

ASSIMETRIA FLUTUANTE COMO INDICADOR SENSÍVEL DE RESPOSTA DE PLANTAS A ESTRESSES AMBIENTAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

FLOATING ASYMMETRY AS A SENSITIVE INDICATOR OF PLANT RESPONSE TO ENVIRONMENTAL STRESS: A SYSTEMATIC REVIEW

LA ASIMETRÍA FLOTANTE COMO INDICADOR SENSIBLE DE LA RESPUESTA DE LAS PLANTAS AL ESTRÉS AMBIENTAL: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

João Vinicius Domingos dos Reis¹

Laura Regina Martins Santos²

Maria Cicera Nunes dos Santos³

Maria Denise Mota Silva⁴

Verônica Manoela Rodrigues Gavião⁵

Daniel de Souza Santos⁶

Rosineide Nascimento da Silva⁷

RESUMO: Esse artigo buscou analisar e sintetizar a literatura atual sobre a AF como indicador sensível de resposta a estresses ambientais. Foi utilizada a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para analisar e selecionar os trabalhos disponíveis em bases de dados como a SciELO, CAPES, Google Scholar e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Foram utilizadas palavras-chave relacionadas ao tema, e inicialmente a seleção dos trabalhos foi realizada a partir da leitura do título e do resumo. Em seguida, a aplicação de critérios de exclusão, onde 17 trabalhos foram selecionados para análise detalhada, os resultados evidenciaram que a AF é uma prática eficaz para averiguar os níveis de estresses ambientais sofridos pelas plantas, no entanto, não é aplicada a todos os indivíduos, tendo em vista que alguns dos referidos podem apresentar mecanismos de resistência.

1

Palavras-chave: Bioindicadores. Alteração foliar. Estresse ambiental.

ABSTRACT: This article aimed to analyze and synthesize the current literature on fluctuating asymmetry (FA) as a sensitive indicator of plant responses to environmental stress. The *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) methodology was applied to identify, analyze, and select studies available in databases such as SciELO, CAPES, Google Scholar, and the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD). Keywords related to the topic were used, and the initial screening of studies was performed through the reading of titles and abstracts. Subsequently, exclusion criteria were applied, resulting in the selection of 17 studies for detailed analysis. The results demonstrated that FA is an effective approach for assessing levels of environmental stress experienced by plants; however, it is not applicable to all individuals, as some species may exhibit resistance mechanisms.

Keywords: Bioindicators. Leaf alteration. Environmental stress

¹Graduando em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL).

²Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL).

³Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL).

⁴Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL).

⁵Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL).

⁶Biólogo Licenciado (UNEAL), Mestre em Agricultura e Ambiente (UFAL) e Doutorando em Proteção de Plantas (CECA).

⁷Docente do curso de Ciências Biológicas (UNEAL). Mestra em Ecologia e Conservação (UFS), Doutoranda em Produção Vegetal (CECA).

RESUMEN: Este artículo tuvo como objetivo analizar y sintetizar la literatura actual sobre la asimetría fluctuante (AF) como un indicador sensible de la respuesta de las plantas al estrés ambiental. Se utilizó la metodología Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) para analizar y seleccionar estudios disponibles en bases de datos como SciELO, CAPES, Google Scholar y la Biblioteca Digital Brasileña de Tesis y Disertaciones (BDTD). Se emplearon palabras clave relacionadas con el tema, y la selección inicial de los trabajos se realizó mediante la lectura de los títulos y resúmenes. Posteriormente, se aplicaron criterios de exclusión, lo que resultó en la selección de 17 estudios para un análisis detallado. Los resultados evidenciaron que la AF es una herramienta eficaz para evaluar los niveles de estrés ambiental sufridos por las plantas; sin embargo, no es aplicable a todos los individuos, ya que algunas especies pueden presentar mecanismos de resistencia.

Palabras clave: Bioindicadores. Alteración foliar. Estrés ambiental.

INTRODUÇÃO

São inúmeras as perturbações que as plantas sofrem ao longo do seu desenvolvimento, sejam essas motivadas por fatores abióticos como as drásticas mudanças climáticas, poluição, déficit de água, nutrientes ou por fatores bióticos como a competição inter e intraespecífica (Santos Neto, 2016). Consequentemente, esses fatores contribuem com o retardo no crescimento, além de influenciar negativamente a fertilidade das plantas no meio ambiente. Assim, não só acarreta instabilidades durante seu desenvolvimento, mas também resulta em padrões fenotípicos incomuns.

