anual	Anual
Fabaceae sp. 1	1	12	6,12-5(1-5)	6-7	-	-	DEC	-	-	-
Fabaceae sp. 2	2	-	6-8,12-5(1-5)	6-8	-	-	DEC	-	-	-
Fabaceae sp. 3	1	11-12	6-8,11-12	7-8	-	-	DEC	-	-	-

**Tabela 2.** Época de ocorrência e frequência das fenofases das espécies da área de Savana Estépica (Caatinga) na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará) (Conclusão)

Família/Espécie	Meses de ocorrência							Frequência		
	N	BF	FA	QF	FL	FR	CV	SD	FL	FR
<b>Nyctaginaceae</b>										
<i>Guapira laxa</i> (Netto) Furlan.	1	12-1	6-7,12-5(2-5)	7	-	-	DEC	Zoo	-	-
<b>Morfotipo 1</b>										
Indeterminada 1	1	-	6-7,12-5(1-5)	7	-	-	DEC	-	-	-
<b>Morfotipo 2</b>										
Indeterminada 2	1	12-4	6-8,12-5(1-5)	7-8,4-5	-	-	DEC	-	-	-
<b>Morfotipo 3</b>										
Indeterminada 3	1	1	12-2(1-2)	1-2	-	-	DEC	-	-	-

**Legenda:** N = número de indivíduos; FA= folha adulta; BF= brotamento foliar; QF= queda foliar; FL= floração; FR= frutificação; Meses de ocorrência das fenofases (6-5, correspondem aos meses de junho/18 a maio/19); CV = classificação vegetativa (DEC = decídua); SD = síndromes de dispersão (ane = anemocórica, aut = autocórica, zoo = zoocórica, (-)= síndrome não determinada); Frequência dos ciclos de floração e frutificação ((-) = espécies não classificadas porque apresentaram o evento uma ou nenhuma vez durante o período de observação). Para folha adulta os meses entre parênteses referem-se ao pico de intensidade de folhas adultas, para floração e frutificação referem-se ao período de botão floral, de antese e fruto maduro e para a queda foliar indica o pico de intensidade de queda da população. O hífen (-) representa continuidade entre os meses ou ausência do evento, enquanto a vírgula (,) significa interrupção.

Para o fotoperíodo, a fenofase folha adulta teve correlação positiva para o mês anterior do evento, indicando que a exposição à luz desencadeou o surgimento de novas folhas, enquanto que a fenofase queda da folha apresentou correlação negativa para o mês do estudo e mês anterior, excluindo essa variável como fator desencadeador dessa fenofase (Tab. 3).

**Tabela 3.** Correlação de Spearman (rs) entre os fatores abióticos e as fenofases vegetativas das espécies no período de estudo de junho/18 a maio/19 na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará)

Fenofases		P0	P1	T0	T1	F0	F1
Índice de Atividade	Folha adulta	0.77*	0.82*	-0.12	0.26	0.48	0.74*
	Brotamento de folha	-0.31	-0.28	-0.57*	-0.14	-0.13	-0.32
	Queda de folha	-0.65*	-0.17	-0.37	-0.55	-0.90*	-0.80*
Índice de Intensidade	Folha adulta	0.68*	0.86*	-0.40	-0.20	0.21	0.60*
	Brotamento de folha	0.39	0.18	-0.03	0.66*	0.72*	0.53
	Queda de folha	-0.75*	-0.35	-0.20	-0.46	-0.82*	0.85*

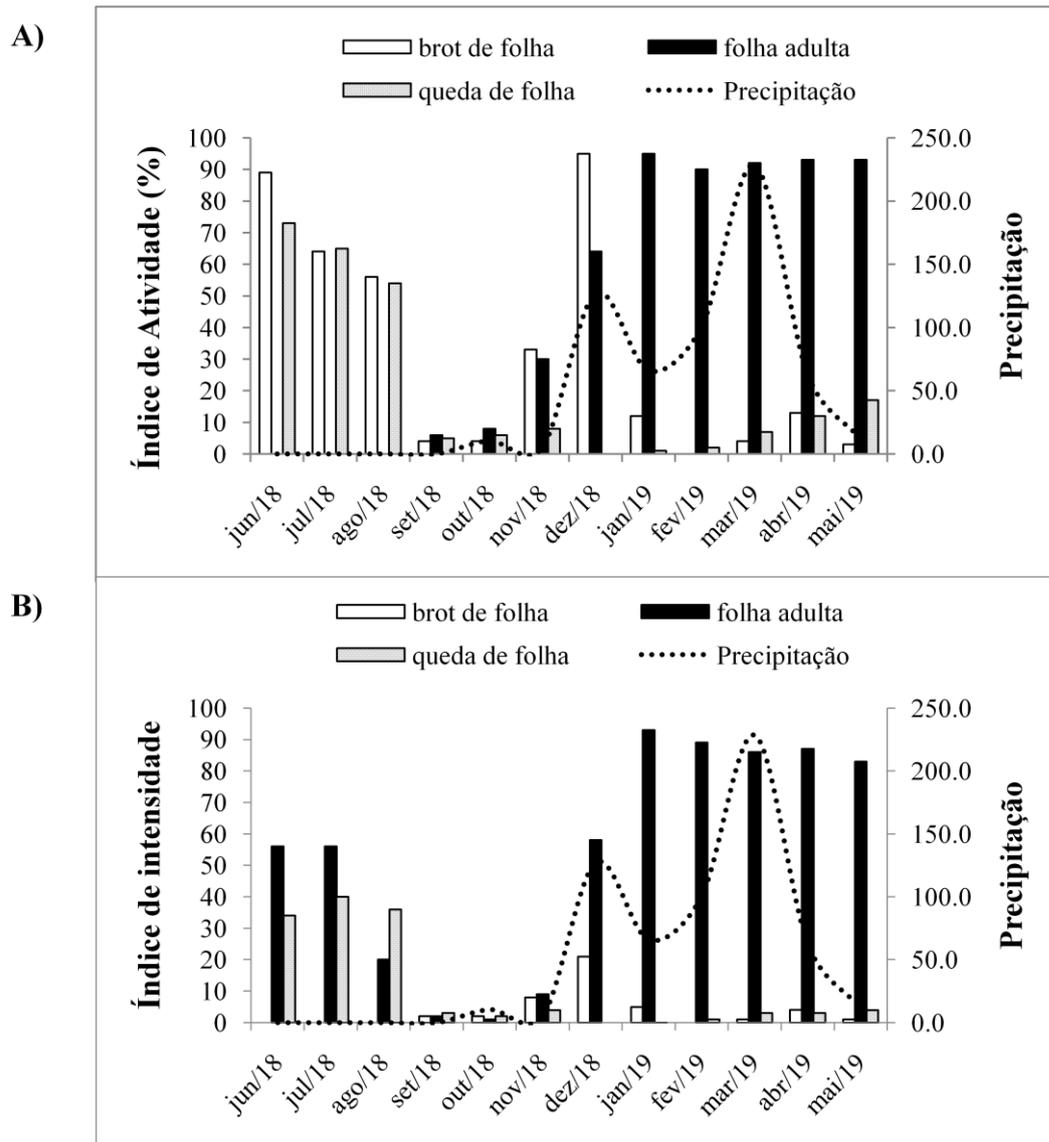
**Legenda:** P = Precipitação; T = Temperatura; F = Fotoperíodo; 0 = mês de ocorrência do evento fenológico e 1 = mês anterior à ocorrência do evento fenológico. \*Resultados significativos ( $p \leq 0.05$ ).

Em relação à intensidade das fenofases vegetativas, a precipitação desencadeou a fenofase folha adulta para o mês do evento, e o mês anterior de ocorrência do evento. Enquanto que a fenofase queda de folha apresentou correlação negativa para precipitação do mês de ocorrência do evento, mostrando que essa variável não desencadeou essa fenofase. Para a variável temperatura, o brotamento de folha teve correlação positiva para o mês anterior de ocorrência do evento, indicando que o aumento desse fator contribuiu para desencadear essa fenofase.

Para o fotoperíodo, as fenofases folha adulta e brotamento de folha tiveram correlação positiva para o mês anterior e para o mês do evento, respectivamente. E correlação negativa para a fenofase queda de folha para o mês de ocorrência, e correlação positiva para o mês anterior do evento, o que exclui o fotoperíodo como fator desencadeador dessas fenofases.

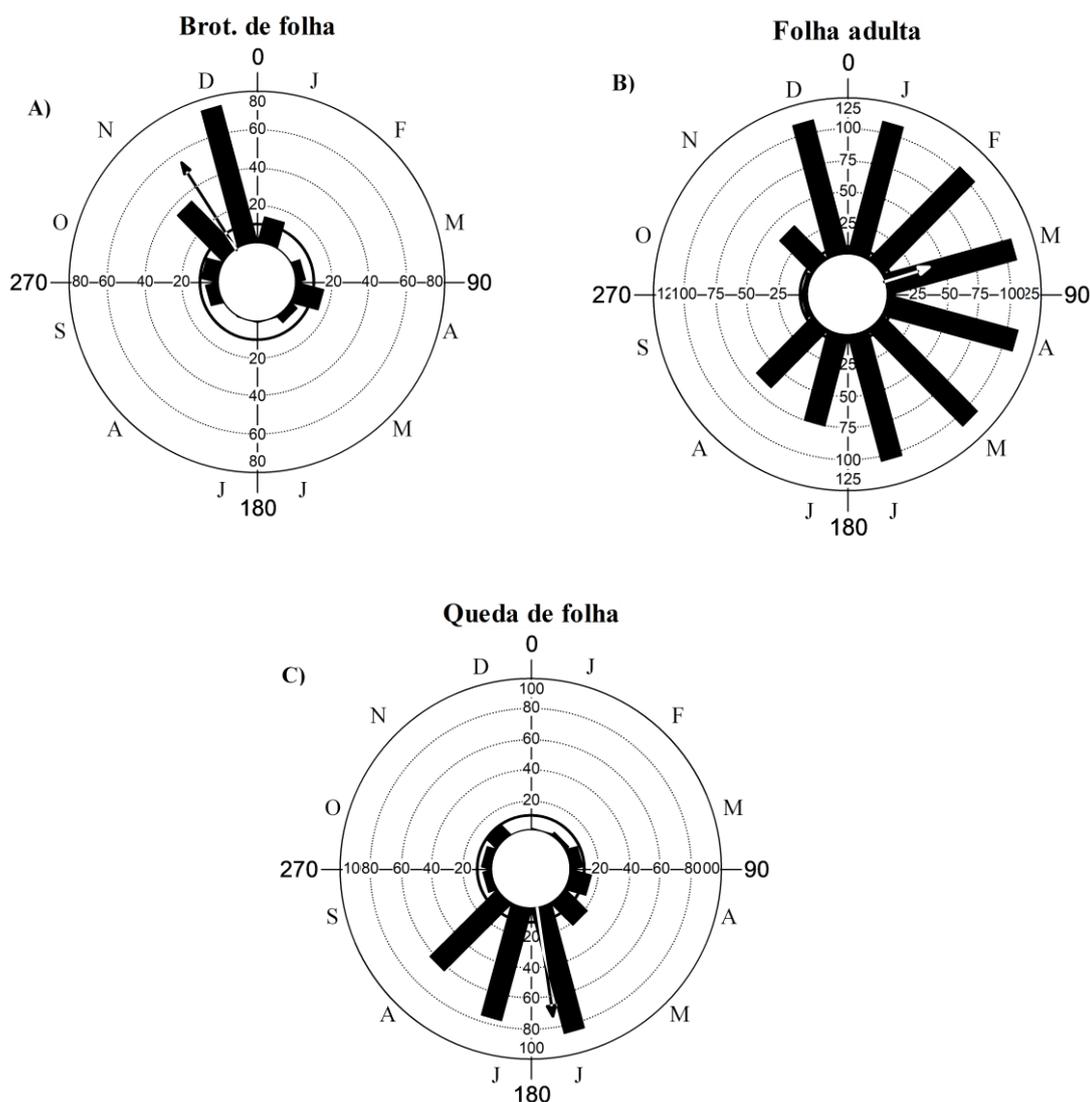
De acordo com o início, duração, sincronia e intensidade das fenofases vegetativas, observou-se que os eventos se manifestaram segundo as variações de chuva (Fig. 2A-B). A queda foliar foi mais expressiva nos meses de junho a agosto/18, a medida que diminuía a precipitação, e nos meses de setembro e outubro/18, em consequência a caducidade foliar total das espécies.

