

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA - DB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA – PPGB
NÍVEL MESTRADO

DIEGO NATHAN DO NASCIMENTO SOUZA

FENOLOGIA DE CINCO ESPÉCIES HERBÁCEAS EM DUAS ÁREAS
(PRESERVADA E ANTROPIZADA) DE UMA FLORESTA TROPICAL SECA
(CAATINGA)

RECIFE-PE

2012

DIEGO NATHAN DO NASCIMENTO SOUZA

**FENOLOGIA DE CINCO ESPÉCIES HERBÁCEAS EM DUAS ÁREAS
(PRESERVADA E ANTROPIZADA) DE UMA FLORESTA TROPICAL SECA
(CAATINGA)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Botânica.

ORIENTADORA:

Dra. Elcida de Lima Araújo

CO-ORIENTADORAS:

Dra. Cibele Cardoso de Castro

Dra. Lúcia Helena Piedade Kiill

RECIFE-PE

2012

Ficha Catalográfica

S729f Souza, Diego Nathan do Nascimento
Fenologia de cinco espécies herbáceas em duas áreas
(preservada e antropizada) de uma floresta tropical seca
(caatinga) / Diego Nathan do Nascimento Souza. -- Recife,
2012.

72 f. : il.

Orientadora: Elcida de Lima Araújo.

Dissertação (Mestrado em Botânica) - Programa de Pós-
Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Recife, 2012.

Inclui referências e anexo.

Antropizada 2. Precipitação 3. Semiárido I. Araújo,
Elcida de Lima, orientadora II,. Título

CDD 581

DIEGO NATHAN DO NASCIMENTO SOUZA

**FENOLOGIA DE CINCO ESPÉCIES HERBÁCEAS EM DUAS ÁREAS
(PRESERVADA E ANTROPIZADA) DE UMA FLORESTA TROPICAL SECA
(CAATINGA)**

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Elcida de Lima Araújo – PPGB/UFRPE (Orientadora)

Profa. Dra. Isabel Cristina Sobreira Machado – UFPE (Titular)

Profa. Dra. Ana Virgínia de Lima Leite – UFRPE (Titular)

Profa. Dra. Margareth Ferreira de Sales – UFRPE (Titular)

Profa. Dra. Tarcila de Lima Nadia – CAV/UFRPE (Suplente)

RECIFE-PE

2012

Dedico a toda minha família, em
especial aos meus pais Titico e
Julieta, aos meus irmãos Jussier e
Jayane, e a minha esposa Marciana.
Amo demais cada um de vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder saúde e força para superar os obstáculos que a vida apresenta e pela oportunidade de conhecer pessoas tão especiais ao longo de minha caminhada.

À minha orientadora, Profa. Dra. Elcida de Lima Araújo, por sua paciência, apoio, conselhos, e por seus preciosos ensinamentos que fortemente me ajudaram na conclusão deste trabalho. Obrigado também pelas vezes em que precisei dos famosos “puxões de orelha”, que muito contribuíram para o meu crescimento.

Às professoras Dra. Cibele Cardoso de Castro e Dra. Lúcia Helena Piedade Kiill pela co-orientação deste trabalho, através de suas críticas e sugestões.

Às professoras que participaram da banca examinadora: Dra. Isabel Cristina Sobreira Machado, Dra. Ana Virgínia de Lima Leite, Dra. Margareth Ferreira de Sales e Dra. Tarcila de Lima Nadia, por suas sugestões e críticas para a melhoria deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida e pelo apoio financeiro (Processo: 477239/2009-9).

A todos os funcionários da Estação Experimental José Nilson de Melo, do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, em Caruaru, pelo apoio logístico.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, através do Programa de Pós-Graduação em Botânica (PPGB), pela oportunidade de obtenção do título de Mestre e pelo apoio logístico, e aos seus funcionários, em especial a minha amiga Kênia Freire.

A todos os professores do PPGB, por seus ensinamentos e conselhos, em especial à professora Dra. Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos, por sua atenção e amizade.

A todos os meus amigos do Laboratório de Ecologia Vegetal dos Ecossistemas Nordestinos (LEVEN), que me receberam tão bem e que dividiram comigo momentos memoráveis, em especial a Josiene, Danielle, Juliana, Izabelle, Renata, Leonardo e ao professor Dr. Kleber Andrade da Silva.

A todos os meus colegas da TUM (Turma Unida do Mestrado): Alejandro, Andrea, Andresa, Edson, Helton, Ivanilda, Liliane, Mariana, Micheline, Patrícia, Paula e Ribamar, por compartilharem seus conhecimentos e pelos momentos de descontração ao longo desses dois anos.

Ao professores Dr. Ramiro Gustavo Valera Camacho e Dr. José Iranildo Miranda de Melo pela amizade, conselhos e atenção.

Aos grandes amigos que fiz ao longo de minha jornada: Cláudio (Zé Bolinha), Noelia Silva, Lamarck Rocha, Iraê Terra, Jocileide Marinho, Ana Paula, Aline, Camilo, Danielle, Micássio, André, Gislana, Luciana Batista e Simone Souza.

Aos meus amados amigos Jefferson Thiago Souza e Eveline Pinheiro de Aquino pela amizade sincera e verdadeira, pelo companheirismo, pelos conselhos e por fazerem nossos momentos aqui em Recife serem mais divertidos.

A todos os Frades Menores Capuchinhos que me acolheram tão bem no Convento da Penha durante os primeiros meses deste mestrado, em especial ao Frei Franklin Diniz, um verdadeiro pai e amigo.

A toda minha família que, de alguma forma, contribuiu bastante na minha formação como profissional e como cidadão, em especial aos meus padrinhos, Francisco Teixeira e Josélia Maria, à minha tia Julita Maria e à minha prima Lizianne Juline, pelo grande incentivo.

Aos meus queridos e amados irmãos, Jussier e Jayane, companheiros e amigos de grandes aventuras, e fortes incentivadores de minha constante ascensão intelectual.

Aos meus pais, Francisco de Assis Souza (Titico) e Julieta Neuza do Nascimento Souza, pelo amor, carinho, respeito, amizade, alegria, responsabilidade e educação; pelo lar aconchegante que me presentearam; por sempre acreditarem em mim e nos meus estudos, influenciando-me desde criança; e pela compreensão de minha ausência do convívio familiar. Amo demais vocês dois.

De forma toda especial à minha querida e amada esposa, Marciana Bizerra de Moraes, por seu amor, carinho, compreensão, amizade, companheirismo, respeito e, sobretudo, por todo o seu apoio nos momentos bons e de dificuldade. Obrigado por você fazer parte de minha vida, ou melhor, por ser a metade de mim. Amo você minha pequena Ninha.

E, por fim, a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta na minha formação acadêmica e na realização desta dissertação.

Muito obrigado a todos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. Estudos fenológicos.....	12
2.2. Florestas tropicais secas e os estudos com herbáceas.....	15
2.3. Estudos fenológicos em áreas antropizadas.....	18
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
Artigo a ser enviado ao periódico Journal of Arid Environments	
Respostas fenológicas de cinco herbáceas em ambientes secos com diferentes <i>status</i> de conservação	31
RESUMO	31
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1. Área de estudo	33
2.2. Observações fenológicas	34
2.3. Análise dos dados	35
3. RESULTADOS	36
3.1. Brotamento e queda foliar	36
3.2. Floração e frutificação	37
4. DISCUSSÃO	39
4.1. Brotamento e queda foliar	39
4.2. Floração e frutificação	40
5. AGRADECIMENTOS	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	56

LISTA DE TABELAS

Respostas fenológicas de cinco herbáceas em ambientes secos com diferentes *status* de conservação

- Tabela 1.** Índice de atividade (Bencke e Morellato, 2002b) demonstrando a sincronia dos indivíduos de cada população de terófitas da caatinga quanto às fenofases: brotamento de novas folhas (bnf), floração (flor), frutificação (frut) e queda foliar (qf), em duas áreas (preservada e antropizada) no município de Caruaru, nordeste do Brasil. Para o índice de atividade utilizou-se o percentual (%) de indivíduos manifestando as fenofases. 50
- Tabela 2.** Correlação de Spearman (r_s) entre a precipitação (janeiro a outubro de 2011) e a frequência de indivíduos, pertencentes a cinco espécies de herbáceas anuais da caatinga, manifestando as fenofases: brotamento de novas folhas (bnf), floração (flor), frutificação (frut) e queda foliar (qf), em duas áreas (preservada e antropizada) no município de Caruaru, nordeste do Brasil 51
- Tabela 3.** Teste do qui-quadrado (χ^2), avaliando-se o número total de estruturas reprodutivas produzidas por populações de cinco espécies de herbáceas anuais da caatinga, entre duas áreas (preservada e antropizada) em Caruaru, nordeste do Brasil..... 52
- Tabela 4.** Correlação de Spearman (r_s) entre a precipitação (janeiro a outubro de 2011) e o número de estruturas reprodutivas produzidas por cinco espécies de herbáceas anuais da caatinga em duas áreas (preservada e antropizada) no município de Caruaru, nordeste do Brasil..... 53

LISTA DE FIGURAS

Respostas fenológicas de cinco herbáceas em ambientes secos com diferentes *status* de conservação

- Figura 1.** Precipitação do período de janeiro a dezembro de 2011, registrada pela Estação Experimental José Nilson de Melo, em uma região de floresta tropical seca, Caruaru-PE, nordeste do Brasil. 54
- Figura 2.** Presença e ausência das fenofases vegetativas e reprodutivas de espécies terófitas de duas áreas (preservada e antropizada) da caatinga, no município de Caruaru, nordeste do Brasil. (símbolos preenchidos referem-se à população da área preservada, e símbolos sem preenchimento tratam da população da antropizada; barra cinza indica a estação chuvosa nas áreas de estudo). 55

RESUMO

Sabe-se que as plantas podem apresentar uma variação em suas características fenológicas, resultantes de uma interação com diversos fatores entre áreas diferentes, e que essas variações podem ser fundamentais para seu sucesso reprodutivo. Nesta perspectiva, áreas que são modificadas por ações humanas oferecem condições diferentes das áreas preservadas, e isto pode afetar a intensidade e o ritmo de cada fenofase vegetal. Sabe-se também que em ambientes de florestas secas, um dos principais fatores que influencia o desenvolvimento das plantas é a precipitação, principalmente das espécies herbáceas anuais, que geralmente crescem e reproduzem-se no período chuvoso. No entanto, a fenologia de espécies herbáceas em florestas secas perturbadas ainda é pouco conhecida, principalmente na caatinga, Nordeste do Brasil. Por este motivo, este estudo tem como objetivo conhecer um pouco mais sobre a fenologia do componente herbáceo da caatinga, apresentando as seguintes hipóteses: 1. A época de manifestação das fenofases pode diferir entre uma área preservada e uma antropizada em uma região de caatinga. 2. O nível de sincronia das fenofases das populações de ocorrência simultânea nas duas áreas tende a ser diferente. 3. A quantidade de flores e frutos das populações herbáceas analisadas pode ser diferente entre os locais (preservado e antropizado). 4. A manifestação das fenofases de herbáceas anuais pode apresentar uma correlação com a precipitação local durante seu ciclo de vida. O estudo foi desenvolvido em duas áreas de caatinga, sendo uma remanescente desse ecossistema, chamada de preservada, e outra de cultivo abandonado e em regeneração natural, denominada de antropizada, ambas pertencentes ao Instituto Agrônomo de Pernambuco, Caruaru-PE, Brasil. Nas duas áreas foram selecionados 30 indivíduos de cinco espécies herbáceas anuais: *Bidens bipinnata* L., *Commelina obliqua* Vahl, *Delilia biflora* (L.) Kuntze, *Desmodium glabrum* (Mill.) DC. e *Pseudabutilon spicatum* (Kunth) R.E. Fr., que tiveram suas fenofases vegetativas e reprodutivas acompanhadas semanalmente durante todo o seu ciclo de vida, compreendido de janeiro até outubro de 2011. Realizou-se uma comparação da época, sincronismo, número de estruturas reprodutivas e níveis de correlação entre a precipitação e as fenofases das populações dos dois trechos, esperando-se encontrar diferenças quanto a essas variáveis. Foi visto que as populações não apresentaram fortes variações na época e no sincronismo de suas fenofases, entre os dois ambientes. Entretanto, apenas uma espécie não apresentou um alto sincronismo na floração, frutificação e queda foliar para as duas áreas. Observou-se também que quatro espécies apresentaram diferença significativa no número de estruturas reprodutivas produzidas por cada população, demonstrando a interferência das áreas neste aspecto fenológico. Por outro lado, embora seja certo que muitas plantas da caatinga apresentem uma dependência da precipitação para o seu desenvolvimento, não foi visto nenhuma correlação significativa entre este fator e as fenofases reprodutivas das ervas nas duas áreas durante o seu ciclo de vida. Para as fenofases vegetativas foi observada uma correlação significativa com a precipitação local. Por fim, os resultados deste estudo indicam que não há uma diferença perceptível na manifestação das fenofases em populações de ervas terófitas da caatinga presentes em ambientes próximos, mas sujeitos a diferentes condições quanto ao deslocamento da época da fenofase, ou na sincronia. Contudo, quanto à produtividade, a área de cultivo abandonado apresentou uma maior produção de estruturas reprodutivas das populações de *Bidens bipinnata* e *Commelina obliqua*, enquanto que a área preservada foi mais favorável para uma maior produção de estruturas reprodutivas das populações de *Desmodium glabrum* e *Pseudabutilon spicatum*. Dessa forma, algumas espécies herbáceas apresentam uma relação mais positiva com áreas em regeneração, favorecendo suas respostas fenológicas, enquanto outras não apresentam este tipo de relação com essas áreas.

Palavras-chave: Áreas modificadas, ervas, fragmentos antropizados, sincronismo fenológico.