Uma das diversas condições de estresse é a salinidade, conforme destacado por Pereira *et al.* (2014), a qual restringe o desenvolvimento das plântulas, contribuindo para alterações no tamanho corporal e na simetria. Além disso, essa condição pode reduzir significativamente a probabilidade de sobrevivência das mesmas. Ademais, existem outros tipos de estresses, como o hídrico, causado pela escassez de água, podendo causar diversos prejuízos às plantas, afetando seriamente o seu desenvolvimento (Campos; Santos; Nacarath, 2021).

Costa *et al.* (2022), ressaltam que os transtornos na execução da fotossíntese se equipam ou se intensificam conforme o nível de estresse ao qual a planta está exposta em seu ambiente, dificultando seu desenvolvimento ideal e resultando em irregularidades em seus órgãos e estruturas. Diante disso, algumas espécies vegetais podem apresentar modificações morfológicas na Logo, para determinar as dimensões das deformidades na estrutura bilateral utiliza-se a assimetria flutuante (AF), uma ferramenta utilizada para medir as instabilidades da simetria morfológica bilateral ou radial dos organismos (Palmer; Strobeck, 1986). A AF, em plantas, geralmente é medida por meio de desvios de um eixo de simetria, normalmente, utiliza-se como referência espaços entre nervura periférica ou nervura central (Mendes, 2014).

Diante disso, Mendes (2014) caracteriza a AF como um dos métodos mais confiáveis para monitoramento de variação no desenvolvimento vegetal, sendo uma ferramenta de resposta facilmente quantificável.

Ao ser empregada para calcular o estresse a qual um indivíduo esteja submetido, Perillo *et al.* (2007), ressaltam que a AF esclarece como esses organismos são capazes de lidar com as condições genéticas e as alterações no ambiente, podendo ainda, perceber como eles se desenvolvem no ambiente onde estão inseridos. Assim sendo, este estudo aborda uma análise sobre a assimetria flutuante em plantas como indicador de estresse ambiental, através de uma revisão sistemática que busca compreender sua relação com a saúde das plantas e seu potencial uso em monitoramento ecológico.

ESTUDO DA SIMETRIA

Alguns seres vivos apresentam níveis de tolerâncias a ambientes estressantes, todavia quando esses níveis são exercidos os referidos desenvolvem mecanismos que reduzem a quantidade de energia destinada a processos como utilizada no crescimento, na manutenção corporal, ocasionando assim alterações seja no tamanho do corpo, seja na simetria do organismo (Oliveira *et al.*, 2020). Estes organismos são simétricos e essa simetria é medida partindo do eixo do corpo, podendo ser partes semelhantes.

3

Nas plantas, é possível notar que algumas apresentam simetria radial, dividindo o corpo ou suas estruturas em partes iguais, principalmente visível em flores, enquanto outras exibem simetria bilateral, podendo ser divididas em duas partes iguais. Geralmente, a simetria bilateral é mais comum e perceptível no ambiente (Silva *et al.*, 2017).

Organismos com simetria bilateral exibem uma estrutura em que seus lados (esquerdo e direito) se assemelham, inicialmente, como reflexos um do outro (Costa, *et al.*, 2022). Essa simetria, pode estar presente tanto no genótipo (código genético) quanto no fenótipo (características físicas).

Contudo, fatores ambientais aleatórios podem interferir no desenvolvimento bilateral, resultando em alterações morfológicas em suas estruturas, as quais, por sua vez, podem influenciar suas capacidades de defesa contra ameaças (Rocha, 2018). Essas assimetrias, que variam em sua discrepância, podem ter efeitos diversos na vida do organismo, potencialmente proporcionando vantagens ou não. Diante disso, utiliza-se a assimetria flutuante (AF) como

ferramenta para catalogar as assimetrias entre os lados direito e esquerdo de estruturas bilaterais.

ASSIMETRIA FLUTUANTE

A técnica de assimetria flutuante (AF), proposta por Ludwing (1932), é uma ferramenta analítica valiosa que permite a detecção de estresses manifestados por meio de pequenas variações entre os lados opostos em estruturas simétricas de organismos bilaterais. Essa abordagem oferece uma perspectiva detalhada sobre a resposta dos organismos às pressões ambientais, revelando nuances sutis que podem não ser percebidas por métodos tradicionais de avaliação de estresse (Graham *et al.*, 2010).