No mês de dezembro/18, a fenofase brotamento de folha foi contínua e com alta sincronia, com 64% dos indivíduos rebrotando, entre os meses de maior e menor precipitação dezembro/18 até maio/19, respectivamente, 95% dos indivíduos apresentaram a fenofase folha adulta, mostrando que o evento foi contínuo e com alta sincronia dos indivíduos, e durante alguns dias entre setembro e novembro/18, a maioria estava sem folhas ou estavam em fase final de senescência (Fig. 2A).



**Figura 2.** A) Índice de atividade e B) Índice de Intensidade de Fournier, das fenofases vegetativas, e precipitação mensal do período de estudo na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará).

Todas as fenofases vegetativas apresentaram sazonalidade (Rayleigh Z,  $p < 0.01$ ), a queda de folha foi a fenofase que apresentou a maior sazonalidade e uma média duração em comparação com a fenofase folha adulta, que ocorreu de forma mais distribuída durante o ano, e com isso obteve uma maior duração, a fenofase brotamento de folha, teve uma ênfase maior em decorrência da chuva no final do período seco, em novembro (Fig. 3A-C).



**Figura 3.** Histograma circular de frequência relativa mensal indicando a data média (2018-2019). A) Brotamento de folha B) Folha adulta C) Queda de folha.

**Legenda:** Brotamento de folha ( $r = 0.68$   $dp = 50.01^\circ$ ), Folha adulta ( $r = 0.30$ ,  $dp = 88.28^\circ$ ) e Queda de folha ( $r = 0.72$ ,  $dp = 46.28^\circ$ ), onde  $r$  = comprimento do vetor médio e  $dp$  = desvio padrão circular.

No período de novembro e dezembro com um aumento considerável da umidade e o início da quadra chuvosa, verificou-se ainda, que o vetor médio da fenofase brotamento de folha se encontra justamente nesse quadrante. Tal fato favorece a fotossíntese, pois na maioria das espécies, as folhas jovens apresentam textura membranácea, proporcionando um menor custo para a planta, além de mais estômatos, auxiliando assim na funcionalidade e dinâmica das plantas, o que está relacionado ao fator idade das folhas, considerando o que afirmam Taiz e Zeiger (2017), segundo os quais as folhas jovens apresentam maiores taxas fotossintéticas, maior condutância estomática, e ainda uma maior transpiração. Já as folhas maduras e senescentes apresentam valores baixos para tais parâmetros, uma vez que, começam a apresentar degradação de clorofila e remobilização de nutrientes para outras partes da planta.

De acordo com os histogramas, as fenofases vegetativas são sucessionais, e responderam ao aumento da umidade, indicando que em diferentes momentos, as plantas precisam estar fotossinteticamente ativas, que de acordo com Lima *et al* (2018), esse fato é importante, pois ajuda a entender os reguladores da dinâmica da vegetação, que são simultaneamente associadas aos pulsos e interpulsos de chuva, em ambiente savânicos.

As fenofases brotamento de folha e folha adulta apresentaram atividade no final do período chuvoso, o que indica que há garantia da manutenção das folhas enquanto a umidade e as chuvas favorecem os processos fotossintetizantes.

Nos meses de julho a setembro, verifica-se a relação entre a ausência de brotos e o início do aumento da senescência das folhas, a planta começa a diminuir o gasto energético com formação de novas folhas para utilizar essa energia para a manutenção do indivíduo durante a escassez hídrica.

Ressalta-se que no período de maior estiagem ocorre um aumento na queda das folhas, evidenciando-se uma relação entre os dois eventos. Por volta de outubro, a senescência total das folhas acontece quando os interpulsos de chuvas se intensificam a medida que avança a estação seca, caracterizando a caducifolia da maioria das espécies, dando início ao surgimento dos primeiros brotos. Ressaltando ainda as espécies com perda tardia de folhas, que embora sejam minoria, compõem essa vegetação.

Lima e Rodal (2010) apontam em seus estudos que plantas com baixa densidade perdem as folhas antes que as espécies com alta densidade de madeira. Fato que explica a disponibilidade de recursos, onde espécies que apresentam um rápido crescimento

possuem folhas com tempo curto de vida, necessitando assim de altas concentrações de nutrientes e maior taxa de respiração, (Whight *et al.* 2004; Donovan *et al.* 2011), caracterizando uma tendência ao uso aquisitivo de recursos. Isso é confirmado pela classificação fenológica das espécies, que nesse estudo, segundo Pirani *et al.* (2009) e Oliveira *et al.* (2015) as categorizam como espécies decíduas.

A produção de nova folhagem um pouco antes da estação chuvosa pode auxiliar ganhos de compostos provenientes da fotossíntese para árvores em florestas secas com estação favorável ao crescimento de curta duração, como sugerido por alguns autores para a região semiárida nordestina do Brasil, Lima *et al.* (2018) na Paraíba; Menezes *et al.* (2017) em Pernambuco e Nogueira *et al.* (2013) no Ceará.

Esse padrão na produção de novas folhas no final da estação seca e no início das chuvas foi também observado em alguns estudos realizados em florestas tropicais secas sob estacionalidade climática, em outros lugares do mundo, como nos estudos de Bullock e Solís-Magallanes (1990), no México; Elliot *et al.* (2006) na Tailândia e Yadav e Yadav (2008) na Índia.

Assim como foi mostrado no estudo às respostas das plantas relacionadas à disponibilidade de água podem envolver distintos níveis de avaliação, como a estrutura (relação com as características hidráulicas do caule, às características das folhas e raízes), a fisiologia (relacionado às estratégias de uso da água e trocas gasosas) e a fenologia (relacionado à periodicidade sazonal da atividade do meristema), assim como afirma Holbrook (1995), e dentre elas, mostrou a referência entre a deciduidade e as respostas fenológicas associadas.

### 3.2 Fenofases Reprodutivas

Espécies que foram observadas com a fenofase floração, foram observadas de setembro/18 a maio/19, em relação, as espécies frutificando, que foram observadas nos meses de junho/18, setembro a outubro/18 e dezembro/18 a maio/19. A floração ocorreu em períodos curtos (um a dois meses) para 11 espécies (31,42%) e foi média (dois a cinco meses) para duas espécies (5,71%) (Tab.2).

A frutificação durou de um a dois meses para quatro espécies (11,42%), de três meses para duas espécies (5,71%), de seis meses com interrupção, apenas para uma (2,85%). A fenofase de floração não foi observada em 21 espécies (60%), e em 27 espécies (77,14%) não foi observada a fenofase de frutificação (Tab. 2).

As síndromes de dispersão observadas foram autocoria (doze espécies), anemocoria (sete espécies), e zoocoria (quatro espécies) (Tab. 2). Para Jordano & Godoy (2002) a dispersão de sementes se associa ao ciclo reprodutivo das plantas e pode ter importantes consequências tanto para a demografia quanto para a estrutura genética das populações.

A dispersão por autocória parece ser uma estratégia vantajosa para o sucesso reprodutivo das espécies estudadas (34,28%), assim como para muitas outras espécies ocorrentes na Caatinga, como no estudo de Barbosa *et al.* (2006) numa revisão sobre a fenologia de espécies lenhosas da Savana Estépica (Caatinga) verificaram que 47% das espécies tiveram os diásporos dispersados por autocoria.

As espécies *B. cheilantha*, Caryocaraceae sp. 1, *C. jamacaru*, *C. leucocephala*, *Croton* sp., Euphorbiaceae sp. 1, *F. parviflora*, *J. mollissima*, *M. carthagenensis* subsp. *Glaziovii*, *M. teneiflora*, *M. urundeuva*, *P. stipulacea*, *P. bracteosa*, classificadas com frequência anual, de acordo com as observações realizadas, uma vez que apresentou um evento (floração e/ou frutificação) uma vez por ano, e somente a espécie *E. caatingae* com frequência sub-anual, sendo observado mais de um evento por ano (Tab. 2).

A correlação em relação à atividade das fenofases reprodutivas mostra que a fenofase flor aberta foi desencadeada pela precipitação, apresentando correlação positiva tanto para o mês de estudo, quanto para o mês anterior do estudo. E ainda correlação positiva para a fotoperíodo em relação ao mês anterior do estudo (Tab. 4).

Resultados semelhantes foram obtidos em outros estudos, mostrando espécies que floresceram durante o período seco, também apresentaram uma correlação positiva e significativa com o fotoperíodo, assim, como foi sugerido por Holbrook *et al.* (1995);

Rivera e Borchert (2001) e Borchert *et al.* (2002; 2004) com árvores em florestas tropicais secas.

**Tabela 4.** Correlação de Spearman (rs) entre os fatores abióticos e as fenofases reprodutivas das espécies no período de estudo de junho/18 a maio/19 na Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba)

	Fenofases	P0	P1	T0	T1	F0	F1
Índice de Atividade	Flor botão	0.43	0.28	-0.25	-0.02	0.43	0.44
	Flor aberta	0.71*	0.65*	-0.44	0.38	0.52	0.63*
	Fruto imaturo	0.36	0.38	-0.28	-0.34	0.25	0.43
	Fruto maduro	0.18	0.20	0.20	-0.34	-0.06	0.19
Índice de Intensidade	Flor botão	0.43	0.28	-0.25	0.02	0.43	0.44
	Flor aberta	0.67*	0.10	-0.47	0.34	0.40	0.58*
	Fruto imaturo	0.10	0.10	-0.16	-0.58	-0.007	0.08
	Fruto maduro	0.16	0.09	-0.30	0.05	-0.04	0.17

**Legenda:** P = Precipitação; T = Temperatura; F = Fotoperíodo; 0 = mês de ocorrência do evento fenológico e 1 = mês anterior à ocorrência do evento fenológico. \*Resultados significativos ( $p \leq 0.05$ ).

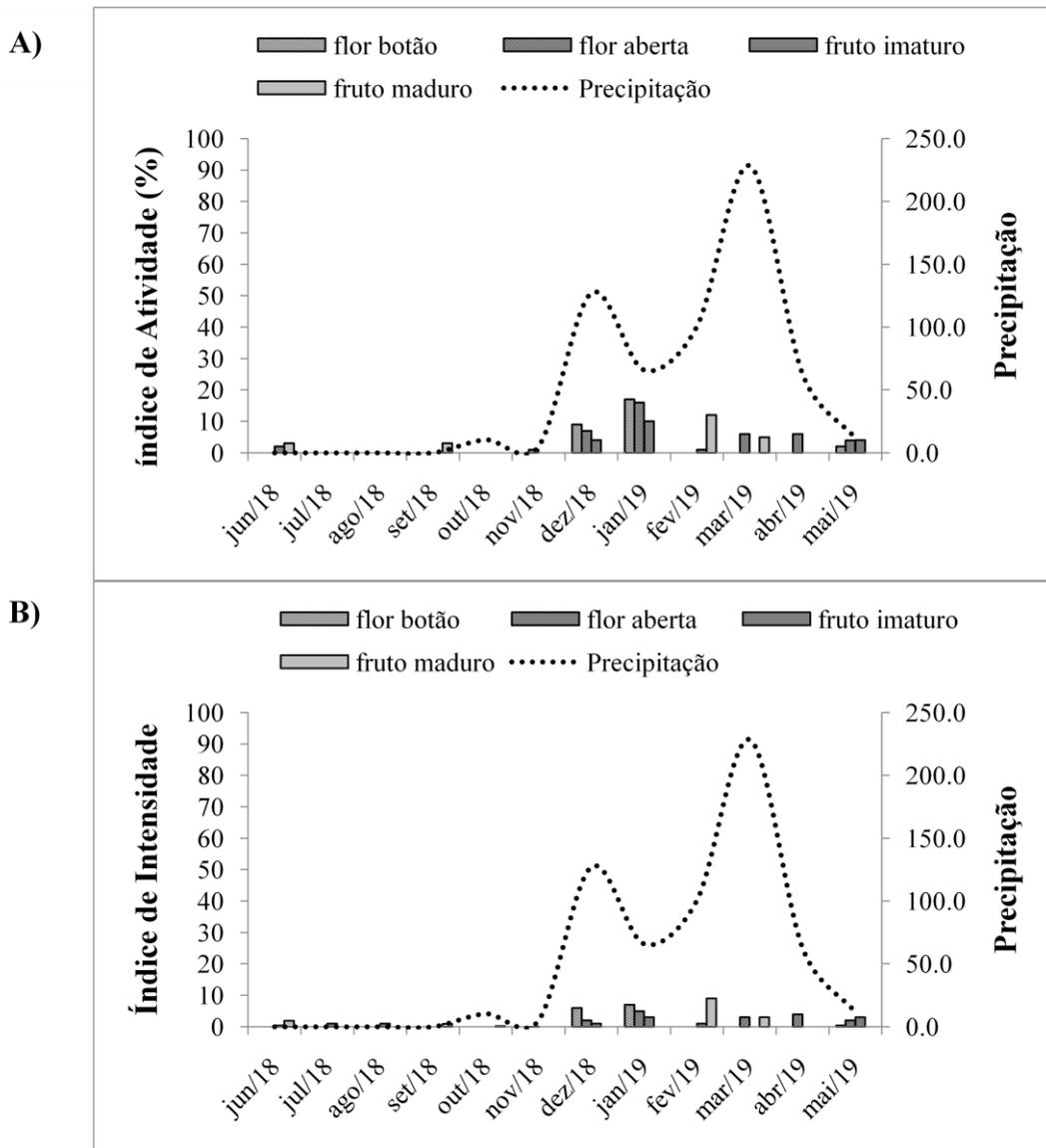
Para a intensidade das fenofases reprodutivas, a correlação foi positiva tanto para a precipitação em relação ao mês do estudo da fenofase flor aberta, quanto para o fotoperíodo no mês anterior ao estudo da mesma fenofase. Para a variável temperatura, a fenofase fruto imaturo, mostrou correlação negativa para o mês anterior do estudo. A expressão do início das fenofases reprodutivas, também se manifestou conforme as alterações de chuva, porém de maneira mais tímida.