ABSTRACT

Plants may present a broad variation in phenological features, as a consequence of the interaction between biotic and abiotic factors that influence reproductive success. Thus, areas that are subjected to different degrees of anthropogenic pressure offer distinct conditions to the establishment and development of plant populations, including the occurrence and the intensity of phenological events. One of the most important factors that influence plant development in dry forests is the precipitation, mainly for annual herbaceous species, which generally grow and reproduce in the rainy season. The phenology of these plants is poorly documented, mainly in the caatinga, a dry forest vegetation that grows in NE Brazil. For this reason, this study aims to learn more about the phenology of caatinga grass, with the following hypotheses: 1. The period of manifestation of phenophases may differ between a disturbed and a preserved area in a region of caatinga. 2. The level of synchrony of the populations of phenophases occur simultaneously in both areas tend to be different. 3. The amount of flowers and fruits of herbaceous populations studied may be different among sites (preserved and anthropic). 4. The manifestation of phenophases of herbaceous annual can have a correlation with local rainfall during its life cycle. The study was conducted in two areas of caatinga vegetation. One of them is a remnant of caatinga forest, hereafter called preserved one, and the other is an area that is regenerating, when occurred the abandon of agricultural practices. Both areas are located in the Instituto Agronômico de Pernambuco, Caruaru municipality, NE Brazil. In each area the vegetative and reproductive phenophases of 30 individuals of five annual, herbaceous species: *Bidens bipinnata* L., *Commelina obliqua* Vahl, *Delilia biflora* (L.) Kuntze, *Desmodium glabrum* (Mill.) DC. and *Pseudabutilon spicatum* (Kunth) R.E. Fr., were accompanied weekly during all their life cycle, understood from January to October 2011. The period, synchrony, number of reproductive structures and levels of correlation between precipitation and phenophases were compared between the two areas. It was observed a high synchrony in the phenological events between the two areas. It was found that the populations did not show strong variations in time and timing of their phenophases between the two environments. However, only one species did not show a high synchronization in flowering, fruiting and leaf drop for both areas. It was also noted that four species showed significant differences in number of reproductive structures produced by each population, demonstrating the interference of phenological areas in this regard. On the other hand, while it is true that many plants of the caatinga have a dependence on rainfall for its development was not seen any significant correlation between this factor and reproductive phenophases of herbs in two areas during their life cycle. For vegetative phenophases were observed a significant correlation with the local precipitation. Finally, the results of this study indicate that there is not a noticeable difference in the manifestation of phenophases in populations of the savanna grasses therophytes present in the immediate environment, but subject to different conditions as to shift the time of the phenophase, or in sync. However, the productivity, abandoned cultivation area had a greater production of reproductive structures of populations of *Bidens bipinnata* and *Commelina obliqua*, while the preserved area was more favorable for a higher production of reproductive structures of populations and *Pseudabutilon spicatum* and *Desmodium glabrum*. Thus, some herbaceous species have a more positive relationship with regenerating areas, favoring their phenological responses, while others do not have this type of relationship with these areas.

Key-words: Anthropogenic areas, fragments, herbs, phenological synchrony.

1. INTRODUÇÃO

A fenologia busca compreender como as mudanças sazonais influenciam na vida das plantas, isto é, em seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, e a interação desse desenvolvimento com as interferências do meio ambiente (ODUM e BARRETT, 2007). Essas interferências do meio podem se expressar diferentemente em áreas com distintas condições de conservação, uma vez que essas áreas apresentam características peculiares em seus fatores ecológicos, que podem alterar as respostas fenológicas das plantas (ABBOTT et al., 2007).

Bencke e Morellato (2002a) evidenciam que as espécies vegetais podem apresentar variações nos seus padrões fenológicos, relacionadas à variação na composição específica entre áreas próximas e às diferentes condições ambientais, peculiares de cada local. Áreas com diferentes *status* de conservação, por exemplo, podem apresentar condições diferentes, fazendo com que as espécies manifestem variações em suas respostas fenológicas, como na época e no nível de sincronismo de suas fenofases (MARCO et al., 2000).

Assim, como em outras áreas de florestas secas, pouco se sabe sobre os processos ecológicos em áreas que passam pelo processo de regeneração natural na caatinga (SANTOS, 2010), principalmente no que diz respeito aos estudos fenológicos e às respostas das plantas em áreas que sofreram atividade antrópica e que apresentam diferenças em suas condições ambientais. Sabe-se também que a caatinga vem sofrendo cada vez mais com atividades antrópicas, tanto através da alteração de áreas, quanto com a extração de seus recursos naturais (LEAL et al., 2003).

Outro fato importante é que as plantas de ecossistemas secos apresentam uma grande dependência da precipitação para o seu desenvolvimento (BORCHERT, 1999). Van Schaik et al. (1993) afirmam que a vegetação presente em ambientes expostos a climas sazonais apresenta maior desenvolvimento na produção de folhas, flores e frutos no início da estação chuvosa, com a quantidade de chuvas impulsionando as fenofases. Porém, pouco se sabe sobre o nível de correlação entre a precipitação e as fenofases de espécies anuais.

Além do mais, é importante destacar que os estudos fenológicos ainda vêm sendo pouco desenvolvidos em florestas tropicais secas, como na caatinga (BARBOSA et al., 1989; MOURA, 2007), se comparado com outros ecossistemas, como a Mata Atlântica e o cerrado, principalmente enfocando o estrato herbáceo. Os estudos realizados neste ecossistema, bem como em outros de floresta seca, conferem maior ênfase ao estrato arbustivo-arbóreo (ver FRANKIE et al., 1974; MACHADO et al., 1997; BORCHERT, 1999; BARBOSA et al., 2003; LIMA et al., 2008; AMORIM et al., 2009; SIQUEIRA FILHO et al., 2010; VALDEZ-HERNÁNDEZ et al., 2010). Poucos estudos enfocam a fenologia de espécies herbáceas na

caatinga (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2008; LIMA et al., 2010), e em outras áreas de florestas secas (ALMEIDA, 1995; MUNHOZ e FELFILI, 2005; ABBOTT et al., 2007).

O estrato herbáceo da caatinga apresenta elevada riqueza (ARAÚJO et al., 2002) e possui papel crucial na manutenção da biodiversidade por atuar em vários processos, como na interferência do recrutamento de plântulas; na disponibilização de pólen, néctar e resina para a fauna local, servindo como fonte adicional de alimento; e no auxílio em reter as sementes na camada superficial do solo (SANTOS, 2010).

Logo, considerando o crescente avanço na transformação das áreas de vegetação nativa e o pouco conhecimento sobre a regeneração de áreas antropizadas na caatinga, sobretudo das respostas fenológicas do componente herbáceo na caatinga aos diferentes ambientes com *status* distintos de conservação, objetivou-se responder os seguintes questionamentos: 1. A época de manifestação das fenofases vegetativas e reprodutivas de herbáceas difere entre uma área preservada e uma antropizada em uma região de caatinga? 2. Qual o nível de sincronia das fenofases das populações herbáceas de ocorrência simultânea nas duas áreas? 3. A quantidade de flores e frutos das populações herbáceas analisadas difere entre os locais (preservado e antropizado)? 4. A manifestação das fenofases de herbáceas anuais pode apresentar uma correlação com a precipitação local durante seu ciclo de vida? Para isso, espera-se que existam diferenças na época e no sincronismo das fenofases entre as populações, bem como na produção de estruturas reprodutivas entre essas populações nas duas áreas, e de as fenofases vegetativas e reprodutivas apresentarem correlação significativa entre a precipitação e as fenofases das herbáceas anuais da caatinga durante o seu ciclo de vida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Estudos fenológicos

Uma das definições mais citadas de fenologia, proposta por Lieth (1974), diz que é o estudo de acontecimentos biológicos cíclicos e da influência de fatores bióticos e abióticos sobre os mesmos. Esse conhecimento torna possível a compreensão das interações entre vegetais e animais relacionados, por exemplo, com a polinização e a dispersão de diásporos. Estes acontecimentos podem estar relacionados com um ou vários fatores ambientais, representando estratégias adaptativas para uma determinada população (VAN SCHAIK et al., 1993; PEDRONI et al., 2002). Os fatores ambientais podem ser dos mais diversos, tanto abióticos: como a umidade relativa do ar, a quantidade de água no solo, o nível de precipitação de cada região, o fotoperíodo, a temperatura, entre outros; quanto bióticos: as

interações entre os seres vivos e determinados processos fisiológicos de cada espécie, como a produção de metabólitos que podem influenciar um evento biológico.

Já Andreis et al. (2005) definem a fenologia como uma ciência que observa e analisa os fenômenos do desenvolvimento vegetal, como a floração, a frutificação, o brotamento e a abscisão foliar, em todas as suas fases de intensidade e de período, objetivando o conhecimento do ciclo anual das espécies em estudo, o qual está diretamente relacionado às condições climáticas e ao caráter adaptativo de cada espécie em sua área de dispersão. Contudo, Rathcke e Lacey (1985) enfocam que as análises fenológicas, além de permitir o estudo do ritmo estacional dos vários eventos do ciclo de vida das plantas, também são importantes para entender a manutenção da fauna presente no ecossistema, que por sua vez interfere na dispersão e polinização de várias espécies vegetais.

Os estudos fenológicos, por meio da observação das fenofases, isto é, dos eventos cíclicos que acontecem ao longo do ano no desenvolvimento reprodutivo e vegetativo das plantas (BIONDI et al., 2007), constituem uma prática que vem sendo realizada desde os primórdios das civilizações, quando o homem, necessitando de alimento, buscava diferenciar quais as espécies poderiam ser utilizadas em sua alimentação nos diferentes períodos do ano (ANDREIS et al., 2005). Esses estudos, segundo Gonzalez (1988) foram primeiramente abordados na literatura científica por Cleveland Abbe em 1905, mas que na verdade tiveram início há cerca de aproximadamente 1.000 anos, na China e em Roma, onde foram encontrados os primeiros registros de observações e calendários fenológicos. Esse mesmo autor diz ainda que análises fenológicas passaram a ser usadas a partir da segunda metade do século XIX e que o termo fenologia foi proposto pelo botânico belga Charles Morren.

O registro dos eventos do ciclo de vida das plantas é importante não só para a compreensão da dinâmica das comunidades vegetais (FOURNIER, 1974; ALMEIDA, 1995), mas também para compreender como os organismos respondem às condições do meio em que estão inseridos. Van Schaik et al. (1993) afirmam que o conhecimento fenológico apresenta funcionalidades práticas e teóricas importantes para o entendimento de um determinado ecossistema, bem como para sua manutenção, por meio do conhecimento da época de oferta dos recursos vegetais, quando e de que forma se apresentam esses recursos, além de ajudar no entendimento de quais estratégias dispõem as comunidades vegetais para sobreviver em ambientes pobres em recursos.

As análises fenológicas podem gerar modelos de previsão da época de reprodução das plantas, de sua produção de folhas e outras características de grande ajuda para um adequado plano de manejo de espécies em diferentes áreas (FOURNIER, 1974; MANTOVANI et al.,

2003; NEGRELLE e MURARO, 2006). Andreis et al. (2005) afirmam que os dados fenológicos fornecem subsídios para programas de recuperação de áreas degradadas e de coleta de sementes (ver também MARIOT et al., 2003; MANTOVANI et al., 2004), assim como de outros produtos vegetais, por exemplo de frutos (ver REYS et al., 2005), o que torna a fenologia uma ferramenta muito importante também para os agricultores.

Fournier (1974) também cita a importância da fenologia para o entendimento da interação entre a fauna e a flora e de sua relação nas cadeias alimentares, uma vez que em algumas regiões as herbáceas são importantes fornecedoras de recursos para os animais (ver também ALMEIDA, 1995). Além do mais, muitos produtos vegetais são utilizados desde a antiguidade até os dias atuais por vários povos na medicina popular, principalmente as ervas, e estes povos conheciam o comportamento fenológico das espécies trabalhadas para utilizar os seus recursos.

Estudos fenológicos incluem o conjunto de fenômenos vegetativos e reprodutivos das plantas (TALORA e MORELLATO, 2000), porém, na literatura, muitos são aqueles em que se verificam apenas as fenofases reprodutivas (ALMEIDA, 1995; WILLIAMS et al., 1999; KIILL e DRUMOND, 2001; ESPÍRITO-SANTO et al., 2003; MANTOVANI et al., 2003; MANTOVANI et al., 2004; SANTOS et al., 2005; BIONDI et al., 2007; CONCEIÇÃO et al., 2007; DUTRA et al., 2009). A fenologia da floração, por exemplo, é muito estudada, pois é importante na história de vida de cada espécie, uma vez que o tempo de reprodução pode influenciar no fitness da planta (FENNER, 1998), além do mais, o sincronismo desta fenofase pode minimizar o efeito da predação (VAN SCHAIK et al., 1993).

Dentre os eventos fenológicos, conhecidos como fenofases, têm-se o brotamento de novas folhas, queda foliar, floração e frutificação, e várias metodologias diferentes podem ser utilizadas para a observação dessas fenofases. Bencke e Morellato (2002b) enfatizam que existem dois métodos básicos de avaliação: o qualitativo, no qual se define apenas a presença ou ausência da fenofase em questão em determinado período, e o quantitativo ou semi-quantitativo, no qual são utilizadas categorias de quantificação para estimar a intensidade dos eventos fenológicos (ver também FOURNIER, 1974).

Em relação às observações em campo, as fenofases podem ser acompanhadas semanal, quinzenal ou mensalmente, de acordo com a forma de vida de cada espécie e se estas apresentam ciclos de vida curto ou longo, bem como com o local onde está localizada cada espécie, isto é, se o mesmo apresenta grandes mudanças na intensidade dos fatores ambientais durante o ano (Bencke e Morellato, 2002b), como por exemplo em um local que

apresente dois períodos bem definidos, com um mais seco e outro mais chuvoso, como em algumas florestas tropicais secas.

Além disso, o estudo pode variar com o número de indivíduos por espécie, que geralmente pode acontecer com três até quinze ou mais indivíduos (BARBOSA et al., 1989; GAMA e FISCH, 2003; LESICA e KITTELSON, 2010; NEVES et al., 2010; TORRES e GALETTO, 2011). Todos esses tipos de avaliação e de metodologias diferentes acabam dificultando a interpretação e a comparação entre os estudos fenológicos em florestas tropicais, bem como em outras áreas, uma vez que vários autores usam métodos não padronizados (D'EÇA-NEVES e MORELLATO, 2004).

Portanto, há formas e metodologias diferentes para aprender e conhecer sobre a fenologia das plantas, e com esse conhecimento pode-se saber mais acerca de uma espécie, população ou comunidade, e da interação existente entre seres do ecossistema de um determinado local, sendo que esse conhecimento pode servir de subsídio para planejamento de atividades conservacionistas e de manejo.

2.2. Florestas tropicais secas e os estudos com herbáceas

As florestas secas estão inseridas em regiões tropicais, apresentando um período seco que geralmente se estende por cinco a seis meses (BORCHERT et al., 2002). Logo, a precipitação é considerada um fator climático primário para o desenvolvimento das plantas dessas regiões (BORCHERT, 1999). Van Schaik et al. (1993) relataram também que a vegetação presente em ambientes expostos a climas sazonais apresenta maior periodicidade na produção de folhas, flores e frutos, sendo a alternância entre as duas principais estações (seca e chuvosa), o período de maior expressão dessas fenofases.

Em estudo realizado em um campo semiárido da região de Montana (EUA), Lesica e Kittelsson (2010) verificaram que não apenas a precipitação foi correlacionada com o desenvolvimento das fenofases, mas também a temperatura foi responsável pelo adiantamento do período de floração de algumas espécies. Outras variáveis também são geralmente analisadas, para verificar algum tipo de correlação com os eventos fenológicos, como o fotoperíodo (WRIGHT e VAN SCHAİK, 1994; TORRES e GALETTO, 2011), e a umidade relativa do ar (RUIZ et al., 2000).