Flutuações assimétricas são mais prováveis de ocorrer em organismos que se desenvolvem sob condições de estresse, uma vez que estes geralmente enfrentam maiores desafios para regular seu desenvolvimento de forma adequada (Perillo *et al.*, 2007). Há uma variedade de estudos que investigam a AF como uma ferramenta significativa para avaliar os níveis de estresse em diferentes ambientes, com um foco especial em plantas (Orihuela *et al.*, 2005; Castro *et al.*, 2013; Ribeiro *et al.*, 2013; Mendes, 2014).

Portanto, segundo Cornelissen e Stiling (2010), essa abordagem torna-se valiosa para investigar e compreender possíveis anormalidades ou padrões no desenvolvimento foliar de plantas, uma vez que as variações na largura dos lados direito e esquerdo do limbo foliar podem indicar uma condição de estresse (Diaz *et al.*, 2004).

A assimetria flutuante é amplamente reconhecida como um biomarcador do estresse em organismos, sendo empregada para o monitoramento populacional. Esta métrica permite descrever diferenças anatômicas e morfológicas no desenvolvimento das plantas, além de possibilitar comparações entre indivíduos e populações (Mendes, 2014; Klingenderg, 2015; Torrez-Terzo; Pagliosa, 2007)

A utilização da ferramenta está ganhando destaque na avaliação de estresse em diversas populações. Sua crescente popularidade é atribuída à facilidade de uso e ao baixo custo, o que a torna uma alternativa promissora para esse propósito (Frota, 2018).

INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS EM PLANTAS

Em circunstâncias usuais, espera-se que os lados de uma folha mantenham padrões simétricos, mas em determinadas situações, influências ambientais como herbivoria, poluentes,

sombreamento, altas concentrações de metais no solo, entre outros, juntamente com fatores genéticos, possam desencadear alterações morfológicas (Alados *et al.*, 2002; Pereira, 2011).

O estresse genético, principalmente devido a mutações, pode aumentar a assimetria flutuante nas plantas. Em condições de estresse ambiental, essas plantas tornam-se mais nutritivas para alguns insetos, devido ao aumento do teor de nitrogênio livre e à diminuição de compostos defensivos. Como resultado, as plantas com assimetria são mais atrativas para os herbívoros, o que pode resultar em maiores taxas de herbivoria, conforme destacado por White (1984).

Conforme destacado por Brito *et al.* (2019), a poluição proveniente da combustão afeta as folhas das plantas, alterando tanto seu comprimento quanto sua largura. Assim, o tamanho das folhas pode aumentar ou diminuir, dependendo da espécie de planta e do nível de poluição na área urbana. Os autores interpretam essas mudanças como indícios influenciados pela poluição veicular, no qual as plantas precisam equilibrar várias respostas adaptativas. Isso aponta para uma instabilidade no desenvolvimento das mesmas diante dos diferentes níveis de poluição, ressaltando a complexidade das adaptações vegetais às condições ambientais adversas.

Contudo, as alterações climáticas, substâncias contaminantes, desintegração do local habitado e variações no estado nutricional de alguns vegetais, são condições que se sobressaem dentre as causas de inconstâncias no desenvolvimento das plantas, sendo um dos principais causadores da assimetria (Costa *et al.*, 2022). Tendo em vista que estes indicadores agravam a falta de nutrientes e conseqüentemente afetam as atividades desses seres, são caracterizados como indutores de estresse que ocasionam alterações morfológicas do organismo, os quais em circunstâncias normais apresentam níveis mínimos, tornando assim o organismo vegetal suscetível aos agentes patogênicos.

MÉTODOS

Para a realização dessa pesquisa foi necessário fazer uma revisão de literatura através da análise de artigos científicos, no intuito de fornecer conhecimentos atualizados sobre o tema abordado, utilizando como referência a metodologia do trabalho de Costa *et al.* (2024), que foi adaptado de acordo com o modelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA).

Para fazer a seleção dos trabalhos que foram utilizados como base para a produção deste, buscou-se fazer a exclusão daqueles que possuíam uma linha de pesquisa diferente, para isso foi feito o uso de plataformas digitais como: Google Scholar, Scientific Electronic Library

Online (SciELO), CAPES (Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

Para buscar e selecionar os trabalhos foram utilizados como descritores os termos assimetria flutuantes, estresse em plantas, fragmentação florestal, indicador sensível e assimetria da folha. As buscas ocorreram no período entre abril e maio de 2024, baseando-se, inicialmente, na leitura dos títulos e resumos de cada trabalho.