Nos meses de maior precipitação dezembro/18 a março/19, verificou-se o início da fenofase floração, com botões e flores abertas, por outro lado houve baixa sincronia entre os indivíduos e baixos índices de intensidade (Fig. 4A-B).

A floração (botão e flor aberta) foi curta (Rayleigh Z,  $p < 0.01$ ), com duração de três meses para a fase botão, apresentando uma alta sazonalidade, porém a ocorrência de flores abertas foi mais distribuída ao longo do período chuvoso, apresentando as maiores intensidades na floração (Fig. 5A-B).

Os pulsos de precipitação funcionam como indutores de atividades fisiológicas na vegetação da Savana Estépica (Caatinga) e são responsáveis pelo surgimento do crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, pulsos curtos provocam um breve aborto dos botões florais, flores e frutos na expressão inicial da fase.

As fenofases de floração (botão e flor aberta) ocorrem simultaneamente, mas sequencialmente. A floração (botão) obedeceu ao mesmo critério de início da umidade.

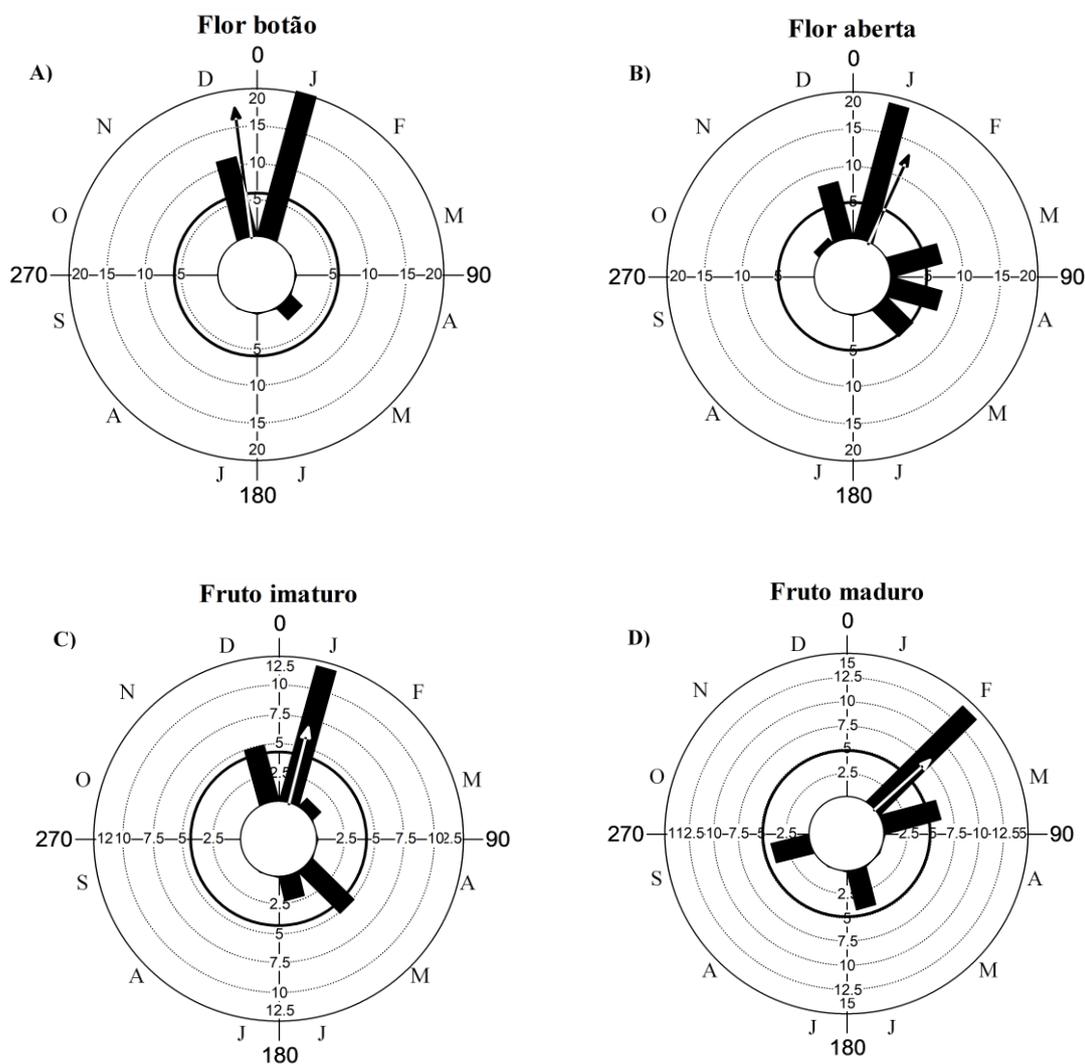


**Figura 4.** A) Índice de atividade e B) Índice de Intensidade de Fournier, das fenofases reprodutivas, e precipitação mensal do período de estudo na Estação Ecológica de Aiuaba – (ESEC- Aiuaba-Ceará).

Destaca-se o vetor médio, que aproximou a média para o período que antecede o pulso de chuva. Porém, o valor mais expressivo ocorre após o início das primeiras chuvas. Em menor destaque, a floração tardia ao final da quadra chuvoso, mas vale destacar que esse mesmo período houve também a formação de novas folhas. O que pode ter sido ocasionado por uma chuva fora de época (Fig. 5 A-B).

A floração (flor aberta) apresenta grande destaque no período de precipitação, que pelo observado teve relação seja pela umidade ou pelo pulso de chuva, corroborando com os autores Pavón e Briones (2001), Borchert *et al.* (2004), Singh e Kushwaha

(2005) de que a frequência da floração é determinada pela regularidade das chuvas.



**Figura 5.** Histograma circular de frequência relativa mensal indicando a data média (2018-2019). A) Flor botão B) Flor aberta C) Fruto imaturo D) Fruto maduro.

**Legenda:** Flor botão ( $r= 0.88$ ,  $dp= 28.71^\circ$ ), Flor aberta ( $r= 0.64$ ,  $dp= 53.28^\circ$ ), Fruto imaturo ( $r= 0.54$ ,  $dp= 63.45^\circ$ ) e Fruto maduro ( $r= 0.52$ ,  $dp= 65.36^\circ$ ), onde  $r=$  comprimento do vetor médio e  $dp=$  desvio padrão circular.

Com isso, no período de junho a outubro não apresentou floração (botão e flor aberta) e coincide com o período em que a maioria das espécies já perdeu suas folhas, e

isso, tornando-se bem significativo, pois, reafirma que nessas vegetações o gasto reprodutivo está associado à manutenção da planta e ocorre em períodos mais favoráveis.

A curta longevidade da floração nas espécies de Savana Estépica (Caatinga) assemelha-se à das principais espécies de plantas neotropicais. Pois, segundo Primack (1992), o tempo de duração floral seria o resultado de um conflito de demanda entre a perda de sua capacidade reprodutiva e o custo fisiológico de sua produzir e manter as flores. Sendo assim, manter flores abertas por um tempo maior provocaria um custo bem maior, do que o benefício para a reprodução.

Para região semiárida do Nordeste do Brasil, os estudos de Amorim *et al.* (2009); Lima e Rodal (2010); Lima *et al.* (2012); Parente *et al.* (2012); Oliveira *et al.* (2015); Japiassú *et al.* (2016) e Sena *et al.* (2016), apresentaram o padrão de floração semelhante ao observado no vigente estudo.

Para o ciclo de frutificação (fruto maduro), assim como o imaturo, segue uma sequência cronológica que é determinada pelas flores imaturas. O surgimento das flores determina as demais fenofases reprodutivas e essa correlação é bastante expressiva. Porém, essa fenofase não foi um evento contínuo, diferente do que foi visto em outros trabalhos em ambientes sazonalmente secos a exemplo de Lampe *et al.* (1992); Machado *et al.* (1997); Justiniano e Fredericksen, (2000); Griz e Machado (2001) e Lima e Rodal (2010), onde a frutificação ocorreu de forma contínua durante o período do estudo.

A frutificação das espécies parece estar relacionada com as síndromes de dispersão, onde a maioria das espécies iniciou a frutificação durante a estação chuvosa e também a maioria apresentando dispersão por autocoria, sugerindo uma estreita relação entre chuvas e frutificação. Griz e Machado (2001) observaram que a estação chuvosa era o fator mais comum na produção de frutos em regiões tropicais, especialmente em florestas tropicais secas.

#### 4 Conclusão

Os padrões de queda de folhas foram fortemente influenciados pela sazonalidade e o brotamento pode ter sido estimulado pela elevação da temperatura que ocorreu na fase de transição entre estações seca e chuvosa. Tal fato mostrou que a maioria das espécies apresenta frequência anual para as fenofases de floração e frutificação, indicando que ocorre um evento por ano.

Analisando a relação entre variáveis abióticas, as fenofases vegetativas foram relacionadas mais fortemente com a precipitação (queda de folhas) e temperatura (brotamento), enquanto que as fenofases reprodutivas foram menos influenciadas por esses fatores.

O fluxo de folhas novas possivelmente aumentou a eficiência fotossintética das plantas, provendo energia necessária para o início de floração e frutificação subsequentes observados em algumas espécies da comunidade. As diferentes fenofases parecem apresentar ritmos sazonais relacionadas à precipitação, de acordo com os resultados.

## Agradecimentos

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP) pela concessão da bolsa de Mestrado, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Financiamento 001; aos curadores do Herbário Caririense Dárdano Andrade- Lima (HCDAL) e Herbário Prisco Bezerra (EAC) pela identificação do material; ao projeto Herbário Virtual da Flora e Fungos do Brasil – INCT (Processo 573.883/2008-4); ao projeto “Conservação da biodiversidade em nível de paisagem: mudanças climáticas e distúrbios antropogênicos” (Chamada CNPq/ICMBio/FAPs nº18/2017), aos pesquisadores Maria Arlene Pessoa da Silva (Bolsista BPI/FUNCAP) e Luciana Silva Cordeiro (Bolsista PNPd/CAPES); e à toda equipe do HCDAL a qual faço parte.