No entanto, para algumas espécies, os fatores climáticos podem não apresentar uma correlação direta com as fenofases, principalmente com as reprodutivas, sendo este fato descrito com mais frequência em regiões úmidas (HAMANN, 2004), que não apresentam condições climáticas extremas ao longo do ano, como nas florestas secas.

Os estudos fenológicos com o estrato herbáceo nessas florestas ainda são muito reduzidos, quando comparados a ecossistemas úmidos (MURALI e SUKUMAR, 1994; JUSTINIANO e FREDERICKSEN, 2000; RUIZ et al., 2000; BORCHERT et al., 2002), embora pesquisas atuais estão sendo voltadas para esse estrato da vegetação (LESICA e KITTELSON, 2010; TORRES e GALETTO, 2011).

A caatinga é considerada uma floresta seca (LIMA et al., 2007; PEREIRA et al., 2008) marcada por alta heterogeneidade espaço-temporal ao que diz respeito aos sítios de estabelecimento de plantas (ARAÚJO e TABARELLI, 2002; SAMPAIO e GAMARRA-ROJAS, 2003). Segundo Araújo et al. (2005), essa heterogeneidade é induzida principalmente pelo fato das chuvas serem bem irregulares nesse ecossistema, o qual ocorre em grande parte do Nordeste do Brasil, exceto no estado do Maranhão, e ainda em parte do estado de Minas Gerais. Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é considerado Bsh, definido como semiárido, com poucas chuvas e distribuídas de forma irregular ao longo dos anos, além de altas temperaturas (ANDRADE-LIMA, 1981). E em toda a sua região semiárida há uma variação de suas classes edafo-climáticas, sua altitude, geomorfologia, composição do solo, entre outros fatores (COSTA et al., 2007).

Esse ecossistema apresenta duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa, que podem variar de ano para ano. De acordo com Sampaio (1995), na caatinga chove em média 750 mm por ano, com chuvas mal distribuídas e irregulares, que geralmente contemplam três meses consecutivos (ver também NIMER, 1989; MACHADO et al., 1997). Sabe-se também que há períodos em que o nível de precipitação pode variar para mais ou para menos, podendo atingir de 252 até 1200 mm anuais (SAMPALIO, 1996), e o período chuvoso pode se estender até por seis meses (ANDRADE-LIMA, 1981; ARAÚJO, 2003; ARAÚJO et al., 2005). Esse fator acaba por regular o ritmo biológico de várias espécies vegetais, geralmente intensificando o crescimento e a reprodução na estação chuvosa (ARAÚJO e FERRAZ, 2003).

De maneira geral, as florestas tropicais secas, como a caatinga, apresentam alta biodiversidade (ARAÚJO et al., 2005; LIMA et al., 2008), desde árvores até ervas, e sua vegetação é marcada por um conjunto de ajustes à deficiência hídrica (AMORIM et al., 2009), como a caducifolia, presença de espinhos, redução da lâmina foliar, entre outros. Além de apresentar uma composição florística e fisionômica bem variada (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2008).

Mesmo com sua riqueza de árvores, arbustos e ervas, poucos são os trabalhos enfocando o estrato herbáceo (ARAÚJO et al., 2005; COSTA et al., 2007 PEREIRA et al.,

2008), principalmente sobre a fenologia desse ecossistema (BLEICHER et al., 1995; LIMA et al., 2007; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2008). A maior parte dos estudos sobre a vegetação da caatinga ainda é direcionado ao estrato lenhoso, considerando árvores e arbustos (BARBOSA et al., 1989; MACHADO et al., 1997; LIMA et al., 2008; AMORIM et al., 2009; LEITE e MACHADO, 2010), que o torna mais conhecido que o herbáceo. Além disso, é bom ressaltar que, apesar da importância de algumas informações sobre o estrato herbáceo, como as análises fenológicas de algumas espécies, estas foram geradas de poucos estudos de caso. Portanto, ainda recomenda-se certo cuidado ao se generalizar o comportamento ecológico de herbáceas na área de caatinga, uma vez que esse tipo vegetacional é constituído de elevada heterogeneidade espaço-temporal quanto às condições de microhabitats e à distribuição de chuvas (ARAÚJO, 2005; ARAÚJO et al., 2007).

O componente herbáceo só passou a ganhar maior atenção a partir do ano 2000 (ARAÚJO et al., 2002; LIMA et al., 2007; PEREIRA et al., 2008), mostrando que as herbáceas são mais frequentes no período chuvoso (COSTA et al., 2007); que grande parte das espécies são terófitas (ARAÚJO et al., 2002; REIS et al., 2006; COSTA et al., 2007), com muitas espécies completando seu ciclo de vida durante o período chuvoso (COSTA et al., 2007) e que a riqueza desse estrato é muito elevada se comparada com o lenhoso (ARAÚJO, 2003; SILVA et al., 2008b). Sabe-se também que a sazonalidade climática apresenta influência no estabelecimento de determinadas espécies de ervas na caatinga (REIS et al., 2006), porém, como o número de estudos sobre o componente herbáceo ainda é baixo, não se pode falar amplamente o quanto essa heterogeneidade espaço-temporal interfere na composição florística deste componente (PEREIRA et al., 1989; RODAL et al., 1999; ARAÚJO et al., 2002).

Os estudos com fenologia de herbáceas apontam um padrão de fenofases reprodutivas semelhante ao das árvores, isto é, disponibilizando néctar, pólen e resinas, como recursos para fauna (CARVALHO e MARCHINI, 1999; LORENZON et al., 2003; ARAÚJO e FERRAZ, 2003; LIMA et al., 2007), principalmente na época do período chuvoso. Sendo assim, o conhecimento sobre o desenvolvimento das fenofases de ervas em áreas de florestas tropicais secas é muito importante, pois esse estrato serve de recurso para muitos organismos, principalmente durante a estação favorável, exercendo papel crucial na dinâmica do ecossistema nesse período.

2.3. Estudos fenológicos em áreas antropizadas

É importante destacar que grandes extensões das áreas de florestas nativas em todos os ecossistemas terrestres, principalmente em áreas tropicais, vêm sendo modificadas para atender as necessidades da população humana (WILSON, 1997; YOUNG, 2000). A caatinga é uma dessas extensões florestais que cada vez mais está sofrendo com a exploração pelo homem, apresentando perdas significativas em sua biodiversidade (LEAL et al., 2003), assim também como outras áreas de florestas secas.

Castelletti et al. (2004) afirmam que esse ecossistema vem sendo cada vez mais modificado ao longo dos anos pelo homem, uma vez que o mesmo apresenta muitos produtos de valor comercial. O autor supracitado ainda afirma que cerca de 45,3% da área total da caatinga foi alterada, tornando esse ecossistema o terceiro mais degradado do Brasil, com poucas áreas de proteção integral, nas quais a maioria dos trabalhos é desenvolvida.

Segundo Santos (2010), cerca de 90% dos estudos sobre recuperação de áreas degradadas está restrito às florestas úmidas e sub-úmidas, e que poucos são os estudos desta natureza em florestas tropicais secas, principalmente na caatinga. Sabe-se também que estudos de regeneração natural são fundamentais para o conhecimento ecológico das populações vegetais (HOMER et al., 1998; SOUZA, 2000; BARREIRA et al., 2002) e que os estudos fenológicos podem ser a melhor estratégia para avaliar algumas características importantes das plantas de ambientes em regeneração natural (GAMA e FISCH, 2003), como a época e a intensidade das fenofases reprodutivas, por exemplo.

Todavia, ainda são insuficientes os estudos sobre fenologia em áreas que sofreram severa perturbação antrópica, e geralmente essas investigações ocorrem mais frequentemente em trechos que passaram por uma restauração ou recuperação (GAMA e FISH, 2003; SANSEVERO et al., 2011) e não em áreas que simplesmente foram abandonadas. Além disso, esses estudos retratam com maior preferência o estrato arbóreo, que acaba sendo mais conhecido que o herbáceo, principalmente ao que competem as características ecológicas da regeneração dos ambientes.

Dentre os estudos fenológicos em florestas secas que passaram por algum tipo de atividade antrópica, pode-se citar o de Ruiz et al. (2000), que trabalharam com a fenologia de diferentes Cactáceas em uma região da Colômbia; o de Oliveira Junior et al. (2008), que verificaram a fenologia reprodutiva de espécies arbustivas e herbáceas importantes para os apicultores em regiões próximas à centros urbanos na Paraíba; e o de Guedes et al. (2009), que discutiram sobre a fenologia reprodutiva e a biologia de polinização de uma espécie de trepadeira em uma área de caatinga aberta, também na Paraíba.

Porém, inexistem trabalhos que comparem a fenologia de espécies em locais que passaram por intensa ação humana na caatinga, com a fenologia das mesmas espécies presentes em um local preservado, não sendo verificado, por exemplo, se há um deslocamento das características fenológicas dessas espécies, quanto à periodicidade e sincronismo de suas fenofases, bem como quanto à quantidade de flores e frutos produzidos nessas diferentes áreas.

Pouco se sabe sobre a fenologia das herbáceas no que se diz respeito às áreas que sofreram corte raso, ou outra atividade antrópica, verificando como essas plantas reagem após a atividade. Se elas mantêm suas características fenológicas quanto ao período e a sincronia, quando comparadas com outras áreas preservadas, ou se apresentam modificação em suas fenofases, como, por exemplo, um deslocamento na época de floração ou frutificação. Sendo assim, é importante conhecer a fenologia de espécies herbáceas em áreas de florestas secas que passaram por intensas ações antrópicas e, dessa forma, analisar o quanto essas ações interferem na comunidade desses locais.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, L. B.; LEPAK, D.; DANIEL, D. L. Vegetative and Reproductive Phenology of African Rue (*Peganum harmala*) in the Northern Chihuahuan Desert. **The Southwestern Naturalist**, v. 52, n. 2, p. 209-218, 2007.

ALMEIDA, S. P. Grupos fenológicos da comunidade de gramíneas perenes de um campo cerrado no Distrito Federal, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 8, p. 1067-1073, 1995.

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 491-499, 2009.

ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-153, 1981.

ANDREIS, C.; LONGHI, S. J.; BRUN, E. J.; WOJCIECHOWSKI, J. C.; MACHADO, A. A.; VACCARO, S.; CASSAL, C. Z. Estudo fenológico em três fases sucessionais de uma floresta

estacional decidual no município de Santa Tereza, RS, Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 55-63, 2005.

ARAÚJO, E. L.; SILVA, S. I.; FERRAZ, E. M. N. Herbáceas da caatinga de Pernambuco. In: TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Orgs.). **Diagnóstico da biodiversidade do estado de Pernambuco**. Recife: Editora Massagana, 2002. p. 183-205.

ARAÚJO, E. L.; TABARELLI, M. Estudos de ecologia de populações de plantas do nordeste do Brasil. In: ARAÚJO, E. L.; MOURA, A. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GESTINARI, L. M. S.; CARNEIRO, J. M. T. (eds.). **Biodiversidade, Conservação e Uso Sustentável da flora do Brasil**. Recife: Imprensa Universitária, 2002. p. 135-142.

ARAÚJO, E. L. Diversidade de herbáceas na vegetação da caatinga. In: JARDIN, E. A. G.; BASTOS, M. N. C. (eds.). **Desafios da botânica brasileira no novo milênio: Inventário, sistematização e conservação da diversidade vegetal**. Belém: Sociedade Brasileira de Botânica, 2003. p. 82-84.

ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N. 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 e Editora, 2003. p. 115-128.

ARAÚJO, E. L. Estresses abióticos e bióticos como forças modeladoras da dinâmica de populações vegetais da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALVANTE, U. M. T. (eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: MXM Gráfica e Editora, 2005. p. 50-64.

ARAÚJO, E. L.; SILVA, K. A.; FERRAZ, E. M. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, S. I. Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 2, p. 285-294. 2005.

ARAÚJO, E. L.; CASTRO, C. C.; ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian Caatinga – A Review Concerning the Plants, Environment and People. **Functional ecology and communities**, v. 1, p. 15-28, 2007.

BARBOSA, D. C. A.; ALVES, J. L. H.; PRAZERES, S. M.; PAIVA, A. M. A. Dados Fenológicos de 10 espécies arbóreas de uma área da Caatinga (Alagoinha-PE). **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, n. 2, p. 109-117, 1989.

BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A.; Lima, L. C. M. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife, Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 657-693.

BARREIRA, S.; SCOLFORO, J. R. S.; BOTELHO, S. A.; MELLO, J. M. Estudo da estrutura da regeneração natural e da vegetação adulta de um cerrado sensu stricto para fins de manejo florestal. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 64-78, 2002.

BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, L. P. C. Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 237-248, 2002a.

BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, L. P. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 3, p. 269-275. 2002b.

BLEICHER, E.; LIMA, R. N.; NETO, F. C. V. Fenologia de cultivares de algodoeiro herbáceo, em Maracanaú, Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 9, p. 1177-1182, 1995.

BIONDI, D.; LEAL, L.; BATISTA, A. C. Fenologia do florescimento e frutificação de espécies nativas dos Campos. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 29, n. 3, p. 269-276, 2007.

BORCHERT, R. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 239-247, 1999.

BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of Vegetative Phenology in a Tropical Semi-deciduous Forest by Abnormal Drought and Rain. **Biotropica**, v. 34, n. 1, p. 27-39, 2002.

CARVALHO, C. A. L.; MARCHINI, L. C. Plantas visitadas por *Apis mellifera* L. no vale do rio Paraguaçu, Município de Castro Alves, Bahia. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 2, p. 333-338, 1999.

CASTELLETTI, C. H. M.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Quanto ainda resta da caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (orgs). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 91-100.

CONCEIÇÃO, A. A.; FUNCH, L. S.; PIRANI, J. R. Reproductive phenology, pollination and seed dispersal syndromes on sandstone outcrop vegetation in the “Chapada Diamantina”, northeastern Brazil: population and community analyses. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 475-485, 2007.

COSTA, R. C.; ARAÚJO, F. S.; LIMA-VERDE, L. W. Flora and life-form spectrum in an area of deciduous thorn woodland (caatinga) in northeastern, Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 68, n. 2, p. 237-247, 2007.

D’EÇA-NEVES, F. F.; MORELLATO, L. P. C. Métodos de amostragem e avaliação utilizados em estudos fenológicos de florestas tropicais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 1, p. 99-108, 2004.

DUTRA, V. F.; VIEIRA, M. F.; GARCIA, F. C. P.; LIMA, H. C. Fenologia reprodutiva, síndromes de polinização e dispersão em espécies de Leguminosae dos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 2, p. 371-387, 2009.

ESPÍRITO-SANTO, M. M.; MADEIRA, B. G.; NEVES, F. S.; FARIA, M. L.; FAGUNDES, M.; FERNANDES, G. W. Sexual Differences in Reproductive Phenology and their

Consequences for the Demography of *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae), a Dioecious Tropical Shrub. **Annals of Botany**, v. 91, n. 1, p. 13-19, 2003.