Logo após esse procedimento, os trabalhos foram submetidos a um processo de seleção, no qual foram retirados apenas aqueles que atendiam aos seguintes critérios de exclusão: Trabalhos duplicados, trabalhos que não falassem de assimetria flutuante em plantas, trabalhos publicados antes do ano de 2000; artigos incompletos, (que não apresentavam uma metodologia completa e/ou resultados e discussões) e artigos de língua estrangeira.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

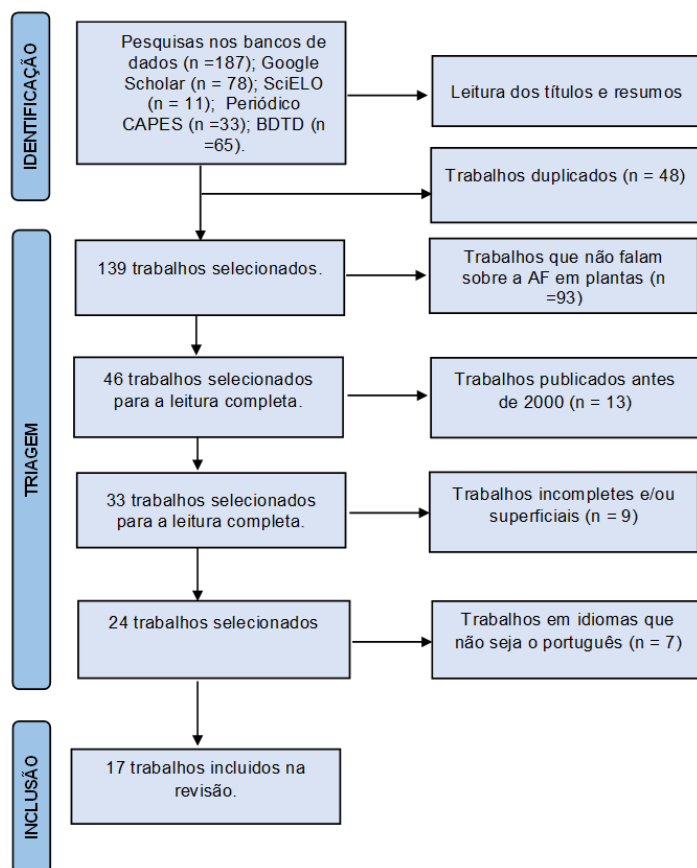
Foi encontrado um total de 187 trabalhos, selecionados nas seguintes bases de dados: SciELO (11), Google Scholar (78), Periódicos CAPES (33) e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (67), utilizando as palavras-chaves. Os quais abrangem uma variedade de tipos de publicações, entre eles 78 artigos publicados em revistas científicas, 42 artigos publicados em anais de congressos, 22 teses e 45 dissertações.

6

Para melhorar a extração os trabalhos coletados foram submetidos a um rigoroso processo de filtragem seguido a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta - Analyses* (PRISMA). Onde ao final do processo, 18 trabalhos foram selecionados para a análise detalhada no contexto da referida pesquisa (Figura 1). Os resultados obtidos evidenciam a extensão e a profundidade da pesquisa realizada, assim como a aplicação de critérios na seleção dos estudos considerados na revisão.

A partir do levantamento foi possível captar os estudos mais detalhados publicados na área, o que desse modo, possibilitou a identificação de padrões gerais relacionados às questões de assimetria flutuante como indicador sensível ao estresse nas plantas.

Figura 1 – Diagrama de fluxo contendo os critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos.



Fonte: Arquivo dos autores, 2024.

Após a aplicação do filtro foi perceptível que os trabalhos selecionados de acordo com os critérios de inclusão abordavam uma relação de estresse com o retardo foliar, os quais foram: estudos que não evidenciaram valores significativos para a AF, por diversos motivos, seja pelo fato de algumas espécies apresentarem níveis de resistências e adaptação a ambientes estressantes, seja pelo fato da assimetria flutuante não apresentar valores que possam ser utilizados como indicador de exposição a estresse, apresentando assim lacunas no processo de comparação dos níveis de assimetria flutuante das folhas e das flores entre as espécies, totalizando assim 17 trabalhos sobre assimetria flutuante em plantas como indicador sensível a estresse, conforme exemplificado na tabela 1.