## Referências

- Amorim IL, Sampaio EVSB, Araújo EA. 2009. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga do Seridó, RN. *Revista Árvore*, v.33, n. 3, 491-499.
- Araújo EL, Ferraz EMN. 2003. **Processos ecológicos mantenedores da diversidade vegetal na caatinga: estado atual do conhecimento**. In: Claudino-Sales V. (Ed.) *Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação*. Fortaleza: Expressão Gráfica, p.115-128.
- Ayres M, Ayres Junior M, Ayres DL, Santos AS. **Bioestat 5.0** - Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. ONG Mamiraua, Belém, PA. p.364, 2007.
- Barbosa DCA, Barbosa MCA, Lima LCM. 2006. **Fenologia de espécies lenhosas da caatinga**. In: Leal IR; Tabarelli M; Silva JMC (Eds.). *Ecologia e conservação da caatinga*. Recife: Universitária UFPE, p.657-693.
- Bencke CSC, Morellato LPC. 2002. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Brazilian Journal of Botany**, v.25, n.3, p.269-275.
- Borchert R, Rivera G. 2001. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem succulent trees. **Tree Physiology**, v. 21, p. 213-221.
- Borchert R, Rivera G, Hagnauer W. 2002. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous Forest by abnormal drought and drain. **Biotropica**, v.34, p.27-39.
- Borchert R, Meyer SA, Felgers RS, Porter-Bolland L. 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. **Global Ecology and Biogeography**, v.13, p.409-425.
- Bullock SH, Solis-Magallanes JA. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in México. **Biotropica**, v.22, n.1, p.22-35.
- Chaine I, Beaubien EG. 2001. Phenology is a major determinant of tree species range. **Ecology**, v. 4, p.500-510.
- Donnelly A, Caffarra A, O'Neill B. 2011. A review of climate-driven mismatches between interdependent phenophases in terrestrial and aquatic ecosystems. **International Journal of Biometeorology**, v.55, n. 6, p.805-817.
- Donovan LA, Maherali H, Caruso CM, Huber H, Kroon H. 2011. The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. **Trends in Ecology and Evolution**, v.26, p.88-95.
- Elliot S, Baker PJ, Borchert R. 2006. Leaf flushing during the dry season: the paradox of Asian monsoon forests. **Global Ecology and Biogeography**, v.15, n.3, p.248-257.

Feijó A, Rocha PA. 2017. Morcegos da Estação Ecológica Aiuaba, Ceará, Nordeste do Brasil: Uma unidade de proteção integral na caatinga. **Mastozoología Neotropical**, v.24, n.2, p.333-346.

Fernandes A. 1992. **Biodiversidade do semiárido nordestino**. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS-CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. p.119-124.

Flores LMA. 2018. **Laboratório de fitogeografia**. Mapa da Estação Ecológica de Aiuaba e Zona de entorno. [Aiuaba].

Fournier LA. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v.24, n.4, p.422-423.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2015. **Dados dos postos pluviométricos do Ceará**. Disponível em: <  
<http://www.funceme.br/index.php/areas/23monitoramento/meteorol%C3%B3gico/572-postos-pluviom%C3%A9tricos>. Acesso em: 17. dez. 2018.

Galleti M, Pizo MA, Morellato LPC. 2006. **Fenologia, frugivoria e dispersão de sementes**. In: Cullen Junior L; Rudran R; Valladares-Padua C. Métodos e estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. 2. ed., Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná. p.395-422.

Griz LMS, Machado ICS. 2001. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.17, p.303-321

Hanya G, Chapman CA. 2013. Linking feeding ecology and population abundance: a review of food resource limitation on primates. **Ecological research**, v.28, p.183–190

Heideman, PD. 1989. Temporal and spatial variation in the phenology of flowering and fruiting in a tropical rainforest. **Journal of Tropical Ecology**, v.77, p.1059-1079.

Holbrook, NM. 1995. Stem water storage. In: Gartner BL. (Ed). Plant stems: physiology and functional morphology. San Diego, CA: **Academic Press**, p.151-174.

Holbrook NM, Whitbeck JL, Mooney HA. 1995. **Drought responses of neotropical dry forest trees**. In: Bullock SH; Mooney HA; Medina E (Eds.), Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge University Press, Cambridge, England, p.243-276, 1995.

Hoye TT, Post E Schmidt NM, Trojelsgaard K, Forchhammer MC. 2013 Shorter flowering seasons and declining abundance of flower visitors in a warmer Arctic. **Nature Climate Change**, v.3, p.759–763.

IBAMA. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais da Estação Ecológica de Aiuaba**. Disponível em:  
[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos\\_operativos/10-estacao\\_ecologica\\_de\\_aiuaba-ce.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/10-estacao_ecologica_de_aiuaba-ce.pdf). 2006. Acesso em: 20. nov. 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. 2019. Acesso em: 10. mai. 2019.

IPCC. Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.

Japiassú A, Lopes KP, Dantas JG, Nóbrega JS. 2016. Fenologia de quatro espécies arbóreas da Caatinga no Semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n.4, p. 34-43.

Jordano P, Godoy JA. 2002. **Frugivore-generated seed shadows: a landscape view of demographic and genetic effects**. In: Frugivores and seed dispersal: ecological, evolutionary and conservation. Levey DJ, Silva W & Galetti M. (Eds.). CAB, International Wallingford, p.305-321.

Justiniano JM, Fredericksen TS. 2000. Phenology of tree species in Bolivian dryforests. **Biotropica**, v.32, p.276-281.

Kayano MT, Andreoli R. 2009. **Variabilidade decenal e multidecenal**. In: Cavancanti I, Ferreira N, Silva MGJ, Dias MAFS. (Eds.). Tempo e Clima no Brasil, Oficina de Textos, São Paulo. p.375-383, 2009.

Kovach WL. **Oriana for Windows**, V. 4.02. Wales Kovach Computing Services. 2013.

Lammi J. **Online photoperiod calculator**. 2009. Disponível em: <http://www.nic.fi/wbenefon/sun.php3>. Acesso em: 10. mai. 2019.

Lampe MG, Bergeron Y, Mcneil R, Leduc A. 1992. Seasonal flowering and fruiting patterns in tropical semiarid vegetation of northeastern Venezuela. **Biotropica**, v.24, p.64-76.

Lemos JR, Meguro M. 2010. Florística e fitogeografia da vegetação decidual da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**. v., p.34-43.

Lima ADA, Rodal MJN. 2010. Phenology and wood density of plants growing in the semiarid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.74, p. 1363-1373.

Lima ALA, Sampaio EVDSB, Castro CC, Rodal MJN, Antonino ACD, Melo AL. 2012. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? **Trees**, v.26, p.1605-1616.

Lima CR, Bruno RLA, Andrade AP. et al. 2018. Fenologia de *Poincianella pyramidalis* (tul.) Ip queiroz e sua relação com a distribuição temporal da precipitação pluvial no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, v.28, n.3, p.1035-1048.

Machado ICS, Barros LM, Sampaio EVSB. 1997. Phenology of Caatinga Species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, v.29, n.1, p.57-68.

Machado ICS; Barros LM; Sampaio EVSB. 1997. Phenology of Caatinga at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, v.29, p.57-68.

Marengo JÁ, Alves LM, Beserra EA, Lacerda FF. 2011. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. In: Medeiros SS, Gheyi HR, Galvão CO, Paz VPS (orgs.). Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, p.384-422.

Menezes TGC, Rodal MJN, Lima ALA, Lima LR, Pinto MADSC, Melo AL. 2018. Do seedling functional groups reflect ecological strategies of woody plant species in Caatinga?. **Acta Botanica Brasílica**, v.32, n.1, p.20-27.

Menzel A, Sparks TH, Estrella N. et al. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**, v.12, n.10, p.1969–1976.

Morellato LPC, Alberton B, Alvarado ST. et al. 2016. Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, **Essex**, v.195, p.60-72.

Morellato LPC, Camargo MGC, D’êça-Neves FF, Luize BG, Mantovani A, Hudson IL. 2010. **The influence of sampling method, sample size, and frequency of observations on plant phenological patterns and interpretation in tropical forest trees**. In: Hudson IL; Keatley MR. Phenological Research – Methods for environmental and climate change analysis. 1ª ed. Springer.

Newstrom LE, Frankie GW, Baker HG. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, p.141-159.

Nogueira FCB, Pacheco Filho AJdeS, Gallão MI, Bezerra AME, Medeiros-Filho S. 2013. Fenologia de *Dalbergia cearensis* Ducke (Fabaceae) em um fragmento de floresta estacional, no semiárido do Nordeste, Brasil. **Revista Árvore**, v.37, n.4.

Oliveira CC, Zandavalli RB, Lima ALA, Rodal MJN. 2015. Functional groups of woody species in semiarid regions at low latitudes. **Austral Ecology**, v.40, p.40-49.

Ortoloni AA, Camargo MBP. 1987. Influência dos Fatores Climáticos na Produção. In: Castro PRC. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.

- Pavón NP, Briones O. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semiarid Mexican scrub. **Journal of Arid Environments**, v.49, p.265–277.
- Parente HN, Andrade AP, Silva DSS, Santos EM, Araújo KD, Parente MdeOM. 2012. Influência do pastejo e da precipitação sobre a fenologia de quatro espécies em área de Caatinga. **Revista Árvore**, v.36, n.3, p.411-421.
- Pirani FR, Sanchez M, Pedroni F. 2009. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v.23, n.4, p.1096-1109.
- Primack RB, Hall P. 1992. Biodiversity and forest change in Malaysian Borneo. **Bioscience**, v.42, n.11, p.829-837.
- Rosemartin AH, Crimmins TM, Enquist CAF. et al. 2014. Organizing phenological data resources to inform natural resource conservation. **Biological Conservation**, v.173, p.90–97.
- Rosenzweig C, Karoly D, Vicarelli M. et al. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. **Nature**, v.453, p.353–357.
- Sena JM de, Moura MSB de, Kiill LHP, Alberton BC, Morelato LPC. 2016. Clima e fenologia de espécies em área de Caatinga preservada. In: **Embrapa Semiárido - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO 2017. Juazeiro, BA. A agrometeorologia na solução de problemas multiescala: anais. Petrolina: Embrapa Semiárido; Juazeiro: UNIVASF; Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia.
- Silveira AP, Martins FR, Araújo FS. 2013. Do vegetative and reproductive phenophases of deciduous tropical species respond similarly to rainfall pulses? **Journal of Forestry Research**, v.24, n.4, p.643-651.
- Sing KP, Kushwaha CP. 2005. Emerging paradigms of tree phenology in dry tropics. **Current Science**, v.89, p.964-975.
- Singh KP, Kushwaha CP. 2005. Diversity of flowering and fruiting phenology of trees in a tropical deciduous forest in India. **Annals of Botany**, v.97, n.2, p.265-276.
- Van Der Pijl L. 1982. Principles of dispersal. **Berlin: Springer-Verlag**.
- Wright IJ, Reich PB; Westoby M. et al. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**. v.428, n.6985, p.821.
- Yadav RK, Yadav AS. 2008. Phenology of selected woody species in a tropical dry deciduous forest in Rajasthan, India. **Tropical Ecology**, v.49, n.1, p.25-34.

## MANUSCRITO II

### **VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA RELACIONADA À FENOLOGIA FOLIAR: RESPOSTAS DE DEFESA EM FUNÇÃO DA SAZONALIDADE DE *Myracrodruon urundeuva* Allemão DA SAVANA ESTÉPICA (CAATINGA)**

Esse manuscrito está de acordo com as normas da ABNT 2018.