FENNER M. The phenology of growth and reproduction in plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 1, n. 1, p. 78-91, 1998.

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

FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G.; OPLER, P. A. Comparative Phenological Studies of Trees in Tropical Wet and Dry Forests in the Lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, v. 62, n. 3, p. 881-919, 1974.

GAMA, F. L. A.; FISCH, S. T. V. Fenologia de espécies arbóreas de áreas de recuperação da vegetação ciliar do córrego Alambari – São José dos Campos/SP. **Revista Biociências**, v. 9, n. 2, p. 17-25, 2003.

GUEDES, R. S.; QUIRINO, Z. G. M.; GONÇALVES, E. P. Fenologia reprodutiva e biologia da polinização de *Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth (Fabaceae). **Biotemas**, v. 22, n. 1, p. 27-37, 2009.

GONZALEZ, M. A. B. Consideraciones metodológicas para estudios fenológicos en bosques templados de coníferas. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 64, p. 89-109, 1988.

HAMANN A. Flowering and fruiting phenology of a Philippine submontane rain forest: climate factors as proximate and ultimate causes. **Journal of Ecology**, v. 92, n. 1, p. 24-31, 2004.

HOMER, F.; LAL, K.; JOHNSON, W. Forest species regeneration and management options in the Melajo Nature Reserve, Trinidad and Tobago. **Environmental Conservation**, v. 25, n. 1, p. 53-64, 1998.

KIILL, L. H. P.; DRUMOND, M. A. Biologia floral e sistema reprodutivo de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Fabaceae - Papilionoidae) na região de Petrolina, Pernambuco. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 597-601, 2001.

JUSTINIANO, M. J.; FREDERICKSEN, T. S. Phenology of Tree Species in Bolivian Dry Forests. **Biotropica**, v. 32, n. 2, p. 276-281. 2000.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un Estudio de los Climas de la Tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica. 1948. 466p.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife, Brasil: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 804p.

LEITE, A. V. L.; MACHADO, I. C. Reproductive biology of woody species in Caatinga, a dry forest of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 1374-1380, 2010.

LESICA, P.; KITTELSON, P. M. Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 9, p. 1013-1017, 2010.

LIETH, H. Introduction to phenology and the modeling of seasonality. In: _____. **Phenology and seasonality modeling**. Berlin: Springer Verlag, 1974. p. 3-19.

LIMA, E. N.; ARAÚJO, E. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FERRAZ, E. M. N.; SILVA, K. A.; PIMENTEL, R. M. M. Fenologia e dinâmica de duas populações herbáceas da caatinga. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 120-136, 2007.

LIMA, L. C. M.; BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A. Floração e frutificação das espécies lenhosas de Leguminosae e Euphorbiaceae na caatinga em Pernambuco. **Sitientibus Série Ciências Biológicas**, v. 8, n. 2, p. 235-246, 2008.

LIMA, E. N.; SILVA, K. A.; SANTOS, J. M. F. F.; ANDRADE, J. R.; SANTOS, D. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Influência da sazonalidade na fenologia e na dinâmica populacional da espécie *Euphorbia insulana* Vell. (Euphorbiaceae) em uma área de

caatinga, Pernambuco, Brasil. In: ALBUQUERQUE, U. P.; MOURA, A. N.; ARAÚJO, E. L. (Orgs). **Biodiversidade, potencial econômico e processos eco-fisiológicos em ecossistemas nordestinos**. v. 2, Bauru, SP: Canal 6, 2010. p. 365-384.

LORENZON, M. C. A.; MATRANGOLO, C. A.; SCHOEREDER, J. H. Flora visitada pelas abelhas Eussociais (Hymenoptera, Apidae) na Serra da Capivara, em Caatinga do Sul do Piauí. **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 1, p. 27-36, 2003.

MACHADO, I. C. S.; BARROS, L. M.; SAMPAIO, E. V. S. B. Phenology of Caatinga Species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, v. 29, n. 1, p. 57-68, 1997.

MANTOVANI, M.; RUSCHEL, A. R.; REIS, M. S.; PUSHALSKI, A.; NODARI, R. O. Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 451-458, 2003.

MANTOVANI, A.; MOORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Auracaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.

MARCO, D. E.; CALVIÑO, A. A.; PÁEZ, S. A. Patterns of flowering and fruiting in populations of *Larrea divaricata* in dry Chaco (Argentina). **Journal of Arid Environments**, v. 44, p. 327-346, 2000.

MARIOT, A.; MANTOVANI, A.; REIS, M. S. Uso e conservação de *Piper cernuum* Vell. (Piperaceae) na Mata Atlântica: I. Fenologia reprodutiva e dispersão de sementes. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2003.

MOURA, A. C. A. Primate group size and abundance in the caatinga dry forest. **Internacional Journal of Primatology**, v. 28, n. 6, p. 1279-1297, 2007.

MUNHOZ, C. B. R.; FELFILI J. M. Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 979-988, 2005.

MURALI, K. S.; SUKUMAR, R. Reproductive phenology of a tropical dry forest in Mudumalai, southern India. **Journal of Ecology**, v. 82, n. 4, p. 759–767. 1994.

NEGRELLE, R. R. B.; MURARO, D. Aspectos fenológicos e reprodutivos de *Vriesea incurvata* Gaudich (Bromeliaceae). **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 28, n. 2, p. 95-102, 2006.

NEVES, E. L.; FUNCH, L. S.; VIANA, B. F. Comportamento fenológico de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) da Caatinga, semi-árido do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 155-166, 2010.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1989. 421p.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5.ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 612p.

OLIVEIRA JUNIOR, D. A.; SILVA, R. A.; ARAÚJO, L. L. S.; JÚNIOR, R. J. S.; ARNAUD, A. F. Caracterização fenológica das plantas apícolas herbáceas e arbustivas da microrregião de Catolé do Rocha - PB - Brasil. **Revista Verde**, v. 3, n. 4, p. 86-99, 2008.

PEDRONI, F.; SANCHEZ, M.; SANTOS, F. A. M. Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 183-194, 2002.

PEREIRA, R. M. A.; FILHO, J. A. A.; LIMA, R. V.; PAULINO, F. D. G.; LIMA, A. O. N.; ARAÚJO, Z. B. Estudos fenológicos de algumas espécies lenhosas e herbáceas da caatinga. **Revista Ciência Agronômica**, v. 20, n. 1/2, p. 11-20, 1989.

PEREIRA, V. F.; ARAÚJO, E. L.; SILVA, K. A.; LIMA, E. N.; ANDRADE, J. R.; PIMENTEL, R. M. M. Associações entre espécies herbáceas em uma área de caatinga de Pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 2, p. 6-23, 2008.

RATHCKE, B.; LACEY, E. P. Phenological Patterns of Terrestrial Plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 16, p. 179-214, 1985.

REIS, A. M. S.; ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N.; MOURA, A. N. Inter-annual in the floristic and population structure of an herbaceous community of “caatinga” vegetation in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 3, p. 497-508, 2006.

REYS, P.; GALLETI, M.; MORELLATO, L. P. C.; SABINO, J. Fenologia reprodutiva e disponibilidade de frutos de espécies arbóreas em mata ciliar no rio formoso, Mato Grosso do Sul. **Biota Neotropica**, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2005.

RODAL, M. J. N.; NASCIMENTO, L. M.; MELO, A. L. Composição florística de um trecho de vegetação arbustiva caducifólia, no município de Ibimirim, Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 13, n. 1, p. 15-28, 1999.

RUIZ, A.; SANTOS, M.; CAVELIER, J.; SORIANO, P. J. Estudio Fenológico de Cactáceas en el Enclave Seco de la Tatacoa, Colombia. **Biotropica**, v.32, n.3, p.397-407, 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. In: BULLOCK, S.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (Eds.). **Seasonally dry Tropical Forests**. Cambridge: University Press, 1995. p. 35-58.

SAMPAIO, E. V. S. B. Fitossociologia. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; MAYO S. J.; BARBOSA, M. R. V. (Eds.). **Pesquisas Botânicas Nordestinas: Progresso e perspectivas**. Recife: Sociedade Botânica do Brasil, Seção Regional de Pernambuco, 1996. p. 203-224.

SAMPAIO, E. V. S. B.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. A vegetação lenhosa das ecorregiões da Caatinga. In: JARDIN, E. A. G.; BASTOS, M. N. C.; SANTOS, J. U. M. (eds.). **Desafios da Botânica brasileira no novo milênio: inventário, sistematização e conservação da diversidade vegetal**. Belém: Sociedade Brasileira de Botânica, 2003. p. 85-90.

SANSEVERO, J. B. B.; PRIETO, P. V.; MORAES, L. F. D.; RODRIGUES, P. J. F. P. Natural Regeneration in Plantations of Native Trees in Lowland Brazilian Atlantic Forest: Community Structure, Diversity, and Dispersal Syndromes. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 3, p. 379-389, 2011.

SANTOS, J. M. F. F. **Diversidade e abundância inter-anual no componente herbáceo da caatinga: paralelos entre uma área preservada e uma área antropizada em regeneração natural.** 2010. 77f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SANTOS, M. J.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Biologia reprodutiva de duas espécies de *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) em Caatinga, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 2, p. 361-373, 2005.

SILVA, K. A.; LIMA, E. N.; SANTOS, J. M. F. F.; ANDRADE, J. R.; SANTOS, D. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Dinâmica de gramíneas em uma área de caatinga de Pernambuco - Brasil. In: MOURA, A. N.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. (Org.). **Biodiversidade, potencial econômico e processos eco-fisiológicos em ecossistemas nordestinos.** v.1, Recife: Comunigraf, 2008b. p. 105-129.

SIQUEIRA FILHO, J. A.; SEIDO, C. L.; CAMPELO, M. J. A.; SANTO, F. S. E.; PEQUENO, I. D. Fenologia e síndromes de dispersão de espécies lenhosas em área prioritária para a conservação da caatinga – Afrânio, Pernambuco. In: ALBUQUERQUE, U. P.; MOURA, A. N.; ARAÚJO, E. L. (Orgs). **Biodiversidade, potencial econômico e processos eco-fisiológicos em ecossistemas nordestinos.** v. 2, Bauru-SP: Canal 6, 2010. p. 463-483.

SOUZA, F. M. **Estrutura e dinâmica do estrato arbóreo e da regeneração natural em áreas restauradas.** 2000. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TALORA, D. C.; MORELLATO, L. P. C. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 1, p. 13-26, 2000.

TORRES, C.; GALETTO, L. Flowering phenology of co-occurring Asteraceae: a matter of climate, ecological interactions, plant attributes or of evolutionary relationships among species. **Organisms Diversity & Evolution**, v. 11, n. 1, p. 9-19, 2011.

VALDEZ-HERNÁNDEZ, M.; ANDRADE, J. L.; JACKSON, P. C.; REBOLLEDO-VIEYRA, M. Phenology of five tree species of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico: effects of environmental and physiological factors. **Plant Soil**, v. 329, p. 155-171, 2010.

VAN SCHAIK, C. P.; TERBORGH, J. W.; WRIGHT, S. J. The phenology of tropical forests: Adaptive Significance and Consequences for Primary Consumers. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 24, p. 353-377, 1993.

WILLIAMS, R. J.; MYERS, B. A.; EAMUS, D.; DUFF, G. A. Reproductive Phenology of Woody Species in a North Australian Tropical Savanna. **Biotropica**, v. 31, n. 4, p. 626-636. 1999.

WILSON, E. O. A situação atual da diversidade biológica. In: _____. **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997. p. 3-24.

WRIGHT, S. J.; VAN SCHAIK, C. P. Light and the phenology of tropical trees. **The American Naturalist**, v.143, n.1, p.192–199. 1994.

YOUNG, T. P. Restoration ecology and conservation biology. **Biological Conservation**, v.92, n.1, p.73-83. 2000.

Artigo a ser enviado ao Periódico Journal of Arid Environments

Respostas fenológicas de cinco herbáceas em ambientes secos com diferentes *status* de conservação

Diego Nathan do Nascimento Souza^{1*}; Cibele Cardoso de Castro²; Lúcia Helena Piedade Kiill³, Elcida de Lima Araújo¹

RESUMO

Muitas áreas de florestas tropicais secas vêm sofrendo grandes perturbações através das atividades antrópicas. Sendo assim, objetivou-se avaliar se na regeneração de uma área antropizada ocorre mudanças nas respostas fenológicas e na produtividade das plantas. O estudo foi desenvolvido em dois ambientes de vegetação de caatinga com diferentes *status* de conservação, sendo um ambiente considerado preservado e outro como antropizado, o qual sofreu corte raso e foi abandonado. Em cada área foram selecionados 30 indivíduos de cinco espécies herbáceas (*Bidens bipinata*, *Commelina obliqua*, *Delilia biflora*, *Desmodium glabrum* e *Pseudoabutilon spicatum*), os quais foram marcados e monitorados semanalmente, para o registro das fenofases de brotamento foliar, floração, frutificação e queda foliar. Durante a fase reprodutiva, o número de flores e frutos produzidos por indivíduos foram quantificados semanalmente. As respostas fenológicas foram avaliadas pela época e sincronia de cada fenofase. Diferenças na produtividade de estruturas reprodutivas foram avaliadas pelo teste Qui-quadrado. Foi avaliada também a correlação entre a precipitação e as fenofases das espécies. Apenas *D. glabrum* apresentou um pequeno deslocamento temporal no brotamento foliar entre as áreas (preservada e antropizada). Para as demais fenofases, quando houve um deslocamento temporal, este aconteceu em um curto espaço de tempo e com poucos indivíduos, além disso, o *status* de conservação também não influenciou a sincronia das fenofases. Houve diferença significativa na produção de estruturas reprodutivas na maioria das populações estudadas. As fenofases vegetativas apresentaram correlação significativa com a precipitação, mas, este fator não apresentou correlação significativa com as fenofases reprodutivas. O estudo mostrou que as respostas fenológicas das espécies herbáceas, em termos de época e sincronia das fenofases, foram pouco afetadas pelo *status* de conservação da área. A influência das modificações antrópicas sobre a produtividade das estruturas reprodutivas depende da espécie analisada, e foi mais evidente entre as áreas. Duas espécies apresentaram maior produtividade na área preservada e duas outras apresentaram maior produtividade na área antropizada, sugerindo que algumas espécies possam predominar na regeneração de áreas antrópicas.

Palavras-chave: Antropizada, precipitação, semiárido, terófitas.

1. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Botânica – Rua Dom Manoel de Medeiros, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil.

* Autor para correspondência: Tel.: +558133206308; fax: +558133206300 / Endereço de e-mail: diego_nathan@yahoo.com.br

2. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Unidade Acadêmica de Garanhuns – Avenida Bom Pastor, s/n, Boa Vista, CEP: 52296-901, Garanhuns, Brasil.

3. Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, Zona rural, Caixa Postal 23, CEP: 56302-970, Petrolina-PE, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

Nas florestas tropicais muitos estudos têm sido desenvolvidos sobre a fenologia das plantas, sendo evidenciado que fatores como temperatura, luz, disponibilidade de água e sazonalidade climática influenciam o período de produção de folhas, flores, frutos e sementes (Frankie et al., 1974; Machado et al., 1997; Griz e Machado, 2001; Bencke e Morellato, 2002a; Fabricante et al., 2009; Leite e Machado, 2010; Lesica e Kittelson, 2010).

A maioria das pesquisas fenológicas foi desenvolvida em áreas consideradas preservadas ou com bom *status* de conservação (Justiniano e Fredericksen, 2000; Amorim et al., 2009; Ramírez, 2009; Lima e Rodal, 2010; Valdez-Hernández et al., 2010), apesar do número de áreas antropogênicas ter aumentado no mundo inteiro (Janzen, 1997; Wilson, 1997; Young, 2000).

É importante destacar que as condições microclimáticas das áreas preservadas diferem das condições de áreas perturbadas, pois a retirada da vegetação abre clareiras, permitindo a incidência direta de luz solar sobre o solo, o que altera a temperatura e afeta a evapotranspiração, diminuindo mais rapidamente a disponibilidade de água na camada superficial do solo (Lieberman, 1982; Restrepo e Vargas, 1999; Marco et al., 2000). Todavia, o efeito das alterações microclimáticas das áreas antropogênicas sobre a fenologia das plantas herbáceas é pouco conhecido, impossibilitando avaliar se existem diferenças no ritmo fenológico das espécies em resposta às perturbações antrópicas e as conseqüências das mesmas na dinâmica da vegetação.

A sincronia das fenofases na população pode ser uma estratégia para reduzir a predação (Van Shaick et al., 1993; Bishop e Schemske, 1998) ou a competição por polinizadores (Reich, 1995). Porém, essa sincronia pode sofrer uma alteração, influenciada pelas diferentes condições das áreas antrópicas (Sekhwela e Yates, 2007). A produção de flores, frutos e sementes também pode sofrer alteração em função de mudanças nas características do habitat devido a ações antrópicas (Heideman, 1989; Marco et al., 2000; Abbott et al., 2007; Sekhwela e Yates, 2007), sendo o estrato herbáceo mais sensível às flutuações de curto prazo do clima, sobretudo em ambientes sazonalmente secos (Rich et al., 2008).

Em termos de alteração nas fenofases, por exemplo, Lesica e Kittelson (2010) comentam que antecipações temporais nas fenofases reprodutivas (floração e a frutificação) podem resultar em perdas de capacidade reprodutiva devido aos danos sazonais. Kudo et al. (2004) observaram que quando houve uma mudança anual da temperatura em uma floresta decídua, as flores silvestres polinizadas por abelhas, deslocaram sua floração, antecipando-a, e

isto provocou um menor número de sementes formadas. Além disso, outros estudos indicam que as espécies anuais apresentam uma maior variação em seu florescimento do que as ervas perenes (Fitter e Fitter, 2002; Miller-Rushing e Primack, 2008).

Com base nas evidências acima, este estudo assume a hipótese de que ações antrópicas podem interagir com as características climáticas locais e, em uma mesma espécie, induzir deslocamento temporal de fenofases entre áreas preservadas e antropizadas, bem como alterar a produção de estruturas reprodutivas, o que conseqüentemente pode influenciar a velocidade de regeneração de habitats perturbados.

No Brasil, a diversidade de espécies herbáceas é elevada nas florestas secas, como por exemplo, a vegetação da caatinga (Araújo et al., 2002; Reis et al., 2006). Nesse tipo de vegetação muitas áreas já foram modificadas por ação antrópica, mas algumas delas são abandonadas após uso e voltam a se regenerar naturalmente, constituindo-se um excelente cenário para identificar semelhanças e divergências no comportamento fenológico das plantas. Assim, este estudo propõe comparar as respostas fenológicas de algumas espécies herbáceas anuais entre duas áreas, uma preservada e outra antropizada, da caatinga, objetivando responder as seguintes perguntas: 1. A época de manifestação das fenofases vegetativas e reprodutivas difere entre áreas, preservada e antropizada, da caatinga? 2. Existem diferenças na sincronia fenológica intraespecífica entre tais áreas? 3. A quantidade de flores e frutos das populações herbáceas difere entre os locais (preservado e antropizado)? 4. Há correlação entre as fenofases de plantas herbáceas anuais e a precipitação local?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em duas áreas de uma floresta tropical seca (denominada de caatinga de agreste ou caatinga hipoxerófila), localizadas em um trecho da Estação Experimental José Nilson de Melo, do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (8°14' S e 35°55' W, 537 m de altitude), município de Caruaru, Pernambuco, Brasil. A primeira trata-se de um fragmento remanescente da caatinga de pouco mais de 50 anos, denominada aqui de preservada, na qual não são permitidas atividades humanas de perturbação, nem a entrada de animais domésticos, enquanto a outra área é de cultivo abandonado e apresenta-se em fase de regeneração natural há 17 anos, sendo considerada aqui como antropizada.

Antes as duas áreas constituíam um único fragmento remanescente da caatinga, porém, a antropizada passou por uma atividade de corte raso de sua vegetação, para pesquisas do IPA com o cultivo de palma doce (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), sem utilização de nenhum tipo

de fertilizante (artificial ou natural). Em seguida, após alguns anos, esta área foi abandonada e vem passando pelo processo de regeneração natural de sua vegetação.

Sabe-se também que essas áreas são próximas uma da outra (sendo separadas apenas por uma estrada não pavimentada) e apresentam boa representação de espécies do estrato herbáceo, com elevada riqueza de Asteraceae, Poaceae, Malvaceae, Convolvulaceae e Euphorbiaceae (Araújo et al., 2002; Araújo et al., 2005; Reis et al., 2006).

O clima local é considerado sazonal, com precipitação média anual de 686 mm, apresentando dois períodos bem definidos: um período chuvoso, que compreende em média seis meses (março a agosto), e outro seco (setembro a fevereiro) (Alcorado-Filho et al., 2003). Além disso, no período seco podem eventualmente ocorrer chuvas erráticas, bem como durante a estação chuvosa podem ocorrer pequenos períodos sem chuvas, conhecidos por veranicos (Araújo et al., 2007). As temperaturas, mínima e máxima, absolutas são de 11 e 38 °C, respectivamente, com uma média de 22,7 °C (Nimer, 1989; Sampaio, 1995). O solo é classificado como Podzólico Amarelo eutrófico, abrupto, A moderado, e com textura franco-arenosa (Alcoforado-Filho et al., 2003), e as áreas são drenadas pelo Riacho Olaria, afluente do Rio Ipojuca, apresentando microhabitats com afloramentos rochosos disjuntos e outros totalmente planos (Araújo et al., 2005).

2.2. Observações fenológicas

Cinco espécies do estrato herbáceo (*Bidens bipinnata* L. - Asteraceae, *Commelina obliqua* Vahl - Commelinaceae, *Delilia biflora* (L.) Kuntze - Asteraceae, *Desmodium glabrum* (Mill.) DC. - Fabaceae e *Pseudabutilon spicatum* (Kunth) R.E. Fr. - Malvaceae) tiveram as suas fenofases vegetativas (brotamento e queda foliar) e reprodutivas (florescimento e frutificação) observadas durante visitas semanais às áreas de estudo. Para o florescimento considerou-se a presença de botões florais ou inflorescências, e para a frutificação considerou-se os frutos em formação, em maturação e em dispersão.

Essas espécies foram selecionadas por: 1º) Serem terófitas, isto é, apresentam um ciclo de vida curto, que geralmente ocorre no período chuvoso; 2º) Formarem populações com um número representativo de indivíduos nas duas áreas, conforme visto em anos anteriores (Araújo et al., 2005; Reis et al., 2006; Lima et al., 2007; Santos, 2010), permitindo assim a comparação dos dados fenológicos entre a área preservada e a antropizada.

A observação das fenofases foi realizada em indivíduos que atendessem os seguintes parâmetros: 1. Altura de um a cinco centímetros, garantindo que todos pertencessem a uma mesma coorte; e 2. Distância mínima de três metros entre os mesmos. Com base nesses

critérios foram selecionados 30 indivíduos por espécie em cada área, totalizando 300 indivíduos.

O monitoramento começou em janeiro de 2011, acompanhando-se desde o início do desenvolvimento das plantas, logo após as primeiras chuvas do ano, isto é, tratando-se de uma mesma coorte entre áreas, até a morte das mesmas, analisando-se, desta forma, todo o ciclo de vida de cada indivíduo.

As fenofases foram avaliadas qualitativa e quantitativamente (Bencke e Morellato, 2002b). Para as fenofases vegetativas avaliou-se apenas a época em que ocorreram, isto é, presença e ausência, bem como a percentagem de indivíduos manifestando essas fenofases (sincronismo). Para as fenofases reprodutivas, além do período e do sincronismo, também foi analisada a quantidade de estruturas reprodutivas, de acordo com Abbott et al. (2007), isto é, contando e anotando o número de flores/frutos ou inflorescências/infrutescências total produzidos por cada indivíduo, para estimar a produção das populações entre áreas. As infrutescências foram consideradas como o resultado da fecundação das flores de cada inflorescência.

Para quantificar o número de estruturas reprodutivas, estas foram marcadas na base com tinta para tecido atóxica e de cor vermelha, facilitando a contagem individual das flores e dos frutos produzidos por indivíduo nas duas áreas, dessa forma tinha-se a certeza de que as estruturas seriam contabilizadas uma única vez. Sendo assim, para a espécie *C. obliqua*, foram marcadas apenas inflorescências e infrutescências, e em *B. bipinnata*, além das inflorescências e infrutescências, foi quantificado também o número de frutos por infrutescência, em cada indivíduo. Para as outras espécies foram analisados apenas o número de flores e frutos, individualmente.

2.3. Análise dos dados

Para a avaliação do sincronismo, as fenofases foram analisadas por meio do índice de atividade (ou porcentagem de indivíduos), o qual constata a presença ou ausência do evento de modo individual, mas, que em nível populacional, torna-se um método de caráter quantitativo, indicando a porcentagem de indivíduos da população que está manifestando a fenofase (Bencke e Morellato, 2002b). Seguindo esta metodologia, e adotando-se a época ou período de maior manifestação da fenofase, o evento fenológico foi classificado como: assincrônico (< 20% de indivíduos na fenofase); pouco sincrônico ou com baixa sincronia (20-60% de indivíduos na fenofase); e de sincronia alta (> 60% dos indivíduos na fenofase) (ver também Marchioretto et al., 2007). Vale ressaltar que a época de maior manifestação de

uma fenofase foi considerada aquela na qual houve um maior número de indivíduos manifestando a determinada fenofase ao mesmo tempo.

Para analisar a produção de estruturas reprodutivas entre as áreas foi realizado o teste do qui-quadrado (χ^2), com 5% de probabilidade (Zar, 1999). Para verificar a correlação entre o desenvolvimento das fenofases e a precipitação local (Fig.1) utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman (rs) (Zar, 1999).

Quanto à realização da correlação utilizou-se a frequência máxima de indivíduos manifestando cada uma das fenofases estudadas e a quantidade de chuva semanal, a qual foi registrada e fornecida pela própria Estação Experimental (Fig. 1). Foi avaliado também se existe alguma correlação entre o número de estruturas reprodutivas produzidas por cada população e a precipitação local.

3. RESULTADOS

3.1. Brotamento e queda foliar

O brotamento foliar ocorreu logo após as primeiras chuvas, em janeiro, quando todos os indivíduos foram marcados, sendo visível até agosto em todas as populações presentes nas diferentes áreas. As espécies *B. bipinnata*, *C. obliqua*, *D. biflora* e *P. spicatum* não apresentaram variação na época de manifestação do brotamento foliar entre áreas, sendo esta fenofase registrada para *B. bipinnata* e *D. biflora* de janeiro até agosto (Fig. 2), e para *C. obliqua* e *P. spicatum* de janeiro a setembro (Fig. 2).

Para as populações de *D. glabrum*, no entanto, houve uma diferença no registro do brotamento de novas folhas, ocorrendo um prolongamento desta fenofase, que iniciou em janeiro, até o mês de setembro na área antropizada, enquanto que na área preservada esta fenofase foi registrada de janeiro a agosto (Fig. 2).

Este evento biológico apresentou uma alta sincronia para as duas populações das cinco espécies. Todas as populações apresentaram 100% de seus indivíduos em brotamento foliar durante o período de maior manifestação da fenofase em ambos os locais (Tabela 1), as mesmas foram consideradas de alta sincronia (> 60% de indivíduos manifestando a fenofase).

As espécies *B. bipinnata*, *C. obliqua* e *D. biflora* não apresentaram deslocamento na manifestação da queda foliar entre as duas áreas (Fig. 2). Por outro lado, A espécie *D. glabrum* iniciou a queda foliar em junho nas duas áreas, cessou em julho em ambas, mas, para a população da área antropizada esta fenofase foi registrada novamente a partir de agosto, enquanto que na área preservada reiniciou somente em setembro (Fig. 2). No entanto, esse

deslocamento não foi tão evidente assim, uma vez que em agosto apenas dois indivíduos apresentaram essa fenofase, além do mais, na última semana.

Resultado similar foi registrado para a espécie *P. spicatum*, que deslocou o início dessa fenofase para julho e agosto na área antropizada, enquanto na preservada a queda foliar só iniciou em setembro (Fig. 2). Porém, em julho e agosto, foi registrado a queda foliar para apenas um indivíduo da população da área antropizada.

A espécie *C. obliqua* foi a única a apresentar indivíduos perdendo folhas nos meses de março e abril, em ambas as populações, não sendo visto nenhum indivíduo dessa espécie manifestando essa fenofase em maio, mês este de intensa precipitação, e retomando-a a partir de junho até outubro (Fig. 2).

Em relação ao sincronismo, todas as espécies foram consideradas de alta sincronia para a queda foliar (> 60% de indivíduos manifestando a fenofase) nas duas áreas (Tabela 1), embora *D. biflora* e *D. Glabrum* tenham apresentado uma pequena diferença em seus índices de atividade.

Para as fenofases vegetativas, foi visto que todas as espécies apresentaram correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) para o brotamento de novas folhas nas duas áreas, e quanto à queda foliar, apenas *B. bipinnata*, nas duas áreas, não apresentou correlação negativa e significativa (Tabela 2).

3.2. Floração e Frutificação

A espécie *B. bipinnata* não apresentou deslocamento em suas fenofases reprodutivas nas duas áreas pesquisadas, quanto à época em que estas foram registradas (Fig. 2). Além do mais, essa espécie foi classificada como muito sincrônica nas duas áreas (Tabela 1).

A população de *C. obliqua* na área antropizada apresentou deslocamento na manifestação da floração e frutificação (Fig. 2). Porém, esse deslocamento que estendeu até julho essas fenofases apenas na área antropizada, só foi registrado para dois indivíduos desta espécie. Essa espécie também foi considerada de alta sincronia para suas fenofases reprodutivas, apresentando mais de 60% de seus indivíduos florindo e frutificando nas duas áreas de estudo (Tabela 1).