Os resultados obtidos evidenciam que as plantas apresentam alterações em seu desenvolvimento ou no processo de germinação em áreas antropizadas, emitindo assim respostas aos estresses ambientais. Nesse sentido, a AF contribui na observação de desvios

significativos nas plantas permitindo assim inferir sobre instabilidades de desenvolvimento. Desse modo, é importante considerar que as influências externas afetam o equilíbrio da planta, podendo desencadear mudanças na sua estrutura, sendo considerado estresse (Costa *et al.*, 2024).

Tabela 1 – Representação de dados de acordo com os critérios de inclusão.

NOME DA ESPÉCIE	RESULTADOS	AUTORES
<i>Qualea grandiflora</i>	As diferenças edáficas entre as áreas estudadas não foram suficientes, para provocar discrepâncias nos valores de AF das folhas de <i>Q. grandiflora</i> . Os resultados obtidos não comprovaram que solos calcários afetam o desenvolvimento da espécie.	Dutra; Pinheiro, (2021)
<i>Acosmium dasycarpum</i> ; <i>Byrsonima crassa</i> Nied.; <i>Caryocar brasiliense</i> ; <i>Davilla elliptica</i> St. Hill.; <i>Matayba guianensis</i> Aubl.; <i>Miconia fallax</i> DC.; <i>Oualea parviflora</i> Mart.; <i>Roupala montana</i> Aubl.	Foi descoberto que apenas <i>C. brasiliense</i> possui folíolos arredondados, enquanto as demais espécies que foram observadas possui formato alongado e assimetria flutuante foi significativamente diferente entre indivíduos da mesma área.	Reis; Paula; Araújo (2019)
<i>Banisteriopsis malifolia</i>	A maior quantidade de <i>B. malifolia</i> foi encontrada na borda da estrada e as análises não demonstraram que existe nessas áreas uma maior incidência de radiação solar, já que não houve diferença na cobertura vegetal sobre as plantas da borda quando comparadas com as plantas do interior da mata.	Santos; Claro (2018)
<i>Cecropia pachystachya</i> (Urticaceae)	Foi encontrado diferença na <i>Cecropia pachystachya</i> em áreas sob influência de atividades mineradoras e de tráfego intenso apresentaram os maiores níveis de assimetria flutuante, foi observado 779 folhas e apenas 13 eram simétricas.	Mendes; Cornelissen (2014)
<i>Cordia superba</i>	Em relação ao ângulo foliar, a média das plantas de sol foi maior em relação às plantas de sombra. O teor de clorofila das plantas de sombra teve valores maiores que as plantas de sol. Nas plantas de sol o número de ramos, o das folhas, o comprimento dos ramos, o diâmetro do caule foi maior. Já a distância média entre as folhas das plantas de sombra era maior que as plantas de sol.	Souza <i>et al.</i> (2009)
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	A ferramenta foi eficaz na porcentagem da germinação de sementes, mostrando que houve variáveis na área preservada em relação a área antropizada, ou seja, as sementes assimétricas germinaram mais na área preservada, enquanto as sementes simétricas germinaram mais na área antropizadas.	Cardoso (2017)