Variação da composição química relacionada à fenologia foliar: respostas de defesa em função da sazonalidade de *Myracrodruon urundeuva* Allemão da Savana Estépica (Caatinga)

Natália Barbosa Campos<sup>1</sup>; Maria Arlene Pessoa da Silv<sup>1</sup>a; Luciana Silva Cordeiro<sup>1</sup>; Arycelle Alves de Oliveira<sup>1</sup>; Galberto Martins<sup>1</sup>; Francisca Soares<sup>2</sup>; Bruno Menezes<sup>2</sup>; Paulo Ricelli<sup>3</sup>; Edyr Sousa de Brito<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Regional do Cariri – URCA

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará – UFC

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

## RESUMO

A herbivoria trata do consumo de tecidos vegetais vivos. Como proteção a isso, as plantas apresentam diversas estratégias para minimizar os impactos negativos causados por essa prática. Essas estratégias atuam favorecendo a manutenção da biodiversidade, produtividade e estabilidade dos ecossistemas. Neste contexto analisou-se a fenofase folha adulta em relação aos fatores ambientais e a herbivoria de *Myracrodruon urundeuva* Allemão pela observação da estrutura da copa. Diante do exposto com o presente trabalho objetivou-se verificar se há variação na composição química nas folhas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão em relação à sazonalidade, avaliando a fitoquímica como mecanismo de defesa da espécie. Foram monitorados indivíduos quanto ao índice de intensidade fenológica e cobertura de copa. Foi extraído, a partir de hidrodestilação, óleo essencial a partir de 0, 198 g (período seco), e 0, 200 g (período chuvoso) das folhas secas de *M. urundeuva*. Os principais compostos identificados foram terpenóides (monoterpenos e sesquiterpenos). A composição química variou nos dois períodos analisados. Os compostos  $\alpha$ -Pineno, Limoneno, Eucaliptol, foram encontrados em ambos os períodos (seco e chuvoso). O composto Biciclo[7.2.0]undec-4-ene, 4, 11, 11-trimetil-, foi encontrado somente no óleo do período seco. Os compostos 3-Careno, Ciclohexano, 1 metil-4-(1-metiletilideno), (Cariofileno), 1H-Cicloprop[e]azulene, decahidro-1, 1, 7-trin, Naftaleno, decahidro-4a-metil-1-metileno), 1H- Cicloprop[e]azulene, 1a, 2, 3,5, 6, 7, 7a, 7b-o, foram encontrados no óleo extraído das folhas de *M. urundeuva* coletadas no período chuvoso, somando a maioria dos compostos. O composto majoritário para a amostra coletada no período seco foi  $\alpha$ -Pineno, para a amostra do período chuvoso foi o composto 3-Careno. Os rendimentos dos óleos das folhas de *M. urundeuva* variaram entre e em diferentes períodos sazonais, com níveis elevados associados a baixos índices pluviométricos. Com base nas variações, pode-se verificar uma relação entre a sazonalidade e o conteúdo químico nas folhas da planta durante seu ciclo fenológico, isso, devido às condições naturais que sempre oscila, os controles fisiológicos e físico-químicos podem exercer uma grande influência sobre as emissões voláteis das plantas.

Palavras-chave: Predação; Fitoquímica; Monoterpenos; Sesquiterpenos.

## ABSTRACT

Herbivory deals with the consumption of living plant tissues. To protect against this, plants present several strategies to minimize the negative impacts caused by this practice. These strategies work to maintain biodiversity, productivity and stability of ecosystems. In this context we analyzed the adult leaf phenophase in relation to environmental factors and the herbivory of *Myracrodruon urundeuva* Allmanha by observing the crown structure. Given the above with the present work it was aimed to verify if there is variation in the chemical composition in the leaves of *Myracrodruon urundeuva* Allmanha in relation to seasonality, evaluating the phytochemistry as a defense mechanism of the species. Individuals were monitored for phenological intensity index and crown coverage. From hydrodistillation, essential oil was extracted from 0.198 g (dry season) and 0.200 g (rainy season) from the dried leaves of *M. urundeuva*. The main compounds identified were terpenoids (monoterpenes and sesquiterpenes). The chemical composition varied in both periods analyzed. The compounds  $\alpha$ -Pineno, Limonene, Eucaliptol were found in both periods (dry and rainy). The compound Bicyclo [7.2.0] undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl- was found only in the dry period oil. Compounds 3-Carene, Cyclohexane, 1-methyl 1-4-1 (1-methylethylidene), (Caryophyllene), 1H-Cycloprop [e] azulene, decahydro-1,1,7-trin, Naphthalene, decahydro-4 $\alpha$ -methyl- 1-methylene), 1H-Cycloprop [e] azulene, 1a, 2, 3,5, 6, 7, 7a, 7b-o were found in the oil extracted from the leaves of *M. urundeuva* collected in the rainy season, accounting for the majority. of the compounds. The major compound for the sample collected in the dry period was  $\alpha$ -Pineno, for the rainy period sample was the compound 3-Careno. The yields of *M. urundeuva* leaf oils varied between and in different seasonal periods, with high levels associated with low rainfall. Based on the variations, a relationship between seasonality and chemical content in the leaves of the plant can be verified during its phenological cycle. This, due to the natural conditions that always oscillates, the physiological and physicochemical controls can exert a great influence on volatile plant emissions.

**Keywords:** Predation; Phytochemistry; Monoterpenes; Sesquiterpenes

## 1 Introdução

Devido a influencia evolutiva, assim como na composição das espécies vegetais, a herbivoria tem sido estudada por ser uma interação que apresenta uma relação antagônica entre planta e animal, que pode causar impactos no *fitness* (sobrevivência, crescimento, habilidade competitiva e reprodução) das plantas (RIBEIRO; WILSON, 2000; MCCALL, 2008; KOZLOV et al., 2015; KOZLOV et al., 2015; KOZLOV; ZVEREVA, 2017).

As plantas apresentam diversas estratégias para minimizar os potenciais impactos negativos causados pela alimentação de herbívoros (BARROS; FERNANDES, 2013). Uma vez que, a herbivoria trata do consumo dos tecidos vegetais vivos (HUNTLY, 1991; COLEY; BARONE, 1996), e atua como resposta à pressão exercida por conta deste processo fundamental na manutenção da biodiversidade, produtividade e estabilidade dos ecossistemas.

Por conta desses prejuízos, as plantas acabaram desenvolvendo importantes estratégias de defesa, de forma direta, onde os herbívoros são afetados diretamente pelas plantas, envolvendo a sua defesa física e estrutural (BI; MURPHY; FELTON, 1997; BALDWIN et al., 2001). E de forma indireta, através da defesa química da produção dos metabólitos secundários voláteis, que são capazes de atrair inimigos naturais, como predadores e parasitóides (DICKE; HILKER, 2003; COURTOIS et al., 2009).

Os metabólitos secundários nas plantas podem variar em função de diversas condições ambientais, inerentes ao ambiente e podem apresentar variação qualitativa e quantitativa sendo responsáveis por importantes atividades biológicas (ÇIRAK et al., 2007; CRISTIANS et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2014; OUERGHEMMI et al., 2016). A exemplo da defesa contra herbívoros o que pode variar nas plantas (DIRZO; BOEGE, 2008; AOYAMA; LABINAS, 2012; FÜRSTENBERG-HÄGG; ZAGROBELNY; BAK, 2013).

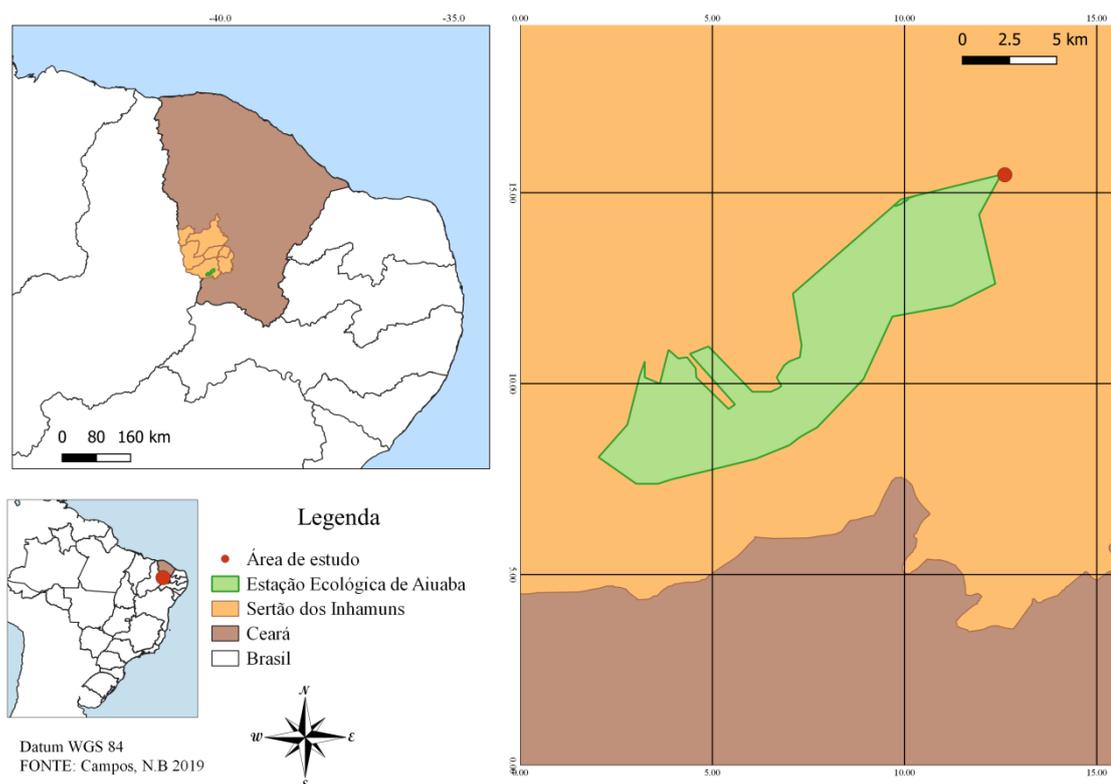
Desta forma, vários estudos têm elucidado a importância da variabilidade química entre espécies vegetais distintos, tornando possível comparar variações nos componentes químicos ativos em diferentes períodos e também propor padronizações (SOUSA et al., 2014; YAO et al., 2016).

Diante do exposto com este estudo objetivou-se verificar se há variação na composição química nas folhas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão em relação a sazonalidade e o mecanismo químico da espécie.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A área de coleta está localizada na Sede da Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba), no município de Aiuaba, estado do Ceará, na região Tropical Semiárida do Nordeste Brasileiro (Figura 1), está situada a 466 m acima do nível do mar. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima local é BSh (semiárido quente com chuvas de verão e inverno seco), possui duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa, com curtos períodos de chuva na estação chuvosa, chuvas erráticas na seca e uma ocorrência imprevisível de anos secos.



**Figura 1.** Localização da Sede da Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-Aiuaba-Ceará)

**Fonte:** Campos, N.B. (2019).

## 2.2 Descrição da espécie

*Myracrodruon urundeuva* Allemão, pertencente a família Anacardiaceae, conhecida como Aroeira do Sertão, uma espécie de árvore decídua, características de terrenos secos e rochosos. Possui uma ampla distribuição no Brasil, ocorre nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Sergipe, Tocantins e sul dos Estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, e inclui territórios na América do Sul na Argentina, Paraguai e Bolívia (FLORA DO BRASIL 2020, em construção). No estado do Ceará é encontrada com muita frequência, em vários municípios sertanejos. Possui uma amplitude ecológica grande, ocorrendo tanto em formações savânicas (Caatinga e Cerrado) como em formações florestais pluviais (Mata Atlântica) (MAIA, 2012).

## 2.3 Coleta dos Dados

### 2.3.1 Fenologia foliar e Herbivoria

Foram determinados e marcados 10 indivíduos de forma aleatória, pertencente à família Anacardiaceae, para posterior acompanhamento da fenofase foliar (folha adulta) e da herbivoria. As determinações fenológicas foram realizadas visualmente, com periodicidade mensal, de junho de 2018 a maio de 2019, totalizando doze observações.

As informações que compuseram a ficha de observação foram: fenologia vegetativa: (1) folhas adultas: folhas com todo potencial fotossintético e, (2) herbivoria: para verificar o nível de predação de cada indivíduo.

Foram monitorados os indivíduos em relação ao índice de intensidade da fenofase foliar e da área da copa submetida à herbivoria, seguindo o protocolo de Fournier (1974) mediante as recomendações de Heideman (1989).

Para analisar as variáveis obtidas, foram utilizados os parâmetros que estabelecem cinco categorias em escala ordinal e intervalar: 0 = 0%; 1 = 1 a 25%; 2 = 26 a 50%; 3 = 51 a 75% e 4 = 76 a 100%. Em cada mês, a soma dos valores de intensidade obtidos para todos os indivíduos foi dividida pelo valor máximo possível (número de indivíduos

multiplicado por quatro). Esse valor foi transformado em porcentagem, representando a produtividade da comunidade.