A espécie *D. biflora* teve sua floração registrada no mesmo período para as duas populações, iniciando em maio, estendendo-se até setembro (Fig. 2), não havendo deslocamento na época de manifestação dessa fenofase. Para a frutificação registrou-se deslocamento em maio apenas na área preservada (Fig. 2), contudo, esse registro ocorreu na última semana deste mês e para apenas um indivíduo, o que não seria um deslocamento muito

evidente. Para esta espécie, suas populações foram consideradas de alta sincronia, com todos os seus indivíduos florescendo e frutificando em ambas as áreas (Tabela 1).

As populações de *D. glabrum* foram as que apresentaram os eventos reprodutivos mais tardiamente, na transição do período chuvoso para o seco. A floração foi iniciada somente em julho, em ambas as populações, estendendo-se até setembro na área preservada, e até outubro, na antropizada (Fig. 2). Mas, mesmo a floração tendo se estendido apenas na área antropizada, esse registro foi de apenas um indivíduo na primeira semana de outubro. Por outro lado, a frutificação ocorreu igualmente nos dois locais, iniciando em julho e se estendendo até outubro (Fig. 2). Quanto ao sincronismo dessa espécie, ambas as populações foram classificadas como pouco sincrônicas para seus eventos reprodutivos, uma vez que menos de 60% dos indivíduos manifestaram esses eventos (Tabela 1).

A floração também foi registrada igualmente a partir de junho para as duas populações de *P. spicatum*, estendendo-se até setembro (Fig. 2). Para a frutificação, foi registrado um deslocamento na área preservada, que iniciou esta fenofase antes da população da área antropizada (Fig. 2), mas, mais uma vez esse registro antecipado da frutificação apenas na área preservada foi visto em apenas três indivíduos, dos 30 selecionados. Essa espécie foi considerada de alta sincronia para suas fenofases reprodutivas, mesmo que na área preservada o índice de atividade tenha sido mais elevado (Tabela 1).

Quanto ao número de estruturas reprodutivas, quatro espécies apresentaram uma diferença significativa na produtividade de flores e frutos entre as áreas, e apenas *D. biflora* não apresentou uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre as populações dos dois locais (Tabela 3). Porém, vale ressaltar que para a espécie *B. bipinata*, quando foi realizada a análise apenas com o número de inflorescências e infrutescências produzidas, não houve diferença significativa entre as populações das duas áreas, contudo, quando se acrescentou também o número de frutos produzidos por infrutescências na análise, então houve uma diferença significativa (Tabela 3).

Quanto ao teste de correlação entre a quantidade de indivíduos manifestando uma das fenofases reprodutivas e a precipitação local, nenhuma população apresentou significância para este teste, isto é, mesmo com variações semanais no nível da precipitação, as cinco herbáceas da caatinga não foram afetadas quanto à expressão de suas fenofases reprodutivas durante os meses acompanhados nas duas áreas (Tabela 2). Também não se identificou nenhum tipo de correlação significativa entre a precipitação e o número de estruturas reprodutivas produzidas ao longo do estudo pelas populações nos diferentes locais (Tabela 4).

4. DISCUSSÃO

4.1. Brotamento e queda foliar

Em relação à presença e ausência das fenofases vegetativas, apenas as populações de *D. glabrum* e *P. spicatum* apresentaram pequena variação durante o estudo. Isto pode indicar, que mesmo que as duas áreas estejam em *status* de conservação diferentes, a área antropizada, com 17 anos de regeneração, pode não apresentar tanta discrepância em suas condições para algumas populações. Resultados semelhantes foram encontrados entre áreas próximas de um campo semiárido na Argentina, com diferentes graus de conservação e com seis anos de regeneração (Fedorenko et al., 1996).

Mesmo que as espécies tenham apresentado uma diferença no índice de atividade da queda foliar entre as populações, todas foram consideradas de alta sincronia quanto às fenofases vegetativas, principalmente no brotamento foliar. Isto pode indicar que as herbáceas anuais dispõem de pouco tempo para se desenvolverem e têm de aproveitar a estação favorável, com disponibilidade de água. No entanto, em áreas com menor tempo de regeneração, algumas populações de herbáceas apresentam uma variação ou um deslocamento na manifestação dessas fenofases na época ou na sincronia, conforme visto por Abbott et al. (2007).

Em ambientes secos do mundo, algumas espécies são muito sensíveis aos fatores climáticos, principalmente à precipitação, dentre essas espécies as herbáceas merecem maior destaque. Essa sensibilidade pode ser observada na manifestação tanto das fenofases vegetativas quanto nas reprodutivas. No presente estudo, as duas populações de *C. obliqua* iniciaram o brotamento foliar em janeiro, mas no mês de março ocorreu uma redução na quantidade de chuva, e devido a isto, indivíduos apresentaram senescência foliar, fato este que não foi observado em nenhuma outra população do presente estudo. As outras espécies não dispõem de uma sensibilidade tão aguçada quanto *C. obliqua*, como observado neste estudo, no qual se registrou que em março as plantas da área preservada não perderam suas folhas e continuaram normalmente seu desenvolvimento, e que na área antropizada as outras populações apresentaram folhas murchas em alguns indivíduos, mas não desenvolveram a senescência foliar. Esta sensibilidade de algumas espécies anuais pode ser vista em outros ambientes secos (Jolly e Running, 2004; Rich et al., 2008). Em florestas secas, não apenas as herbáceas apresentam um rápido desenvolvimento foliar logo após as primeiras chuvas, bem como perdem suas folhas tão logo a precipitação diminui, como também algumas lenhosas apresentam essa característica (Lieberman, 1982; Borchert et al., 2002; Lima e Rodal, 2010).

O desenvolvimento das fenofases vegetativas de espécies herbáceas em ecossistemas secos parece acompanhar de forma sincrônica o ritmo das chuvas locais, como foi verificado no presente estudo, com as cinco herbáceas da caatinga. Nesses ambientes as plantas brotam e perdem rapidamente suas folhas com a disponibilidade ou a falta da precipitação da área em questão, conforme observado no estudo de Vidiella et al. (1999). Estes pesquisadores analisaram que no deserto do Atacama, logo após as primeiras chuvas, houve um rápido desenvolvimento de quinze espécies de terófitas e de oito geófitas, que produziram folhas rapidamente e sincronicamente, e com o cessar das chuvas, principalmente as espécies anuais, perderam rapidamente suas folhas.

A correlação registrada entre as fenofases vegetativas das herbáceas nas duas áreas e a precipitação local também foi confirmada em outras florestas secas, com o componente herbáceo (Fedorenko et al., 1996; Abbott et al., 2007; Lesika e Kittelson, 2010; Torres e Galetto, 2011), com arbustos e subarbustos (Ruiz et al., 2000; Munhoz e Felfili, 2005; Torres e Galetto, 2011), e com árvores (Lima e Rodal, 2010). Isto mostra o quanto este fator é importante para o desenvolvimento dessas plantas em ambientes secos. No entanto, poucos estudos mostram uma correlação significativa em apenas um ciclo de vida, ou durante apenas uma estação, com a variação da precipitação semanalmente, como no presente estudo.

4.2. Floração e Frutificação

Durante os 10 meses de observação no campo, janeiro a outubro de 2011, verificou-se que algumas populações apresentaram variação na época e na sincronia de suas fenofases reprodutivas, antecipando o início da fenofase, como a frutificação na população de *D. biflora* da área preservada e *P. spicatum* na mesma área, ou estendendo a presença da fenofase, como a floração e frutificação na população de *C. obliqua* da área antropizada. Porém, esse deslocamento na manifestação dessas fenofases não foi tão acentuado. Resultados pouco diferentes foram encontrados por Abbott et al. (2007), que trabalharam com a fenologia reprodutiva de duas populações de uma erva perene em duas áreas no Novo México. Eles observaram que em ambos os locais estudados a produção de flores e a maturação dos frutos iniciaram em uma mesma época, e que o período de manifestação dessas fenofases reprodutivas foi relativamente curto nas duas populações. Contudo, no local menos perturbado, a floração se estendeu quinze dias a mais que na área mais perturbada, e não houve um segundo fluxo de floração, diferentemente do ocorrido na área mais perturbada, que apresentou um segundo fluxo de flores em meados do estudo, acompanhando o ritmo da precipitação local, entretanto, os frutos formados nesse segundo fluxo floral não conseguiram

maturar. Neste caso, o *status* de conservação pode ter influenciado na extensão da manifestação nessa fenofase, uma vez que a área mais perturbada encontrava-se em fase inicial de regeneração.

Comportamento de dois fluxos de floração e frutificação não foi apresentado por nenhuma das populações das herbáceas da caatinga do presente estudo. Estas apresentaram um único fluxo de flores e frutos, estendendo-se por até três meses, havendo também uma sobreposição dessas fenofases em todas as espécies estudadas.

No presente estudo, as populações de *C. obliqua* nas duas áreas anteciparam sua floração em relação às outras populações, este fato pode ser uma estratégia da espécie para minimizar a competição interespecífica, que pode resultar numa diminuição no número de polinizadores e de visitas às flores (Murcia, 1995), embora não se tenha realizado estudo sobre a partilha de polinizadores nas referidas áreas. Resultado semelhante foi observado em duas áreas de semiárido na Argentina, por Fedorenko et al. (1996). Estes autores verificaram que duas espécies herbáceas, pertencentes às famílias Fabaceae e Geraniaceae, apresentaram alta sincronia de seus eventos reprodutivos entre suas populações nas duas áreas analisadas, e que a floração e a frutificação ocorreram em um mesmo período para ambas as populações, embora uma das espécies tenha se antecipado em relação à outra no início da manifestação da fenofase.

Nas florestas tropicais secas, as herbáceas acabam desenvolvendo-se rapidamente uma vez que a estação chuvosa compreende poucos meses. Nesta perspectiva, tanto áreas preservadas, quanto antropizadas podem apresentar um rápido desenvolvimento de alguma espécie até a floração, como aconteceu com as populações de *C. obliqua* que apresentaram indivíduos com flores dois meses após o registro das primeiras chuvas, independente do *status* de conservação das áreas. Em outro tipo de floresta seca, Vidiella et al. (1999) verificaram que das 36 espécies acompanhadas, metade apresentou flores no final de outubro, um mês após o início das chuvas, e que o pico desta fenofase se concentrou dois meses após o início do período de crescimento para toda a comunidade. Estes mesmos autores também verificaram que as espécies anuais apresentaram-se com flores durante um curto período, entre um a dois meses, resultado que não foi visto para as terófitas da caatinga neste estudo.

Resultados que mostram uma similar época na manifestação das fenofases reprodutivas, bem como no sincronismo destas fenofases, não são apenas verificados em ambientes secos, os quais apresentam maior dependência da precipitação para o desenvolvimento das plantas. Em ambientes úmidos, Michalski e Durka (2007), analisando a fenologia reprodutiva de espécies de *Juncus* (Juncaceae), verificaram que algumas plantas

também apresentam uma mesma época de floração, bem como alta sincronia dos eventos reprodutivos, mesmo presentes em áreas com condições diferentes. No entanto, Lesika e Kittelson (2010) afirmam que as herbáceas de ambientes secos são mais sensíveis às variações da precipitação do que as espécies de áreas úmidas, uma vez que em seu estudo em região semiárida dos EUA, eles verificaram uma forte relação entre a precipitação e a floração, verificando que dependendo do nível de precipitação, as herbáceas analisadas podem antecipar a sua floração.

Quanto ao número de estruturas reprodutivas, algumas plantas acabam produzindo mais flores e/ou frutos, devido às diferentes condições disponíveis nas áreas. No presente estudo houve uma diferença na quantidade de flores e frutos das populações da área preservada e da antropizada. Na área preservada as populações de *D. glabrum* e *P. spicatum* apresentaram maior produção de flores e frutos, enquanto na área antropizada as populações de *B. bipinnata* e *C. obliqua* produziram maior quantidade de estruturas reprodutivas. Isto indica que ao depender da espécie, uma área mais preservada pode ser mais favorável para uma maior produção de flores e frutos e, conseqüentemente, de um possível maior sucesso reprodutivo, bem como uma área antropizada pode ser mais favorável para outra espécie produzir suas flores e frutos. Esta variação na produção de estruturas reprodutivas foi vista também por Marco et al. (2000), que acabaram encontrando uma diferença significativa na produção de flores, frutos e sementes das três populações analisadas, sendo a população da floresta preservada a que mais produziu estruturas reprodutivas, quando comparada com as outras populações daquele estudo, além do mais, foi também na floresta preservada que houve um adiantamento da floração.

Resultado diferente foi encontrado no estudo de Abbott et al. (2007) em duas regiões do Novo México, os quais verificaram que não houve diferença significativa entre a produção de estruturas reprodutivas de uma espécie de erva perene, entre as duas áreas estudadas. Certamente a produção de estruturas reprodutivas não foi afetada pelo *status* de conservação das duas áreas.

Sabe-se que os eventos fenológicos reprodutivos, assim como os vegetativos, de ervas em ambientes secos, também apresentam correlações significativas com diversos fatores abióticos, como a temperatura e a precipitação (Torres e Galetto, 2011). Em florestas tropicais secas, como na caatinga, foi visto que muitas plantas lenhosas apresentam correlação significativa com a precipitação, e que estas geralmente apresentam maior densidade de madeira (Lima e Rodal, 2010), isto é, como elas não conseguem armazenar água suficiente sem seus tecidos, suas fenofases reprodutivas acabam seguindo o ritmo das chuvas. As

herbáceas também não conseguem armazenar uma quantidade suficiente de água que garanta a sobrevivência em um período seco, com exceção das geófitas que sobrevivem à estação desfavorável em forma de bulbos abaixo do solo.

Para as herbáceas anuais ou terófitas da caatinga esperava-se alguma correlação entre suas fenofases reprodutivas e a precipitação local, mesmo durante a estação chuvosa, a partir de pequenas variações semanais na quantidade de chuvas ao longo do ano. Porém, isto não foi confirmado para nenhuma população do presente estudo. Este fato também foi visto em outras três populações de um arbusto, presente em três áreas diferentes do Chaco Argentino, duas que passaram pelo mesmo processo que a área antropizada, corte raso, com 20 anos em regeneração, e uma preservada (Marco et al., 2000), isto é, algumas lenhosas também não apresentam correlação significativa com a precipitação em áreas secas em um curto período de tempo.

Durante a estação chuvosa, compreendida de janeiro a agosto de 2011 no presente estudo, além de ter ocorrido pouca variação na quantidade de chuvas ao longo dos meses, o total de precipitação registrado para o ano em questão foi bem significativo, este fato pode ter sido marcante para as ervas não terem sofrido interferência significativa em suas fenofases reprodutivas deste fator abiótico durante a estação favorável. Fato diferente do observado foi visto por García-Mozo et al. (2010), que analisaram a fenologia de ervas e árvores em quatro localidades das Províncias de Córdoba e Granada, no sul da Espanha. Eles viram que as ervas presentes nas localidades onde a quantidade de precipitação é mais reduzida demonstraram uma correlação significativa entre as fenofases reprodutivas e a quantidade de chuva.