<i>Eugenia uniflora</i> ; <i>Plinia cauliflora</i> ; <i>Psidium guajava</i> .	A poluição de veículos em áreas urbanizadas, é capaz de alterar as dimensões das folhas, particularmente gerar desvios na assimetria foliar de espécies de Myrtaceae.	Brito; Silva; Fluminhan (2019)
<i>Glycine max</i> (L.) Merrill.	A radiação ultravioleta-C promoveu danos aos folíolos, apresentando variações de simetria demonstrando a eficiência das análises de desvio de simetria e da fluorescência da clorofila-a, para a detecção do estresse por radiação ultravioleta-C.	Silva <i>et al.</i> (2011)
<i>Microstachys serrulata</i>	Encontramos diferenças na fenologia, a brotação foliar e a presença de folhas em expansão, na população do campo sujo foi mais intensa do que no cerrado em meses diferentes.	Faria; Claro (2018)
<i>Phoradendron sp</i> ; <i>Phthirusa sp</i> ; <i>Mimosa tenuiflora</i>	AF não diferiu significativamente entre as folhas de <i>M. tenuiflora</i> não parasitadas e ramos parasitados, enquanto as parasitadas por <i>Phthirusa</i> foram encontradas diferenças significativas de AF entre os ramos parasitados.	Chagas <i>et al.</i> (2012)
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Não se mostrou uma ferramenta precisa para bioindicação vegetal, visto que a espécie <i>S. terebinthifolius</i> apresenta certa resistência e grande capacidade adaptação a ambientes estressantes.	Costa <i>et al.</i> (2022)
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Não evidenciaram valores significativos para AF nos espécimes coletados.	Oliveira <i>e tal.</i> (2021)
<i>Tithonia diversifolia</i> (Asteraceae)	Herbivoria simulada não foi capaz de induzir respostas às folhas de <i>Tithonia diversifolia</i> . Porém altos níveis de herbivoria podem impactar negativamente a aptidão de juvenis dessa espécie invasora, mas não a ponto de aumentar a AF das mesmas.	Silva (2017)
<i>Trembleya laniflora</i> ; <i>T. parviflora</i> ; <i>Lavoisiera campos-portoana</i> ; <i>L. cordata</i> e <i>Tibouchina heteromalla</i>	Para as espécies estudadas, a AF não pode ser utilizada como preditor da instabilidade de desenvolvimento do indivíduo, devido a não existência de uma relação positiva entre os níveis de AF das folhas e flores, não podendo ser utilizada como indicador de exposição ao estresse, da qualidade individual ou fitness.	Pereira; Cornelissen (2011)
<i>Eugenia uniflora</i> ; <i>Plinia cauliflora</i> ; <i>Psidium guajava</i> .	Houve uma diminuição do comprimento e largura das folhas de <i>E. uniflora</i> alocadas no ambiente urbano quando comparado às folhas de <i>E. uniflora</i> alocadas no ambiente natural.	Brito; Silva; Fluminhan (2019)
<i>Turnera subulata</i> Sm.	A assimetria floral influenciou negativamente o tempo de contato dos visitantes com os órgãos reprodutores.	Carlos; Fischer; Terra-Araujo (2018)

Fonte: Arquivo dos autores, 2024.

As plantas apresentam diferentes respostas às situações que são submetidas, onde uma das principais é a modificação no comprimento como na largura das folhas sendo perceptível

nas pesquisas realizadas com representantes das espécies de *P. guajava*, *E. uniflora* e *P. cauliflora* sendo possível observar um resultado semelhante na análise dos efeitos da AF no desenvolvimento e germinação de 100 sementes de *Enterolobium contortisiliquum* que evidencia que as sementes de áreas antropizada apresentam singularidades se consideradas com as de áreas preservadas, sendo possível observar uma assimetria e uma maior instabilidade no desenvolvimento na área antropizada.

Desse modo, é perceptível que o uso da técnica da AF, possui a capacidade de detectar alterações no desenvolvimento da planta, quando esta é submetida a alguma circunstância de estresse ambiental, sendo de grande relevância (Silva *et al.*, 2011).

Em contrapartida, algumas espécies estudadas evidenciam que a AF não pode ser utilizada, visto que os resultados obtidos não podem ser utilizados como indicativos de estresses seja pelo fato de plantas como as da espécies *Trembleya laniflora*, *T. parviflora*, *Lavoisiera campos-portoana*, *L. cordata* e *Tibouchina heteromalla* apresentarem forte influência genética, seja pelo fato de espécies como *S. terebinthifolia* apresentaram um certo nível de resistência e capacidade de adaptação a situações estressantes.

Nesse sentido, é possível ainda averiguar que há uma diferença na fenologia em representantes da *M. serrulata* levando em consideração a análise de dois ambientes que os autores têm suas hipóteses retrucadas, pois apesar de se encontrar em um ambiente seco não foi obtido um resultado que embase essa teoria, todavia o estresse hídrico e a exposição solar direta impactam negativamente essas populações.

Logo, apesar de, na maioria das vezes, ser difícil detectar a AF sem os instrumentos de medição necessários, ela é considerada um padrão de variação comum, pois assim como as características simétricas, em determinados indivíduos, são observadas a tempos por alguns pesquisadores, as assimétricas têm sido alvo de estudo a fim de compreender o porquê de algumas partes apresentarem diferenças, quando deveriam ser iguais (Sanseverino e Nessimian, 2008; Rocha, 2018).