### 2.3.2 Coleta e Identificação do Material Botânico

As folhas de *M. urundeuva* foram coletadas durante os meses de abril de 2018 (período seco) e fevereiro de 2019 (período chuvoso). O material botânico foi posto para secar a temperatura ambiente por um período de sete dias sendo posteriormente triturado.

O material também foi coletado para posterior identificação sendo para tanto acondicionado e tratado conforme as técnicas usuais de herborização segundo Mori et al. (1989) e depositado no Herbário Prisco Bezerra (EAC), na Universidade Federal do Ceará – UFC sob número EAC 38345.

A autorização para a coleta foi fornecida pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA), com o número de registro 61823.

### 2.4 Extração do Óleo Essencial

O óleo essencial foi extraído a partir de 0,198g (período seco), e 0,200g (período chuvoso) das folhas secas de *M. urundeuva*, foi obtido por meio de hidrodestilação utilizando o aparelho de *Clevenger*. O material vegetal foi submetido à trituração e em seguida, colocado em um balão contendo 1L de água destilada no aparelho de *Clevenger*, durante 180 minutos contados a partir do início da destilação (MATOS, 2009).

Após a extração do óleo essencial, foi adicionado ao mesmo sulfato de sódio anidro para retirada da água residual e evitar perdas por hidrólise durante o armazenamento. Em seguida, o óleo foi recolhido e acondicionado em recipientes de vidro escuro e pesados em balança de precisão.

## 2.5 Análise Fitoquímica

### 2.5.1 Análise Cromatográfica por CG/MS-QP e Identificação dos Compostos.

O óleo essencial das folhas de *M. urundeuva* foi analisado por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG/MS), para determinar os constituintes, o número e a concentração destes. A identificação dos compostos foi realizada por comparação com o banco de dados (NIST08s.LIB) do CG/MS (ADAMS, 2007). As análises por CG/EM foram realizadas em Cromatógrafo Shimadzu® CG-2010 acoplado a Espectrômetro de Massas CG/MS-QP 2010 Shimadzu®, coluna capilar BPX-5(30 m x 0,25 mm x 0,25 µm), temperatura do injetor 220°C, gás de arraste hélio na vazão de 1 mL/min, split 1:100, temperatura da interface de 240°C, temperatura da fonte de ionização de 240°C, energia de ionização 70 eV, corrente de ionização: 0,7 kV e programa de temperatura do forno: 60°C a 240°C (3°C/min), mantendo a 240°C por 20 minutos. Antes da injeção, 20 mg de cada amostra de óleo essencial foi dissolvida em 1 mL de diclorometano e 0,2 µL desta solução foi injetado.

### 2.5.2 Rendimento do Óleo Essencial

O cálculo do rendimento de óleo essencial foi realizado utilizando-se a relação entre volume de óleo coletado e a massa de material vegetal seco utilizada na extração, multiplicado por 100 (ZENEON et al. 2008).

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Fenologia foliar e Herbivoria

Foi observado um total de 10 indivíduos de *Myracrodruon urundeuva*. Os resultados obtidos para os indivíduos analisados encontram-se descritos na Tabela 1 na qual constam também dados referentes à fenologia foliar e predação.

A fenofase folha adulta esteve presente em todos os indivíduos, para os meses de junho a agosto/18. Houve uma interrupção da fenofase para os meses de setembro e outubro/18, que coincide com os meses mais secos, onde ocorre a caducifolia total das espécies. No mês de novembro foi observado que a fenofase folha adulta volta a aparecer e se estende até o mês de maio/19, tendo sua maior intensidade entre os meses de janeiro a maio/19. A herbivoria foi observada nos meses de junho a agosto/18 para a espécie, com uma interrupção nos meses mais secos (setembro e outubro/18), onde não ocorreu a presença de folhas. Nos meses de fevereiro a maio/19, a predação volta a ser observada para a espécie (Tabela 1).

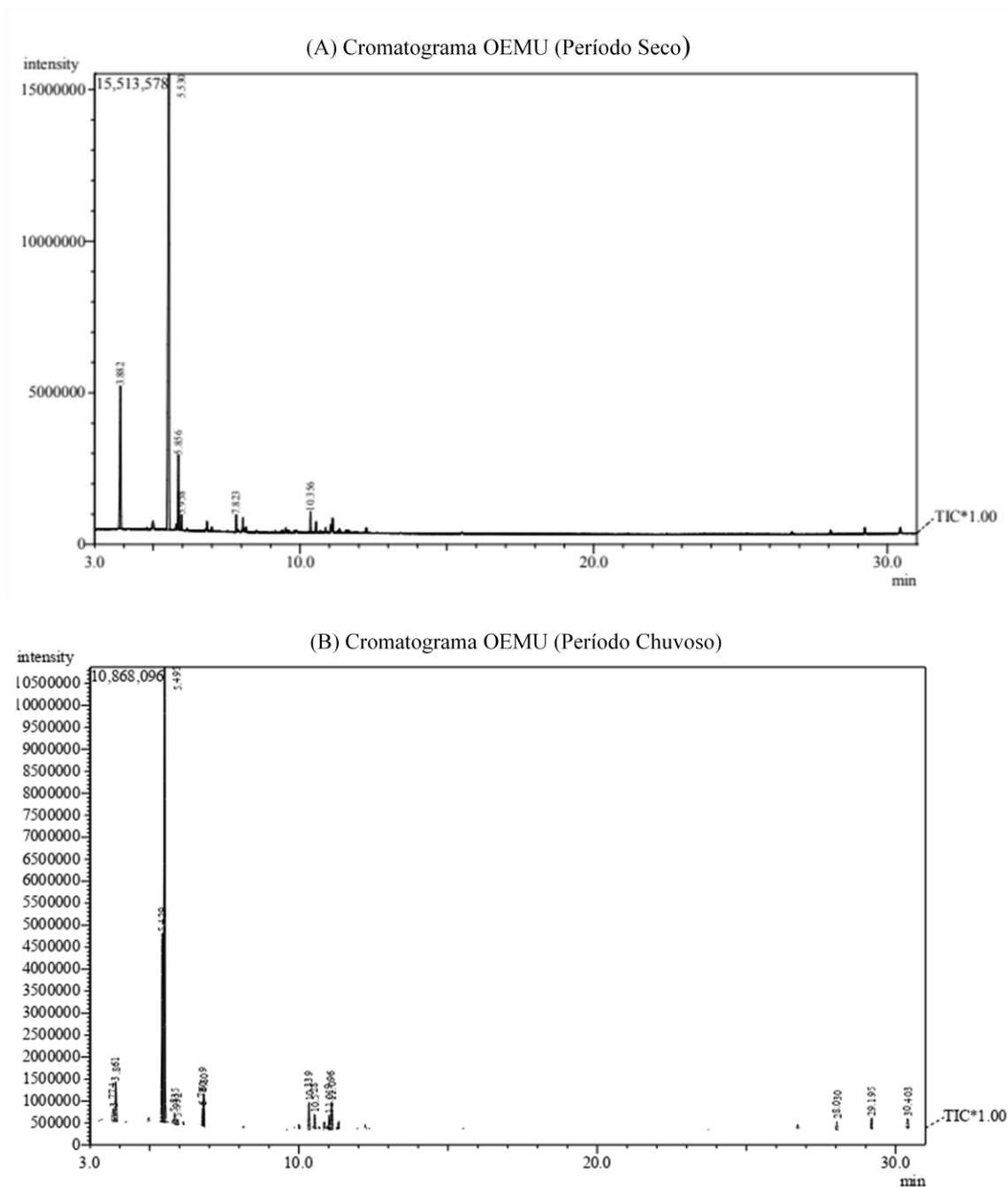
**Tabela 1.** Duração da fenofase foliar e herbivoria das espécies da área de Savana Estépica (Caatinga) na Sede da Estação Ecológica de Aiuaba - (ESEC-Aiuaba-Ceará)

Família/Espécie	Meses de ocorrência	
	Folha Adulta	Predação
<b>Anacardiaceae</b>		
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	jun-ago, nov-mai (jan-mai)	jun-ago, fev-mai

**Legenda:** Meses de ocorrência da fenofase folha adulta e predação; Para folha adulta os meses entre parênteses referem-se ao pico de intensidade de folhas adultas, e para a predação indica o pico de intensidade da predação. O hífen (-) representa continuidade entre os meses ou ausência do evento, enquanto a vírgula (,) significa interrupção.

#### 3.2 Análise Cromatográfica por CG/MS-QP

A partir da análise CG/MS-QP foi realizada a identificação dos compostos do óleo essencial de *M. urundeuva*. Usando os picos mais intensos dos cromatogramas (Figura 2A-B), foi feita a comparação de seus respectivos espectros de massa com os espectros de massa de moléculas presentes no banco de dados (NIST08s.LIB). A partir destes dados foram identificados 10 compostos no total, para os dois períodos (seco e chuvoso), como mostrado na tabela 2. Os principais compostos identificados foram do grupo dos terpenos (monoterpenos e sesquiterpenos) (Tabela 2).



**Figura 2.** Cromatogramas do óleo essencial de *Myracrodruon urundeuva* Allemão no (A) Período seco e (B) Período chuvoso

Os compostos pertencentes aos monoterpenos foram  $\alpha$ -Pinoeno, 3-Careno, Limoneno, Eucaliptol e o Ciclohexano, 1 metil-4-(1-metiletilideno), e os que pertencem aos sesquiterpenos foram Carifileno, Bíciclo[7.2.0]undec-4-ene, 4, 11, 11-trimetil, 1H- Cicloprop[e]azuleno, decahidro-1, 1, 7-trin, Naftaleno, decahidro-4a-metil-1-metileno e 1H- Cicloprop[e]azuleno, 1a, 2, 3,5, 6, 7, 7a, 7b-o 9 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização de compostos do óleo essencial das folhas de *Myracrodruon urundeuva* Mart., para o período seco e chuvoso, CG/MS-QP

Composto	I.R	Área (%)	
		OEMU (Seco)	OEMU (Chuvoso)
<b>Monoterpenos</b>			
$\alpha$ -Pinoeno	948	87,41	6,44
3-Careno	948	-	75,84
Limoneno	1018	7,99	1,12
Eucaliptol	1059	1,46	0,76
Ciclohexano, 1 metil-4-(1-metiletilideno)	1052	-	3,85
<b>Sesquiterpenos</b>			
Cariofileno	1494	-	2,26
Biciclo[7.2.0]undec-4-ene, 4, 11, 11-trimetil	1041	1,89	-
1H- Cicloprop[e]azuleno, decahidro-1, 1, 7-trin *	1386	-	1,18
Naftaleno, decahidro-4a-metil-1-metileno	1469	-	1,43
1H- Cicloprop[e]azuleno, 1a, 2, 3,5, 6, 7, 7a, 7b-o	1419	-	3,63
<b>Total identificado:</b>		98,75	96,51

**Legenda:** I.R. = Índice de retenção

A composição química do óleo essencial da folha de *M.urundeuva* foi diferente nos dois períodos. Os compostos  $\alpha$ -Pinoeno, Limoneno, Eucaliptol, foram encontrados em ambos os períodos (seco e chuvoso). O composto Biciclo[7.2.0]undec-4-ene, 4, 11, 11-trimetil, foi encontrado somente no óleo do período seco. Os compostos 3-Careno, Ciclohexano, 1 metil-4-(1-metiletilideno), Cariofileno, 1H- Cicloprop[e]azuleno, decahidro-1, 1, 7-trin, Naftaleno, decahidro-4a-metil-1-metileno, 1H- Cicloprop[e]azuleno, 1a, 2, 3,5, 6, 7, 7a, 7b-o, foram encontrados no óleo do período chuvoso, somando a maioria dos compostos. O composto majoritário para a amostra do período seco foi  $\alpha$ -Pinoeno (Figura 3A), para a amostra do período chuvoso foi o composto 3-Careno (Figura 3B) (Tabela 2).