Em alguns estudos com o estrato herbáceo da caatinga, principalmente com as terófitas, o período de maior intensidade de floração e frutificação geralmente ocorre durante a estação chuvosa, que é mais favorável quanto à disponibilidade de água (Pereira et al., 1989; Carvalho e Marchini, 1999; Lima et al., 2007). Contudo, nenhum desses estudos realizou teste de correlação entre fenofases e precipitação da estação.

Outros estudos em ambientes semiáridos mostram que algumas espécies apresentam, além de uma correlação significativa entre a floração e a precipitação, um adiantamento dessa fenofase em resposta ao ritmo da precipitação (Ramírez, 2009; Crimmins et al., 2010). Porém, essa relação é acompanhada geralmente durante vários anos de observação e não apenas durante uma estação.

Diante do exposto, verificou-se que as diferentes condições das áreas (preservada e antropizada) não apresentaram uma grande influência no deslocamento das fenofases das espécies analisadas, quanto à época e ao sincronismo dessas fenofases. Porém, a quantidade

de estruturas reprodutivas produzida pelas populações observadas apresentou uma diferença significativa dependendo do *status* de conservação da área. Esta produção foi mais significativa na área antropizada para *B. bipinnata* e *C. obliqua*, enquanto que na área preservada as populações de *D. glabrum* e *P. spicatum* produziram maior quantidade de estruturas reprodutivas. A precipitação, mesmo sendo considerada primordial para o desenvolvimento de herbáceas em ambientes secos, demonstrou correlação significativa com as fenofases vegetativas somente para algumas populações. Todavia, entre a precipitação e as fenofases reprodutivas não houve nenhum tipo de correlação, o que indica que este fator não é determinante para o nível de expressão destas fenofases apenas em uma única estação, sendo possível que atributos individuais de cada espécie atuem mais fortemente para o desenvolvimento destes eventos fenológicos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Botânica pelo apoio; aos pesquisadores do Laboratório de Ecologia de Ecossistemas Nordestinos pelas sugestões e auxílio na execução do projeto; ao Instituto Agrônomo de Pernambuco por permitir o estudo em sua propriedade; e ao CNPq pelo apoio financeiro (processo 477239/2009-9) e bolsa concedida durante a execução do projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, L.B., Lepak, D., Daniel, D.L. 2007. Vegetative and Reproductive Phenology of African Rue (*Peganum harmala*) in the Northern Chihuahuan Desert. *SW Nat.* 52, 209–218.
- Alcoforado-Filho, F.G., Sampaio, E.V.S.B., Rodal, M.J.N., 2003. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. *Acta Bot. Bras.* 17, 287–303.
- Amorim, I.L., Sampaio, E.V.S.B., Araújo, E.L., 2009. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. *Rev. Árvore* 33, 491–499.
- Araújo, E.L., Silva, S.I., Ferraz, E.M.N., 2002. Herbáceas da caatinga de Pernambuco, in: Tabarelli, M., Silva, J.M.C. (Orgs.), Diagnóstico da biodiversidade do estado de Pernambuco. Editora Massagana, Recife, pp. 183–205.

- Araújo, E.L., Silva, K.A., Ferraz, E.M.N., Sampaio, E.V.S.B., Silva, S.I., 2005. Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru, PE, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 19, 285–294.
- Araújo, E.L., Castro, C.C., Albuquerque, U.P., 2007. Dynamics of Brazilian Caatinga – A Review Concerning the Plants, Environment and People. *Func. Ecosyst. Commun.* 1, 15–28.
- Bencke, C.S.C., Morellato, L.P.C., 2002a. Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de floresta atlântica no sudeste do Brasil. *Rev. bras. Bot.* 25, 237–248.
- Bencke, C.S.C., Morellato, L.P.C., 2002b. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Rev. bras. Bot.* 25, 269–275.
- Bishop, J.G., Schemske, D.W., 1998. Variation in flowering phenology and its consequences for lupines colonizing Mount St. Helens. *Ecology* 79, 534–546.
- Borchert, R., Rivera, G., Hagnauer, W., 2002. Modification of Vegetative Phenology in a Tropical Semi-deciduous Forest by Abnormal Drought and Rain. *Biotropica* 34, 27–39.
- Carvalho, C.A.L., Marchini, L.C., 1999. Plantas visitadas por *Apis mellifera* L. no vale do rio Paraguaçu Município de Castro Alves, Bahia. *Rev. bras. Bot.* 22, 333–338.
- Crimmins, T.M., Crimmins, M.A., Bertelsen, C.D., 2010. Complex responses to climate drivers in onset of spring flowering across a semi-arid elevation gradient. *J. Ecol.* 98, 1042–1051.
- Fabricante, J.R., Andrade, L.A., Oliveira, L.S.B., 2009. Fenologia de *Capparis flexuosa* L.(Capparaceae) no Cariri Paraibano. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár.* 4, 133–139.
- Fedorenko, D.E.F., Fernández, O.A., Busso, C.A., Elia, O.E., 1996. Phenology of *Medicago minima* and *Erodium cicutarium* in semi-arid Argentina. *J. Arid Environ.* 33, 409–416.

- Fitter, A.H., Fitter, R.S.R., 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296, 1689–1691.
- Frankie, G.W., Baker, H.G., Opler, P.A., 1974. Comparative Phenological Studies of Trees in Tropical Wet and Dry Forests in the Lowlands of Costa Rica. *J. Ecol.* 62, 881–919.
- García-Mozo, H., Mestre, A., Galán, C., 2010. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agr. Forest. Meteorol.* 150, 575–580.
- Griz, L.M.S., Machado, I.C., 2001. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. *J. Trop. Ecol.* 17, 303–321.
- Heideman, P.D., 1989. Temporal and spatial variation in the phenology of flowering and fruiting in a tropical rainforest. *J. Trop. Ecol.* 77, 1059–1079.
- Janzen, D.H., 1997. Florestas tropicais secas: o mais ameaçado dos ecossistemas tropicais. in: Wilson, E.O. *Biodiversidade*. Nova Fronteira, Rio de Janeiro. pp.166–176.
- Jolly, W.M.; Running, S.W., 2004. Effects of precipitation and soil water potential on drought deciduous phenology in the Kalahari. *Glob Change Biol.* 10, 303–308.
- Justiniano, M.J., Fredericksen, T.S., 2000. Phenology of Tree Species in Bolivian Dry Forests. *Biotropica* 32(2), 276–281.
- Kudo, G., Nishikawa, Y., Kasagi, T., Kosuge, S., 2004. Does seed production of spring ephemerals decrease when spring comes early? *Eco. Res.* 19, 255–259.
- Leite, A.V., Machado, I.C., 2010. Reproductive biology of woody species in Caatinga, a dry forest of northeastern Brazil. *J. Arid Environ.* 74, 1374–1380.
- Lesica, P., Kittelson, P.M., 2010. Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. *J. Arid Environ.* 74, 1013–1017.

- Lieberman, D., 1982. Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. *J. Ecol.* 70, 791–806.
- Lima, A.L.A., Rodal, M.J.N., 2010. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. *J. Arid Environ.* 74, 1363–1373.
- Lima, E. N., Araújo, E. L., Sampaio, E.V.S.B., Ferraz, E.M.N., Silva, K.A., Pimentel, R.M.M., 2007. Fenologia e dinâmica de duas populações herbáceas da caatinga. *Rev. Geogr.* 24, 120–136.
- Machado, I.C., Barros, L.M., Sampaio, E.V.S.B., 1997. Phenology of Caatinga Species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica* 29, 57–68.
- Marchioretto, M.S., Mauhs, J., Budke, J.C., 2007. Fenologia de espécies arbóreas zoocóricas em uma floresta psamófila no sul do Brasil. *Acta Bot. Bras.* 21, 193–201.
- Marco, D.E., Calviño, A.A., Páez, S.A., 2000. Patterns of flowering and fruiting in populations of *Larrea divaricata* in dry Chaco (Argentina). *J. Arid Environ.* 44, 327–346.
- Michalski, S.G., Durka, W., 2007. Synchronous Pulsed Flowering: Analysis of the Flowering Phenology in *Juncus* (Juncaceae). *Ann. Bot.* 100, 1271–1285.
- Miller-Rushing, A.J., Primack, R.B., 2008. Global warming and flowering times in Thoreau's Concord: a community perspective. *Ecology* 89, 332–341.
- Munhoz, C.B.R., Felfili, J.M., 2005. Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 19(4), 979–988.
- Murcia, C., 1995. Forest fragmentation and the pollination of neotropical plants, in: Schellas, J., Greenberg, R. (eds.), *Forest patches in tropical landscapes*. Island Press, London, pp. 19–36.
- Nimer, E., 1989. *Climatologia do Brasil*, second ed. IBGE-SUPREN, Rio de Janeiro.

- Pereira, R.M.A., Filho, J.A.A., Lima, R.V., Paulino, F.D.G., Lima, A.O.N., Araújo, Z.B., 1989. Estudos fenológicos de algumas espécies lenhosas e herbáceas da caatinga. *Rev. Ciênc. Agron.* 20, 11–20.
- Ramírez, N., 2009. Correlaciones entre la fenología reproductiva de la vegetación y variables climáticas en los altos llanos centrales venezolanos. *Acta Bot. Venez.* 32(2), 333–362.
- Reich, P.B., 1995. Phenology of tropical forests: patterns, causes, and consequences. *Can. J. Botany* 73, 164–174.
- Reis, A.M.S., Araújo, E.L., Ferraz, E.M.N., Moura, A.N., 2006. Inter-annual in the floristic and population structure of an herbaceous community of “caatinga” vegetation in Pernambuco, Brazil. *Rev. bras. Bot.* 29, 497–508.
- Restrepo, C., Vargas, A., 1999. Seeds and seedlings of two neotropical montane understory shrubs respond differently to anthropogenic edges and treefall gaps. *Oecologia* 119, 419–426.
- Rich, P.M., Breshears, D.D., White, A.B., 2008. Phenology of mixed woody–herbaceous ecosystems following extreme events: net and differential responses. *Ecology* 89, 342–352.
- Sampaio, E.V.S.B., 1995. Overview of the Brazilian caatinga, in: Bullock, S.; Mooney, H.A., Medina, E. (Eds.). *Seasonally dry Tropical Forests*. University Press, Cambridge, pp. 35–58.
- Santos, J.M.F.F., 2010. Diversidade e abundância interanual no componente herbáceo da caatinga: paralelos entre uma área preservada e uma área antropizada em regeneração natural. 77p. (Dissertação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- Sekhwela, M.B.M., Yates, D.J., 2007. A phenological study of dominant acacia tree species in areas with different rainfall regimes in the Kalahari of Botswana. *J. Arid Environ.* 70, 1–17.
- Torres, C., Galetto, L., 2011. Flowering phenology of co-occurring Asteraceae: a matter of climate, ecological interactions, plant attributes or of evolutionary relationships among species. *Org. Divers. Evol.* 11, 9–19.

Van Schaik, C.P., Terborgh, J.W., Wright, S.J., 1993. The phenology of tropical forests: Adaptive Significance and Consequences for Primary Consumers. *Annu. Rev. Ecol. Evol. S.* 24, 353–377.

Valdez-Hernández, M., Andrade, J.L., Jackson, P.C., Rebolledo-Vieyra, M., 2010. Phenology of five tree species of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico: effects of environmental and physiological factors. *Plant. Soil.* 329, 155–171.

Vidiella, P.E., Armesto, J.J., Gutiérrez, J.R., 1999. Vegetation changes and sequential flowering after rain in the southern Atacama Desert. *J. Arid Environ.* 43, 449–458.

Wilson, E.O., 1997. A situação atual da diversidade biológica. in: Wilson, E.O. *Biodiversidade*. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, pp. 3–24.

Young, T.P., 2000. Restoration ecology and conservation biology. *Biol. Conserv.* 92, 73–83.

Zar, J.H., 1999. *Biostatistical analysis*, third ed. Prentice-Hall International Editions, New Jersey.

Tabela 1

Índice de atividade (Bencke e Morellato, 2002b) demonstrando a sincronia dos indivíduos de cada população de terófitas da caatinga quanto às fenofases: brotamento de novas folhas (bnf), floração (flor), frutificação (frut) e queda foliar (qf), em duas áreas (preservada e antropizada) no município de Caruaru, nordeste do Brasil. Para o índice de atividade utilizou-se o percentual (%) de indivíduos manifestando as fenofases.

ESPÉCIES	PRESERVADA				ANTROPIZADA			
	bnf	flor	frut	qf	bnf	flor	frut	qf
<i>Bidens bipinnata</i>	100	66,7	66,7	100	100	63	63	90
<i>Commelina obliqua</i>	100	63,3	63,3	93,3	100	62	61,7	96,7
<i>Delilia biflora</i>	100	100	100	66,7	100	100	100	76,7
<i>Desmodium glabrum</i>	100	26,7	26,7	70	100	23,3	20	86,7
<i>Pseudabutilon spicatum</i>	100	93,3	93,3	100	100	66,7	63,3	100

Tabela 2

Correlação de Spearman (r_s) entre a precipitação (janeiro a outubro de 2011) e a frequência de indivíduos, pertencentes a cinco espécies de herbáceas anuais da caatinga, manifestando as fenofases: brotamento de novas folhas (bnf), floração (flor), frutificação (frut) e queda foliar (qf), em duas áreas (preservado e antropizada) no município de Caruaru, nordeste do Brasil. Os valores em negrito indicam que houve correlação significativa ($p < 0,05$).

ESPÉCIES	PRESERVADA				ANTROPIZADA			
	bnf	flor	frut	qf	bnf	flor	frut	qf
<i>Bidens bipinnata</i>	0,40	0,01	- 0,08	- 0,35	0,44	0,002	- 0,11	- 0,30
<i>Commelina obliqua</i>	0,41	0,13	0,25	- 0,48	0,41	0,23	0,22	- 0,52
<i>Delilia biflora</i>	0,39	0,04	- 0,08	- 0,45	0,42	- 0,07	- 0,17	- 0,48
<i>Desmodium glabrum</i>	0,38	- 0,07	- 0,33	- 0,37	0,48	- 0,14	- 0,31	- 0,46
<i>Pseudabutilon spicatum</i>	0,38	- 0,15	- 0,32	- 0,37	0,41	- 0,14	- 0,31	- 0,41

Tabela 3

Teste do qui-quadrado (χ^2), avaliando-se o número total de estruturas reprodutivas produzidas por populações de cinco espécies de herbáceas anuais da caatinga, entre duas áreas (preservada e antropizada) em Caruaru, nordeste do Brasil. Valores em negrito indicam que houve diferença significativa ($p < 0,05$).