Por conseguinte, o uso de bioindicadores sensíveis aos estresses ambientais são indispensáveis, tendo em vista que podem ser úteis na análise da qualidade ambiental, atesta as especificidades a certos tipos de impactos, já que inúmeras espécies são sensíveis a certos tipos de poluentes, mas tolerantes a outros (Mendes, 2014). Dessa maneira, segundo Sandner e Matthies (2017), a AF pode ser considerada uma boa alternativa para averiguar os níveis de estresses ambientais, no entanto não se aplica a todas as espécies pois as referidas muitas vezes

podem apresentar mecanismos de adaptação ou de resistência o que influencia diretamente na redução ou na ausência dos níveis de AF.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, a assimetria flutuante (AF) em plantas é considerado um método confiável para acompanhar a variação no desenvolvimento das mesmas, sendo uma ferramenta de resposta facilmente quantificável. Entretanto, não é uma ferramenta que abarca todas as modificações para realizar bioindicação vegetal, sendo necessária assim a aferição de dados complementares para constatar o estresse sofrido por organismos em determinadas situações. Sendo assim, para que novas soluções sobre métodos que avaliem a presença de estresse em plantas surjam, é importante desenvolver novos estudos nessa área, contribuindo para a conservação desses seres, através do monitoramento populacional.

REFERÊNCIAS

- ALADOS, C. L. et al. Instabilidade de desenvolvimento e aptidão em *Periploca laevigata* experimentando distúrbio de pastejo. *Int. J. Plant Sei.* 163, p. 163-969, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/342630>.
- BRITO, L. de. Potenciais impactos de poluentes do ar sobre a biodiversidade urbana: uma abordagem em plantas da família Myrtaceae. Dissertação (em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) -Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente –SP, 2018.
- BRITO, L.; SILVA P.; FLUMINHAN, A. Alterações foliares sugerem efeitos da poluição veicular em plantas da família Myrtaceae em áreas urbanas. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais.* v. 10, 2019.
- CAMPOS, A. J. de M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, 2021.
- CARDOSO, I. B. Efeito da assimetria flutuante no desenvolvimento e na germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong em áreas de Mata Seca com diferentes status de conservação. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

CARLOS, P. Características florais e visitantes da *Turnera subulata* Sm. (Passifloraceae) em gradiente de urbanização. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, 2018.

CASTRO, M. G. B. de et al. O imperfeito é melhor: Assimetria flutuante e herbivoria em *Macairea radula* (Melastomataceae). In: Congresso Nacional de Botânica, 64., 2013, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2013.

CHAGAS, C. C. O. Et al., In livro: Ecologia da Caatinga: curso de campo Assimetria foliar em plantas parasitadas e não parasitadas por ervas-de-passarinho, (pp .97 - 113) Capítulo: 6, 2012.

CORNELISSEN, T.; STILING, P. Small variations over large scales: fluctuating asymmetry over the range of two oak species. *International Journal of Plant Sciences*, n° 3, p. 303-309, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/650202>.

COSTA, A. C. B. et al. Bioindicação vegetal em espaços públicos urbanos: análise da assimetria flutuante em folhas de *Schinus terebinthifolia* Raddi (Anacardiaceae). *Research, Society and Development*, v.11, n.7, 2022.

COSTA, M. D et al., Expressão de genes responsivos ao déficit hídrico em plantas do semiárido brasileiro: uma revisão sistemática. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v.17, n.1, p.7259 -7278, 2024.

DÍAZ, M.; PULIDO, F. J.; MOLLER, A. P. Efeitos dos herbívoros na instabilidade do desenvolvimento e fecundidade de azinheiras. *Oecologia* 139, 224-234, 2004.

12

DUTRA, A. M.; PINHEIRO, M. H. O. Assimetria Flutuante em *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae) em áreas remanescentes de cerrado sensu stricto com diferentes status edáficos. 2021. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2021.

FARIA, Í.A. Fenologia, assimetria flutuante e biologia reprodutiva de *Microstachys serrulata* condicionada ao ambiente e à diferentes regimes de exposição à luz solar. Monografia (Curso de Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

FROTA, G. P. Assimetria flutuante de duas espécies de crustáceos em quatorze praias do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) -Instituto de Biociências, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GRAHAM, J. H.; RAZ, S.; HEL-OR, H.; NEVO, E. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. *Symmetry*, n° 2, p. 466-540, 2010.

KLINGENBERG, C. P. Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods, and applications. *Symmetry*, n. 7(2), p. 843-934, 2015.

LUDWIG, W. Das Rechts-links problem im Teirreich und beim Menschen. Berlin: Springer, p. 496, 1932.