Além da sazonalidade, vários fatores influenciam a composição química dos vegetais, dentre estes estão: temperatura, luminosidade, pluviometria, radiação ultravioleta, ritmo circadiano, origem geográfica, horário de coleta, altitude, etc (BEZERRA et al., 2017; GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Quanto à variação sazonal, as mudanças na composição bioquímica das plantas podem ser devido à alocação de recursos de um órgão para outro, refletindo no crescimento, defesa e reprodução, a fim de aumentar a sucessão ecológica da espécie (GOMES et al., 2019; HERMS; MATTSON, 1992).

A temperatura e a luminosidade podem apresentar um relevante papel na fotossíntese, uma vez que a interação destes fatores garante um ambiente ideal para o processo fisiológico (SOUZA et al., 2008).

Apesar das espécies apresentarem uma adaptação ao seu habitat natural, os vegetais são capazes de resistir a variações de temperatura, estas são responsáveis pelas alterações na produção de metabólitos secundários (MORAIS, 2009). Com isso, os óleos essenciais, na maioria das vezes, apresentam um aumento em seu teor quando as plantas produtoras se encontram em ambientes com temperatura elevada, porém, em dias muito quentes, pode-se observar perda excessiva dos mesmos (EVANS, 1995).

A maior produção de metabólitos secundários sob altos níveis de radiação solar são explicadas devido ao fato de que as reações biossintéticas são dependentes de suprimentos de esqueletos carbônicos, realizados por processos fotossintéticos e de compostos energéticos que participam da regulação dessas reações (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O óleo essencial de *M. urundeuva* apresentou o monoterpeneo  $\alpha$ -Pineno no período seco como constituinte majoritário, tal composto é um monoterpeneo e como tal conta com estruturas terpênicas de menor massa molecular, apresentando uma volatilidade acentuada, que por sua vez, apresenta grande importância para reter o aroma em diversas partes dos vegetais (FARKAS; MOHÁCSI-FARKAS, 2014). Tal composto também apresenta atividade inseticida (CAO et al., 2019), visto que comumente os monoterpenos causam interferência nas funções bioquímicas e fisiológicas de insetos herbívoros.

Os resultados obtidos neste estudo mostram que na estação seca este constituinte apresentou-se em maiores concentrações (87,41%) do que na estação chuvosa (6,44%), isto é justificado por as folhas investirem recursos energéticos na composição de compostos ligados à sua proteção (TONINI et al., 2010). No entanto, as folhas apresentaram também no período seco uma maior incidência de indícios físicos atribuídos a herbivoria. É possível que com a pouca oferta de alimento no ambiente, uma vez que a maioria das plantas perde totalmente as folhas no período de estiagem, embora o ataque as folhas de *M. urundeuva* ainda seja mais evidente, a maior produção do  $\alpha$ -Pineno pode fazer com que tal ataque ocorra em um nível aceitável não comprometendo a integridade fisiológica da planta.

Estudos realizados apoiam a idéias de que as perturbações da membrana mitocondrial podem ser o mecanismo primário da ação do  $\alpha$ -Pinenos e outros monoterpenos em plantas intactas (LOBER; MULLER, 1976; ABRAHIM et al., 2003), tal efeito pode se dever a um aumento na permeabilidade da membrana causada por uma interação direta do  $\alpha$ -Pinenos com a membrana mitocondrial interna do vegetal.

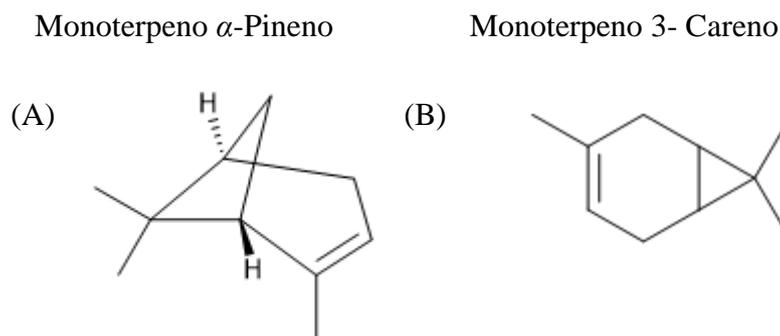
Este composto está presente em folhas e em estruturas das plantas que passam por estresse hídrico, o qual devido a mudanças de temperatura ocorre como uma forma de gatilho em espécies vegetais como aponta estudos de Niinemets; Loreto; Reichstein (2004) e Puñellas et al. (2005). Pesquisa realizada por Perttunen (1957) também associa insetos a presença desse composto evidenciando o papel desempenhado pelos terpenos na orientação dos insetos.

Para o período chuvoso os compostos da amostra do óleo essencial de *M. urundeuva* são semelhantes aos compostos achados na literatura para a espécie, como no estudo de Montanari (2010), que apresenta o monoterpeno 3-Careno como constituinte majoritário do óleo essencial das folhas, assim com no estudo.

Este composto apresentou ação de toxicidade frente a alguns insetos como aponta (NERIO; OLIVEDO-VIERBEL; STASHENKO, 2010), evidenciando que os óleos essenciais possuem ação sobre os insetos, podendo causar repelência, inibindo a oviposição, e ainda interferir na sua alimentação.

De maneira geral, podemos atribuir o potencial de toxicidade dos óleos essenciais contra microrganismos e insetos (pragas), ao conjunto de compostos existentes em sua constituição, não atribuindo desta forma a responsabilidade somente aos compostos majoritários. Quanto à análise dos óleos essenciais são as variações em seus componentes químicos e suas concentrações em virtude de fatores fenomenológicos como fase de desenvolvimento, nutrição e genética do vegetal, e fatores edafoclimáticos como variação climática, sazonalidade e variações de solo.

O óleo essencial de *M. urundeuva* apresentou o monoterpeno Eucaliptol no período seco e período chuvoso como constituinte minoritário. Os demais compostos minoritários, pertencem ao grupo dos sesquiterpenos. Tais compostos possuem atividades como inibidores de germinação e crescimento radicular, sobre diversas espécies vegetais, o que pode viabilizar o desenvolvimento de produtos para o controle de plantas invasoras (SANTOS et al., 2012).



**Figura 3.** Monoterpenos majoritários encontrados nas amostras do óleo de *Myracrodruon urundeuva* (A) Período seco (Monoterpeno  $\alpha$ -Pinoeno) e (B) Período chuvoso (Monoterpeno 3-Careno).

### 3.3 Rendimento do Óleo Essencial

A tabela 3 apresenta os dados de rendimento da amostra do óleo essencial para o período seco e chuvoso. Além das variações químicas encontradas no estudo, o rendimento dos óleos essenciais é diferente a depender da estação de coleta, sendo maior para a estação seca (Tabela 3).

**Tabela 3.** Rendimento do óleo essencial de *Myracrodruon urundeuva* Allemão

	Massa de folha	Volume do óleo obtido	Rendimento (%)
<b>Período seco</b>	0, 198g	1,6 ml	12,37%
<b>Período chuvoso</b>	0, 200g	2 ml	8,69%

Sendo, portanto que na estação chuvosa, há uma redução dos teores de óleo, isto ocorre por conta do acionamento de um mecanismo natural chamado de fonte-dreno, tal mecanismo é responsável pela degradação dos metabólitos secundários, como por exemplo, o óleo essencial. Dessa forma, os produtos oriundos desse processo são direcionados para a manutenção do metabolismo primário (MORAIS, 2009; TONINI et al., 2010; RIBEIRO et al., 2018).

As condições ambientais aliadas a aspectos fisiológicos das plantas interferem diretamente na produção de óleo essencial, uma vez que fatores tais como temperaturas mais amenas (Brant et al., 2009), precipitações mais elevadas (Paulus et al., 2013), maior radiação (Sangwan et al., 2001), idade das folhas (Ventrella 2000) podem contribuir para uma maior produção de óleo e conseqüentemente levar a um maior rendimento.

#### 4 Conclusão

O rendimento dos óleos das folhas de *M. urundeuva* variou entre eles e em relação aos diferentes períodos (secos e úmidos), com níveis elevados associados a baixos índices pluviométricos. Os compostos identificados nas folhas apresentaram mudanças quantitativas durante as estações e fenofase foliar, com predominância do  $\alpha$ -Pineno para estação seca e 3-Careno para estação chuvosa. Os compostos voláteis das plantas podem atuar como controles fisiológicos e físico-químicos podendo exercer influência sobre a herbivoria.

Com base nas variações químicas, pode-se verificar uma relação entre a sazonalidade e o conteúdo químico nas folhas da planta durante seu ciclo fenológico, isso, devido às condições naturais cíclicas.

## Agradecimentos

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP) pela concessão da bolsa de Mestrado, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Financiamento 001; aos curadores do Herbário Caririense Dárdano Andrade- Lima (HCDAL) e Herbário Prisco Bezerra (EAC) pela identificação do material; ao projeto Herbário Virtual da Flora e Fungos do Brasil – INCT (Processo 573.883/2008-4); ao projeto “Conservação da biodiversidade em nível de paisagem: mudanças climáticas e distúrbios antropogênicos” (Chamada CNPq/ICMBio/FAPs nº18/2017); aos pesquisadores Maria Arlene Pessoa da Silva (Bolsista BPI/FUNCAP) e Luciana Silva Cordeiro (Bolsista PNPd/CAPES); a EMBRAPA e Laboratório de Pesquisa de Produtos Naturais – LPPN pela realização dos testes químicos; e à toda equipe do HCDAL a qual faço parte.

## Referências

- ABRAHIM, D., FRANCISCHINI, A. C., PERGO, E. M., KELMER-BRACHT, A. M., & ISHII-IWAMOTO, E. L. Effects of  $\alpha$ -pinene on the mitochondrial respiration of maize seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 41, n. 11-12, p. 985-991, 2003.
- ADAMS, R. P., (1995). Identification of Essential Oils by Gas Chromatography/Mass Spectroscopy. Carol Stream, IL: Allured Publi.
- AOYAMA, E. M.; LABINAS, A. M. Características estruturais das plantas contra a herbivoria por insetos. **Enciclopédia Biosfera**. v.8, p.365-386, 2012.
- AYRES M.; AYRES JUNIOR M.; AYRES D. L; SANTOS A. S. **Bioestat 5.0** - Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. ONG Mamiraua, Belém, PA. p.364, 2007.
- BALDWIN, I. T.; HALITSCHKE, R.; KESSLER, A.; SCHITTKO, U. Merging molecular and ecological approaches in plant–insect interactions. **Current opinion in plant biology**, v.4, n.4, p.351-358, 2001.
- BARROS, B.; FERNANDES, M. E. B. Herbivory. **Croácia: Intech**, p.86, 2013.
- BASTOS, K., DIAS, C., NASCIMENTO, Y., DA SILVA, M., LANGASSNER, S., WESSJOHANN, L.; TAVARES, J. Identification of phenolic compounds from *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) leaves by uhplc orbitrap-hrms. **Molecules**, v. 22, n. 1, p.143, 2017
- BEZERRA, J. W. A., COSTA, A. R., DA SILVA, M. A. P., ROCHA, M. I., BOLIGON, A. A., DA ROCHA, J. B. T; KAMDEN, J. P. Chemical composition and toxicological evaluation of *Hyptis suaveolens* (L.) Poiteau (LAMIACEAE) in *Drosophila melanogaster* and *Artemia salina*. **South African Journal of Botany**, v.113, p.437-442. 2017
- BI, J. L.; MURPHY, J. B.; FELTON, G. W. Antinutritive and oxidant components as mechanisms of induced resistance in *Helicoverpa zea*. **Journal of Chemical Ecology**, v.23, n.1, p.97-117, 1997.
- BRANT, R. D. S.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; SILVA, A. D.; ALBUQUERQUE, C. J. B. Teores do óleo essencial de cidrão [*Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton (Verbenaceae)] em diferentes horários de colheita e processamentos pós-colheita. **Ciência agrotecnica (Impressa)**, v. 33, n. spe, p. 2065-2068, 2009.
- CAO, J. Q., PANG, X., GUO, S. S., WANG, Y., GENG, Z. F., SANG, Y. L.; DU, S. S. Pinene-rich essential oils from *Haplophyllum dauricum* (L.) G. Don display anti-insect activity on two stored-product insects. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.140, p.1-8, 2019.
- COURTOIS, E. A.; PAINE, C. E. T.; BLANDINIÈRES, P. A.; STIEN, D.; BESSIERE, J. M.; HOUEL, E.; BARALOTO, C.; CHAVE, J. Diversity of volatile organic

compounds emitted by 55 species of tropical trees: a survey in French Guiana. **Journal of chemical ecology**, v.35, p.1349-1362, 2009.

CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH J. S. Plant functional traits with particular reference to tropical deciduous forests: a review. **Journal of Biosciences** v.36, p.1-19, 2011.

ÇIRAK, C.; RADUSIENÉ, J.; IVANAUSKAS, L.; JANULIS, V. Variation of bioactive secondary metabolites in *Hypericum origanifolium* during its phenological cycle. **Acta Physiologia Plant**, v.29, n.3, p.197-203, 2007.

COLEY, P. D.; BARONE, J. A. Herbivory and plant defenses in tropical forests. **Annual review of ecology and systematics**. v.27, p.305-35, 1996.

CORREA, M.P. Dicionário das plantas úteis do Brasil. Rio de Janeiro: IBDF; 1978.

CRAWLEY, M. J. Herbivory, the dynamics of animal-plant interactions. University of California Press. **Berkeley-California**. v.10, p.437, 1983.

CRISTIANS, S. M.; BYE, R. Phenological and geographical influence in concentration of selected bioactive 4-phenylcoumarins and chlorogenic acid in *Hintonia laifloran* leaves. **Journal Ethnopharmacol**, v.152, n.2, p.308-313, 2014

DICKE, M.; HILKER, M. Induced plants defence: from molecular biology to evolutionary ecology. **Basic and Applied Ecology**. v.4, p.3-14, 2003.

DIRZO, R.; BOEGE, K. Patterns of herbivory and defence in tropical dry and rain forest. In: CARSON, W. P.; SCHNITZER, S. A. (Eds.). Tropical forest community ecology. **Chichester: Wiley-Blackwell**. p.63-78, 2008

EAMUS, D. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends in Ecology and Evolution**. v.14, p.11-16, 1999.

EVANS, W.C., TREASE, G. E., SERAFINI, M., NICOLETTI, M. **Farmacognosia**. Piccin, 1995.

FARKAS, J., MOHÁCSI-FARKAS, C. In: MOTAJERMI, Y. (ed). 1° Ed. Safety of foods and beverages: spices and seasonings. Encyclopedia of Food Safety. Foods, Materials, Technologies and Risks. **Elsevier**, v.3. p. 324-330, 2014.

FLORA DO BRASIL 2020, em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil>. Acesso em: 24 de Jul de 2019.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v.24, n.4, p.422-423, 1974.

- FÜRSTENBERG-HÄGG, J.; ZAGROBELNY, M.; BAK, S. 2013. Plant Defense against Insect Herbivores. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, p.10242-10297, 2013.
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v.30, n.2, p.374–381, 2007.
- GOMES, A. F., ALMEIDA, M. P., LEITE, M. F., SCHWAIGER, S., STUPPNER, H., HALABALAKI, M.; DAVID, J. M. Seasonal variation in the chemical composition of two chemotypes of *Lippia alba*. **Food chemistry**, v.273, p.186-193, 2019.
- HEIDEMAN, P. D. Temporal and spatial variation in the phenology of flowering and fruiting in a tropical rainforest. **Journal of Tropical Ecology**, v.77, p.1059-1079, 1989.
- HERMS, D. A.; MATTSON, W. J. The dilemma of plants: to grow or defend. **The Quarterly Review of Biology**, v.67, n.3, p.283–335, 1992.
- HUNTLY, N. Herbivores and the dynamics of communities and ecosystems. **Annual review of ecology and systematics**, v.22, p.477-503, 1991.
- KOZLOV, M. V; LANTA, V.; ZVEREV, V.; ZVEREVA, E. L. Background losses of woody plant foliage to insects show variable relationships with plant functional traits across the globe. **Journal of Ecology**. v.103, p.1519:1528, 2015.
- KOZLOV, M. V; LANTA, V.; ZVEREV, V.; ZVEREVA, E. L. Global patterns in background losses of woody plant foliage to insects. **Global Ecology and Biogeography**. v.2, p.126-1135, 2015.
- KOZLOV, M. V.; ZVEREVA, E. L. Background Insect Herbivory: Impacts, Patterns and Methodology. **Progress in Botany, Springer**, v.79, p.313-355, 2017.
- LORBER, P.; MULLER, W.H. Volatile growth inhibitors produced by *Salvia leucophylla*: effects on seedling root tip ultrastructure, **American Journal of Botany**. v.63, p.196–200, 1976.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Nova Odessa: Plantarum**; 1992.
- MAIA, G. N. Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades. Fortaleza: Printcolor Gráfica e Editora, 2 ed, 2012.
- MATOS, F. J. A. Introdução a fitoquímica experimental. 3ed./ Fortaleza Edições UFC, 2009.
- MCCALL, A. C.; IRWIN, R. E. Florivory: the intersection of pollination and herbivory. **Ecology Letters**, v.9, p.1351–1365, 2006.
- MÉNDEZ-ALONZO, R.; PAZ, H.; ZULUAGA, R. C.; ROSELL, J. A.; OLSON, M. E. Coordinated evolution of leaf and stem economics in tropical dry forest trees. **Ecology**, v.93, p.2397–2406, 2012.

MONTANARI, R. M. **Composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais de espécies de anacardiaceae, siparunaceae e verbenaceae**; Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, 2010.

MORAIS, L.A.S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.2, p.4050-4063, 2009.

MORI, S. A.; BONN, B. M.; CARVALHO, A.M.; SANTOS, T.S. Southen Bahian Forests. **Botanical Review**. v.49, p. 155-232, 1989.

NASCIMENTO, F.G.; FAQUETI, A.; WILHELM, J. F.; WITTKOWSKI, C.; TOMCZAK, F. D.; BORGES, S. L.; YUNES, R. A.; FRANCHI JR. G. C.; NOWILL, A. E.; FILHO, V.C.; MACHADO, M. S.; FREITAS, R. A.; MALHEIROS, A. Seasonal influence and cytotoxicity of extracts, fractions and major compounds from *Allamanda schottii*. **Revista brasileira de farmacognosia**, v.24, n.5, p.545-552, 2014.

NIINEMETS, Ü; LORETO, F; REICHSTEIN, M. Physiological and physicochemical controls on foliar volatile organic compound emissions. **Trends in plant science**, v. 9, n. 4, p. 180-186, 2004.

NUNES, Y. R. F.; FAGUNDES, M.; ALMEIDA, H.D.S.; VELOSO, M.D. D. M. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão-Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. **Revista Árvore**. v.32, n.2, p.233-43. 2008;

OUERGHEMMI, S.; SEBEI, H.; SIRACUSA, L.; RUBERTO, G.; SAIJA, A.; CIMINO, F.; CRISTANI, M. Comparative study of phenolic composition and antioxidant activity of leaf extracts from three wild *Rosa* species grown in different Tunisia regions: *Rosa canina* L., *Rosa moschata* Herrm. and *Rosa sempervirens* L. **Industrial Crops and Products**, v.94, p.167-177, 2016.

PAULUS, D.; VALMORBIDA, R.; TOFFOLI, E.; NAVA, G. A. Teor e composição química de óleo essencial de cidró em função da sazonalidade e horário de colheita. **Horticultura brasileira**, v. 31, n. 2, p. 203-209, 2013.

PERTTUNEN, V. Reactions of two bark beetle species, *Hylurgops palliatus* Gyll. and *Hylastes ater* Payk.(Col., Scolytidae) to the terpene alpha-pinene. In: **Annales Entomologici Fennici**. Entomological Society of Finland, p. 101-10. 1957.

PRINGLE, E.G.; ADAMS, R. I.; BROADBENT, E.; BUSBY, P.E.; DONATTI, C.I; KURTEN, E.L.; RENTON, K.; DIRZO, R. Distinct leaf-trait syndromes of evergreen and deciduous trees in a Seasonally Dry Tropical Forest. **Biotropica** v.43, n.3, p.299–308, 2011.

PEÑUELAS, J.; LLUSIA, J.; ASENSIO, D.; MUNNÉ-BOSCH, S. Linking isoprene with plant thermotolerance, antioxidants and monoterpene emissions. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, n. 3, p. 278-286, 2005.

QUERALT, A. V., REGUEIRO, J., HUÉLAMO, M.M, ALVARENGA, J. F. R., LEAL, L. N.; RAVENTOS, R. M. L. A comprehensive study on the phenolic profile of widely used culinary herbs and spices: Rosemary, thyme, oregano, cinnamon, cumin and bay. **Food Chemistry**, v. 154, p. 299-307, 2014.

RIBEIRO, S. M.; BONILLA, O. H.; LUCENA, E. M. P. Influência da sazonalidade e do ciclo circadiano no rendimento e composição química dos óleos essenciais de *Croton* spp. da Caatinga. **Iheringia. Série Botânica.**, v.73, n.1, p.31-38, 2018.

RIBEIRO, S. P.; WILSON, G. W. Interações entre insetos e plantas no cerrado: teoria e hipóteses de trabalho. In: MARTIN, S. R. P.; LEWINSOHN, T. M; BARBEITOS, M. S. Ecologia e com comportamento de Insetos. **O ecologia Brasiliensis**, PPGE-UFRJ. v.8, p.299-320, 2000.

SANGWAN, N. S.; FAROOQI, A. H. A.; SHABIH, F.; SANGWAN, R. S. Regulation of essential oil production in plants. **Plant growth regulation**, v. 34, n. 1, p. 3-21, 2001.

SANTOS, R. F.; ISOBE, M. T. C.; LALLA, J. G; HABER, L. L; MARQUES, M. O. M.; MING, L. C. Composição química e produtividade dos principais componentes do óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* DC. em função da adubação orgânica. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, p. 224-234, 2012.

SOBRADO, M. A. Cost-benefit relationships in deciduous and evergreen leaves of Tropical Dry Forest species. **Functional Ecology**. v.5, p.608-616, 1991.

SOUSA, A.; MALHEIRO, R.; CASAL, S.; BENTO, A.; PEREIRA, J. A. Antioxidant activity and phenolic composition of Cv: Cobrancosa olives affected through the maturation process. **Journal of functional foods**, v.11, p. 20–29, 2014.

SOUZA, J.R.P; MORAIS, H; CARAMORI, P.H; JOJANNSSON, L.A.P.S; MIRANDA, L.V. Desenvolvimento da espinheira-santa sob diferentes intensidades luminosas e níveis de poda. **Horticultura Brasileira**. v.26, p. 40-44. 2008.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TONINI, P.P.; PURGATO, E.; BUCKERIDGE, M.S. Effects of abscisic acid, ethylene and sugars on the mobilization of storage proteins and carbohydrates in seeds of the tropical tree *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Leguminosae). **Annals of botany**, v.106, p.607-616, 2010.

VENTRELLA, M. C. Produção de folhas, óleo essencial e anatomia foliar quantitativa de *Lippia alba* (Mill.) NE Br.(Verbenaceae) em diferentes níveis de sombreamento e épocas de colheita. 2000.

YAO, X. H.; ZHANG, Z. B.; SONG, P.; HAO, J. Y.; ZHANG, D. Y.; ZHANG, Y. F. Different harvest seasons modify bioactive compounds and antioxidant activities of *Pyrola incarnata*. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 405-412. 2016.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (Coord.). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed.; versão digital. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2008.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados mostraram que apesar do crescente entendimento de que a precipitação não é o principal fator de desencadeamento das fenofases nas regiões semiáridas e que essa relação estaria mais correlacionada com o solo, a precipitação que ocorre em uma variação anual, marca tanto os períodos das fenofases vegetativas e reprodutivas, assim como o início e o término de cada uma, e ainda influenciam diretamente na fitoquímica das plantas que encontram-se nesses ambientes, destacando principalmente as plantas que respondem mais rapidamente a essa oscilação, como foi o caso da *M. urundeuva* que responde rapidamente a oscilação da precipitação, através da perda de folha, mostrando ainda uma variação da composição química relacionada a sazonalidade do ambiente. E com isso, fornece elementos para a previsão de suas possíveis respostas frente às mudanças climáticas recentes.