ESPÉCIES	χ^2	PRESERVADA				ANTROPIZADA			
		infl ^a	infr ^b	flor ^c	frut ^d	infl ^a	infr ^b	flor ^c	frut ^d
<i>Bidens bipinnata</i>	30,02	120	112	*	624	191	170	*	1640
<i>Commelina obliqua</i>	5,41	127	137	*	*	304	231	*	*
<i>Delilia biflora</i>	0,01	*	*	947	805	*	*	535	451
<i>Desmodium glabrum</i>	3,72	*	*	121	118	*	*	80	51
<i>Pseudabutilon spicatum</i>	10,97	*	*	291	172	*	*	255	120

χ^2 Teste do qui-quadrado

^a Inflorescência; ^b infrutescências; ^c flores; ^d frutos

* Sem informação

Tabela 4

Correlação de Spearman (r_s) entre a precipitação (janeiro a outubro de 2011) e o número de estruturas reprodutivas produzidas por cinco espécies de herbáceas anuais da caatinga em duas áreas (preservada e antropizada) no município de Caruaru, nordeste do Brasil. Não houve correlação significativa para nenhuma variável testada ($p < 0,05$).

ESPÉCIES	PRESERVADA				ANTROPIZADA			
	infl ^a	infr ^b	flor ^c	frut ^d	infl ^a	infr ^b	flor ^c	frut ^d
<i>Bidens bipinnata</i>	0,01	-0,01	*	0,01	-0,01	0,03	*	0,04
<i>Commelina obliqua</i>	0,25	0,10	*	*	0,12	0,16	*	*
<i>Delilia biflora</i>	*	*	0,08	-0,01	*	*	-0,04	-0,03
<i>Desmodium glabrum</i>	*	*	-0,08	-0,14	*	*	0,01	-0,31
<i>Pseudabutilon spicatum</i>	*	*	-0,18	-0,25	*	*	-0,13	-0,26

^a Inflorescências; ^b infrutescências; ^c flores; ^d frutos

* Sem informação

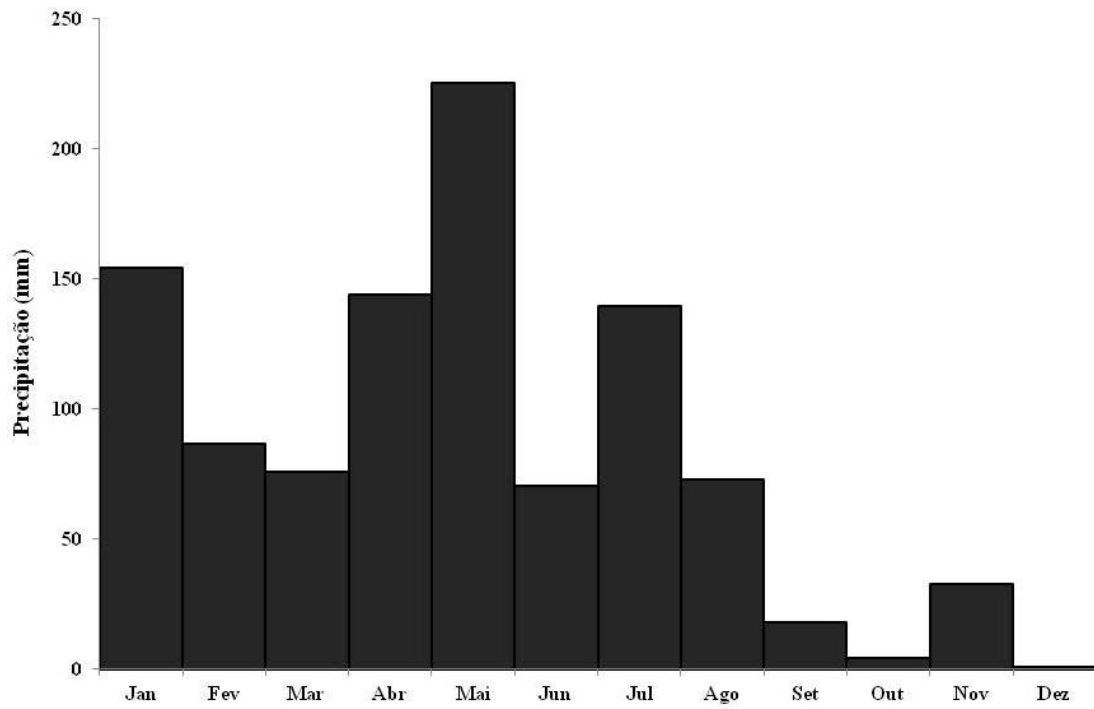


Figura 1

Precipitação do período de janeiro a dezembro de 2011, registrada pela Estação Experimental José Nilson de Melo, em uma região de floresta tropical seca, Caruaru-PE, nordeste do Brasil.

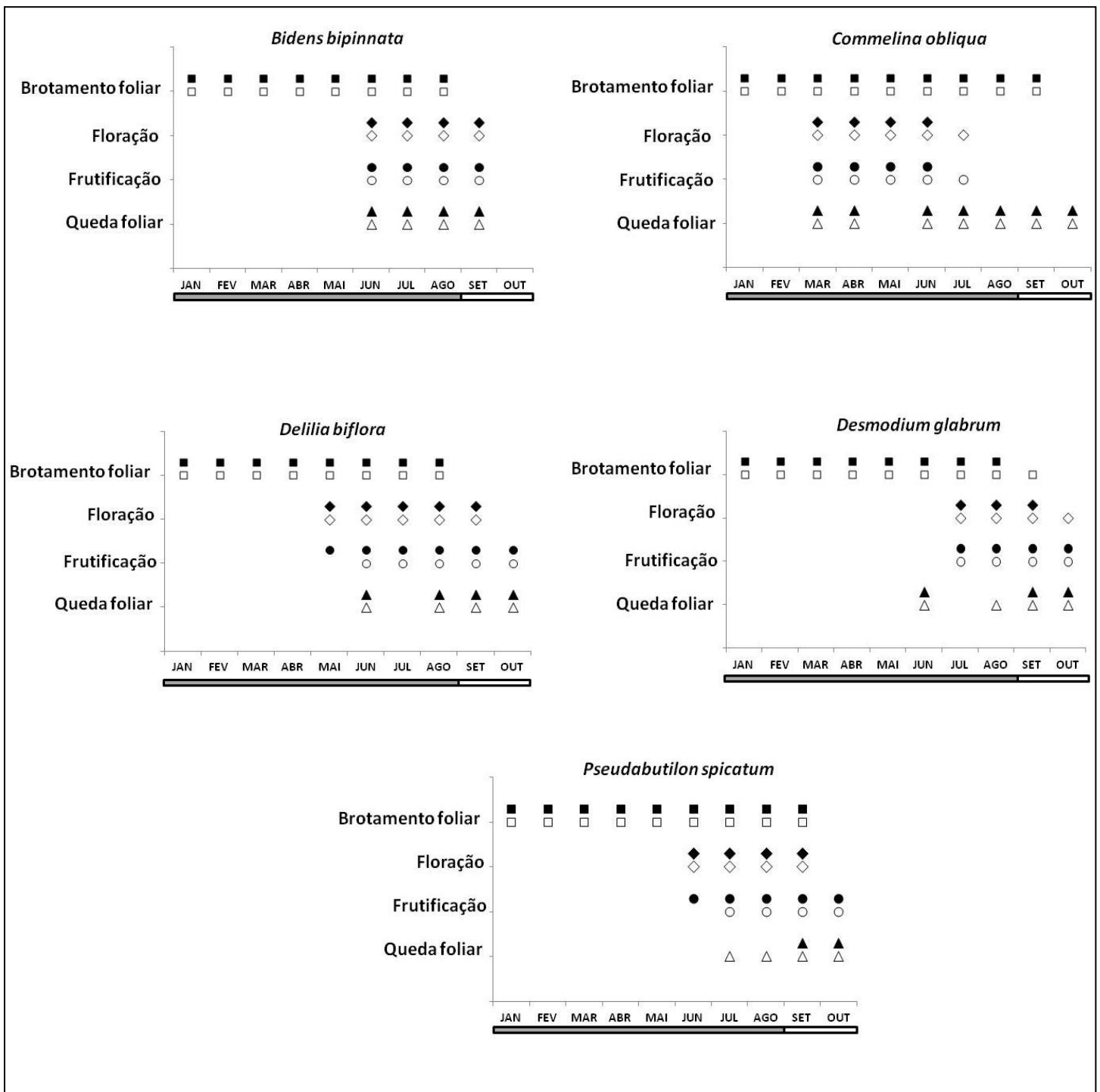


Figura 2

Presença e ausência das fenofases vegetativas e reprodutivas de espécies terófitas de duas áreas (preservada e antropizada) da caatinga, no município de Caruaru, nordeste do Brasil. (símbolos preenchidos referem-se à população da área preservada, e símbolos sem preenchimento tratam da população da antropizada; barra cinza indica a estação chuvosa nas áreas de estudo).

Anexos

INTRODUCTION

The *Journal of Arid Environments* is an international journal publishing original scientific and technical research articles on physical, biological and anthropological aspects of arid, semi-arid, and desert environments. As a forum of multi-disciplinary and interdisciplinary dialogue it addresses research on all aspects of arid environments and their past, present and future use.

Research Areas include: Climate and Climate Change Hydrological processes and systems (vadose, surface, environmental aspects, etc.); Geomorphological processes and systems (Aeolian, fluvial, slope and weathering); Soils (physical and biological aspects) Biological Sciences (basic and applied); Anthropology and human ecology (archaeology, sociology, ethnobotany, etc.); Land use (agronomy, grazing, mining, tourism, etc.) Conservation (theory, policy, economics); Land degradation (desertification) and rehabilitation Techniques for monitoring and management.

Guide for Authors

Research Articles: reporting original and previously unpublished work. Research papers have a reference limit of 50 cites

Short Communications: These are concise, but complete descriptions of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Examples include descriptive research on seed-germination conditions, plant responses to salinity, animal feeding habits, etc. Short communications have a reference limit of 20 cites

Short communications should not exceed 2400 words (six printed pages), excluding references and legends. Submissions should include a short abstract not exceeding 10% of the length of the communication and which summarizes briefly the main findings of the work to be reported. The bulk of the text should be in a continuous form that does not require numbered sections such as Introduction, Materials and methods, Results and Discussion. However, a Cover page, Abstract and a list of Keywords are required at the beginning of the communication and Acknowledgements and References at the end. These components are to be prepared in the same format as used for full-length research papers. Occasionally authors may use sub-titles of their own choice to highlight sections of the text. The overall number of tables and figures should be limited to a maximum of three (i.e. two figures and one table).

Review Articles: Critical evaluation of existing data, defined topics or emerging fields of investigation, critical issues of public concern, sometimes including the historical

development of topics. Those wishing to prepare a review should first consult the Editors or Associate Editors concerning acceptability of topic and length.

Think Notes: Short, one page notes describing new developments, new ideas, comments on a controversial subject, or comments on recent conferences will also be considered for publication.

Letter to the Editor: A written discussion of papers published in the journal. Letters are accepted on the basis of new insights on the particular topic, relevance to the published paper and timeliness.

Contact details for submission

Authors may send queries concerning the submission process, manuscript status, or journal procedures to the Editorial Office at jae@elsevier.com.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/ethicalguidelines>.

Policy and ethics

The work described in your article must have been carried out in accordance with The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/index.html>; EU Directive 2010/63/EU for animal experiments http://ec.europa.eu/environment/chemicals/lab_animals/legislation_en.htm; Uniform Requirements for manuscripts submitted to Biomedical journals external link <http://www.icmje.org>. This must be stated at an appropriate point in the article.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection software iThenticate. See also <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

Contributors

Each author is required to declare his or her individual contribution to the article: all authors must have materially participated in the research and/or article preparation, so roles for all authors should be described. The statement that all authors have approved the final article should be true and included in the disclosure.

Changes to authorship

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts: *Before the accepted manuscript is published in an online issue*: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright see <http://www.elsevier.com/copyright>). Acceptance of the agreement will ensure the widest possible dissemination of information. An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights; for details you are referred to: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated. Please see <http://www.elsevier.com/funding>.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Open access

This journal offers you the option of making your article freely available to all via the ScienceDirect platform. To prevent any conflict of interest, you can only make this choice after receiving notification that your article has been accepted for publication. The fee of \$3,000 excludes taxes and other potential author fees such as color charges. In some cases, institutions and funding bodies have entered into agreement with Elsevier to meet these fees on behalf of their authors. Details of these agreements are available at <http://www.elsevier.com/fundingbodies>. Authors of accepted articles, who wish to take advantage of this option, should complete and submit the order form (available at <http://www.elsevier.com/locate/openaccessform.pdf>). Whatever access option you choose, you retain many rights as an author, including the right to post a revised personal version of your article on your own website. More information can be found here: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

Language and language services

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who require information about language editing and copyediting services pre- and post-submission please visit <http://webshop.elsevier.com/languageservices> or our customer support site at external link <http://support.elsevier.com> for more information.

Submission

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to PDF files at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail removing the need for a paper trail.

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 5 potential referees. It is required that potential referees not be from the same institution as the authors. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

PREPARATION

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your wordprocessor.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that telephone and fax numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531×1328 pixels (h \times w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5×13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's free Graphical abstract check to ensure the best display of the research in accordance with our technical requirements. 24-hour Graphical abstract check

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Plant names

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the International Code of Botanical Nomenclature.

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Save text in illustrations as 'graphics' or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times, Symbol.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.
- Submit each figure as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalised, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS: Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF: Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF: Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF: Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is'.

Please do not:

- Supply files that are optimised for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Non-electronic artwork

Provide all illustrations as high-quality printouts, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Number illustrations consecutively in the order in which they are referred to in the text. They should accompany the manuscript, but should not be included within the text. Clearly mark all illustrations on the back (or - in case of line drawings - on the lower front side) with the figure number and the author's name and, in cases of ambiguity, the correct orientation.

Mark the appropriate position of a figure in the article.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further

information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication' Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Regular research papers have a reference limit of 50 cites and short communications should not exceed 20 cites.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Please note that Journal names and references should be provided in full.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: external link <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: external link <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Telephone and fax numbers

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because

they have not yet received their full bibliographic information. The correct format for citing a DOI is shown as follows (example taken from a document in the journal *Physics Letters B*):

doi:10.1016/j.physletb.2010.09.059

When you use the DOI to create URL hyperlinks to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Proofs

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves. Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 7 (or higher) available free from <http://get.adobe.com/reader>. Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site: external link <http://www.adobe.com/products/reader/tech-specs.html>.

If you do not wish to use the PDF annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately – please let us have all your corrections within 48 hours. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. The PDF file is a watermarked version of the

published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use.

AUTHOR INQUIRIES

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please visit this journal's homepage. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs (<http://www.elsevier.com/authorFAQ>) and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.