MENDES, G. M. Assimetria Flutuante como bioindicadora de mudanças ambientais e interações tróficas em *Cecropia pachystachya* (Urticaceae). Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

OLIVEIRA, J. P. et al. Assimetria flutuante em folíolos de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi, Anacardiaceae) em espaço público urbano, Arapiraca-AL. *Diversitas Journal*. 6. 445-459. 2021.

OLIVEIRA, P. S. et al. Assimetria flutuante em folíolos de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi, Anacardiaceae) em espaço público urbano, Arapiraca-AL. *DIVERSITAS JOURNAL*. Santana do Ipanema/AL. vol.6, n. 1, p.445-459, 2021.

OLIVEIRA, T. C. T.; MONTEIRO, A. B.; FARIA, L. D. B. Can multitrophic interactions shape morphometry, allometry, and fluctuating asymmetry of seed-feeding insects?. *PloS ONE*, 15(11), 1-17, 2020.

ORIHUELA, R. L. L.; OLIVEIRA, P. L.; MOLINA JUNIOR, A. Bioindicação Vegetal em área de refinaria –assimetria flutuante de folhas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). In: Congresso de Ecologia do Brasil, 7., 2005, Caxambu. *Anais...Caxambu*, 2005.

PALMER, A. Richard.; STROBECK, Curtis. Fluctuating asymmetry: measurements, analysis, patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 17, p. 391-421, 1986.

PEREIRA, C. C. T. Assimetria Flutuante, Herbivoria e Polinização em Melastomataceae. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 56 f., 2011.

PEREIRA, M. R. R. et al. Estresse hídrico induzido por soluções de peg e de NaCl na germinação de sementes de nabiça e fedegoso. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 687-696, 2014.

PERILO, L. N. et al. Assimetria Flutuante e herbivoria em caryocar brasiliense cambess. (caryocalaceae): diversidade de galhas e interações ecológicas. *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*. Caxambu - MG, 2007.

RIBEIRO, V. A. et al. Fluctuating asymmetry of and herbivory on *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (Fabaceae) in pasture and Secondary Tropical Dry Forest. *Acta Botanica Brasilica*, v. 27, p. 21-25, 2013.

REIS, N. S.; PAULA, C. L. ARAÚJO, G. M. Variações fenotípicas em espécies lenhosas do Cerrado em três áreas no Triângulo Mineiro. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
ROCHA, B. M. Assimetria flutuante e seleção natural em *Carollia perspicillata* (Linnaeus, 1758) (Chiroptera: Phyllostomidae). Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes -RJ, 2018.

SANDNER, T. M.; MATTHIES, D. Fluctuating asymmetry of leaves is a poor indicator of environmental stress and genetic stress by inbreeding in *Silene vulgaris*. *Ecological Indicators*, v. 79, p. 247-253, 2017.

SANSEVERINO, A. M.; NESSIMIAN, J. L. Assimetria flutuante em organismos aquáticos e sua aplicação para avaliação de impactos ambientais. *Oecologia Brasiliensis*, 12: 382-405, 2008.

SANTOS, L. R.; DEL CLARO, K. Gradientes ambientais e efeito de borda não afetam aspectos da história de vida e características funcionais de uma planta neotropical. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SANTOS NETO, P. E. Efeito de perturbações antrópicas e níveis de precipitação nas interações entre plantas e insetos herbívoros na caatinga. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Biologia Animal, Recife, 2016.

SILVA, H. V. Efeitos da herbivoria e condições ambientais sobre a instabilidade no desenvolvimento e resposta vegetativa em *Tithonia diversifolia* (Asteraceae). Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SILVA, P. M. et al. Fluorescência da clorofila-a e variação da simetria como ferramentas de investigação de plantas sob estresse. *Idesia (Arica)*, v. 29, n. 3, 45-52. 2011.

SOUZA, A. et al. Estratégias de utilização de luz e estabilidade do desenvolvimento de plântulas de *Cordia superba* Cham (Boraginaceae) crescidas em diferentes ambientes. *Acta Botanica Brasilica*, v.23, p. 474 - 484, 2009.

TORREZ-TERZO, G.; PAGLIOSA, P. R. Assimetria flutuante como biomarcador de estresse ambiental: Um estudo de caso com *Avicennia Schaueriana* Stapf & Leechm. Ex Moldenke (Acanthaceae). *Insula: REVISTA DE BOTÂNICA*, Florianópolis, v. 36, p. 75-94, 2007.

WHITE, T. C. R. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia* 63: 90-105, 1984.